

TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO

EN LA ESPECIALIZACION DE INGENIERIA ELECTRICA

DE LA

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

"GENERALIDADES SOBRE LOS ACCIONAMIENTOS ELECTRICOS Y CALCULO
DE UN ELEVADOR DE MINAS PARA LA FABRICA DE CEMENTO GUAPAN"

JORGE ARTURO GERMAN VILLALBA

Quito, Junio de 1966

Certifico que el Sr. JORGE GERMAN, ha realizado personalmente esta Tesis, bajo mi control como Director de Tesis.

Quito, Junio de 1966

Alfredo Mayra

ESTA TESIS LA DEDICO:

A mi Esposa, Hijos y a mi Hermano.

A G R A D E C I M I E N T O

En forma muy especial agradezco al Dr. FRIEDERICH WEYMAYR Director de esta Tesis, en igual forma a todos mis profesores y a la ESCUELA POLITECNICA NACIONAL. Así como también a los Personeros de la Fábrica de Cemento Guapán, por la ayuda prestada con su información para la realización de esta Tesis.

Quito, Junio de 1966

Indice de Materias

	Pág.
Prólogo	I
PARTE I	
GENERALIDADES SOBRE LOS ACCIONAMIENTOS ELECTRICOS	
	Pág.
I-1 La Importancia de los Accionamientos Eléctricos	1
I-2 Elementos de un Accionamiento Eléctrico	1
I-3 Características Principales de un Motor Eléctrico	5
I-3-a Clases de Servicio	5
I-3-b Clases de Aislamientos	7
Regla de Montsinger (G. E. Co.)	9
I-3-c Condiciones Especiales	10
1ª Variación de la Potencia de un Motor con la altura	10
2ª Normas Generales que deben seguirse en la Determinación correcta de un Accionamiento	12
Placa de Características	17
3ª Influencia de la Temperatura del Ambiente en la Potencia Motriz	20
I-4 Momentos Motrices	24
I-5 Característica Mecánica	27
I-6 Momentos de las Máquinas a Operar	29
I-7 Ecuaciones Fundamentales de los Accionamientos Eléctricos	33
I-8 La Inercia y el Momento de Impulsión	37
I-9 Reducción de una Cadena Cinemática	38

	Pág.
a) Movimiento Circular	38
b) Movimiento Rectilíneo	42
c) Movimiento Circular y Rectilíneo	43
I-10 Ensayo para la Determinación de GD^2	43
I-11 Período de Aceleración	44
I-12 Relaciones Mecánicas de los Procesos Intermedios	45
a) Tiempo en los Procesos Transitorios	46
b) Cálculo del Recorrido en el Período Transitorio	50
c) Cálculo del Tiempo mediante la Integración Gráfica	51
I-13 El Calentamiento de una Máquina Eléctrica	56
I-13-a Casos Particulares	59
I-13-b Integración de la Función	60
1ª El Calentamiento	61
2ª El Enfriamiento	63
I-13-c El Calentamiento y el Enfriamiento en las Clases de Servicio	65
1ª Servicio Continuo S.C.	65
2ª Servicio Breve S.B.	66
3ª Servicio Intermitente S.I.	69
4ª Servicio Continuo con Carga Intermitente S.C.C.I	70
5ª Servicio Continuo con Cargas Breves S.C.C.B.	71
6ª Servicio Conexión y Desconexión S.C.D.	71
I-14 La Ventilación	72
I-15 Elección de la Potencia Motriz	75
I-15-a Método de las Pérdidas Equivalentes	77

	Pág.	
I-15-b	Método de la Corriente Equivalente	79
I-15-c	Método del Momento Equivalente	80
I-15-d	Método de la Potencia Equivalente	81
I-16	Arranque de Motores de Corriente Continua	82
I-16-a	Cálculo del Reóstato de Arranque	85
I-16-a-1	Cálculo de un Arancador para un Motor en Derivación	86
I-16-a-2	Cálculo de un Arrancador para un Motor en Serie	96
I-17	La Serie de Máquinas y sus Características	100
I-18	Determinación del GD^2 de un Motor	106
I-19	La Regulación de la Velocidad	107
I-19-a	Motor de Corriente Continua en Derivación	107
I-19-b	Motor Serie de Corriente Continua	111
I-19-c	Motor Asincrónico	112
I-20	El Frenado	114
I-20-a	Motor de Corriente Continua en Derivación	114
I-20-b	Motor Serie	116
I-20-c	Motor Asincrónico	118

PARTE II

CALCULO DE UN ELEVADOR DE MINAS PARA LA FABRICA DE CEMENTO "GUAPAN"		
II-1	Cantidad de Carbón a Transportarse	120
II-1-a	Gasto de Carbón para la Fábrica de Cemento	120
II-1-b	Gasto de Carbón para la Planta Térmica de	
	Biblián	123
II-2	Descripción del Proyecto	125
II-3	Elevación de Pozos	127

	Pág.	
II-4	Datos Principales del Cálculo del Ascensor	128
II-5	Cálculo del Ciclo	129
II-6	Cálculo del Cable	131
II-7	Cálculo de los Momentos	134
II-8	Evaluación aproximada de la Potencia Motriz	136
II-9	Elección del Motor a Utilizarse	137
II-10	Tambor a Utilizarse	138
II-11	Dispositivos a Emplearse en la Cadena Cinemática	142
II-11-a	Acoplamientos I y II	143
II-11-b	Masas Giratorias de la Reducción	143
II-12	Datos Necesarios para el Freno	144
II-12-a	Cálculo de la Inercia del Freno	147
II-13	Reducción de Masas al Eje Motor.- La Inercia Equivalente	147
II-14	Nuevo Cálculo de la Potencia Motriz	148
II-15	Control de la Temperatura	152
II-15-a	Diagrama del Calentamiento	153
II-16	Cálculo de la Corriente	154
II-17	Consideración Especial	154
II-18	Otras Posibilidades	156
	Bibliografía	158

Indice de Cuadros y Diagramas

Clases de Servicio

Regla de Montsinger

Diagrama N° 1: "Influencia de la Temperatura Am
biente en la Potencia Motriz"

Momentos de las Máquinas a Operar

Diagrama N° 2: "Arranque y Frenado"

Casos particulares del Calentamiento de una Má-
quina.

Diagramas del Ciclo

Diagramas: tiempo, aceleración, deceleración, -
carga total, Momentos Estáticos y Potencia

Cadena Cinemática

Cuadros N° 1 y 2 de la Inercia Equivalente

Diagrama de Momentos Dinámicos

Diagrama del Calentamiento

P R O L O G O

Se ha escogido este tema para indicar importancia de la materia Accionamientos Eléctricos; la energía eléctrica tiene muchas aplicaciones y aproximadamente 70% van a las fábricas para realizar procesos tecnológicos y a la tracción eléctrica.

La Tesis siguiente consta de dos partes::

La primera parte abarca toda la teoría, que se aplica para el cálculo de los mismos y las exigencias standard. Se ha elaborado un cuestionario para la elección de la potencia motriz. Importancia especial se puso en las relaciones térmicas del motor y su duración y también a la ley de la serie de máquinas y al frenado de motores.

La segunda parte calcula el elevador de minas para la fábrica de cemento y la planta de Biblián, como aplicación técnica de lo anterior.

Lo interesante en la materia "Accionamientos Eléctricos", es que ésta reúne leyes de la Electrotecnia con las de la mecánica. Especial advertencia se puso a las relaciones dinámicas cuyo descuido ha causado muchas averías.

También se han considerado las relaciones térmicas en una máquina, y se ha estudiado la posibilidad incómoda de sobrecarga de una máquina.

Al final aparecen en forma concentrada otras posibilidades del transporte según el estado de la técnica actual.

PARTE I

GENERALIDADES SOBRE LOS ACCIONAMIENTOS ELECTRICOS

P A R T E I

GENERALIDADES SOBRE LOS ACCIONAMIENTOS ELECTRICOS

I-1

La Importancia de los Accionamientos Eléctricos.-

El gran progreso de las máquinas durante los últimos decenios, hasta llegar a los notables rendimientos de hoy día, se debe en buena parte a que la Industria Eléctrica se ha esforzado constantemente en crear accionamientos adecuados. Así se ha llegado a la perfecta unidad entre la máquina y el motor que la opera. Gracias a los modernos dispositivos de mando eléctricos, la máquina más grande ha pasado a ser un instrumento fácilmente manejable para quienes las operan. La mayoría de las empresas han participado decisivamente en estos perfeccionamientos, fabricando motores apropiados y creando dispositivos de mando y reglaje perfectamente adoptados a las necesidades.

Las relaciones que existen entre el motor eléctrico y la máquina a operar constituyen los Accionamientos Eléctricos.

I-2

Elementos de un Accionamiento Eléctrico.-

En la figura (1), podemos ver las partes de una instalación y donde están localizados los accionamientos eléctricos:

- 1: Red de transporte y distribución de la energía eléctrica.,
- 2: Motor eléctrico.,
- 3: Máquina a Operar.,
- 4: Inercia de todo el sistema (Volante):

5: Elementos de regulación, reversión, conexión, etc.

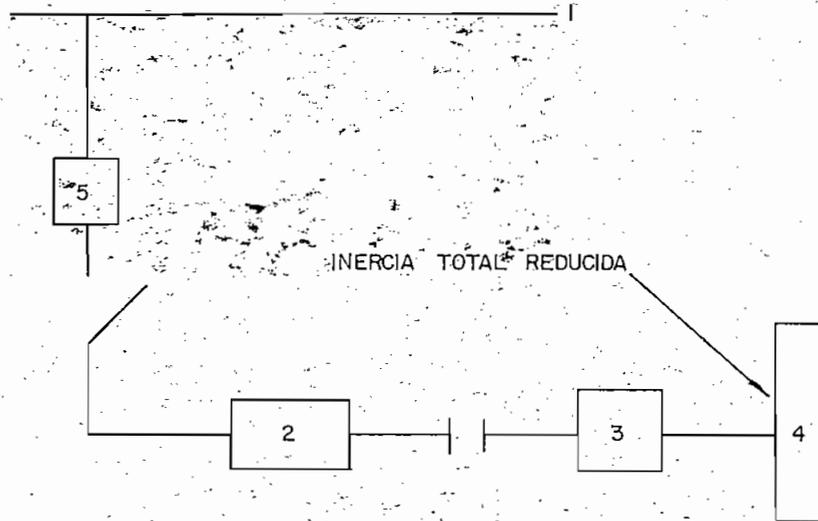


FIG. I

Todo elemento que gira tiene Inercia; y, si tomamos en cuenta las partes móviles de cualquier máquina, vemos que la Inercia es de suma importancia y lo determinante en el tipo de motor a utilizarse, ya que la Inercia se hace presente en el período transitorio de cualquier máquina.

Sabemos que:

$$F = m.a = \frac{G}{g}.a \quad (1)$$

F = Fuerza,

$m = \frac{G}{g}$ = masa,

G = Peso (Kg)

g = Gravedad (m.seg⁻²)

a = Aceleración radial,

en el movimiento rectilíneo $a = \frac{dv}{dt}$ (m.seg⁻²)

en el movimiento circular $\alpha = \frac{d\omega}{dt}$ (rad.seg⁻²)

$$a = \alpha \cdot r$$

r = radio (metros).

En la ecuación (1), multiplicamos ambos miembros por r; y, reemplazamos a por su valor:

$$F \cdot r = m \cdot a \cdot r$$

$$F \cdot r = m \cdot r^2 \cdot \alpha$$

Donde: $m \cdot r^2$, es el valor de la Inercia en el movimiento circular y se la representa por:

$$I = \textcircled{H} = m \cdot r^2 \text{ (Kg.m.seg}^2\text{)} \quad (2)$$

Usamos \textcircled{H} para no confundir con I, que es el valor de la corriente en circuitos eléctricos.

El producto $F \cdot r$ es el momento de giro, momento total o torque en el movimiento circular:

$$M_{\text{giro}} = F \cdot r = m \cdot r^2 \cdot \alpha = I \cdot \alpha = I \cdot \frac{d\omega}{dt} \text{ (m.Kg)} \quad (3)$$

De la misma forma la inercia es también propiedad de toda la materia. Es fenómeno conocido que para poner en movimiento un cuerpo que se halla en reposo es preciso aplicarle cierta fuerza. En realidad, la fuerza es necesaria siempre que haya que modificar en magnitud o en dirección la velocidad de un cuerpo. Para ello, se requiere aplicar cierta aceleración, o propiamente, la inercia es la fuerza con que la masa del cuerpo se opone a la aceleración que se la quiere imprimir, y aún es proporcional a la misma. De aquí, se desprende la Primera Ley de Newton sobre el movimiento que dice: "No hay variación en el movimiento de un cuerpo, a menos que una Fuerza actúe sobre él"

En el movimiento rectilíneo, la inercia es directa-

mente proporcional a la masa del cuerpo, que es la relación entre el peso y la gravedad, y su dimensionamiento viene dado por:

$$m = \frac{G}{g} (\text{Kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{seg}^2) \quad (4)$$

Las ecuaciones de un cuerpo que rota alrededor de un eje de simetría son:

$$\left. \begin{aligned} \sum F_x &= 0 \\ \sum F_y &= 0 \end{aligned} \right\} \text{Sistema coplanario}$$

$$\sum \text{Mom} = I \cdot \alpha = 0 \text{ Suma algebraica de Momentos}$$

de las Fuerzas con respecto al eje de rotación.

La Inercia se presenta cuando la máquina entra en accionamiento, o sea, cuando está acelerándose o desacelerándose, en procesos transitorios.

Otro caso de accionamientos sería, con interposición de engranajes, correas, un caso de éstos, tenemos en el siguiente gráfico: Figura (2)

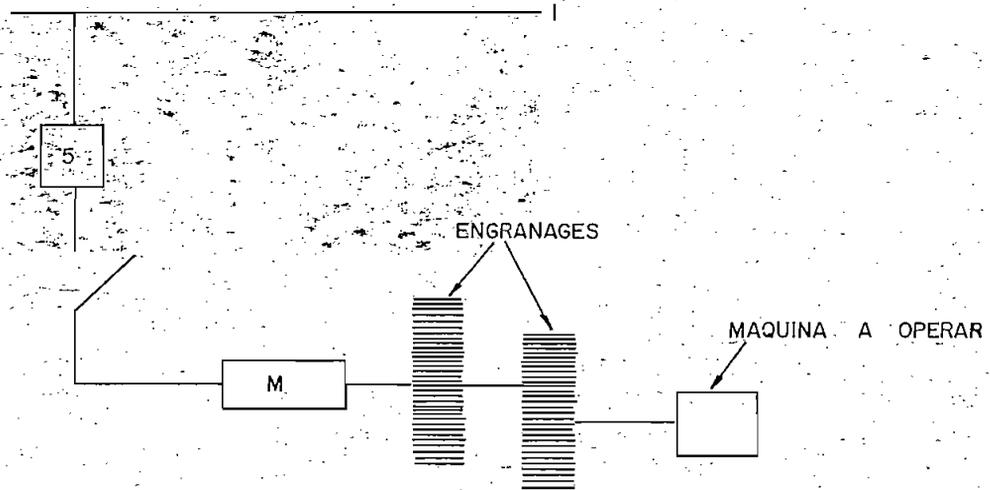


FIG. 2

I-3

Características Principales de un Motor Eléctrico.-

Para determinar un motor que trabaje con seguridad y económicamente, deben conocerse exactamente las condiciones de trabajo, no solamente en lo que se refiere a la potencia en CV o KW y el número de revoluciones, sino también en lo que respecta a pares de giro al eje del motor a diferentes cargas, rendimiento de la máquina accionada, trabajos de aceleración y frenado, frecuencia de conexión y otras características.

Los motores eléctricos suministran la energía mecánica para los procesos tecnológicos.

Procesos tecnológicos son la transformación o transportación de la materia.

Otras características vienen dadas por "Las Clases de Servicio".

I-3-a

Clases de Servicio.-

El motor eléctrico se puede adoptar ampliamente a las diferentes exigencias de los procesos de trabajo.

Las normas para valoración y ensayo de motores eléctricos, comprenden 5 Clases de Servicios:

1°.- Servicio Continuo.- S.C. Figura (3)

El motor llega sin pausas a su temperatura final admisible en un tiempo dependiente de la carga.

En la placa de características no hay advertencia alguna.

2°.- Servicio Breve.- S.B. Figura (4)

El motor debe dar una potencia elevada durante 15, 30 o más minutos. Esta potencia incrementada, sólo debe mantenerse durante el tiempo indicado en la placa, por consiguiente, el motor tiene que enfriarse durante cierto tiempo, hasta la temperatura ambiente. En la placa de características puede indicarse por ej. 20 KW 60 min. Por cuanto los peores enemigos del motor son las pérdidas (hierro, cobre, rozamiento). La temperatura no debe pasar de un cierto límite que depende del aislamiento.

3°.- Servicio Intermitente.- S.I. Fig (5)

El motor se conecta y desconecta en el transcurso de breves períodos de tiempo en los que, por regla general, su carga varía considerablemente. En este caso el tiempo total de funcionamiento, compuesto de tiempo de conexión y de la pausa, no debe ser superior a 10 minutos. Los factores decisivos para el calentamiento del motor son el factor de conexión (ED = Relación del Tiempo de Conexión t_c , al tiempo de conexión t_c + pausa t_p).

En el gráfico:

$$T = t_c + t_p$$

Es un tiempo estipulado en las normas de un proceso rígido. El trabajo de aceleración y de frenado, así como la frecuencia de conexión (gruas, montacargas, accionamientos auxiliares de trenes de laminación). En la placa de características se indica 20, 40 ó 60% ED.

Estos servicios dan energía para que se realice un proceso tecnológico.

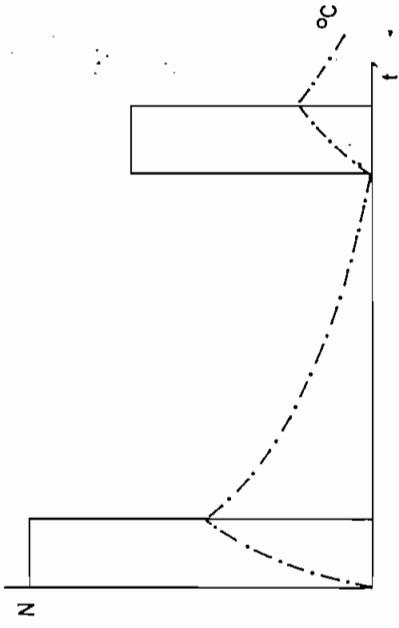


FIG. 4

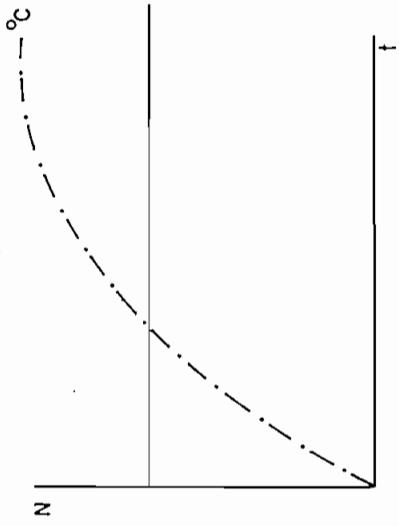


FIG. 3

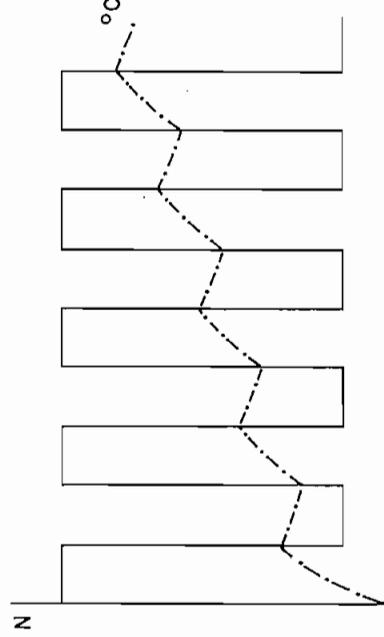


FIG. 7

CLASES DE SERVICIO

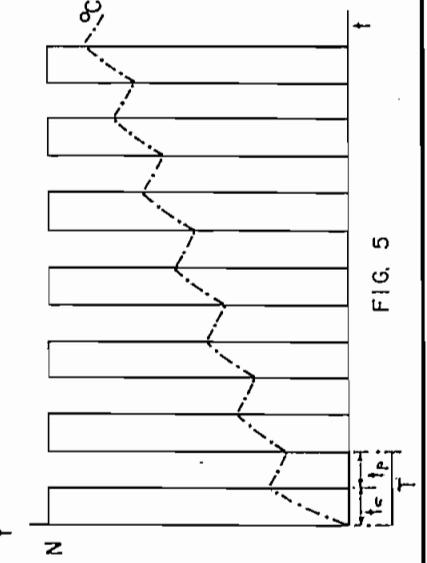


FIG. 5

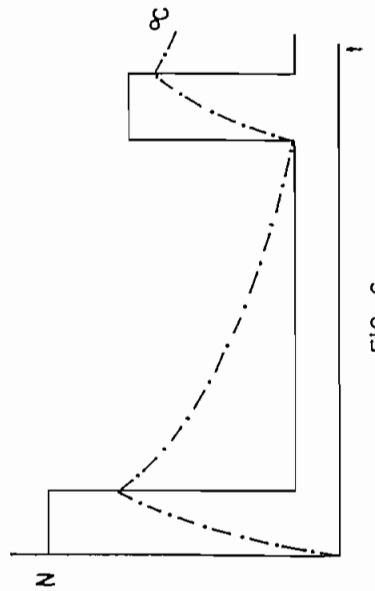


FIG. 6

4°.- Servicio Continuo con Carga Intermitente.- S.C.C.I.Figura (6)

El motor está sujeto, lo mismo que en el régimen de servicio intermitente, a exigencias interrumpidas de la carga, pero funciona en vacío en las pausas, con lo cual la propia ventilación puede enfriar el motor durante las pausas. Así pues, al contrario que en el Servicio Intermitente, el motor puede someterse a una carga mayor, como sucede por ej., en el motor primario de un Grupo Convertidor Leonard, cuyo generador se carga intermitentemente.

5°.- Servicio Continuo con Carga durante Periodos Breves. S.C.C.B.

Figura (7)

En este caso, el motor está sometido a solicitudes breves de la carga, funcionando en vacío durante las pausas, por lo cual se puede evacuar una cantidad considerablemente mayor del calor. Este régimen de marcha es el que, por ej. existe en el cabrestante de una exclusiva.

La curva de calentamiento y enfriamiento es distinta en cada caso, lo importante es que la temperatura no sobrepase el cálculo hecho de los aislantes.

I-3-b

Clases de Aislamientos.-

El enemigo principal de los aparatos eléctricos es el calor; en el motor eléctrico existen muchas pérdidas, por lo tanto no se debe sobrepasar una cierta temperatura para no dañar los aislamientos. Lo que nos indica que los aislamientos limitan la temperatura del motor.

Se puede decir que la vida del motor depende de la vida del aislante y ésta de que la temperatura no sobrepase cierto límite.

Según las normas Alemanas, tenemos las siguientes clases de aislamientos:

CLASE	MATERIALES CORRESPONDIENTES	SOBRETENPERATURA	TEMP. TOTAL
A	Algodón, papel, seda; impregnada o como masa de relleno, materias orgánicas.	60 (°C)	95 (°C)
Ah	Alambre barnizado, prespan, hojas sintéticas (a base de carbón)	80 (°C)	115 (°C)
Ao	Algodón, papel, alambre barnizado, usados en aceite.	70 (°C)	105 (°C)
B	Mica, amianto, vidrios aplicados con aglutinantes.	95 (°C)	130 (°C)
C	Mica, amianto, vidrio, porcelana, cuarzo, sin aglutinantes.	Sin límites	

La sobretemperatura se considera sobre una temperatura media del ambiente de 35 (°C) según las normas actuales.

De acuerdo a las estadísticas se dá a los materiales aislantes una vida promedio de 20 años de trabajo continuo.

Generalmente ántes de este tiempo a temperaturas bajas se presentan fallas mecánicas en los cojinetes u otros elementos de las máquinas.

Con respecto a la vida de las máquinas, es conocida la Regla de Montsinger o la llamada Regla de los 8 (°C).

Regla de Montsinger (G.E.Co.).-

Permite calcular la duración de la vida de una máquina eléctrica con aislantes de la clase A (Ah o Ao), algodón, papel de seda.

Cada máquina sufre cierto proceso de envejecimiento causado por cambio de la estructura de los aislamientos acompañado por una disminución del poder aislante.

Esta Regla se basa en datos experimentales realizados en Laboratorio.

Como promedio para servicios continuo, a una temperatura de 105 (°C), la vida media de una máquina es de 7 años. Es decir que la máquina durante este tiempo soporta una sobrettemperatura de:

$$105 (°C) - 35 (°C) = 70 (°C) \text{ de sobret$$

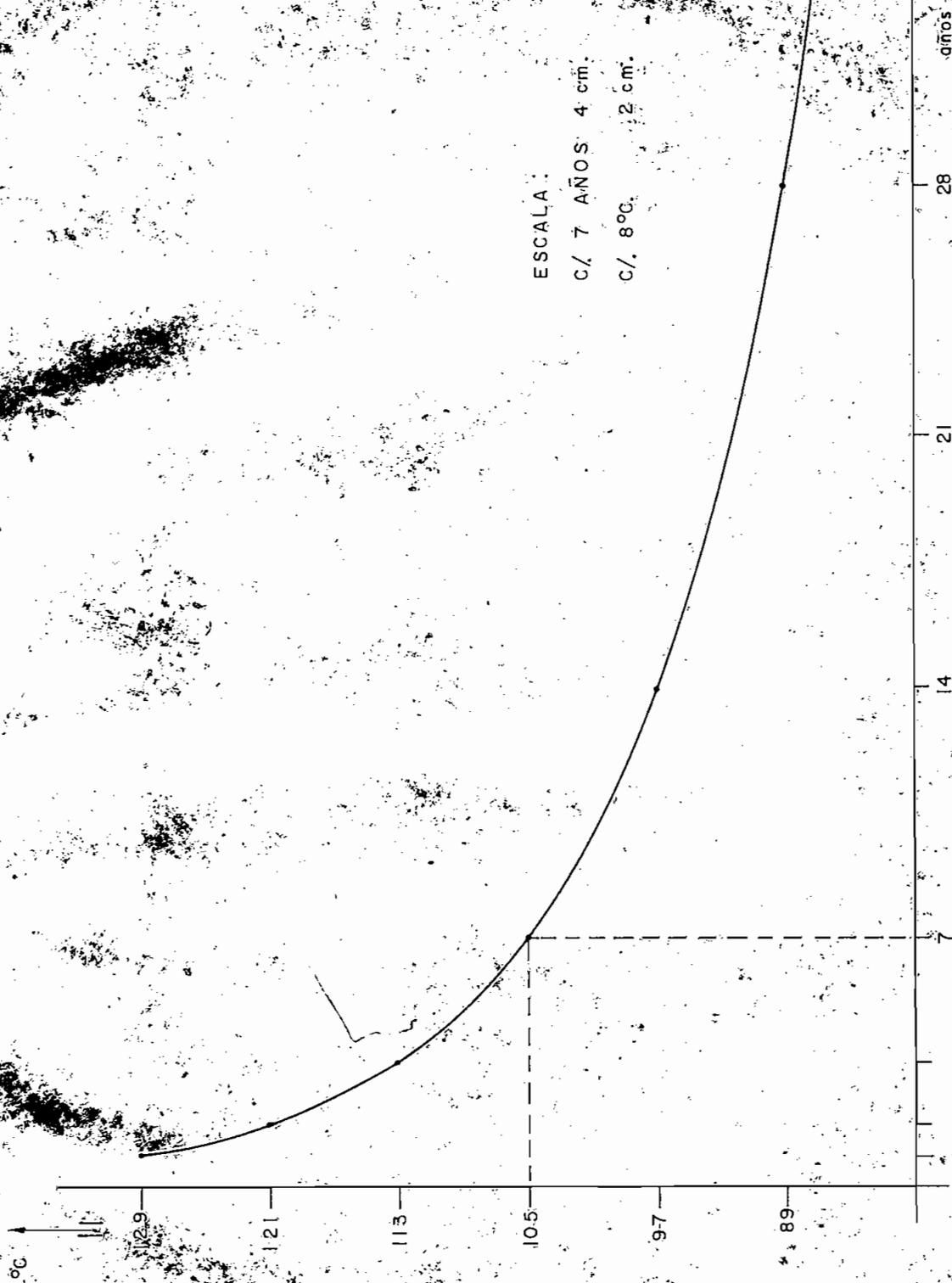
A 105 (°C) dura 7 años

" 8 + 105 " " 3.5 "

" 105 - 8 " " 14 "

Lo que nos indica que si se aumenta o disminuye la temperatura en 8 (°C), disminuye la vida de la máquina en un 50% o aumenta la vida de la máquina en un 100%.

A continuación, damos los valores tabulados de la variación de la vida de una máquina en función de la temperatura:



ESCALA :
 C./ 7 AÑOS 4 cm.
 C./ 8°C. 2 cm.

Fig. 8

REGLA DE MONTSINGER -

A 105 (°C) dura	7	años
" 113 " "	3.5	"
" 121 " "	1.75	"
" 129 " "	0.875	"
" 137 " "	0.4375	"
" 153 " "	39.8 días	
" 161 " "	19.9	"
" 200 " "	16,3	horas
" 250 " "	12.8	minutos
" 300 " "	10.2	segundos
" 97 " "	14	años
" 89 " "	28	"
" 81 " "	56	"
" 73 " "	112	"

La Figura (8) nos dá la curva de la variación de la vida de las máquinas en función de la temperatura.

En los cortocircuitos de las máquinas aparecen estas altas temperaturas en corto tiempo, y acortan la vida de la misma aunque aparentemente no se note.

Para los cálculos económicos se considera que una máquina con tres turnos diarios de trabajo dura 21 años.

I-3-c

Condiciones Especiales.-

1°.- Variación de la Potencia de un motor con la altura.-

En las grandes alturas, la evacuación del calor debido a las pérdidas es menos a causa de la menor densidad del aire. Empero esta limitación empieza a regir a partir de alturas de

1000 metros sobre el nivel del mar.

La variación de la potencia de un motor con la altura se dá en la fórmula:

$$N_h = N_o \left(110 - \frac{h}{100} \right) \% \quad (5)$$

N_h = Potencia en función de la altura h

N_o = Potencia Nominal

De 0 a 1000 metros sobre el nivel del mar no se toma en cuenta ninguna variación.

Ya que no existen disposiciones especiales de ninguna clase. La disminución de la potencia en función de la altura y tomando en consideración el número de revoluciones por minuto del motor, la potencia varía según la siguiente tabla:

Para número de revoluciones sobre 1000 r.p.m.

0 - 1000 m.	100% de N_o
1000 - 2000 "	92% " "
2000 - 3000 "	85% " "
3000 - 4000 "	77% " "

Para número de revoluciones hasta 1000 r.p.m.

0 - 1000 m.	100% de N_o
1000 - 2000 m.	95% " "
2000 - 3000 "	90% " "
3000 - 4000 "	85% " "

La causa para que a más de la variación de la potencia del motor debida a la altura para cada caso, sufra variaciones al cambiar el número de revoluciones; se debe a que al aumentar el número de revoluciones aumentan las pérdidas debidas a ro-

zamiento, hierro, cobre, etc. y por consiguiente la evacuación del calor producido por éstas pérdidas se hace más difícil, lo que viene a redundar en una disminución adicional de la potencia.

2°.- Normas Generales que deben seguirse en la determinación correcta de un Accionamiento.

La máquina es un factor conocido. Ha sido proyectada para cumplir unos fines determinados y tiene ciertos requisitos de velocidad y par motor. Estos son conocidos del proyectista y del constructor y, por consiguiente se dispone de información relativa a los mismos. Debería obtenerse una información específica acerca de las siguientes cuestiones:

A: MAQUINA A OPERAR

- 1°) Características, clase y finalidad.
- 2°) Si tiene la máquina un eje o más.
- 3°) El GD^2
- 4°) Montaje fijo o variable
- 5°) Cuántas máquinas de las mismas características están operando.

B: CONDICIONES DE SERVICIO

- I.- Para un Accionamiento con velocidad constante
- 6°) Velocidad del eje
 - 7°) Potencia en vacío
 - 8°) Potencia con carga (Diagrama del Proceso Tecnológico)
 - 9°) Clases de Servicio
 - 10°) Sentido de rotación (Hay reversión del sentido)

- 11°) El GD² del material en proceso intermedio de transformación
- 12°) El arranque (número de arranques por hora, por día; arranque en vacío o con carga; duración del arranque; arranque rápido o lento.)
- II.- Para accionamientos con velocidad variable
- 13°) Velocidad del eje a accionar entre n_1 a n_2 r.p.m.
- 14°) Regulación escalonada (pocos escalones, muchos escalones)
- 15°) Dentro del proceso se requiere a más de la velocidad normal cambios a velocidad mayor por cortos períodos de tiempo.
- 16°) Potencia para la velocidad variada superior en vacío.
- 17°) Potencia con carga a la velocidad superior hasta 125% de la carga.
- 18°) Clase de Servicio en S.B. diagrama
- 19°) Sentido de Rotación (Si se trabaja en ambos sentidos o no)
- 20°) El GD² del material en proceso intermedio de transformación
- 21°) El arranque (cuántos arranques por hora; arranque en vacío o con carga)
- C: CONDICIONES DE SERVICIO ESPECIALES.-
- 22°) Parada y Frenado (La parada se efectúa mediante la apertura del switch; o se efectúa mediante frenado;

- es la finalidad del frenado el acortamiento del período de parar o debe considerarse un cierto recorrido)
- 23°) Para la Inversión del sentido (Se invierte el sentido de rotación de la máquina parada o de la máquina en rotación)
- 24°) Relación de la velocidad con la carga (Cuáles son los límites de la velocidad permisibles; está permitido una baja de la velocidad entre los estados de vacío y carga, en cuánto; está permitido un aumento de la velocidad si la desconexión es repentina o súbita)
- 25°) Existe alguna relación entre dos accionamientos.
- 26°) El accionamiento debe trabajar sin vibraciones, sin ruidos y sin interferencia a la radio
- D: TRANSMISION DEL ESFUERZO DEL EJE MOTOR AL EJE DE LA MAQUINA A ACCIONAR
- 27°) Posición del eje a accionar (horizontal, vertical, inclinado u oscilante)
- 28°) Dimensiones del eje a accionar (Forma de cuñas, tolerancias)
- 29°) (a) Accionamiento por correa plana (dimensiones de la polea a accionar, distancias de ejes, sentido de rotación, polea tensora)
- (b) Correa de Cuña (diámetro, ancho, quien suministra las correas y las poleas)

- (c) Transmisión por cadena (diámetro y ancho de las poleas, quien las suministra)
- (d) Transmisión por acoplamiento (fijo, móvil, embragues acoplables y desacoplables en reposo y en marcha, acoplamientos de seguridad)
- (e) Accionamiento por engranajes (diámetro, ancho)
- (f) Existe o no un esfuerzo axial, cuál es su valor y si su dirección es al motor o del motor.

E: MANEJO, REGULACION Y CONTROL

- 30°) Cómo es el arranque del motor (a mano, por medio de telemandos de uno u otros lugares, directamente o en relación con otro)
- 31°) Cómo se para el motor (a mano, por medio de telemandos de uno u otros lugares, directamente o en relación con otro)
- 32°) Regulación de la velocidad (a mano, automáticamente o en relación con otra máquina)
- 33°) En accionamientos automatizados, cuál es el elemento que dirige el arranque, la parada, la regulación.
- 34°) Instrumentos de medición, número y clase de los mismos (Corriente, Voltaje, Velocidad, Potencia, $\cos \varphi$)
- 35°) Protección del motor.
- 36°) Relaciones de dependencia entre los elementos de un proceso automatizado.

F: LA INSTALACION DE LA MAQUINA EN LOCALES

- 37°) Dónde y cómo debe ser montado el motor (sobre un só

- calo de concreto o sobre otra máquina)
- 38°) Es el eje del motor conectado indirectamente con la máquina herramienta, o es sobre el eje del motor montada la máquina herramienta.
- 39°) Dónde serán colocados los aparatos de conexión.
- 40°) Lugar de la instalación del motor (clima seco, húmedo, tropical; gases explosivos o gases cáusticos, otras influencias químicas; si están presentes: polvo, aceite) será colocado el motor en el exterior.
- 41°) Temperatura del ambiente
- 42°) Nivel sobre el mar al que será colocado el motor.
- G: INDICACIONES ELECTRICAS
- 43°) La Red (Central propia o energía suministrada del exterior, corriente, voltaje, constante o variable, frecuencia)
- 44°) Se pide una tensión para la regulación.
- 45°) Motores de jaula, hay un límite de potencia y hasta donde; arranque en estrella y en delta, límite y hasta donde)
- 46°) Existe un Reglamento para la ejecución de las máquinas y aparatos.
- 47°) La Tarifa.
- 48°) El $\cos \varphi$ de la instalación (actual y deseado con la instalación nueva) Será considerado el $\cos \varphi$ en la tarificación.
- 49°) Cuál es la Potencia en corto circuito en el punto -

de conexión.

50°) Cuáles son las medidas de protección.

H: OTRAS INDICACIONES ACCIDENTALES.- ESPECIALES DEL CASO.

A primera vista parece ésta una lista formidable, pero es evidente que sólo algunas de estas particularidades concurrirán en una determinada máquina.

Además sabemos que las características de un motor eléctrico vienen dadas en la placa y que son:

PLACA DE CARACTERISTICAS.-

El estampado de las placas de características se realiza de acuerdo con las normas DIN 42961.

Las placas se fabrican en dos tamaños y se usan unitariamente en toda clase de máquinas y de corrientes.

The diagram shows a rectangular plate with four corner mounting holes. It contains 20 numbered fields for technical specifications:

- 1: Long horizontal field at the top.
- 2: Small square field.
- 3: Small square field.
- 4: Long horizontal field.
- 5: Long horizontal field.
- 6: Small square field.
- 7: Small square field.
- 8: Small square field.
- 9: Small square field.
- 10: Small square field.
- 11: Small square field.
- 12: Small square field.
- 13: Small square field.
- 14: Small square field.
- 15: Small square field.
- 16: Small square field.
- 17: Small square field.
- 18: Small square field.
- 19: Small square field.
- 20: Long horizontal field at the bottom.

FIG. 9

La explicación de cada uno de los espacios correspondientes se dá a continuación:

- 1: Fabricante o marca de origen.
- 2: Clase de corriente:
Están admitidas las siguientes abreviaturas:
G para corriente continua
E para corriente monofásica
Z para corriente bifásica
D para corriente trifásica
S para corriente hexafásica.
- 3: Forma de Funcionamiento.
Están admitidas las siguientes abreviaturas:
Gen para generadores
Mot para motores
Phas para compensador de fase
EU para grupo convertidor de un inducido (conmuta
triz)
KU para grupo convertidor en cascada.
- 4: Denominación del modelo (Tipo o número de lista de la máquina)
- 5: Número de fábrica (número de la máquina)
- 6: Clase de conexión utilizando las siguientes expresiones:
Monofásica abierta.
Monofásica con fase auxiliar
Bifásica, de fases unidas.
Bifásica, de fases desunidas (tetrafás)
En estrella trifásica con punto neutro accesible.

Trifásica en triángulo.

Trifásica abierta.

De n fases abiertas por ej: hexafásica abierta.

En inducidos trifásicos se suprime el signo de conexión.

- 7: Tensión nominal, en grupos convertidores la tensión de corriente continua nominal y la de corriente alterna nominal.
- 8: Corriente nominal, en grupos convertidores la corriente continua nominal y la alterna nominal.
- 9: Potencia nominal en KW o W en todos los motores, en generadores de corriente continua y asíncronos, y grupos convertidores de un inducido de corriente alterna y corriente continua.
Potencia nominal en KVA en generadores síncronos, compensadores síncronos de fase y grupos convertidores de un inducido de corriente continua y de corriente alterna.
- 10: Abreviatura KW, KVA, W o VA.
- 11: Factor de potencia $\cos \varphi$
En generadores síncronos, los cuales deben suministrar corriente reactiva capacitiva de avance, y en motores síncronos y compensadores de fase, los cuales han de recibir corriente reactiva retrasada, hay que agregar el signo << U >> (subexitado)
- 12: Regimen da marcha:

- A marcha constante: ninguna observación.
- B marcha con pausas: KB y tiempo de régimen de marcha convenido.
- C marcha intermitente: AB y factor de conexión.
- 13: Sentido de rotación:
A la derecha desde el lado del accionamiento.
A la izquierda desde el lado del accionamiento.
- 14: Número de revoluciones nominal.
- 15: Frecuencia nominal.
- 16: Clase de conexión para la excitación.
Ver explicación (6)
- 17: La palabra « Excitación » en máquinas de corriente continua, sincrónicas y grupos convertidores de un inducido. La palabra « Inducido » en máquinas asincrónicas.
- 18: Tensión nominal de excitación o tensión retórica.
- 19: Corriente de excitación en régimen de marcha nominal (en corriente de excitación superior a 10 A) o la corriente del inducido.
- 20: Observaciones adicionales (por ej. cantidad de medio refrigerante con ventilación independiente, refrigeración por agua, etc.)

3°.- Influencia de la Temperatura del Ambiente en la Potencia Motriz.

Tiene gran importancia para motores que van a trabajar en el trópico y también si se coloca el motor en un ambiente

caliente con temperaturas encima de 35 (°C).

Un aumento de la temperatura del ambiente sobre 35 (°C) disminuye la potencia motriz y el rendimiento.

Sabemos que el rendimiento de una máquina es la relación entre la potencia que suministra y la potencia que absorbe.

O sea:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Potencia útil}}{\text{Potencia absorbida}}$$

Esta expresión se puede poner también en una de las dos formas:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Potencia útil}}{\text{Potencia útil} + \text{Pérdidas}}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Potencia absorbida} - \text{Pérdidas}}{\text{Potencia absorbida}}$$

Por lo tanto, si las pérdidas de la máquina se conocen, se puede obtener el rendimiento correspondiente a cualquier potencia útil o absorbida.

Como en la determinación de los rendimientos intervienen magnitudes eléctricas más bien que mecánicas, la fórmula en que sólo interviene (potencia útil eléctrica) aplícase para generadores en tanto que, la fórmula que sólo interviene (potencia absorbida eléctrica) se aplica a los motores.

En todas las máquinas se originan pérdidas que se traducen por una producción de calor y una elevación de temperatura de la máquina en servicio; y por tanto, el calor generado dentro del motor debe ser evacuado hacia el exterior.

Las pérdidas de cada máquina se separan en grupos

- Pérdidas constantes

- Pérdidas variables

Las pérdidas pueden repartirse de acuerdo a las siguientes cifras usuales:

Pérdidas por rozamiento y en la excitación $1/8$ para cada una, pérdidas en el hierro $1/4$, pérdidas por efecto Joule en el arrollamiento del inducido $1/2$ del total de pérdidas. O sea:

Pérdidas por rozamiento -1- constantes

Pérdidas por excitación -1- constantes

Pérdidas por hierro -2- constantes

Pérdidas por cobre -4- I^2R (parábola)

La relación de pérdidas arriba anunciadas son en el vacío.

El calor generado dentro del motor debe ser evacuado hacia el exterior y cuando la máquina está en servicio estas pérdidas son también función de la carga a más de las pérdidas anunciadas anteriormente.

Por tanto vamos a ver que ocurre cuando la temperatura del ambiente sobrepasa los 35 ($^{\circ}C$) que es la temperatura considerada como normal para el funcionamiento de cualquier máquina.

Para comprender estas relaciones, estudiaremos el diagrama N° 1.

En el eje de las abscisas, tenemos a la derecha la Carga Nominal en $\%$. Y hacia la izquierda tenemos la escala correspondiente a la temperatura t ($^{\circ}C$).

A la derecha del eje de las ordenadas en la verti -

cal tenemos las pérdidas en el motor y a la izquierda en línea punteada tenemos la línea que marca la temperatura máxima a la que puede trabajar el motor o sea $t = 35 (^{\circ}\text{C}) + \text{sobret temperatura}$ que puede soportar por el aislamiento. Más a la izquierda tenemos el porcentaje de pérdidas transformadas en calor en Kcal.

Por tanto a la derecha tendremos la curva correspondiente de las pérdidas en función de la potencia. Y a la izquierda, tendremos la recta (1) roja correspondiente a $35 (^{\circ}\text{C})$ y al coeficiente α de transporte de calor.

Sabemos que a $35 (^{\circ}\text{C})$ el motor trabaja sin pérdidas o sea al 100% de su carga nominal.

Por tanto el motor trabaja sin pérdidas, lo que indica la línea paralela al eje de las abscisas que va de la recta correspondiente a $35 (^{\circ}\text{C})$ a la recta de pérdidas.

Para calcular las pérdidas de la máquina y colocarlas a escala en el eje de las ordenadas, son dados siempre como datos de toda máquina (motor) la potencia absorbida menos pérdidas y su rendimiento, pudiendo por tanto aplicando la fórmula de rendimiento para motores, calcular la potencia absorbida, para luego evaluar las pérdidas. Estas pérdidas para ver su equivalencia en Kilocalorías, se multiplican por 0.236 Kcal/Kw , obteniéndose se la pérdida que se desprende en calor en Kcal.

El coeficiente alfa de transporte de calor es la gradiente de temperatura que nos determina la inclinación de la recta correspondiente.

Cuando la temperatura del ambiente es de $60 (^{\circ}\text{C})$,

la recta (2) será paralela a (1) cortándose en el punto A con la línea de temperatura máxima de los aislantes, si trazamos una paralela al eje de las abcisas hasta cortar la curva de pérdidas y bajamos la paralela desde ese punto al eje de pérdidas, se puede apreciar que ha disminuido la potencia del motor al 65% de su potencia nominal; siendo la disipación del calor de la máquina mucho menor 60 ($^{\circ}\text{C}$) se resta de 95 ($^{\circ}\text{C}$), pudiendo disiparse tan sólo 35 ($^{\circ}\text{C}$) y no 60 ($^{\circ}\text{C}$) que es la diferencia de temperatura cuando la máquina trabaja a la temperatura normal.

Existe una temperatura del ambiente límite que podemos hallarla mediante este diagrama trazando la paralela de C a B y trazando la paralela a la recta de temperatura (1) nos dá 80 ($^{\circ}\text{C}$); aquí el motor no puede trabajar con carga sino en vacío para no pasar la temperatura máxima de los aislantes; la disipación de calor en este caso es mucho menor que en el anterior y corresponderá a una diferencia de temperatura de 15 ($^{\circ}\text{C}$).

En esta forma se puede encontrar para cualquier temperatura superior a la normal la pérdida correspondiente de la potencia.

I-4

Momentos Motrices.-

Se los llama también momentos motores activos.

Para utilizar cualquier motor es necesario determinar el momento que será necesario para que funcione la máquina. - Este se lo puede determinar, considerando la ecuación general de los momentos.

El momento activo del motor tiene que vencer al momento pasivo de la carga.

Si entre los diferentes motores existentes, consideramos las dos clases de motores: Serie y Derivación (Shunt)

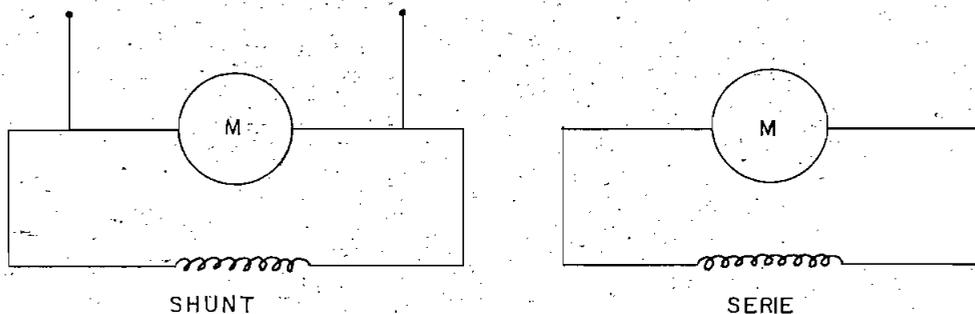


FIG.10

La Fuerza que experimenta un conductor en un campo magnético viene dada por la fórmula:

$$F = B \cdot i \cdot l \quad (\text{Newt}) \quad (6)$$

$$F = B \cdot l \cdot \frac{i}{10} \quad (\text{dinas}) \quad (7)$$

B = densidad de flujo en líneas por centímetro -- cuadrado o gauss.

l = longitud activa del conductor en cms.

i = corriente en amperios.

La relación entre las fórmulas (6) y (7) viene dada por cuanto un amperio práctico vale 1/10 amperio c.g.s. o abamperio.

En estas fórmulas B, l e i deben ser perpendiculares entre sí, es decir, sus ángulos mutuos han de valer 90°. Si el ángulo que forman dos cualesquiera de estas cantidades, como por ejemplo B y l, i y l o i y B, es distinto de 90°, las fórmu-

las deben multiplicarse por el seno del ángulo formado.

En la fórmula (6) se emplea el sistema M.K.S., expresándose B en weber por metro cuadrado y l en metros.

La fuerza en kilogramos, viene dada por la fórmula:

$$F = 10,2 B \cdot l \cdot i \cdot 10^{-8} \text{ (Kg)} \quad (8)$$

$$M = F \cdot r \quad (3)$$

$$M = 10,2 B \cdot l \cdot i \cdot 10^{-8} \cdot r \text{ (kgm)}$$

r = Radio del inducido

$$B \cdot l \cdot r = \phi \quad (9)$$

$$C_M = 10,2 \times 10^{-8}$$

$$M = C_M \cdot \phi \cdot i \text{ (Kg-m)} \quad (10)$$

El flujo depende de la corriente de excitación.

El flujo en la máquina en derivación es constante,

por lo tanto el momento sería:

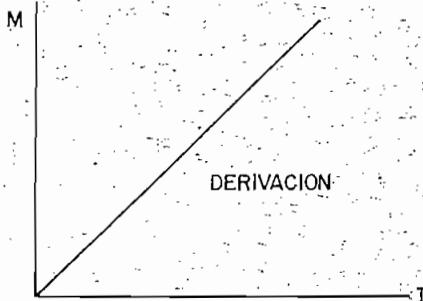


FIG. II

$$M \text{ motriz} = C_{M_1} \cdot i \cdot \phi$$

$$\phi = \text{cte.}$$

$$M \text{ motriz} = C_{M_1} \cdot i$$

El flujo en la máquina serie, es función de la corriente de excitación

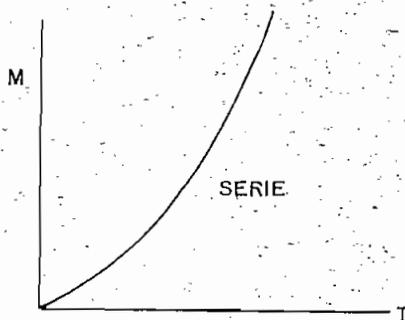


FIG. I2

$$M \text{ motriz} = C_M \cdot i \cdot \phi$$

$$\phi = f(i)$$

$$M \text{ motriz} = C_{M_2} \cdot i^2$$

La constante C_M depende de las características de construcción del motor y se lo puede determinar por la siguiente fórmula:

$$C_M = \frac{N \cdot p}{a \cdot 60} \cdot 10^{-8} \quad (11)$$

p = pares de polos.

N = número de conductores en la superficie del inducido.

a = número de circuitos de pasos paralelos de la corriente.

Para un motor dado

$$M = C_M \cdot \phi \cdot i$$

El par es proporcional a la intensidad de corriente en el inducido y a la intensidad del campo magnético.

Esta es una relación muy importante que debe recordarse, porque permite calcular rápidamente la variación del par con la carga en los distintos tipos de motores.

I-5

Característica Mecánica

La característica mecánica viene dada por la relación entre el momento y la velocidad.

$$n = f(\text{Mom})$$

En el siguiente gráfico podremos apreciar las características de diversos tipos de motores:

1: Motor sincrónico

2: Motor en derivación y corresponde también a la parte importante del motor asincrónico.

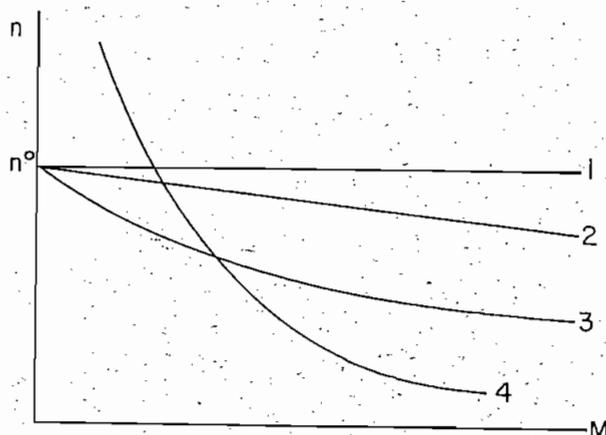


FIG. 13

3: Motor compound

4: Motor serie

n_0 = Velocidad de la máquina en vacío (rev/min) -
cuando $M = 0$

Si el motor es sincrónico, la velocidad es independiente del momento y tendremos una recta 1.

Para el motor en derivación, la característica es la curva 2 y la pendiente depende de la resistencia del rotor y de la resistencia del arrancador.

La Curva 3 es la característica del motor compound.

La Curva 4 es la característica del motor serie, la cual es muy importante para motores de tracción (ferrocarriles, tranvías, etc.). Es peligroso dejar sin carga los motores series, por que es casi seguro que sus inducidos alcanzaran velocidades para las cuales la fuerza centrífuga puede llegarlos a hacerlos saltar en pedazos.

Los motores en derivación y sincrónicos, se utili -

zan muchísimo en la industria textil.

I-6

Momentos de las Máquinas a Operar.

Para utilizar cualquier motor es necesario determinar el momento que será necesario para que funcione la máquina a operar, esto se lo puede determinar considerando la ecuación general de momentos.

El momento activo del motor tiene que vencer el momento pasivo de la carga. El molino por ej. tiene un momento pasivo a vencer por el momento activo del motor.

Los accionamientos pueden ser clasificados en 4 grupos, tres de éstos grupos, siguen una fórmula recién publicada y desarrollada por el Ing. TSCHILIKIN.

$$M_{L \text{ pasivo}} = M_o + (M_{cn} - M_o) \left(\frac{n}{n_n} \right)^x \quad (12)$$

M_{cn} = carga normal o nominal.

n_n = velocidad nominal o normal.

n = cualquier velocidad.

M_L = Momento del motor que aparece en el eje de la máquina, o sea el momento activo del motor que vence al momento pasivo de la carga.

M_o = Momento debido al rozamiento de las partes móviles de la máquina. Este momento es necesario para vencer el rozamiento.

M_{cn} = Momento de la máquina a operar a velocidad normal o sea con carga nominal.

x = exponente para determinar la clase de momen-

tos de la máquina, en otras palabras caracteriza a los 3 momentos tecnológicos. Puede variar de 0 a 2

Examinemos cada uno de estos casos:

1er. Caso.- Cuando $x = 0$

$$M_L = M_o + (M_{cn} - M_o) \left(\frac{n}{n_o}\right)^x$$

$$M_L = M_o + (M_{cn} - M_o) \left(\frac{n}{n_o}\right)^0$$

$$M_L = M_o + (M_{cn} - M_o)(1)$$

$$M_L = M_o + M_{cn} - M_o = M_{cn}$$

Momento pasivo es igual al momento de la máquina a operar a carga nominal. No existe ninguna dependencia con la velocidad. Según esto el momento es constante para cualquier velocidad de la máquina. (Fig. 14)

La máquina típica de esta clase es la grua; también aparece este momento en los cambios a émbolo y en las cintas de transporte.

La Potencia en función del momento será:

$$N \approx M.n \quad (13)$$

$$N = M.\omega = M.\frac{2\pi n}{60} \quad (14)$$

El rozamiento es casi constante.

El peso que levanta la grua es constante y si no se varía la velocidad del movimiento será constante.

$$M = F.r$$

$$N = M.\omega$$

El Momento es constante.

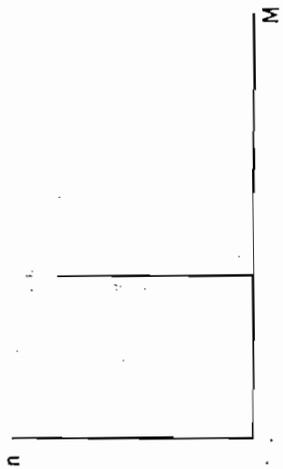


Fig. 14

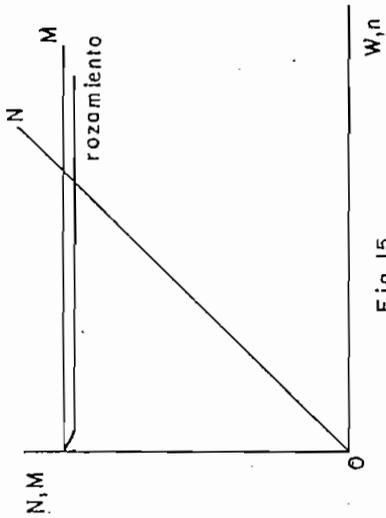


Fig. 15

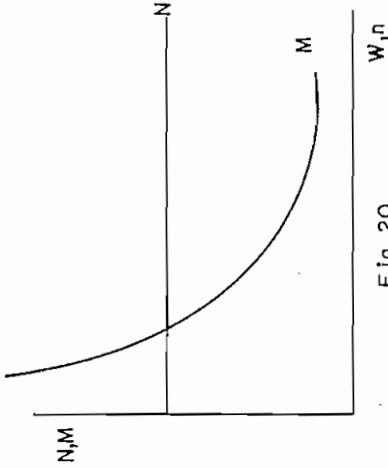


Fig. 20

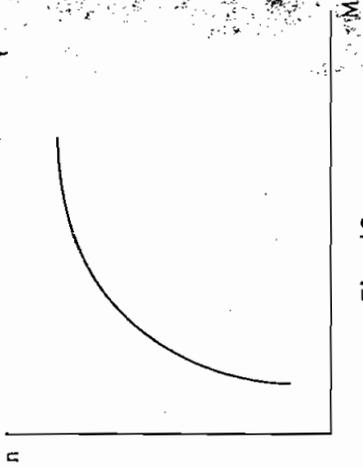


Fig. 18

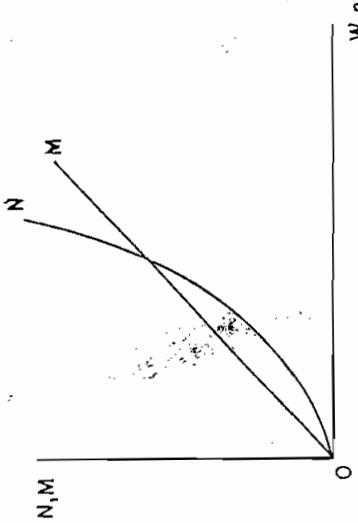


Fig. 17

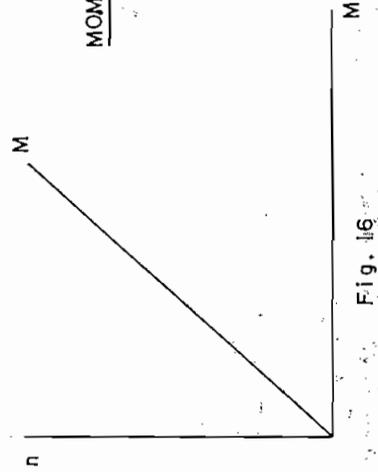


Fig. 16

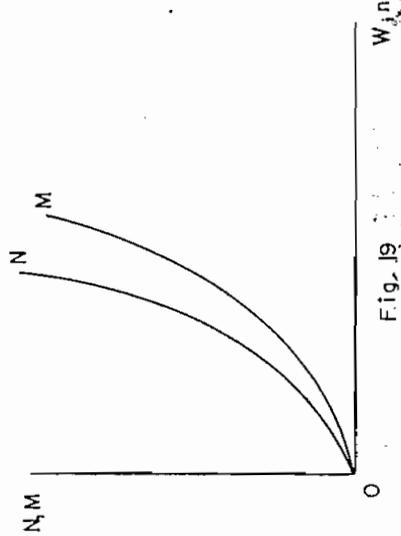


Fig. 19

MOMENTOS DE LAS MAQUINAS
A OPERAR

$$M = k_1$$

$$N = k_1 \cdot \frac{2\pi n}{60} = k_2 \cdot n$$

$$N = k_2 \cdot n$$

La potencia será una línea recta

$$M_{res.} = k_1$$

$$N = k_2 \cdot n$$

Representamos en un gráfico. (Fig. 15).

2do Caso.- Cuando $x = 1$

$$M_L = M_o + (M_{CN} - M_o) \left(\frac{n}{n_o}\right)^x$$

$$M_L = M_o + (M_{CN} - M_o) \left(\frac{n}{n_o}\right)^1$$

$$M_L = M_o + (M_{CN} - M_o) \left(\frac{n}{n_o}\right)$$

El momento a vencer es una línea recta y es proporcional a la velocidad. (Fig. 16)

La potencia es proporcional al Momento y a la velocidad.

$$N = M \cdot n$$

Pero el momento a su vez es proporcional a la velocidad por lo tanto la potencia será:

$$N = M \cdot n^2$$

La máquina típica es el calandrio. También se tiene esta característica en los generadores con excitación independiente.

$$M = k_3 \cdot n$$

$$N = M \cdot n$$

$$N = k_4 \cdot n^2$$

Representamos en un gráfico; Fig 17.

3er. Caso.- Cuando $x = 2$

$$M_L = M_o + (M_{CN} - M_o) \left(\frac{n}{n_o}\right)^x$$

$$M_L = M_o + (M_{CN} - M_o) \left(\frac{n}{n_o}\right)^2$$

Por lo tanto el momento es función del cuadrado de la velocidad y la característica sería una parábola. Fig. 18

La potencia es proporcional al momento y a la velocidad

$$M.n = N$$

Pero el momento varía con la velocidad al cuadrado, por lo tanto la potencia sería:

$$N \approx M.n^3$$

Tenemos como máquina típica a un ventilador o a una centrífuga. Fig. 19.

$$M = k_5 n^2 \quad (\text{parábola})$$

$$N = k_6 n^3 \quad (\text{parábola cúbica})$$

La Fuerza centrífuga es proporcional al cuadrado de la velocidad

$$F_c = m \cdot \frac{v^2}{R} = m \cdot \frac{\omega^2 R^2}{R} = m \cdot \omega^2 \cdot R$$

4to. Caso.- No sigue la fórmula indicada.

En las máquinas enrolladoras no se sigue la ley de los momentos y se caracteriza precisamente porque el momento varía y la potencia permanece constante.

En este caso la curva del Momento resistente es una hipérbola. Fig. 20

$$M = k_7 \cdot n^{1/2}$$

$$N = k_8$$

I-7

Ecuaciones Fundamentales de los Accionamientos Eléctricos.-

La Fuerza de D'Alembert, y

la II Ley de Newton.

Estas son las leyes fundamentales de los accionamientos eléctricos.

En el movimiento rectilíneo:

$$\text{Aceleración} = a = \frac{dv}{dt}$$

$$\text{Fuerza acelerante} = F = m \cdot \frac{dv}{dt} \quad (\text{Kg})$$

La Fuerza de D'Alembert es la que se opone a la Fuerza Acelerante, introducida para equilibrar un movimiento variable.



En el movimiento circular:

$$\text{Aceleración} = \alpha = \frac{d\omega}{dt}$$

El Momento acelerante o Momento decelerante es igual:

$$M = \textcircled{H} \frac{d\omega}{dt} = I_p \cdot \alpha$$

En el movimiento giratorio, así como en el rectilíneo y el circular tenemos la ecuación fundamental de los Momentos para los accionamientos eléctricos:

$$M_{\text{motriz}} = M_{\text{antagónico o resistente}} + \textcircled{H} \frac{d\omega}{dt} \quad (15)$$

$$M_{\text{motriz}} = M_{\text{motor}}$$

$M_{\text{antagónico}}$ o resistente es el momento resistente o el necesario para vencer el rozamiento de la máquina.

Para acelerar o decelerar las masas

En el movimiento rectilíneo de manera semejante, necesitamos en lugar del momento una Fuerza

$$F_{\text{motriz}} = F_{\text{antagónica}} \pm m \cdot \frac{dv}{dt} \quad (16)$$

resistente o

En las fórmulas (15) y (16) cuando bajamos una carga, el peso ayuda al trabajo y en este caso el Momento acelerante o la Fuerza acelerante se sumaría al Momento Motriz o a la Fuerza Motriz, por tanto en los segundos miembros utilizamos los signos + o - .

De las ecuaciones fundamentales (15) y (16) podemos despejar las respectivas aceleraciones:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M_{\text{motriz}} + M_{\text{resistente}}}{\textcircled{H}}$$

$$\alpha = \frac{M_{\text{motriz}} + M_{\text{resistente}}}{\textcircled{H}} = \text{Mov. Circular}$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{F_{\text{motriz}} + F_{\text{resistente}}}{m}$$

$$a = \frac{F_{\text{motriz}} + F_{\text{resistente}}}{m} \quad \text{Mov. Rectilíneo.}$$

Tenemos 2 estados de trabajo

1°) Estado Estacionario

Mecánicamente caracterizado por ser la aceleración nula o sea:

$$\frac{dv}{dt} = 0 \quad a = 0$$

$$\frac{d\omega}{dt} = 0 \quad \alpha = 0$$

En este estado no juega ningún papel ni la masa de la máquina ni la inercia.

En este estado

$$M_{\text{motriz}} = M_{\text{resistente}}$$

$$F_{\text{motriz}} = F_{\text{resistente}}$$

2°) Estado transitorio:

Mecánicamente caracterizado por que las aceleraciones son diferentes de cero.

$$\frac{dv}{dt} \neq 0 \quad a \neq 0$$

$$\frac{d\omega}{dt} \neq 0 \quad \alpha \neq 0$$

En este estado son muy importantes tanto la masa de la máquina como la Inercia.

Este estado transitorio aparece en el momento de la aceleración y deceleración o sea en el período de variación de la velocidad.

En el estado estacionario, se dice que el motor debe vencer solo el rozamiento, pero actualmente se conoce que este rozamiento no es constante a las actuales velocidades.

El rozamiento en función de la velocidad sigue el siguiente diagrama: (Ver Fig. 21)

Al comenzar el movimiento hay un pico en la curva de rozamiento, ya que en el reposo se produce un asentamiento de la parte móvil sobre la parte fija, por esto es que, se conocen 2

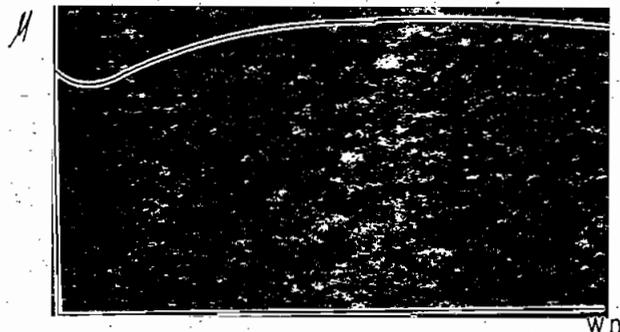


FIG. 21

clases de rozamientos:

- (a) Rozamiento de arranque o fricción de reposo.
- (b) Rozamiento de movimiento o fricción de movimiento.

Las máquinas en las cuales la fricción es grande como es el caso de las cilindradoras, laminadoras de perfiles de acero; se han ideado sistemas para disminuir este pico de la curva, inyectando aceite a presión en los cojinetes.

Luego que se ha vencido el pico de la curva ésta decrece para luego volver paulatinamente a crecer al aumentar la velocidad, pero sin sobrepasar el nivel máximo de pico de rozamiento.

Ecuación de Momentos:

$$M = W + B$$

M = Par motor o momento motriz

W = Par resistente o momento que vence al rozamiento.

B = Momento de aceleración o deceleración = Momento dinámico.

Las clases de momentos son:

En la nomenclatura técnica distinguimos:

a) Momento de Impulsión: GD^2 (Kg.m²)

b) Momento de Inercia Polar: $(H) = \frac{GD^2}{4g}$ (Kg.m.seg²)

c) Momento de aceleración = $B = (H) \frac{d\omega}{dt}$ (Kg.m) Mo-
mento dinámico

d) Par motor = M = (Kg.m)

e) Par resistente = W (Kg.m)

Los momentos a) y b) no son momentos en el sentido de la mecánica (Kg.m)

En los procesos tecnológicos hay que tomar en cuenta los siguientes períodos o estados de las máquinas

1) Período de aceleración (la corriente asciende)

$$(I_{\text{acel}} \sim 3 I_{\text{normal}})$$

2) Marcha a velocidad normal

3) Variación de la velocidad

4) Deceleración o frenado.

I-8

La Inercia y el Momento de Impulsión.-

Un elemento importante en las máquinas a operar es la Inercia de las partes giratorias o sea la Inercia Polar

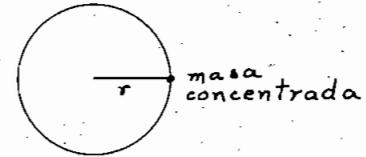
$$I_p = (H) = m.r^2$$

$$dI_p = dm.r^2$$

En un motor tenemos una inercia grande, pero en la placa sólo se indica el valor GD^2 que es el valor del momento de

impulsión de la máquina.

Si suponemos el peso del motor concentrado en su periferia entonces:



$$I_p = \textcircled{H} = m \cdot r^2$$

$$I_p = m \cdot r^2 = \frac{G}{g} \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 = \frac{GD^2}{4g} \text{ siendo } g \approx 10 \text{ m. seg}^{-2}$$

$$I_p = \frac{GD^2}{40}$$

$$I_p = \textcircled{H} = \frac{GD^2}{4g} \left(\frac{\text{Kg. seg}^2 \cdot \text{m}^2}{\text{m}} \right) \quad (\text{Kg. seg}^2 \cdot \text{m})$$

En las placas y catálogos encontramos el valor GD^2 , con lo que se puede calcular I_p

$$GD^2 = I_p \cdot 40 \quad (\text{Kg. m}^2); \quad I_p = \textcircled{H} = \frac{GD^2}{40}$$

La Inercia y el Momento de Impulsión sirven para hacer los cálculos respectivos y encontrar el tipo de motor más económico y técnico para un proceso cualquiera.

I-9

Reducción de una Cadena Cinemática.-

a) Movimiento Circular:

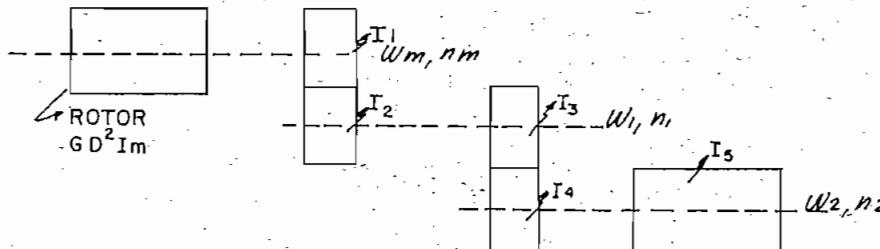


FIG. 22

Para conocer la potencia del motor a usarse, es nece

sario poder acelerar todas estas masas, entonces se puede hacer un artificio y reducir la Inercia.

Pueden reducirse ya sea los momentos de Inercia I_p , o los Momentos de Impulsión GD^2 .

Como del motor se conocen todas las características mecánicas y eléctricas, se hacen las reducciones de las Inercias - al Eje del Motor (ω_{motor} , n_{motor}).

En un sistema giratorio se acostumbra a reducir las masas al eje del motor; pero es posible hacer la reducción a cualquier otro eje. En un sistema en movimiento rectilíneo (grua) la reducción es también posible al cable.

Sabemos que:

$$M_{\text{motor}} = M_{\text{resist.}} + I_p \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

Siendo I_p el valor de la Inercia reducida al eje del motor.

Para poder aplicar esta fórmula, se idea el siguiente proceso de reducción de inercias y entonces el gráfico anterior queda:

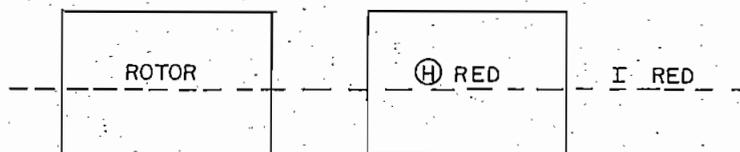


FIG.23

La reducción de Inercias se hace mediante la Ley de la Conservación de la Energía.

La Energía cinética del sistema será:

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2; \quad m = \frac{G}{g}; \quad v = \omega \cdot r; \quad r = \frac{D}{2}$$

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot \frac{G}{g} \cdot \omega^2 r^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{G}{g} \cdot \omega^2 \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{GD^2}{4g} \cdot \omega^2$$

$$\text{como } \frac{GD^2}{4g} = I_p; \quad E_c = \frac{1}{2} I_p \cdot \omega^2$$

Para el caso de la figura (22), tendremos:

$$E_{\text{cinética}} = \textcircled{H} \text{red} \cdot \frac{\omega_m^2}{2} = I_{\text{red}} \cdot \frac{\omega_m^2}{2} =$$

$$I_m \cdot \frac{\omega_m^2}{2} + I_1 \cdot \frac{\omega_m^2}{2} + I_2 \cdot \frac{\omega_1^2}{2} + I_3 \cdot \frac{\omega_1^2}{2} + I_4 \cdot \frac{\omega_2^2}{2} + I_5 \cdot \frac{\omega_2^2}{2}$$

De donde:

$$I_{\text{red}} \cdot \frac{\omega_m^2}{2} = (I_m + I_1) \frac{\omega_m^2}{2} + (I_2 + I_3) \frac{\omega_1^2}{2} + (I_4 + I_5) \frac{\omega_2^2}{2},$$

luego:

$$I_{\text{red}} = (I_m + I_1) + (I_2 + I_3) \frac{\omega_1^2}{\omega_m^2} + (I_4 + I_5) \frac{\omega_2^2}{\omega_m^2}$$

Sabemos que:

$$\text{La velocidad angular } \omega = \frac{2\pi n}{60} \text{ (seg}^{-1}\text{)}$$

$$\omega_m = \omega_{\text{motor}} = \frac{2\pi n_m}{60}$$

$$\omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60}; \quad \omega_2 = \frac{2\pi n_2}{60}$$

$$\frac{\omega_1}{\omega_m} = \frac{\frac{2\pi n_1}{60}}{\frac{2\pi n_m}{60}} = \frac{n_1}{n_m} \quad \text{en igual forma} \quad \frac{\omega_2}{\omega_m} = \frac{n_2}{n_m}$$

Reemplazando ω en función de n , tendremos:

$$\textcircled{H} \text{red} = I_{p_{\text{red}}} = (I_m + I_1) + (I_2 + I_3) \left(\frac{n_1}{n_m}\right)^2 + (I_4 + I_5) \left(\frac{n_2}{n_m}\right)^2$$

Esta sería la ecuación de la Inercia reducida de una

cadena cinemática.

Considerando la Ecuación de Momentos tendríamos:

$$M_{\text{motor}} = M_{\text{res.}} + I_p \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

En este accionamiento hay que distinguir dos clases de Momentos.

De acuerdo a la ecuación anterior podemos decir:

$$M_{\text{motor}} = M_{\text{acelerante total}}$$

$$M_{\text{resis.}} = M_{\text{estático}}$$

$$M_{\text{aceleración}} = M_{\text{dinámico}}$$

De donde la ecuación sería:

$$M_{\text{motor}} = M_{\text{estático}} + M_{\text{dinámico}}$$

$$M_{\text{estático}} = Q \cdot r \quad Q = \text{Peso (Kg)} \quad r = \text{radio (m)}$$

Sabemos que en el movimiento giratorio la potencia del motor viene dada por la fórmula:

$$N = \frac{M \cdot n}{975 \cdot \eta} \text{ en KW}$$

de donde

$$M = \frac{N \cdot 975 \cdot \eta}{n} \text{ en Kgm.}$$

Fórmula con la cual podemos calcular también el Momento Estático del Motor.

$$M_{\text{dinámico}} = I_p \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

El momento dinámico, lo podemos transformar en función del momento de Impulsión y del número de revoluciones.

Entonces se puede escribir la Ecuación Fundamental -

de los Accionamientos:

$$M_{\text{motor}} = \frac{N \cdot 975 \cdot \eta}{n} + I_p \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

$$I_p \cdot \frac{d\omega}{dt} = \textcircled{H} \frac{d\omega}{dt} = \textcircled{H} \frac{2\pi \cdot dn}{60 \cdot dt} = \frac{GD^2}{40} \cdot \frac{2\pi \cdot dn}{60 \cdot dt}$$

$$\textcircled{H} \frac{d\omega}{dt} = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt}$$

Luego la Ecuación sería:

$$M_{\text{motor}} = M_{\text{estático}} + \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt}$$

b) Movimiento Rectilíneo.-

Gran número de accionamientos se realizan de esta manera, como ejemplos tenemos tranvías, montacargas, etc.

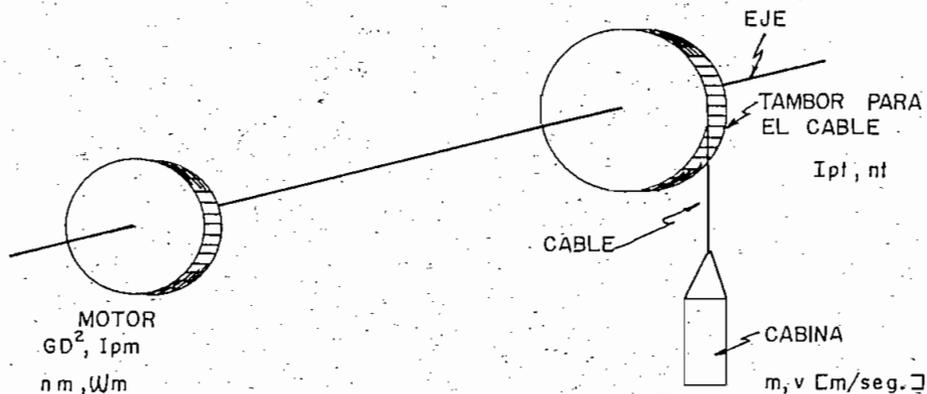


FIG.24

Sube o baja una masa m , a una velocidad v ($m \cdot \text{seg}^{-1}$). El rotor tiene un GD^2 y gira con una velocidad n y tiene también una Inercia polar I_{pm} . Se conocen además I_{tambor} , que gira a n R.P.M. igual que el motor. En la masa m , están incluidos la cabina, el cable, las vagonetas y la carga.

Entonces el problema se reduce a reducir la masa del

movimiento rectilíneo al eje del motor.

$$E. \text{cinética giratoria} = E. \text{cinética rectilínea}$$

Según la ley de la conservación de la energía:

$$E_{\text{cin.}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = I_{\text{red}} \cdot \frac{\omega_m^2}{2}$$

$$I_{\text{red}} = \textcircled{H}_{\text{red}} = m \left(\frac{v}{\omega_m} \right)^2$$

La Inercia total del sistema será:

$$I_{\text{total}} = I_{\text{motor}} + I_{\text{tambor}} + m \left(\frac{v}{\omega_m} \right)^2$$

c) Movimiento Circular y Rectilíneo.

Cada accionamiento tiene partes en movimiento giratorio y partes en movimiento rectilíneo, las cuales se reducen al eje motriz o a cualquier eje.

En el caso de movimiento circular y rectilíneo simultáneamente reducida al eje motor, se hace mediante la fórmula:

$$I_{\text{red}} = \textcircled{H}_{\text{red}} = \sum I_i \left(\frac{\omega_i}{\omega_m} \right)^2 + \sum m_i \left(\frac{v_i}{\omega_m} \right)^2$$

I-10

Ensayo para la determinación de GD^2

Se necesitan:

1 cronómetro, 1 tacómetro y 1 metro.

El peso Q acelera el motor al bajar de A a B, y se tiene una energía cinética en el motor, que es igual a la energía de posición del peso Q o sea: (Fig. 25)

$$\textcircled{H} \frac{\omega^2}{2} = m \cdot g \cdot h = Q \cdot h$$

$$\textcircled{H} \frac{\omega^2}{2} = Q \cdot h$$

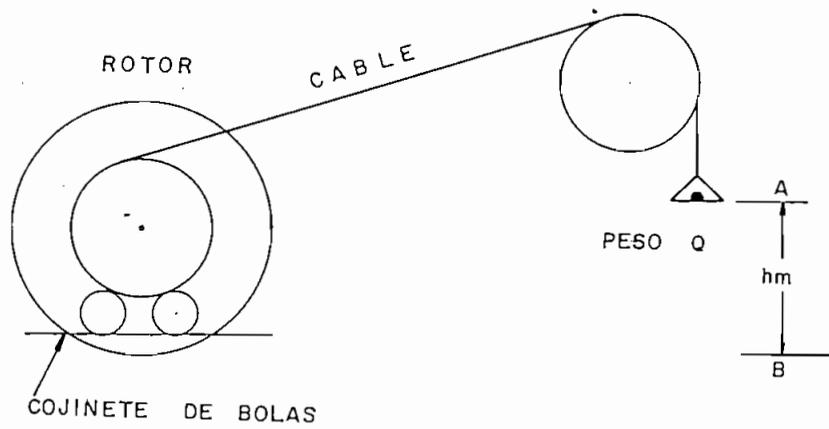


FIG. 25

ω se obtiene del tacómetro a base de las revoluciones por minuto.

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

Si no se puede hallar de esta manera GD^2 , se lo hace descomponiendo al elemento de máquina en partes geométricas o sea en masas en movimiento.

I-11

Período de Aceleración

Sabemos que el Momento dinámico para masas giratorias viene dado por la fórmula:

$$M_{\text{dinámico}} = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} \quad (\text{mov. giratorio})$$

Pero también podemos reducir masas con movimiento rectilíneo al momento giratorio, aplicando la ley de la conservación de la energía; y así tendremos:

$$E_{\text{cin}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = \textcircled{H} \frac{\omega^2}{2}, \quad \text{de donde}$$

$$\textcircled{H}_{\text{real}} = m \left(\frac{v}{\omega}\right)^2 \quad (\text{Kg.m.sec}^2)$$

$$\textcircled{H} = \frac{GD^2}{4g}; \quad \textcircled{H} \simeq \frac{GD^2}{40}; \quad m = \frac{G}{g}; \quad \omega = \frac{2\pi n}{60}$$

de donde reemplazando tendremos:

$$\frac{GD^2}{4g} = \frac{G}{g} \cdot v^2 \left(\frac{1}{2\pi n/60}\right)^2;$$

$$GD^2 = 4g \cdot \frac{G}{g} \cdot v^2 \left(\frac{30}{\pi n}\right)^2 = \frac{365G \cdot v^2}{n^2}$$

Este es el Momento de Impulsión de una masa con movimiento rectilíneo, reducida a su equivalente en el movimiento giratorio.

Si queremos saber el valor de la aceleración angular en el movimiento dinámico motriz del conjunto, debemos partir de la Ecuación Fundamental de los Accionamientos Eléctricos de Newton

$$M_{\text{motor}} = M_{\text{res}} + M_{\text{din.}}$$

$$M_{\text{motor}} = M_{\text{res}} + \sum \textcircled{H} \frac{d\omega}{dt}$$

de donde el valor de la aceleración angular será:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M_{\text{motor}} - M_{\text{res}}}{\sum \textcircled{H}}$$

$$\frac{dz}{dt} = \frac{M_{\text{motor}} - M_{\text{res}}}{GD^2/375}$$

En la parte (I-9) en la sección a) Movimiento circular habíamos dicho que la reducción de una cadena cinemática podía hacerse también reduciendo GD^2 ; y, si tenemos i elementos cuyos rotores o masas con movimiento rotatorio tienen:

$$(GD^2)_i, n_i, G_i, v_i$$

El momento de impulsión reducido será:

$$GD_{\text{red}}^2 = GD_{\text{motor}}^2 + \frac{(GD^2)_1}{i_1^2} + \frac{(GD^2)_2}{i_2^2} + \dots 365 \cdot G \cdot \frac{v^2}{n^2}$$

Siendo i el factor de reducción.

I-12

Relaciones Mecánicas de los Procesos Intermedios

Los períodos intermedios son: el arranque, el frenado, la variación de la velocidad, que son de gran importancia en todos los procesos tecnológicos.

En los procesos de arranque y frenado no hay rendimientos suficientes, por tanto el acortar su tiempo de duración es

una tarea muy importante. Estos procesos constituyen los períodos transitorios de las máquinas.

Estos períodos son:

- a) Tiempo en los procesos transitorios; y,
- b) Recorrido en el período transitorio.

a) Tiempo en los Procesos Transitorios

En las grandes instalaciones donde los procesos transitorios de diversas máquinas son inmensos y continuados, tiene gran importancia el tiempo y el número de períodos transitorios de una máquina, por lo que son estudiados con detenimiento y reducidos al máximo, aumentando la economía sin reducir el rendimiento general.

De la ecuación de la Aceleración angular que dice:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{M_{\text{motor}} - M_{\text{res}}}{GD^2/375}, \text{ tendremos}$$

$$dt = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{M_{\text{motor}} - M_{\text{res}}}$$

Es una fórmula fundamental para calcular el tiempo en los procesos transitorios. Por cuanto el par o torque del motor no es constante, ocasionando una gran variación en el arranque que es el período en el que se desea tanar mayor estabilidad.

Debe anotarse que en el período de aceleración o deceleración n es variable. Y por tanto en la Ecuación Fundamental

$$M_m + M_{\text{ros}} + M_{\text{din}} = 0$$

Los signos + y - indican que cualquiera de las magnitudes pueden estar accionando o frenando (oponiéndose al cambio de movimiento).

Para el caso que estamos considerando que el M_{motor} está impulsando y será +, siendo M_{res} y M_{din} -, por tanto

$$M_m - M_r = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt}$$

Y en general para nuestro caso el tiempo en el proceso transitorio sería:

$$t_{1-2} = \int_{n_1}^{n_2} \frac{GD^2}{375 \cdot M_{\text{motor}} - M_{\text{res}}} dn$$

En general M_{motor} , M_{res} y GD^2 no son constantes.

Puede asumirse GD^2 constante, pero hemos visto que el $M_{\text{motriz}} = f(n)$ y es diferente según el tipo de motor.

En igual forma $M_{\text{res}} = f(n)$ y es variable como se indica en las figuras (14, 16 y 18) de los momentos de las máquinas a operar. Y como para el cálculo del tiempo los Momentos tienen -- que actuar simultáneamente, el cálculo del tiempo en algunas máquinas y motores se puede calcular y en otras no se puede calcular matemáticamente sino sólo gráficamente.

Para el cálculo del tiempo podemos distinguir los siguientes casos:

a) $M_{\text{motor}} = f(n) = \text{constante}$

$$M_{\text{res}} = f(n) = \text{constante}$$

En este caso

$$t_{1-2} = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{(n_2 - n_1)}{M_m - M_r} ;$$

siendo $n_1 = 0$ para el arranque

$$t_{\text{arr}} = \frac{GD^2 n}{M_{\text{mot}} - M_{\text{res}}} \quad \text{siendo } n \text{ normal}$$

Esta fórmula se aproxima mucho a la realidad, sobre todo en motores pequeños.

$$b) M_{\text{motor}} = f(n)$$

$$M_{\text{res}} = f(n)$$

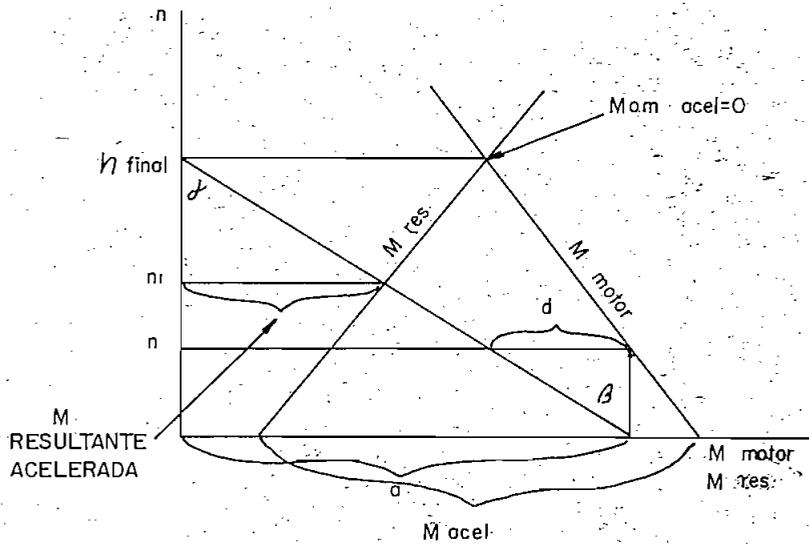


FIG. 26

Dibujamos el gráfico de la figura (26) en el que consideramos el Momento motriz y el Momento de la máquina a operar, - siendo estas características de las máquinas rectilíneas; y vemos que cuando el momento de la máquina a operar es 0, o sea en velocidad 0, el par o momento motriz es máximo y la diferencia entre estos dos es el momento que queda para para acelerar la máquina; para una velocidad un poco mayor, el momento acelerante es un poco menor y así hasta que en el punto de trabajo, (intersección de las - rectas) el momento acelerante es cero.

Si en la figura (26)

$$\text{tang } \alpha = \frac{d}{n} \quad \text{y si } \text{tang } \beta = b$$

$$d = b.n$$

De donde

$$M_{\text{mot}} - M_{\text{res}} = a - bn$$

Sabemos que:

$$dt = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{M_{\text{mot}} - M_{\text{res}}}, \text{ siendo } M_{\text{mot}} - M_{\text{res}} = a - bn$$

$$t = \frac{GD^2}{375} \int \frac{dn}{a - bn}$$

$$t = -\frac{GD^2}{375b} \ln(a - bn) + C$$

Cuando $t = 0$ y $n = 0$

$$0 = -\frac{GD^2}{375b} \ln(a - b.0) + C$$

$$C = \frac{GD^2 \ln a}{375b}$$

de donde,

$$t = -\frac{GD^2}{375b} \ln(a - bn) + \frac{GD^2}{375b} \ln a$$

$$t = \frac{GD^2}{375b} \ln\left(\frac{a}{a - bn}\right)$$

La dimensión de

$$\frac{GD^2}{375b} \text{ es segundos} = T \text{ que se llama constante electro-}$$

mecánica del accionamiento.

Por tanto la ecuación quedaría:

$$t = T \ln\left(\frac{a}{a - bn}\right), \text{ despejando } n \text{ de la ecuación tendre}$$

mos:

$$\frac{t}{T} = \ln\left(\frac{a}{a - bn}\right) \text{ de donde tendremos:}$$

$$e^{t/T} = \frac{a}{a - bn}; \quad (a - bn) \cdot e^{t/T} = a$$

$$bn \cdot e^{t/T} = a \cdot e^{t/T} - a$$

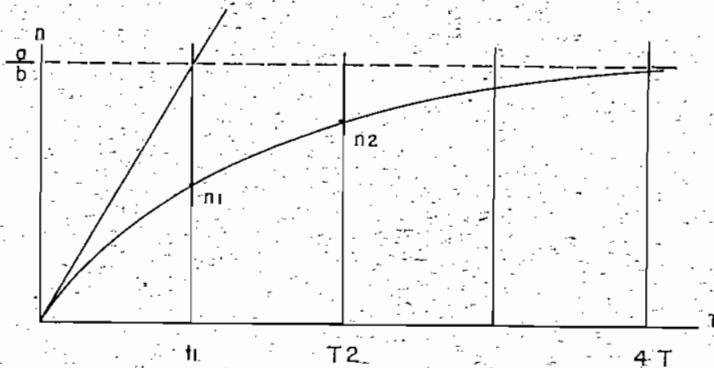
$$n = \frac{a}{b}(1 - e^{-t/T})$$

- 50 -

Para calcular el tiempo en un émbolo cualquiera tendremos que:

$$t_{1,2} = \frac{GD^2}{375} \int_{n_1}^{n_2} \frac{dn}{a - bn} = \frac{GD^2}{375b} \ln \frac{a - bn_1}{a - bn_2}$$

Que dibujando en un gráfico tendremos:



PARA VARIACION ENTRE n_1 Y n_2

FIG. 27

b) Cálculo del recorrido en el período transitorio:

Sabemos que:

$$n = \text{r.p.m.}$$

$$\frac{n}{60} = \text{r.p.s.}$$

$$ds = \frac{N}{60} \cdot dt \quad \text{y como } dt = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{M_{\text{mot}} - M_{\text{res}}}$$

$$ds = \frac{n \cdot GD^2 \cdot dn}{60 \cdot 375 (M_m - M_r)} = \frac{n \cdot GD^2 \cdot dn}{22.500 (M_m - M_r)}$$

Recorrido entre n_1 y n_2

$$s_{1,2} = \frac{GD^2}{22500} \int_{n_1}^{n_2} \frac{ndn}{M_m - M_r}$$

para M_{mot} y $M_{\text{res}} = \text{constantes}$

$$s_{1,2} = \frac{GD^2 (n_2^2 - n_1^2)}{45000 (M_m - M_r)}$$

motor como generador.

Sabemos que la ecuación fundamental es:

$$dn = \frac{M_m - M_{res}}{275}$$

para M_{mot} y $M_{res} = f(n)$

$$s_{1,2} = \frac{GD^2}{22500} \int_{n_1}^{n_2} \frac{ndn}{a - bn}$$

$$s_{1,2} = \frac{GD^2}{22500} \cdot \frac{1}{b} \left[a - bn - a \cdot \ln(a - bn) \right]_{n_1}^{n_2}$$

$$s_{1,2} = \frac{GD^2}{22500} \cdot \frac{1}{b} \left[a - bn_2 - a \cdot \ln(a - bn_2) - a + bn_1 - a \cdot \ln(a - bn_1) \right]$$

$$s_{1,2} = \frac{GD^2}{225000} \cdot \frac{1}{b} \left[\frac{a}{b} \ln \frac{a - bn_1}{a - bn_2} + n_1 - n_2 \right]$$

Que es la fórmula para el recorrido en el período -- transitorio en un intervalo cualquiera.

c) Cálculo del Tiempo mediante la Integración Gráfica.

Arranque y frenado de un motor según la característica mecánica dada para el motor.

Tenemos como datos:

Motor:

$$GD^2 = 30 \text{ (kg.m}^2\text{)}$$

$$I_p = \frac{30}{40} = 0,75 \text{ (kg.m.sec}^2\text{)}$$

Momento antagonista = 30 (Kg.m) = ctte. no es función de la velocidad.

Momento del freno = 30 (Kg.m)

Para estudiar la variación el motor será puesto en -- reposo

1° Por el rozamiento propio (rodamientos, resistencia del aire, etc).

2° Por aplicación del freno, y

3° Mediante frenado eléctrico, haciendo funcionar al

motor como generador.

Sabemos que la ecuación fundamental es:

$$\frac{dn}{dt} = 375 \cdot \frac{M_m - M_{res}}{GD^2}$$

Integramos la ecuación gráficamente. Para ello suponemos que $M_{motor} = ctte.$; $M_{res} = ctte.$ para que la integración sea fácil.

Para este estudio es importante, tener en cuenta las escalas correspondientes. Para ello, necesitamos 4 escalas, de las cuales podemos escoger 3 escalas y calcular la cuarta de la siguiente manera:

Escala:

tiempo: 1 seg. = 2 cm. $m_t = 1:2$

revoluciones: 100 rpm = 0,6 cm. $m_r = 1:0,006$

momentos: 10 kgm = 0,8 cm. $m_M = 1:0,08$

De la fórmula tenemos que:

$$\frac{GD^2}{375} = \frac{dt}{dn} \approx M$$

$$m_{GD^2} = \frac{m_M \cdot m_t}{m_r} = \frac{0,08 \cdot \frac{1}{2}}{\frac{1}{0,006}} = \frac{0,006}{0,16} = 0,0375$$

$$\frac{1}{m_{GD^2}} = \frac{1}{0,0375} = 26,7, \text{ de donde } 1 \text{ kgm}^2 = 26,7 \text{ cm.}$$

Conocemos que:

$$GD^2 \text{ motor} = 30 \text{ kgm}^2$$

$$\frac{GD^2}{375} = \frac{30}{375} = 0,08$$

Por tanto la escala para nuestro cálculo de la integración gráfica será:

$$0,08 \times 26,7 = 2,136 \text{ cm.} \approx 21,4 \text{ mm.}$$

Con los valores de las escalas impuestas y la escala calculada, trazamos el diagrama N° 2.

Para efectuar la integración gráfica hacemos uso del sistema de coordenadas cartesianas de la siguiente forma:

En el eje de las abcisas (+) marcamos la escala de tiempo.

En el eje de las ordenadas (+) marcamos la escala de revoluciones.

En el eje de las abcisas (-) marcamos la escala de momentos.

1°) Con el valor del momento resistente que conocemos es de 10 kgm. trazamos este valor en el diagrama y será una recta paralela al eje de ordenadas.

2°) Si el motor trabaja a 1500 rpm. y tiene al arrancar un par de 60 kgm, con estos datos en las escalas correspondientes al unir estos puntos obtenemos el M_{motor} que será la característica del motor.

3°) A la recta de la característica del M_{motor} disminuimos el valor del M_{res} y dibujamos al momento acelerante real, paralelo al anterior pero menos 10 kgm. En este momento, la velocidad será menor. Esta recta es la característica mecánica del motor.

4°) En el eje de las abcisas (-) marcamos el punto correspondiente a $GD^2/375$ con la escala calculada.

Para el cálculo del tiempo de arranque se procede de la siguiente manera:

Bajo la recta de la característica mecánica del motor tenemos el área correspondiente al momento acelerante real, bajo el cual el motor en un cierto período de tiempo llegará a alcanzar su velocidad nominal.

Esta área total, la dividimos en áreas parciales o sea en paralelogramos de compensación, para lo cual la ordenada correspondiente a la velocidad del área total, la dividimos en un número de intervalos que nos darán las áreas parciales. Para nuestro caso se han tomado seis intervalos.

Con el valor del momento acelerante que es la base de cada paralelogramo de compensación, lo trasladamos al eje de las velocidades en su magnitud; luego unimos este punto, con el punto fijo GD^2 y pasamos una paralela a esta recta a partir del origen hacia el primer cuadrante, hasta que corte la prolongación de la línea del intervalo, repitiendo este procedimiento para cada intervalo.

En esta forma obtendremos la curva (velocidad, tiempo), la que nos indicará el tiempo que tarda el motor en el arranque para alcanzar su velocidad nominal.

Vamos a estudiar ahora la variación del motor cuando es puesto en reposo.

Una vez que el motor ha alcanzado la velocidad nominal, desconectamos el motor y dejamos que pare sólo por la acción del momento antagonista.

Como el momento antagonista es un momento negativo que produce el par antagonista y es constante, su valor lo proyec-

tamos al eje de las velocidades pero hacia abajo y unimos este punto con el valor de GD^2 , y tendremos una recta cuya paralela trazada a continuación del punto en el que el motor alcanzó su velocidad nominal, nos dará la recta (velocidad-tiempo), en el cual el motor pararía. (recta 1)

Cuando a más del momento antagonista aplicamos la acción del freno, tendremos ambos momentos negativos que sumados y proyectados al eje de las velocidades hacia abajo y unidos con el punto GD^2 , nos dará una recta, cuya paralela trazada desde el punto en el que el motor alcanzó su velocidad nominal, y tendremos la recta 2 (velocidad- tiempo) en el cual pararía el motor por la acción del momento antagónico y del freno.

Vamos a considerar el caso de que a más del momento antagónico, hacemos actuar el freno y hacemos trabajar al motor como generador.

Al actuar el motor como generador, el valor de la característica mecánica que es de 50 kgm. serán negativos que sumados a los momentos antagónicos y momento frenante nos darán el momento total frenante, cuya área será la comprendida bajo esta recta. Al igual que el caso de la aceleración dividimos en áreas de compensación y procedemos al igual, con la única diferencia que la proyección de cada momento frenante será hacia abajo del eje de las velocidades. Para hallar la característica del motor como generador, el valor del Momento mecánico se lo traslada al eje velocidades y se une con el punto GD^2 , trazando la paralela a esta recta desde el origen hacia el segundo cuadrante.

Resumiendo cuando se trata de hallar el tiempo de -- aceleración o de frenado de un motor, se escogen las escalas como se indicó en nuestro caso, se trazan las curvas características -- tanto del Mom. motor como del Mom. antagónico, tomando siempre en consideración el punto de trabajo según las curvas o sea el punto de la curva correspondiente al trabajo del motor a su velocidad no minal, desde este punto se traza la paralela a la curva caracterís tica del motor disminuyendo el momento antagónico en caso de arran que y dividiendo en áreas de compensación, lo que nos dará en for ma gráfica el tiempo durante el cual el motor debe trabajar en es te período.

I-13

El Calentamiento de una Máquina Eléctrica.-

Una máquina eléctrica es un cuerpo homogéneo, en el que, en el momento de conexión todas las partes de la máquina se -- hallan a la temperatura del ambiente; desde el momento de puesta -- en marcha se presentan las pérdidas de la máquina (en los arrolla mientos, cojinetes, anillos colectores, conmutadores, etc.) las -- cuales se ponen de manifiesto por un aumento de la temperatura. Es te calor, debido a la pérdida de energía eléctrica, se almacena -- principalmente en el motor. Al aumentar el exceso de temperatura, una parte progresiva del calor, debido a la pérdida de energía -- eléctrica, es evacuada a través de la superficie de la carcasa y -- por medio de la ventilación propia o independiente hasta llegar a la temperatura límite, que está determinada por la clase de aisla miento.

Sin embargo tenemos que hacer notar que el calentamiento en la técnica es la sola temperatura que soporta la máquina a partir de la temperatura ambiente, que para las consideraciones técnicas se supone es de 35 (°C).

Las casas fabricantes tienen sus respectivas curvas de calentamiento y enfriamiento (exponenciales) para los diferentes tipos de máquinas.

Un motor bien elegido alcanza la temperatura final que le corresponde según la clase de aislamiento, como los aislantes en su mayoría son de origen orgánico, son combustibles. Como aislantes tenemos hoy los silicones que no son sino cadenas de elementos de silicio que han aportado un notable adelanto en las temperaturas que soportan (160 °C), pero como todas las partes de la máquina no se pueden aislar con silicones, se disminuye el límite de sobret temperatura que la máquina puede soportar. Este límite de calentamiento determina, pues la potencia nominal del motor. Si hay la posibilidad de mejorar la refrigeración o hacer que el aislamiento del arrollamiento principalmente amenazado sea aún más resistente al calor, tal y como se tiene previsto con el aislamiento de silicón, entonces se puede aumentar más la potencia.

En todo foco de calor, tenemos una cantidad Q de calor que se produce; una cantidad de calor que se disipa por radiación y una cantidad de calor que se acumula en el punto.

La Ecuación que se utiliza para cualquier proceso en el cual se desarrolla calor, se la conoce con el nombre de "Ley Universal del Calentamiento"; y es la siguiente ecuación diferen-

cial:

$$Q \cdot dt = C d\theta + A \theta dt \quad \frac{\text{cal}}{\text{seg}} \text{ seg}$$

Esta es la ecuación térmica de una máquina eléctrica.

Esta ecuación nos indica que el calor producido en un intervalo de tiempo es igual al calor almacenado ($C \cdot d\theta$) más el calor evacuado o radiado por radiación o ventilación ($A \theta dt$)

Equivalencias:

$$4186 \text{ Joules} = 1 \text{ Kcal}$$

$$4186 \text{ Wseg.} = 1 \text{ Kcal}$$

$$4,186 \text{ Kwseg} = 1 \text{ Kcal}$$

$$1 \text{ KWH} = 860 \text{ Kcal.}$$

Dimensiones:

$$Q = \frac{\text{Kcal}}{\text{seg}} = (\text{Kcal} \cdot \text{seg}^{-1})$$

$$dt = \text{seg.}$$

C = capacidad calorífica de la máquina

$$C = \frac{\text{Kcal}}{(\text{°C})} = (\text{Kcal} \cdot (\text{°C})^{-1})$$

A = Radiación del calor al exterior

$$A = \frac{\text{Kcal}}{\text{seg} \cdot (\text{°C})} = (\text{Kcal} \cdot \text{seg}^{-1} \cdot (\text{°C})^{-1})$$

$$\theta = (\text{°C})$$

$$\frac{Q}{W}, \frac{A}{W \cdot (\text{°C})^{-1}}, \frac{C}{W \cdot (\text{°C})^{-1}}$$

Q depende de las pérdidas de la máquina, las cuales pueden ser calculadas.

C y A, dependen del peso, de la calidad y de la forma de la máquina (inclusive su ventilación) y de la relación Cu so

bre Fe.

C y A son halladas siempre que se conozca a la máquina de la cual se está tratando.

Despejando de la ecuación general, obtendremos la temperatura en función del tiempo como sigue:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{Q - Ah}{C}$$

I-13-a

Casos Particulares.

Volviendo a la fórmula general y si consideramos las partes importantes para la integración tenemos los siguientes casos:

1°) A = 0 no hay radiación de calor

$$Qdt = Cdh$$
$$\frac{dh}{dt} = \frac{Q}{C}$$

Sabemos que en toda máquina que trabaja a régimen normal Q = ctte. y C = ctte. (depende de las características de construcción de la máquina) Ver Anexo.

Se ve que la temperatura de la máquina sobrepasa rápidamente la final, por fortuna este caso es raro. Fig. 28

2°) Q = Ah

En este caso no se almacena calor, el motor ha alcanzado su h final.

$$h = \frac{Q}{A} \quad h = h_{\text{final}}$$
$$Q = Ah_{\text{final}}$$

En este caso todo el calor producido es radiado, es-

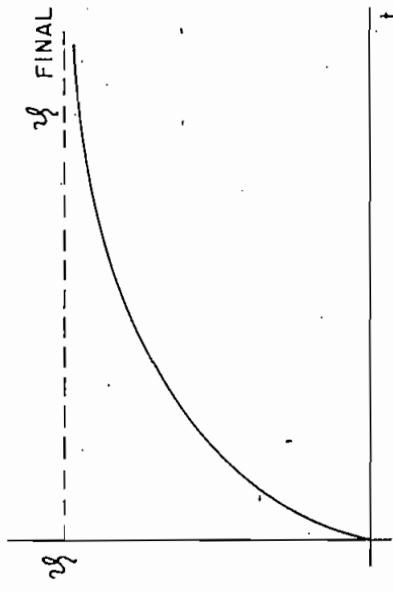


FIG. 29

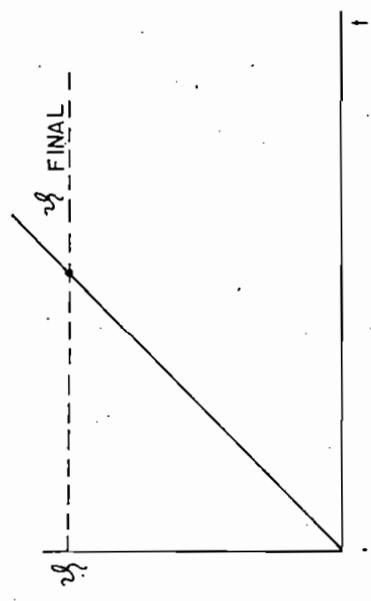


FIG. 28

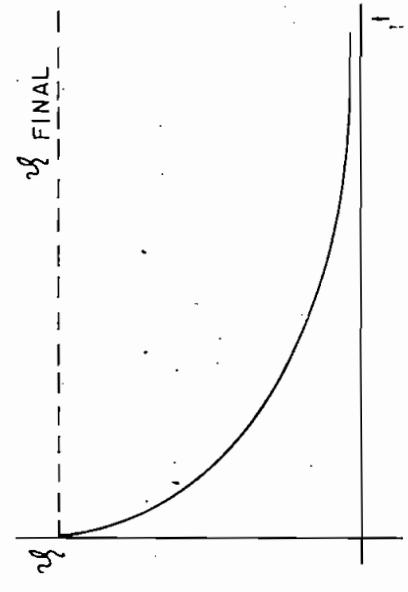


FIG. 31

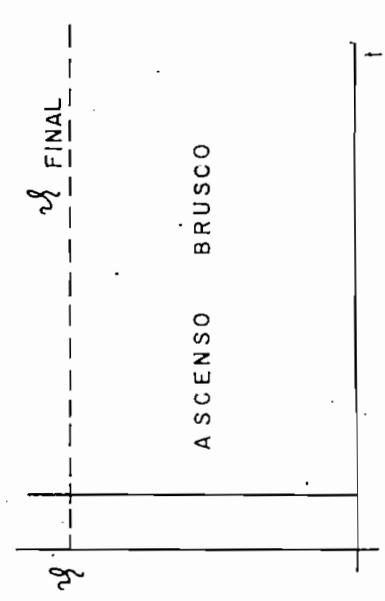


FIG. 30

CASOS PARTICULARES DEL CALENTAMIENTO DE UNA MAQUINA

to es posible sólo a la temperatura final de la máquina. *Fig. 29*

3°) $C = 0$ La máquina no tiene capacidad para almacenar calor.

$$\frac{dh}{dt} = \frac{Q - Ah}{0} = \infty$$

En este caso al conectar la máquina sube violentamente la temperatura. Este caso en la actualidad no se presenta. *Fig. 30*

4°) $Q = 0$ No hay calentamiento de la máquina.

Pero si la máquina tenía almacenado calor a una temperatura final, hay enfriamiento. *Fig. 31*

$$\frac{dh}{dt} = - \frac{Ah_{\text{final}}}{C} \quad \text{Ecuación del enfriamiento}$$

Ahora que hemos visto los casos más importantes de la ecuación diferencial, vamos a integrarla.

I-13-b

Integración de la Función

$$\frac{dh}{dt} = \frac{Q - Ah}{C}$$

$$dt = \frac{C \cdot dh}{Q - Ah} = C \cdot \frac{dh}{Q - Ah}$$

$$\int_{t_0}^t dt = C \int \frac{dh}{Q - Ah}$$

$$[t]_{t_0}^t = C \cdot - \frac{1}{A} \ln(Q - Ah)$$

$$t - t_0 = - \frac{C}{A} \ln(Q - Ah)$$

$$t = - \frac{C}{A} \ln(Q - Ah) + t_0$$

En condiciones iniciales

$$t = 0 \text{ y } h = h_{\text{inicial}} = h_i$$

$$0 = - \frac{C}{A} \ln(Q - Ah_i) + t_0$$

t

$$t_0 = \frac{C}{A} \ln(Q - A h_i)$$

Reemplazando el valor de t_0 , tendremos:

$$t = -\frac{C}{A} \ln(Q - A h) + \frac{C}{A} \ln(Q - A h_i)$$

$$t = \frac{C}{A} \ln\left(\frac{Q - A h_i}{Q - A h}\right)$$

El valor de

$$\frac{C}{A} = T \text{ que es la constante de calentamiento}$$

$$t = T \ln\left(\frac{Q - A h_i}{Q - A h}\right)$$

$$\frac{t}{T} = \ln\left(\frac{Q - A h_i}{Q - A h}\right)$$

$$e^{t/T} = \frac{Q - A h_i}{Q - A h}$$

$$Q \cdot e^{t/T} - A h_i e^{t/T} = Q - A h$$

$$Q \cdot e^{t/T} - Q + A h_i = A h e^{t/T}$$

$$\frac{Q(e^{t/T} - 1) + A h_i}{A \cdot e^{t/T}} = h$$

$$\frac{Q}{A}(1 - e^{-t/T}) + h_i e^{-t/T} = h$$

Y como sabemos que

$$h \text{ final} = \frac{Q}{A} = h_f \text{ según el aislamiento}$$

Tendremos que:

$$h = h_f (1 - e^{-t/T}) + h_i e^{-t/T}$$

Fórmula General de la variación de la temperatura en

una máquina.

1°) EL CALENTAMIENTO

De la fórmula de la temperatura instantánea

Cuando $\mathcal{H}_i = 0$ el 2º término se anula y nos queda
$$\mathcal{H}_i = \mathcal{H}_f (1 - e^{-t/T})$$

Que es la fórmula general para el calentamiento de -
la máquina.

Representando en un gráfico tendremos: la figura (29)

El valor de T que es la constante térmica de calenta
miento, varía según las máquinas; así tenemos:

Para 6 KW T: 6' - 10'

" 30 KW T: 30'

" 100 KW T: 60'

Mayor de 100 KW T: 90' a 3 horas.

Es decir depende:

- a) magnitud de la máquina,
- b) construcción de la máquina,
- c) ventilación de la máquina - velocidad

T depende y varía según la máquina esté o no parada.

Generalmente

$$T_{\text{par}} = 2 \text{ a } 3 T_{\text{mov.}}$$

Así la casa fabricante nos dará el valor de T, valor
que ha sido determinado experimentalmente en donde interviene el -
peso del cobre y del hierro y sus constantes de capacidad calorífica
ca C_{cu} y C_{Fe} y el rendimiento.

La constante térmica T es el valor que debe tener la
fracción t/T para que la temperatura cuando $t = T$ valga el 63%
de \mathcal{H}_f

Se puede demostrar:

$$\psi = \psi_f (1 - e^{-t/T}) \quad \text{cuando } t = T$$

$$\psi = \psi_f (1 - e^{-T/T})$$

$$\psi = \psi_f (1 - e^{-1}) = \psi_f (1 - 0,367)$$

$$\psi = 0,63 \psi_f = 63\% \psi_f$$

Cuando el tiempo es de 3T a 4T, sirve para demostrar se que la diferencia entre el valor teórico de ψ_f y el valor real de ψ_f en este intervalo es de 1 a 2% de diferencia.

ψ_f depende de la clase de aislamiento y es la sólo - temperatura admisible.

Lo indicado tenemos en el siguiente gráfico:

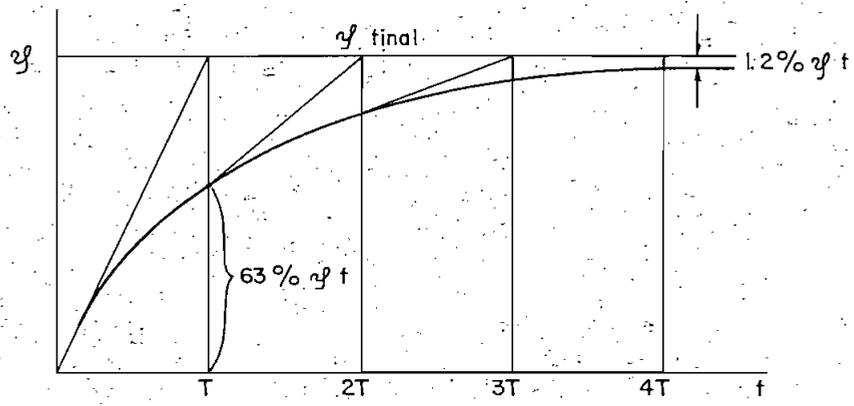


FIG. 32

2°) EL ENFRIAMIENTO

De la fórmula de la temperatura instantánea

Cuando la máquina después de calentarse después de un proceso y en éste ha llegado a su ψ final de acuerdo al límite dado por el aislamiento, esta ψ final pasa a ser la temperatura inicial para el enfriamiento, debiendo llegar a la temperatura final que - en este caso será cero. Por tanto en la fórmula de la temperatura instantánea, como ψ final es igual a 0, el segundo término viene - a ser la fórmula para el enfriamiento.

$$h_{\text{final}} = 0 \quad Q = 0$$

$$h = h_i e^{-t/T}$$

Representado en un gráfico, tendremos la figura 31.

Un ensayo de calentamiento de una máquina eléctrica se considera terminado cuando su temperatura no aumenta en más de dos grados en una hora.

Para el enfriamiento tendremos:

a) Máquina en vacío: T calentamiento = T enfriamiento

b) No gira la máquina (está parada)

$$T_{\text{enfriamiento}} = 2,63 T_{\text{calentamiento}}$$

Esto es debido a que la ventilación propia no funciona.

Cuando T calentamiento = T enfriamiento, la constante térmica T es el valor que debe tener la fracción t/T para que la temperatura cuando t = T valga 36,8% de h_i

Se puede demostrar:

$$h = h_i e^{-t/T} = h_i e^{-T/T} = h_i e^{-1} = 0,368 h_i$$
$$h = 36,8\% h_i$$

Lo indicado tenemos en el siguiente gráfico:

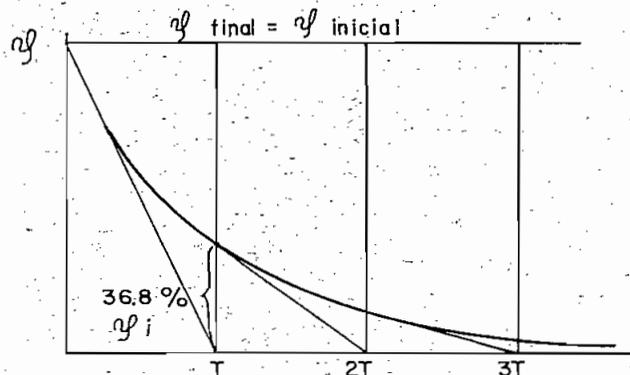


FIG. 33

I-13-c

El Calentamiento y el Enfriamiento en las Clases de Servicio.-

Ningún otro motor tiene la adaptabilidad de un motor eléctrico. Por cuanto existen motores desde fracciones de Wattio - hasta 20.000 KW (laminadores y elevadores únicos); motores que poseen hasta 7.000 inversiones de sentido (movimiento) en un minuto. Por tanto el motor eléctrico puede adaptarse ampliamente a las diferentes exigencias de trabajo.

Hemos hablado de las Clases de Servicio en las parte I-3-a teniendo en consideración lo dicho para cada uno, aplicaremos para cada clase lo que se ha tratado sobre el calentamiento y el enfriamiento.

1°) Servicio Continuo S.C.

Para el calentamiento, conocemos su Potencia en KW = N , su constante de calentamiento = T , su α_f dada por la clase de aislamiento.

Por tanto el gráfico será:

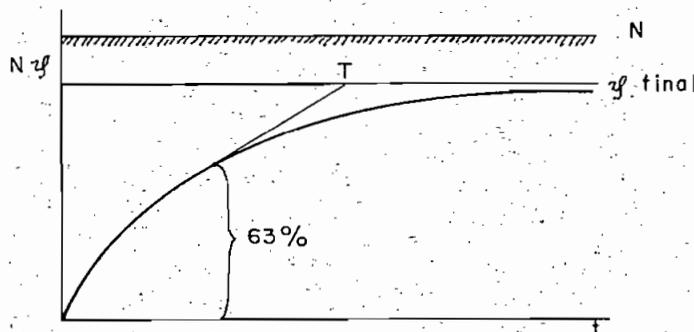


FIG. 34.

Para el enfriamiento, la máquina está en vacío por lo mismo:

$$T_{\text{cal.}} = T_{\text{enf.}}$$

Por tanto el gráfico será:

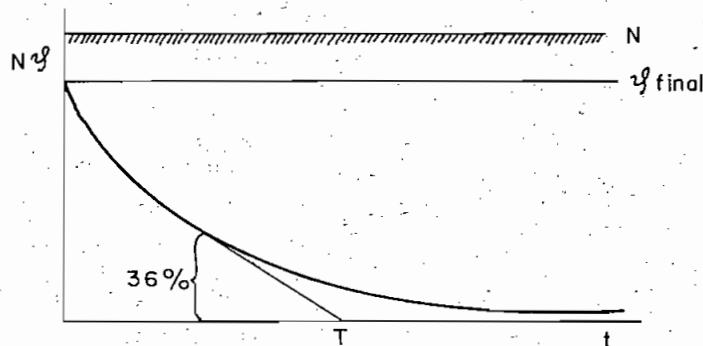


FIG. 35

2°) Servicio Breve.- S.B.

Como para cada aislante hay un calentamiento final máximo admisible llamado calentamiento límite que no puede rebasarse, toda máquina puede soportar durante un breve espacio de tiempo una carga superior a la correspondiente al servicio continuo; por tanto aunque se le sobrecargue al motor nunca se debe sobrepasar la temperatura admisible del aislamiento.

Hay por tanto que calcular el factor de sobrecarga = p

Sabemos que la máquina en servicio continuo alcanza la potencia nominal N_{nominal} , también que las pérdidas están en relación con el rendimiento de la máquina, las que se transforman en Cantidad de calor Q_{normal} . Y si el accionamiento está bien escogido tendrá un η_{normal} .

Cuando la máquina está en Servicio Breve, la máquina puede soportar durante un breve espacio de tiempo una carga superior, o sea en este caso la potencia será exagerada, tendremos $N_{\text{exagerada}}$, y como las pérdidas están en relación con el rendimiento de la máquina que es constante, tendremos una cantidad de calor

exagerada $Q_{exagerada}$, por tanto tendremos un η_c exagerado.

Por lo mismo para la máquina en servicio continuo tendremos:

$$\eta_{c\text{ normal}} = \frac{Q_{\text{normal}}}{A}$$

Para la máquina en servicio breve tendremos:

$$\eta_{c\text{ normal}} = \frac{Q_{\text{exagerada}}}{A}$$

Al relacionar estos valores tendremos:

$$\frac{\eta_{c\text{ exag.}}}{\eta_{c\text{ norm.}}} = \frac{Q_{\text{exag.}}}{Q_{\text{norm.}}} = \frac{N_{\text{exag.}}}{N_{\text{norm.}}} = p$$

Considerando el Momento máximo (M_{vuelco}) de la característica mecánica de los motores, tendremos los siguientes valores del factor p, dependientes de la clase de máquina.

Máquinas asincrónicas o de jaula

1,8 - 2 veces el Mom. normal

Máquinas asincrónicas, con anillos rozantes

2 - 2,5 veces el Mom. normal

Máquinas sincrónicas

2 veces el Mom. normal

Motores de corriente continua

2 veces el Mom normal

Motores de corriente alterna con colector

1,6 á 2 veces el Mom. normal

El factor p queda determinado por el Momento máximo y el calentamiento.

Sobrecargando el motor p veces más, el calentamiento

será también p veces más, y tendremos el siguiente diagrama:

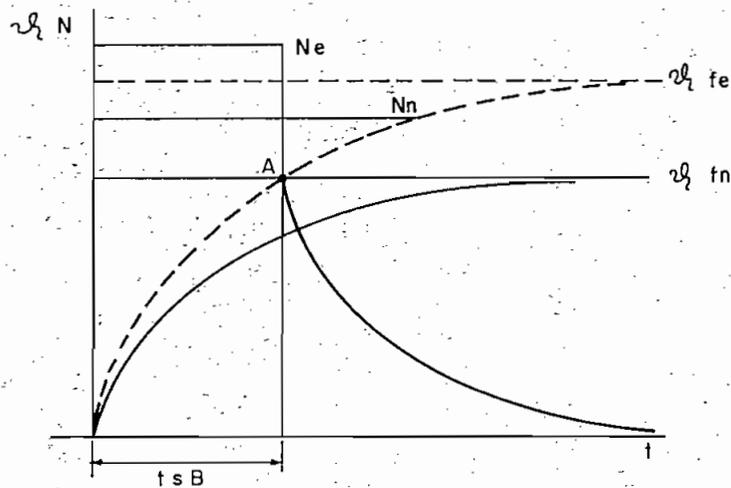


FIG.36

Para evitar el daño del motor se lo desconecta o se le quita la carga en el punto A, que corresponderá a un tiempo :

$$t = t_{SB}$$

Desconectándole a t_{SB} , se tendrá la respectiva curva de enfriamiento.

Vamos ahora a considerar la relación entre p y t_{SB}

En el calentamiento tenemos:

$$\mathcal{N} = \mathcal{N}_f (1 - e^{-t/T})$$

En el punto crítico A, sus coordenadas serán:

$$t_{SB} \text{ y } \mathcal{N}_{f \text{ normal.}}$$

Refiriéndonos a la curva según la ecuación de calentamiento tendremos:

$$\mathcal{N} = p \cdot \mathcal{N}_{f \text{ normal}} (1 - e^{-t/T})$$

$$\mathcal{N}_{f \text{ normal}} = p \cdot \mathcal{N}_{f \text{ normal}} (1 - e^{-t_{SB}/T})$$

$$1 = p(1 - e^{-t_{SB}/T})$$

En esta forma podemos calcular:

a) t_{SB} es dado según el proceso tecnológico, se calcula entonces p

$$p = \frac{1}{1 - e^{-t_{SB}/T}}$$

El factor p calculado en esta forma debe satisfacer los valores dados para las diferentes clases de máquinas en relación con el Momento máximo.

b) p es dado, se debe calcular t_{SB}

$$1 = p - p \cdot e^{-t_{SB}/T} = p - \frac{p}{e^{+t_{SB}/T}}$$

$$p - 1 = \frac{p}{e^{t_{SB}/T}} \quad \text{de donde}$$

$$e^{t_{SB}/T} = \frac{p}{p - 1}$$

$$\frac{t_{SB}}{T} = \ln\left(\frac{p}{p - 1}\right)$$

$$t_{SB} = T \cdot \ln\left(\frac{p}{p - 1}\right)$$

3°) Servicio Intermitente S. I.

En este servicio alternan los espacios de tiempo en que la máquina queda conectada con aquellos en que está desconectada de la línea, cuya duración no basta para que el enfriamiento de la máquina llegue a la temperatura del medio refrigerante. El curso de la curva de calentamiento (Fig. 37) para la relación ED. El proceso entre el tiempo de conexión y desconexión dura 10 minutos, de los cuales el tiempo de conexión puede ser 20 - 40 - 60% del período o sea

2, 4, 6 minutos de trabajo; y,

8, 6, 4 minutos de reposo

Debido a los espacios de tiempo en que la máquina se enfría en las pausas, la temperatura no llega ni mucho menos a la correspondiente al servicio continuo.

Para el gráfico correspondiente se tomará en cuenta las curvas tanto de calentamiento como de enfriamiento de la máquina correspondientes al ciclo de trabajo en servicio continuo y de enfriamiento para el motor desconectado.

Como se ve en el gráfico, los picos de las curvas no alcanzan a la temperatura final dada por el aislamiento.

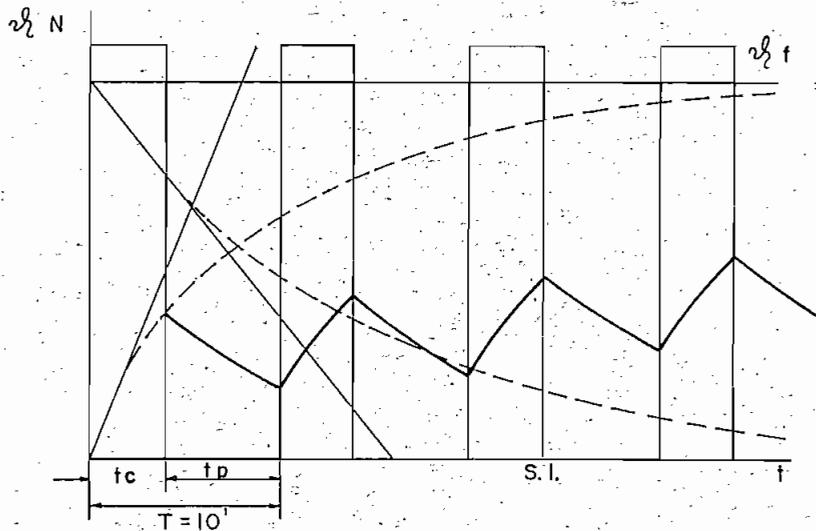


FIG. 37

Un motor que trabaja en servicio intermitente, puede ser ligeramente sobrecargado.

4°) Servicio Continuo con Carga Intermitente.- S.C.C.I.

Como en servicio intermitente el motor está sujeto a exigencias interrumpidas de la carga, pero funciona casi en vacío en las pausas, por lo cual la propia ventilación puede enfriar el motor en las pausas. Cuando el motor trabaja en las pausas la ca -

racterística T de la temperatura es igual a T de calentamiento.

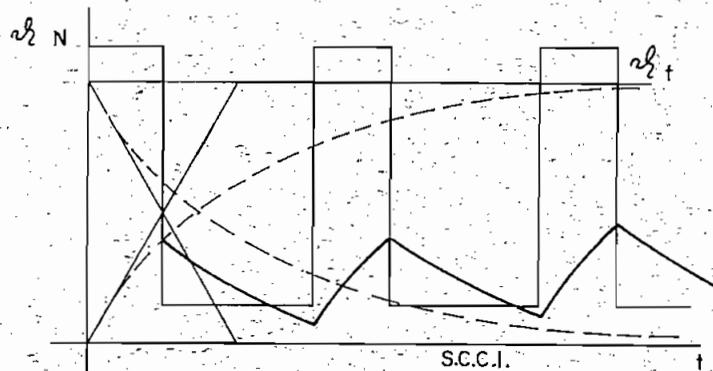


FIG. 38

5°) Servicio Continuo con Cargas Breves.- S.C.C.B.

El motor está sometido a sollicitaciones breves de la carga, funcionando en vacío durante las pausas, por lo cual se puede evacuar una cantidad considerable de calor debido a la propia ventilación, en este caso, T calentamiento, será igual T enfriamiento.

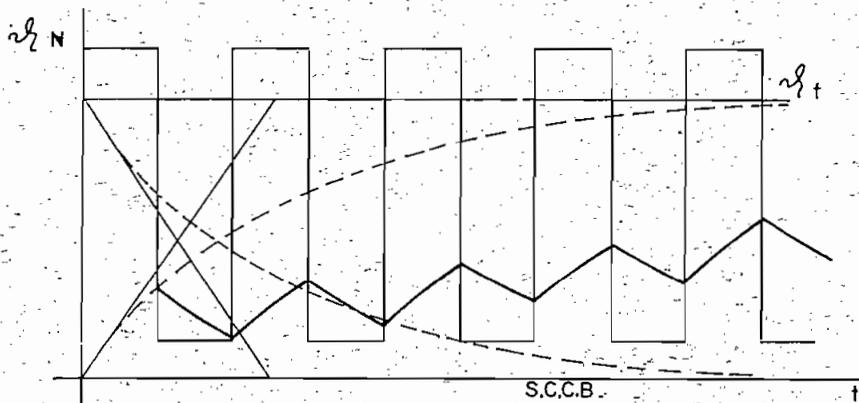


FIG. 39

6°) Servicio Conexión y Desconexión.- S.C.D.

Es un caso especial del servicio intermitente en el que el motor para los procesos de trabajo tiene que ser sometido -

a inversiones del sentido de rotación.

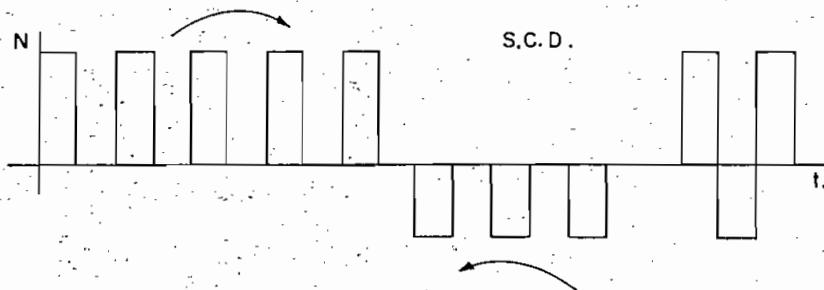


FIG. 40

La representación de la potencia y del tiempo es la indicada en la figura 40.

El calentamiento del motor no queda determinado fundamentalmente por la carga de trabajo, sino por los procesos de arranque, frenado y de inversión. Este es en general un servicio con un elevado número de ciclos de trabajo.

I-14

La Ventilación.-

Un buen funcionamiento del motor está determinado por la ventilación.

Las pérdidas por efecto Joule, por rozamiento y otras que se producen en la máquina tienen que ser disipadas por el medio refrigerante (por lo general aire), que envuelve al inducido y al sistema inductor. Por tanto cuanto más eficaz sea el enfriamiento de la máquina a tanto mayor carga podrá trabajar sin que los aislantes corran el riesgo de deteriorarse por el efecto de un calentamiento excesivo.

En general en máquinas de tipo pequeño o muy pequeño

es suficiente que las enfríe el aire que circula en su alrededor, en tanto que en las máquinas medianas hay que hacer circular una fuerte corriente de aire por su interior con este objeto, para lo que deberá tenerse en cuenta las partes de la máquina en las cuales se produzcan las mayores pérdidas térmicas. Según el sistema que se emplee para impulsar el aire fresco dentro de la máquina, distinguiremos según las normas R.E.M. y R.E.B.

1º) La autorrefrigeración, con la cual el aire refrescante pasa por las partes rotativas de la máquina sin ayuda de un ventilador especial.

2º) La ventilación propia, con la cual el aire refrescante es movido por un ventilador adosado al inducido o impulsado por éste, y

3º) La ventilación independiente, con la cual el aire refrescante es impulsado por un ventilador con un motor propio de accionamiento.

Con autoenfriamiento y con ventilación propia, el efecto refrescante depende en grado sumo de la velocidad a que gire la máquina, por que cuanto menor sea la velocidad, el calor cedido al exterior será menor o sea que se enfriará menos la máquina. Por esta razón en máquinas de poca velocidad la intensidad de la corriente que produce el calentamiento debe mantenerse baja, en estos casos podrá ser conveniente un sistema de ventilación independiente, pero fuera de ellos, en máquinas medianas y grandes se prefiere hoy día la ventilación propia.

Es necesario conocer la cantidad de aire necesario -

para extraer el calor generado en el motor.

La Siemens utiliza la siguiente fórmula para calcular el volumen de aire:

$$V_{\text{aire}} = \frac{0,239 \times \text{Pérdidas en KW}}{0,3 \times \Delta_t}$$

V = Volumen de aire en m^3

Δ_t = diferencia de temperatura entre el ambiente y la temperatura del motor.

El contenido de polvo en el aire que enfría el motor no debe ser mayor de 0,5 - 1 mgr/ m^3 de aire.

Existe la refrigeración de aire con camisas y tubos, en la cual la corriente de aire que circula en el motor con el carácter refrigerante, pasa a lo largo de un gran número de tubos colocados axialmente por todo el contorno de la carcasa de doble pared, a través de los cuales llega el aire al exterior. Estos motores deben tener un ventilador interior para la circulación interna del aire y un ventilador exterior para soplar el aire a través de los tubos; en locales muy polvorientos o donde haya peligro de explosiones y según sean las condiciones locales existentes hay que tomar el aire refrigerante desde afuera a través de tubos acoplados; a veces hay que intercalar también unos filtros, pero así llega a ser tan grande la resistencia que hay que optar por la ventilación independiente. En las industrias químicas se utiliza también la refrigeración en circuito cerrado la que asocia la evacuación del calor y la protección contra el polvo. El refrigerador de aire se compone de un sistema de tubos refrigerantes que están enfria -

dos por agua.

I-15

Elección de la Potencia Motriz.-

La medida para la potencia de una máquina eléctrica viene dada por su calentamiento durante el servicio.

El dimensionado del motor viene determinado por los valores del par de giro exigidos al motor durante su marcha normal, arranque y frenado, pues el par de giro exigido corresponde a la corriente en el motor y las pérdidas caloríficas de éste son proporcionales al cuadrado de esa corriente. Por lo tanto el motor debe estar dimensionado de tal manera que estas pérdidas no sobrepasen su temperatura límite admisible.

La fijación de la potencia de un motor es a veces difícil, pero como se dijo al comienzo para la fijación de la potencia hay que tomar en cuenta en primer lugar su calentamiento en servicio de donde:

$$Q_{\text{servicio}} \approx Q_{\text{normal}}$$

Para la elección de la potencia motriz, los científicos han elaborado 4 métodos:

- a) Método de las pérdidas equivalentes,
- b) Método de la corriente equivalente,
- c) Método del momento equivalente,
- d) Método de la potencia equivalente.

El método más usado es el c), pero para entenderlo es necesario estudiar los métodos a) y b)

La causa de la producción del calor son las pérdidas.

Como sabemos las pérdidas constan de una parte constante y de otra variable (bajo carga)

Pérdidas:

Constantes

Variables: Bajo carga variable.

Considerando un motor en derivación y otro en serie tendremos:

Motor en derivación

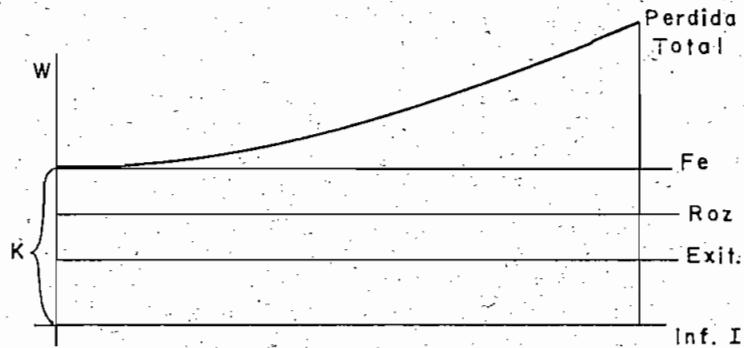


FIG. 41

Motor en serie

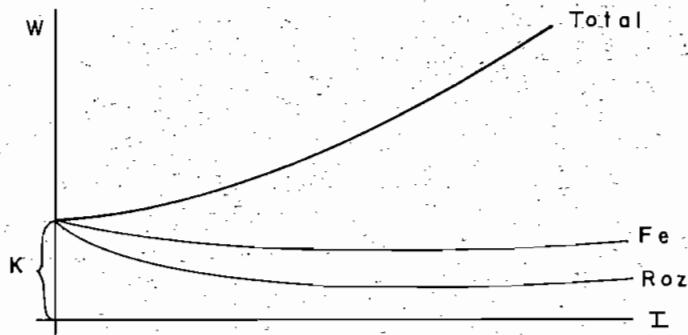


FIG. 42

I-15-a.

Método de las Pérdidas Equivalentes.-

En un diagrama de la potencia en función del tiempo, se determinará la pérdida media y de la Lista de Motores se podrá escoger un motor con la misma pérdida en potencia normal.

Considerando un caso general, se procede de la siguiente manera:

En la figura 43 en la que se tomará la potencia en función del tiempo, deberá tenerse el diagrama de un proceso tecnológico, el cual servirá de base para tomando en el eje de tiempo intervalos iguales o no, transformar la curva de la potencia en una curva escalonada equivalente en los intervalos de tiempo considerados.

Con un valor de la potencia estimada del motor, solicitamos el diagrama de las pérdidas en función de la potencia. Ver figura 44.

Con los diferentes valores de la potencia escalonada de la figura 43, trasladamos éstos en su magnitud al eje correspondiente en la figura 44, lo que nos dará un valor correspondiente a las pérdidas que corresponden a cada valor de la potencia, este último valor lo trasladamos nuevamente a la figura 43 como ordenada y tendremos así los distintos valores de las pérdidas para las distintas potencias.

Con estos valores de pérdidas que también serán escalonados, obtenemos una recta de compensación de pérdidas, cuyo valor promedio deberá ser menor o igual a las pérdidas a potencia no

minal.

Sabemos que

$$\text{Perd. nominal} \cdot \sum t = \text{Perd}_1 t_1 + \text{Perd}_2 t_2 + \dots$$

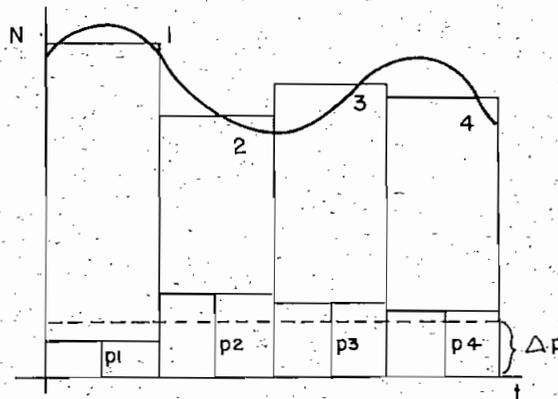
$$\text{Perd. promedio} = \frac{\sum \text{Perd. total} \cdot t}{\sum t}$$

de donde

$$\text{Perd. promedio} \leq \text{Perd. nominal}$$

Se admite una diferencia + o - 8%

Si las diferencias son grandes, se escoge otro motor y por lo mismo otro diagrama del rendimiento en función de la potencia; y como este diagrama a veces no se lo puede obtener, por lo que este método es difícil de aplicarlo.



$\Delta p = \text{Perd. nom.}$

FIG. 43

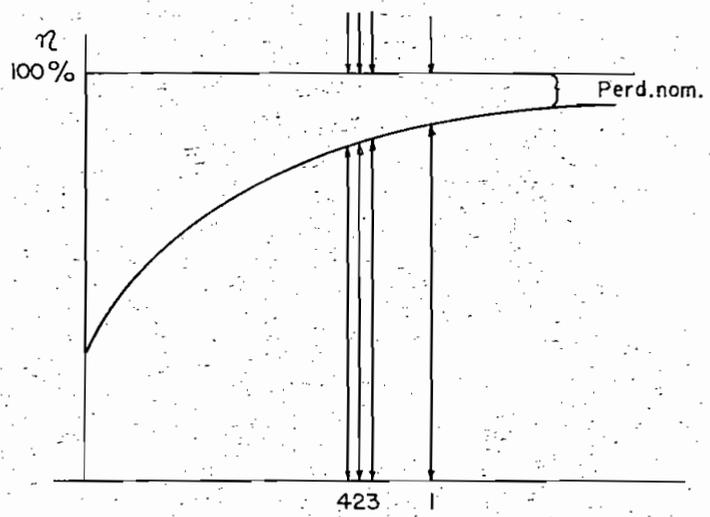


FIG. 44

I-15-b

Método de la Corriente Equivalente.-

En este caso se sustituye la corriente variable por una corriente constante equivalente que tenga las mismas pérdidas que el proceso tecnológico.

Al igual que el caso anterior debe tenerse un diagrama del proceso tecnológico (potencia o momento en función del tiempo); con esta curva deberá transformarse en una curva escalonada - equivalente en los intervalos de tiempo considerados.

Debe tenerse además un diagrama de la Corriente en función de la Potencia o en función del momento que por lo general no se tiene y se debe proceder con estos diagramas como en el caso anterior.

Habíamos dicho que las pérdidas constan de una parte constante y de una parte variable en función de la carga que es proporcional a I^2R .

Con la I promedio obtenida similarmente al método an

terior, ésta tiene que ser igual a la I normal del motor escogido para la potencia o momento considerado.

Por lo mismo:

$\sum t(K + I_{\text{promedio}}^2 \cdot R)$ = a la pérdida del motor escogido en la lista.

$$\sum t(K + I_p^2 \cdot R) = t_1(K + I_1^2 \cdot R) + t_2(K + I_2^2 \cdot R) + \dots + t_n(K + I_n^2 \cdot R)$$

Dividiendo todo por $\sum t$ y sacando el factor común respectivo tendremos:

$$(K + I_p^2 \cdot R) = K(t_1 + t_2 + \dots + t_n) + R(I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n)$$

$$K + I_p^2 \cdot R = K + \frac{R(I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n)}{\sum t}$$

$$I_p^2 = \frac{t_1 I_1^2 + t_2 I_2^2 + \dots + t_n I_n^2}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$$

$$I_p = \sqrt{\frac{t_1 I_1^2 + t_2 I_2^2 + \dots + t_n I_n^2}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}$$

I-15-c

Método del Momento Equivalente.

Es el método más utilizado actualmente.

Habíamos visto en I-4, que los momentos para los motores serie y derivación venían dados por:

Motor derivación

$$M_{\text{motriz}} = C_{M_1} \cdot i$$

Motor Serie

$$M_{\text{motriz}} = C_{M_2} \cdot i^2$$

Por tanto aplicando la corriente equivalente hallada

por el método anterior a estas fórmulas tendremos:

Motor Derivación

$$M = C_M \cdot i$$

$$M = M_{\text{equiv.}}$$

$$i = i_{\text{equiv.}}$$

$$M_{\text{equiv.}} = C_M \cdot i_{\text{equiv.}}$$

$$M_{\text{eq.}} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 \cdot C_M^2 + I_2^2 t_2 \cdot C_M^2 + \dots + I_n^2 t_n \cdot C_M^2}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}$$

Motor Serie

$$M_{\text{eq.}} = C_M i_{\text{eq.}}^2$$

$$M_{\text{eq}} = C_M \frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$$

$$M_{\text{eq}} = \frac{M_1 t_1 + M_2 t_2 + \dots + M_n t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$$

I-15-d

Método de la Potencia Equivalente.-

Habíamos visto en I-5, de la característica mecánica que para el motor en derivación

$$n \sim \omega \sim \text{constante}$$

Y sabemos que

$$N = M \cdot \omega = \text{Potencia}$$

$$\text{Siendo } N = N_{\text{eq}}$$

$$M = M_{\text{eq}}$$

$$N_{\text{eq}} = \omega \cdot M_{\text{eq.}}$$

$$N_{eq.} = \sqrt{\frac{M_1^2 \omega^2 t_1 + M_2^2 \omega^2 t_2 + \dots + M_n^2 \omega^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}$$

$$N_{eq.} = \sqrt{\frac{N_1^2 t_1 + N_2^2 t_2 + \dots + N_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}$$

Para el motor serie

por la misma característica mecánica sabemos que $n \neq cte.$

Luego no podemos decir que $N \equiv M \cdot \omega$

I-16

Arranque de Motores de Corriente Continua.-

Al funcionar un motor aparece una fuerza contraelectromotriz E, que actúa en sentido opuesto a la tensión de bornes.

Se conoce que la Fuerza contraelectromotriz, viene dada por la fórmula

$$E = \frac{Z \cdot p}{30a} \cdot n \cdot \phi \cdot 10^{-8} \text{ Voltios}$$

Z = número de conductores dispuestos en la superficie del inducido.

p = número de pares de polos

a = número de circuitos en paralelo de paso de la corriente

n = la velocidad del inducido en r.p.m.

ϕ = flujo total que penetra en el inducido desde un polo norte

Como Z, p, y a son constantes para un motor determinado la f.c.e.m. será:

$$E = k \cdot n \cdot \phi$$

Según esta fórmula, la f.c.e.m. es nula cuando el motor está en reposo, mientras que cuando ésta llega a la velocidad de régimen alcanza su valor máximo.

Por tanto la corriente I_1 absorbida de la red por el motor queda determinada por la diferencia de ambas tensiones y la resistencia interior R_1 de la máquina; según la Ley de Ohm

$$I_1 = \frac{U - E}{R_1}$$

$$U = E + I_1 R_1$$

en la que I_1 está determinada por la diferencia de ambas tensiones $U - E$, la que para la mayoría de las máquinas funcionando a plena velocidad, llega al valor de 3 a 10% de la tensión de bornes U . Pero cuando el motor está parado $E = 0$, de modo que la diferencia $U - E = U$, resulta por tanto, igual a la tensión de bornes total. En consecuencia inmediatamente después de conectar el motor y antes de que éste empiece a funcionar puede producirse una intensidad de corriente I_1 de diez a treinta veces la normal.

Sobre todo en máquinas medianas y grandes surgirían por esta causa grandes sollicitaciones mecánicas y térmicas; además, estos golpes de corriente de tal intensidad resultan también para la red por lo general insoportables, por cuanto se traducen las más de las veces, en oscilaciones inadmisibles de la tensión.

Para evitar estas elevaciones en la corriente de conexión, se aplica al motor únicamente una parte de la tensión de línea durante el período de arranque. El resto de la tensión de la

red se consume en tal caso en una resistencia conectada en serie con el inducido, que se llama resistencia de arranque.

La magnitud de la resistencia del reóstato de arranque R_A se determina por la Ley de Ohm. Si se prescribe que en ausencia de f.e.m. (es decir estando el motor parado), la punta de la corriente de arranque I_A no ha de rebasar cierto límite, entonces el valor de la resistencia del reóstato de arranque deberá ser:

$$R_A = \frac{U}{I_A} - R_i$$

Con excepción de los arrancadores del tipo más pequeño, a esta resistencia se le agregan algunos escalones previos o de preparación.

Para la magnitud de la punta de corriente de arranque admisible es decisivo el par motor de arranque requerido.

En cuanto el motor ha arrancado por el efecto del par motor y después de haber alcanzado su corriente la punta de arranque I_A comienza a surgir la fuerza electromotriz contraria, por esta razón disminuye la corriente; en cuanto la corriente ha llegado a un valor suficientemente bajo, es decir, a la llamada corriente de maniobra I_{min} , puede desconectarse tanta resistencia de arranque como sea preciso para que la corriente vuelva a su valor máximo I_A y una vez haya bajado de nuevo la corriente al valor I_{min} se desconecta otra parte de resistencia de arranque y así sucesivamente hasta que todo el reóstato de arranque quede desconectado y el motor haya llegado a su velocidad máxima.

I-16-a

Cálculo del Reóstato de Arranque.-

El número de contactos, la intensidad de las corrientes I_A e I_{min} y otras magnitudes esenciales para el cálculo de reóstatos están fijados en la norma VDE 0650 sobre "Reglas para el Cálculo y ensayos de arrancadores y aparatos de Maniobra, R.E.A." para máquinas entre 1,5 y 100 KW, según estas prescripciones, la corriente de punta de arranque I_A para la puesta en marcha a plena carga debe ser 1,5 veces, y la corriente de maniobra I_{min} 1,15 veces la corriente nominal de la máquina.

Para nuestro caso distinguiremos:

Arrancador para motor en derivación, y

Arrancador para Motor Serie.

El método del cálculo, puede hacerse analíticamente, o mediante construcción geométrica.

Como hemos visto que una conexión directa sin arrancador aumenta la corriente de 10 a 30 veces la corriente normal, esto es lo que se debe evitar.

Para disminuir este valor a límites aceptables, lo hacemos por medio de 4 o 5 escalones o de 6 a 20 escalones, usándose de 4 a 6 escalones en máquinas que soportan golpes mecánicos tales como las máquinas herramientas; y, de 6 a 20 escalones en las máquinas que no soportan golpes, generalmente en las máquinas utilizadas para la Industria textil.

I-16-a-1

Cálculo de un Arrancador para un Motor en Derivación.-

Para esto necesitamos como dato la característica me
cánica del motor en derivación.

Sabemos que la característica mecánica depende de la
función

$$n = f (M) \text{ y a su vez,}$$

$$n = f (I_i)$$

Para el motor en derivación consideraremos el si -
guiente gráfico de conexión:

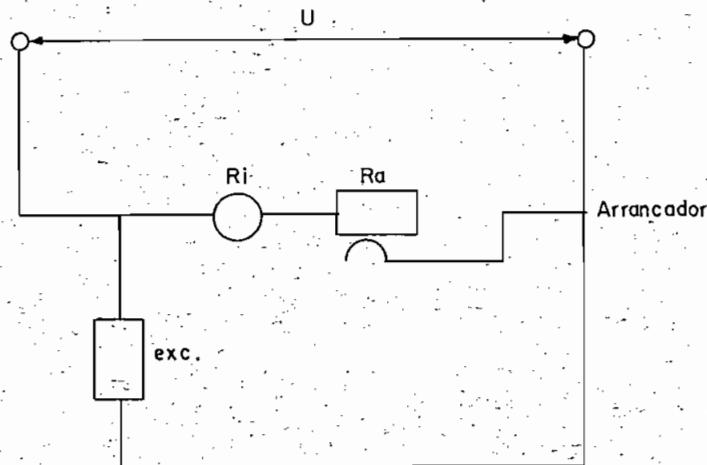


FIG. 45

R_a = Resistencia adicional en el circuito del indu
cido conectada en serie, que es variable y se la denomina arranca-
dor

Estudiemos algunos principios:

1) Equilibrio de tensiones:

$$U = E + I_i (R_i + R_a)$$

2) Sabemos que el valor de la f.c.e.m. E, es igual

$$E = K.n.\phi$$

$$K = C_{el}$$

$$E = C_{el}.n.\phi$$

3) Momento = $\frac{\text{Potencia}}{\text{Velocidad angular}}$

$$M = \frac{N}{\omega} \left(\frac{\text{Kg.m}}{\text{seg}} \cdot \text{seg} \right) (\text{Kg.m})$$

Si multiplicamos 1) por I_i , tendremos:

$$U.I_i = E.I_i + I_i^2(R_i + R_a)$$

Lo que nos dice que la potencia exterior es igual a la potencia interior o mecánica más la potencia de pérdidas que se transforma en calor.

$$N_{\text{mecánica}} = E.I_i = M_{\text{mot}}.\omega$$

Reemplazando el valor de E anterior y despejando M, tendremos:

$$M = \frac{N}{\omega} = \frac{E.I_i}{\omega} = \frac{C_{el}.n.\phi.I_i}{\omega}$$

$$C_m = C_{el} \cdot \frac{n}{\omega}$$

$$M = C_m \cdot \phi \cdot I_i$$

Lo que nos interesa es encontrar el valor de $n = f(M)$

$$I_i = \frac{M}{C_m \cdot \phi}$$

Reemplazando este valor y el de E en 2), tendremos:

$$U = C_{el} \cdot \phi \cdot n + I_i(R_i + R_a)$$

$$U = C_{el} \cdot \phi \cdot n + \frac{M}{C_m \cdot \phi} (R_i + R_a)$$

Despejando n , tendremos:

$$n = \frac{U}{C_{el} \cdot \phi} - \frac{(R_i + R_a)}{C_{el} C_m \phi^2} \cdot M$$

$$C_{el} = 1.03 C_m$$

Se tiene como datos:

U , n , $N_{nominal}$, I_i , I_{exc} , con estos datos se puede construir la característica mecánica del motor en derivación

$$n = f(M)$$

$$I_i = I_n - I_{exc}$$

$$\eta = \frac{Nn}{U \cdot I_n}$$

$$M_n = 976 \frac{N}{n} \quad N = \text{Potencia nominal, } n = \text{velocidad nominal.}$$

Con estos valores se puede trazar el punto de trabajo a velocidad nominal.

Nos interesa el valor de n_0 y sabemos que cuando en el motor $M = 0$, este alcanza su velocidad en vacío o sea n_0 .

De la fórmula

$$n_0 = \frac{U}{C_{el} \cdot \phi}$$

Si multiplicamos ambos miembros de la igualdad por n_n , tendremos:

$$n_0 \cdot n_n = \frac{U \cdot n_n}{C_{el} \cdot \phi}$$

$$n_0 = \frac{U \cdot n_n}{C_{el} \cdot \phi \cdot n_n} = \frac{U \cdot n_n}{E} = \frac{U \cdot n_n}{U - I(R_i + R_a)}$$

como se trata de n_0 , $R_a = 0$

$$n_o = \frac{U_{\text{normal}} \cdot n_{\text{normal}}}{U - I_1 \cdot R_i}$$

Nos interesa encontrar el valor de R_i

R_i está en las placas, otras veces no, y se lo puede determinar.

Sabemos que el rendimiento es igual a

$$\eta = \frac{N_n}{N_n + N_{\text{pérdidas}}} \quad N_{\text{pérdidas}} = I_i^2 R$$

$$\eta = \frac{N_n}{N_n + I_i^2 R}, \text{ de donde}$$

$$\eta I_i^2 R + \eta N_n = N_n$$

$$\eta I_i^2 R = N_n - \eta N_n$$

$$R_i = \frac{0,5(1 - \eta)N_n}{I_i^2 \cdot \eta} \quad \text{porque sabemos que parte de las pérdidas debido al calentamiento, Foucault, valen } 0,5 \text{ de } N_{\text{pérdidas}} \text{ y se deben a } R_i$$

Podemos ver esto en un gráfico

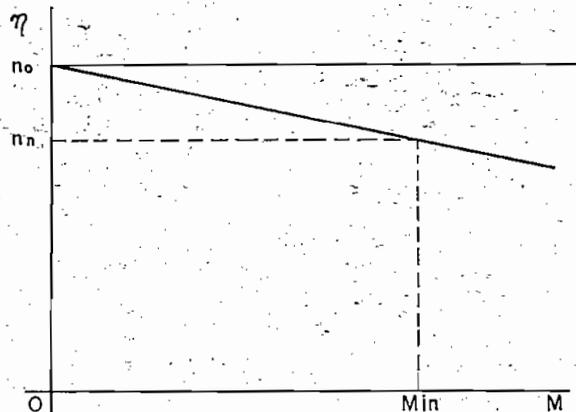


FIG. 46

Es decir que la placa nos permite el cálculo de la característica mecánica de un motor.

Ahora podemos calcular el arrancador a base del período transitorio, paso del estado de reposo al régimen normal de trabajo.

Por ausencia de la fuerza electromotriz contraria, la corriente que se desarrollaría en el motor en el arranque es muy elevada, ya que como dijimos antes

$$I_A = \frac{U}{R_i}$$

Debe limitarse esta corriente a un valor soportable, las normas dan para motores de este tipo

que $I_A = 1,5$ a $2 \cdot I_{\text{normal}}$ = valor máximo que debe alcanzar la corriente.

Por tanto el valor de I_A , deberá estar limitado por una resistencia adicional en serie que se conectará con la resistencia del inducido.

$$I_A = \frac{U}{R_i + R_a}$$

$$R_A = \frac{U}{I_A} - R_i$$

Al empezar a girar el motor, irá acelerando la velocidad mientras su par motor sea mayor que el necesario para la carga. Según acelera el motor, su fuerza contraelectromotriz sube y la corriente del inducido desciende, con el correspondiente descenso del par motor. Es entonces necesario reducir la resistencia, a medida que la velocidad del motor aumenta, cortando o cortocircuitando un escalón cada vez, hasta que finalmente toda la resisten-

oía quede fuera del circuito.

Un método gráfico de proyectar la resistencia necesaria para la aceleración se expresa en la figura 47

Como la fuerza contraelectromotriz desarrollada es proporcional a la velocidad, las ordenadas representan a la vez el porcentaje de velocidad de fuerza contraelectromotriz. La abcisa es el porcentaje de la corriente en plena carga.

Suponiendo que la corriente de arranque sea el 175% de la corriente, la resistencia total, incluyendo el motor y las conexiones será:

$$R = \frac{U}{1,75I}$$

El punto a representa la corriente inicial, y el motor acelerará según la línea dibujada de a a 100, pero si está plenamente cargado no acelerará mas allá del punto b, ya que el motor de plena carga necesita el 100% de la corriente, por consiguiente en b debe cortarse un escalón de resistencia. El punto c se escoge para dar una irrupción de corriente igual a a, y se dibuja una línea de c a 100. Se sigue este procedimiento hasta alcanzar un punto en el cual la línea hasta 100 caerá ya directamente en el punto h o muy cerca de él.

La línea gh representa la curva característica del motor, y la línea kh es la reducción de velocidad entre la marcha en vacío y la plena carga, debida a la caída ohmica en el inducido y las conexiones. Luego el punto h representa la velocidad para la que el motor acelerará bajo plena carga. Solamente es necesario proveer resistencia para acelerar el motor hasta ese punto. Si la

última curva cae directamente sobre el punto h, el proyecto es correcto, y con tres escalones de resistencias se obtendrán las irrupciones de corriente deseadas. Si cae entre k y h, las irrupciones de corriente pueden reducirse ligeramente. Si cae entre f y h, las irrupciones deben aumentarse y si ello es posible, será necesario otro escalón. En este caso se reducirán las irrupciones hasta que la curva final de la aceleración pase por el punto h.

Cada una de las curvas ab, cd y ef representa una curva característica del motor, con un cierto valor de resistencia en serie, gh es la curva del motor solo con la resistencia de las conexiones; ab es una curva con toda la resistencia en serie; cd es la curva con un escalón suprimido, y ef, la curva con dos escalones suprimidos. La línea gh representa la caída de tensión en el motor a plena carga, bd es caída de tensión en el primer escalón de resistencia; df, el del segundo escalón, y fh del tercer escalón. Los ohmios necesarios son entonces:

$$\text{Primer escalón} = \frac{bd}{bk} \times \frac{U}{1,75I_n}$$

$$\text{Segundo escalón} = \frac{df}{bk} \times \frac{U}{1,75I}$$

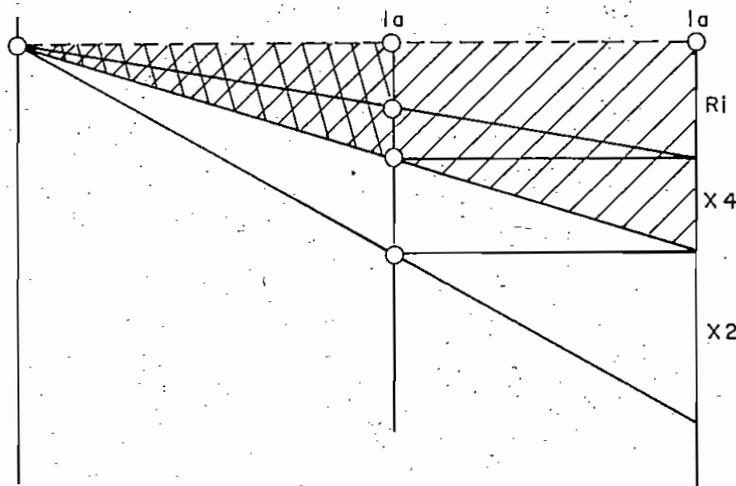
$$\text{Tercer escalón} = \frac{fh}{bk} \times \frac{U}{1,75I}$$

Bajo la plena carga, el motor funcionará a la velocidad b, con toda la resistencia en el circuito, en el punto d con un escalón cortado, en el punto f, con dos escalones cortados y en el punto h con toda la resistencia afuera. Si varía la carga, la velocidad variará también, estando siempre sobre una de las curvas.

Para proyectar gráficamente una resistencia de la ma

nera descrita es necesario saber o suponer la resistencia del motor. Ha de conocerse la corriente de base I_{\min} para el cual se cortan los escalones de resistencia. Entonces si se conoce la irrupción de corriente, puede hallarse el número de escalones, o si se conocen éstos puede hallarse la irrupción, y en cualquier caso puede determinarse la gradación de los escalones de resistencia.

Tenemos la siguiente figura:



CALCULO DE UN ARRANCADOR MOTOR EN DERIVACION

FIG. 48

Podemos hacer la siguiente proporción:

$$a) \frac{I_2}{I_1} = \frac{R_1 + X_1}{R_1} = V$$

Con la característica 2, tendremos:

$$b) \frac{I_2}{I_1} = \frac{R_1 + X_1 + X_2}{R_1 + X_1} = V$$

Con la característica 3, tendremos:

$$c) \frac{I_2}{I_1} = \frac{R_1 + X_1 + X_2 + X_3}{R_1 + X_1 + X_2} = V$$

Todo esto por semejanza de triángulos.

$$\text{Según a) } \frac{I_2}{I_1} = \frac{R_i + X_1}{R_i} = V$$

$$V \cdot R_i = R_i + X_1$$

$$X_1 = V \cdot R_i - R_i$$

$$X_1 = R_i(V - 1)$$

$$\text{Según b) } \frac{I_2}{I_1} = \frac{R_i + X_1 + X_2}{R_i + X_1} = V$$

$$V(R_i + X_1) = R_i + X_1 + X_2$$

$$VR_i + VX_1 = R_i + X_1 + X_2$$

$$X_2 = V \cdot R_i - R_i + V \cdot X_1 - X_1$$

$$X_2 = R_i(V - 1) + X_1(V - 1)$$

$$X_2 = (V - 1)(R_i + X_1)$$

Sabemos que:

$$X_1 = R_i(V - 1), \text{ reemplazando arriba tendremos:}$$

$$X_2 = (V - 1)[R_i + R_i(V - 1)]$$

$$X_2 = (V - 1)[R_i(1 + V - 1)]$$

$$X_2 = (V - 1)R_i \cdot V$$

$$\text{Según c) } \frac{I_2}{I_1} = \frac{R_i + X_1 + X_2 + X_3}{R_i + X_1 + X_2} = V$$

$$V(R_i + X_1 + X_2) = R_i + X_1 + X_2 + X_3$$

$$V \cdot R_i + V \cdot X_1 + V \cdot X_2 = R_i + X_1 + X_2 + X_3$$

$$X_3 = V.R_i - R_i + V.X_1 - X_1 + V.X_2 - X_2$$

$$X_3 = R_i(V - 1) + X_1(V - 1) + X_2(V - 1)$$

$$X_3 = (V - 1)(R_i + X_1 + X_2)$$

Reemplazando los valores de X_1 y X_2 , tendremos:

$$X_3 = (V - 1)[R_i + R_i(V - 1) + (V - 1)R_i V]$$

$$X_3 = (V - 1)[R_i(1 + V - 1 + (V - 1)V)]$$

$$X_3 = (V - 1)[R_i(V + V^2 - V)]$$

$$X_3 = V^2(V - 1)R_i$$

En igual forma:

$$X_2 = V.R_i(V - 1) = V.X_1$$

$$X_2 = V^2.R_i(V - 1) = V^2.X_1$$

La Resistencia total es igual a:

$$R_i + R_{ext} = R_i + X_1 + X_2 + X_3$$

$$R_i + R_{ext} = R_i + R_i(V-1) + V(V-1)R_i + V^2(V-1)R_i$$

$$R_i + R_{ext} = R_i + R_i(V - 1)(1 + V + V^2 + \dots)$$

$$R_i + R_{ext} = R_i + X_1(1 + V + V^2 + \dots)$$

$$R_{ext} = X_1 + X_1V + X_1V^2 + X_1V^3 + \dots$$

$$R_{ext} = X_1(V^0 + V^1 + V^2 + V^3 + \dots)$$

$$R_{ext} = R_i(V - 1)(V^0 + V^1 + V^2)$$

Según la divisibilidad

$$\frac{V^3 - 1}{V - 1} = V^2 + V + 1$$

$$R_{ext} = R_i(V - 1) \frac{(V^3 - 1)}{(V - 1)} = R_i(V^3 - 1)$$

$$\frac{R_{ext}}{R_i} = V^3 - 1 ; \quad \frac{R_{ext}}{R_i} + 1 = V^3$$

$$\frac{R_{ext} + R_i}{R_i} = V^3, \text{ de donde } V^3 \cdot R_i = R_{ext} + R_i$$

de donde, generalizando

$$V^z \cdot R_i = R_i + R_{ext}$$

z = número de escalones del arrancador.

$$R_i V^z = R_i + R_{ext}$$

$$V^z = \frac{R_i + R_{ext}}{R_i}$$

$$V = \sqrt[z]{\frac{R_i + R_{ext}}{R_i}} \bigg/ \sqrt[z]{\frac{I_2}{I_2}}$$

$$V = \sqrt[z]{\frac{(R_i + R_{ext}) I_2}{R_i I_2}}$$

$$V = \sqrt{\frac{U}{R_i I_2}}$$

R_i dado en lista o calculado, I_2 elegido

$$\log V = \frac{1}{z} \log \frac{U}{R_i I_2}$$

$$z = \frac{\log \frac{U}{R_i I_2}}{\log V}$$

En esta forma podemos determinar analíticamente el cálculo del arrancador para un motor en derivación.

I-16-a-2

Cálculo de un Arrancador para Motor en Serie.-

Los motores serie se aceleran comunmente por medio de resistencias en serie, del mismo modo que los motores en derivación, pero las curvas de arranque son diferentes.

El mejor método para la solución gráfica es trazar primero la curva corriente-velocidad del motor solo.

Para ello, consideraremos el siguiente gráfico para el motor serie:

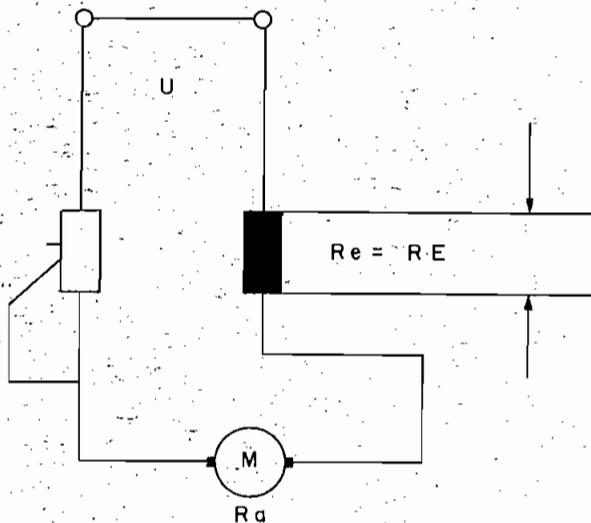


FIG. 49

R_a = Resistencia de arranque.

R_A = Resistencia interna del motor.

R_E = Resistencia de la excitación.

Trazamos la característica propia de la máquina o sea cuando R_a está cortocircuitada.

En esta curva marcamos el punto normal de trabajo a corriente nominal y velocidad nominal, para este punto la característica natural viene dada por:

$$n = f(I)$$

$$n_{\text{mot}} = \frac{U - I \cdot R_M}{C_{el} \cdot \phi}$$

donde:

$$R_M = R_E + R_A$$

La corriente de arranque para los motores serie es

$$I_A = 2 I_n$$

Teniendo como dato U_n , e I_n , se puede calcular R_n

$$R_n = \frac{U_n}{I_n}$$

Conociendo la potencia del motor en KW, se puede calcular el rendimiento:

$$\eta = \frac{N_n \cdot 1000}{U_n \cdot I_n}$$

Con los valores anteriores, se puede calcular R_A y

R_E

$$R_A = 0,5(1 - \eta_m)R_n$$

$$R_E = 0,5 R_A$$

Al lado izquierdo del diagrama corriente velocidad - marcamos en el eje de las abcisas (-) los valores para las resistencias, el procedimiento para el cálculo de los valores de la resistencia de arranque por escalones, es el siguiente:

Marcamos I_A , e igualmente el valor de R_M , que este último será constante.

Con el valor de I_A , calculamos la resistencia correspondiente para este valor de la corriente de arranque, que será:

$$R_1 = \frac{U}{I_A}$$

Marcamos este valor en el diagrama.

Se traza la curva correspondiente para este valor de resistencia.

Luego se trazan curvas características para valores de resistencias intermedias entre la característica nominal y la característica para la resistencia de arranque. O sea que en este caso se está determinando el número de escalones que se desea para el arrancador. Lo que nos interesa es buscar el valor de I_1 para el cual se cortocircuitará la resistencia de cada escalón para volver a I_A , hasta llegar a la intersección de este valor con la característica natural.

Con el valor de I_A , vemos a qué velocidad corresponde en la curva de característica natural y este valor lo proyectamos hasta el punto de resistencia constante, unimos este punto con la R_1 calculada y obtendremos la diagonal a-g.

Nos imponemos valores de I_1 por tanteo

$$I_1 = \text{impuesta}$$

y obtendremos diferentes valores de R_2

$$R_2 = \frac{U}{I_1}$$

El valor que corresponda a I_1 , será aquel cuando al cortocircuitar las resistencias en los diversos escalones impuestos y la diagonal correspondiente a R_2 con la velocidad de I_1 en la curva de característica nominal no tenga ninguna diferencia al trazar las líneas ab, bc, cd, de, ef y fg, o sea que esta última debe coincidir exactamente en el punto g, anteriormente marcado.

La representación de lo indicado tenemos en el siguiente diagrama. Fig 50

En esta forma se puede calcular los valores de la re

$$\frac{U}{I_1} = \frac{220}{172} = 1,28 \Omega, \frac{U}{I_2} = \frac{220}{114} = 1,93 \Omega$$

$$I_1 = 2 I_n \dots \dots I_1 = 2,86 = 172 \text{ A}$$

$$I_2 = 1,33 I_n \dots \dots I_2 = 1,33 \cdot 86 = 114 \text{ A}$$

$$\text{MOTOR } \frac{U_n}{I_n} = \frac{220}{86} = 2,56 \Omega = R_n$$

$$\gamma_m = \frac{P_n \cdot 1000}{U_n \cdot I_n} = \frac{16 \cdot 1000}{220 \cdot 86} = 0,845$$

$$R_A = 0,5 (1 - \gamma_m) R_n = 0,5 (1 - 0,845) 2,56 = 0,198 \Omega$$

$$R_E = 0,5 R_A = 0,5 \cdot 0,198 = 0,099 \Omega$$

$$R_A + R_E = 0,198 + 0,099 = 0,297 \Omega$$

$$n = \frac{U}{k e \phi} \left[1 - \frac{I (R_m + R_v)}{U} \right]$$

$$n = f(I)$$

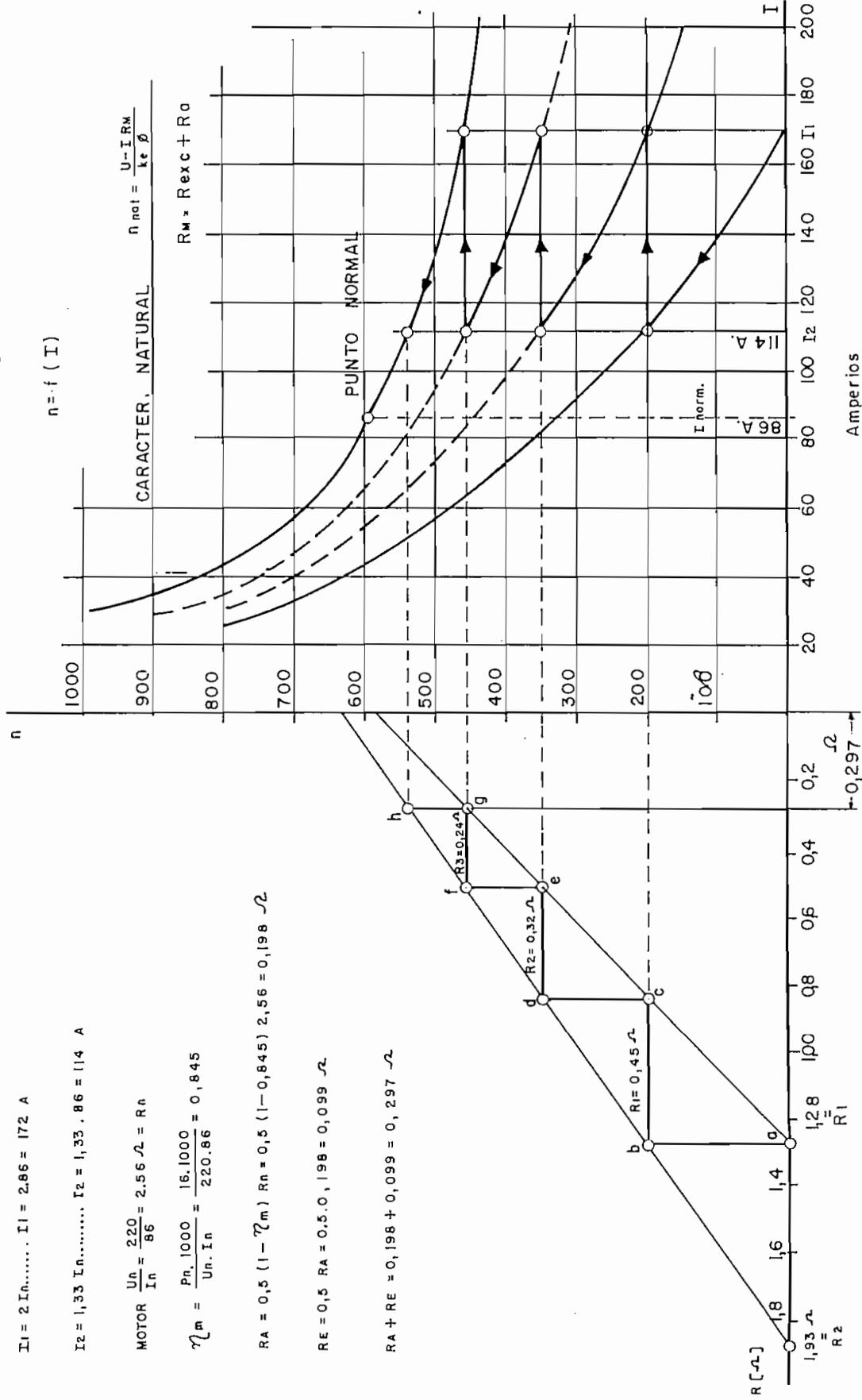


FIG. 50

sistencia para los diferentes escalones.

I-17

LA SERIE DE MÁQUINAS Y SU CARACTERÍSTICA.-

Por Serie de Máquinas se entiende una serie de máqui-
nas que son similares en su estructura mecánica y eléctrica. Esta
similitud se limita a sus partes elementales y su relación, en cam-
bio pueden diferir en tamaño y potencia.

La serie de máquinas contiene muchas características
que su conocimiento es de gran utilidad para cálculos prácticos.

Se pone de manifiesto que constantes eléctricas y me-
cánicas de máquinas singulares, se varían según ciertas leyes en -
relación con su potencia, de modo que se puede estimar estas magni-
tudes para una serie entera, si se conoce estos datos de una sola
máquina de la serie.

Estas leyes son más exactas cuando la serie de máqui-
nas no es muy grande; ya que, en series largas se manifiestan dis-
crepancias en los fines de la serie, causados por características
individuales de máquinas grandes y pequeñas.

Existe buena concordancia si la potencia tiene la re-
lación aproximada de 1:25. Esta zona abarca las potencias más usa-
das de 2 a 50 Kw.

Se supone una constancia de la inducción magnética y
densidad de corriente y que la sección total de los conductores -
crece en forma cuadrática en relación con las dimensiones lineales
de la máquina; así aumenta el flujo magnético y la tensión también
en forma cuadrática.

La potencia de la máquina es proporcional al producto de la tensión y al flujo magnético y consecuentemente aumenta la potencia con el exponente 4 referido a las dimensiones lineales de la máquina.

$$\text{Potencia} \sim L^4$$

Siendo L una magnitud lineal.

Dos máquinas de la misma serie tienen:

$$P_1 \dots L_1$$

$$P_2 \dots L_2$$

Ambas son máquinas de la misma serie entonces se obtiene la relación:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{L_1^4}{L_2^4} \qquad \frac{P_1}{P_2} = \frac{L_1^4}{L_2^4}$$

También se puede decir que:

;

$$L \sim \sqrt[4]{P}$$

Lo que indica que las dimensiones lineales de la máquina son proporcionales a la raíz cuarta de la potencia.

Si se duplica la potencia de la máquina aumentan las dimensiones lineales en la siguiente forma:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{L_1^4}{L_2^4}$$

Siendo $P_2 = 2 P_1$, tenemos:

$$\frac{P_1}{2P_1} = \frac{L_1^4}{L_2^4} \qquad \frac{L_1^4}{L_2^4} = \frac{1}{2}$$

$$2 L_1^4 = L_2^4 \qquad L_2 = L_1 \sqrt[4]{2}$$

$$L_2 = 1,19 L_1$$

Por otra parte el peso de la máquina (G) crece con la tercera potencia de las dimensiones lineales de la máquina.

$$G \sim L^3 \text{ y siendo}$$

$$L \sim N^{1/4}$$

$$G \sim N^{3/4} \sim \sqrt[4]{N^3}$$

Igualmente duplicando la potencia el peso aumenta en la siguiente forma:

$$G_1 \sim \sqrt[4]{N_1^3}$$

$$G_2 \sim \sqrt[4]{(2 N_1)^3}, \text{ de donde}$$

$$\frac{G_1}{G_2} = \sqrt[4]{\frac{N_1^3}{8N_1^3}} = \sqrt[4]{\frac{1}{8}} = \frac{1}{1,68}$$

$$G_2 = 1,68 G_1$$

El peso por unidad de potencia (g) decrece

$$\frac{G}{N} = g \sim \sqrt[4]{\frac{N^3}{N^4}} \quad g \sim \frac{1}{\sqrt[4]{N}}$$

y duplicando la potencia

$$g_1 \sim \frac{1}{\sqrt[4]{N_1}}$$

$$g_2 \sim \frac{1}{\sqrt[4]{2N_1}}$$

$$\frac{g_1}{g_2} = \frac{1/\sqrt[4]{N_1}}{1/\sqrt[4]{2N_1}} = \frac{\sqrt[4]{2N_1}}{\sqrt[4]{N_1}} = \sqrt[4]{2} = 1,19$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_1}{1,19} = 0,84 \varepsilon_1$$

Con suficiente exactitud puede aceptarse, que el pre
cio de la máquina es proporcional al peso.

$$\text{Precio} \sim G \sim N^{3/4}$$

Las pérdidas de la máquina son proporcionales al cu
adrado de la densidad, a la inducción y al peso del co
bre y del hie
rro.

Con una densidad e inducción constantes, las pé
rdi -
das de la máquina son proporcionales al peso de la misma

$$Q \sim \sqrt[4]{N^3}$$

y reducido a la unidad de potencia:

$$\frac{Q}{N} = q \sim \frac{\sqrt[4]{N^3}}{\sqrt[4]{N^4}} \sim \frac{1}{\sqrt[4]{N}}$$

Esta relación rige para las pérdidas totales y tanto
para las pérdidas de cobre y hierro por separado.

Resulta que el rendimiento de las máquinas grandes -
es mejor que el de las pequeñas, esta consideración entra también
en las nomas.

Las máquinas más grandes son relacionadas a la uni -
dad de potencia más pequeña; y son más baratas y tienen mejor ren -
dimiento.

En la relación de las pérdidas, varía también la pér
dida relativa de tensión y el deslizamiento.

$$\Delta U \sim \frac{1}{\sqrt[4]{N}}$$

$$\Delta s \sim \frac{1}{\sqrt{N}}$$

Siguiendo la serie de máquinas en ambas direcciones se presentan discrepancias. En máquinas pequeñas se manifiestan dificultades a causa de la pérdida de tensión y de la corriente en vacío. Ambas magnitudes se aumentan simultáneamente y deben ser equilibradas por un aumento de las dimensiones. Las dimensiones de máquinas pequeñas no disminuyen según la ley anterior.

En máquinas mayores aparecen dificultades por el calentamiento.

Mientras las pérdidas en la máquina son proporcionales al peso:

$$G = \sqrt[4]{N^3}, \text{ la superficie para la evacuación de calor:}$$

$$S \sim L^2 \quad v \sim N^{1/2} \quad \delta:$$

$$Q \text{ pérd.} \sim \sqrt[4]{N^3} = N^{3/4} = N^{0,75}$$

$$\text{Superf.} \sim N^{1/2} = N^{0,5}$$

Se observa que las pérdidas crecen más que la superficie radiante. El equilibrio entre calor producido y superficie radiada está alterado y puede ser compensado por aceptar mayor temperatura o mayor ventilación.

Una comparación de todos los valores hecho en algunos casos anteriormente da los siguientes valores, todas reducidas a la potencia:

Proporcionalidad entre Potencia y las distintas magnitudes y dimensiones de una serie de máquinas:

Dimensiones	L	$N^{1/4}$
Peso	G	$N^{3/4}$
Peso por unidad	$\epsilon = \frac{G}{N}$	$N^{-1/4}$
Precio	P	$N^{3/4}$
Precio específico	$p = \frac{P}{N}$	$N^{-1/4}$
Pérdidas	Q	$N^{3/4}$
Pérdidas relativas	$q = \frac{Q}{N}$	$N^{-1/4}$
Inercia GD^2	GD^2	$N^{5/4}$
Inercia relativa	$\frac{GD^2}{N}$	$N^{1/4}$
Tiempo de arranque	T	$N^{1/4}$
Aumento temperatura durante el arranque del arrollamiento	$\Delta t_{ar} \sim \frac{GD^2}{G}$	$N^{1/2}$
Deslizamiento	S	$N^{-1/4}$
Corriente en vacío relativo	$\frac{S_0}{S_N}$	$N^{-1/4}$
Δi_{motor} cerrado	i_r	$N^{1/4}$
Δi_{motor} ventilado	i_r	$N^{1/8}$
Potencia para ventilación	N_v	$N^{5/4}$
Velocidad del aire	v	$N^{1/4}$
Cantidad de aire	Q_{aire}	$N^{3/4}$
Presión de aire	p	$N^{1/2}$

I-18

Determinación de GD^2 de un Motor.-

En los períodos transitorios (aceleración y deceleración) de un accionamiento eléctrico, este valor es de gran importancia.

Este valor (Kgm^2) representa la inercia ($Kgm \cdot seg^2$) del rotor y también la inercia de todas las partes giratorias del accionamiento.

En las listas de todos los motores siempre aparece este valor, bajo el nombre de Momento de Impulsión.

Se determina el Momento de Impulsión de la siguiente forma:

La máquina llega a una velocidad de 10 á 20% mayor de la normal sin carga y luego se la desconecta y se deja la máquina parar, se puede obtener la curva de $n = f(t)$.

De la curva se puede determinar la subtangente T_o para el punto $n = n_o$.

Se mide la potencia en vacío a n_o y se obtiene P_o . Esta potencia sirve únicamente, para cubrir todas las pérdidas, que en el período de deceleración actúan como momento frenante.

Mediante la ecuación de un accionamiento eléctrico se obtiene:

$$GD^2 = 365 \times 10^3 \cdot \frac{T_o \cdot P_o}{n_o^2} \text{ Kgm}^2$$

Se conoce que la Ecuación Fundamental de un Accionamiento Eléctrico:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M_{\text{motor}} - M_{\text{frenante}}}{(H)}$$

Quando el motor está desconectado $M_{motor} = 0$

$$\frac{d\omega}{dt} = - \frac{M_{frenante}}{J} \quad (\text{deceleración})$$

$$M_{frenante} \text{ en este caso} = \frac{P_o}{\omega};$$

$$P_o = M \cdot \omega$$

I-19

La Regulación de la Velocidad.-

Consideraremos los siguientes casos:

- a) Motor de Corriente Continua en derivación.
- b) Motor Serie de Corriente Continua.
- c) Motor Asíncronico.

I-19-a

Motor de Corriente Continua en Derivación.-

De la característica mecánica resultan cuatro métodos de la regulación de la velocidad.

$$U = E + I_a(R_{int} + R_{ext})$$

$$E = C_e \cdot \phi \cdot n$$

$$U = C_e \cdot \phi \cdot n + I_a(R_{int} + R_{ext})$$

$$C_e \cdot \phi \cdot n = U - I_a(R_{int} + R_{ext})$$

$$n = \frac{U - I_a(R_{int} + R_{ext})}{C_e \cdot \phi}$$

Métodos:

- 1ª Mediante variación de R_{ext} ,
- 2ª Mediante variación de I rotor,
- 3ª Mediante variación del Flujo; y,
- 4ª Mediante variación de la Tensión Aplicada.

1ª Mediante variación de la R_{ext} .- (Figuras 51 y 52)

REGULACION DE LA VELOCIDAD MOTOR DE C.C. EN DERIVACION

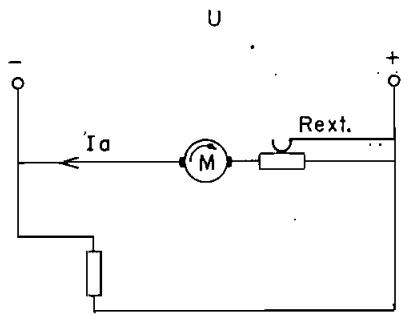


Fig. 51

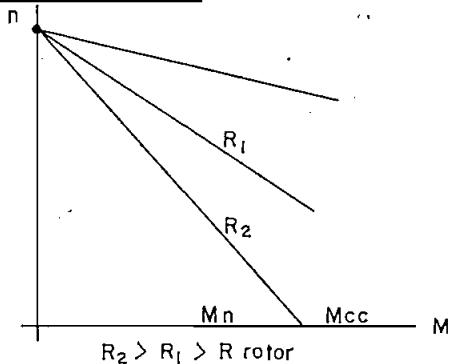


Fig. 52

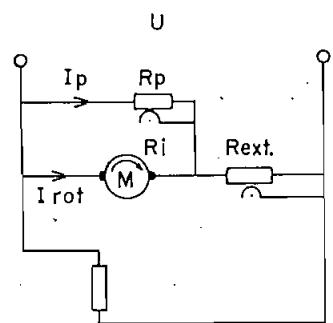


Fig. 53

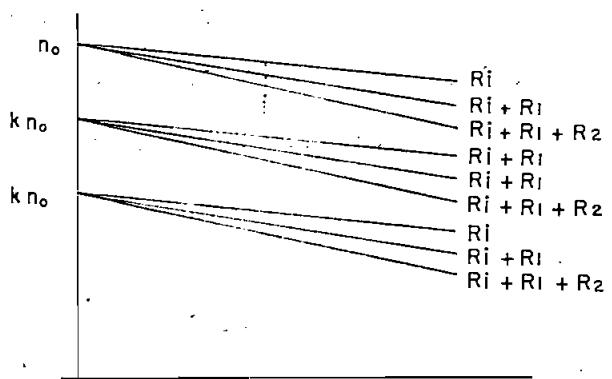


Fig. 54

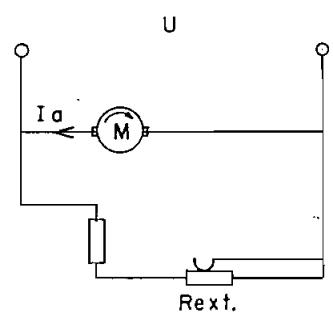


Fig. 55

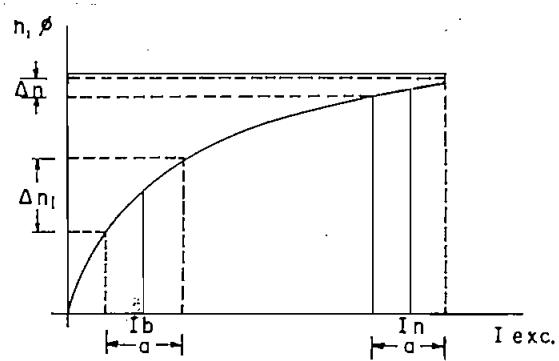


Fig. 56

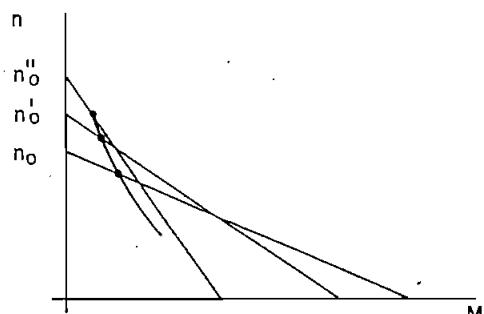


Fig. 57

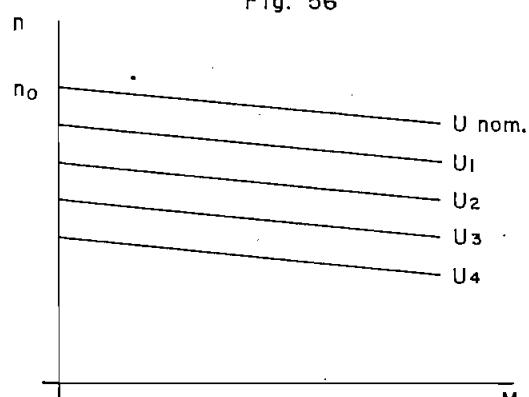


Fig. 58

En este método la regulación de la velocidad se obtiene intercalando una resistencia directamente en serie con el inducido del motor, haciendo que actúe sobre el inductor la diferencia de potencial total de la línea.

Debido a la caída de tensión que produce la resistencia, varía la f.c.e.m. E.

La resistencia debe calcularse para servicio continuo para la corriente máxima.

La variación de la velocidad es posible únicamente debajo de la normal, cuanto más baja es la velocidad tanto más inclinada es la característica.

El motor está bien aprovechado si con distintas velocidades el momento es constante e igual al nominal.

Las principales objeciones que pueden oponerse a este método son la energía excesiva que se pierde en la resistencia en serie con el inducido y que la regulación de la velocidad es muy pobre. A causa de estas pérdidas grandes esta forma de regulación no es económica y se la usa raras veces.

2ª Mediante Variación de I rotor. - (Figuras 53 y 54)

La variación de la velocidad motivada por los cambios de la carga puede reducirse por medio de una resistencia en derivación con el inducido, su finalidad es aumentar la corriente que circula a través de la resistencia en serie. Si la corriente que circula por la resistencia en derivación es alta en proporción con la del inducido, la variación de la corriente en éste afectará poco a la corriente que circula por la resistencia en serie. En

consecuencia, la tensión de la resistencia en serie se alterará mucho con los cambios de la carga, y la velocidad permanecerá más constante. Sin embargo con este método se malgasta aún más energía que en el de la resistencia serie simple.

Característica:

$$U = E + I_{rot} \cdot R_i + (I_{rot} + I_p) R_{rot}$$

$$E + I_i \cdot R_i = I_p \cdot R_p \quad I_p = \frac{E + I_i \cdot R_i}{R_p}$$

$$E = C_e \cdot \phi \cdot n; \quad U = C_e \cdot \phi \cdot n_o; \quad M = C_m \cdot \phi \cdot I_{rot}$$

$$\text{y se pone } k = \frac{R_p}{R_p + R_i}$$

$$\text{resulta: } n = k \cdot n_o - \frac{k \cdot R_{ext} + R_i}{C_e \cdot C_m \cdot \phi^2} \cdot M$$

El valor de k es siempre menor que 1 y para un valor de k tendremos una serie de curvas siempre menores que la característica natural.

La característica tiene una velocidad disminuida -- ($k n_o$). Su inclinación depende de R_p y R_{ext} . Puede obtenerse de esta manera distintas características por debajo de la característica natural.

3ª Mediante variación del Flujo. - (Figuras 55, 56 y 57).

Este método se aplica generalmente por su sencillez y la pequeñez de sus pérdidas.

Se considera la corriente del rotor constante e igual a I_a normal.

Según la característica mecánica:

$$n = \frac{U}{C_e \cdot \phi} - \frac{R_i + R_a}{C_e \cdot C_m \cdot \phi^2} \cdot M$$

Con este método si aumenta el flujo disminuye la velocidad y si disminuye el flujo aumenta la velocidad, por cuanto el flujo es inversamente proporcional a la velocidad.

El Momento $M = C_m \phi I_a$, por lo tanto es también inversamente proporcional a la velocidad, desciende en forma hiperbólica con la velocidad.

La potencia como producto del Momento por la Velocidad, queda constante.

$$N = \frac{M \cdot n}{975}$$

Los métodos normales permiten una variación del 20% en más o en menos como máximo que es muy poca variación.

Existen motores de construcción especial (motores regulables) permiten una variación en relación 1:2 o sea 200% y aún 3 á 1 o sea 300% en más o en menos, naturalmente son más costosos.

Los motores comunes trabajan en la región de saturación con un margen a de variación de la corriente con lo que se consigue un pequeño margen de variación de flujo ϕ de la velocidad Δ_n .

Para un motor que trabaje en la zona de la curva con el mismo margen a de variación de la I_{exc} . consigue una variación mayor del flujo y de la velocidad $\Delta_{n'}$.

Se debe considerar que la velocidad en vacío, con debilitamiento de la excitación aumenta en comparación con la característica natural y el momento disminuye proporcionalmente con el flujo.

4^a Mediante variación de la Tensión Aplicada. - (Figura 58)

Se exige una variación de la tensión aplicable en forma continua. Las características son paralelas a la natural y están siempre debajo de la característica natural. Su aplicación es el Sistema Convertidor Ward Leonard.

En este sistema es fácil invertir el sentido de rotación. En este sistema además del motor accionador se necesita un equipo motor generador, y el costo de la instalación del equipo es por consiguiente alto.

I-19-b

Motor Serie de Corriente Continua.-

La regulación de la velocidad se obtiene en la misma forma como en el motor en derivación, según la fórmula de la característica:

$$n = \frac{U - I_{\text{rotor}}(R_i + R_{\text{exc}} + R_{\text{ext}})}{C_e \cdot \phi}$$
$$M = C_m \cdot \phi \cdot I_{\text{rot}} = C_m \cdot C \cdot I_{\text{rot}}^2$$
$$n = \frac{U}{C \cdot C_e \sqrt{\frac{M}{C \cdot C_m}}} = \frac{1}{C \cdot C_{\text{ext}}} (R_i + R_{\text{exc}} + R_{\text{ext}})$$

Métodos:

- 1º Por una resistencia variable.
- 2º Mediante una resistencia paralela al rotor.
- 3º Por debilitamiento del campo.
- 4º Por variación de la tensión aplicada.

1º Por una resistencia variable.- (Figuras 59 y 60)

La velocidad del motor serie puede ser reducida por debajo de la nominal por medio de una resistencia en serie en el -

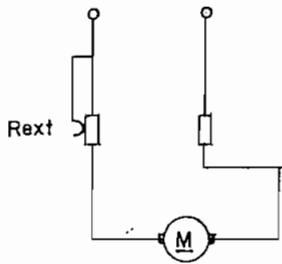


Fig. 59

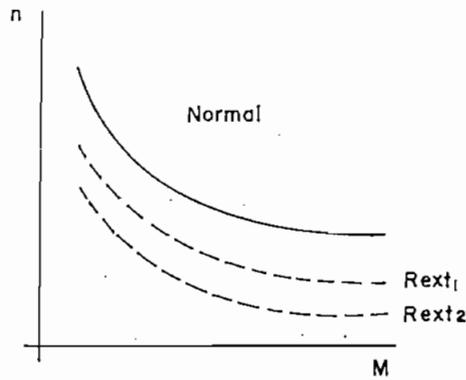


Fig. 60

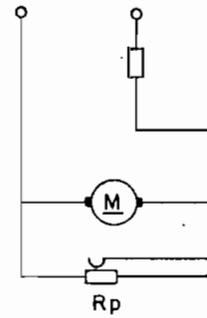


Fig. 61

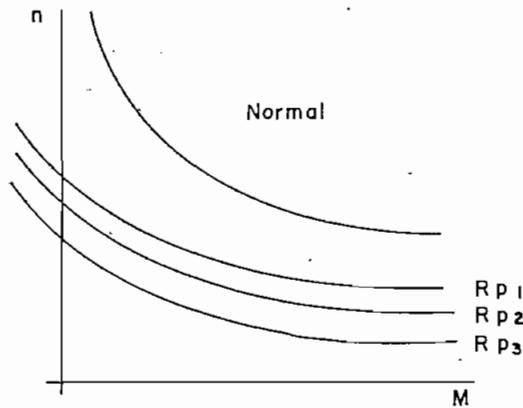


Fig. 62

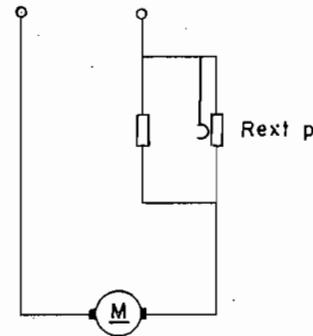


Fig. 63

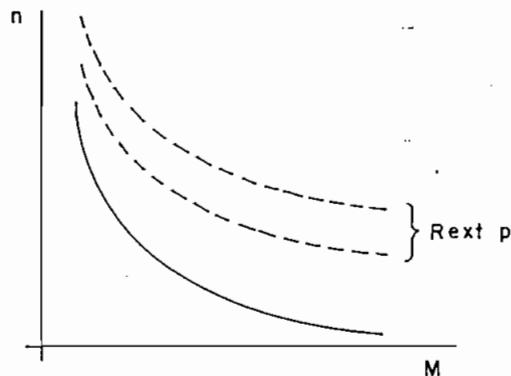
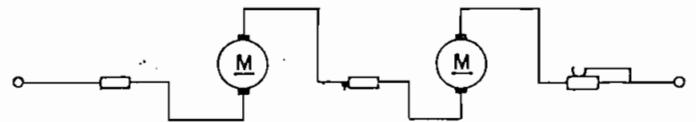


Fig. 64



EN SERIE
Fig. 65

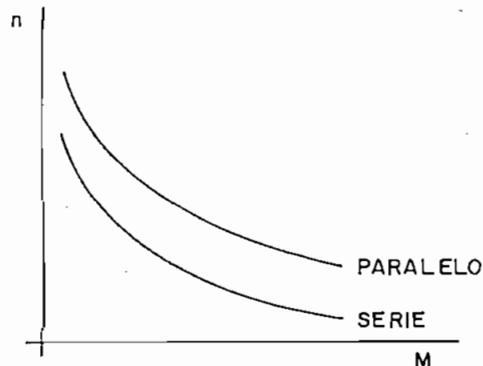
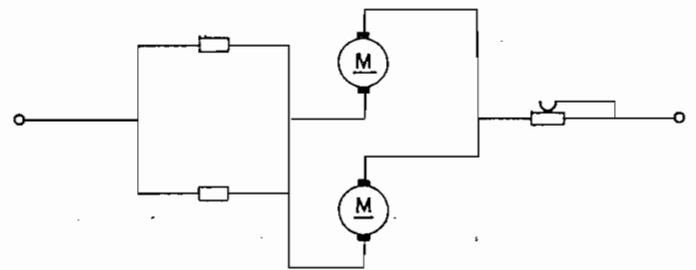


Fig. 67



EN PARALELO
Fig. 66

REGULACION DE LA VELOCIDAD
MOTOR DE C.C. EN SERIE

circuito rotor.

2ª Mediante una resistencia paralela al rotor.- (Figuras 61 y 62)

En este caso la corriente excitante es superior a la corriente del rotor. La característica mecánica corta el eje n y aparece una velocidad ideal. El motor se asimila al motor en derivación.

3ª Por debilitamiento del campo.- (Figuras 63 y 64)

Con este método se obtienen velocidades por encima de la nominal.

4ª Por variación de la tensión aplicada.- (Figuras 65, 66 y 67)

Tiene su aplicación en conexión de dos motores en serie y en paralelo.

El accionamiento mediante dos motores se aplica para aumentar la seguridad y para disminuir el GD^2 .

Se usa este método en tranvías, grúas pesadas y elevadores pesados.

I-19-c

Motor Asíncrono.-

Las fórmulas principales del motor asíncrono son:

$$n = n_o(1 - S) = \frac{60 \cdot f}{p}(1 - S) \quad \frac{n}{\text{min}^{-1}}, \quad \frac{f}{\text{Hz}}$$

$$S = \frac{n_o - n}{n_o}$$

$$M = \frac{k \cdot E_2^2 \cdot R_2 \cdot S}{R_2^2 + S^2 \cdot X_2^2}$$

k = Constante constructiva.

E_2 = Tensión inducida en el rotor frenado.

R_2 = Resistencia de 1 fase.

X_2 = Reactancia de 1 fase.

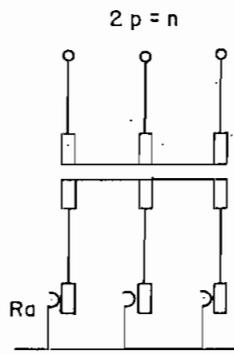


Fig. 67

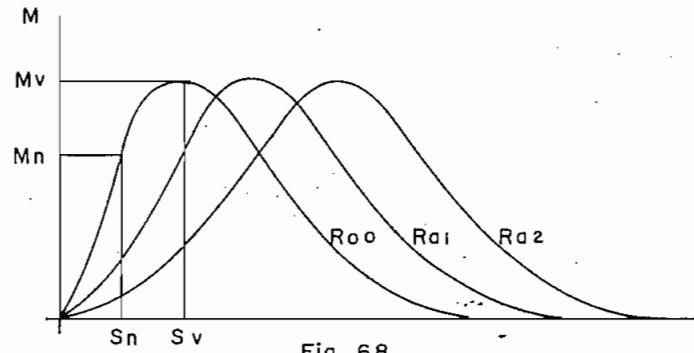


Fig. 68

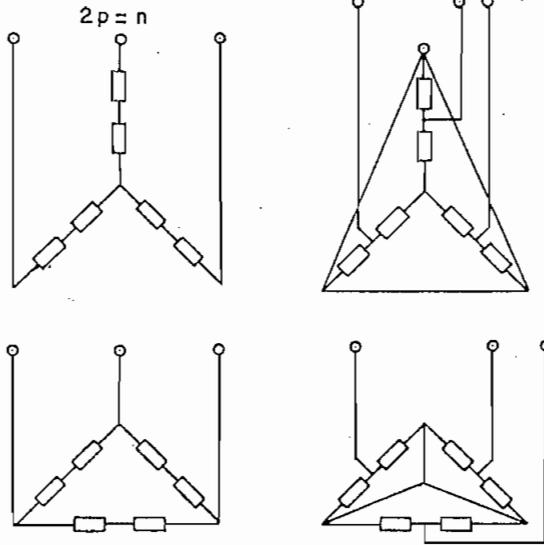


Fig. 69

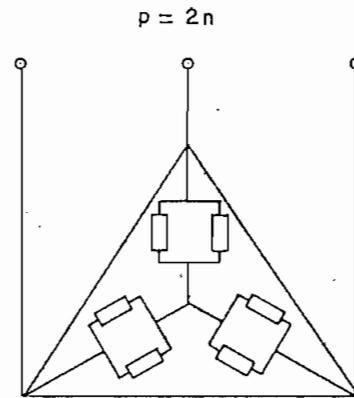


Fig. 70

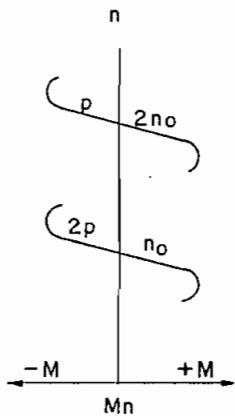


Fig. 71

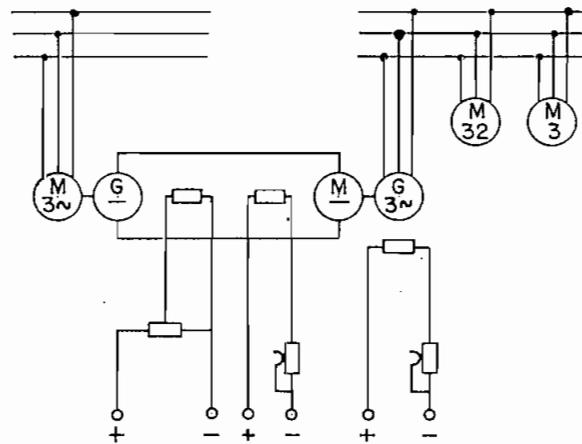


Fig. 72

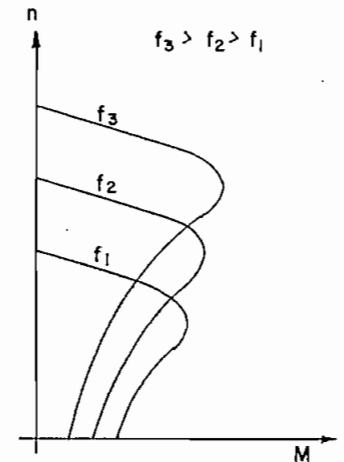


Fig. 73

REGULACION DE LA VELOCIDAD
MOTOR ASINCRONICO

$$S_{\text{vuelco}} = + \frac{R_2}{X_2}$$

$$M_{\text{vuelco}} = + \frac{k \cdot E_2^2}{2X_2}$$

$$M = \frac{2 M_{\text{vuelco}}}{\frac{S_v}{S} + \frac{S}{S_v}} ; \quad M_{\text{ar}} = \frac{2 M_v \cdot S_v}{S_v^2 + 1}$$

De ésta resultan tres métodos usuales:

- 1ª Variación de la velocidad por variación del deslizamiento S mediante una resistencia en el circuito rotor.
- 2ª Por variación del número de polos.
- 3ª Por variación de la frecuencia.

1ª Variación de la velocidad por variación del deslizamiento S.-

(Figuras 67 y 68)

El deslizamiento se puede hacer variar introduciendo resistencias en el circuito del rotor.

Un defecto significativo es que las pérdidas son --- aproximadamente iguales al deslizamiento S.

Sus inconvenientes son que reduce el rendimiento y - la regulación de la velocidad es deficiente.

2ª Por variación del número de polos.-(Figuras 69, 70 y 71)

Por medio de un interruptor conveniente, las conexio nes del estator se pueden variar de manera que se modifique el número de polos, con lo que se varía la velocidad de sincronismo del motor y por lo tanto la velocidad del rotor.

Este método es el más usado.

Se cambia el número de polos por cambios en las conexiones: serie, paralelo.

3^a Por variación de la frecuencia.- (Figuras 72 y 73)

Este método exige un convertidor de frecuencias que alimenta uno o más motores.

I-20

El Frenado.-

El estudio se limita a los motores de corriente continua y del motor asincrónico.

En muchos procesos tecnológicos, se exige una parada rápida o un cambio de sentido de rotación.

Para este fin se hace necesario el uso del frenado eléctrico.

Hay tres categorías de Frenado Eléctrico:

- 1^a El Frenado generatorio con suministro de la energía a la red.
- 2^a El Frenado dinámico o frenado en c.c.
- 3^a El Frenado con contracorriente o frenado en contraconexión.

Consideraremos los siguientes casos:

- a) Motor de corriente continua en derivación.
- b) Motor serie de corriente continua.
- c) Motor Asincrónico.

I-20-a

Motor de Corriente Continua en Derivación.-

Son usuales 3 Métodos:

1º Frenado Generatorio.

2º Frenado Dinámico o en Cortocircuito

3º Frenado con Contracorriente o Frenado en
Contraconexión.

1º Frenado Generatorio.- (Figuras 74 y 75)

Es únicamente posible, si la velocidad sobrepasa la velocidad en vacío (n_0). La tensión inducida en el motor debe ser mayor que la tensión de la red; en este caso el motor puede trabajar como dinamo, a lo cual la corriente y el momento invierten el sentido. La máquina operadora impulsa al motor.

La característica mecánica, toma ahora la forma:

$$n = \frac{U}{C_e \phi} + \frac{R_1 + R_{ext}}{C_e \cdot C_m \cdot \phi^2} \cdot M_{frenado}$$

La nueva característica queda representada por un haz de rectas inclinadas saliendo del punto n_0 en el segundo cuadrante como prolongación de la característica del motor como motor.

Para un Momento frenante dado la velocidad es tanto más alta cuanto más es la resistencia.

Se aplica esta clase de frenado en máquinas elevadoras en la bajada de cargas.

La carga impulsa al motor y el motor transforma la energía mecánica en eléctrica la cual será suministrada a los consumidores.

2º El Frenado Dinámico o en Corto Circuito.- (Figura 76)

El inducido será desconectado de la red y conectado

a una resistencia, pero la excitación queda conectada con la red. Siendo el sentido de rotación el mismo, la tensión inducida queda la misma como en servicio como motor. Pero por falta de la tensión de la red, cambian la corriente y el Momento el sentido.

$$n = \frac{R_{int} + R_{ext}}{C_e \cdot C_m \cdot \phi^2} \cdot M_{frenante}$$

Esta fórmula será representada por un haz de rectas saliendo del centro del sistema de coordenadas. Para un Momento -- frenante la velocidad crece con la resistencia en el circuito del inducido.

3* El Frenado con Contracorriente o Frenado en Contraconexión.-

(Figura 77).

En este caso el rotor gira por la influencia del momento resistente o del momento dinámico en sentido opuesto a su conexión. Esta forma del frenado existe en máquinas elevadoras cuando el motor está conectado para "elevar" la carga y la carga baja al motor. La más frecuente aplicación está para parar un motor rápidamente. En este caso se invierte la dirección en el rotor. Por este cambio de la polaridad de la armadura las tensiones en la armadura y de la red tienen el mismo sentido, la corriente ha cambiado la dirección y el momento actúa contra la rotación.

Las características están en el segundo y tercer cuadrantes.

$$n = - \frac{U}{C_e} + \frac{R_i + R_a}{C_e \cdot C_m \cdot \phi^2} \cdot M_f$$

I-20-b

Motor Serie.-

$$U = E + I_a (R_{int} + R_{ext} + R_{adicional})$$

siendo $E = C_e \cdot n \cdot \phi$ resulta la característica mecánica:

$$n = \frac{U - I_{ind} (R_{ind} + R_{exc} + R_{ext})}{C_e \cdot \phi}$$

ϕ depende de la característica magnética de la máquina que es aproximadamente:

$$\phi = \frac{\alpha \cdot I_a}{\beta + I_a} \quad \text{pero debe averiguarse mediante ensayo.}$$

Para obtener una fórmula se desprecia la saturación del circuito magnético y se considera únicamente la parte rectilínea de la curva de imantación y de esta manera:

$$\phi = C \cdot I_{ind} \quad \text{y} \quad M = C \cdot I \cdot \phi = C \cdot C_m \cdot I_{ind}^2$$

De esto resulta la ecuación de la característica de la máquina:

$$n = \frac{U}{C \cdot C_e \sqrt{\frac{M}{C \cdot C_m}}} - \frac{1}{C \cdot C_e} (R_{int} + R_{exc} + R_{ext})$$

1º Frenado Generatorio.-

El frenado generatorio con suministro de la energía a la red es imposible, porque la tensión en el rotor nunca puede superar la tensión de la red.

2º Frenado Dinámico o en Corto Circuito.-

A fin de realizar el frenado dinámico o reostático se debe separar el motor de la red, invertir las conexiones de las escobillas del inducido con el inductor y cerrar la máquina a través de la resistencia exterior, esto cuando no hay que invertir el

sentido de giro al frenar; en caso contrario hay que invertir las conexiones entre inducido e inductor.

3^a El Frenado con Contracorriente o Frenado en Contraconexión.-

(Figura 78)

Aplicación en grúas cuando el motor será impulsado por la carga contra su sentido de rotación. El momento de carga supera el momento motriz en Corriente Continua.

La característica se encuentra en el cuarto cuadrante.

I-20-c

Motor Asíncronico.-

Son usuales tres métodos:

- 1^a Frenado generatórico con suministro de energía a la red.
- 2^a El frenado con contracorriente o frenado por contraconexión.
- 3^a El frenado dinámico o frenado con corriente directa.

1^a Frenado Generatorio.- (Figuras 77-a y 78-a)

El frenado generatorio es posible únicamente en velocidades sobre el sincronismo:

$$S = \frac{n_0 - n}{n} \quad M = \frac{2M_v}{\frac{S_v}{S} + \frac{S}{S_v}}, \quad S_v = \text{deslizamiento de vuelco.}$$

Con esto la máquina debe ser impulsada y trabaja paralelamente a la red; la carga desexcitada para la excitación percibe de la red. Las características están situadas en el segundo cuadrante.

te. El momento de vuelco generalmente es mayor que en el servicio motriz.

2º Frenado en Contracorriente.-

Los puntos de trabajo están en el cuarto o en el segundo cuadrante.

Consideramos una grúa: Si en la bajada el momento de carga supera al momento de arranque entonces habrá una rotación en sentido inverso y el motor trabaja en el cuarto cuadrante. Para la limitación de la corriente debe intercalarse una resistencia en el circuito del Rotor.

3º Frenado Dinámico.- (Figuras 79 y 80)

Será desconectado el estator de la red y conectado con una tensión directa. El estator crea un campo estático que exita en el rotor una tensión alterna. La corriente debiendo a esta tensión crea a su vez un campo. El campo resultante y la corriente del rotor crean un momento frenante.

PARTE II

CALCULO DE UN ELEVADOR DE MINAS PARA LA FABRICA DE CEMENTO "GUAPAN"

P A R T E II

CALCULO DE UN ELEVADOR DE MINAS PARA LA FABRICA DE CEMENTO "GUAPAN"

II-1

Cantidad de Carbón a Transportarse.-

Para determinar la cantidad de carbón que debe ser transportada por elevador, me referiré a la cantidad de este material que se necesitará en:

- a) Fabrica de Cemento Guapán
- b) Para el Proyecto de la Central Térmica de Biblián.

II-1-a

Gasto de Carbón para la Fábrica de Cemento.-

El control estricto que requiere la fabricación del cemento hace hoy día necesaria una serie de operaciones separadas, si bien casi todas pueden dividirse en tres grupos fundamentales:

- 1) Molienda y mezcla,
- 2) Calcinación; y,
- 3) Molienda y mezcla finales.

Requiriéndose para el proceso de fabricación de las materias primas tales como: caliza, marga, creta, cal de prado, - (cal apagada espontáneamente) arcilla, bauxita, etc. con adición de otras materias (escorias de altos hornos, trass, puzolana, yeso, etc.), las que serían procesadas en seco, o por vía húmeda, lo que viene determinado por las circunstancias, la índole de las materias primas y la clase de hornos.

Para la fabricación en seco se emplean hornos rotati

vos y hornos de cuba automáticos, mientras que en la fabricación por vía húmeda no admite sino el uso de hornos rotatorios. Estos últimos, llamados también hornos de cocción son de palastro, ligeramente inclinados con respecto a la horizontal (de 4 á 6%) y revestidos de material refractario.

Los procesos tecnológicos que se realizan en el horno rotatorio son:

El secamiento de la materia prima.

Calcinación.

Vitrificación, y

Enfriamiento.

Junto a la boca empieza la zona de desecación de la carga donde ésta se calienta hasta aproximadamente 800 (°C). Sigue la zona de calcinación, donde se disocia el carbonato, perdiendo su anhídrido carbónico y que concluye en un punto que la temperatura alcanza aproximadamente a 1.100 (°C). A ella le sigue la zona de vitrificación que concluye a aproximadamente a los 1.400 (°C) de temperatura. Y por último al extremo del horno está constituido por la zona de enfriamiento donde la temperatura de la clinca del cemento baja a aproximadamente 900 ó 1.100 (°C). De allí pasa el cemento al enfriador (recuperador) donde se aprovecha el calor que aún contiene para calentar el aire del hogar. En la fabricación por vía húmeda la clinca sale del recuperador a aproximadamente 500 (°C); en la fabricación por vía seca sale a 700 (°C).

Para calentar al horno, se proyecta en él una mezcla de aire con carbón pulverizado, gas natural o aceite combustible.

Para la realización de estos procesos se requiere - cierta cantidad de calor que está relacionada con las condiciones de funcionamiento del horno, se dá su consumo en kilocalorías por tonelada de materia elaborada; en nuestro caso, este consumo estaría relacionando las kilocalorías necesarias por tonelada de clínca que es el material intermedio en la fabricación del cemento.

Debemos distinguir que la cantidad de calor necesaria viene determinada por el consumo en vacío (número de calorías indispensables para mantener el horno a la temperatura de trabajo, cuando no contiene carga útil) y del consumo útil invertido en calentar o transformar la materia elaborada.

En otras palabras:

Calorías teóricas son las que resultan de la suma -- ción de los procesos endo y exo-térmicos que dependen de la composición química y cristalina de la materia elaborada.

Calorías prácticas, dependientes de la construcción de los hornos.

Los valores prácticos de ensayo oscilan entre 985 y 2.100 Kcal/1 Kg Klinker según la construcción de los hornos.

No se han considerado los hornos que trabajan con - oxígeno puro, hornos con recuperación de calor perdido y hornos - eléctricos.

Hay que anotar, que en las últimas cifras está inclu - do un rendimiento que varía entre 20 y 55%.

Se ha acostumbrado en el control diario y anual de - una Fábrica de Cemento indicar el consumo de carbón con relación -

a la cantidad de klinker producido; en este caso con el Horno de la Fábrica de Guapán, el carbón usado y de acuerdo a la información obtenida, para producir 200 toneladas diarias de klinker se requiere de un porcentaje de carbón de entre 27 y 35%.

Si se consideran que se trabajarán 300 días durante el año, se tiene:

$$200 \times 300 = 60.000 \text{ Toneladas de Klinker.}$$

El gasto de carbón sería anualmente:

$$60.000 \times \frac{35}{100} = 21.000 \text{ Toneladas de carbón.}$$

De esta cantidad anual resulta un consumo de:

$$\frac{21.000}{300} = 70 \text{ Ton/día}$$

Para tener cierta seguridad, se fija un consumo de carbón de 80 Ton/día, cantidad que se necesitará para la fábrica de cemento.

II-1-b

Gasto de Carbón para la Planta Térmica de Biblián.-

Las minas de Carbón de Biblián deberán suministrar también el carbón necesario para la planta térmica, cuya capacidad se estima en la primera etapa en 20.000 KW y en un aumento futuro de 10.000 KW. Por lo que consideraré un total de 30.000 KW a instalarse.

Según datos se estima hoy día que las kilocalorías que se requieren en una planta térmica son:

3.600 Kilocalorías para la generación de 1 KWh.

Cifra que considera:

2.580 Kcal. en la turbina.

2.960 Kcal. en la caldera. caldera 87 - 91%.

3.110 Kcal. con el consumo propio 5 - 6%.

3.600 Kcal. Recargas para cargas parciales y el arranque y frenado.

Consideramos la calidad regular del carbón de un valor de 4.200 - 4.700 Kcal/Kg.

Consumo en Calorías para la Primera Etapa.

20.000 KW x 21 horas x 3.600 Kcal/KWH = 17.2×10^8 Kcal/día.

Y si consideramos la Capacidad Calorífica inferior - del Carbón a quemar de 4.200 Kcal/Kg.

resulta un gasto diario de carbón de:

$$\frac{17.2 \times 10^8 \text{ Kcal/día}}{4.2 \times 10^3 \text{ Kcal/Kg}} = 4.1 \times 10^5 \text{ Kg/día.}$$

410.000 Kg/día = 410 Ton/día

y con un Factor de Carga de 0,5

cd. 200 Ton/día.

Observación.-

En la Tesis presentada por el Ing. Gonzalo Guerrero aparece un gasto de 84 Ton/día.

En la página 77 de la misma está escrito:

Como se verá posteriormente, la Central de la Primera Etapa necesitará 7.2 Ton/h (3,6 T/h cada unidad, con un factor de carga de 0,5 de donde $7,2 \times 24 \times 0,5 = 84$ Ton/día.

He calculado 200 Ton/día y me refiero a los datos - del libro alemán:

E. V. RZIHA; STARKSTROMTECHNIK, tomo I Pág. 633.

En el cuadro de la misma página nos señala que el -
gasto de calor para una planta muy parecida la cifra de 3.600 $\frac{\text{Kcal}}{\text{KWH}}$

Quedando en esta cifra consideradas todas las pérdi-
das como en la turbina, en la caldera, el consumo propio (5 - 6%)
y suplementos para cargas parciales, poner en marcha y parar.

Puede ser que en los primeros años se gasten 84 $\frac{\text{Ton}}{\text{día}}$,
pero en nuestro caso me referiré a la cantidad calculada anterior-
mente y que es de 200 Ton/día.

Total 280 Ton/día.

Y si se fija como cantidad de carbón a suministrarse
diariamente

F. l. 80 Ton/día.

P. T. 200 Ton/día.

Esta cantidad será obtenida en un turno de 8 horas y
en 6 días por semana.

Resulta una cantidad diaria de:

$$\frac{280 \times 7}{6} = 330 \text{ Ton/día}$$

y para una hora a transportarse:

$$\frac{330}{8} = 41 \text{ Ton/h.}$$

Este valor sirve para nuestro cálculo.

II-2

Descripción del Proyecto.-

Para el caso del elevador de minas a instalarse en -
las Minas de Carbón de Biblián; en distinto a los demás en los que

generalmente se sube el material de estratos subterráneos; en nuestro caso el nivel al que se hallan situados los túneles por los que se extrae el carbón es a 170 metros encima de la planta de lavado y tenemos que bajar este carbón en un pozo vertical de 170 metros. Del pie del pozo sigue un túnel horizontal a la planta de lavado, a la planta térmica respectiva a un depósito.

El proyecto general del ascensor de mina para nuestro caso se tomará como cota 0 el nivel de la planta de lavado y provee lo siguiente:

- 1) Una estación de carga del material al lado o debajo de la boca del túnel 2 que está 30 metros más bajo del nivel del túnel 4 que se halla a 170 metros de nivel con respecto a la cota 0.
- 2) El pozo vertical de una altura de $170 - 30 = 140$ metros, altura que se toma como base en nuestro cálculo.
- 3) Unas paradas intermedias a niveles distintos según los depósitos de estratos de carbón. Cabe indicar que aún no se conoce la estratología de las vetas de carbón.
- 4) Una estación de descarga de la jaula al nivel 0.
- 5) Un tramo de túnel de 200 metros de longitud horizontal de la estación de descarga interior del pozo hasta la planta de lavado.

II-3

Elevación de Pozos.-

Los pozos son, generalmente, verticales, aunque las rampas muy inclinadas se consideran también como pozos.

Las rampas pueden tener inclinaciones comprendidas entre 3° y 45° . La clasificación de un plano muy inclinado, como rampa o como pozo, depende del sistema elevador que se adopte.

El elevador equilibrado, como su nombre indica, consiste en un juego duplicado de jaulas y vagonetas o "skips", de los cuales un juego cargado sube, mientras el vacío baja. De este modo, el motor sólo sube el peso neto de la carga, más o menos la diferencia de peso del cable correspondiente a cada jaula.

El elevador desequilibrado consta de una sola jaula con su vagoneta o un "skip", de modo que el motor debe tener suficiente potencia para subir no solamente la carga y el cable, sino también la jaula y la vagoneta o "skip".

Un elevador con contrapeso es una combinación de los dos tipos anteriores. Este elevador necesita un pozo principal para la jaula y un compartimiento más pequeño para el contrapeso; emplea el mismo tipo que un elevador desequilibrado, más un contrapeso para equilibrar el peso de la jaula y la vagoneta o el "skip" y la mitad de la carga. De esta manera, la carga del motor es prácticamente constante, tanto al subir el elevador cargado como para bajar descargado.

Los tipos "equilibrado" y "desequilibrado" son en todo semejantes a los correspondientes del pozo. No existen prácticamen

te elevadores con contrapeso.

La bajada de vagonetas descargadas, o de cargas, tanto equilibradas como desequilibradas, puede desarrollar una cierta potencia, la cual debe restituirse a la red, o absorberse en una resistencia o en un freno mecánico.

II-4

Datos Principales del Cálculo del Ascensor.-

Carga horaria 41 t

Altura 140 metros.

Las cargas se distribuyen en la forma siguiente:

a condiciones normales de extracción

Cargas equilibradas son:

jaula, vagonetas y cable.

No equilibradas:

la carga del carbón.

Se sabe que en accionamientos hay que distinguir al fin del cálculo de Momentos estáticos y Momentos dinámicos, según su estado cinemático.

Cabe anotar que en el movimiento de la carga aparecen resistencias de rozamiento en las guías de la jaula, resistencia de aire a desplazar, y resistencia causada por el enrollamiento y desenrollamiento del cable. Todas estas resistencias - difícil de calcular - aparecen en los elevadores de minas como rendimiento del pozo. Como valor promedial se toma 80% de la carga total, o sea de la suma de la carga útil, de las vagonetas, jaula y del cable.

Datos Para el Cálculo.-

Velocidad a marcha normal: $v = 4 \text{ m.seg}^{-1}$
Aceleración: $a = 0,5 \text{ m.seg}^{-2}$
Deceleración: $d = 0,4 \text{ m.seg}^{-2}$
Jaula con capacidad de 6 vagonetas 2.000 Kg.
1 vagoneta transporta 800 Kg de carbón
- vagoneta - peso propio 200 Kg
Peso total 1.000 Kg.

II-5

Cálculo del Ciclo.-

Como tenemos el rendimiento horario $F = 41.000 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$
y también la carga útil que levantamos, podemos calcular el número
de viajes que se realizan en una hora (subida y bajada).

Duración del ciclo para 41 t/h
en un viaje de 4.800 Kg. de carbón (carga útil)

$$Z = \frac{41.000}{4.800} = 8,5 \text{ ciclos aproximadamente } 9 \text{ en una hora.}$$

Se efectúan 9 ciclos por la bajada de 4.8 toneladas.

En la subida consecutiva se transportan únicamente -
las vagonetas vacías.

El ciclo tecnológico será:

Duración de un ciclo:

$$\frac{3.600''}{9} = 400 \text{ seg. Tiempo de un ciclo.}$$

Calculamos el tiempo de arranque:

tenemos $a = 0,5 \text{ m.seg}^{-2}$

y $v_n = 4 \text{ m.seg}^{-1}$

$t_{ac} = \frac{4}{0,5} = 8$ seg. tiempo de arranque
durante el cual dura el período de aceleración.

Durante este tiempo el motor debe vencer:

la jaula 2.000 Kg.

la carga 4.800 Kg.

debe acelerar el momento estático

Calculamos el tiempo de deceleración:

$$d = 0,4 \text{ m. seg}^{-2}$$

$$v_n = 4 \text{ m. seg}^{-1}$$

$t_d = \frac{4}{0,4} = 10$ seg. tiempo durante el -
cual dura el período de deceleración.

Calculamos el espacio recorrido en el período de ace
leración:

$$S_a = \frac{1}{2} a t^2 = \frac{1}{2} \times 0,5 \times 8^2 = \frac{64}{4} = 16 \text{ mts.}$$

En el período de deceleración:

$$S_d = v_n \cdot t_d - \frac{1}{2} a_{dec} \cdot t_d^2$$

$$S_d = 4 \times 10 - \frac{1}{2} \times 0,4 \times 10^2$$

$$S_d = 40 - \frac{1}{2} \times 40 = 20 \text{ mts.}$$

Calculamos el espacio a velocidad normal:

Como tenemos el espacio total = 140 mts. y los es-
pacios durante la aceleración y deceleración, entonces:

$$S_{v_n} = S_{total} - S_{ac} - S_{dec}$$

$$S_{v_n} = 140 - 16 - 20 = 140 - 36 = 104 \text{ mts.}$$

Calculamos el tiempo a velocidad normal:

$$t = \frac{S_{vn}}{v_n} = \frac{104}{4} \cdot \frac{m}{m \cdot \text{seg}^{-1}} = 26 \text{ seg.}$$

tiempo durante el cual la velocidad se mantiene constante.

Calculamos el tiempo durante el cual queda parado.

Como en un viaje se demora 400 segundos y tenemos los tiempos durante los que se realizan los procesos de aceleración marcha normal y deceleración, entonces:

$$t_{\text{parado}} = t_{\text{ciclo}} - t_{\text{ac}} - t_{\text{dec}} - t_{\text{vn}}$$

$$t_{\text{parado}} = 400 - 8 - 10 = 400 - 18 = 382$$

Por tanto resulta una pausa de 382 segundos para cargar y descargar.

Resumen de los valores obtenidos:

	m.sec ⁻²	m.sec ⁻¹	seg.	m.	nivel
Aceleración	0,5	---	8	16	+ 16
v constante	---	4,0	26	104	+ 120
Deceleración	0,4	---	10	20	+ 140

Estos datos permiten el dibujo de los diagramas del régimen de movimiento:

$$\begin{matrix} a \\ d \\ v \\ h \end{matrix} = f(t)$$

Ver Diagramas del Ciclo Fig. N° 81

II-6

Cálculo del Cable.-

Se trata de un cable de labor o de movimiento. Es un

cable redonde de seis cordones arrollados alrededor de una cínima.

$$P = S \sigma_{adm}$$

$$\sigma_{adm} = 30 \text{ Kg/mm}^2$$

$$P = 1.000 \times 6 = 6.000 \text{ Kg.}$$

$$\text{Cable: } 140 \times 2,8 \text{ Kg/m.} = 8.392 \text{ Kg.}$$

$$\text{Peso medio} = 8.392 + 8.000 = 16.392 : 2 = 8.196 \text{ Kg}$$

$$S = \frac{8.196}{30} = 273,2 \text{ mm}^2$$

Para nuestro ascensor se usa cable galvanizado.

Q para el Cable es:

$$Q = k.P$$

k = Coeficiente de Seguridad.

Para la estracción por tambor se utiliza un valor de

k = 6, cuando se transporta sólo mineral.

$$Q = 6 \times 8.196 = 49.176 \text{ Kg.}$$

Para nuestro caso se utilizará Cable de las siguientes características:

Según las Normas DIN 655

Dadas por el Manual Hutte

Table 2 Pág. 1068 Tomo II

Cable de acero 28 B 180, DIN 655

Cordones: 6

Alambres en cada cordón: 37

Número total de alambres: 222

Diámetro nominal del Cable: 28 mm.

Diámetro de los alambres: 1,3 mm.

Sección transversal de todos los alambres del cable:

294,7 mm²

Peso por metro lineal: 2,8 Kg/m.

Carga de Rotura: 53.050 Kg.

La gran rigidez obliga a calcular la fatiga suplementaria que en su material produce la flexión causada al arrollarse.

Según Bach, esta fatiga en Kg/mm², viene dada por la fórmula:

$$\sigma_b = \sim 4.000 \frac{\delta}{R}$$

Ahora bien como la fatiga a la torsión es:

$$\sigma_z = \frac{P}{A} = \frac{P}{\frac{i \delta^2 \pi}{4}}$$

y la fatiga total es:

$$K_z = \sigma_z + \sigma_b = \frac{P}{\frac{i \delta^2 \pi}{4}} + 4.000 \frac{\delta}{R}$$

donde:

δ = diámetro de un alambre

i = número de alambres

R = $\frac{D}{2}$ del tambor

Para ello escogemos el D del tambor.

El diámetro mínimo D de flexión del cable en los tambores de las máquinas de extracción no bajará de 35 veces el diámetro del cable d y debe ser, por lo menos 500 veces δ .

Para nuestro caso:

$$\delta = 1,3 \text{ mm.}$$

$$d = 28 \text{ mm.}$$

$$D > 35 d = 35 \times 28 = 980 \text{ mm.}$$

$$D > 500 \delta = 500 \times 1,3 = 650 \text{ mm.}$$

Escogemos $D = 1.000 \text{ mm.}$

Controlamos la resistencia:

$$K_z = \frac{P}{\frac{1}{4} \delta^2 \pi} + 4.000 \frac{\delta}{R} = \frac{8.196}{\frac{222 \times 1,3^2 \times 3,14}{4}} + 4000 \cdot \frac{1,3}{500}$$

$$K_z = 27,83 + 10,4 = 38,23 \text{ Kg/mm}^2.$$

Valor admisible para un cable de acero destinado a elevar cargas.

II-7

Cálculo de los Momentos.-

El ascensor no es equilibrado. Existe un solo ramal del cable. El funcionamiento es en esta forma: (se refiere al nivel bajo = 0 y el nivel alto = + 140 m.) El beneficio del carbón se realiza en el nivel + 140; se llenarán las seis vagonetas, serán empujadas a mano a la jaula y luego se baja la jaula según el régimen indicado (ver diagrama de velocidades). *Fig. 81*

En el nivel 0 será descargada la jaula; y, la jaula será cargada con seis vagonetas vacías y llevadas al nivel + 140 m.

Cada ciclo de movimiento hacia arriba y hacia abajo tiene diferentes cargas; por esta razón se estudian por separado cada uno de los dos movimientos

CARGAS

<u>Subida</u>		<u>Bajada</u>	
Carga	Kg.	Carga	Kg.
Jaula	2.000	Jaula	2.000
Vagonetas	1.200	Vagonetas	1.200

Carbón	-----	Carbón	4.800
Cable varía de	392 a 0	Cable varía de	0 a 392
Totales	3592 a 3200		8.000 a 8.392

A esta suma se agrega el rendimiento del pozo:

Las causas son: todo el rozamiento en las guías, resistencia del aire porque la jaula actúa en el pozo como un pistón (trabajo de desplazamiento), el trabajo de deformación del cable en enrollar y desenrollar el mismo y el rozamiento del mismo en el tambor.

En la literatura aparecen valores del 8 - 12%. Dependiendo este valor del estado de perfeccionamiento de la instalación y se entiende por "Rendimiento del Pozo" el recargo en tanto por ciento de la carga total, que deberá considerarse como aumento a la carga total.

Se ha escogido por ser una instalación pequeña el valor de 12%, que es:

<u>Subida</u>		<u>Bajada</u>	
$3.592 \times \frac{12}{100} = 431 \text{ Kg.}$		$8.000 \times \frac{12}{100} = 960 \text{ Kg.}$	
$3.200 \times \frac{12}{100} = 384 \text{ Kg.}$		$8.392 \times \frac{12}{100} = 1.007 \text{ Kg.}$	

Consideramos ahora los Momentos Estáticos considerando el rendimiento del pozo.

CARGAS

<u>Subida</u>		<u>Bajada</u>	
Carga + η pozo = Total		Carga + η pozo = Total	
$3.592 + 431 = 4.023 \text{ Kg.}$		$8.000 + 960 = 8.960 \text{ Kg.}$	

$$3.200 + 384 = 3.584 \text{ Kg.}$$

$$8.392 + 1.007 = 9.399 \text{ Kg.}$$

Ver diagrama. *Fig. 82*

Los valores obtenidos representan la Fuerza.

Conocemos que el diámetro estimado para el tambor principal es de:

$$1.000 \text{ mm.} = 1,00 \text{ m.}$$

$$R = 500 \text{ mm.} = 0,5 \text{ m.} = \text{brazo de Momento.}$$

Como Momento es:

$$M = F.R$$

Los momentos no son constantes sino que varían con la longitud del cable.

$$M \text{ subida inicial} = 4.023 \times 0,5 = 2.012 \text{ Kg.}$$

$$M \text{ subida final} = 3.584 \times 0,5 = 1.792 \text{ Kg.}$$

$$M \text{ bajada inicial} = 8.960 \times 0,5 = 4.480 \text{ Kgm.}$$

$$M \text{ bajada final} = 9.399 \times 0,5 = 4.699 \approx 4700 \text{ Kgm.}$$

II-8

Evaluación Aproximada de la Potencia Motriz.-

Según las fórmulas de la Mecánica en un movimiento rectilíneo uniforme.

Resulta la potencia:

$$P = F.v \text{ Kgm.seg}^{-1}$$

Subida

Bajada

$$P.s.i. = 3.584 \times 4 = 14.336$$

$$P.b.i. = 8.960 \times 4 = 35.840$$

$$P.s.f. = 4.023 \times 4 = 16.092$$

$$P.b.f. = 9.399 \times 4 = 37.596$$

Para una evaluación se toma el promedio:

14.336

35.840

16.092

37.596

30.428 : 2

73.436 : 2

15.214 Kgm.seg⁻¹

36.718 Kgm.seg⁻¹

Estos valores en K ω 102 Kgm.seg⁻¹ = 1 K ω

$$P_{\text{sub}} = \frac{15.214}{102} = 149,157 \approx 150 \text{ K}\omega \quad P_{\text{b.}} = \frac{36.718}{102} = 359,98 \approx 360 \text{ K}\omega$$

A este valor se agrega un 10% de potencia por considerar el período de aceleración y se obtiene:

P subida = 165 K ω

P bajada = 396 K ω

II-9

Elección del Motor a Utilizarse.-

El ciclo consta de subida, en el que se requiere -- energía de la red, de 44" de trabajo y de 356 seg. de pausa = 400 seg. y 400 seg. para la bajada = 800 seg. en la que no se requiere ningún trabajo adicional.

Eléctricamente se estudia el período de subida.

Nuestro problema es el régimen de trabajo.

En este caso existe el servicio intermitente caracterizado por un corto período del trabajo y una larga pausa en la cual el motor está parado, luego gira el motor en el sentido inverso accionado por la carga en la bajada, de modo que la ventilación es muy buena.

Ninguna de las clases de servicio de las normas corresponde exactamente a nuestro caso; por esta razón tomando en consideración que los motores asincrónicos con anillos rozantes permiten una sobrecarga p = 2 - 2,5 veces.

Adoptamos el valor de 2,3 y el motor sería:

$$\frac{165}{2,3} \approx 72 \text{ KW en Servicio Brebe.}$$

El motor deberá trabajar a una altura de 2.800 m. so
bre el nivel del mar.

Considerando que un motor trabaja entre 2.000 y 3.000
mts. sobre el nivel del mar y para un número de revoluciones menor
que 1.000 r.p.m. La potencia es el 90% de la Potencia Nominal, se-
gún se indicó en la Parte I-3-c (1ª)

Por tanto para nuestro caso, se necesitaría un motor
de la siguiente potencia:

90% corresponde a 72 KW

100% " P_N

de donde:

$$P_N = \frac{100 \times 72}{90} = 80 \text{ KW}$$

Escogemos de la Lista de Motores de la Casa Siemens,
el Motor de las siguientes características:

Tipo : R-1871-8D

Peso : 900 Kg.

GD^2 : 17 Kgm^2

n : 725 r.p.m.

η : 88,5%

$\cos \varphi$: 0,87

380 V 160A

Rotor : 250 V 200 A

II-10

Tambor a Utilizarse.-

Para poder subir y bajar cómodamente la carga colgada de la extremidad del órgano de tracción emplearemos un tambor - cilíndrico simple.

Este tambor, sobre el cual el órgano de tracción se arrolla en forma de hélice, suelen ser cilindros huecos de fundición, provistos de cubo y bordes. El espesor de sus paredes, en función del diámetro D del tambor, se fija mediante la relación siguiente:

$$s = (0,03 \text{ a } 0,04)R + 10 \text{ mm.}$$

Para nuestro caso

$$D = 1 \text{ m.} = 1.000 \text{ mm.}; R = \frac{D}{2} = 500 \text{ mm.}$$

$$s = 0,035R + 10 = 0,035 \times \frac{1000}{2} + 10 = 27,5 \text{ mm.}$$

Pero por lo general se toma:

$$s = 10 \text{ a } 18 \text{ mm. para } R < 200 \text{ mm.}$$

$$s = 18 \text{ a } 30 \text{ mm. para } R > 200 \text{ mm.}$$

Para mi caso tomando $s = 0,04 R + 10 \text{ mm.}$ nos da

$$s = 30 \text{ mm.}$$

Según las normas los tambores cilíndricos se emplean para prácticamente todos los elevadores de pozos pequeños o de pequeña velocidad. Para recorridos verticales cortos de unos pocos - centenares de metros, no se considerarán apropiadas otras formas - de tambores por debajo de una velocidad del cable de 5 m/seg. Condición que se cumple en el elevador motivo del presente cálculo.

En los grandes tambores se disponen brazos como en las poleas. Para evitar tensiones en el cuerpo del tambor, se une la una extremidad del cubo al árbol mediante una chaveta cónica y

la otra mediante una chaveta plana. La unión entre el tambor y rueda se realiza mediante pernos.

La altura de los bordes del tambor se fija arbitrariamente.

La longitud útil L del tambor depende de la altura H de elevación de la carga. Para un tambor de radio R , el correspondiente número de vueltas será:

$$n = \frac{H}{2\pi R} = \frac{140}{2 \times 3,14 \times 0,5} = \frac{140}{3,14} = 44,5$$

Para no fatigar demasiado el órgano de tracción cuando la carga se encuentre en su posición límite inferior, se procura dejar aún en esta posición, dos a tres vueltas, de modo que, si e es el paso de la hélice que describe el cable sobre el tambor, - la longitud útil de éste se deducirá por la relación:

$$L = n.e + (2 \text{ á } 3)e$$

$$e = \text{diámetro nominal del cable} = 28 \text{ mm.}$$

$$L = 44,5 \times 28 + 2,5 \times 28$$

$$L = 1252 + 68 = 1.320 \text{ mm.}$$

A esta cifra se acostumbra aumentar un 10% suplementario para evitar que los cables no monten uno sobre otro al enrollarse y desenrollarse por el tambor.

$$1.320 + 132 = 1.452 \text{ mm.}$$

Pudiendo acoplarse al extremo del tambor un cilindro de freno del mismo diámetro del tambor.

$$L \approx 1.450 \text{ mm.}$$

El radio del tambor va desde el eje geométrico del -

árbol hasta el centro de la sección transversal del órgano de tracción.

El tambor para llevar el cable metálico puede ser liso, por lo cual se ha supuesto que las espiras están yuxtapuestas, pero sin superponerse unas sobre otras.

La fijación del cable al tambor se realiza fijando su extremidad alrededor del cubo. Para evitar la rápida curvatura del cable en el punto en que abandona al tambor, se adopta una disposición semejante a la representada en la figura. 83

Calculamos la velocidad del tambor:

$$D_T = 1.000 \text{ mm.}$$

$$v = 4 \text{ m. seg}^{-1}$$

Por el enrollamiento del cable es la velocidad rectilínea del cable igual a la velocidad periférica del tambor.

$$v = \omega \cdot R \quad \omega = \frac{2\pi n}{60}$$

$$v = \frac{2\pi R n}{60} = \frac{\pi D n}{60}$$

de donde:

$$n = \frac{v \times 60}{\pi \times D}$$

$$n = \frac{60 \times 4}{\pi \times 1} = 76 \text{ r.p.m.}$$

Calculamos la velocidad angular:

$$\omega = \frac{v}{R} = \frac{4}{0,5} = 8 \text{ seg}^{-1}$$

La Inercia del tambor se calcula:

Según Dubbel Tomo I Pág. 230

$$\text{Volumen } V = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \cdot L$$

$$D = 100 \text{ cm.}$$

SUJECION DEL CABLE
AL TAMBOR

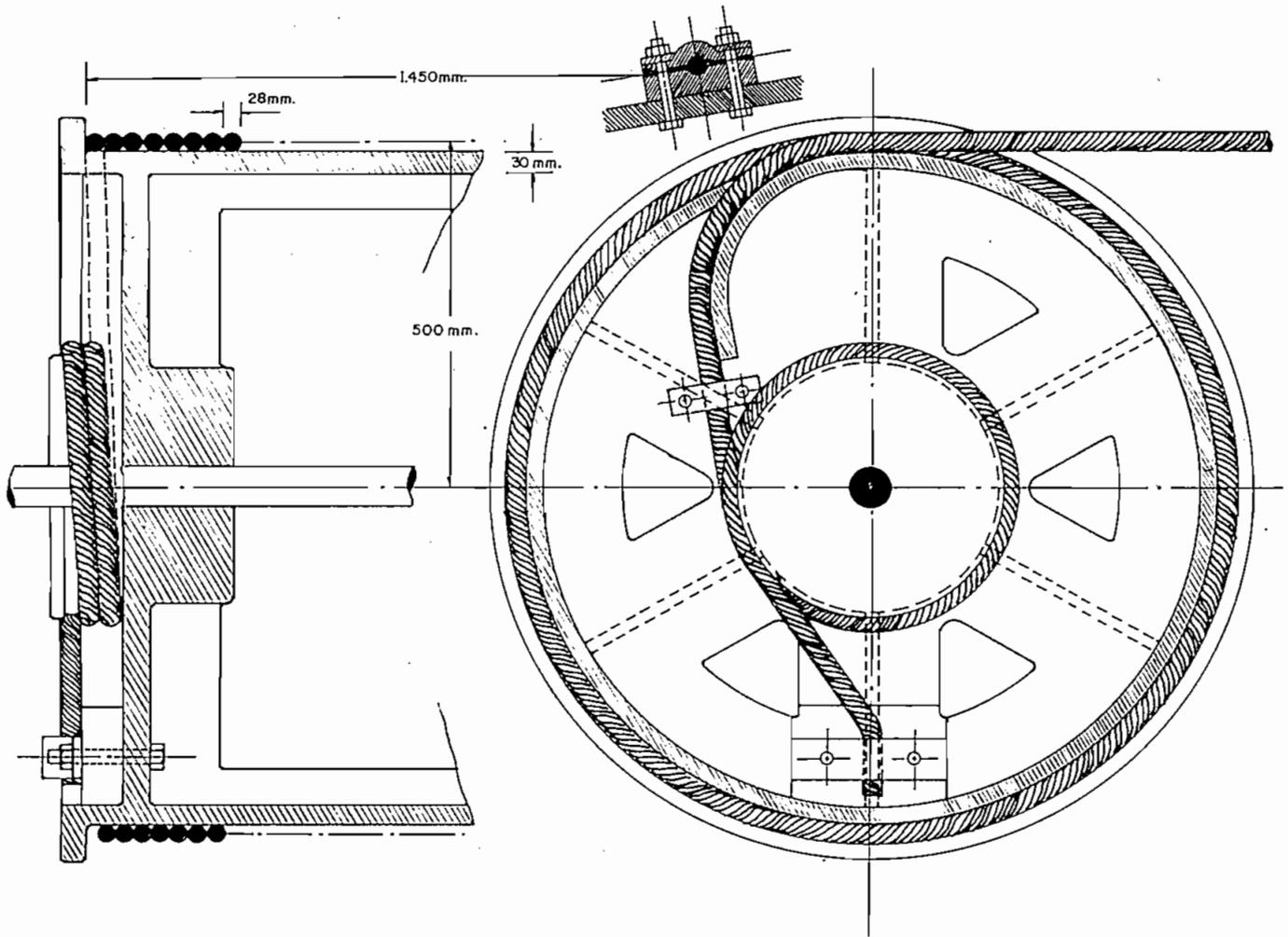


Fig. 84

$$d = 94 \text{ cm.}$$

$$L = 145 \text{ cm.}$$

$$V = \frac{\pi}{4} (100^2 - 94^2) \cdot 145$$

$$V = 0,786(10.000 - 8.836)145$$

$$V = 0,786 \times 1.164 \times 144 \approx 133.000 \text{ cm}^3$$

$$\gamma = \frac{P}{V}$$

$$P = \text{peso}$$

$$\gamma = \text{peso específico} = 7,8 \text{ gr/cm}^3$$

$$P = V \cdot \gamma = 133.000 \times 7,8 = 1.040.000 \text{ gr}$$

$$P = 1.040 \text{ Kg.}$$

$$m = \frac{P}{g} = \frac{1.040}{9,8} = 106 \text{ Kg.m}^{-1} \cdot \text{seg}^2$$

$$\text{Inercia} = \frac{1}{2} m(R^2 - r^2)$$

$$R = 0,5$$

$$r = 0,47$$

$$\text{Inercia} = \frac{1}{2} \times 106(0,5^2 + 0,47^2)$$

$$\text{Inercia} = 53(0,25 + 0,22) = 53 \times 0,47$$

$$\text{Inercia} = \frac{53 \times 4,7}{10} = \frac{250}{10}$$

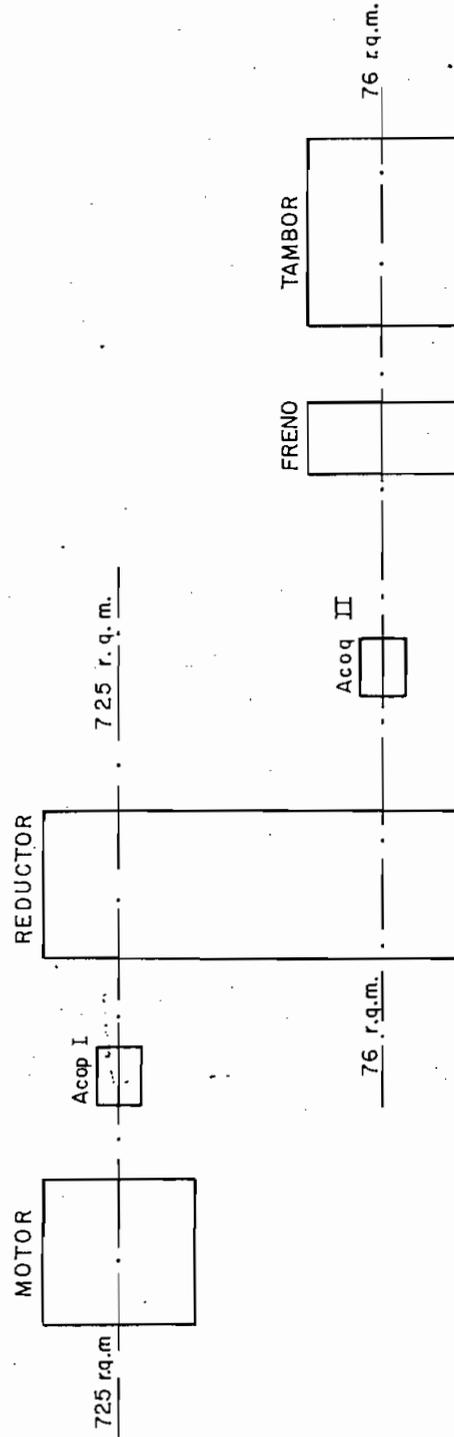
$$\text{Inercia} = 25 \text{ Kg.m.} \cdot \text{seg}^2$$

II-11

Dispositivos a Emplearse en la Cadena Cinemática.-

Por cuanto la velocidad que tiene el motor es diferente a la velocidad que tendrá el tambor en trabajo, tenemos que reducir la velocidad del motor a la del tambor mediante la siguiente cadena cinemática (Figura). 84

FIG. 83



CADENA CINEMATICA

II-11-a

Acoplamiento I y II.-

Según el Catálogo de Motores el diámetro del eje del Motor es igual a 60 mm.

Y asumiendo que el eje sobre el cual girará el tambor sea similar al del motor escogemos los Acoplamientos de estos ejes con el Reductor de Velocidades.

Masa de los Acoplamientos:

$$\phi_{ext.} = 120 \text{ mm.}$$

$$l = 220 \text{ mm.}$$

$$\phi_{eje} = 60 \text{ mm.}$$

$$V = \frac{\pi}{4}(12^2 - 6^2) 22 = 0,786(144 - 36)22$$

$$V = 0,786 \times 108 \times 22 = 1.870 \text{ cm}^3$$

$$P_{acop.} = 1.870 \times 8,8 = 18,4 \text{ Kg.}$$

$$\text{Inercia Polar} = \frac{1}{2} m (R^2 + r^2)$$

$$m = \frac{P}{g} \quad g \approx 10$$

$$m = \frac{18,4}{10} = 1,84 \text{ Kg.} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{seg}^2$$

$$r = 3 \text{ cm.}$$

$$R = 6 \text{ cm.}$$

$$\text{Inercia Polar} = \frac{1}{2} \times 1,84(6^2 + 3^2)$$

$$\text{Inercia Polar} = 0,92(36 + 9) = 0,92 \times 45$$

$$\text{Inercia Polar} = 41,3 \text{ Kg.} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{seg}^2$$

$$\text{Y en Kg.} \cdot \text{m.} \cdot \text{seg}^2 = \frac{41,3}{10.000 \text{ cm}} = \frac{4,13}{1000} = 0,00413$$

II-11-b

Masas Giratorias de la Reducción.-

Como no se dispone de un dibujo adecuado se usa una Relación de experiencia dada por la relación de velocidades.

$$i = \frac{n_m}{n_t} = \frac{725}{76} = 9,6 \approx 10$$

$$\frac{GD_m^2}{GD_r^2} = \frac{n_m}{n_r} \quad \frac{GD_m^2}{GD_r^2} = i$$

$$\frac{GD_m^2}{i} = GD_r^2$$

$$\frac{17}{10} = GD_r^2 = 1,7 \text{ Kg.m}^2$$

II-12

Datos Necesarios para el Freno.-

De los datos realizados hasta ahora tenemos los siguientes datos:

Elevador de minas:

Peso máximo bajada = 9.400 Kg.

$v = 4 \text{ m/seg.}$ $t_{\text{deceleración}} = 10 \text{ seg.}$

$h = 140 \text{ mts.}$

$\phi_{\text{Tambor}} = 1 \text{ mt.}$

$n = 76 \text{ R.P.M.}$

Coefficiente de roce de las zapatas del freno = 0,3

En el descenso actúa el peso propio P más la reacción por deceleración = F adicional, que se debe a que el peso reacciona cuando le aplicamos una fuerza de deceleración = F_d .

$F_d =$ Fuerza de deceleración o Fuerza que debemos aplicar al freno.

$F_d = P + F$ adicional

$$F_d = P + m.a$$

$$F_d = P + \frac{P}{g} \frac{v_f + v_o}{t}$$

$$F_d = 9.400 + \left(\frac{9.400}{10}\right) \left(\frac{0 + 4}{10}\right)$$

$$F_d = 9.400 + 376 = 9.776 \text{ Kg.}$$

Necesito saber la energía que debe absorber el freno.

El motor está frenado ya al elevador en el descenso porque si se dejara caer el peso:

$$v_f = \sqrt{2 g h} = \sqrt{2 \times 10 \times 140} = \sqrt{2.800}$$

$$v_f = 53 \text{ m/seg.}$$

Y nosotros decimos que baja a 4 mts/seg.

Por tanto como ya está actuando el motor, únicamente debemos aplicar 376 Kg. para que la velocidad sea cero.

Calculamos la Potencia del Freno:

$$N_f = F \times v_m$$

$$v_m = \frac{v_f + v_o}{2} = \frac{0 + 4}{2} = 2 \text{ m/seg.}$$

$$N_f = 376 \times 2 = 752 \text{ Kg.m/seg.}$$

Esta potencia debe ser absorbida por las zapatas del freno.

$$N_f = N_{\text{absorbida}} = \text{Reacción} \times \text{velocidad}$$

$$N_{\text{absorbida}} = R \times \frac{\pi D n}{60} = 752 \text{ Kgm/seg.}$$

$$R = \frac{752 \times 60}{\pi \times 1 \times 76} = \frac{45120}{240} = 184 \text{ Kg.}$$

$$Q = \frac{R}{\mu} = \frac{184}{0,3} = 613 \text{ Kg.}$$

$$Q = F = 613 \text{ Kg.}$$

Si el freno debe producir sólo la detención final no

tiene objeto aplicar una serie de palancas para que la Fuerza F disminuya.

Pero, supongamos que el motor se para y por tanto de bemos detener el ascensor únicamente usando el freno mecánico.

La energía del ascensor mientras dura el descenso es energía potencial.

$$E_{\text{pot}} = P \times h$$

$$E_{\text{pot}} = 9.400 \times 140 = 1'316.000 \text{ Kgm.}$$

Al bajar está gastando energía cinética que será igual a la energía potencial:

$$t = \frac{h}{v} = \frac{140}{4} = 35 \text{ seg.}$$

$$E_{\text{gastada}} = P \times v \times t = P \times h = E_{\text{pot.}}$$

$$E_{\text{gastada}} = 1'316.000 \text{ Kgm.}$$

Por la Ley de la Conservación de la Energía:

$$\text{Energía disponible} = \text{Energía gastada}$$

$$E_{\text{freno}} = 1'316.000 \text{ Kgm.}$$

$$E_{\text{freno}} = N_f \times t$$

$$N_f = \frac{E_f}{t} = \frac{1'316.000}{35} = 37.600 \frac{\text{Kgm}}{\text{seg}}$$

$$N_f = R \times \frac{\pi D n}{60} = 37.600 \frac{\text{Kgm}}{\text{seg}}$$

$$R = \frac{37.600 \times 60}{\pi \times 1 \times 76} = 9.375 \text{ Kg.}$$

$$Q = \frac{R}{\mu} = \frac{9.375}{0,3} = 31.250 \text{ Kg.}$$

$$Q_t = 31.250 + 613 = 31.863 \text{ Kg.}$$

Aplicando esta fuerza en el freno podemos detener el ascensor. Con los 31.250 Kg. únicamente conservamos la velocidad de 4 m/seg., sin permitir que se precipite a tierra.

II-12-a

Cálculo de la Inercia del Freno.-

Tomando en consideración que en el caso más desfavorable la Fuerza que debemos aplicar al freno que es:

$$Q \approx 31.900 \text{ Kg.}$$

Que se aplican en ambas zapatas del freno; y como sabemos que:

$$GD^2 = \text{Fuerza} \times \text{Diámetro de Inercia}^2$$

y asumiendo en nuestro caso

el Diámetro de Inercia = D Tambor

$$G = \frac{Q}{2} = \frac{31.900}{2} = 15.950 \text{ Kg.}$$

Tenemos:

$$GD^2 = \frac{31.900}{2} \cdot 1 \text{ Kg.m}^2 = 15.950 \text{ Kg.m}^2$$

$$\text{Sabemos que } I_p = \frac{GD^2}{40}$$

$$I_p = \frac{31.900}{2 \times 40} = \frac{3.190}{2.4} = \frac{798}{2} = 399 \text{ Kg.m.seg}^2$$

II-13

Reducción de Masas al Eje del Motor.- La Inercia Equivalente.-

Se reducen las Inercias al eje del motor para obtener la Inercia Equivalente.

$$I_{eq} = I_{mot} + I_{acop} + I_{red} + I_{acop II} + I_{freno} + I_{tamb} + I_{carga}$$

Con los valores obtenidos hasta el momento elaboramos el siguiente cuadro para calcular la Inercia reducida al eje motor y el GD^2 reducido al eje motor. (Cuadro anexo). /

II-14

Nuevo Cálculo de la Potencia Motriz.-

En la subida:

$$v = 4 \text{ m. seg}^{-1}$$

$$a = 0,5 \text{ m. seg}^{-2} \quad t_{ac} = 8 \text{ seg.}$$

$$d = 0,4 \text{ m. seg}^{-2} \quad t_{dec} = 10 \text{ seg.}$$

$${}^{\textcircled{H}}eq = 6,11 \text{ Kg.m. seg}^2 \quad GD_{eq}^2 = 244,4 \text{ Kg.m}^2$$

$$M_{\text{dinámico}} = M_{ac} = \frac{GD^2 \cdot n}{375 \cdot t} = \frac{244,4 \cdot 725}{375 \cdot 8} = 59 \text{ Kgm.}$$

acelerante sub

$$M_{\text{dinámico}} = M_{dec} = \frac{244,4 \times 725}{375 \times 10} = 47 \text{ Kgm.}$$

deceleran sub

En la bajada:

$$v = 4 \text{ m. seg}^{-1}$$

$$a = 0,5 \text{ m. seg}^{-2} \quad t_{ac} = 8 \text{ seg.}$$

$$d = 0,4 \text{ m. seg}^{-2} \quad t_{dec} = 10 \text{ seg.}$$

$${}^{\textcircled{H}}eq = 7,45 \text{ Kg.m. seg}^2 \quad GD_{eq}^2 = 298 \text{ Kg.m}^2$$

$$M_{\text{dinámico}} = \frac{GD^2 \cdot n}{375 \cdot t} = \frac{298 \times 725}{375 \times 8} = 72 \text{ Kgm.}$$

acelerante

$$M_{\text{dinámico}} = \frac{298 \times 725}{375 \times 10} = 58 \text{ Kgm.}$$

deceleran

Momentos Resultantes en la Subida:

$$M_{\text{TOTAL SUBIDA INICIAL}} = 2012 + 59 = 2071 \text{ Kgm.}$$

$$M_{\text{TOTAL SUBIDA FINAL}} = 1792 + 47 = 1.839 \text{ Kgm.}$$

$$\Delta = 232 \text{ Kgm.}$$

$$M_{cte} = 2012 + 30 = 2042 \text{ Kgm.}$$

$$\frac{232 \times 100}{2042} = \frac{23200}{2042} = 11,4\%$$

Momentos Resultantes en la Bajada:

$$M_{\text{TOTAL BAJADA INICIAL}} = 4.480 + 72 = 4.552 \text{ Kgm.}$$

$$M_{\text{TOTAL BAJADA FINAL}} = 4.699 + 58 = 4.757 \text{ Kgm.}$$

$$M_{\text{cte}} = 4.699 + 36 = 4.735 \text{ Kgm.}$$

$$\frac{205 \times 100}{4.735} = \frac{20.500}{4.735} = 4,34\%$$

Cálculo de la Potencia.-

Según la Fórmula:

$$M_{\text{motriz}} = 973 \cdot \frac{N^{KW}}{r.p.m.} \text{ Kgm.}$$

Obtendremos: $\frac{M_{\text{motriz}}}{i}$

$$N = \frac{i}{973} \cdot n$$

i = Factor de reducción = 9,6

$$N = \frac{2.071}{9,6} \times 725 = \frac{2.071 \times 725}{973 \times 9,6} \approx 161 \text{ KW}$$

Hasta el momento hemos considerado que la velocidad del motor es de 725 r.p.m., velocidad que corresponde a una frecuencia de 50 c/s.

Pero para mi caso tengo que utilizar un motor de características similares pero para ser usado a la frecuencia de 60 c/s.

Como el motor escogido tiene:

$$n = 725 \text{ r.p.m.}$$

$$p = 8$$

La velocidad sincrónica de este motor es:

$$n = \frac{120 \cdot f}{p} = \frac{120 \times 50}{8} = 750 \text{ r.p.m.}$$

Su deslizamiento:

$$s = \frac{750 - 725}{750} = \frac{25}{750} = 0,034$$

Este motor trabajando a 60 c/s. tiene la velocidad -
sincrónica de:

$$n = \frac{120.f}{p} = \frac{120 \times 60}{8} = 900 \text{ r.p.m.}$$

La velocidad del rotor a esta frecuencia será:

$$0,034 = \frac{900 - n_2}{900}$$

$$900 \times \frac{3,4}{100} = 900 - n_2$$

$$30,6 = 900 - n_2$$

$$n_2 = 900 - 30,6 = 870 \text{ r.p.m.}$$

Por lo que realizamos una nueva Reducción de las Iner-
cias al Eje del Motor para esta velocidad y un nuevo Cálculo del -
GD² equivalente. (Cuadro 2)

Con estos nuevos valores Calculamos el valor de la -
Potencia Motriz.

En la bajada:

$$M_{ac. \text{ baj.}} = \frac{GD^2 . n}{375 . t} = \frac{220,4 \times 870}{375 \times 8} = 64 \text{ Kgm.}$$

$$M_{dec. \text{ baj.}} = \frac{220,4 \times 870}{375 \times 10} = 51 \text{ Kgm.}$$

En la subida:

$$M_{ao. \text{ sub.}} = \frac{181,6 \times 870}{375 \times 8} = 53 \text{ Kgm.}$$

$$M_{dec. \text{ sub.}} = \frac{181,6 \times 870}{375 \times 10} = 42 \text{ Kgm.}$$

Momentos Resultantes en la Subida:

$$M_{SUBIDA \text{ INICIAL}} = 2.012 + 53 = 2.065 \text{ Kgm.}$$

$$M_{SUBIDA \text{ FINAL}} = 1.792 + 42 = 1.834 \text{ Kgm.}$$

$$\Delta = 231 \text{ Kgm.}$$

$$M_{cte} = 2.012 + 27 = 2.039 \text{ Kgm.}$$

$$\frac{231 \times 100}{2.039} \approx 11,2\%$$

Eléctricamente se estudia únicamente el período de subida.

Como la diferencia entre los momentos iniciales y finales es 231 Kgm. o en porcentajes el 11,2%. Se considera el Momento Constante = 2.040 Kgm. (con un γ pozo = 12%). Ver Diagrama Momentos Fig 85.

La Potencia será:

$$N \approx \frac{M \cdot n}{973.1} = \frac{2.065 \times 870}{973 \times 11,5} = 161 \text{ KW}$$

En el cálculo aproximado de la potencia se tuvo el valor de 165 KW. Los dos valores resultan satisfactorios y desde el punto de vista de un régimen de trabajo denominado "Servicio Continuo".

Pero el problema es el régimen de trabajo, en nuestro caso como se indicó anteriormente existe el servicio intermitente.

Por lo que verifico el valor del factor de sobrecarga para el motor:

$$t \text{ servicio} = 44 \text{ segundos}$$

$$\text{Período} = 800 \text{ segundos}$$

El factor de sobrecarga:

$$p = \frac{1}{1 - e^{-\frac{ts}{T}}}$$

$$p = \frac{1}{1 - e^{-\frac{44}{800}}} = \frac{1}{1 - e^{-0,055}} = \frac{1}{1 - 0,9464}$$

$$P = \frac{1}{0,0536} = \frac{1}{5,36 \times 10^{-2}} = \frac{100}{5,36} = 18,7$$

Lo que indica que en el corto tiempo de trabajo, el motor podría soportar la sobrecarga estimada.

II-15

Control de la Temperatura.-

Motor 55w

80 KW

$$\eta = 0,88$$

$$\cos \varphi = 0,89$$

Los 80 Kw están disponibles en el eje del motor.

$$\text{La potencia entrante} = \frac{80}{0,89} = 91 \text{ Kw}$$

$$\text{Se transforman en calor } 91 - 80 = 11 \text{ Kw}$$

y el Calor producido:

$$Q_{\text{seg}} = 0,239 \times 11 = 2,62 \text{ Kcal/seg.}$$

En el ciclo de 44 segundos:

$$2,62 \times 44 = 115 \text{ Kcal.}$$

El peso del motor = 900 Kg.

La ecuación del calentamiento de un motor:

$$Q dt = A \frac{d\theta}{dt} dt + C d\theta$$

Los valores de los coeficientes son:

$$\theta_{\text{final}} = \frac{Q}{A} \text{ para } \theta_{\text{final}}, \text{ la sobretemperatura - (60°C) resulta:}$$

$$A = \frac{115}{60} = 1,92$$

$$T = \frac{C}{A} \quad C = T.A \quad T = 40'$$

$$C = 40 \times 60 \times 1,92 = 2.400 \times 1,92 = 4.600$$

De esto resulta la ecuación térmica:

$$2,62 dt = 1,92 \frac{dh}{dt} + 4.600 d\frac{dh}{dt}$$

II-15-a

Diagrama del Calentamiento.-

Sobrettemperatura = 60°

Temperatura ambiente = 35°

En Servicio

Temperatura máxima = 35° + 60° = 95° Continuo.

T = 40' x 60 = 2.400 seg.

Factor de sobrecarga p = 2,3

Temperatura ambiente = 35°

En Servicio

Temperatura máxima = 60 x 2,3 = 138°C

Breve.

T = 40 x 60 = 2.400 seg.

Tenemos la fórmula de Calentamiento:

$$h = h_f(1 - e^{-\frac{t}{T}}) + h_i \cdot e^{-t/T}$$

$$h_f = 60$$

$$h_i = 0$$

t = 44 seg.

T = 2.400 seg.

$$h = 60(1 - e^{-44/2.400}) = 60(1 - e^{-0,0184})$$

$$h = 60(1 - 0,982) = 60 \times 0,018 = 1,08(°C)$$

Ahora calculamos el calentamiento después de 800 seg.

$$h = 60(1 - e^{-800/2.400}) = 60(1 - e^{-1/3})$$

$$h = 60(1 - 0,716) = 60 \times 0,284 = 17(°C)$$

Estos Cálculos son a Carga normal.

Ahora calculamos el valor de la temperatura para la

sobrecarga:

$$t = 800 \text{ seg.}$$

$$\Delta t = 138(1 - e^{-1/3}) = 138 \times 0,284 = 39(^{\circ}\text{C})$$

Se han calculado los puntos de la curva de calentamiento y de esta curva resulta que después de 44" tendremos un calentamiento de 1,08(°C)

que sobre la Temperatura ambiente nos da un valor de:

$$35 + 1,06 \approx 36(^{\circ}\text{C})$$

Debemos anotar que el motor de 80 Kw ha sido únicamente calculado desde el punto de no sobrepasar el límite de la corriente de arranque. Ver Diagrama (Fig 86).

II-16

Control de la Corriente.-

Se controla la corriente usando un $\cos \varphi = 0,8$

Cuando el motor se sobrecarga:

$$N_{\text{sobrecarga}} = N_n \cdot p = 80 \times 2,3 = 184 \text{ Kw}$$

Trabajamos con 180 Kw

$$180 \text{ Kw} = \sqrt{3} \cdot E \cdot I \cdot \cos \varphi = 1,73 \times 220 \times I \times 0,8$$

$$I_{180} = \frac{180}{1,73 \times 220 \times 0,8} = 600 \text{ Amp.}$$

Calculamos la corriente para la Potencia Nominal:

$$80 \text{ Kw} = \sqrt{3} \times 220 \times I \times 0,8$$

$$I_{80} = \frac{80}{1,73 \times 220 \times 0,8} = 263 \text{ Amp.}$$

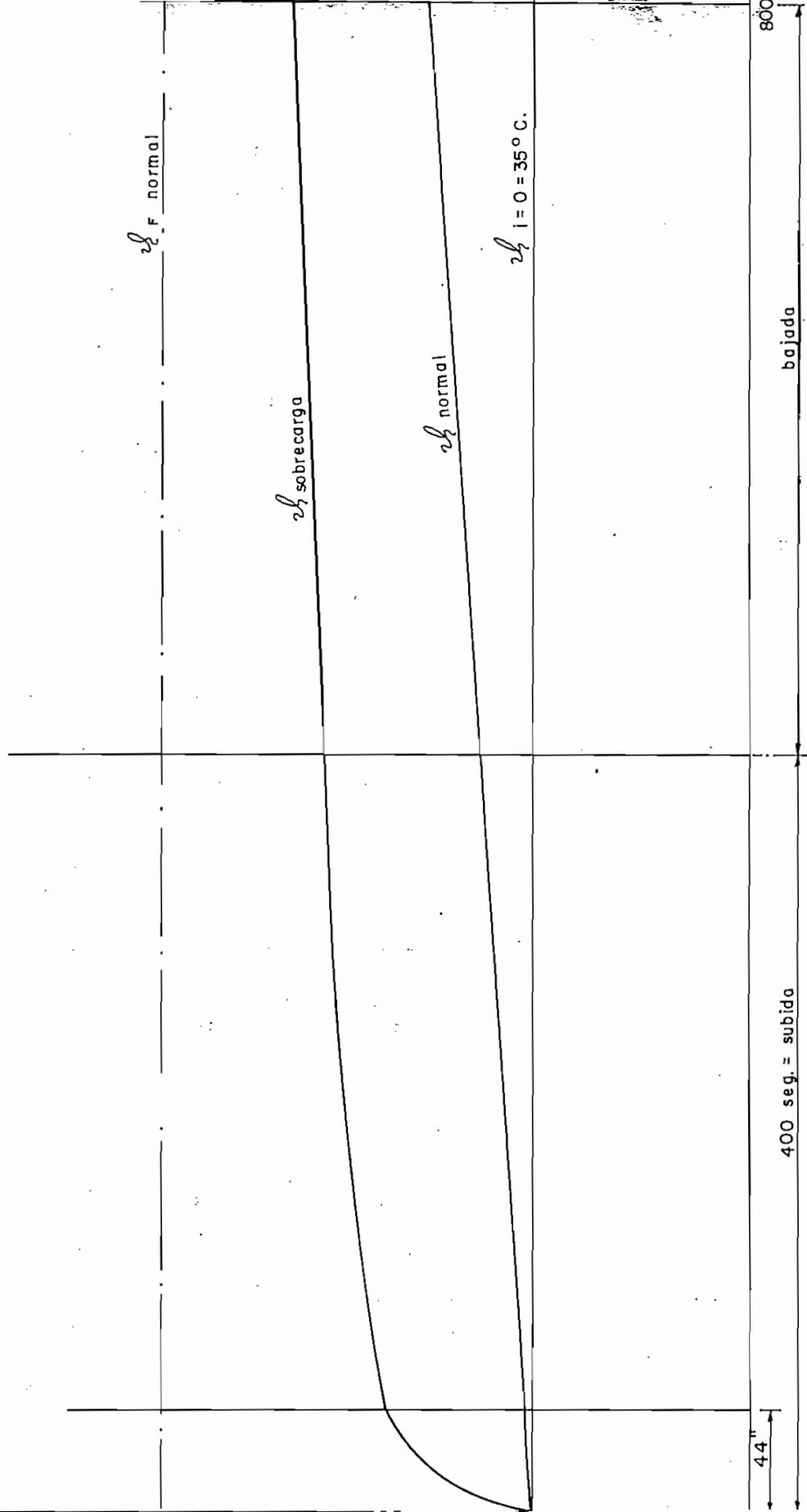
$$\text{La relación: } \frac{600}{263} = 2,3$$

Es una relación de corrientes que es permisible.

II-17

Consideración Especial.-

DIAGRAMA DEL CALENTAMIENTO



La particularidad de esta instalación exige una consideración especial:

A principio se había pensado en la instalación de un grupo Ward Leonard; el hecho de que la Potencia Máxima Motriz aparece en la subida con una potencia de 160 Kw y en la bajada por propio peso la potencia es 400 Kw.

Los primeros 160 Kw debe suministrar el motor y al fin entrar de la red, mientras los 400 Kw son disponibles en el eje del motor. Ahora bien podemos pensar en utilizar esta potencia pero un cálculo del trabajo nos indica que esto no valdría la inversión necesaria.

400 Kw durante 44 seg. son en KWH:

$$\frac{400 \times 44}{3.600} = 4,9 \text{ KWH}$$

y durante todo el día un turno:

$$9 \text{ ciclos} \times 8 \text{ horas} = 72$$

de donde:

$$72 \times 4,9 = 354 \text{ KWH/día.}$$

En la Tesis del Ing. Guerrero el costo del Kwhes 16,5 centavos.

$$\frac{354 \times 16,5}{100} = \text{¢ } 58$$

y en el año:

$$58 \times 360 \approx \text{¢ } 21.000$$

Esta cifra en el transcurso de algunos años, daría una suma considerable, pero como la potencia está disponible sólo durante 44 seg. causa continuas perturbaciones a la red en forma

que los aparatos reguladores siempre están en el proceso de regulación.

Fuera de éstos son: $354 \times 360 = 130.000 \text{ kWh}$.

en comparación con los $131'400.000 \text{ kWh}$ de la planta

$$\frac{130.000}{131'400.000} \times 100 = 0,099\% = 0,9\%$$

0,9% de producción es muy poco y además los inconvenientes y el gasto relativamente grande de la instalación no merece su consideración.

Por esta razón, se resolvió instalar un motor asíncrono trifásico.

La corriente es facilitada al motor a través de un Conmutador que permite el cambio de marcha invirtiendo las dos fases. El arranque y la regulación se efectúa mediante el reóstato conectado con el circuito del rotor. Para el frenado a más de los métodos vistos en la parte I, se prevee un freno mecánico que deberá ser diseñado por el fabricante para las especificaciones dadas.

II-18

Otras Posibilidades.-

Actualmente se piensa en transportar el carbón por camiones desde las minas a la planta de lavado, y por cuanto el estado actual de la carretera no es bueno hace indispensable la construcción de una nueva carretera y de una flota de camiones por lo menos 12, cuyo mantenimiento es muy costoso. Debo indicar que como un notable aumento del poder calorífico no se obtendrá especialmente para la fabricación del cemento, un lavado del carbón no es indispensable, ya que se conoce que hay muchas fábricas que trabajan

con peores carbones.

Será en el futuro inevitable pensar en otros métodos de transporte del carbón de la mina a la planta de lavado.

La una se indica en la presente Tesis, la apertura del pozo seguramente localizaría nuevas vetas de carbón aprovechables. Debe indicarse que este trabajo será costoso pero el mismo aumenta el potencial carbonífero.

La 2da. posibilidad es la construcción de un elevador de rampa de unos 2 Kms. en el cual se enganchan las vagonetas en el cable sin fin accionado por un motor. La parte costosa es la elaboración rectilínea de la rampa; el costo del accionamiento mismo es poco. El mantenimiento y el servicio es insignificante.

La 3ra. posibilidad es la construcción de un funicular a la planta de lavado y luego a la fábrica de cemento. En comparación con la anterior es más costosa.

La 4ta. posibilidad y la más moderna consistiría en una molienda en la boca del túnel situado en la cota 2.800 mts. y el bombeo del polvo de carbón hasta la planta térmica y de ahí a la Fábrica de Cemento. Ya que es problemático el mantenimiento de ciertos depósitos para ambas plantas.

Sin tener datos acerca de los costos de instalación no puedo dar una comparación económica de estas posibilidades.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- ACADEMIA HUTTE DE BERLIN "Manual del Ingeniero HUTTE"
Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona.
Traducida por Rafael Hernández
Tomo II - año 1.963
Tomo IV - año 1.958
- 2.- WEBER - WHITE "Física General Moderna"
Manning - Febrer, 2da. Edición 1.957.
- 3.- H. A. PERKINS, "Física General"
Reimpreso en 1.960
- 4.- ARCHER E. KNOWLTON "Manual Standard del Ingeniero Electricista"
Tomo II, Editorial Labor S. A. Barcelona Madrid.
Reimpresión - 1.962
- 5.- W. HEEPKE - O. HERRE, "La Escuela del Técnico Mecánico"
Tomo V - Editorial Labor S. A. Argentina.
Segunda Edición - 1.939
- 6.- ALEXANDER S. LANGSDORF, "Principios de Máquinas de Corriente Continua"
McGRAW - HILL, 6ta. Edición Tokyo, 1.959
- 7.- AEG, "Manual Para Instalaciones Eléctricas de Alumbrado y Fuerza Motriz"
7ma. Edición - Impreso en Alemania
- 8.- CH. L. DAWES, "Tratado de Electricidad"
Tomos I y II - Editorial Gustavo Gili S. A. Barcelona
Segunda Edición - 1.959
- 9.- BOLZ - MOELLER - WERR, "Máquinas Eléctricas"
Tomo II - Editorial Labor S. A. Barcelona
Reimpresión 1.955
- 10- PAISLEY B. HARWOOD, "Equipos para el Control de Motores Eléctricos"
Ediciones Técnicas Marcombo S. A. Barcelona, 1.955
- 11- HANS TEUCHERT, "Fuerza Motriz y Tracción Eléctrica"
Tomo XI - Editorial Labor S. A. Barcelona.
Reimpresión 1.952.
- 12.- ANTHONY C. LORDI, "Energía para Fábricas de Cemento"
Revista - El Ingeniero Westinghouse, Enero - Abril, 1.958.
- 13- INGENIERO EDGAR GARCIA, "La Producción de Cemento en Guapán"
Revista Guapán S. A. Enero de 1.965.

- 14.- INFORME POR EVAN BENNETT, "Proyecto sobre el Carbón Lignito - de Biblián Ecuador"
Abril 10 de 1.952
- 15.- TESIS DE GRADO DEL INGENIERO GONZALO GUERRERO, "Proyectos de una Central Térmica para Biblián"
Agosto de 1.954
- 16.- SIEMENS, "Manual de Motores"
Mayo de 1.957
- 17.- Copiados de Clase de Accionamientos Eléctricos del Dr. FRIEDERICH WAYMYER.
- 18.- Copiados de Clase de Elementos de Máquinas del Ing. ANIBAL ENRIQUEZ.