

SELECCIÓN DE MAQUINAS SINCRONAS

1.- CARACTERISTICAS NOMINALES

Es la **potencia nominal** que un alternador puede entregar, dentro de sus características nominales y en régimen continuo. Este concepto, de potencia nominal, esta íntimamente ligado a la elevación de temperatura de los arrollamientos. Sabemos que el alternador puede accionar cargas que están por encima de su potencia nominal hasta alcanzar el límite de estabilidad.

Si los alternadores entregan una potencia mayor de la que fue proyectado en este caso el calentamiento normal de los arrollamientos será sobrepasado disminuyendo la vida del alternador o en muchos casos llegando a quemarse.

Para poder **seleccionar adecuadamente** los alternadores es conveniente tener en cuenta las características de funcionamiento en forma clara, precisa y correcta:

- a.- Potencia nominal KVA.
- b.- Factor de potencia Cos fi.
- c.- Número de polos.
- d.- Número de fases.
- e.- Frecuencia (Hz)
- f.- Temperatura ambiente °C.
- g.- Altitud (msnm)
- h.- Protección térmica.
- i.- Tensión de armadura (DC Votios).
- j.- Tipo de excitación.
 - . Sistema sin escobillas.
 - . Sistema con excitatriz estática.
- k.- Régimen de servicio y la descripción del ciclo de trabajo.
- m.- Grado de protección de la máquina.
- p.- Tipo de aplicación (industrial, naval, entre otras).
- q.- Forma constructiva.
- r.- Características de la carga.
- s.- Precisión de la regulación.
- t.- Rango de ajuste de tensión.
- u.- Tipos de regulación: tensión constante y/o tensión y frecuencia constante.
- v.- Momento de inercia GD²

2.- CALCULOS DE LA REACTANCIA (Xd')

Cuando se trata de utilizar dos o mas generadores, la reactancia transitoria equivalente se calcula con la siguiente expresión:

$$\frac{I_g \text{ total}}{X_d' \text{ total}} = \frac{I_g 1}{X_d' 1} + \frac{I_g 2}{X_d' 2} + \dots + \frac{I_g n}{X_d' n}$$

Donde: $I_g \text{ total} = I_{g1} + I_{g2} + \dots + I_{gn}$

Siendo: $I_g \text{ total} =$ Corriente total de los generadores.
 $I_{g 1.. n} =$ Corrientes de los generadores conectados en paralelo.
 $X_d' \text{ total} =$ Reactancia transitoria total conectados en paralelo.
 $X_d' 1... n =$ Reactancia transitoria de los generadores 1 n.

CONVERSION DE REACTANCIAS

Resulta muy familiar encontrar las reactancias de las máquinas dado en pu. Como referencia definimos la reactancia nominal como:

$$X_n = U_n / (\sqrt{3} \cdot I_n) \quad \text{Ohmios.}$$

Luego la reactancia estará referida a los valores nominales del alternador, siendo ésta la reactancia base para el cálculo de los valores en p.u.

$$X = X_a / X_n \quad \text{pu}$$

Si la misma máquina fuera utilizada para un número mayor de RPM, cambiándose la frecuencia, tensión y potencia la reactancia de la máquina se modifica conforme la siguiente expresión:

$$X'_2 = X'_1 (SN2 / SN1) (F2 / F1) (UN1 / UN2)^2$$

Donde:

- X'_2, X'_1 = Reactancias nueva y antigua respectivamente.
- $SN2, SN1$ = Potencias nueva y antigua respectivamente.
- $F2, F1$ = Frecuencias nueva y antigua.
- $UN1$ y $UN2$ = Son las tensiones nueva y antigua.

Los fabricantes ponen a disposición del usuario sus catálogos, y manuales técnicos donde nos recomiendan que las posibles alteraciones en las rotaciones pueden darse variando la frecuencia de 50 a 60 Hz. La variación de tensión será para una tensión menor y proporcionalmente a la frecuencia. En el caso de la variación de la tensión para menos deberá ser reducido también proporcionalmente la frecuencia.

Ejemplo.- Dado un alternador de 640 KVA, 380 Voltios, 50 Hz. Luego el alternador es alterado para trabajar a 60 Hz. y abastecer 740 KVA. a 440 Voltios. Para 50 Hz. y 640 KVA la reactancia transitoria es de $X_d' = 21\%$. Cual será la reactancia transitoria para la nueva condición de accionamiento?.

$$X_d' (60\text{Hz}) = X_d' (50\text{Hz}) (60 / 50) (740 / 640) (380 / 440)^2$$

$$X_d' (60\text{Hz}) = 21 \times 1.035 = 21.7 \%$$

3.- CALCULO DE LA CORRIENTE DE LOS GENERADORES

$$I_g = Kva / \sqrt{3} \times V \text{ nominal}$$

Notas importantes :

- 1.- Las reactancias X_d' son utilizados únicamente para la selección de alternadores (en el cálculo de caída de tensión al arrancar motores asíncronos).
- 2.- Las reactancias X_d'' pueden ser utilizados para la selección de los interruptores automáticos y ó estudios de cortocircuito.
- 3.- Siempre $X_d' > X_d''$

4.- CAIDA DE TENSIÓN DURANTE EL ARRANQUE DE MOTORES

Al aplicar una carga al alternador tenemos súbitamente una caída de tensión que depende de:

- . La reactancia del alternador.
- . La corriente de la carga en el arranque.

- . $\cos\phi$ de la carga.
- . Tipo de regulación (AVR) del alternador.

Los mayores problemas de caída de tensión y su inmediata recuperación ocurre en el arranque de motores de inducción.

Durante el arranque de los motores de inducción el factor de potencia es del orden de : [0.25 0.35], y para facilitar el cálculo hacemos los siguientes ajustes:

- . El $\cos\phi$ sea igual a cero. (carga inductiva pura)
- . Despreciamos la impedancia de los cables de alimentación, dimensionados para $\Delta V < 2.5 \%$.
- . Despreciamos la resistencia interna del alternador.

Con estas simplificaciones obtenemos la siguiente expresión :

$$\Delta V = E \cdot [X_g / (X_g + X_m)]$$

Donde :

ΔU = Caída de tensión.

X_m y X_g son las reactancias del motor y generador en pu.

E es la tensión interna del generador.

En función de la variación de la carga las reactancias del alternador varían con el tiempo (X_d'' , X_d' y X_d conforme las constantes de tiempo propias).

El cálculo de la caída de tensión se hace complejo si consideramos la variación de la reactancia con el tiempo. Entonces la ecuación de la caída de tensión en su forma genérica para cualquier valor de I_p / I_N del alternador es válida la siguiente relación:

$$\Delta V (\%) = \{ X_d' (I_p / I_{gn}) / [1 + X_d' (I_p / I_{gn})] \} \times 100 < 20 \%$$

Donde:

X_d' = Reactancia transitoria del generador.

I_p = Corriente de arranque del motor.

I_{gn} = Corriente nominal del generador.

CONTRIBUCIÓN DE LAS DEMÁS CARGAS EN LOS MOTORES DE INDUCCIÓN

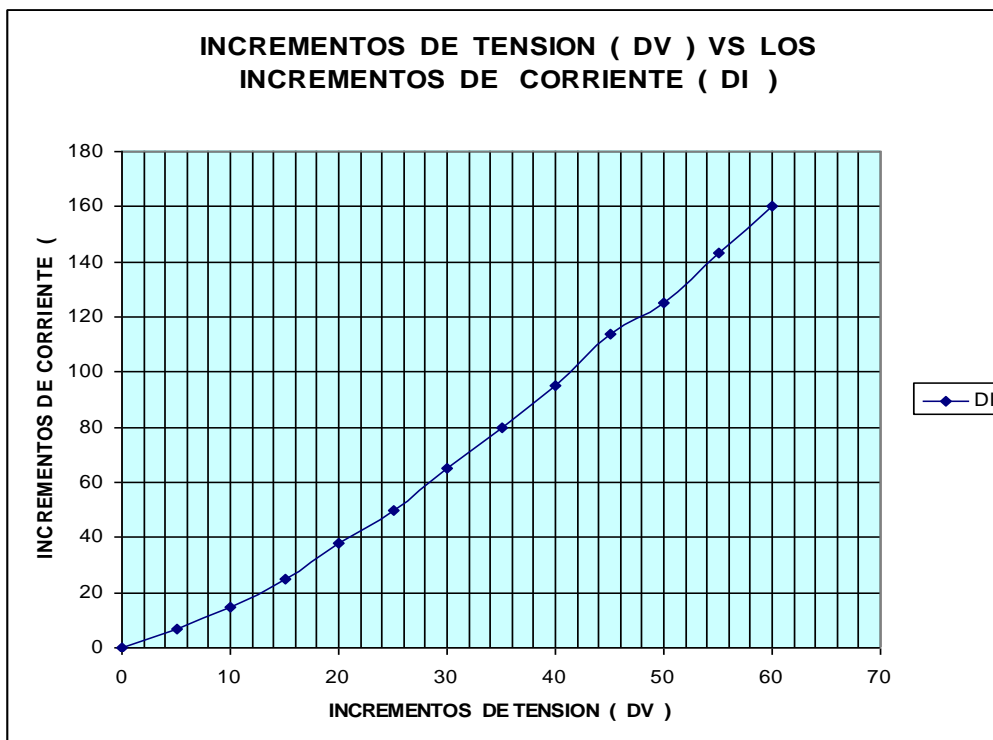
Los sistemas eléctricos están conformados por cargas diversas, encontrándose entre ellas los motores de inducción. Cuando se tiene que poner en funcionamiento dos ó más motores asíncronos trifásicos se recomienda proceder como sigue:

- . Se arranca el primero, que debe ser el más grande.
- . Cuando se arranca el segundo se tiene que adicionar la contribución y/o aporte del primero en el momento de su arranque y así sucesivamente.

$$\frac{I_p}{I_{gn}} = \frac{I_p \text{ (motor que arranca)}}{I_{gt}} + \Delta I_1 \text{ carga} + \Delta I_2 \text{ carga} + \dots + \Delta I_n \text{ carga}.$$

Donde: ΔI_n carga = Contribución de las cargas 1.

$A = \Delta I_1 \cdot I_n$ (carga del motor aportante) Es un incremento.



$\Delta I1 \text{ carga} = A / I_{gn.} \text{ (pu)}$

Se calcula la caída de tensión ΔV con este valor ubicado en el eje de las x, se ingresa al gráfico (ΔV vs ΔI) y se halla ΔI .

$\Delta I1 \text{ carga} + \Delta I2 \text{ carga} + \dots + \Delta In \text{ carga}$ Contribución de las cargas 1 ... n.

Teniendo en cuenta que las cargas mas pesadas están constituidas por los motores de inducción es que resulta necesario conocer sus características de funcionamiento. Para realizarlo se recomienda seguir el procedimiento que a continuación presentamos:

- Hacer un cuadro con las características que se indican:

HP	KW	In (Amp)	Ip / In	Ip (Amp)	# polos	IP	Vn (Vol.)
40	30	98	8.7	853	4	54	220
60	45	148	7.3	1080	4	54	220
75	55	180	7.4	1332	4	54	220

- Elegir el tipo de arranque a utilizarse para poner en funcionamiento a los motores.

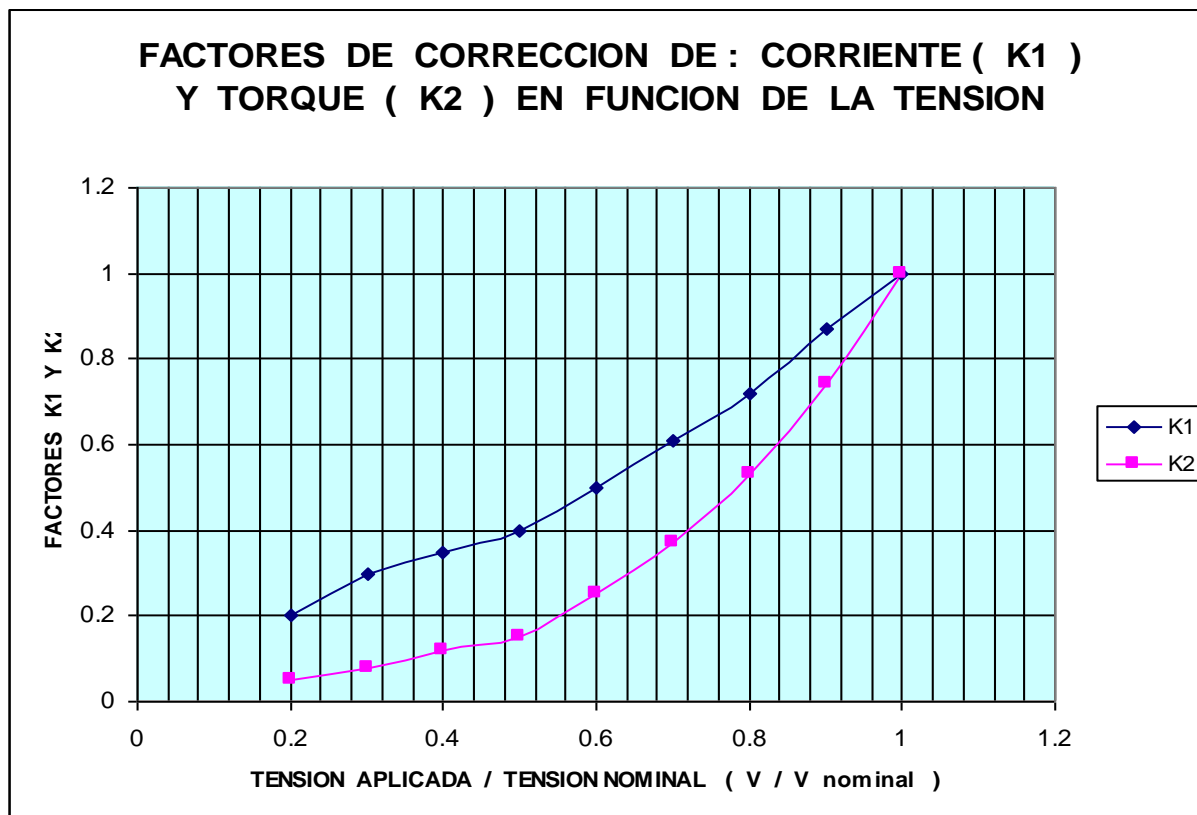
Tipo arranque	Aplicación
Directo	Motores pequeños
Estrella – triángulo	Medianos > 30 Kw
Autotransformador	Grandes > 150 Kw
Part - winding	Especiales para compresores
Especial soft - starter	Todos

- Calcular y /o medir el nivel de tensión en el momento del arranque (V) y compararlo con la tensión nominal que se debería utilizar en este tipo de arranque (Vn).
A continuación llevar (V / Vn) al esquema figura K1 vs V/Vn y encontraremos K1.

MEIII - 08 SELECCION DE MÁQUINAS SINCRONAS

K1 es el factor de reducción de corriente. (Ver factores de corrección)
Hacer el cálculo de la caída de tensión en el arranque, utilizando la ecuación sgte.
Donde:

- ΔV = Caída de tensión durante el periodo del arranque.
- X_d' = Reactancia transitoria correspondiente en el arranque.
- I_p = Es la corriente de arranque y/o partida de los motores.
- I_{gn} = Es la corriente de nominal de los motores.



5.- SELECCIÓN DE MAQUINAS SINCRONAS

Teniendo en cuenta la diversidad de características de funcionamiento de las cargas y de las propias máquinas síncronas nos encontramos con los siguientes procedimientos para la selección y son las que presentamos a continuación:

5.1.- Potencia del alternador en función de las fuentes consumidoras.- Para la determinación del tamaño de la máquina debemos conocer la potencia aparente (S).

$$S = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L$$

Donde:

- S = Es la potencia aparente en Voltios amperios (V.A).
- U_L = Es la tensión de línea en Voltios (V).
- I_L = Es la corriente de línea en Amperios (A).

En los catálogos la potencia aparente es dado en KVA siendo válido para factores de potencia entre 1 y 0.8. Esto implica que para seleccionar el alternador debe ser conocido el $\cos \phi$ de la carga.

Por tanto si un alternador es conectado a cargas cuyos factores de potencia son diferentes, es preciso averiguar antes cuales son los componentes de potencia activa y reactiva, para luego determinar la potencia aparente total.

MEIII - 08 SELECCION DE MÁQUINAS SINCRONAS

$$S = \{ (P_1 + P_2 \dots + P_n)^2 + (Q_1 + Q_2 \dots + Q_n)^2 \}^{1/2}$$

Donde:

P_n = Componente de potencia activa del consumidor.

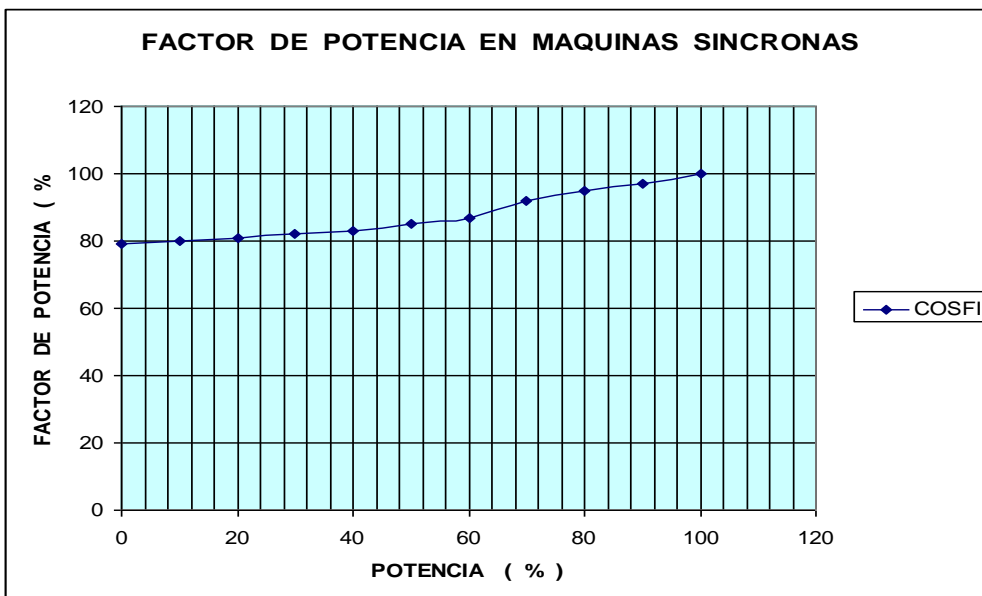
Q_n = Componente de potencia reactiva del consumidor.

Por tanto:

$$\text{Cos } \phi = \Sigma (P/S)$$

INFLUENCIA DEL FACTOR DE POTENCIA

Si existe necesidad de calcular la caída de tensión para $\text{Cos } \phi$ diferente de cero debemos utilizar este gráfico.



5.2.- Potencia del alternador en función de la potencia del motor primo.- Muchas veces no es posible conocer la potencia exacta de las fuentes consumidoras (cargas del sistema), en este caso la potencia del alternador es determinada a partir de la potencia mecánica (motor primo), cuyo factor de potencia puede adoptarse como 0.8. De la potencia útil del motor primo disminuimos las pérdidas del alternador para obtener la potencia activa que se pone a disposición en los bornes del alternador.

$$P_G = P_{\text{motor primo}} \cdot EF_G \quad \text{KW.}$$

Donde:

P_G = Potencia del generador en KW.

P_M = Potencia del motor primo ó accionante en KW.

$EF(G)$ = Rendimiento del generador en (%).

Tener en consideración el rendimiento de los alternadores indicados en los catálogos para factores de potencia de 1 a 0.8. Con ésta información podemos decir:

$$S = P_G / \text{Cos } \phi = \{P_{\text{motor primo}} \cdot EF_G\} / \text{Cos } \phi$$

6.- APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA

Ejemplo N° 1.- Seleccionar un alternador para accionar motor de 5CV 4 polos 380 Voltios teniendo : $I_p / I_n = 7.1$, $I_p = 61.4 \text{ A.}$, $I_n = 8.65 \text{ A.}$ Caída de tensión admisible $< 20\%$

MEIII - 08 SELECCION DE MÁQUINAS SINCRONAS

TIPO	DESCRIPCION GENERAL
DKBH	Máquina trifásica sin escobillas con excitatriz auxiliar y regulador electrónico de tensión.
DKBL	Máquina trifásica sin escobillas con regulador compuesto.
DBL	Máquina trifásica sin escobillas con excitación independiente.
DKL	Máquina trifásica con escobillas con regulador compuesto.
DL	Máquina trifásica con escobillas con excitación independiente.
EKL	Máquina monofásica sin escobillas con regulador compuesto.
EL	Máquina monofásica sin escobillas sin regulador compuesto.
DBMH	Motor síncrono sin escobillas con disco de control de excitación

ALTERNADORES SINCRONOS TRIFASICOS, 380 Voltios, 60 Hz , 04 polos, 1800 RPM, Cosφ 0.8 , Tamb. 40 °C. NORMA VDE- 530														
TIPO	POTENCIA GENERADA		POTENCIA MOTOR PRIMO		EFICIENCIA (%) HMM						Xd'' (%)	Xd' (%)	J Kgm²	G Kg
	KVA	KW	KW	CV	COS φ = 0.8			COS φ = 1						
					50%	75%	100%	50%	75%	100%				
163/04	14	11	16	21	84	83	82	87	87	86	10	15	0.11	155
165/04	20	16	22	30	85	85	84	88	88	84	9.0	14	0.12	180
167/04	25	20	27	36	86	86	85	89	89	88	8.0	13	0.14	210
168/04	30	24	32	43	86	87	86	89	90	89	6.0	11	0.16	230

a.- Alternador tipo DKBH (con escobillas) 163 / 04, 14 KVA , Xd' = 15%, 380 Voltios.

La corriente del alternador es: $I_g = 14,000 / \sqrt{3} \times 380 = 21.3$ Amp.

$$I_p / I_g = 61.4 / 21.3 = 2.8826$$

$$\Delta V = \frac{X_d' \cdot I_p / I_n}{1 + X_d' \cdot I_p / I_n} = \frac{0.15 \times 2.8826}{1 + 0.15 \times 2.8826} = 30.18\% \quad \text{Muy alto}$$

b.- Luego escogemos otro alternador tipo 167/04, 25 KVA Xd' = 13% 380 Voltios.

La corriente del nuevo alternador:

$$I_g = 25,000 / \sqrt{3} \times 380 = 38 \text{ Amp.}$$

$$I_p / I_g = 61.4 / 38 = 1.6158$$

$$\Delta V = \frac{X_d' \cdot I_p / I_n}{1 + X_d' \cdot I_p / I_n} = \frac{0.13 \times 1.6158}{1 + 0.13 \times 1.6158} = 17.36\%$$

DV = 17.36%. Luego escogemos este alternador. **PERO ES MUY GRANDE**

c.- Elegir otra alternativa. ARRANQUE ESTRELLA - TRIANGULO.

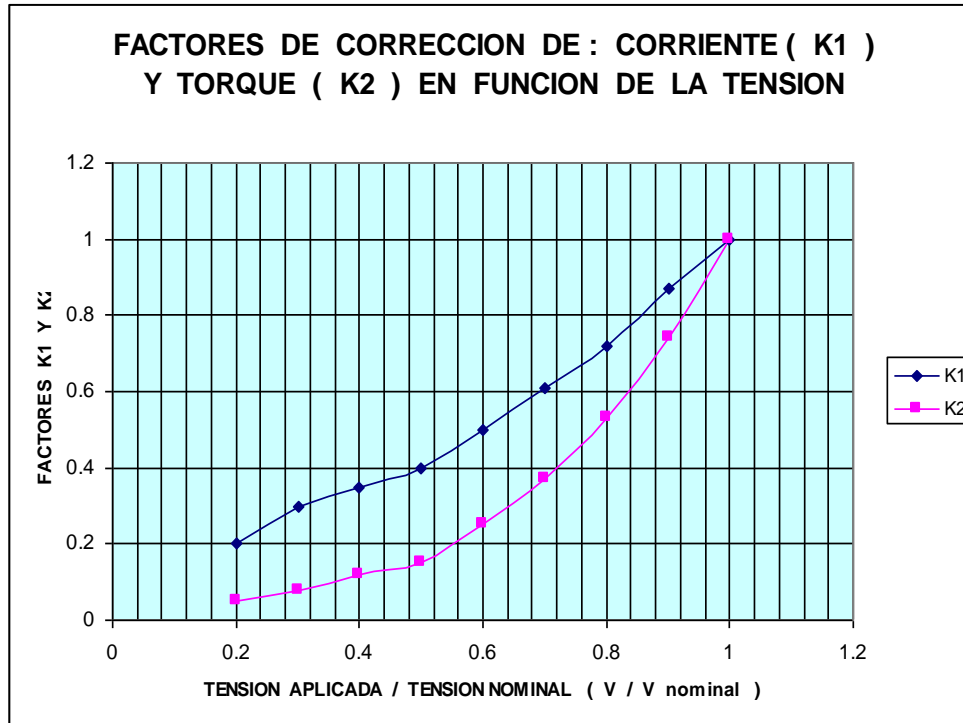
Arrancamos el motor con tensión reducida, arranque estrella triángulo. Escogemos el alternador de (a) 163 / 04, 14 KVA , Xd' = 15%, 380 Voltios, 60 Hz .

La corriente del alternador:

$$I_g = 14,000 / \sqrt{3} \times 380 = 21.3 \text{ Amp.}$$

MEIII - 08 SELECCION DE MÁQUINAS SINCRONAS

La nueva corriente de arranque es: Para arranque Y - Δ $K1 = 0.47$



Para hallar $K1$, poner atención y seguir las explicaciones del profesor

$$I_p = K1 \cdot 61.4 / 21.3 = 0.47 \times 61.4 = 28.87 \text{ Amperios}$$

$$I_p = I_p / I_g = 28.87 / 21.3 = 1.35$$

$$\Delta V = \frac{X_d' \cdot I_p / I_n}{1 + X_d' \cdot I_p / I_n} = \frac{0.15 \times 1.5854}{1 + 0.15 \times 1.5854} = 19.21 \%$$

$$\Delta V = 19.21 \%. \text{ Aceptable.}$$

Ejemplo N° 2.- Hacer la selección de un alternador para el cuadro siguiente de cargas:

a.- Los motores utilizados trabajan en 380 Voltios, 60 Hz y sus demás características son las siguientes:
La secuencia de arranque es : 125,25 y 75 CV.

b.- Al seleccionar un generador síncrono, escogemos el Generador tipo DKBH 287/04 290 KVA. $X_d' = 17.19\%$, 380 Voltios. Este tipo es aprox. igual al IEC frame 315LI35.

c.- Condiciones de arranque de los motores: Utilizar autotransformadores.
I.- Primero parte el motor 125 CV utilizando un arranque con tap a 65%.

II.- Arranque del motor de 75 CV (arranque con tap al 65%), considerando que los motores de 125 y 25 CV ya están en funcionamiento.

MEIII - 08 SELECCION DE MÁQUINAS SINCRONAS

Carga CV	Cos ϕ	EF(%)	P(KW)	Pin(KW)	S (KVA)	Q(KVAR)
Motor 125	0.86	90	92	102	118.2	61
Motor 75	0.90	89	55.2	62.0	68.9	30
Motor 25	0.85	92	18.5	20	23.5	12.3

Pin (Kw) total = 184 Q (Kavar) total = 103.3 S (Kva) = 211. L 29.31°

CV	KW	In (Amp)	Ip / In	Ip (Amp)	# polos	IP	Vn (Vol.)
125	90	179	7.3	1307	4	54	380
75	55	104	7.4	770	4	54	380
25	18.5	36	8.6	308	4	54	380

Solución

Calculo de la corriente del alternador: $I_g = 290,000 / \sqrt{3} \times 380 = 440.61$ Amp. (#)
 (#).- Calculando en bornes del alternador.

I.- Arranque del motor de 125 CV .- Utilizando un arranque compensado con tap a 65%. Caída de tensión provocada por el arranque del motor de 125 CV. $I_n = 179$ Amp., $I_p = 1307$ Amp. $I_p/I_n = 7.3$
 Utilizando llave compensadora con tap. 65% $I_p = K1.1307$. donde K1 es obtenido del gráfico .(K1 vs U/Un)
 Teniendo $U/U_n = 65\%$ ubicamos en el eje $K1 = 0.55$

Luego:

$$I_p (125 CV) = 0.55 \times 1307 = 719 \text{ Amp.}$$

$$\frac{I_p (125 CV)}{I_g} = \frac{719}{440.61} = 1.6315$$

Luego:

$$\Delta V = \frac{X_d' I_p / I_g}{1 + X_d' \cdot I_p / I_g} = \frac{0.1719 \times 1.6315}{1 + 0.1719 \times 1.6315} = 0.219$$

$\Delta v = 22 \%$. Resulta siendo muy alto. Luego, dependiendo del tipo de carga, podemos cambiar el tap a 60 % esto implica que $K1 = 0.5$

$$I_p' = K1 \cdot I_p = 0.5 \cdot 1307 = 653.5$$

$$I_p' / I_g = 653.5 / 440.61 = 1.4832 \quad (\text{pu})$$

$$\Delta V = \frac{X_d' I_p' / I_n}{1 + X_d' \cdot I_p' / I_n} = \frac{0.1719 \times 1.4832}{1 + 0.1719 \times 1.4832} = 0.203$$

$\Delta V = 20.3 \%$. (< 20%) **Ligeramente alto. No cumple.**

Entonces podemos elegir un arranque Y - Δ .

Luego $V / V_n = 57.7 \%$ del gráfico podemos ubicar $K1 = 0.47$

MEIII - 08 SELECCION DE MÁQUINAS SINCRONAS

$$I_p' = K1 \cdot I_p = 0.47 \times 1307 = 614.3$$

$$I_p' / I_g = 614.3 / 440.61 = 1.3942$$

$$\Delta V = \frac{X_d' I_p' / I_n}{1 + X_d' \cdot I_p' / I_n} = \frac{0.1719 \times 1.3942}{1 + 0.1719 \times 1.3942} = 19.33 \% \text{ (Si cumple)}$$

II.- Arrancamos el motor de 25 CV.- Por el tamaño el arranque puede ser directo.

III.- Arranque del motor de 75 CV .- Utilizamos un arranque compensado con tap al 65% y considerando que los motores de 125 y 25 CV ya están en funcionamiento.

1.- Arranque individual del motor de 75 CV.

$I_n = 104 \text{ Amp.}$, $I_p = 770 \text{ Amp.}$ $I_p / I_n = 7.4$ Utilizando llave compensadora con tap. 65% $I_p = K1 \cdot 770$. donde $K1$ es obtenido del gráfico ($K1$ vs U/U_n). Teniendo $U/U_n = 65\%$ ubicamos en el eje $K1 = 0.55$
Luego:

$$I_p'(75 \text{ CV}) = 0.55 \times 770 = 423.5 \text{ Amp.}$$

$$I_p'(75 \text{ CV}) / I_{gn} = 423.5 / 440.61 = 0.9612$$

$$\Delta V = \frac{X_d' \cdot I_p' / I_{gn}}{1 + X_d' \cdot I_p' / I_{gn}} = \frac{0.1719 \times 0.9612}{1 + 0.1719 \times 0.9612} = 0.1418$$

$$\Delta V = 14.18 \% \text{ (si cumple)}$$

2.- Contribución de los 02 motores (125 y 25 CV) al arrancar el motor de 75 CV.

El proceso de calculo resulta iterativo y es como sigue: **El valor admitido** de caída de tensión es 15% del gráfico .. (Δi (%) vs ΔV (%)) ingresamos con la caída de tensión $\Delta V = 15\%$ (supuesta) y obtenemos variación de corriente para los dos motores $\Delta i = 0.26$. Luego acumulamos la corriente de los dos motores

Motor (75 CV, $I_n = 104 \text{ Amp.}$ 380 Voltios). Arranque por autotransformador

$$I_p'(75 \text{ CV}) / I_{gn} = 423.5 / 440.61 = 0.9612 \quad \text{Arranque} \quad (@1)$$

Motor (125 CV, $I_n = 179 \text{ Amp.}$ 380 Voltios). $A = \Delta i \times I_n = 0.26 \times 179 = 46.54 \text{ Amp.}$

$$\Delta i(125 \text{ CV}) = A / I_g = 46.54 / 440.61 = 0.1056 \quad \text{Contribución} \quad (@2)$$

Motor (25 CV, $I_n = 36 \text{ Amp.}$ 380 Voltios). $A = \Delta i \times I_n = 0.26 \times 36 = 9.36 \text{ Amp.}$

$$\Delta i(25 \text{ CV}) = A / I_g = 9.36 / 440.61 = 0.02124 \quad \text{Contribución} \quad (@3)$$

@1, @2 y @3 tienen como base la corriente I_{gn} del generador luego están en p.u.

Calculo de la caída:

$$\frac{I_p'}{I_{gn}} = \frac{I_p'}{I_{gn}} (75 \text{ CV}) + \Delta i(125) + \Delta i(25) = (@1) + (@2) + (@3)$$

MEIII - 08 SELECCION DE MÁQUINAS SINCRONAS

$$\frac{I_p'}{I_g} = 0.9612 + 0.1056 + 0.02124 = 1.093$$

$$\Delta V = \frac{X_d' \cdot I_p / I_n}{1 + X_d' \cdot I_p / I_n} = \frac{0.1719 \times 1.093}{1 + 0.1719 \times 1.093} = 0.158$$

$\Delta V = 15.8 \%$. Como partimos con la suposición de un $\Delta V = 15\%$ y el resultado fue 15.8% entonces reformulamos el cálculo.

Admitimos la caída de tensión de 15.8 % del gráfico obtenemos $\Delta i = 0.27$, luego:

Motor (75 CV, $I_n = 104$ Amp. 380 Voltios). Arranque por autotransformador

$$I_p' (75 \text{ CV}) / I_{gn} = 423.5 / 440.61 = 0.9612 \quad \text{Arranque} \quad (@1)$$

Motor (125 CV, $I_n = 179$ Amp. 380 Voltios). $A = \Delta i \times I_n = 0.27 \times 179 = 48.33$ Amp.

$$\Delta i (125 \text{ CV}) = A / I_{gn} = 48.33 / 440.61 = 0.1097 \quad \text{Contribución} \quad (@2)$$

Motor (25 CV, $I_n = 36$ Amp. 380 Voltios). $A = \Delta i \times I_n = 0.27 \times 36 = 9.72$ Amp.

$$\Delta i (25 \text{ CV}) = A / I_g = 9.72 / 440.61 = 0.0221 \quad \text{Contribución} \quad (@3)$$

@1, @2 y @3 tienen como base la corriente I_{gn} del generador luego están en p.u.

Calculo de la caída:

$$\frac{I_p'}{I_{gn}} = \frac{I_p'}{I_{gn}} (75 \text{ CV}) + \Delta i (125) + \Delta i (25) = (@1) + (@2) + (@3)$$

$$\frac{I_p'}{I_g} = 0.9612 + 0.1097 + 0.0221 = 1.093$$

$$\Delta V = \frac{X_d' \cdot I_p / I_n}{1 + X_d' \cdot I_p / I_n} = \frac{0.1719 \times 1.093}{1 + 0.1719 \times 1.093} = 0.158$$

$\Delta V = 15.8 \%$. Luego ΔV estipulado = ΔV calculado OK

Podemos observar que la contribución de los motores ya en funcionamiento no causarán un incremento muy significativo en este caso, sobre la caída general.

Ejemplo N° 3.- Calcular el alternador para poner en servicio a las cargas que se encuentran en la tabla siguiente: Los motores están trabajando a 440 Voltios.

a.- Alternador 04 polos 450 KVA $X_d' = 18\%$, $I_g = 450,000 / \sqrt{3} \times 440 = 590.47$ Amp.

Motor (200 CV) $I_p / I_g = 1800 / 590.47 = 3.04842$ Arranque directo.

MEIII - 08 SELECCION DE MÁQUINAS SINCRONAS

Carga CV	Cosf	EF(%)	P(KW)	Polos	In(A)	Ip/In(A)
Motor 150	0.85	90	110	4	190	1520
Motor 200	0.85	91	150	4	225	1800
Varias 30KVA	0.8	94				

$$\Delta V (200 \text{ CV }) = \frac{X_d' \cdot I_p / I_n}{1 + X_d' \cdot I_p / I_n} = \frac{0.18 \times 3.04842}{1 + 0.18 \times 3.04842} = 35.43\%$$

$\Delta V = 35.43\%$. Muy alto.

b.- Colocar 02 alternadores en paralelo 2 x DKBH 321/04 430 KVA $X_d' = 19\%$
440 Voltios.

$$I_g = 2 \times 430,000 / \sqrt{3} \times 440 = 1128 \text{ Amp.}$$

$$I_p / I_g = 1800 / 1128 = 1.5957 \quad \text{Arranque directo.}$$

$$\Delta V (200 \text{ CV }) = \frac{X_d' \cdot I_p / I_n}{1 + X_d' \cdot I_p / I_n} = \frac{0.19 \times 1.5957}{1 + 0.19 \times 1.5957} = 23.265 \%$$

$\Delta V (200 \text{ CV }) = 23.265 \%$. Muy alto.

c.- Arrancar los motores con llaves compensadas con el tap a 65%. Utilizando llave com-pensadora con tap. 65% $I_p = K_1 \cdot 1800$. donde K_1 es obtenido del gráfico ..(K_1 vs U/U_n).

Teniendo $U / U_n = 65\%$ ubicamos en el eje $K_1 = 0.55$ Luego:

$$I_p (125 \text{ CV}) = 0.55 \times 1800 = 990 \text{ Amp.}$$

$$I_p (125 \text{ CV}) / I_g = 990 / 1128 = 0.8777$$

Luego la caída de tensión es:

$$\Delta V (200 \text{ CV}) = \frac{X_d' \cdot I_p / I_n}{1 + X_d' \cdot I_p / I_n} = \frac{0.19 \times 0.8777}{1 + 0.19 \times 0.8777} = 14.29\%$$

$\Delta V (200 \text{ CV}) = 14.29\% < 20\%$.

Ejemplo N° 4.- Suponiendo existe una planta que utiliza un alternador Tipo 225I30 / 04 $X_d' = 7.5\%$, 100 KVA con una carga instalada de 90 KVA. De los cuales dos son motores que representan una carga de 40 KVA. La planta será ampliada con otras cargas tales como:

- . 20 KVA en iluminación y calentamiento.
- . 01 motor de 100 CV, 440 Voltios, 04 polos, $I_n = 125 \text{ Amp.}$

MEIII - 08 SELECCION DE MÁQUINAS SINCRONAS

Cargas	Cosφ	EF(%)	P(KW)	Polos	In(A)	Ip/In(A)
Carga 90 Kva	0.85	90				
Motor 100 CV				4	125	1062.5
Varias 20 Kva						

$$I_p / I_n = 8.5, I_p = 1062.5$$

Queremos seleccionar un alternador que trabaje en paralelo con el de 100 KVA. ya existente. Por tanto la caída de tensión debe ser < 20%.

$$I_{g1} = 100,000 / \sqrt{3} \times 440 = 131.22 \text{ Amp.}$$

$$\text{Motores ya conectados } I_{m1} = 40,000 / \sqrt{3} \times 440 = 52.5 \text{ Amp.}$$

$$\text{Asumiendo } \Delta V = 20\% \Rightarrow \Delta i = 37\% (\Delta V \text{ vs } \Delta i)$$

$$A = \Delta i \times I_n = 0.37 \times 52.5 = 19.43 \text{ Amp.}$$

Luego el aporte de los motores ya conectados acumulan una corriente del $I_{m1} = 19.43 \text{ A}$.

Escogemos otro alternador 323 / 04 de 500 KVA, $X_{d'} = 17\%$:

$$I_{g2} = 500,000 / \sqrt{3} \times 440 = 656.04 \text{ Amp.}$$

$$I_{g \text{ total}} = I_{g1} + I_{g2} = 783.30 \text{ Amp.}$$

$$\frac{783.30}{X_{d'} \cdot \text{tot.}} = \frac{131.22}{13} + \frac{656.08}{17} \Rightarrow X_{d'} \text{ total} = 16 \%$$

$$I_p / I_g = (1062.5 + 19.4) / 787.3 = 1081.9 / 787.3 = 1.3742$$

$$\Delta V = \frac{X_{d'} \cdot I_p / I_n}{1 + X_{d'} \cdot I_p / I_n} = \frac{0.19 \times 1.3742}{1 + 0.19 \times 1.3742} = 18.02\%$$

$$\Delta V = 18.02\% < 20\% \text{ OK}$$

Ejemplo N° 5.- En una industria debe ser instalado un grupo diésel para abastecer electricidad a sus instalaciones donde existen las siguientes fuentes consumidoras (cargas):

- Iluminación 80 KVA Cosφ = 0.7
- Sistemas de calefacción 152 KVA Cosφ = 1.0
- 01 motor 3 trifásico WEG de 40 CV y 4 polos. IP54.
- 01 motor 3 trifásico WEG de 60 CV y 4 polos. IP54.
- 01 motor 3 trifásico WEG de 75 CV y 4 polos. IP54.

Para la determinación de la potencia fue considerado el **régimen continuo**. Tener en cuenta la influencia de la partida de los motores. En los motores eléctricos generalmente se indica la potencia en el eje y para el cálculo de la potencia consumida se obtiene dividiendo la potencia en el eje entre la eficiencia o rendimiento.

MEIII - 08 SELECCION DE MÁQUINAS SINCRONAS

Tabla 1.1.- Potencias activas, reactivas y aparentes de las fuentes consumidoras.

Carga	Cos ϕ	EF(%)	P(KW)	Pin(KW)	S(KVA)	Q(KVAR)
Iluminación	0.70		56	56	80	57.0
Calenfacion	1.00		152	152	152	0
Motor 40 CV	0.88	90	30	33.3	37.8	17.8
Motor 60 CV	0.88	91	45	49.5	56.2	26.6
Motor 75 CV	0.90	89	55	61.8	68.7	29.9

De la tabla podemos calcular la potencia aparente total del generador y será:

Del valor de la potencia activa y reactiva de las fuentes consumidoras se obtiene la potencia aparente total del generador y con el factor de potencia de las cargas obtenemos los KVA de cada una de las cargas. Por ejemplo para el motor de 40 CV tenemos:

$$P_{in} = \{ P_{eje} (KW) / EF (\%) \} \cdot 100 = 30 / 0.9 = 33.3 \text{ KW}$$

$$S = P_{in} (KW) / \text{Cos } \phi$$

Donde:

S = Es la potencia aparente en Voltamperios (V.A).

U_L = Es la tensión de línea en Voltios (V).

I_L = Es la corriente de línea en Amperios (A).

$$S = 33.3 / 0.88 = 37.8 \text{ KVA.}$$

$$Q = \{ S^2 - P_{in}^2 \}^{1/2} = \{ 37.8^2 - 33.3^2 \}^{1/2} = 17.8 \text{ KVAR.}$$

De esta manera obtenemos las potencias de ingreso, potencia aparente y potencia reactiva de las demás cargas, tal como se puede encontrar en la siguiente tabla:

$$S_{total} = \{ (56 + 152 + 49.5 + 61.8 + 33.3)^2 + (57 + 17.8 + 26.6 + 29.9)^2 \}^{1/2}$$

$$S_{total} = 376 \text{ KVA.}$$

Por tanto el factor de potencia total será:

$$\text{Cos } \phi_{total} = P_{total} / S_{total} = 352.6 / 376 = 0.938$$

Una vez encontrado las características del alternador podemos recurrir a los catálogos WEG, tipo industrial y obtenemos el alternador DKBH 320/04-1A , 220 V de tensión cuya potencia aparente es de 380 KVA. El rendimiento del alternador a plena carga esta indicado en el catálogo como 0.93.

Luego la potencia del motor de accionamiento del alternador será:

$$P_M = P_G \cdot \text{Cos } \phi_{total} / EF = 380 \times 0.938 / 0.93 = 383.3 \text{ KW}$$

MEIII - 08 SELECCION DE MÁQUINAS SINCRONAS

En este ejemplo fueron analizados las condiciones estacionarias del alternador, entre tanto antes de la determinación final del tamaño de la máquina es necesaria determinar la influencia de la partida de los motores (analizado a continuación). Del catálogo de motores WEG obtenemos las características de funcionamiento de los motores que son los siguientes:

Tabla 2.1.- Características de los motores trifásicos marca WEG.

CV	KW	In (Amp)	Ip / In	Ip (Amp)	# polos	IP	Vn (Vol.)
40	30	98	8.7	853	4	54	220
60	45	148	7.3	1080	4	54	220
75	55	180	7.4	1332	4	54	220

7.- INFLUENCIA DE LA CARGA INICIAL

En alternadores las cargas iniciales pueden agruparse en:

- . Impedancia constante.
- . KVA. constante.
- . Corriente constante.

La corriente del alternador reducirá proporcionalmente la tensión del alternador cuando este conectado a una carga de impedancia constante. Consecuentemente este efecto reducirá la caída de tensión y para los efectos de cálculo puede ser despreciado. Ejemplo de cargas de tipo de impedancia constante: Lámparas, calentadores, resistores, motores de inducción en vacío.

Cuando se tienen cargas de tipo KVA constante frente a la reducción de tensión tenemos un incremento de la corriente, ocasionando consecuentemente un aumento de la caída de tensión.

Un ejemplo de este tipo de carga son los motores de inducción con carga. La variación de la corriente en los motores de inducción con relación a la caída de tensión pueden observarse en la siguiente figura. Esta variación de corriente deberá ser adicionada a la corriente de arranque de los motores de inducción. A pesar que los factores de potencia sean diferentes, considerándose en forma pesimista iguales .

Al combinar cargas de KVA constante e impedancia constante obtenemos cargas del tipo corriente constante pues el efecto es contrario con la tendencia de que se anulen. En este caso la caída de tensión no provocaría variaciones de corriente y consecuentemente no habría caída de tensión.

Este tipo de cargas podemos considerarlo como la mas común, pudiendo utilizar para el cálculo de la caída de tensión la tabla de la siguiente página tabla 4.3 con la corrección de la fig.4.10. si fuese necesario.

8.- VIDA UTIL DE LAS MÁQUINAS ELECTRICAS GIRATORIAS

Si no consideraríamos el desgaste de las piezas debido al uso , como son las escobillas, rodamientos y otros la vida útil de las máquinas eléctricas es determinada por los materiales aislantes utilizados. Estos materiales son afectados por muchos factores como son las vibraciones, temperatura de trabajo, ambientes corrosivos, humedad entre otros.

Con un aumento de 8 a 10 grados en la temperatura los materiales aislantes reducen su vida por la mitad.

Cuando hablamos de disminución de vida útil de la máquina nos estamos refiriendo alas temperaturas elevadas o cuando el aislante se quema y por consiguiente los arrollamientos son destruidos.

MEIII - 08 SELECCION DE MÁQUINAS SINCRONAS

Cuando hablamos de la vida útil del aislamiento, en términos de temperatura de trabajo (dentro de la región correspondiente)

nos estamos refiriendo al envejecimiento gradual del aislante que se irá resecaando perdiendo poco a poco el poder aislante hasta que no soporte mas tensión aplicada y se produzca el cortocircuito.

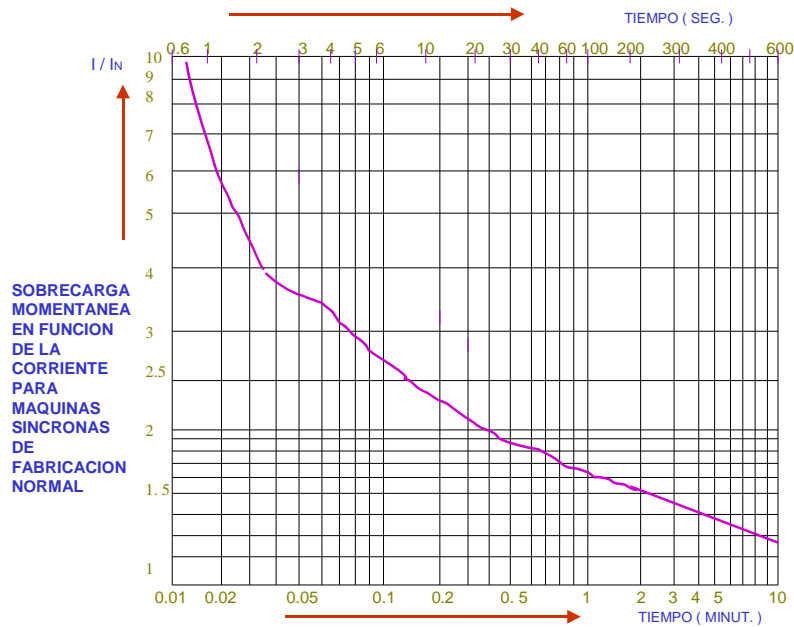
La experiencia nos muestra que el aislamiento tiene una duración prácticamente ilimitada si su temperatura es mantenida debajo de sus límites permisibles. Por encima de éste límite la vida útil del aislamiento es afectada por que el material aislante se va deformando cada vez mas y mas (a medida que la temperatura es mas alta) hasta perder el poder de aislante. La vida de los aislamientos dependen mucho de los barnices utilizados en la impregnación.

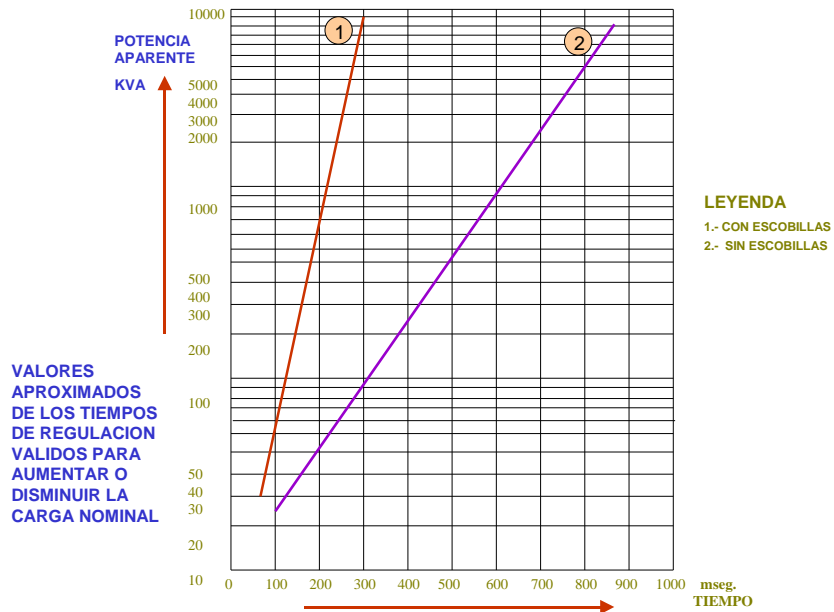
Las limitaciones de temperatura están referidos al punto mas caliente del aislamiento y no necesariamente al bobinado.

9.- SOBRECARGA

Según las normas **VDE-530** los alternadores síncronos deben abastecer **1.5** veces la carga nominal durante **15** segundos. En este caso a través del sistema de regulación se debe mantener la tensión muy próxima a la nominal. Para la utilización a bordo de navíos los alternadores deben abastecer 1.5 veces la corriente nominal durante 2 minutos. La sobrecarga momentánea en función de la corriente, para máquinas de construcción normal (según los catálogos).

NORNAS VDE - 530 - SOBRECARGA EN LAS MÁQUINAS SINCRONAS			
Tipo	Sobrecarga	Tiempo (seg)	Descripción
01	1.5 In	15	Normales con VL muy próxima a la nominal
02	1.5 In	120	Utilización a bordo de navíos.
03	-----	-----	Alternadores normales varios ver I/In vs tiempo.





10.- TIEMPO DE REGULACIÓN DE LA TENSIÓN

Se entiende como tiempo de regulación al tiempo transcurrido desde el inicio de la caída de tensión hasta el momento en que la tensión entra en el intervalo de la tolerancia estacionaria.

El tiempo exacto de regulación, en la práctica, depende de numerosos factores por tanto puede llevarse a cabo en forma aproximada.

Por encima de las cargas nominales, es decir para incrementos mucho mayores, los tiempos pueden ser calculados proporcionalmente a la caída de tensión.

11.- COMPORTAMIENTO ESTACIONARIO DE LA TENSION

Los alternadores síncronos según su circuito electrónico regulador automático de tensión (AVR) se clasifican en:

- . AVR independiente de la frecuencia para alternadores normales, donde U es constante.
- . AVR con regulación proporcional a la frecuencia para alternadores especiales donde u / f es constante.

En ambos tipos proporcionan, con velocidad constante, el factor de potencia del generador entre 0.8 y 1.

Con una variación de tensión en estado estacionario que oscila entre $\pm 1\%$ en vacío y plena carga.

La caída de la velocidad (RPM) hasta un 5% no afecta el funcionamiento normal del alternador.

En los modelos donde se incluye un regulador especial U/f constante donde la variación de la tensión es proporcional a las rotaciones. También tienen un potenciómetro de ajuste del valor de la referencia que se puede ser ajustada en $\pm 5\%$ de la tensión nominal.

12.- CALCULO DE LA BOIBNA DE ATERRAMIENTO

Este cálculo solo es posible realizarlo cuando estamos utilizando alternadores con la **conexión interna en estrella** en la cual tenemos un punto neutro accesible.

Cuando conectamos cargas monofásicas en alternadores trifásicos, principalmente si estas conexiones fueran desequilibradas llegaríamos a tener una influencia considerable de la **tercera armónica**, consecuentemente comienza a circular la corriente de secuencia cero por el circuito.

Para conseguir disminuir o eliminar este defecto debe utilizarse una reactancia limitadora conectada entre el neutro y el sistema de aterramiento del generador.

Esta reactancia recibe el nombre de REACTANCIA DE PETERSON.

Esta reactancia puede ser calculada de la siguiente forma:

$$X_{\text{neutro}} = 0.3 U_n / \sqrt{3} \cdot I_n$$

Donde:

U_n = Tensión nominal de fase del generador.

I_n = Corriente nominal de fase del alternador.

Al diseñar esta reactancia se debe tener los siguientes cuidados:

- **La bobina deberá tener características lineales hasta 0.3 I_n .**
- **Deberá resistir termicamente a 0.4 I_n .**

Terminales de aterramiento.- La finalidad del sistema de aterramiento es proteger a los operadores de las máquinas eléctricas y de las máquinas accionadas por las mismas, contra posibles cortocircuitos entre una parte energizada y las carcasa de la máquina.

Esta protección facilita un camino para la circulación de las corrientes de fallas desviándolos a tierra, y por tanto, protegiendo al operador y a la misma máquina.

El punto de conexión se halla ubicado en la parte inferior derecho de la caja de conexiones, el mismo que deberá conectarse a través del alimentador principal a su respectivo pozo de tierra.