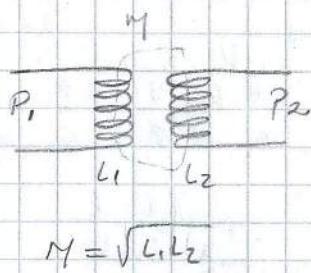


UNIDAD 1: CIRCUITOS MAGNETICOS Y GENERADORES

* Las máquinas eléctricas se dividen en 3 grandes grupos:

- El TRANSFORMADOR: transforma energía eléctrica en CA con determinadas magnitudes en otra CA con diferentes magnitudes. La potencia y la frecuencia se conservan.



La inducción B es provocada por un flujo variable ϕ . Si ϕ es pulsante se trata de una bobina de inducción, si es alterno la máquina se denomina transformador.

- El GENERADOR: Transforma energía mecánica en eléctrica. La acción se desarrolla por el movimiento de una bobina en un campo magnético, resaltando una fem inducida que al aplicarla a un circuito externo produce una corriente que interacciona con el campo y desarrolla una fuerza mecánica que genera el movimiento. Es una máquina rotativa.

$$\text{fem} [V] \rightarrow e = -N \frac{d\phi}{dt}$$

nro de espiras [Vueltas] flujo magnético [Gauss]

- El MOTOR: Transforma energía eléctrica en mecánica. La acción se desarrolla introduciendo una corriente en la máquina por medio de una fuente externa que interacciona con el campo produciendo un movimiento en la máquina. Aparece entonces una fem inducida que se opone a la corriente y por ello se la denomina fuerza contraelectromotriz. Es una máquina rotativa.

* CONCEPTOS Y EXPRESIONES DE CALCULO EN CIRCUITOS MAGNETICOS

- El FLUJO MAGNETICO: Se define como el producto escalar entre la inducción B y la sección A perpendicular a la que atraviesa dicha inducción.

$$[Mx] \quad d\phi = B \cdot ds$$

$[A] \quad [cm^2]$

$[G] \quad [m]$

- PERMEABILIDAD MAGNETICA: Relación entre la inducción B y el campo magnético H .

$$[\text{H/cm}] \quad \mu = \frac{B}{H} \rightarrow [\text{G}]$$

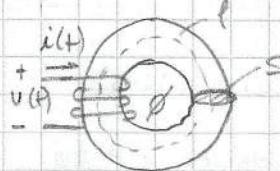
$[Mx/Acm]$

$[A \cdot \text{vueltas}/cm]$

μ_0 : Permeabilidad del vacío

$$1,256 \times 10^{-6} \left[\frac{\text{H}}{\text{cm}} \right]$$

- TENSIÓN MAGNETICA.



$$\Theta = V = N \cdot I = H \cdot l$$

↑ ↑
magnetico campo

- LEY DE OHM DEL MAGNETISMO

$$(V = I \cdot R) \Rightarrow \Theta = \phi R$$

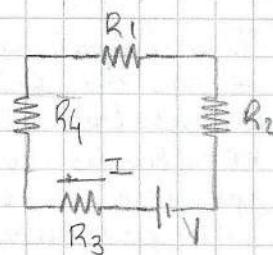
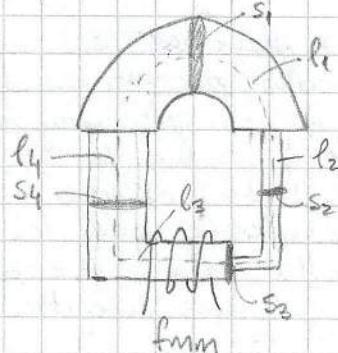
Fuerza Reluctancia
Magnetizante Flujo Magnetico.
(Tension)

siendo $\phi = B \cdot S$
 $V = Hl$.

$$R = \frac{V}{\phi} = \frac{Hl}{B \cdot S} = \frac{Hl}{\mu_0 S}$$

$$R = \frac{l}{\mu_0 S}$$

Analogia con circuito electrico:



$$V_T = \phi R_T$$

$$V_T = \phi (R_1 + R_2 + R_3 + R_4)$$

$$V_T = \phi R_1 + \phi R_2 + \phi R_3 + \phi R_4$$

$$V_T = \phi_1 \frac{l_1}{\mu_1 S_1} + \phi_2 \frac{l_2}{\mu_2 S_2} + \phi_3 \frac{l_3}{\mu_3 S_3} + \phi_4 \frac{l_4}{\mu_4 S_4}$$

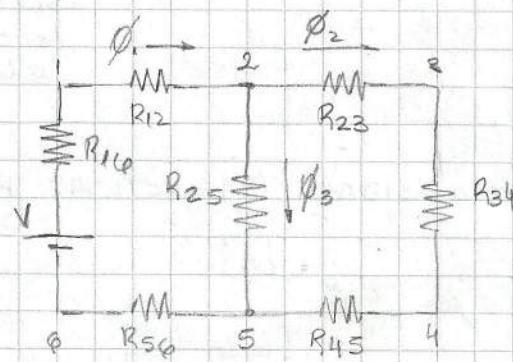
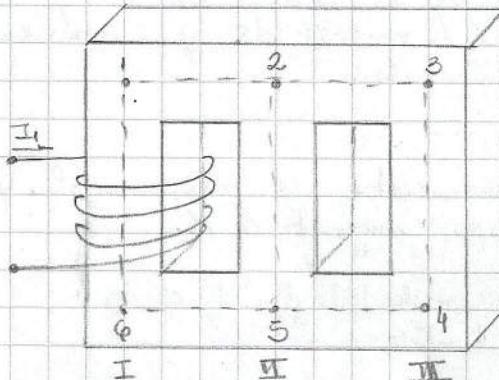
$$V_T = B_1 S_1 \frac{l_1}{\mu_1 S_1} + B_2 S_2 \frac{l_2}{\mu_2 S_2} + B_3 S_3 \frac{l_3}{\mu_3 S_3} + B_4 S_4 \frac{l_4}{\mu_4 S_4}$$

$$V_T = B_1 \frac{l_1}{\mu_1} + B_2 \frac{l_2}{\mu_2} + B_3 \frac{l_3}{\mu_3} + B_4 \frac{l_4}{\mu_4} = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_3 l_3 + H_4 l_4$$

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + V_4;$$

* CALCULOS DE CIRCUITOS MAGNETICOS.

Dado este nucleo de transformador, donde N y S son datos e I es la incognita.



El objetivo es saber que corriente I se necesita para circular ϕ_3 en la columna III.

$$V_T = Hl = NI ; \quad V_T = V_{12} + V_{25} + V_{56} + V_{16} \text{ donde } s \text{ su vez.}$$

$$V_{25} = V_{23} + V_{34} + V_{45}$$

Para calcular $V_{ij} = H_{ij} \cdot l_{ij}$ donde H_{ij} se determina por medio de tablas en función de B . Finalmente $B_{ij} = \frac{\phi_{ij}}{s_{ij}}$

Como el dato que poseemos es el flujo que circula por la columna III que es $\phi_{23} = \phi_{34} = \phi_{45}$ debemos comenzar el cálculo de las V en esos tramos. Luego con estos datos se puede conocer V_{25} , y así vez ϕ_3 (ϕ_{25}).

Sabiendo que $\phi_1 = \phi_2 + \phi_3$ ($\phi_2 = \phi_{23} = \phi_{34} = \phi_{45}$) hallamos ϕ_{12} (ϕ_1) y con este último dato las V faltantes.

Como anexo se puede conocer el diámetro de conductor a usar.

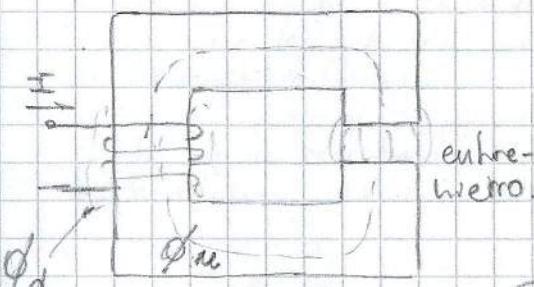
$$J = \frac{I}{S} \left[\frac{A}{cm^2} \right] \therefore S = \frac{I}{J}$$

* Flujo disperso y Factor de dispersión

El flujo magnético disperso es el flujo magnético que no se establece en el interior del circuito magnético del transformador sino fuera del mismo y genera perdidas ya que no participa en la transformación de energía. Por lo general, el flujo de dispersión se establece más intensamente en los extremos de los esmaltamientos.

$$\phi_T = \phi_{util} + \phi_{dispersión}$$

Definimos: el coeficiente de dispersión y el Factor de dispersión, respectivamente:



$$V_K = \frac{\phi_T}{\phi_u} ; \quad K_d = \frac{\phi_d}{\phi_u} \rightarrow \text{Factor de dispersión}$$

$$\text{coef. de dispersión} \rightarrow V_K = \frac{\phi_T}{\phi_u} = \frac{\phi_u + \phi_d}{\phi_u} = 1 + \frac{\phi_d}{\phi_u} = 1 + K_d.$$

MAQUINAS E INSTALACIONES

UNIDAD 2: TRANSFORMADORES

* GENERALIDADES - CLASIFICACIÓN

Se pueden distinguir tres clases de transformadores según su potencia:

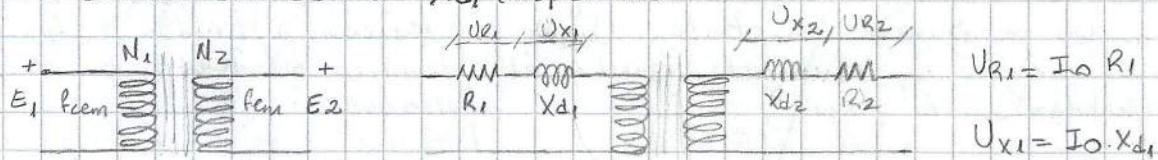
- MONOFASICOS Son de baja potencia, desde 5 a 63 [kVA]. La tensión de salida se obtiene entre la fase y el neutro. Están montados en postes de madera, tienen cuba lisa y sin refrigeración forzada. Son los cilindros naranjas en los postes de la red.
- TRIFASICOS Son de media potencia, de 63 a 6000 [kVA]. Usados para la distribución urbana de media tensión, en viviendas e industrias chicas. Son los que están montados en los barrios sobre dos postes. La relación de transformación estándar es $13200/400/231$ [V]
- DE POTENCIA Manejan potencias por encima de los 1000 [kVA]. Además de tener por cada bobina, un primario y un secundario poseen un terciario en cortocircuito. La función de este devanado es entretener la 4^{ta} armónica la cual no se puede eliminar. Los transformadores mayores a 600 [MVA] se construyen desde bancos monofásicos conectados entre sí, esto es así por seguridad.

* ESTADOS DE TRANSFORMADOR.

- EN VACIO

El transformador está en vacío cuando el primario está conectado a la red y el secundario, abierto, sin carga. Al aplicarle E_1 al primario, induce una fem en el secundario (E_2). Esta última reacciona por ley de Lenz creando en el primario una fuerza contraelectromotriz (fem).

En el primario aparecen caídas de tensiones, donde ΔU_{R1} es la caída en la resistencia del devanado primario y ΔU_{X1} es la caída de V reactiva debido a X_d (dispersión).



• RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN

Para poder trazar el diagrama vectorial es necesario referir los valores de un amoldamiento a los valores del otro, para que sean comparables. Hacemos esto porque E_1 es muy grande respecto a E_2 .

$$E'_2 = E_2 \cdot \frac{N_1}{N_2} = E_2 \cdot r_t$$

relación de espiras.

$$P_2 = P'_2 ; E'_2 I'_2 = E_2 I_2 ;$$

$$E_2 r_t \cdot I'_2 = E_2 I_2 ; I'_2 = \frac{I_2}{r_t}$$

$$U'_{R2} = U_{R2} \cdot r_t ; R'_2 = \frac{U'_{R2}}{I'_2} = \frac{U_{R2} r_t}{I_2 / r_t}$$

$$R'_2 = R_2 \cdot r_t^2 ; X'_{d2} = \frac{U_{d2}}{I'_2} = \frac{U_{d2} r_t}{I_2 / r_t} \therefore X'_{d2} = X_{d2} \cdot r_t^2$$

Ahora prestemos atención al flujo. Al ser alterno pasa por N_1 y N_2 produciendo las siguientes fens respectivamente.

$$E_1 = 4,44 \phi_m \cdot f \cdot N_1 [V]$$

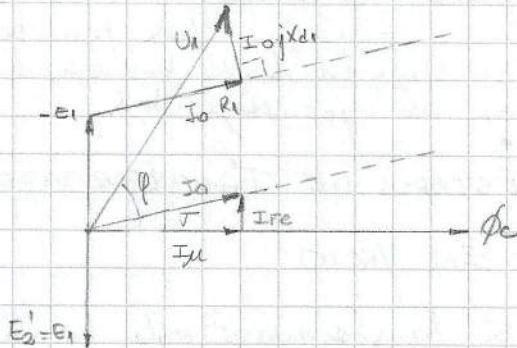
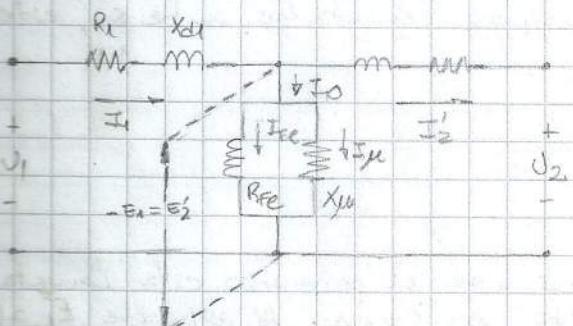
$$E_2 = 4,44 \phi_m \cdot f \cdot N_2 [V]$$

Factor de forma

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = r_t \rightarrow \text{Relación de Transformación}$$

$$E_2 = E_1 \cdot \frac{N_2}{N_1}$$

La relación de transformación nos muestra que las fens son proporcionales al número de espiras; y además se puede concluir que $E'_2 = E_1$.



En el circuito equivalente se reemplaza al transformador, por el paralelo de R_{fe} y X_{fe} que son sus componentes resistiva e inductiva respectivamente. La corriente I_0 , llamada corriente en vacío, produce el flujo magnético y vence las pérdidas en el hierro. La componente de carga I_2 contrarresta la acción desmagnetizante de I_0 para que el flujo del núcleo permanezca constante. U_1 es la tensión aplicada al los bornes del primario y E_1 es la tensión del primario sin tener en cuenta las pérdidas en R_1 y X_{d1} .

Para dibujar el diagrama vectorial, partimos del flujo ϕ_c común a ambos devanados representado por el eje de las abscisas, que es el que le da origen en cada espira a las fens E_1 y E_2 . I_2 tiene que ser nula.

El ángulo T formado por I_0 e I_{0e} se llamará "ángulo de pérdidas". El ángulo Φ entre U_1 e I_0 es elevado, ya que U_1 adelanta casi 90° a I_0 .

- CON CARGA.

Se analizará el caso donde el devanado secundario tiene conectado una carga, por lo que circulará una corriente de carga I_2 que será de la misma naturaleza que la carga (real o compleja). El cos φ también se verá afectado.

Ahora si I_2 se retrasa entre 0° y 90° con respecto a E_2 , se dice que I_2 actúa en contraposición con I_0 . Sucede que interactúan las fases de los devanados primarios y secundarios y los flujos que crean los mismos, provocando una interdependencia entre I_0 & I_2 .

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_0 + (-\bar{I}_2)$$

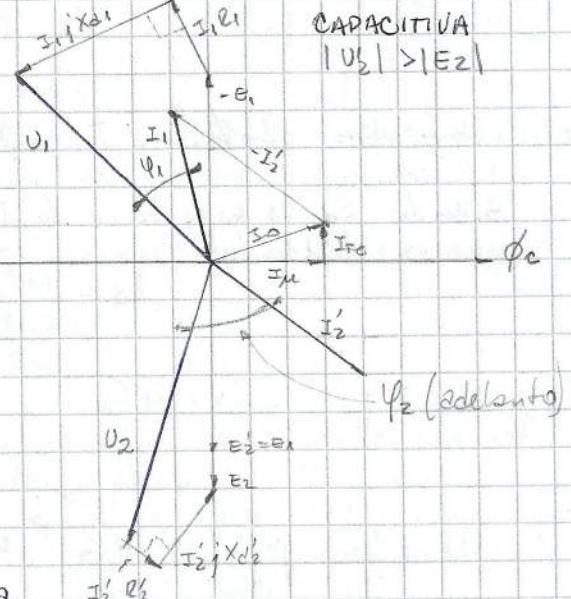
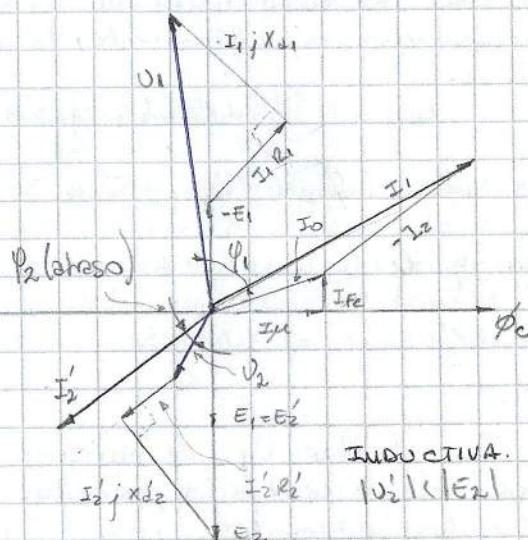
El aumento de I_2 con carga en el secundario, es también necesario para el intercambio de energía, es decir, que la aparición de I_2 presupone una potencia utilizada que puede ser de las formas:

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 \cos \varphi \text{ (monofásico)} \quad P_2 = B_2 U_2 I_2 \cos \varphi \text{ (trifásico)}$$

El funcionamiento de los transformadores está basado en las condiciones de doble equilibrio, es decir, que existe equilibrio de tensiones y corrientes.

A los parámetros ya definidos y expuestos en el circuito equivalente se le agregan G_{Fe} y B_{Fe} , la admittance del núcleo y la permeancia del mismo respectivamente.

$$G_{Fe} = \frac{1}{R_{Fe}} ; \quad B_{Fe} = \frac{1}{X_{Fe}}$$

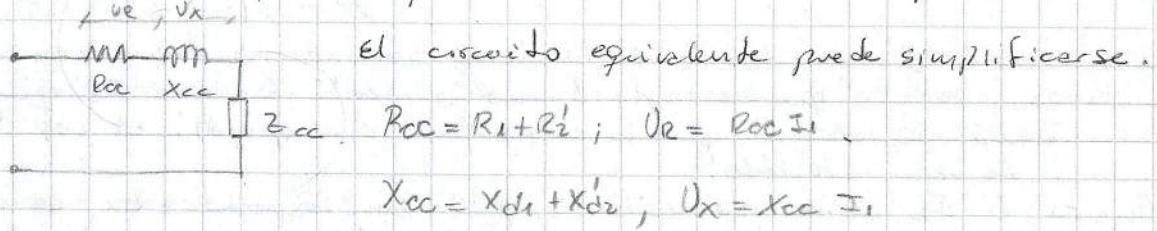


Se presentan dos tipos de carga, inductiva y capacitativa. Del circuito equivalente se tiene que:

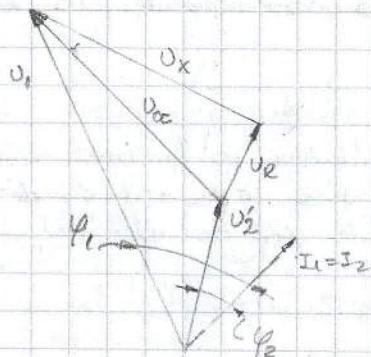
$$\begin{aligned} U_1 &= -E_1 + R_1 I_1 + X_{d1} I_1 \\ E_2 &= U_2 + R_2 I_2 + X_{d2} I_2 \end{aligned}$$

- EN COROCIRCUITO

Se da cuando los bornes de secundario se cortocircuitan, en donde $I_1 \approx I_2$ puesto que τ_0 se toma como despreciable.



$$U_{cc} = Z_{cc} I_1 = (R_{oc} + jX_{cc}) I_1; \quad I_{cc} = I_1 = I_2$$



Para el diagrama vectorial:

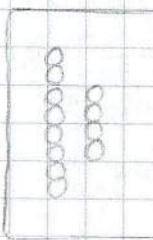
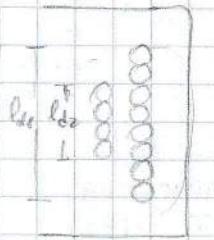
$$\vec{U}_1 = \vec{U}_2 + \vec{U}_{cc} = \vec{U}_2 + \vec{U}_{\alpha} + \vec{U}_{\beta}$$

• TENSION DE CORTO CIRCUITO.

La tensión de cortocircuito es la tensión aplicada a uno de los devanados, estando el otro cortocircuitado, hace que por ambos circule la corriente nominal.

$$U_{cc} [\%] = \frac{U_{cc} [V]}{U_n [V]} \cdot 100 \quad (\text{dato de la tabla})$$

$U_n [V]$ = Tensión Nominal. (chapa)



Si consideramos una columna del transformador, donde l_{d1} y l_{d2} son las longitudes de los devanados primarios y secundarios respectivamente, la densidad de dispersión es:

$$e_d = -N \frac{d\Phi_d}{dt} = -L_d \frac{di}{dt}$$

integrandos: $N \cdot \Phi_d = L_d \cdot I$; por otro lado: $\Phi_d = \frac{NI}{R} = \frac{NI}{R} \cdot \frac{S_d}{l_d}$

Siendo S_d , la superficie de dispersión y R la longitud media de los bobinas $(l_{d1} + l_{d2})/d$;

$$L_d = \frac{N^2 \mu S_d}{l_d} \quad X_d = w L_d = w \frac{N^2 \mu S_d}{l_d}$$

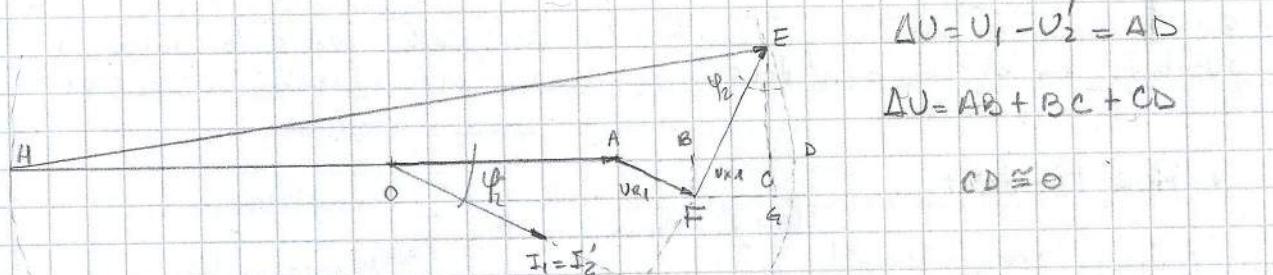
$U_X = I X_d = \frac{I w N^2 \mu S_d}{l_d}$. Ahora para hallar U_R , definimos este como el cociente entre las perdidas del cobre y las aparentes.

$$U_R = \frac{P_{cu}}{P_{ap}} = \frac{R I^2}{U I} = \frac{RI}{U} \quad \text{Finalmente: } |U_{cc}| = \sqrt{U_R^2 + U_X^2}$$

* CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS TRANSFORMADORES.

- VARIACIÓN DE TENSIÓN, COEFICIENTE DE REGULACIÓN

se entiende por variación de tensión a la disminución que experimenta la tensión secundaria en los bornes del devanado secundario al pasar del estado de vacío a plena carga, manteniéndose constante la tensión y la frecuencia aplicadas.



$$\Delta U = U_1 - U_2' = AD$$

$$\Delta U = AB + BC + CD$$

$$CD \approx 0$$

Para determinar la ΔU nos basamos en el circuito equivalente y en el diagrama vectorial del transformador en cortocircuito. ΔU será la diferencia en U_1 y U_2'

$$AB = AF \cos \varphi_2 = P_{cc} I_2' ; BC = FG = EF \cdot \sin \varphi_2 = X_{cc} I_2' \sin \varphi_2$$

$$\Delta U = P_{cc} I_2' \cos \varphi_2 + X_{cc} I_2' \sin \varphi_2 = U_2' \cdot \cos \varphi_2 + U_x \cdot \sin \varphi_2$$

Definimos la variación porcentual de la caída de tensión (μ). Se lo llama Coeficiente de regulación del transformador.

$$\mu [\%] = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100 = \left(\frac{U_2' \cdot 100}{U_n} \right) \cos \varphi_2 + \left(\frac{U_x \cdot 100}{U_n} \right) \sin \varphi_2 = \mu_R \cos \varphi_2 + \mu_X \sin \varphi_2$$

$$\text{De manera experimental conociendo } U_{cc} \text{ y } P_{cc}: \mu_R [\%] = \frac{P_{cc}}{U} \cdot \frac{R \cdot I \cdot 100}{P_{cc}}$$

- RENDIMIENTO (%)

Para medir el rendimiento solo el método indirecto es considerado apropiado para los transformadores, ya que el método directo genera resultados poco confiables.

Para determinarlo entonces solo se necesitan conocer las perdidas en vacío y en carga.

$$\eta = \frac{P_{utl}}{P_{abs}}$$

La potencia absorbida es a su vez, la suma de la potencia útil y las potencias de perdidas. Existen perdidas en vacío, llamadas "perdidas en el hierro" (Histeresis y Foucault) y las que dependen de la carga, llamadas "perdidas en el cobre" (Joule y adiacionales).

P. Hierro (P_H)

$$\begin{cases} \rightarrow P. Histeresis (P_H) \\ \rightarrow P. Foucault (P_F) \end{cases}$$

P. Cobre (P_C)

$$\begin{cases} \rightarrow P. Joule (P_J) \\ \rightarrow P. Adicionales (P_A) \end{cases}$$

- PERDIDAS.

• POR HISTERESIS

En todo transformador, este tipo de perdidas es proporcional al ciclo de histeresis.

$$P_H = \gamma \cdot B_{max}^2 \cdot f \cdot G_{Fe}$$

Aiero Díce = 3 } coef. de Steinmetz
Acero = 4 }

γ peso del Núcleo
Aiero-Silicio [kg]

En un transformador ya construido se puede medir la potencia absorbida en el vacío a tensión nominal, alimentándolo por el lado de baja tensión.

• POR FOUCAULT

$$P_F = \chi \cdot B_{max}^2 \cdot f \cdot G_{Fe} \cdot T$$

$\chi = \frac{l}{f}$ } coef de Foucault

T espesor de las chapas [mm]

Mientras mayor es el espesor de las chapas (0,35 a 0,5 mm), las corrientes parásitas se cierran sobre si mismas y no contribuyen al proceso de transformación, pero si producen perdidas pues esa energía se disipa en forma de calor. Es por ello que el hierro se le agrega silicio para aumentar su resistividad, y con ello disminuir las perdidas.

• EN EL COBRE.

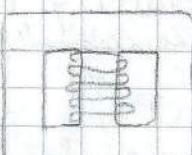
Son perdidas que se generan por la resistencia térmica de los devanados, que disipan calor cuando existe circulación de corriente en los mismos. A esto se le llama Efecto Joule.

$$P_{Cu} = R_{Cu} I^2$$

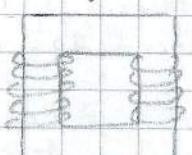
- ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Los elementos más significativos son el núcleo y los devanados. Tomando como criterio el núcleo podemos clasificar a los transformadores como acorazados (Devanados abarcados parcialmente por el núcleo) ó de columnas (Devanados abrazan toda la columna del núcleo).

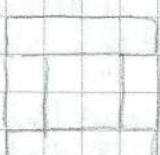
La unión entre las columnas y las culatas se efectúa de dos formas: "A tope", donde columnas y culatas se arman por separado y se unen por piezas de sujeción, intercalando un aislador, ó "por entre-laminación", al contrario que el caso anterior, ambas partes se arman al unísono. Esta última forma es mejor que la anterior dado que el juego por dilataciones es mínimo.



Acorazado



De columnas

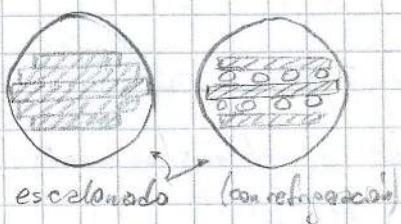


Unión a tope



Solape

- **COLUMNAS**



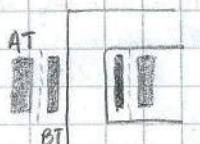
Para construir las columnas de un transformador se genera una apilamiento de las chapas de forma de aprovechar al máximo el espacio, por ello se forma un polígono escalonado inscrito en una circunferencia.

Cuando se maneja potencia suelen utilizarse canales de refrigeración por donde circula aceite.

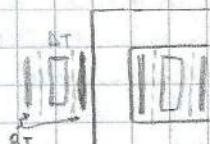
- **DEVANADOS**

Los devanados deben cumplir ciertos requisitos, dentro de los cuales se destacan su economía, su régimen térmico, su resistencia mecánica a los esfuerzos producidos por posibles cortocircuitos y su resistencia térmica.

Por lo general resulta muy difícil reunir todas estas condiciones, así que surgen soluciones intermedias.



Concentricos



Bi-concentrico



Alternos (Galletas)

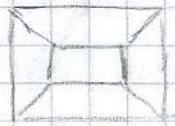
Devanados "concentricos": Los bobinados tienen forma de cilindros coaxiales; por lo general el enrollamiento de BT se coloca más próximo al núcleo ya que es más fácil aislar el de AT.

Devanados "bi-concentricos": igual al anterior pero se divide en dos partes iguales al bobinado de BT. Muy usado cuando BT tiene muchas esp. ras.

Devanados "alternos": Se subdivide los enrollamientos en partes más pequeñas (galletas). Aunque son más difíciles de aislar y reparar, se recurre a ellos cuando el transformador tiene gran sección de núcleo y se requieren grandes corrientes.

- **NÚCLEOS**

Para disminuir las corrientes parásitas y aumentar el flujo útil se los construye con chapas laminadas de espesor entre 0.35 y 0.5 [mm]. En general son de hierro-silicio de grano orientado y se aislan entre sí con papel presionado con barniz.



para formar el núcleo en los transformadores, las columnas y columnas se cortan a 45° (en la práctica entre 42° y 48°) de manera que no existan espacios de aire que generen corrientes parásitas.

• GENERACION DE UN TRANSFORMADOR TRIFASICO.

Un criterio importante para clasificar un transformador es basarse en la cantidad de fases que poseen. Así los podemos dividir en monofásicos ó trifásicos.

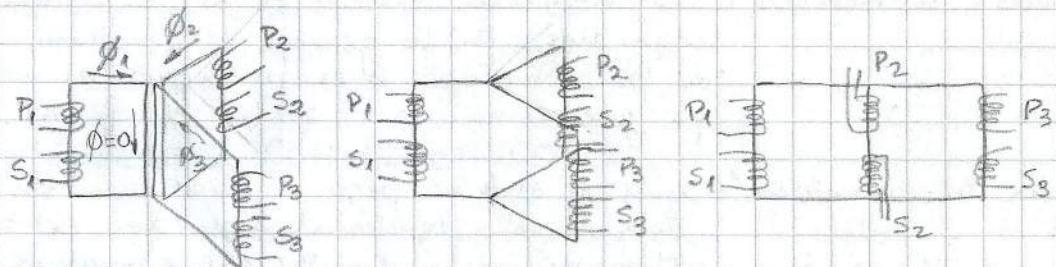
Los monofásicos poseen una sola fase ya que solo tienen un solo circuito magnético. Por esto solamente pueden manejar corriente en una red monofásica ó una sola fase de una corriente trifásica.

La disposición más sencilla es la simple, pero solo se usa en casos especiales.

La disposición a dos columnas distribuye

mejor el peso y es el sistema preferido en transformadores de alguna potencia. La configuración acorazado es como el primer caso pero los devanados están rodeados integralmente por el núcleo.

Es posible reunir tres transformadores monofásicos para dar origen a un transformador trifásico lo que conduce a una economía de peso y tamaño.

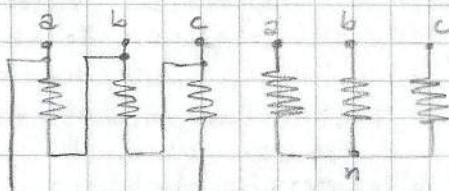


Las dos conexiones más comunes para producir un complemento en paralelo, son en triángulo y en estrella.

- CONEXIÓN ESTRELLA:

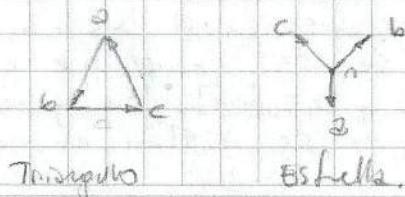
Se suprime los armónicos múltiples de 3 de la tensión.

Las corrientes de fase y líneas son iguales. La tensión de fase es menor que la de linea.



- CONEXIÓN TRIÁNGULO:

Ahora las tensiones de fase y línea son iguales. La corriente de fase es menor que la de linea.



Por ultimo, cuando se plantean dos transformadores en paralelo se deben cumplir algunos requisitos: Igualdad de Descarga, Igualdad de Índice Fluvial, Igualdad de Relaciones de Transformador, Igualdad de cortocircuito, e Igualdad de Potencias.

- CUBA DE ACEITE DEL TRANSFORMADOR.

La parte del núcleo y los devanados está sumergida en una cuba llena de aceite, para absorber el calor desprendido por el transformador y así refrigerarse de manera natural.

Cuando aumenta la potencia, la refrigeración es clave.

- Pequeña Potencia: Cuba simple (lisa)
- Distribución hasta 200 [kVA] tienen tuberías de refrigeración por convección,
- Distribución hasta 4000 [kVA] incorporan además radiadores.
- De mayor potencia tienen bombas para que circule el aceite. (Se lo denomina con refrigeración forzada) y con ventiladores.
- En Centrales Hidráulicas se suélle usar el agua para refrigerar el aceite.

• TAPA Y TERMINALES

Sobre la tapa de la cuba se encuentran los aisladores presentes donde están las salidas de AT y BT. También existe un tanque de expansión de aceite. Además por seguridad hay un tubo de escape de gases y aceite.

Otros elementos que se encuentran son: "comutador de Tensión" (permite variar la tensión ante una caída en las líneas de transmisión), "Relé Bucholtz" (protege sobre generación de gases), un termómetro y grifos y tapas.

* ENSAYOS DE TRANSFORMADORES

En la práctica resulta difícil la realización de ensayos reales directos por las razones, la gran cantidad de energía a disipar y que imposible disponer de cargas lo suficientemente grandes.

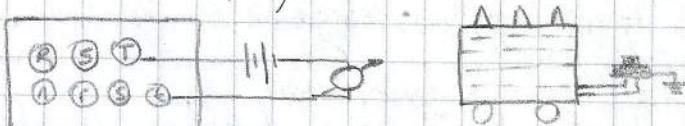
Afortunadamente se pueden realizar algunos ensayos basandose en el circuito equivalente. Los ensayos se dividen entre ensayos de rutina y ensayos de tipo. Estos últimos se le realizan solo a aquellos transformadores que dan los peores resultados en los ensayos de rutina.

- ENSAYOS DE RUTINA.

• DE AISLAMIENTO

Se mide, en este ensayo, la resistencia ohmica de los aislamientos de AT y BT. Para la medición se usa un megohmetro. Este instrumento cuenta con un magnetómetro capaz de generar una tensión de CC. de 500 [V].

Uno de los motivos de la perdida de aislación, es la penetración de aire húmedo dentro de la cuba del transformador, debido a que la silicona gel (gel de silice) se encuentre en mal estado y como consecuencia cambie la rigidez eléctrica del aceite provocando una pequeña continuidad.



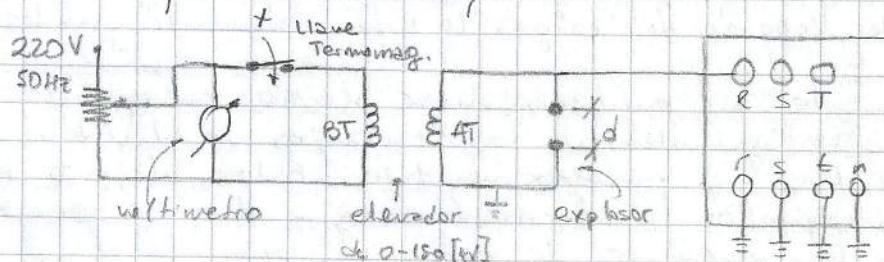
• DE TENSION APlicada

consiste en aplicar a un aislamiento una tensión fija por norma, estando los otros aislamientos y la cuba a masa. La norma exige mirar las tres fases de salida del transformador.

Si pongamos que queremos ensayar un transformador trifásico 13200/600/231, según la norma se le debe aplicar un voltaje eficaz de 34 [kV] en AT y 2,5 [kV] para BT. El ensayo consiste en dos partes, la calibración y el ensayo propiamente dicho.

Para la calibración, se dispone del conexionado del equipo. Se deben separar 16 [mm] las esferas y poner el cursor a 0 [V]. Vamos moviendo el cursor, que aumenta la tensión en el explosor hasta llegar a los 34 [kV] de tensión eficaz. En este punto se producirá un arco eléctrico entre las esferas. Debido a este arco, se genera una elevada corriente en el primario y el interruptor ferromagnético se cierra. Se activa. se abre.

Una vez realizada la calibración, se realiza el ensayo. Se separan las esferas más de 16 [mm] para que cuando apliquemos la tensión de 34 [kV] no se produzca el arco. Esta tensión de ensayo se la debe mantener durante 60 segundos, si no se produce el arco entonces se ha superado el ensayo.



• DE TENSIÓN INDUCIDA

Este ensayo consiste en aplicar una tensión igual al doble de la tensión normal sobre uno de los arrollamientos, estando el otro abierto. Surge un problema, al aumentar la tensión aumenta la inducción B y a corto plazo el transformador se quema. Para evitar este inconveniente la duración del ensayo debe ser muy breve.

$$E = 4,44 \cdot B \cdot S \cdot f \cdot N [V]$$

Como lo que necesitamos es el doble de E , en vez de aumentar B , aumentamos la frecuencia.

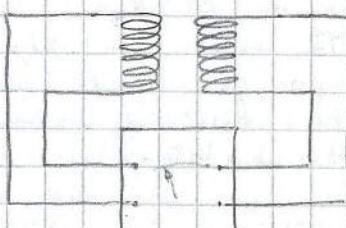
El tiempo del ensayo dura entre 40 y 60 segundos y se prueba la islaación entre los arrollamientos, galletas y capas.

• DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN.

El ensayo consiste en garantizar la relación de transformación, lo más lógico sería aplicar una tensión conocida en un arrollamiento y medir con un multímetro la tensión en el otro, pero eso no es práctico.

Lo que usaremos es un galvanómetro. Lo conectamos como se ve en la figura y lo ajustamos al valor esperado de I_t , cuando la aguja del dispositivo muerde cero en las resistencias nos dará exactamente el valor de I_t .

Se debe hacer para todas las fases y derivaciones del transformador.



galvanómetro.

• DE RESISTENCIA ÓPTICA DE LOS ARROLLAMIENTOS.

Este ensayo se realiza para determinar el aumento de la resistencia de los devanados en función de la temperatura. Se usa un puente de Wheatstone para resistencias mayores a $1 [M\Omega]$, caso contrario se usa un puente de Kelvin. El ensayo permite determinar perdidas por efecto Joule y pelicular. Ideas de lo dicho anteriormente.

El ensayo consiste en medir la resistancia en frío (R_f) y luego en caliente (R_c) entre los devanados y el cambio de temperatura ΔT .

$$\Delta T = \frac{R_c (234,5 + t_f)}{R_f} - 234,5 \quad (\text{Norma: } \Delta T = 65^\circ C)$$

Clase A

• DE PERDIDAS (En el cobre y en el Hierro)

ENSAYO EN VACIO

Aquí se pueden ver las perdidas en el Hierro. Mediante este método podemos determinar la corriente de vacío I_0 (medida por el ampmímetro), las perdidas en el vacío P_0 y la relación de transformación (cociente entre V_{1m} y V_{2o})

El valor de las perdidas será:

$$P_0 = V_{1m} I_0 \cos \varphi_0$$

En general las pruebas en vacío se realizan alimentando por BT, pues su rango de tensión de régimen coincide con el de los dispositivos de medición. Además es más seguro.

ENSAYO EN CORTOCIRCUITO

Con este ensayo se determinan las perdidas en el cobre.

Es similar al anterior, sólo que el otro dispositivo está en cortocircuito en lugar de abierto. Se aplica una tensión al primario que se va elevando desde cero hasta un valor tal que circula por los devanados la corriente nominal (plena carga).

Las perdidas serán:

$$P_{cc} = V_{cc} \cdot I_{in} \cos \varphi_{cc}$$

En la práctica se alimenta el devanado de AT, haciendo de este forma que el cociente de medir en el primario sea de un valor razonable. Al mismo tiempo que la tensión de alimentación crece, todo lo que parte de la nominal estará comprendido dentro de las escalas de los instrumentos.

• DE RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE.

La disminución de la rigidez dielectrica del aceite puede poner fuera de servicio al transformador. El ensayo consiste en tomar una muestra de aceite y colocarlo en un recipiente con dos electrodos semiesféricos separados una distancia determinada y alimentados por una fuente de tensiones.

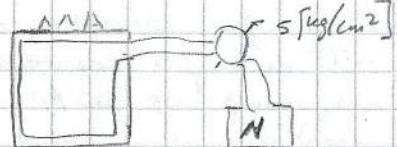
Por medio de un reostato se varía la tensión hasta que se rompe el dielectrico del aceite (a los 48 [kV]). Los pruebas se realizan 5 veces dejando lo reposar entre ensayos. El promedio debe dar 50 [kV] para que se considere apto como aislante.



Al aceite (mineral) se le pueden medir otras características también, como su acidez, punto de inflamación, viscosidad, etc.

• DE HERMETICIDAD.

Sirve para verificar la ausencia de pérdidas de la cuba del transformador. Para realizar el ensayo se aplica nitrógeno con una presión de $0,5 \text{ kg/cm}^2$ y se analiza que el nivel de aceite no haya cambiado.



• DE RUIDO

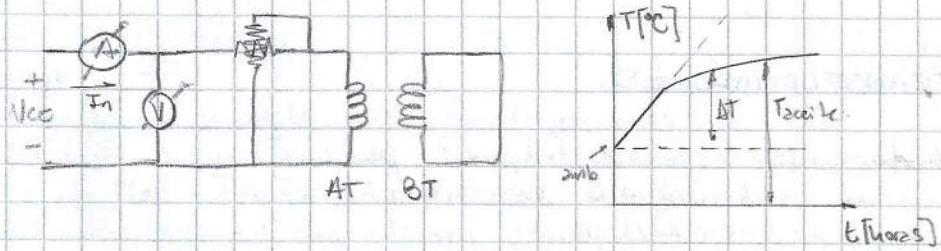
Es necesario que el transformador no supere los 58 dB de ruido.

- ENSAYOS DE TIPO

• DECALENTAMIENTO.

Aca determinamos si en régimen permanente el transformador mantiene la temperatura específica. Realizamos la medición del aceite con un termómetro fijado a la base de la cuba.

La diferencia de temperatura entre el aceite y el ambiente no debe superar los 60°C (55°C si no tiene tanque de expansión)



Del gráfico podemos analizar que después de haber puesto el aceite y haber funcionado un tiempo, la temp del aceite es igual a la sub. Luego vemos que aumente hasta estabilizarse. El ΔT debe ser menor que 60°C para evitar la reducción de la vida útil del transformador.

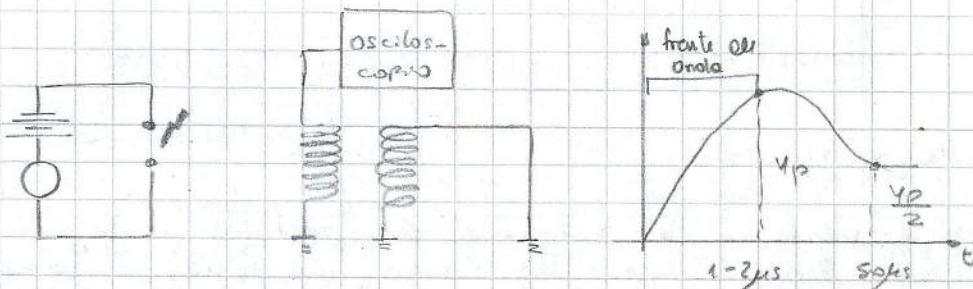
$$\Delta T_{máximo} = \frac{R_c(234,5 - t_f)}{R_f} - 234,5$$

El salto térmico de los aislamientos no debe superar los 65°C para la clase A.

También se puede analizar R_c en función del tiempo. Para ello conectamos el transformador a $500-700 \text{ V}$ durante un tiempo y mediante un puente medimos R_c .

• DE IMPULSO

Con este ensayo verificamos la calidad del eléctrico del aceite, sometiendo el transformador a una descarga atmosférica (rayo) simulada en el laboratorio.



con el transformador conectado como se muestra, se aplica una onda que cumple con lo mostrado en el gráfico.

El ensayo se realiza con una onda reducida y 2 veces con una onda al 100%.

* OTROS TIPOS DE TRANSFORMADORES.

- TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN

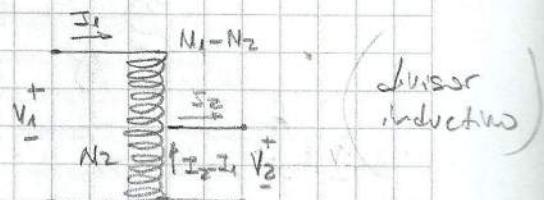
Así se llaman generalmente a los transformadores de potencias iguales o menores a 500 [kVA] y de tensiones menores o iguales a 67000 [V] tanto monofásicos como trifásicos. La mayoría están diseñados para montajes sobre postes, aunque algunos superiores a 18 [kV] se construyen para montarlos sobre plataformas. Las aplicaciones típicas son alimentación para granjas, residencias, edificios, etc.

- AUTOTRANSFORMADORES.

Es un transformador especial formado por un devanado único continuo que se utiliza a la vez como primario y secundario, por lo que las tensiones de entrada y salida no están aisladas entre sí.

A diferencia de un transformador, un autotransformador transfiere energía entre los dos circuitos, en parte por acoplamiento magnético y en parte por conexión eléctrica directa.

$$\text{También de cumplir que: } \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$



La potencia de paso (P_d) y la potencia propia (P_i) son:

$$P_d = U_2 I_2 ; \quad P_i = U_2 (I_2 - I_1) \therefore \text{Ahora sabiendo que: } \frac{I_1}{I_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

$$\frac{P_i}{P_d} \approx \frac{U_2 (I_2 - I_1)}{U_2 I_2} = \frac{I_2 - I_1}{I_2} = 1 - \frac{I_1}{I_2} = 1 - \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_1 - V_2}{V_1}$$

Entonces, la relación entre la potencia interna (P_i) y la de paso (P_d) es igual a la relación de tensión ($V_1 - V_2$) y la mayor de ellas (V_1).

- VENTAJAS: Menor peso, debido a tener solo un devanado y por lo tanto una menor cantidad de núcleo lo que reduce el peso de hierro. Esto último también disminuye las perdidas y aumenta el rendimiento.
- DESVENTAJAS: 2 inconvenientes. Primero presenta menor resistencia y reactancia por la reducida numero de espiras, lo que resulta en un valor bajo de U_{AC} y en el caso de falla de cortocircuito genera una corriente muy alta. Segundo, presenta un borne común a la AT y a BT, lo que lo hace peligroso cuando existen grandes diferencias entre ambos.

- TRANSFORMADORES DE MEDICIÓN

Este tipo de transformadores son ampliamente usados en los circuitos eléctricos de potencia y sirven para aislar dichos circuitos de los instrumentos de medida, los cuales funcionan generalmente con tensiones y corrientes reducidas. Los hay de tensión (reducen grandes tensiones a 100 [V] CA) y de corriente (12 [A]CA a 5 [A]CA).

◦ DE TENSIÓN

Se conecta en paralelo, para transformadores monofásicos y trifásicos. A diferencia de los transformadores de potencia, debido a la alta impedancia de la carga, el transformador funciona así en vacío y de este forma la caída de tensión interna es muy pequeña.

A demás en borne de secundario debe conectarse a tierra para prevenir el contacto accidental del primario y del secundario.

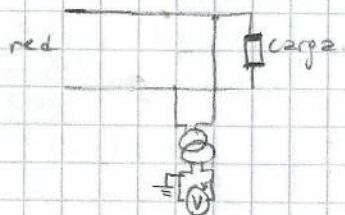
Están normalizadas las tensiones del primario entre 110 y 396000 [V] y del secundario en 110 [V].

Existen dos tipos de errores, el error de relación o de tensión y el error de fase.

En el error de relación se indica la desviación porcentual de la tensión real existente en el secundario U_2 con respecto a la que debería existir si el transformador fuera ideal, U_{2n} .

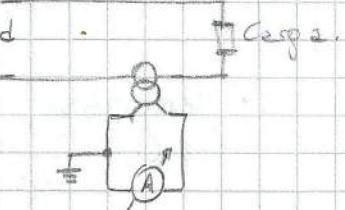
$$\Delta U [\%] = \frac{U_2 - U_{2n}}{U_{2n}} \times 100$$

Error de fase es la diferencia de fase existente entre U_1 y U_2 . Este error tiene importancia a la hora de medir energía. No puede ser compensado, el margen de error lo da el fabricante.



• DE INTENSIDAD

Se conectan en serie con la carga. Debido a la baja impedancia de los circuitos de medición, los transformadores de intensidad trabajan prácticamente en cortocircuito.



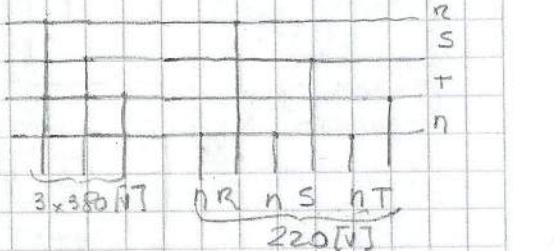
El circuito primario tiene pocas espiras y está formado por una corriente constante, inversa que cada bobinado secundario (puede tener hasta 3) se compone de un alto numero de espiras. La corriente de carga lo fija el primario y no la carga misma, por lo que se independiza de la misma.

El secundario nunca debe dejarse a circuito abierto, esto que se generaría una peligrosa tensión en el primario. Para cambiar los instrumentos se debe cortocircuitar permanentemente el secundario de medición ó desenergizar el sistema.

UNIDAD 9: INSTALACIONES ELECTRICAS

* INSTALACIONES ELECTRICAS EN INMUEBLES

En nuestro país las redes de baja tensión son trifásicas (fases R, S, T y un neutro n). En donde entre cada una de las fases hay 380 [V] y entre estas y el neutro 220[V].

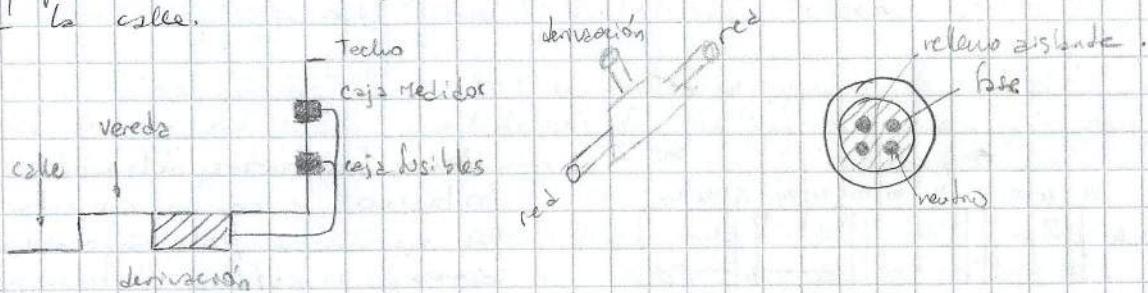


En zonas pobladas se emplea la distribución tetrafilar aérea, que puede ser de los tipos: pre-ensamblado (conductores aislados) y trenzados entre sí) o los conductores al aire (conductores desnudos pero separados entre sí). Ambos se sostienen por postes de madera u hormigón.

En los barrios, los conductores parten desde estas líneas hasta un caño (bajadas) a cada vivienda y de ahí a un medidor para ingresar después a la propiedad privada.

En el centro, en cambio la linea municipal corre bajo tierra (en preensamblados) y de ella se conectan "derivaciones" para poder ingresar a la propiedad, previo paso por la pared del edificio,

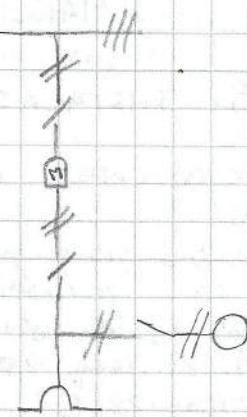
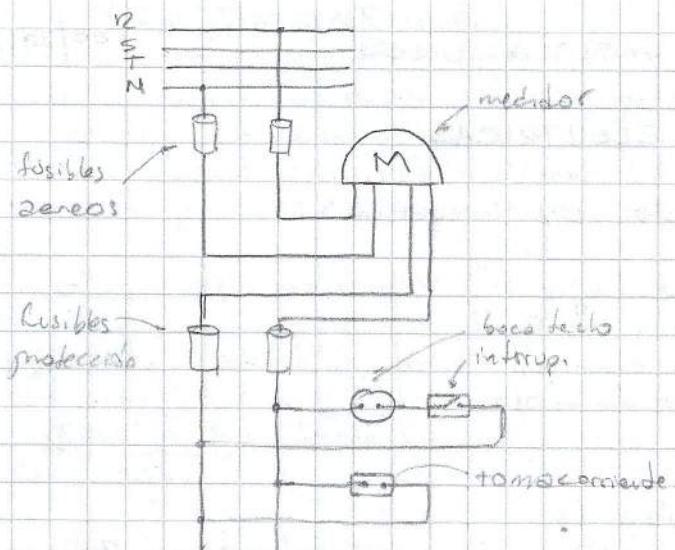
y por el medidor y susibles, los cuales deben ser accesibles desde la calle.



Después de los fusibles viene la instalación eléctrica propiamente dicha. A partir de este punto las línes se bifurca en los denominados "circuitos de instalación" que no son otra cosa que bifurcaciones hechas en la propia vivienda para evitar que ante la falla de uno, el resto se quede sin energía.

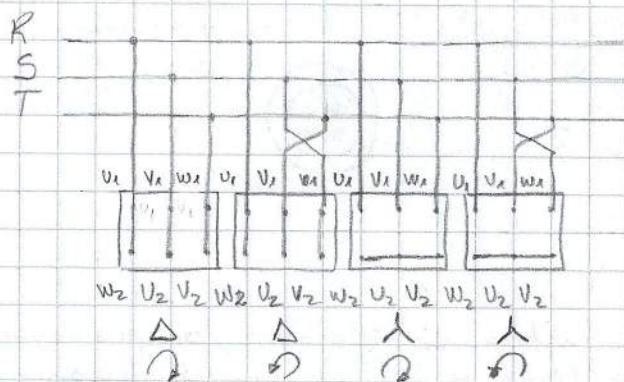
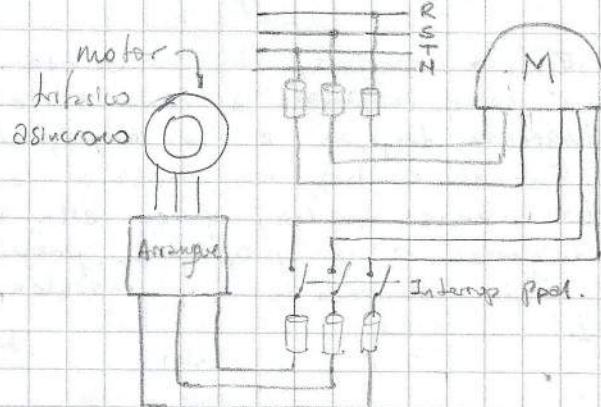
Los conductores dentro de la vivienda vienen dentro de caños de chapa o plástico corrugado, que están embutidos en la pared. El neutro por lo general es puesto para cerrar el circuito y la fase es usada para conectar en ella los interruptores.

Los planos de una instalación no usan perspectivas pero deben ser lo suficientemente claros como para permitir la ejecución de la obra. Los caños para cables son dibujados como líneas rectas que unen dos elementos de la instalación y es el intérprete el responsable de elegir el mejor camino para la conexión. Con líneas de puntos se marca la conexión desde el medidor al tablero principal.



- INSTALACION ELECTRICA ELEMENTAL DE FUERZA MOTRIZ.

En este tipo de instalaciones que ejecutan un motor o carga trifásica, se presenta un esquema como el mostrado. Vemos los conductores de trifásica pasan los fusibles: serieos, la llave principal, el medidor y los fusibles de protección.



Vemos los bornes del motor trifásico y como conectar los mismos para lograr una conexión estrella ó triángulo y como generar un sentido de sentido de giro.

* PROYECTO DE UNA INSTALACION

Para la ejecución de una instalación eléctrica debemos tener en cuenta dos cosas: material para obra y su costo total.

Con respecto a la cantidad de bocas y tomas que deben hacerse, dependerá del tamaño y si es lujo o no la vivienda.

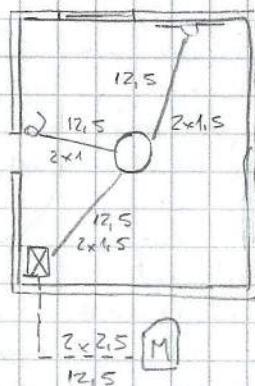
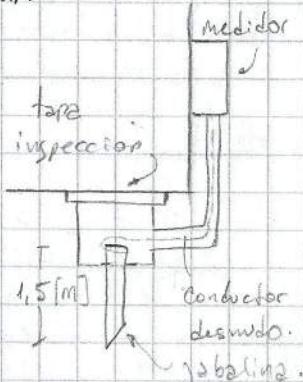
Para grandes instalaciones debemos recurrir a la ingeniería.

- PARA UNA VIVIENDA

Para comenzar el proyecto en una vivienda solo basta tener los planos de la misma ejecutados según las normas vigentes. Además debemos tener en cuenta la cantidad de personas que van a habitar la propiedad y su estilo de vida, para calcular los consumos adecuados.

El proyecto lo podemos dividir en:

- 1) Colocación de tocas: cantidad y distribución.
- 2) Trazado de cañerías.
- 3) Dimensionamiento de los conductores y caños: calcular el diámetro de los cables en función de la potencia consumida.



- PARA UNA FÁBRICA

Son válidos los procedimientos para la instalación de una vivienda, pero existen algunas consideraciones técnicas.

Las fábricas por lo general son alimentadas por media tensión. Deben contar también, por norma con un transformador en baño de aceite de una potencia de 250 [kVA].

La subestación transformadora (SET) que no es otra cosa que un conjunto de equipos destinados a recibir la energía en media tensión proveniente de un suministro de energía y transformarla en otras más adecuadas para la distribución local.

A escasos metros de la SET se sitúa el punto de medición, se trata de una celda con medidores de potencia activa y reactiva por fase y por banda horaria.

Debajo de la SET y una profundidad de medio metro aproximadamente se encuentra la malla de puesta a tierra. La misma se encuentra en una cámara subterránea debajo de hierro negro compactado y hormigón, el cual conforma el concreto. La malla está conformada con un conductor de cobre de 50 [mm²] de sección unidos con soldadura formando una cuadrícula de 50 [cm] por lado. También sobre la malla se disponen dispersores tipo Cooperweld.

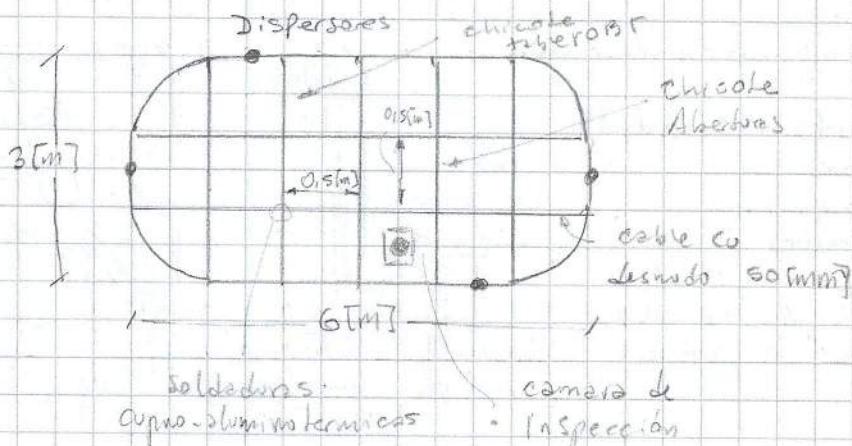
• CALCULO DE UNA MALLA DE PUESTA A TIERRA.

Para calcular una malla de puesta a tierra se deben tener con algunos datos como lo son la potencia de cortocircuito, la tensión nominal, la superficie de la malla, dimensiones y características eléctricas del conductor, entre otros.

Debemos determinar los siguientes valores:

- Corriente de Cortocircuito: I_{cc}
- Resist. de Dispersores: R_i
- Resistencia de Malla: R_m
- R. malla (disp y malla): R_w

- Resist. de Contacto: R_c
- Tension de contacto: U_b
- Corrientes a evadir (malla y disp.): I_m, I_d
- Tension de Paso: U_s .



* CONTACTORES ELECTROMAGNETICOS

El contactor es un dispositivo electromagnético de acero controlado por un electroimán. Cuando energizamos el contactor, la bobina del electroimán se pone bajo tensión, generando un campo de inducción que atrae un contacto metálico produciéndose el cierre del circuito. Cuando la bobina se desenergiza, el contacto metálico vuelve a su posición original (es decir, el contactor se abre) ya sea por gravedad o por acción de resortes.

- ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Las partes más importantes del contactor son la carcasa, los contactos y el circuito electromagnético, siendo este último el alma del aparato.

• CARCASA

Se conforma de la base y la caja apagachispas. La cámara a paga chispas es necesaria porque cuando la bobina del electroimán se desenergiza se producen chispas entre los contactos pudiendo ser peligroso si se trabaja con corriente alta. La base es donde va apoyado el elemento, puede colocarse en un riel DIN (35mm) o atornillarlo.

• CIRCUITO ELECTROMAGNETICO

Es la parte del contactor destinada a transformar la energía eléctrica en magnética. Se compone de la bobina del electroimán, el núcleo y la armadura.

La bobina es el elemento que al ponerlo bajo tensión, crea un campo magnético muy intenso capaz de atrapar el contacto (armadura) venciendo las fuerzas de los resortes que lo mantienen en estado de reposo.

El n úcleo es el material ferromagn tico sujeto a la carcasa, cuyo objetivo es el de aumentar la intensidad del campo generado por la bobina. Tambi en sostiene las llamadas "espiras de sombra" cuya finalidad es mantener el contacto cerrado suministrando un flujo magn tico constante, cuando el flujo del campo generado por la bobina sea por cero.

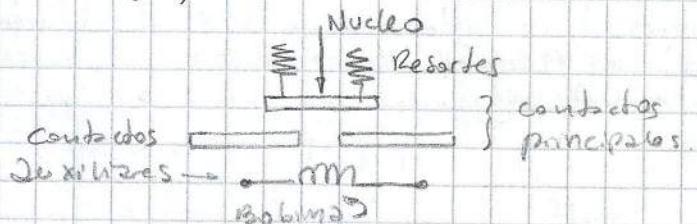
La armadura es el elemento met lico que cierra el circuito. Los resortes de la armadura deben ser lo suficientemente buenos como para abrir el contacto en cuesti n de milisegundos.

• CONTACTOS

Son los encargados de establecer o interrumpir el paso de la corriente. constan de dos partes: las fijas (situadas en el n ucleo) y las móviles (situadas en la armadura).

Adem s los contactos pueden ser principales o auxiliares. Los principales est n destinados a cerrar el circuito por el cual va a circular la corriente de un valor elevado.

Los auxiliares son los que alimentan la bobina del electroimán (circuit o de mando) por lo que est n diseñados para separar corrientes débiles. Hay dos tipos de contactos auxiliares: Normal Abierto (NA) y normal cerrado (NC).



- VENTAJAS Y ELECCIÓN DE CONTACTORES.

Entre las ventajas se puede mencionar:

- Control y automatizaciones de procesos (por ej. puertas/motor)
- Mando a distancia
- Seguridad del personal.

Para la elección de un contactor debemos tener en cuenta:

- Tipo de V, I y f de la señal de alimentación de la bobina del electroimán.
- Condiciones de uso: livianas ó extremas.
- Frecuencia de maniobras y robustez mecánica.
- Número de contactos auxiliares.
- Posición de funcionamiento (vertical/horizontal)

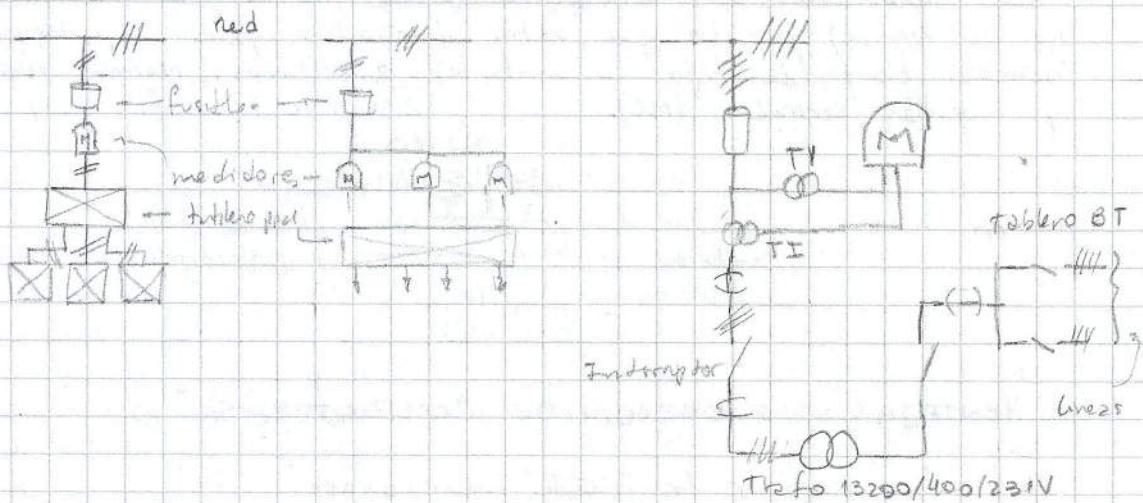
* CONSIDERACIONES ADICIONALES EN UNA VIVIENDA.

- CIRCUITOS ELECTRICOS.

Los circuitos electricos son derivaciones conectadas con sus respectivas protecciones, destinadas a que el resto de los circuitos sigan en servicio cuando se produzca una falla en alguno de ellos.

Cada circuito es conectado con una llave termomagnetica cuya funcion es la de dejar fuera de servicio al mismo si se produce una alguna falla. En la actualidad se disponen de Disyuntores Diferenciales que dejan sin corriente a todo la vivienda ante una eventual falla. Los disyuntores pueden ser de los tipos: una sola unidad con varios circuitos ó varias unidades independientes de una vivienda colectiva. Estos últimos sirven para facturar individualmente cada consumo.

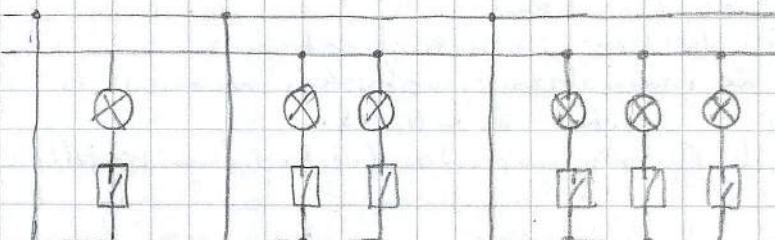
Detallando la conexión en edificios, por lo general hay una habitación destinada al transformador reductor. Del mismo salen conductores para el medidor principal y de ahí se realizan derivaciones individuales para cada departamento. Un circuito adicional es el encargado de llevar energía a ascensores, bombas y demás elementos del edificio.



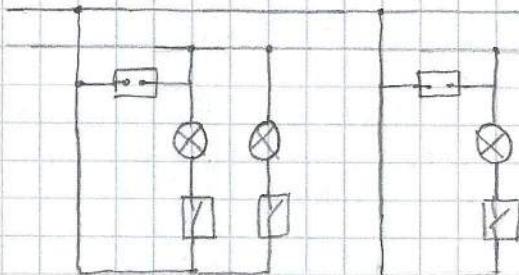
- CIRCUITOS SECUNDARIO

Estos circuitos son los utilizados en una habitación dentro de una vivienda.

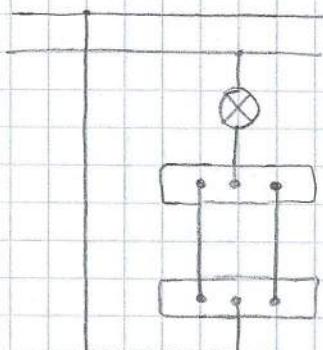
- Circuito con llaves de uno, dos y tres puntos.



- Combinaciones de Circuitos con Llave de un Punto y Toma.

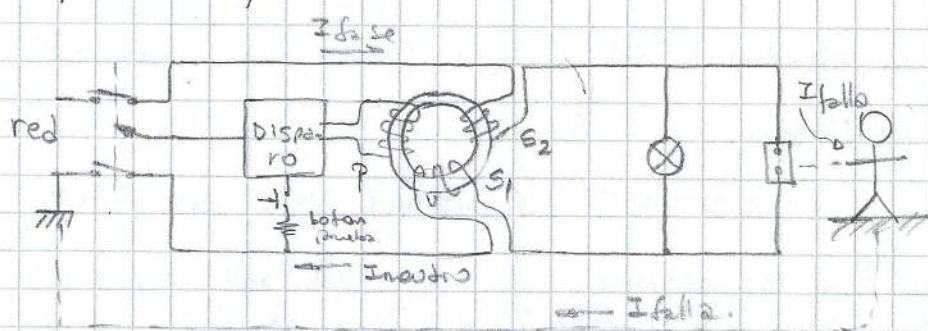


- Llave tipo escalera:



- Protección DIFERENCIAL DE LAS VIVIENDAS

Esta protección es la que se muestra en la figura. Tiene dos estados: Activado o Desactivado. Además cuenta con un botón de prueba para verificar su correcto funcionamiento.



- NO ACTIVADO: Una corriente I_c determinada circula por la bobina S_2 y va hacia la carga, de ahí retorna por la bobina S_1 hacia la fuente (I_n). Los corrientes son iguales ($I_c = I_n$) y reconocen ambos bobinados S_1 y S_2 , los cuales están diseñados de tal forma que al ser iguales no permite la creación de un flujo en el norte y por ende en el otro bobinado P no se induce ninguna corriente.

- ACTIVADO: Si por ejemplo, una persona toca la fase mientras también este tocando el suelo también, parte de la corriente I_c se deriva por la persona y regresa a la fuente sin pasar por S_1 . En ese momento los bobinados

S_2 y si no son recomendadas por la misma corriente, lo que
ocasionará la creación de un flujo que inducirá una
corriente par P. Esta corriente activa un mecanismo
que corta el suministro de energía a todo la vivienda.

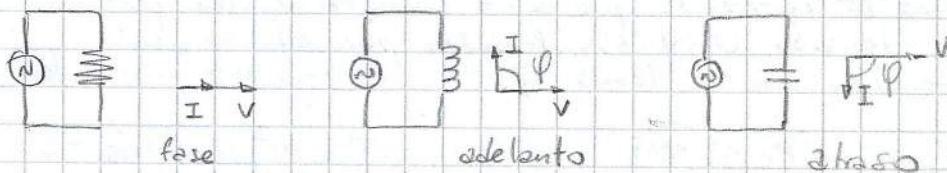
MAQUINAS E INSTALACIONES

UNIDAD 10: FACTOR DE POTENCIA

* INTRODUCCIÓN

La corriente generada en un circuito al que se le aplica una tensión de alterna, posee similares características (frecuencia, forma de onda, etc) a las de esta última, aunque no siempre están en fase.

A saber, cuando existe una carga resistiva la tensión y la corriente están en fase. Ahora si la carga es inductiva para la corriente adelanta 90° a la tensión, por el contrario si la carga es capacitiva para la corriente retrasa respecto a la tensión 90° .



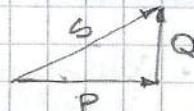
En un circuito genérico alimentado con alterna, la corriente tiene un desfasaje con respecto a la tensión, que llamamos φ

En cuanto al análisis de las potencias en alternas podemos graficarlas en el triángulo de potencias.

$$\text{Aparente: } S = V \cdot I \text{ [VA]}$$

$$\text{Activa: } P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \text{ [W]}$$

$$\text{Reactiva: } Q = V \cdot I \cdot \operatorname{sen} \varphi \text{ [VAR]}$$



Por último se define como factor de potencia al coseno del ángulo φ .

$$F.P. = \cos \varphi \quad (\text{Ideal} = 1)$$

- EFECTOS DEL FACTOR DE POTENCIA

A los efectos del factor de potencia los podemos encontrar en 4 lugares de la red de energía eléctrica.

- CENTRALES ELECTRICAS: Perjudica al rendimiento el desfase entre V e I .

La corriente I_w debilita el campo magnético de los alternadores, lo cual hace que disminuya la tensión generada. Para corregir esto se debe aumentar la corriente de excitación del generador. Pero esta corriente está limitada por el número de arcos laminados y por la temperatura. Si mantenemos constante I , y aumentamos φ , disminuye P .

- ESTACIONES TRANSFORMADORAS: Ideales a centrales.



- **REDES DE TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN:** Aquí la potencia de perdida es proporcional al cuadrado de la corriente total. Si empeora el $\cos \varphi$, para mantener la misma I_p necesitamos mayor corriente aparente, con el consecuente aumento de perdidas y de la caída de tensión.
- **CLIENTES:** Los clientes al conectar cargas inductivas a la red contribuyen a desmejorar el factor de potencia. Esto limita la potencia de los alternadores, aumentan las perdidas en las líneas de transmisión y la caída de tensión. Por esto es que se exige un factor de potencia mínimo de 0,95 a las conexiones de los clientes.

- IMPORTANCIA DEL FACTOR DE POTENCIA.

Analizamos la corriente que debe transportar una potencia activa P con una tensión U y sus perdidas por efecto Joule y la caída de tensión en la linea U_p .

$$I = \frac{P}{U \cos \varphi} ; P_{Joule} = r I^2 = r \left(\frac{P}{U \cos \varphi} \right)^2 = r \frac{P^2}{U^2 \cos^2 \varphi} ; U_p = r I = \frac{r P}{U \cos \varphi}$$

Tenemos que al aumentar el $\cos \varphi$ disminuyen las perdidas por efecto Joule y la caída de tensión en la linea, podiendo ser ésta de menor sección y más económica.

• CONSECUENCIAS DE TENER UN $\cos \varphi$ Bajo.

CLIENTE

Empresa

- Deficiente uso de líneas de transmisión
- Deficiente uso de generadores y transformadores
- Deficiente uso de fuentes primarias de ener.

Proyecto Instalación

- Gran sección de conductores
- Transformadores de altim. de mayor potencia
- Aumento de la pot compra da

Instalación realizada

- Aumenta perdidas en los conductores
- Aumenta caída de V y disminuye rendim.
- Baja V en aparatos elec.
- Aumenta costos energía.

• CONSECUENCIAS DE TENER UN $\cos \varphi$ ALTO

- Mejora el suministro de tensión nominal
- Mejora la regulación de tensión de transformadores y generadores.
- Permite la obtención de la tensión nominal de los mismos
- Libre potencia de los mismos, permitiendo soportar mayores sobrecargas
- Disminuye los costos.



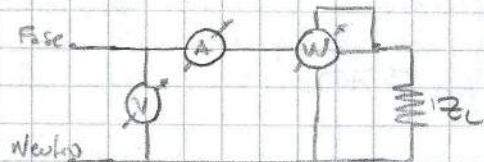
* MEDICIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA.

El problema para hallar el $\cos \varphi$ se reduce a la obtención de la potencia activa y la potencia aparente, para luego realizar el cociente.

- MEDICIÓN EN CARGAS MONOFÁSICAS.

Se entiende por carga monofásica a la que se conecta entre fase y neutro, o entre dos fases cualesquiera de un red de distribución.

A partir del esquema de medición podemos calcular el $\cos \varphi$.

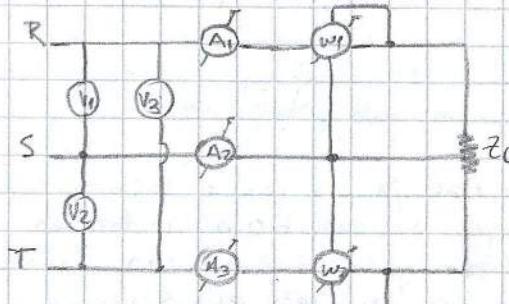


$$\cos \varphi = \frac{W}{V \cdot A}$$

W — P. activa
V · A — P. aparente.

- MEDICIÓN EN CARGAS TRIFÁSICAS

- TRIÁNGULO: En los sistemas de distribución en triángulo usamos el método de los dos wattímetros, siempre y cuando la carga sea equilibrada. Entonces se cumple que $\cos \varphi = 1$ cuando $w_1 = w_2$.



$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sqrt{3}}{(w_1 + w_2)} (w_1 - w_2); \quad w_1 + w_2 = P_i$$

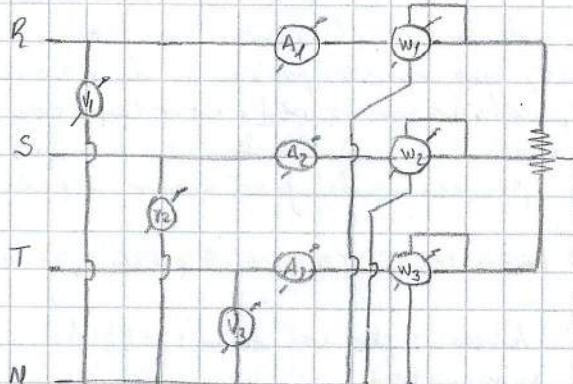
$$(w_1 + w_2) \operatorname{tg} \varphi = P \cdot \operatorname{tg} \varphi = Q = \sqrt{3} (w_1 - w_2)$$

- ESTRELLA: En los sistemas de distribución estrella la fórmula para hallar $\cos \varphi$ es:

$$\cos \varphi = \frac{w_1 + w_2 + w_3}{3 V \cdot A} \text{ donde}$$

$$V = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3} \quad \wedge \quad A = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{3}$$

No es necesario el uso de nuevos instrumentos, bastan 3 uno de cada tipo.



* PROCEDIMIENTOS PARA MEJORAR EL FACTOR DE POTENCIA.

Podemos dividir a los procedimientos en dos grupos: DIRECTOS, que son los que actúan directamente sobre las causas que generan el bajo factor de potencia e INDIRECTOS que compensan la energía reactiva con la instalación de elementos productores de esa energía.

A los dispositivos usados para compensar también podemos dividirlos en dos grupos: GIRATORIOS (o sincronos) que son máquinas sincronas giratorias con un régimen de funcionamiento especial; y ESTÁTICOS, conformados por baterías de condensadores.

	Compensador Síncrono	Compensador Estático
Descripción	Maq. síncronas giratorias	Bat. de compensadores.
Precio por kVA	disminuye a mayor potencia instalada	constante, independiente de la potencia.
Regulación de Q (potencia reactiva)	fácil y progresiva	Ni fácil, ni progresiva.
Absorción de P.	apreciable	Pequeña
Instalación y mant.	costoso	Barato y fácil

- MÉTODOS DE COMPENSACIÓN:

- COMPENSADORES SÍNCRONOS: compensa $\cos\phi$ y regula V.

Se trata de un motor síncrono que trabaja en vacío (sin carga). La corriente en su devanado de campo se controla a través de un regulador de tensión, de forma que la máquina genera y consume potencia reactiva según lo requiere el sistema. Cuando están sobreexcitados, es decir cuando la tensión a bornes es mayor que la de la red, estos motores absorben energía activa y proporcionan energía reactiva, caso contrario la entregan.

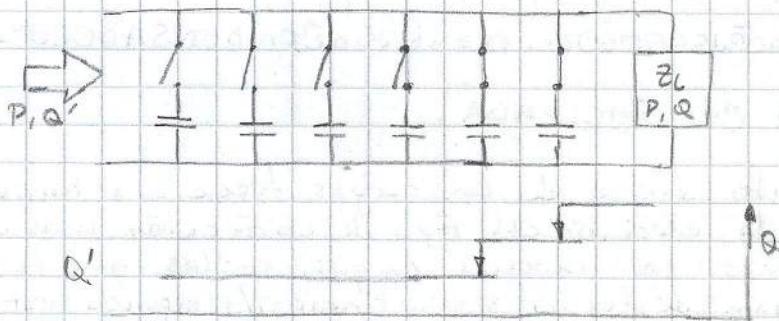
Algunas ventajas son su regulación de tensión de forma continua sin transitorios, no produce armónicos, no causa problemas de resonancia y en caso de caída de tensión por fallo de la red son capaces de proporcionar corriente de cortocircuito durante un tiempo limitado, facilitando el ajuste de protectores por sobre corriente.

- CAPACITORES DE POTENCIA EN PARALELO comp. $\cos\phi$ y disminuye pérdidas

Se los usa en media, bajas y altas tensiones. Se los conecta en forma rápida ó se los conecta en forma automática.

Cuando deseamos que la energía reactiva generada por los condensadores se adapte a una carga variable, es normal encontrar baterías de condensadores divididas en varias escalones de generación gobernadas por elementos mecánicos como interruptores.

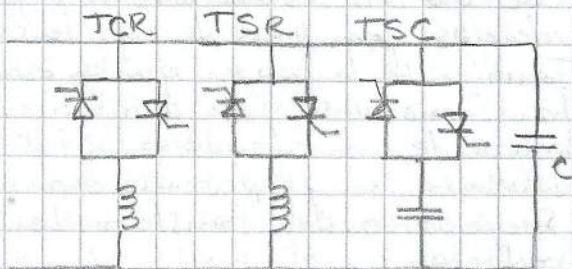
Sin embargo, y a pesar de su sencillez la división en escalones tiene algunos inconvenientes: la capacidad de adaptación depende del numero de escalones (que suelen ser pocos), la corriente de conexión de una batería de condensadores puede alcanzar valores elevados y la utilización de elementos mecánicos significa una limitación en cuanto a velocidad de actuación y vida útil.



• COMPENSADORES ESTÁTICOS DE ENERGÍA REACTIVA A TRANSDUCTOR

Cuando la carga es variable podemos, mediante llaves regulares la compensación de una batería de condensadores para adaptarla a la carga. Sin embargo con la introducción de la electrónica de potencia surgió el concepto de COMPENSADOR ESTÁTICO DE POT. REACTIVA. Cuyo funcionamiento se basa en la utilización de tiristores conjuntamente con condensadores y bobinas para absorber o entregar potencia reactiva. Se llama estático por no poseer ninguna parte móvil.

Consiste en un paralelo formado por un condensador controlado por tiristores (TSC) y una bobina controlada (TSR) ó controlada (TCR) por tiristores; cuya capacidad e inductancia puede ajustarse para controlar la tensión y el intercambio de pot. Reactiva en sus terminales. Idealmente este sistema podría entregar y absorber energía infinita con una tensión, siempre constante en sus terminales, es decir la gráfica V-I sería una linea recta horizontal. Además no tendría perdidas y su respuesta es inmediata. Se puede lograr $\cos \phi = 1$.



• CAPACITORES ESTÁTICOS CONECTADOS EN SERIE.

Usados para la regulación en baja, media, alta y muy alta tensión. Sus propiedades son:

- Regulación automática y continua, y su respuesta a las variaciones de la red es instantánea.
- Aumenta la potencia de transporte en líneas de transmisión. Buena solución en líneas de media tensión.
- En cargas inductivas consiguen disminuir el efecto parpadear.

- COMPENSADORES ELECTRÓNICOS DE POTENCIA REACTIVA EN MEDIA TENSIÓN.

Usa tiristores para el control continuo de la corriente que circula por la reactancia en paralelo con condensadores. El conjunto reactancia-condensadores-carga puede suministrar potencia reactiva.

Usados para la compensación en instalaciones industriales, reducen el flicker (parpadeo) y para regulación de líneas de gran longitud.

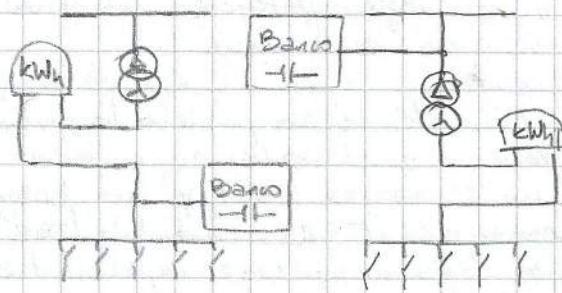
- SISTEMAS DE INSTALACIÓN DE LOS CONDENSADORES.

- COMPENSACIÓN CENTRALIZADA.

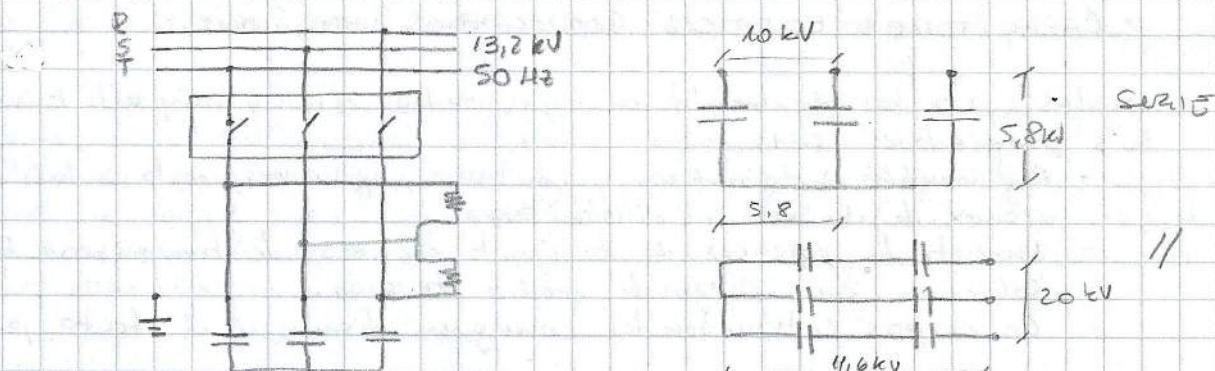
El comportamiento diario de las cargas tiene una imperfección fundamental para la elección del tipo de corrección más conveniente. En instalaciones con muchas cargas, en las que todos sus elementos funcionan de forma simultánea y/o algunos están conectados solo unas pocas horas al día, es evidente que la solución de la conexión distribuida resulta demasiado costosa, quedando durante largos períodos inutilizados muchos de los condensadores instalados. El uso de una batería conectada permanentemente solo es posible si la absorción de energía reactiva es lo suficientemente regular durante todo el día. Por lo tanto, el uso de un único sistema de corrección en el punto inicial de la instalación permite reducir notablemente la suma de las potencias de los condensadores instalados.

Se usa en instalaciones de pequeñas potencias y en líneas de baja tensión.

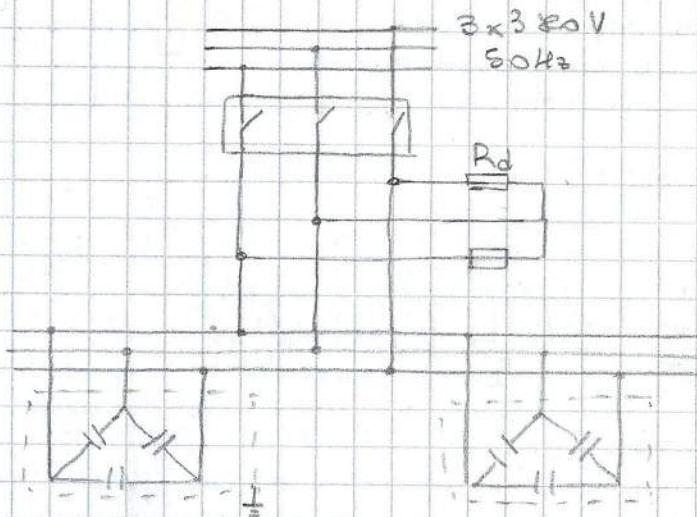
También se le usa en grandes estaciones transformadoras y de distribución. La batería de condensadores puede colocarse en el primario o en el secundario del transformador reductor.



En el primario, es decir en el lado de AT, se los coloca en estrella y con una instalación con varios elementos en serie o en paralelo según la tensión instalada supere o no respectivamente los 6 [kV]. Se los instala en una celda propia o de interpenetración y en algunos casos se los conecta a las barras colectoras de alta tensión.



En el secundario, es decir en el lado de BT, la colocación del banco es en triángulo y sujetos a las barras colectoras de baja tensión.



En ambos casos se usa protección contra cortocircuitos, fusibles de acción retrasada y calibrados a 1,5 veces la corriente del condensador. Los recipientes de estos deben estar conectados a tierra.

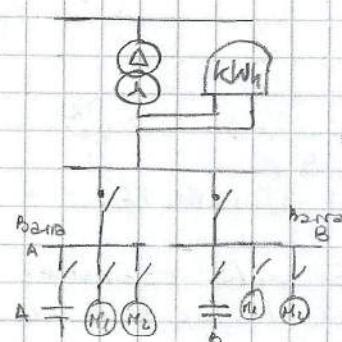
La principal desventaja es que las líneas de distribución de la instalación después del dispositivo de conexión deben estar dimensionadas teniendo en cuenta la tasa de absorción de la potencia reactiva absorbida por las cargas.

* COMPENSACION POR GRUPOS

Consiste en conectar localmente grupos de cargas con características de funcionamiento similares mediante la instalación de una batería de condensadores. Este método se encuentra a medio camino entre la solución económica y el correcto servicio de la instalación, ya que los beneficios de la corrección afectan solo a las líneas que están antes del punto en el que se encuentra instalada la batería de condensadores.

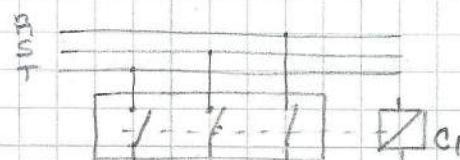
En la figura se muestra una instalación donde la función de la batería A es la de compensar la barra A y B hace lo propio con su barra. Se instala una resistencia de descarga ligeramente conectada con los condensadores para asegurar la descarga a tensiones menores de 80 V en 60 segundos, aunque existen instalaciones especiales que requieren resistencias de descarga rápida.

La instalación puede ser o no con resistencia de ataque:



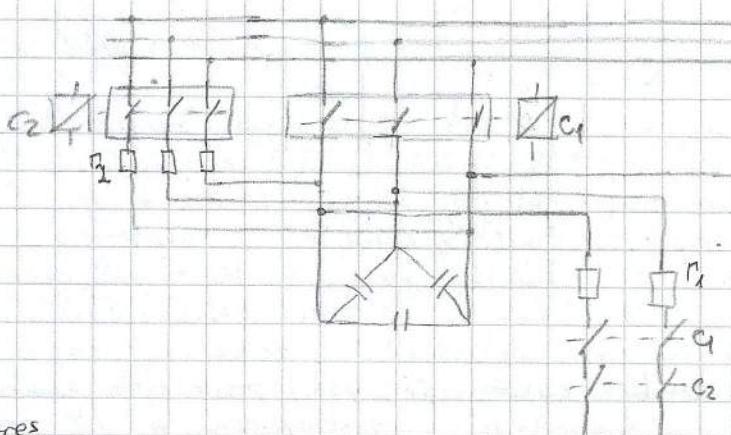
- Sin resistencia de arranque:

Cuando C_1 se activa los condensadores quedan recargados por los contactos auxiliares de C_1 . El pulsador de parada abre C_1 y cierra los contactos aux., conectando las resistencias de descarga a los condensadores.



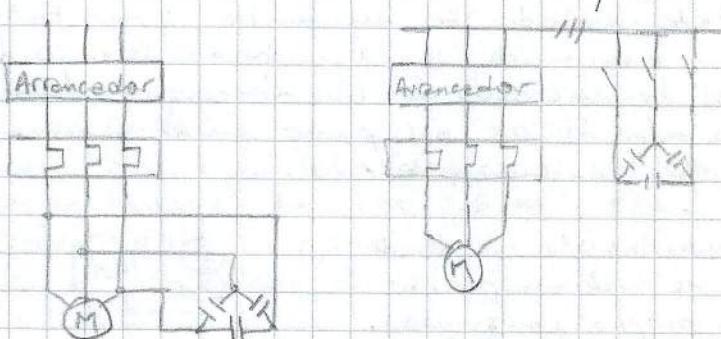
- Con resistencias de arranque:

El pulsador de marcha excita a C_1 y C_2 permitiendo los condensadores a plena carga con las resistencias de arranque R_2 en cortocircuito. El pulsador de parada abre C_1 y C_2 y cierra los contactos auxiliares dejando los condensadores conectados a las resistencias de descarga R_2 .



* COMPENSACION INDIVIDUAL

Esta conexión se realiza conectando una batería de condensadores en debidamente dimensionada directamente y en paralelo al dispositivo que necesita la compensación. La instalación es sencilla y, teniendo en cuenta solo el dispositivo a corregir, poco costosa. El condensador y la carga pueden beneficiarse de las mismas protecciones de sobre corrientes.



DIRECTA.

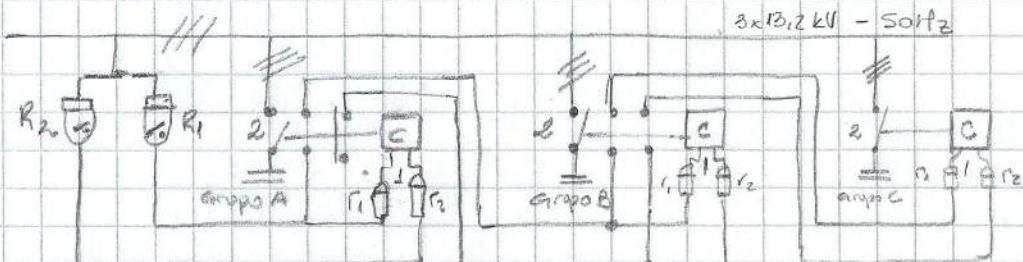
Si esto sucede, la tensión se mantiene en el lado de carga del dispositivo de maniobras y control, con el riesgo de peligrosos sobrepensiones.

De la otra forma la batería de compensación se conecta al motor solo cuando este está en marcha y se desconecta al instante que se produce el corte de alimentación.

En el caso de conexiones directas se corre el riesgo de que, tras el corte de la alimentación, el motor, al continuar rotando y autoextendiéndose con la energía reactiva suministrada por la batería de condensadores, se transforme en un generador alterno.

Toda la red antes del punto de conexión trabaja con un factor de potencia elevado, lo que hace caro a este sistema es no solamente el costo de instalación si no también es necesario mayor potencia reactiva.

• COMPENSACIÓN AUTOMÁTICA DE ENERGÍA REACTIVA



En la mayor parte de las instalaciones no tiene lugar una absorción constante de potencia reactiva, esto puede ocasionar inconvenientes. Por ejemplo, un banco de condensadores conectados a una carga que por motivos varía repentinamente, provocando sobrecompensación y una sobretensión en la carga lo que puede ser peligroso. Por eso es deseable realizar de forma automática la compensación a fin de lograr una tensión de red constante.

Por ello se emplean sistemas de conexión automáticos que, por medio de un sistema de detección de tipo armónico y de un regulador de factor de potencia, permiten la conexión ó desconexión automática de diferentes bancos de condensadores, siguiendo de esta forma las variaciones de la potencia reactiva absorbida y manteniendo constante el factor de potencia de la instalación. Con objeto de proporcionar una potencia de lo más cercana a lo requerida, la inserción de los condensadores se hace en forma escalonada.

En el circuito se muestra el principio de funcionamiento. El relé inducitivo R1 conecta los condensadores cuando aumenta la carga y el relé capacitivo R2 los saca de servicio cuando la carga disminuye. Los relés temporizados 1 evitan que se conecten los condensadores debido a cambios abruptos y pasajeros de la carga, es decir, que la variación de la misma se debe mantener durante un determinado tiempo. Los relés R1 y R2 transmiten órdenes a los relés temporizados (1) que a su vez actúan sobre contactores que conectan ó desconectan a los grupos de condensadores A, B y C, que dando garantizado el orden de conexión ó desconexión de los mismos.

Sobregrado 2 Instal. Bloco
Sobregrado 2 Termas y Puesta Terna

* INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO.

Es un aparato utilizado para la protección de circuitos eléctricos, contra sobrecargas y cortocircuitos, en sus situaciones de los fusibles.

Tiene como ventaja sobre los fusibles que no hay que reponerlos.

Cuando ocurre una sobrecarga y/o un cortocircuito, simplemente se deforman y siguen funcionando.

Su funcionamiento se basa en un elemento térmico, formado por una lámina bimetálica que se desforma al pasar por la misma una corriente durante un determinado tiempo para cuyas magnitudes está dimensionado. Este elemento térmico entonces, protege contra sobrecargas.

Por otro lado este constituido el interruptor con un elemento magnético, formado por una bobina cuyo núcleo tiene un elemento que abre el circuito al pasar por dicha bobina una corriente de un valor definido. Esto protege contra cortocircuitos.

La desconexión puede ser manual ó automática (cortocircuito ó sobrecarga). Siempre la reconexión es manual.

