

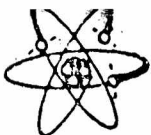
REPUBLICA ARGENTINA  
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA  
Dependiente de la Presidencia de la Nación  
CENTRAL NUCLEAR EN EMBALSE

INTRODUCCION A GENERADORES DIESEL DE EMERGENCIA

Ing. Rubén C. <sup>Cayetano</sup> SALOMONI



| DEPARTAMENTO                                    | FUNCION                              | SISTEMA           | B. S. I.     |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------|
| INTRODUCCION A GENERADORES DIESEL DE EMERGENCIA |                                      |                   |              |
| REVISADO                                        | PREPARADO POR<br>ING. SALOMONI RUBEN | FECHA<br>28/04/83 | REV.<br>0    |
|                                                 |                                      |                   | HOJA<br>DE 1 |



| DEPARTAMENTO                                                                                                                          | FUNCION       | SISTEMA | B. S. I.          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------|-------------------|
| <p><u>1ra</u> PARTE</p> <p>TEORIA SOBRE MAQUINAS SINCRONICAS</p> <p>PRINCIPIOS DE SINCRONIZACION, GENERACION</p> <p>Y EXCITACION.</p> |               |         |                   |
| REVISADO                                                                                                                              | PREPARADO POR | FECHA   | REV. HOJA<br>DE 2 |



| DEPARTAMENTO | FUNCION | SISTEMA | B. S. I. |
|--------------|---------|---------|----------|
|--------------|---------|---------|----------|

### DIAGRAMA VECTORIAL DE UN GENERADOR: (DIAGRAMA TEMPORAL).

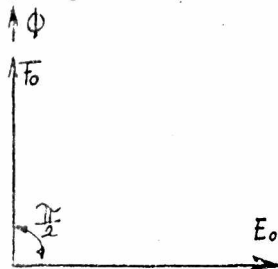
Cuando el alternador trabaja en vacío, al no circular corriente por los arrollamientos de armadura, la única fuerza electromotriz actuante es la del inductor, que da origen al flujo en vacío  $\phi_0$  en el circuito magnético principal.

Al conectar un circuito de carga el arrollamiento de armadura, circulará una corriente  $I_a$ , cuyo ángulo de fase con la f.e.m. dependerá de las características / del circuito.

Si se supone una máquina isótropa con una f.m.m. del inductor  $F_0$  distribuida armónicamente en el entrehierro dará origen a un campo también de distribución armónica.

Si el inductor gira a velocidad de régimen, el campo será rotante y en el interior de las espiras del arrollamiento de armadura se producirá un flujo variable armónicamente en el tiempo.

Puesto que existe una correspondencia entre la velocidad angular en el tiempo y la variación en el tiempo, la f.m.m. podrá entonces representarse por un vector  $F_0$  que gira con velocidad angular  $\omega$ .



Si la máquina está en vacío, esta será la única // f.m.m. existente. El flujo  $\phi_0$  que produce, actuará según la dirección de esta f.m.m.

Este campo alterno producido en el interior del arrollamiento de armadura, dará / origen a una f.e.m. inducida  $E_0$ , que retrasará en el tiempo un ángulo de  $90^\circ$ .

Si la máquina está en carga, la corriente  $I_a$ , circulando por los conductores de / la armadura dará origen a una f.m.m. de reacción de armadura  $F_A$  que estará desfasada  $(90^\circ + \psi)$  con respecto a  $F_0$ .

Puesto que  $F_A$  gira sincrónicamente con  $F_0$ , también alternará respecto a los arrollamientos de armadura con la misma pulsación que  $F_0$ . Este vector  $F_A$  por ser originado por la corriente  $I_a$  estará en fase con ella y los vectores representativos serán colineales.

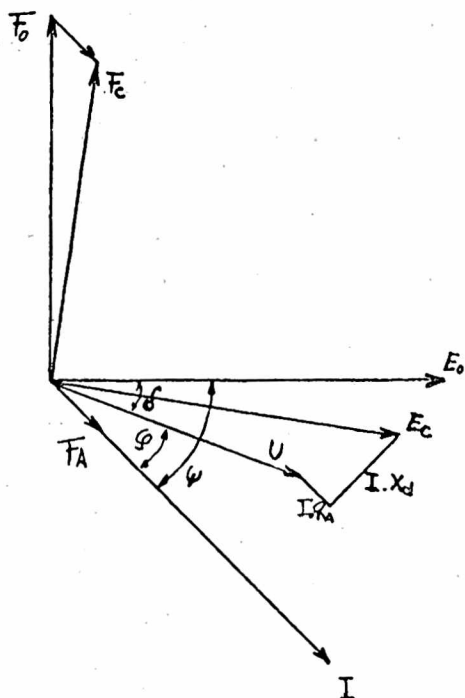
Ambas f.m.m. actuando simultáneamente en el mismo circuito magnético y siendo de variación armónica, podrán componerse vectorialmente para obtener la f.m.m. resultante  $F_c$ . Esta  $F_c$  es la responsable del flujo en carga  $\phi_c$  que estará en fase con / ella.

|          |                     |          |      |      |
|----------|---------------------|----------|------|------|
| REVISADO | PREPARADO POR       | FECHA    | REV. | HOJA |
|          | TNC SALOMONT RIBURN | 28/04/82 | 0    | DE 3 |



| DEPARTAMENTO | FUNCION | SISTEMA | B. S. I. |
|--------------|---------|---------|----------|
|--------------|---------|---------|----------|

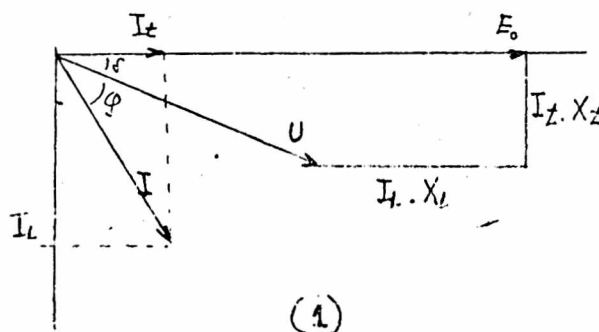
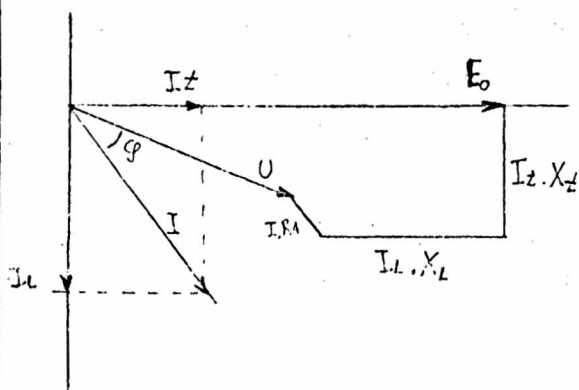
Este flujo rotante resultante, originará una f.e.m. ( $E_c$ ) denominada f.e.m. resultante. Restando de esta f.e.m. la caída de tensión por resistencia interna, en fase con  $I$  y la caída por reactancia de dispersión ( $I \cdot X_d$ ), se tendrá la tensión en bornes  $V$ .



#### CARACTERISTICAS DE POTENCIA - ANGULO DE CARGA Y CUPLA

$$m = \frac{F \cdot 60}{P} \Rightarrow P = \frac{F \cdot 60}{M} = \frac{50 \cdot 60}{1000} = 3 \text{ (PARES de POLOS)}$$

Sea una máquina de polos salientes (en nuestro caso seis) cuyo diagrama vectorial está dado por (1), donde se ha despreciado la caída, en  $R_A$  (RESISTENCIA de ARMADURA).-



|          |                                       |                   |           |              |
|----------|---------------------------------------|-------------------|-----------|--------------|
| REVISADO | PREPARADO POR<br>ING. SALOMONT RUIREN | FECHA<br>28/04/83 | REV.<br>0 | HOJA<br>DE 4 |
|----------|---------------------------------------|-------------------|-----------|--------------|



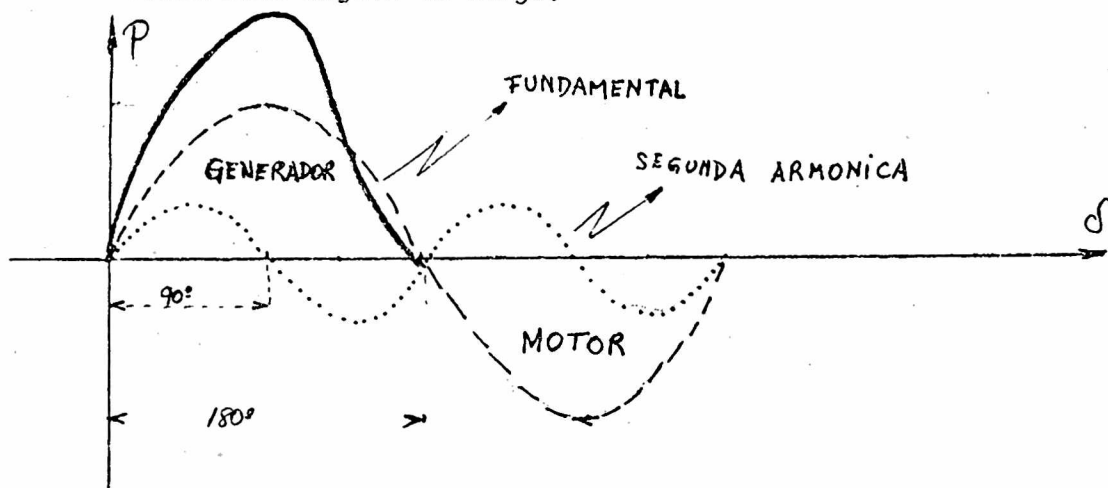
| DEPARTAMENTO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | FUNCION                              | SISTEMA           | B. S. I.            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|---------------------|
| <p>Por resistencia interna. La potencia de la máquina intercambiada con el circuito externo es <math>P = m.V.I. \cos \phi</math> y por fase <math>P_f = V.I. \cos \phi</math>.</p> <p>Según (1): <math>I. \cos \phi = I_t. \cos \delta + I_L. \sin \delta</math></p> $P_f = V. (I_L \sin \delta + I_t \cos \delta)$ <p>Del mismo diagrama vectorial se tiene <math>V. \cos \delta = E_o - I_L.X_L</math></p> <p>de donde <math>I_L = \frac{E_o - V. \cos \delta}{X_L}</math></p> <p>También: <math>V. \sin \delta = I_t. X_t</math> de donde: <math>I_t = \frac{V. \sin \delta}{X_t}</math></p> $P_f = V \left[ \frac{E_o - V \cos \delta}{X_L} \sin \delta + \frac{V. \sin \delta}{X_t} \cos \delta \right]$ $P_f = \frac{V^2. \sin \delta. \cos \delta}{X_t} + \frac{V.E_o \sin \delta}{X_L} - \frac{V^2. \sin \delta. \cos \delta}{X_L}$ $P_f = \frac{V.E_o \sin \delta}{X_L} + \frac{V^2}{X_t \cdot X_L} (X_L \sin \delta. \cos \delta - X_t. \sin \delta. \cos \delta)$ $P_f = \frac{V.E_o. \sin \delta}{X_L} + \frac{V^2}{X_t \cdot X_L} \cdot \sin \delta \cos \delta (X_L - X_t).$ <p>Por trigonometría : <math>\sin \alpha \cos \alpha = \frac{1}{2} \sin 2\alpha</math></p> |                                      |                   |                     |
| REVISADO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | PREPARADO POR<br>ING. SALOMONI RUBEN | FECHA<br>28/04/83 | REV. 0<br>HOJA DE 5 |



| DEPARTAMENTO | FUNCION | SISTEMA | B. S. I. |
|--------------|---------|---------|----------|
|--------------|---------|---------|----------|

$$P_f = \frac{V \cdot E_o}{X_L} \cdot \text{Sen. } \delta + \frac{1}{2} \frac{V^2 (X_L - X_t)}{X_L \cdot X_t} \text{Sen. } 2\delta$$

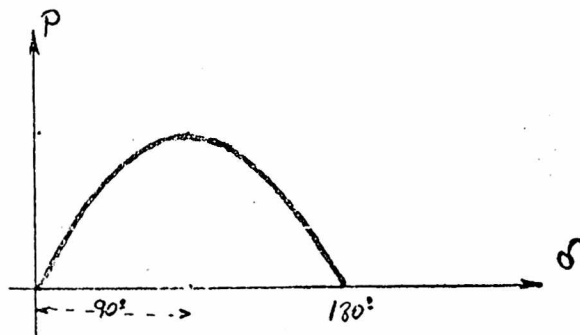
Esta ecuación representa la potencia en función del ángulo formado entre los vectores  $\overline{E_o}$  y  $\overline{V}$  denominado ángulo de carga.



Si la máquina en lugar de polos salientes fuera de rotor liso resultaría  $X_L = X_t = X_s$  y por lo tanto no existiría la componente de segunda armónica.

La potencia en este caso valdrá

$$P_f = \frac{V \cdot E_o}{X_s} \cdot \text{Sen} \delta$$



Si la máquina, ya sea de polos salientes o inductor liso, se desexcitará totalmente,  $E_o$  sería nulo. El término  $\frac{V \cdot E_o}{X_L} \text{Sen. } \delta = 0$

Por lo que existiría componente de onda fundamental.

En régimen estable, la velocidad del inductor es constante. La potencia y la cupla serán proporcionales.

|          |                                      |                   |           |              |
|----------|--------------------------------------|-------------------|-----------|--------------|
| REVISADO | PREPARADO POR<br>ING. SALOMONI RUBEN | FECHA<br>28/04/83 | REV.<br>0 | HOJA<br>DE 6 |
|----------|--------------------------------------|-------------------|-----------|--------------|



| DEPARTAMENTO | FUNCION | SISTEMA | B. S. I. |
|--------------|---------|---------|----------|
|--------------|---------|---------|----------|

$$c = \frac{P}{\omega} \quad \begin{array}{l} \text{potencia} \\ \text{velocidad angular} \end{array}$$

$$\omega = \frac{W}{P}$$

La potencia y la cupla desarrollada por la máquina sincrónica dependen del ángulo de carga  $\delta$

- Si la máquina, trabajando como generador tuviera un circuito inductivo permanente, el ángulo de carga se hará ( $\delta=0$ ) con lo que ( $\sin\delta=0$ ), ( $\sin 2\delta=0$ ) y la cupla desarrollada sería igual a cero.
- Si de alguna manera el ángulo  $\delta$  se pudiera hacer negativo, la potencia y por lo tanto también la cupla invertirían su signo. Esto significa que la máquina en lugar de entregar una potencia eléctrica la recibiría y en lugar de ofrecer una cupla resistente en el eje desarrollaría una cupla motriz. Es decir la máquina se comportaría como un motor sincrónico.

#### INSERCIÓN DE UNA MÁQUINA SINCRÓNICA A LA RED:

Para conectar una máquina sincrónica en paralelo con otras que ya están en operación y que mantienen una tensión en barras  $V$  y una frecuencia  $f$  constantes, se deben cumplir ciertas condiciones:

- 1ª) La máquina a conectar debe tener la misma tensión  $V$  que las barras alimentadoras.
- 2ª) La máquina y las barras deben tener prácticamente la misma frecuencia.
- 3ª) Si es polifásica, la secuencia de fases debe ser la misma que la de barras.
- 4ª) En el momento de efectuar la conexión los vectores f.e.m. de la máquina y / tensión de barras deben estar en oposición

De no cumplirse estas condiciones, la conexión de la máquina equivaldría a provocar un cortocircuito, o al menos produciría una perturbación que haría actuar las protecciones provocando la desconexión de la máquina. Cumplidas las condiciones precisadas, en el momento de conectar la máquina los vectores  $\vec{U}_{máq}$  y  $\vec{E}_0$  de la máquina serán de igual magnitud, estarán en oposición de fases y esto ocurri-

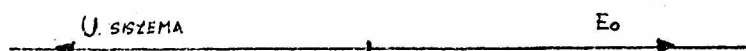
|          |                                      |                   |           |              |
|----------|--------------------------------------|-------------------|-----------|--------------|
| REVISADO | PREPARADO POR<br>ING. SALOMONI RUBEN | FECHA<br>28/04/83 | REV.<br>0 | HOJA<br>DE 7 |
|----------|--------------------------------------|-------------------|-----------|--------------|



| DEPARTAMENTO | FUNCION | SISTEMA | B. S. I. |
|--------------|---------|---------|----------|
|--------------|---------|---------|----------|

rá con todas las fases, por lo que la corriente será igual a cero en la máquina conectada.

En el circuito cerrado formado por la máquina que se conecta y las ya en operación, se cumplirá que la suma de lds f.e.m. es igual a cero por lo que  $I = 0$ . En estas condiciones, la máquina no entrega ni recibe potencia.



Una vez conectada la máquina en estas condiciones, continuará girando siempre en / sincronismo con los restantes. Si tendiera a modificar su velocidad por cualquier perturbación, los vectores  $\vec{U}_{sistema}$  y  $\vec{E}_o$  dejarían de estar en oposición y aparecería / en consecuencia una f.e.m. resultante distinta de cero en el circuito cerrado y / circularía entonces una corriente por su armadura que desarrollará una cupla sincronizante en la forma que se verá.

A partir de su conexión, la máquina podrá funcionar ya sea como generador, como / condensador síncronico o como motor.

#### COMO ALTERNADOR:

Para simplificar el razonamiento, supóngase potencia infinita en barra, esto es: que la potencia del sistema resulta muy elevada respecto a la propia de la máquina y que la impedancia del sistema resulta despreciable.

Esto equivale a:

$$Z_{SISTEMA} = 0$$

$U_{sistema} = \text{CONSTANTE}$ . NO VARIA POR ACCIÓN DE LA MÁQUINA EN CONSIDERACIÓN

$f_{FRECUENCIA} = \text{CONSTANTE}$ . NO VARIA POR ACCIÓN DE LA MÁQUINA EN CONSIDERACIÓN

Si se actúa sobre la máquina de accionamiento o "primaria", de modo que desarrolle mayor potencia mecánica, tenderá a aumentar su velocidad con lo que el induc-

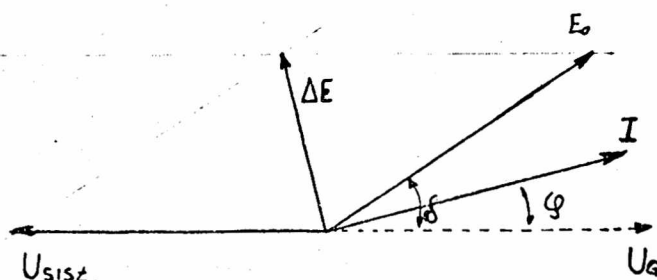
|          |                                      |                   |           |              |
|----------|--------------------------------------|-------------------|-----------|--------------|
| REVISADO | PREPARADO POR<br>ING. SALOMONI RUBEN | FECHA<br>28/04/83 | REV.<br>0 | HOJA<br>DE 8 |
|----------|--------------------------------------|-------------------|-----------|--------------|



| DEPARTAMENTO | FUNCION | SISTEMA | B. S. I. |
|--------------|---------|---------|----------|
|--------------|---------|---------|----------|

tor de la máquina sincrónica avanzará un cierto ángulo de carga  $\delta$   
El vector  $\bar{E}_o$  se adelantará y dejará de estar en oposición de fase con  $\bar{U}_{sist.}$  y por ende aparecerá una f.e.m. resultante  $\Delta E$  siendo:

$$\Delta E = \bar{U}_{sist.} + \bar{E}_o$$



Esta  $\Delta E$  hará circular una corriente  $I = \frac{\Delta E}{Z}$  donde  $Z$  es la impedancia total /  
del circuito, y por ser  $Z_{sist.} = 0$  resultará  $Z = Z_s$

$$\bar{E}_o = -\bar{U}_{sist.} + \Delta E = \bar{U}_g + \Delta E$$

Donde  $V_g$  es la tensión en bornes de la máquina igual y opuesta a la  $\bar{U}_{sistema.}$  /  
Siendo la  $Z_s$  fuertemente inductiva por hipótesis  $Z_s = X_s$ , la corriente  $I$  circulará defasada un ángulo próximo a  $90^\circ$  en atraso respecto a  $\Delta E$

El ángulo entre  $\bar{E}_o$  y  $\bar{V}$  es de signo positivo, y la potencia eléctrica en la máquina sincrónica será de signo positivo es decir trabajará como generador.

Esta condición de funcionamiento puede verificarse también considerando el ángulo de defasaje  $\phi$  que para la máquina resulta  $\phi < 90^\circ$ .

La cupla será positiva lo que significa físicamente una acción resistente sobre / el eje, lo que debe cumplirse necesariamente con el principio de conservación de la energía.

Si la máquina de accionamiento aumenta su cupla motriz, tenderá a acelerar el inductor, en un avance incrementará el ángulo de carga y con ello la cupla resistente hasta un valor tal que este incremento resulte igual al incremento producido / en la cupla motriz.

Cuando esto se logre se habrá restituido el equilibrio estabilizándose.

El ángulo  $\delta$  será tanto mayor cuando mayor sea la potencia aplicada al eje de la

|          |                     |          |      |      |
|----------|---------------------|----------|------|------|
| REVISADO | PREPARADO POR       | FECHA    | REV. | HOJA |
|          | ING. SALOMONI RUBEN | 28/04/83 | 0    | DE 9 |



| DEPARTAMENTO | FUNCION | SISTEMA | B. S. I. |
|--------------|---------|---------|----------|
|--------------|---------|---------|----------|

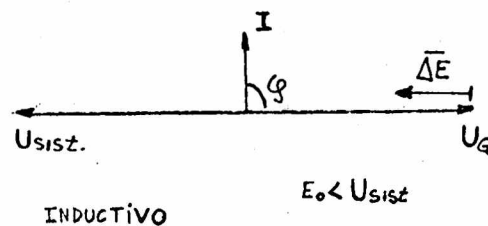
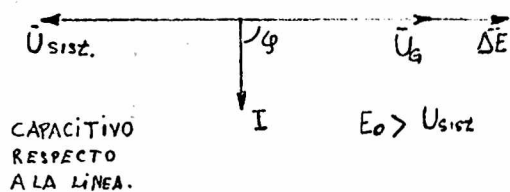
máquina sincrónica y tanto mayor será la potencia eléctrica generada.

### COMO CONDENSADOR SINCRONICO:

Supóngansen las condiciones iniciales de conexión y en lugar de actuar sobre la / máquina primaria se actúa sobre la excitación.

Al variar la excitación variará  $E_o$  pero no variará la relación de fases. Al ser  $E_o \geq \bar{U}_{sist.}$ , aparecerá una tensión  $\Delta E$  que hará circular una corriente  $I$  por la armadura, la cual retrasará  $90^\circ$  respecto a la  $U_{sist.}$  Si  $E_o < U_{sist.}$  y en cambio adelantará el mismo ángulo si  $E_o > \bar{U}_{sist.}$

$$E_o = U_G + \Delta E$$

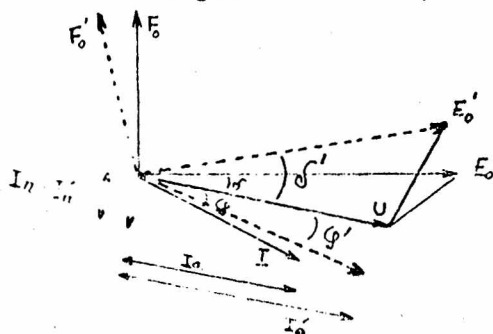


La potencia puesta en juego será ( $P = m. V. I. \cos. \phi$ ) y será igual a cero, es decir la máquina originará solamente una potencia reactiva.

Si  $E_o > U_{sist.}$  la corriente adelantará respecto a la tensión del sistema, comportándose la máquina frente a este como una carga puramente capacitiva. En estas condiciones trabajaría como condensador sincrónico.

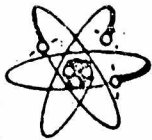
### DISTRIBUCION DE CARGA ACTIVA Y REACTIVA:

a) Supongamos una máquina que se encuentra trabajando en paralelo con otras y con un estado de cargas como el representado en la figura.



CONSIDERAMOS LA  
FUERZA MAGNETOMOTRIZ  
DE REACCIÓN DE ARMADURA  
CONSTANTE

|          |                                      |                   |           |               |
|----------|--------------------------------------|-------------------|-----------|---------------|
| REVISADO | PREPARADO POR<br>ING. SALOMONI RUBEN | FECHA<br>28/04/83 | REV.<br>0 | HOJA<br>DE 10 |
|----------|--------------------------------------|-------------------|-----------|---------------|



| DEPARTAMENTO | FUNCION | SISTEMA | B. S. I. |
|--------------|---------|---------|----------|
|--------------|---------|---------|----------|

Si se aumenta la potencia de la máquina, el inductor tiende a acelerarse y se adelanta respecto al campo rotante de la armadura, por lo que el ángulo de // carga aumenta.

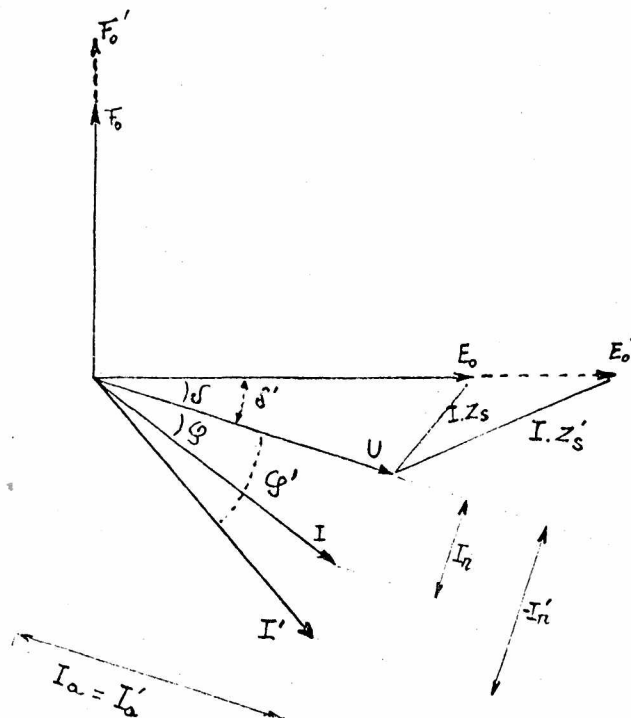
Trae como consecuencia un aumento de la componente activa de la corriente y / por lo tanto de la potencia que la máquina entrega al sistema. Lo contrario ocurre si se reduce la potencia primaria. En ambos casos la potencia reactiva / permanece sensiblemente constante.

- b) Si en cambio la máquina se encuentra en un estado de carga como el representado y se actúa sobre la excitación la potencia de la máquina no variará. Si suponemos potencia infinita en barras tampoco variará la tensión  $\bar{V}$ .

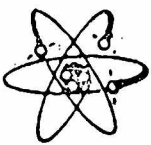
La modificación de  $F_o$  producirá una variación de  $E_o$ , si  $F_o' > F_o$  será  $E_o' > E_o$ . Esto provoca un cambio de  $I \cdot Z_s$  por lo que se modificará  $I$  tanto en módulo como en dirección.

Pero la proyección de  $I$  sobre  $V$  debe permanecer invariable  $I \cdot \cos \phi = I' \cdot \cos \phi'$ .

Un cambio de excitación producirá un cambio en la carga reactiva que toma la / máquina sin variar la potencia activa.



CONSIDERAMOS LA FUERZA  
MAGNETOMOTRIZ DE  
REACCIÓN DE ARMADURA  
CONSTANTE



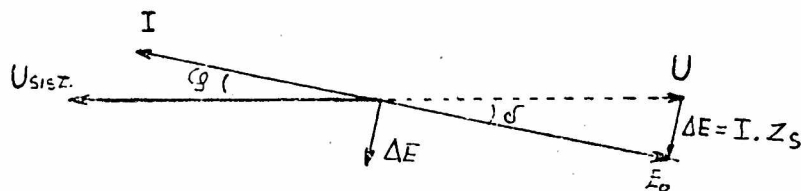
| DEPARTAMENTO | FUNCION | SISTEMA | B. S. I. |
|--------------|---------|---------|----------|
|--------------|---------|---------|----------|

En un sistema de potencia no infinita, con una carga constante, al aumentar la potencia de una máquina debe reducirse simultáneamente la de alguna de las otras que trabajan en paralelo con esta, ya que de no ocurrir así, el exceso de potencia generada sobre la requerida por la carga aceleraría el sistema acelerando su frecuencia. Esto se cumple automáticamente con los reguladores de velocidad o de frecuencia.

Respecto de la modificación de la potencia reactiva ocurre algo semejante. Al variar la carga reactiva sobre una máquina variando su excitación, si la carga del sistema permanece invariable, deberá variarse simultáneamente la excitación de ~~otra~~ máquina en sentido contrario para mantener el balance de carga reactiva. En caso de no procederse así, se provocará una variación de la tensión en el sistema. Esta compensación se efectúa automáticamente con los reguladores automáticos de tensión.

#### COMO MOTOR

Si a la máquina conectada a la red se le desacopla el motor de accionamiento, el inductor tiende a perder velocidad por efectos de rozamientos y pérdidas y se atrasa un pequeño ángulo.



Esto hace que el vector  $\bar{E}_0$  se retrase respecto a  $\bar{V}$ , hasta que la tensión resultante ( $\Delta E = \bar{U}_{sisz} + \bar{E}_0$ ) origina una corriente en el circuito de armadura.

Esta corriente  $I$  estará defasada  $90^\circ$  en atraso respecto a  $\Delta E$  y forma un ángulo menor de  $90^\circ$  respecto a la tensión del sistema. El ángulo será negativo por lo que la cupla resultante será de signo negativo.

#### MARCHA EN PARALELO DE MAQUINAS SINCRONICAS

##### a) ALTERNADORES

|          |                                      |                   |           |               |
|----------|--------------------------------------|-------------------|-----------|---------------|
| REVISADO | PREPARADO POR<br>TNO. SALOMONT DUREN | FECHA<br>28/04/83 | REV.<br>0 | HOJA<br>DE 12 |
|----------|--------------------------------------|-------------------|-----------|---------------|



| DEPARTAMENTO | FUNCION | SISTEMA | B. S. I. |
|--------------|---------|---------|----------|
|--------------|---------|---------|----------|

Para poder conectar en paralelo una máquina sincrónica con otra de la misma clase o con una red de alterna, debe poseer con respecto a éstas:

1º) La misma frecuencia - 2º) La misma tensión - 3º) La misma fase de tensión; es decir, la tensión de la máquina a conectar debe pasar por cero o alcanzar su valor máximo positivo, etc., en el mismo momento que la tensión ya existente (sincronismo).

Por ejemplo, si se conecta en esta forma a la red una máquina con la tensión (excitación) y frecuencia (velocidad) debidas, entonces funcionará en vacío, sin su suministrar ni absorber corriente. Su tensión entre bornes estará condicionada a la red, siendo constante si la de ésta lo es.

De variarse la excitación, varía la f.e.m. y se pone de manifiesto una corriente, a la cual no corresponde potencia alguna, ya que a la máquina motriz,

, no se le ha dado ocasión para que variara el consumo que tenía de agente motor.

De hecho, la aparición de esta corriente ejerce en la máquina el efecto de anular, por medio de su intensidad y fase, la modificación del campo introducida al variar la excitación.

Por lo tanto, se trata de una corriente reactiva o desvafiada, que, considerándola como producida por la máquina, resulta retrasada con sobreexcitación y adelantada con subexcitación. En el último caso, la máquina trabaja como generadora de corriente desvafiada.

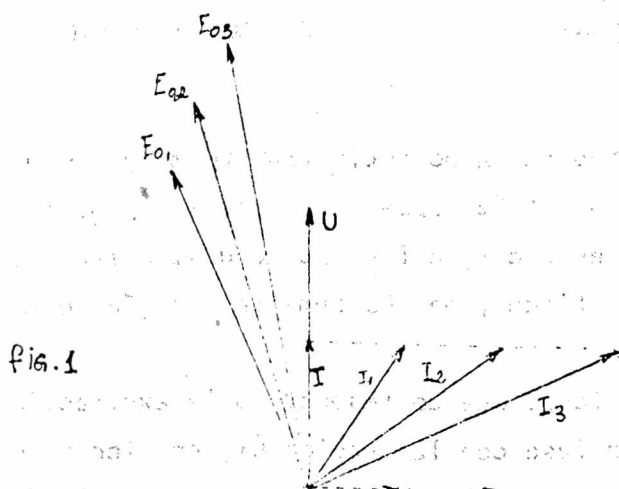
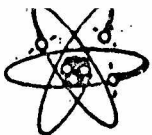


Fig. 1

CONSIDERAMOS LA FUERZA MAGNETOMOTRIZ DE REACCION DE ARMADURA VARIABLE, COMO SE MANIFIESTA EN LA REALIDAD. POR ENDE TENDREMOS UNA PEQUEÑA VARIACION DEL ANGULO DE CARGA.

DIAGRAMA REPRESENTATIVO DEL AUMENTO DE LA f.e.m. EN VACIO, AUMENTANDO LA EXCITACION, CON LA CORRIENTE EN RETRASO

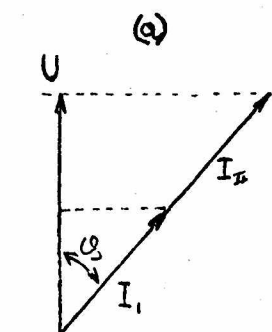


| DEPARTAMENTO | FUNCION | SISTEMA | B. S. I. |
|--------------|---------|---------|----------|
|--------------|---------|---------|----------|

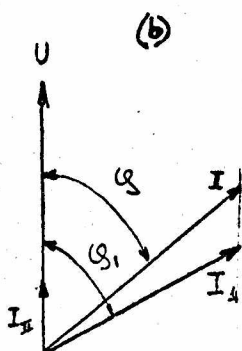
Variación de la potencia desarrollada. En cambio, si se actúa sobre el regulador de la máquina motriz para que consuma más fluido motor, es decir, aumentando la admisión, entonces aquélla tenderá a girar a más velocidad e impelerá la rueda polar hacia adelante. La velocidad de esta rueda depende, sin embargo, de la frecuencia en la red, y, simultáneamente, al adelantarse como / decimos, la transformación de potencia aumenta hasta alcanzar el equilibrio correspondiente, . La rueda polar seguirá girando a la velocidad de sincronismo, pero adelantada en avance al ángulo  $\delta$  con respecto a su posición en vacío.

De no modificarse la excitación, entonces la corriente estará algo adelantada, ya que para el alternador cargado trabajase con  $\phi=0$  con corriente retrasada, sería / preciso darle una excitación mayor que cuando marcha en vacío .

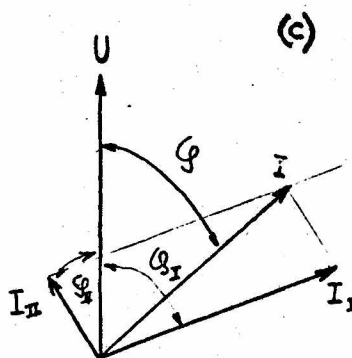
Si se varía ahora la excitación, ésta influirá sólo en el desfase de la corriente suministrada.



ALTERNADOR I y  
ALTERNADOR II  
CON LA MISMA  
EXCITACIÓN



ALTERNADOR I SOBRE-  
EXCITADO, ALTERNADOR  
II CON  $\cos \phi = 1$



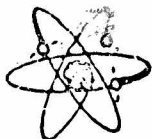
ALTERNADOR I SOBRE-EXCITADO  
ALTERNADOR II SUB-EXCITADO

fig. 2

Variación del desfase: Ya que la magnitud de la potencia transformada depende de / la posición del regulador de la máquina motriz, aumentado, por ejemplo, la excitación, variará solamente la corriente, es decir, primeramente disminuirá hasta alcanzar el valor de la sola corriente vatiada y después aumentará según se indica / en la figura 1.

En ésta,  $I$  representa la corriente vatiada, que corresponde a la excitación representada por la f.e.m.  $E_0$  y que está en fase con la tensión  $U_f$ , corriente de la / cual depende la potencia. A las f.e.m. 1, 2 y 3, debidas a la excitación del inductor, corresponden las corrientes  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$  con la misma corriente vatiada  $I$

|          |                                      |                   |           |               |
|----------|--------------------------------------|-------------------|-----------|---------------|
| REVISADO | PREPARADO POR<br>ING. SALOMONI PITRE | FECHA<br>28/04/82 | REV.<br>0 | HOJA<br>DE 14 |
|----------|--------------------------------------|-------------------|-----------|---------------|



| DEPARTAMENTO | FUNCION | SISTEMA | B. S. I. |
|--------------|---------|---------|----------|
|--------------|---------|---------|----------|

y las corrientes reactivas o devatiadas en retraso  $I_{r1}$ ,  $I_{r2}$ ,  $I_{r3}$ .

Por lo tanto, para cada potencia desarrollada, el desfase de la corriente del alternador depende de la excitación.

Distribución de la carga. Trabajando dos alternadores conectados en paralelo sobre una red con un desfase cualquiera, se distribuyen la carga vatiada de la red según la posición del regulador de la máquina motriz respectiva, y la carga desvatiada, según la excitación de cada alternador. Pueden darse los casos siguientes representados en la figura 2.

#### MARCHA EN PARALELO:

Los alternadores 1 y 2 trabajan con carga inductiva sobre una red, correspondiendo a cada uno cierta parte de la carga y teniendo ambos el mismo factor de potencia (fig. 2 a). Entonces resulta  $I_1 + I_2 = I$ . De aumentar el maquinista la excitación del alternador 1, entonces con la misma carga crece en éste el ángulo de fase y asimismo la corriente. Simultáneamente, la tensión de la red sube algo, por cuya causa el maquinista se ve precisado a bajar la excitación del alternador 2 / hasta obtener de nuevo la tensión de antes. Entonces, el ángulo de fase del alternador 2 disminuye, por ejemplo, hasta cero, y la corriente baja a su valor mínimo posible, o sea, al de la corriente vatiada (fig. 2. b). Si se aumenta más la / excitación de 1, con lo que también crece el desfase de 1 y en relación con lo / cual se sigue reduciendo la excitación de 2, entonces la corriente  $I_2$  aumenta / de nuevo, poniéndose en avance con respecto a la tensión (fig. 2 c). En ambos / casos, el alternador 2 trabaja en buenas condiciones, especialmente en el b, que es cuando las pérdidas por efecto Joule son mínimas y su rendimiento es más elevado, por lo cual la capacidad del alternador puede ser aprovechada en su totalidad. Este alternador suministra así solamente corriente vatiada, que es registrada por el contador ordinario.

El alternador 1, además de potencia vatiada, suministra potencia desvatiada, o sea, corriente desvatiada, la cual sirve para la excitación de los receptores inductivos de la red. Ya que la potencia desarrollada por la corriente desvatiada es nula, al alternador 1 no le corresponde mayor consumo de fluido motor. Relativamente a su potencia desarrollada verdadera, que sólo representa una parte de su potencia / aparente, las pérdidas por efecto Joule desarrollado por la corriente de carga, / por excitación y en el hierro, revisten en él mayor importancia y empeoran su rendimiento.

|          |                                      |                   |           |               |
|----------|--------------------------------------|-------------------|-----------|---------------|
| REVISADO | PREPARADO POR<br>ING. SALOMONI RUBEN | FECHA<br>28/04/83 | REV.<br>0 | HOJA<br>DE 15 |
|----------|--------------------------------------|-------------------|-----------|---------------|



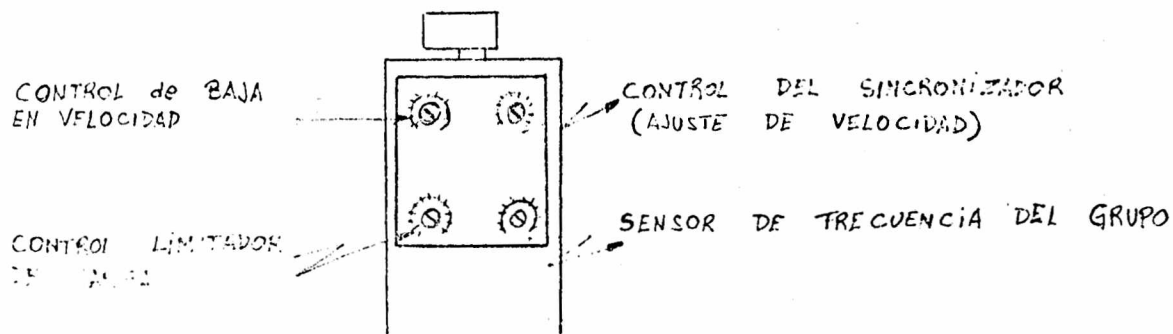
| DEPARTAMENTO | FUNCION | SISTEMA | B. S. I. |
|--------------|---------|---------|----------|
|--------------|---------|---------|----------|

Aun en el caso de la figura 2 c, el alternador 2 trabaja siempre en condiciones mucho mejores que el alternador 1, a pesar de haber aumentado en éste también las pérdidas por efecto Joule en comparación con el caso a, debido a la corriente desvaviada en avance, pues al mismo tiempo las pérdidas en el hierro han disminuído aproximadamente en proporción a  $E^2$ , de manera que su rendimiento no se reducirá tanto, aún cuando en este caso, naturalmente, la capacidad del alternador no puede ser aprovechada en su totalidad.

También la distribución puede ser otra, por ejemplo, en forma tal que un alternador o su central suministre toda la potencia real (carga) de la red y el otro la potencia reactiva total. Este último absorberá solamente como potencia mecánica / la correspondiente a las pérdidas en vacío + las del cobre debidas a la corriente desvaviada, siendo indiferente que esa potencia le sea suministrada por una máquina motriz especial, o bien que la tome de la red. Este alternador trabaja como / máquina sincrónica generadora de corriente desvaviada o regulador de fase.

## 2ª PARTE) REGULADOR HIDRAULICO-CURVAS de ESTATISMO

- Normalmente el regulador hidráulico UG-40 trabaja como isócrono es decir mantiene una velocidad constante del motor para cualquier cambio en la carga, excepto en el instante en que ocurre el cambio de velocidad.
- También puede trabajar con baja velocidad, para dividir automáticamente y balancear la carga entre unidades que impulsen el mismo eje o paralelizadas en / un sistema eléctrico.



Sincronizador: Se usa el sincronizador o control de ajuste de velocidad para cambiar la graduación de velocidad cuando funciona en vacío, o para / modificar la carga cuando se ha efectuado el paralelo con otras unidades.



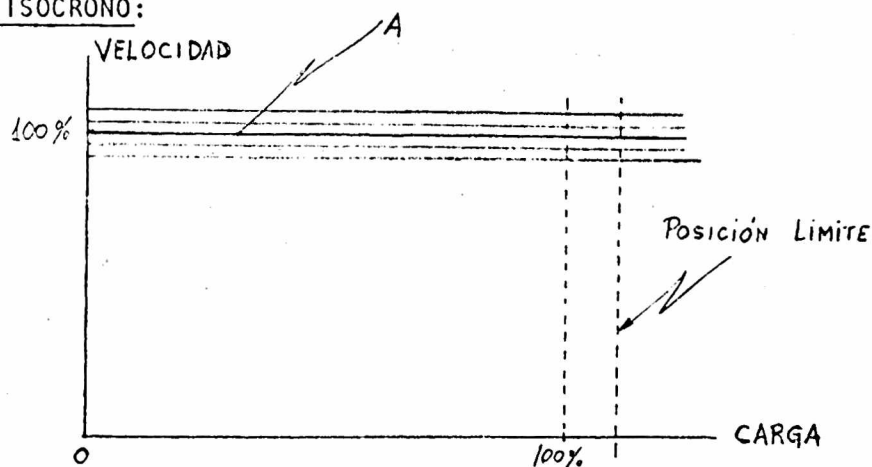
| DEPARTAMENTO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | FUNCION                             | SISTEMA           | B. S. I.  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|-----------|
| <p><u>Motor del sincronizador</u>: Su uso permite al operador igualar la frecuencia con otras unidades y cambiar la distribución de carga una vez efectuada la SINCRONIZACIÓN</p> <p><u>Baja en velocidad</u>: La acción de este control se manifiesta variando la compresión del resorte de ajuste de velocidad.</p> <p>Un aumento del combustible reduce la compresión del resorte, / reduce en consecuencia la fijación de velocidad del regulador y la unidad gradualmente reduce su velocidad al aplicarse la / carga.</p> <p>- Al reducirse hacia cero la baja en velocidad. La unidad se habilita para cambiar la carga sin modificar la velocidad. Las / unidades que funcionan solas deberían tener la baja en velocidad en cero, y las unidades interconectadas deberían funcionar con la baja en velocidad fijada en un valor donde rinda una división de carga satisfactoria.</p> <p>Si se tienen varias unidades en paralelo, deben tener graduada la baja en velocidad a un valor donde se pueda prevenir contra un intercambio de cargas entre las unidades (normalmente 30).</p> <p>Si una unidad de la planta, tiene suficiente capacidad, su regulador puede colocarse con baja en velocidad cero y de esta / forma regular la frecuencia del sistema íntegro. Esta unidad / absorberá entonces todos los cambios en la carga dentro de los límites de su capacidad y controlará la frecuencia.</p> <p>De esta manera se ajusta la frecuencia del sistema operando el sincronizador del regulador que tiene baja en velocidad cero.</p> <p>La distribución de la carga entre unidades se logra operando / los sincronizadores de los reguladores que tengan baja en velocidad.</p> <p><u>Control limitador de carga</u>: Este control limita mecánica e hidráulicamente la carga que se puede dar al motor, restringiendo en consecuencia la cantidad máxima de combustible suministrado. El control puede ser usado para parar el motor girándolo a cero.</p> <p>Durante el control del sistema será posible hacer los tres tipos de gobiernos: isócrono, caída de velocidad</p> |                                     |                   |           |
| REVISADO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | PREPARADO POR<br>ING. SALOMON RIBEN | FECHA<br>28/04/83 | REV.<br>0 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                     | HOJA<br>DE        | 17        |



| DEPARTAMENTO | FUNCION | SISTEMA | B. S. I. |
|--------------|---------|---------|----------|
|--------------|---------|---------|----------|

y limitación de carga.

GOBIERNO ISOCRONO:

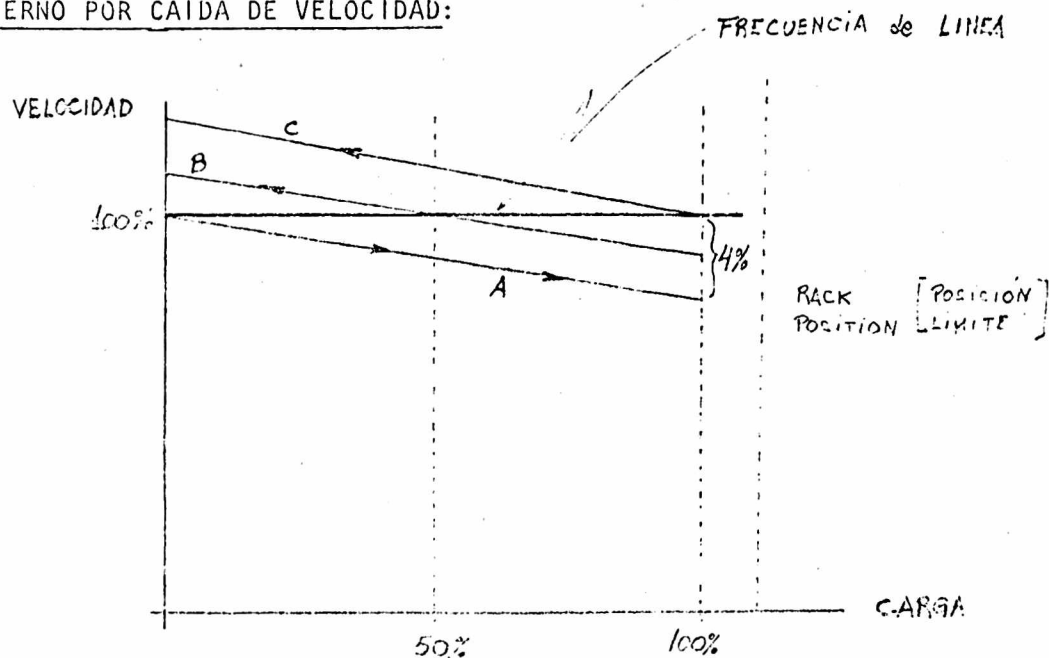


El gobierno isócrono puede ser representado por una familia de curvas horizontales. Cada línea representa una velocidad establecida.

Si se establece mantener la velocidad representada en la línea A y se incrementa / la carga, la velocidad varía como se muestra.

Si comenzamos con carga cero, la velocidad será constante según A hasta alcanzar la totalidad de la capacidad de la máquina, si la capacidad de la máquina es sobre parada la velocidad caerá después de pasar la posición límite.

GOBIERNO POR CAIDA DE VELOCIDAD:



|          |                                      |                   |           |               |
|----------|--------------------------------------|-------------------|-----------|---------------|
| REVISADO | PREPARADO POR<br>ING. SALOMONI RUBEN | FECHA<br>28/04/83 | REV.<br>C | HOJA<br>DE 10 |
|----------|--------------------------------------|-------------------|-----------|---------------|

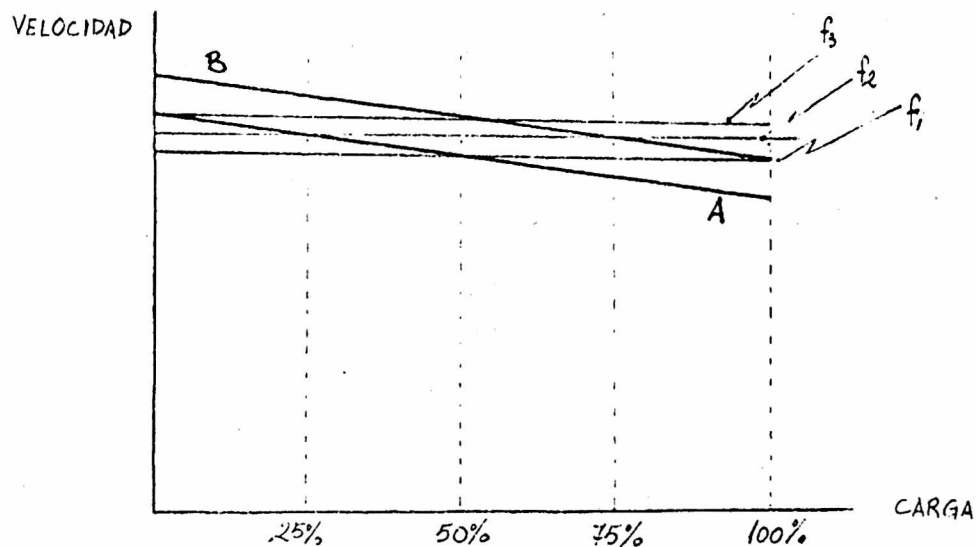


| DEPARTAMENTO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | FUNCION                              | SISTEMA           | B. S. I.                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|----------------------------|
| <p>El gobierno por caída de velocidad tiene una familia de curvas similar, pero con un cierto declive como se muestra.</p> <p>Similarmente la velocidad caerá hasta alcanzar el rack position, a medida que se incremente la carga.</p> <p>Supóngase ahora que el límite de carga es el 50% en cada caso.</p> <p>La posibilidad es la misma que antes excepto que ahora la caída de velocidad se producirá hasta el 50% o cuando el normal rack límite es encontrado.</p> <p>Pensamos que el gobierno de caída de velocidad de la máquina conectado a un sistema sincrónico tan grande que nuestro motor no puede afectar su frecuencia (barra finita).</p> <p>Ahora debemos recordar que la velocidad de la máquina no se determina por el speed setting, pero sí por la frecuencia de la barra que es tan grande como el máximo torque de sincronización. (EN CASO de BARRA INFINITA)</p> <p>En este caso es un cambio en la carga no en la velocidad (porque no varía frecuencia),</p> <p>Refiriéndonos nuevamente a la figura, debemos establecer A para lo cual la velocidad de carga no es igual a la velocidad de barra (frecuencia) sin la sincronización. Si se incrementa el speed setting a B nosotros cambiaremos la velocidad pero / tomaremos aproximadamente 1/2 carga.</p> <p>Si ahora incrementamos aún más y alcanzamos la línea C podemos alcanzar la máxima carga posible de la máquina el 100%. (SIEMPRE AUMENTANDO LA VELOCIDAD)</p> <p>Si la regulación, como se indica en la figura hace posible una caída del 4%, y el alternador es desconectado de barras cuando lleva el 50% de la carga, la velocidad podrá superar la nominal en un 2%.</p> <p>Si se encuentra trabajando en la curva C y tiene plena carga y desconectando similarmente el caso anterior la sobrevelocidad no superará el 4%.</p> <p>Si la caída de velocidad estaba en cero esto es, si el gobierno estaba en isócrono el paralelo con una barra infinita podría ser impracticable por la razón que el / speed setting alrededor de la velocidad de sincronismo sería pequeño.</p> <p>Por todos modos, el gobierno no se podrá poner en paralelo isócrono con un sistema que sea tan grande que la unidad de gobierno no pueda afectar su velocidad (frecuencia).</p> <p>- Si dos unidades idénticas tienen los gobiernos de caída de velocidad en paralelo entre sí, y no hay otras unidades generadoras en el sistema, la frecuencia será determinada por el speed setting de los reguladores, la regulación de los reguladores de los motores será combinada para tomar la carga total.</p> |                                      |                   |                            |
| REVISADO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | PREPARADO POR<br>ING. SALOMONT RUBEN | FECHA<br>28/04/83 | REV.<br>0<br>HOJA<br>DE 19 |



| DEPARTAMENTO | FUNCION | SISTEMA | B. S. I. |
|--------------|---------|---------|----------|
|--------------|---------|---------|----------|

Aquí como antes, se recordará que la velocidad de ambas unidades debe ser idéntica si queremos repartición igualitaria.



Si pensamos que ambas unidades trabajan sobre la curva A, y el total de la carga (100%) puede ser tomada por una sola unidad. En este caso cada unidad llevará el 50% y la velocidad será la considerada como  $f_1$ , siendo la misma para ambas unidades.

Supongamos ahora que una unidad trabaja sobre la curva A y la otra sobre la B. La velocidad a la cual ambas unidades pueden llevar la totalidad de la carga (100%) / será ahora  $f_2$ , y la división de carga no será igual para ambas máquinas.

La máquina que trabaja en la curva B llevará el 75% de la carga y la que trabaja sobre la curva A el 25%.

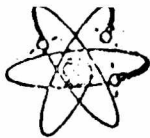
Si ahora, con una máquina trabajando en la curva A y la otra en B, la carga es incrementada al 150% y la regulación está la misma para ambas unidades, el adicional del 50% será dividido igualitariamente entre ellas, la que trabaja en A llevará / ahora el 50% y la que trabaja en B el 100%. En este caso la velocidad del sistema pasará al incrementarse la carga en un 50% de la  $f_2$  a  $f_1$ .

Se puede observar que con este tipo de regulación la capacidad del sistema es de / 150%.

Sería del 200% si ambas trabajan sobre la misma curva por ejemplo la B.

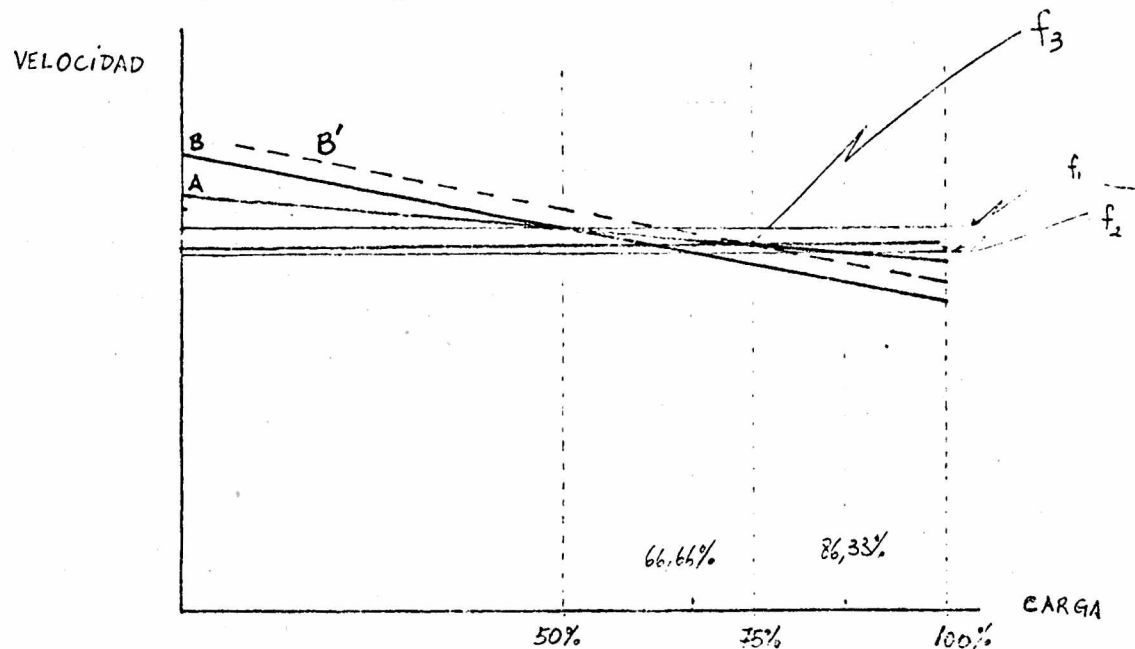
Si consideramos el mismo caso anterior, es decir una carga del 100% y de repente / sacamos el 50% de la carga, la frecuencia del sistema sería  $f_3$ , solamente se cargaría la máquina que trabaja sobre la curva B y la que trabaja sobre la curva A se descargaría.

|          |                                      |                   |           |               |
|----------|--------------------------------------|-------------------|-----------|---------------|
| REVISADO | PREPARADO POR<br>ING. SALOMONI RUBEN | FECHA<br>28/04/83 | REV.<br>0 | HOJA<br>DE 20 |
|----------|--------------------------------------|-------------------|-----------|---------------|



| DEPARTAMENTO | FUNCION | SISTEMA | B. S. I. |
|--------------|---------|---------|----------|
|--------------|---------|---------|----------|

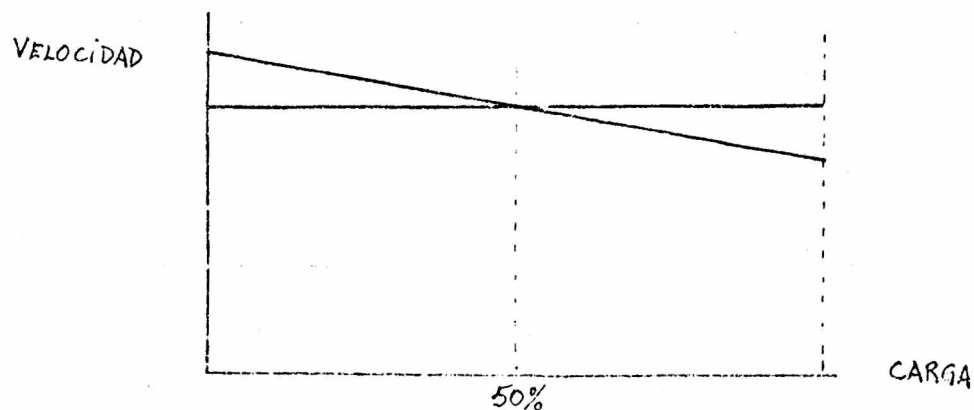
\* Si la regulación no es la misma, la división de carga será: [ES DECIR DIFERENTE CURVA DE ESTATISMO]



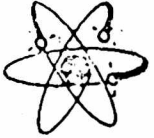
Si dos unidades tienen diferente regulación serán ajustada para llevar el 50% de la carga cada una a la velocidad  $f_1$ , (SUPONIENDO ESTAS CONDICIONES DE SERVICIO). Si la carga en estas condiciones es incrementada a un valor del 150%, la división entre las máquinas no será igualitaria. En estas condiciones la que trabaja sobre la curva A tomará el 86,3% y la que trabaja sobre B el 66,6% y la frecuencia caerá a  $f_2$ .

Si ahora reajustamos el speed setting de B a B' nuevamente habrá repartición igualitaria de carga entre las máquinas y la velocidad del sistema será  $f_3$ .

\* Un caso especial es cuando una de las unidades tiene regulación cero o es isócrona.



|          |                                      |                   |           |               |
|----------|--------------------------------------|-------------------|-----------|---------------|
| REVISADO | PREPARADO POR<br>ING. SALOMONI RUBEN | FECHA<br>28/04/83 | REV.<br>0 | HOJA<br>DE 21 |
|----------|--------------------------------------|-------------------|-----------|---------------|



| DEPARTAMENTO | FUNCION | SISTEMA | B. S. I. |
|--------------|---------|---------|----------|
|--------------|---------|---------|----------|

Esto es idéntico al caso de barra infinita sin la habilitación del control isócrono de la máquina para mantener la velocidad tarada.

Toda carga permanente será tomada por la máquina isócrona. Según la figura cada / máquina tomará el 50% de la carga. Si la carga fuera incrementada a un total del 150%, la unidad con caída de velocidad llevará el 50% y la unidad isócrona llevará el 100%.

Si la carga cayera por debajo del 50% la carga sería tomada únicamente por la unidad con caída de velocidad, y la máquina isócrona no tomaría carga.

#### CURVA DE ESTATISMO DE LOS GRUPOS DIESEL

$$E(\mu) = \frac{f_p - f_T}{\frac{P_m}{P_T}}$$

$$E(\%) = E(\mu) \times 100$$

$f_p$  = frecuencia luego del rechazo de carga (frecuencia pico).

$f_T$  = frecuencia antes de sacar la carga (frecuencia de trabajo).

$P_T$  = potencia a la que trabaja el grupo.

$P_n$  = potencia nominal.

Si estoy trabajando con el grupo a una potencia  $P_T$  y frecuencia  $f_T$  y saco la carga de golpe, la frecuencia se eleva a un valor  $f_p$  y de esta manera reemplazando los valores en la fórmula determino el porcentaje de estatismo.-

