

13. PONCE y SAUNDERS: Ver tesis de Cordeiro.
14. QUINTANA, R.: "Metodología de la investigación mineralógica de lateritas con alto contenido de minerales arcillosos". Ciencia de la Tierra y del Espacio, 1984 (en imprenta).
15. QUINTANA, R. y R. GONZALEZ: "Estudio de la pulpa cruda del mineral laterítico del yacimiento de Moa: Análisis granulométrico". Minería y Geología no. 2/84 (en imprenta).
16. QUINTANA, R.: "Untersuchung zur Phasennalyse der nichtkarbotischen Anteile von Mergel, sowie von Kaolinene der Region Cienfuegos im Mittelkubas". Disertación de Candidato a Doctor. Geifswald, EMA, Univ., RDA, 1980.
17. SCHULTZE, D.: "Differentialthermoanalyse". Verlag Chemie, Berlin, 1969.
18. SMYKARZ-KLOSS, W.: "Differential thermal analysis. Application and results in mineralogy". *Minerals and Rocks*, vol. 11, Spinger Verlag, Berlin, 1974.
19. SCHIRIKOVA, I. Y.: "Informe geológico del yacimiento Moa, Empresa 'Comandante Pedro Sotto Alba'". ISMMMOa, Holguín, 1966.
20. THIEL, R.: "Zur System  $\alpha$ -FeO(OH)- $\alpha$  AlO(OH)". *Z. Anorg. Chemie*, 1963.
21. ZINCHENKO, O. y R. QUINTANA: "Composición mineralógica de varios yacimientos de arcillas de la región de Cienfuegos". *Revista Centro. Serie: Química y Tecnología Química*, 1975.

CDU : 621.313.323 : 621.319 (729.1)

## INVESTIGACION EXPERIMENTAL DEL TRABAJO DE LOS MOTORES ASINCRONICOS CON FRECUENCIA DE 50 Hz EN REDES DE 60 Hz

Ing. Rafael Pérez Barreto, Candidato a Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular del ISMMMOa

Ing. Svetlana Maluk, Profesora Auxiliar del ISMMMOa

### RESUMEN

En el trabajo se exponen los resultados de los ensayos de un motor asincrónico con el rotor en cortocircuito del tipo A0-51/4 de fabricación soviética en régimen de marcha al vacío, y de cortocircuito en redes de 50 y 60 Hz.

Se muestra cómo influye la variación de la frecuencia en las principales características técnico-energéticas del motor. Se comprueba en la práctica que el aumento de la frecuencia en un 20% empeora considerablemente los índices de explotación, incluso cuando la tensión aumenta hasta 440 V.

### ABSTRACT

This work gives the results of the test of an asynchronous engine with the rotor in short circuit in nets of 50 and 60 Hz.

It is shown the influence of the frequency variations on the essential technical-energetic features of the engine. It is proved, in actual practice, that a 20% increase of frequency considerably worsens the exploitation indicators, even when the tension rises to 440 V.

En Cuba tradicionalmente se ha utilizado el sistema de generación, transformación, distribución y consumo de energía eléctrica alterna trifásica, con frecuencia de 60 Hz.

En la industria minero-metalúrgica del níquel se utiliza con mucha frecuencia el sistema de corriente trifásica de baja tensión, 440/220 V. En algunas empresas de producción, pequeñas y medias, que se alimentan con la red energética nacional se utiliza también la corriente eléctrica con una tensión de 380/200 V.

Después del triunfo de la Revolución el equipamiento eléctrico de Cuba procede, principalmente de los países del campo socialista, que en la mayoría de los casos trabajan con frecuencia de 50 Hz y bajo voltaje de corriente alterna, de 380/220 V.

En los últimos años son frecuentes los casos de sustitución de los motores eléctricos viejos, por motores nuevos cuyos voltajes y frecuencias nominales no se corresponden con las existentes en la producción cubana. Por otra parte se adquie-

ren grandes cantidades de motores eléctricos con las características mencionadas para las empresas de nueva creación. Estos motores al ponerse en explotación presentan frecuentes averías.

Los motores asincrónicos con el rotor cortocircuitado (de jaula de ardilla) constituyen unos de los más utilizados en el accionamiento del equipamiento de trabajo de la industria niquelífera, para potencias de hasta 100 kW. Ellos consumen la mayor parte de la energía eléctrica generada por las termoeléctricas que emplean combustible líquido de importación [1], cuyo precio se incrementa constantemente.

Las fábricas de níquel de Moa y Nicaro pertenecen al grupo de 11 empresas cubanas que consumen cerca del 60% de todo el combustible del país. Desde este punto de vista tienen un interés especial los trabajos encaminados a la búsqueda de nuevas vías que reporten una utilización más racional de la energía eléctrica.

En el presente trabajo se exponen los resultados de la investigación experimental acerca de la influencia de la frecuencia de 60 Hz con voltajes de 440, 456 y 380 V en el trabajo de motores asincrónicos, con el rotor cortocircuitado de la serie A0 de fabricación soviética.

Las principales cuestiones teóricas sobre la influencia de la secuencia en los parámetros de trabajo del motor asincrónico se analizan en la literatura técnica desde diferentes puntos de vista: la regulación por frecuencia de la velocidad de rotación del motor, influencia de la frecuencia en las características de velocidad, peso, dimensiones de los motores asincrónicos e influencia de la frecuencia nominal en los parámetros de explotación de la máquina.

En el trabajo **Regímenes de trabajo de los motores eléctricos asincrónicos y sincrónicos** se analiza teóricamente el régimen de trabajo del motor asincrónico de 60 Hz en redes de 50 Hz. Se puede afirmar que la variación de los principales parámetros (voltaje, fem y flujo magnético) en función de la frecuencia puede ser expresada de la siguiente manera:

$$U \approx E = 4,44 - Wf \Phi 10^{-8} = Df \Phi$$

donde:

- U - voltaje nominal
- E - fuerza electromotriz
- W - número de vueltas del enrollado del estator
- f - frecuencia de la red, Hz
- $\Phi$  - flujo magnético del motor
- D -  $4,44 \cdot W \cdot 10^{-8}$  = constante para un motor dado

De esta expresión, despreciando las pérdidas de voltaje en la resistencia activa y reactiva del estator, para las frecuencias de 60 y 50 Hz podemos obtener:

$$U_{60} = Df_{60}\Phi_{50}$$

$$U_{50} = Df_{50}\Phi_{50}$$

de donde tenemos:

$$\Phi_{60} = \Phi_{50} \cdot \frac{U_{60}}{U_{50}} \cdot \frac{f_{50}}{f_{60}} \quad (1)$$

De esta expresión se evidencia que para mantener el flujo magnético constante es necesario cumplir la condición:

$$\frac{U}{f} = \text{const} \quad (2)$$

que se utiliza ampliamente en la regulación de la frecuencia de motores asincrónicos y en particular cuando se disminuye la frecuencia y el voltaje con respecto a la frecuencia y el voltaje nominales.

En nuestro caso para cumplir la condición (2) cuando aumenta la frecuencia de 50 Hz hasta 60 Hz se exige el aumento simultáneo del voltaje lineal de 380 hasta 456 V, o de la tensión de fase de 220 hasta 264 V.

La utilización de la dependencia (1) para la investigación de los regímenes continuos de trabajo de los motores de 50 Hz en redes de 60 Hz, con el aumento del voltaje se obtienen resultados aproximados por cuanto no se toman en consideración las pérdidas de voltaje en el estator; con esto se excluye la influencia de la variación de la frecuencia, el voltaje, el régimen de calentamiento del motor y sus características constructivas.

Por esta razón surge la necesidad de las investigaciones experimentales y, en particular, el ensayo del motor de la serie dada con frecuencia de 60 Hz y voltajes de 380, 440 y 456 V.

El presente trabajo se limitará al análisis comparativo de los parámetros del motor asincrónico de la serie A0 en los regímenes de marcha al vacío y de cortocircuito en redes de 50 y 60 Hz.

Los ensayos se realizaron en una instalación experimental, cuyo esquema eléctrico se muestra en la Figura 1, con el motor asincrónico cortocircuitado del tipo A0-51/4 indicado como MA con los datos nominales:

- velocidad de rotación  $n = 1440$  rev/min
- potencia útil en el árbol del motor  $P = 4,5$  kW
- factor de potencia  $\cos \varphi = 0,85$
- voltaje  $U = 220$
- corriente  $I = 16,3$  A
- rendimiento  $\eta = 85,5\%$

El motor asincrónico se conectó en Y, y se alimentó de la red de corriente trifásica con el voltaje lineal variable de 380 a 456 V elaborada por el generador sincrónico (GS) del tipo EDNS 305/14, accionado por el motor de corriente directa (GD) del tipo EDNS 305/14 de excitación paralela, el cual se alimentó de la red de 220 V de corriente directa, que constituye el agregado de generación. La excitación del generador sincrónico con la corriente directa se realizó a través del rectificador alimentado de la red de corriente alterna de 220 V. En el circuito de excitación se instaló el reóstato ( $R_{reg}$ ) y con su ayuda se reguló la frecuencia de la corriente alterna generada.

La variación en el voltaje de la red trifásica de alimentación del motor asincrónico, y el mantenimiento del voltaje en el nivel dado se realizó con ayuda del transformador trifásico de regulación (TTR).

Para la carga del motor asincrónico se previó la instalación del motor de corriente directa (MC) del tipo P-S1 conectado en el régimen de frenado por contracorriente, cuyo enrollado de excitación independiente (BEMC) se alimentaba de una red de corriente directa de 110 V.

Las mediciones en el circuito de corriente alterna trifásica se realizaron con ayuda del aparato de medición portátil del tipo K-50 destinado para medir la corriente, el voltaje y la potencia con frecuencias nominales de 45-65 Hz. El aparato posee el esquema montado con el amperímetro, voltímetro y wattímetro instalados simultáneamente en un solo panel, con el transformador de corriente hasta 50 A, resistencias adicionales, indicador de secuencias de las fases y los bornes de conexiones.

Las mediciones en el circuito eléctrico trifásico se realizaron mediante la conmutación sucesiva del aparato para cada fase de la red, y mediante la toma de indicaciones en los aparatos de medición.

La frecuencia de la red de alimentación del motor asincrónico se reguló con la variación de la corriente de excitación del generador sincrónico, y el voltaje de la red de alimentación del motor de corriente directa ED unido por su árbol con el generador sincrónico GS.

La frecuencia de la corriente alterna se registró por el frecuencímetro electrónico (Hz) digital, y además se controló con ayuda del estroboscómetro. Este último también se utilizó para la medición de la velocidad de rotación del motor ensayado.

Para la medición de las magnitudes variables durante el experimento se instalaron los amperímetros en diferentes puntos de la instalación experimental, indicados en el esquema eléctrico (FIG. 1).

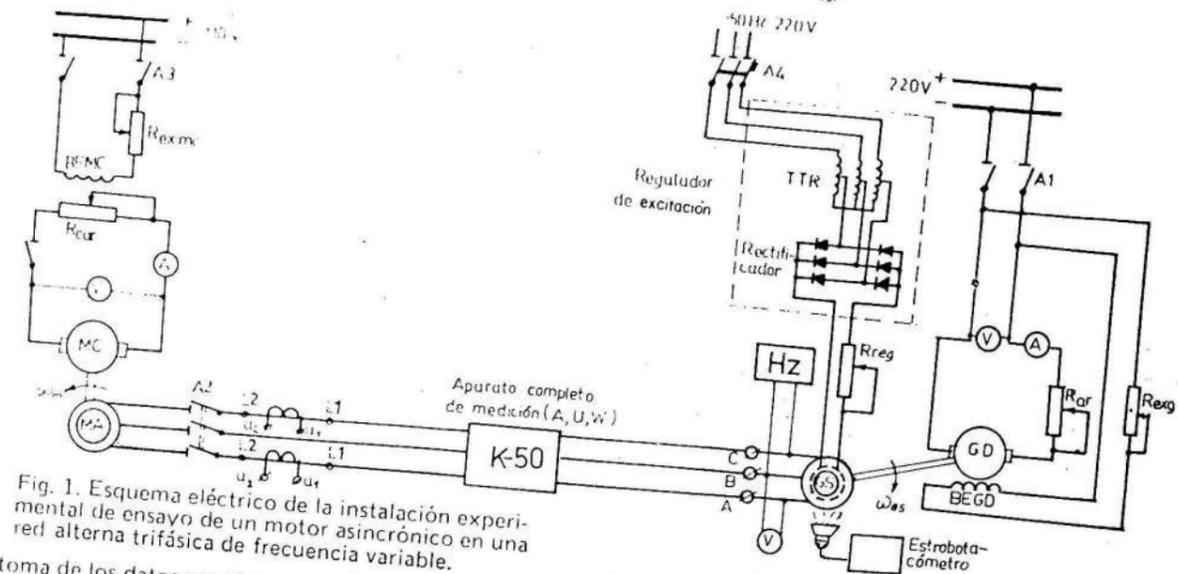


Fig. 1. Esquema eléctrico de la instalación experimental de ensayo de un motor asincrónico en una red alterna trifásica de frecuencia variable.

La toma de los datos para las características de marcha al vacío se realizaron para diferentes valores del voltaje, comenzando desde el máximo, tomado aproximadamente igual al 130% del voltaje nominal, disminuyéndolo gradualmente hasta el valor más bajo posible. La disminución del voltaje provoca el incremento del deslizamiento del motor asincrónico, que para los valores del voltaje cercanos al nominal constituye una magnitud relativamente pequeña. Con voltaje muy bajo la corriente en el enrollado del rotor aumenta considerablemente debido al incremento del deslizamiento, lo que a su vez provoca el aumento de

la corriente en el enrollado del estator, que disminuía hasta un determinado valor del voltaje. Este fenómeno no limita la obtención del valor mínimo del voltaje en el ensayo del motor en marcha al vacío, ya que con la disminución posterior del voltaje los datos obtenidos no son fiables y no pueden utilizarse en la construcción de las características de marcha al vacío.

Con el objetivo de alcanzar resultados experimentales más fiables el ensayo se realizó de acuerdo con las reglas y metodologías establecidas para pruebas industriales de los motores asincrónicos.

Como quiera que los resultados del ensayo dependen en gran medida de la calidad del voltaje en los bornes del motor, se presta una atención especial al cumplimiento de las tres condiciones siguientes:

1. La simetría de los voltajes lineales
2. Mantenimiento de la forma sinusoidal de la tensión

### 3. La estabilidad de la frecuencia.

La medición de la potencia del motor en el régimen de marcha al vacío se realizó con bajos valores del  $\cos \varphi$ . Con el objetivo de alcanzar los valores exactos las mediciones se realizaron con ayuda de dos wattímetros y de un amperímetro con voltímetro; posteriormente se compararon los resultados obtenidos por estos dos métodos de medición.

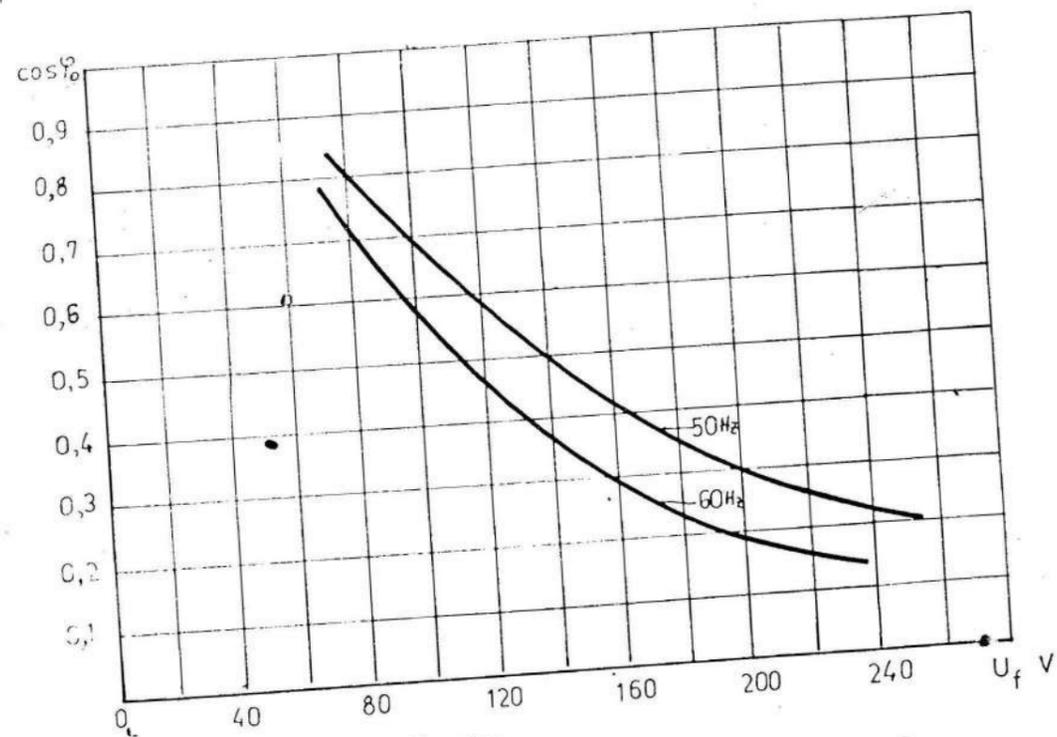


Fig. 2. Gráfico de la variación del  $\cos \varphi$  del motor asincrónico en el régimen de marcha al vacío en redes con frecuencia de 50 y 60 Hz en función del voltaje.

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3} U_l I_0}$$

Las mediciones del régimen de marcha al vacío del motor han permitido obtener los siguientes datos:

- El voltaje real lineal,  $U_l$ , y de fase  $U_f$  que se tomó como el promedio aritmético de los tres valores medidos.
- La corriente real de marcha al vacío que se tomó como el valor medio aritmético de los tres valores medidos. La corriente de marcha al vacío en dependencia del voltaje de fase para la frecuencia de 50 y 60 Hz se muestra en la Figura 3.

- La potencia suministrada al motor es igual a la suma algebraica de las indicaciones del wattímetro en las tres fases.

El factor de potencia, determinado por la fórmula:

Así como por la suma de indicaciones de dos wattímetros.

Las pérdidas de potencia en el enrollado del estator  $P_{\mu_0}$  se determinaron por la corriente de marcha al vacío para la conexión de las fases del motor en Y por la fórmula:

$$P_{\mu_0} = 3 I_0^2 r_0$$

donde:

$r_0$  - la resistencia media de una sola fase con la temperatura del experimento, medida inmediatamente después de finalizar el ensayo, por el método de amperímetro y voltímetro  
 $r_0 = 1,08$

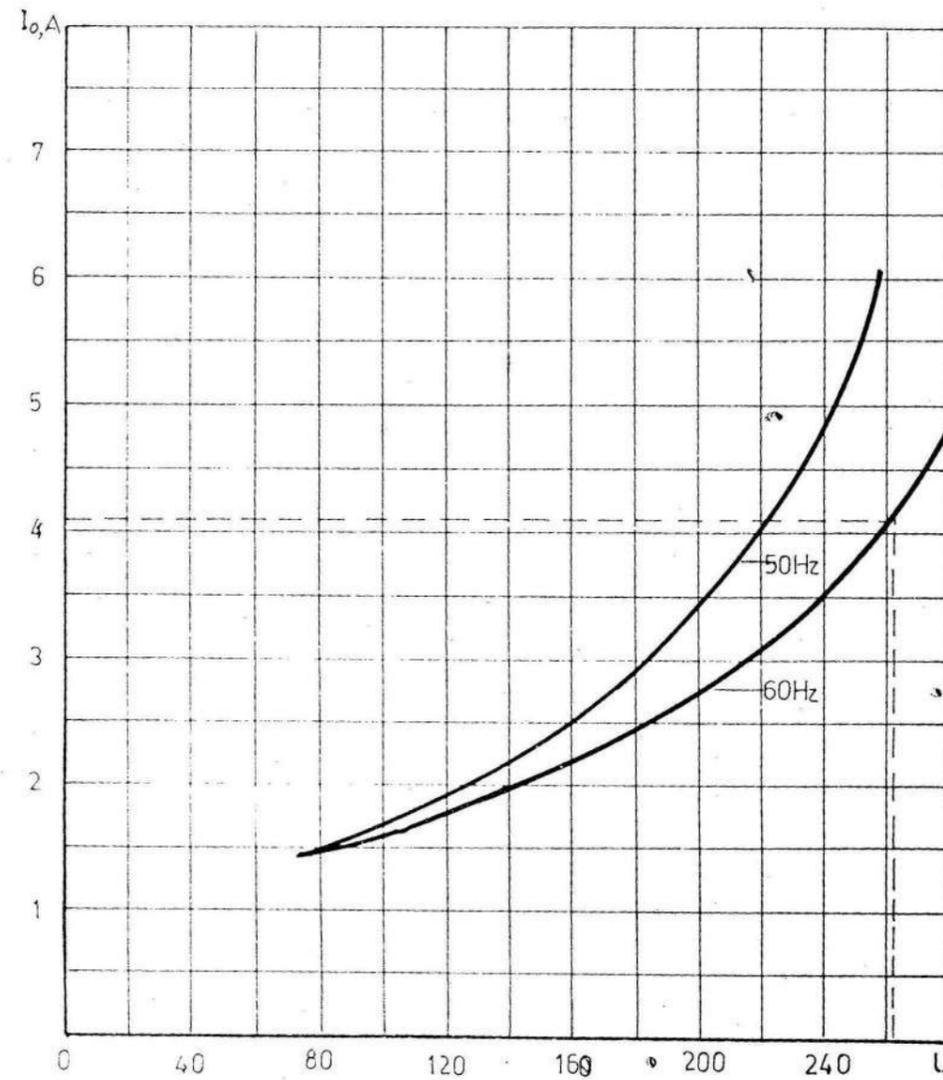


Fig. 3. Variación de la corriente de marcha al vacío del motor en función del voltaje de fase en redes de 50 y 60 Hz.

Las pérdidas de marcha al vacío  $P_0$  se determinan restando las pérdidas en el enrollado del estator de la potencia suministrada

$$P_0 = P - P_{\mu 0}$$

Están compuestas por dos partes que se diferencian una de la otra:

las pérdidas en el acero ( $P_{ac}$ ) por histéresis, las corrientes parásitas que dependen del voltaje, y las pérdidas mecánicas ( $P_m$ ) que dependen sólo de la velocidad de rotación constituidas a su vez por:

- a. Las pérdidas de fricción en los rodamientos.
- b. Las pérdidas de fricción del rotor con el aire, pérdidas en el ventilador, etcétera.

De esta manera a cada medición de las características de marcha al vacío corresponde una magnitud de las pérdidas  $P_0$  en el motor ensayado.

Se realizaron mediciones en una serie de ensayos con la misma velocidad de rotación, la cual depende sólo de la frecuencia de la red, por lo que las pérdidas mecánicas pueden tomarse como constantes para  $f = \text{const}$ , y varían sólo las pérdidas en el acero ( $P_{ac}$ ). De esta manera podemos separar las pérdidas de marcha al vacío en pérdidas mecánicas y pérdidas en el acero, considerando que el segmento dado por la intersección de la curva

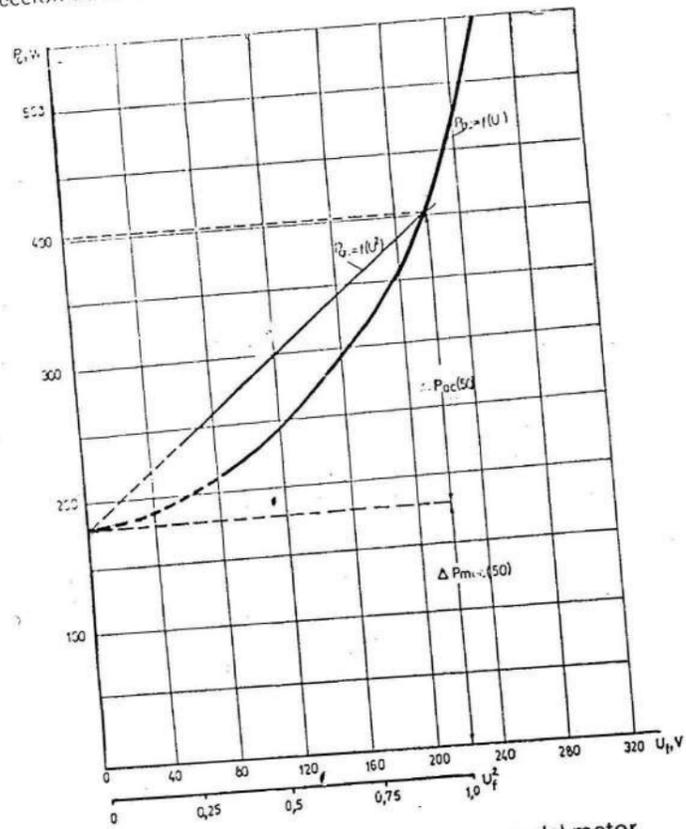


Fig. 4. Pérdidas mecánicas y en el acero del motor asincrónico en la red de 50 Hz.

$P_0 = f(U_f)$  con el eje de las ordenadas caracteriza el valor de las pérdidas mecánicas, que no dependen de la variación del voltaje y por lo tanto constituyen una recta paralela al eje de abscisas.

Los valores de las pérdidas en el acero en función del voltaje de determinan restandoles a las pérdidas mecánicas.

La variación de las pérdidas de marcha al vacío en función del voltaje de fase, y la separación de ella en pérdidas de acero y mecánicas para el motor ensayado en la red de 50 y 60 Hz, se muestran en las Figuras 4 y 5.

La construcción del gráfico de variación de las pérdidas en función de  $U_f$  presenta dificultades en la región de los voltajes muy bajos. Para encontrar el punto de intersección de la curva  $P_0 = f(U_f)$  fue necesario construir la figura adicional que representa la dependencia de las pérdidas de marcha al vacío en función del cuadrado del voltaje  $P_0 = f(U_f^2)$ . Gracias a esto los puntos de la dependencia  $P_0 = f(U_f)$  tomados para valores del voltaje muy bajos resultan situados muy cerca del eje de las ordenadas. Esto es posible realizarlo debido a que las pérdidas en el acero pueden considerarse proporcionales al cuadrado del voltaje en la zona de baja saturación del sistema magnético del motor asincrónico. Los puntos se sitúan muy bien en una recta cuya extrapolación hasta la intersección con el eje de las ordenadas corta en ella el segmento equivalente a las pérdidas mecánicas con una exactitud práctica aceptable.

Como se muestra en las Figuras 4 y 5 las pérdidas de marcha al vacío del motor se incrementan considerablemente con la variación de la frecuencia de 50 a 60 Hz, principalmente a consecuencia del aumento en las pérdidas mecánicas que, a su vez, se incrementan como consecuencia del aumento de la velocidad de rotación del motor.

Las pérdidas en el acero para un mismo voltaje disminuyen para la frecuencia de 60 Hz, pero son mayores en un 10-15% para la frecuencia de 60 Hz y el voltaje lineal de 440 V (voltaje de fase de 264 V), con respecto a las pérdidas de acero de este mismo motor en la red de 50 Hz y el voltaje lineal de 380 V (voltaje de fase 220 V).

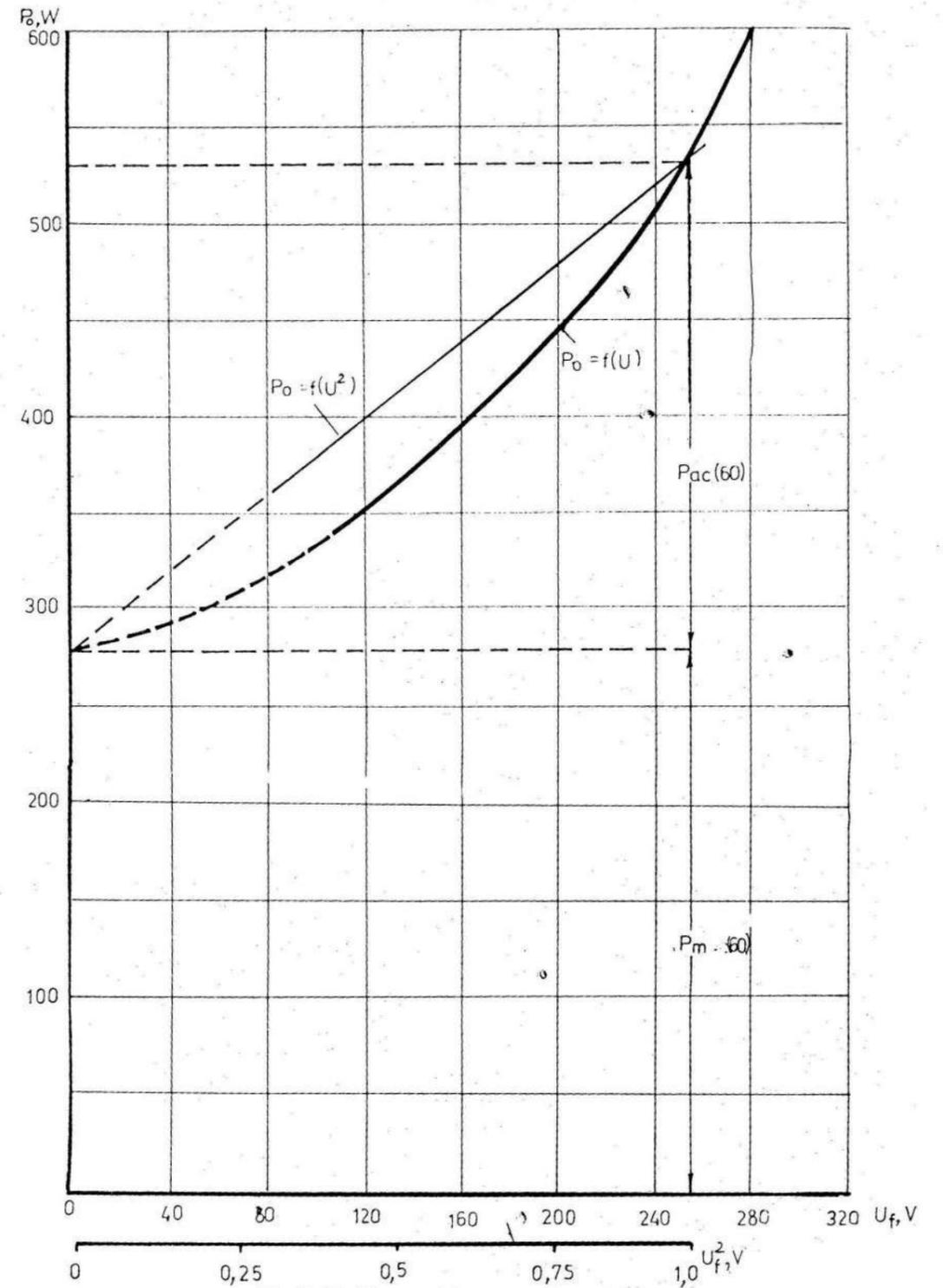


Fig. 5. Pérdidas mecánicas y en el acero del motor asincrónico en la red de 60 Hz.

El ensayo del motor en el régimen de cortocircuito se realizó con el rotor inmóvil, el voltaje de cortocircuito disminuido y las frecuencias de las redes de 50 y 60 Hz.

La resistencia en los enrollados del estator se midió con el amperímetro y voltímetro después de cada ensayo.

Los resultados se procesaron por la metodología siguiente:

El factor de potencia se determinó en forma análoga al ensayo del motor en el régimen al vacío por la fórmula:

$$\cos \varphi_{cc} = \frac{P_{cc}}{\sqrt{3} U_{cc} I_{cc}}$$

Teniendo en cuenta que los aparatos de medición se conectaron a los voltajes de fase, la potencia total (aparente) determinada por los aparatos de medición se determinó:

$$S = \sqrt{3} \cdot \sqrt{3} U_{cc} \cdot I_{cc} = 3 U_{cc} \cdot I_{cc}$$

La variación del  $\cos \varphi$  en función del voltaje está representada en la Figura 6 para las frecuencias de 50 y 60 Hz.

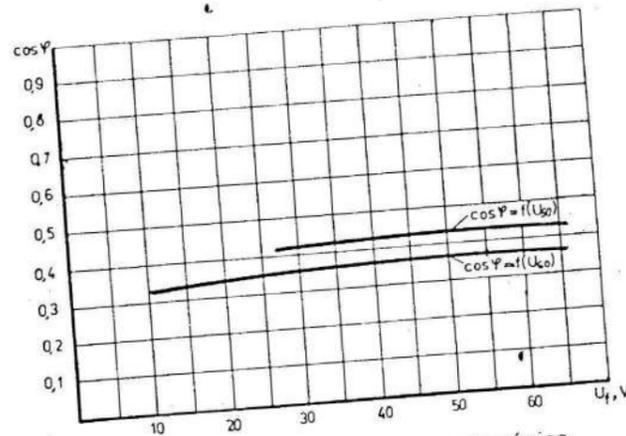


Fig. 6. Variación del  $\cos \varphi$  del motor asincrónico en el régimen de cortocircuito en redes con frecuencia de 50 y 60 Hz en función del voltaje.

Como se observa en el gráfico los valores de  $\cos \varphi$  dependen poco del voltaje aplicado, disminuyendo levemente con el descenso del voltaje. El  $\cos \varphi$  para la frecuencia de 60 Hz es menor en un 8-9 %, que para la frecuencia de 50 Hz.

Las pérdidas en el enrollado del estator  $P_{\mu 1}$  se calcularon en forma análoga a la realizada para el ensayo del motor en marcha al vacío por la fórmula:

$$P_{\mu 1} = 3 I_{cc}^2 R_{cc}$$

donde:

$R_{cc}$  - resistencia de una fase del estator con la temperatura en el momento de la medición tomada como un valor medio de las resistencias de tres enrollados

Las pérdidas en el enrollado del rotor se obtienen restando de la potencia suministrada de cortocircuito las pérdidas de potencia en el enrollado del estator  $P_{\mu 1}$ , y las pérdidas en el acero  $P_{ac}$ , tomadas del ensayo del motor en el régimen de marcha al vacío en correspondencia con el voltaje  $U_{cc}$ :

$$P_{\mu 2} = P_{cc} - P_{\mu 1} - P_{ac}$$

Los resultados del ensayo del motor en régimen de cortocircuito con el voltaje disminuido con respecto al voltaje nominal exigen un cálculo adicional, que permite determinar valores de la corriente y de la potencia de cortocircuito para el voltaje nominal aplicado.

La determinación de la corriente de cortocircuito para el voltaje nominal exige una corrección que toma en consideración la saturación del sistema magnético del motor, determinada por la dependencia afínea entre la corriente y el voltaje en la zona de bajos voltajes con respecto a la nominal, debido al carácter afínea de la resistencia inductiva y total. Estas resistencias varían muy bruscamente con la variación del voltaje en forma de hipérbolo.

La corrección consiste en que la corriente de cortocircuito  $I_{cc}$  se considera creciente linealmente por una tangente a partir del punto que caracteriza el voltaje de cortocircuito máximo alcanzado durante el ensayo del motor en el régimen de cortocircuito. Si esta tangente corta el eje de las abscisas en el punto  $U_{cc}^1$ , la determinación de la corriente de cortocircuito  $I_{ccn}$  para el voltaje nominal  $U_n$  se realiza por la expresión:

$$I_{ccn} = \frac{U_n - U_{cc}^1}{U_{cc} - U_{cc}^1} I_{cc}$$

donde:

$U_{cc}$  y  $I_{cc}$  - voltaje máximo y corriente durante el ensayo del motor en el régimen de cortocircuito

La determinación del valor  $U_{cc}^1$  para el motor asincrónico ensayado en la red, con frecuencia de 50 y 60 Hz, se muestra en la Figura 7, caracteriza

la dependencia de la corriente de cortocircuito  $I_{cc}$  del voltaje de cortocircuito  $U_{cc}$  en la zona no saturada del motor, o sea en la zona de bajos voltajes.

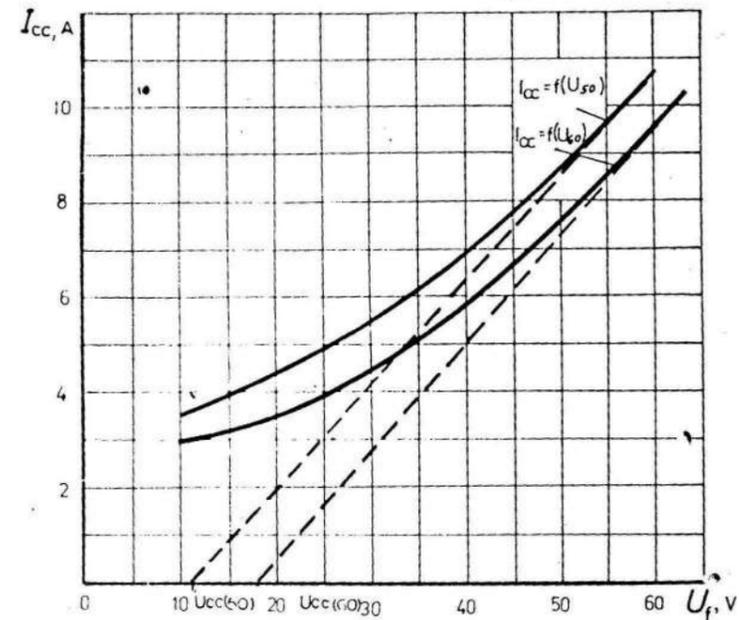


Fig. 7. Gráfico para la determinación del valor  $U_{cc}$  del motor asincrónico.

La dependencia de la corriente de cortocircuito calculada para el voltaje nominal del motor para la frecuencia de 50 Hz (recta 1), y 60 Hz (recta 2) en función del voltaje se muestra en la Figura 8. Como se muestra en el gráfico la corriente de cortocircuito disminuye con la variación de la frecuencia

de 50 a 60 Hz para un mismo voltaje aplicado, pero la variación conjunta de la frecuencia y del voltaje desde 380 hasta 440 V (voltaje lineal) o 220 hasta 264 V (voltaje de fase) provoca el incremento de la corriente de cortocircuito en un 9-10 %.

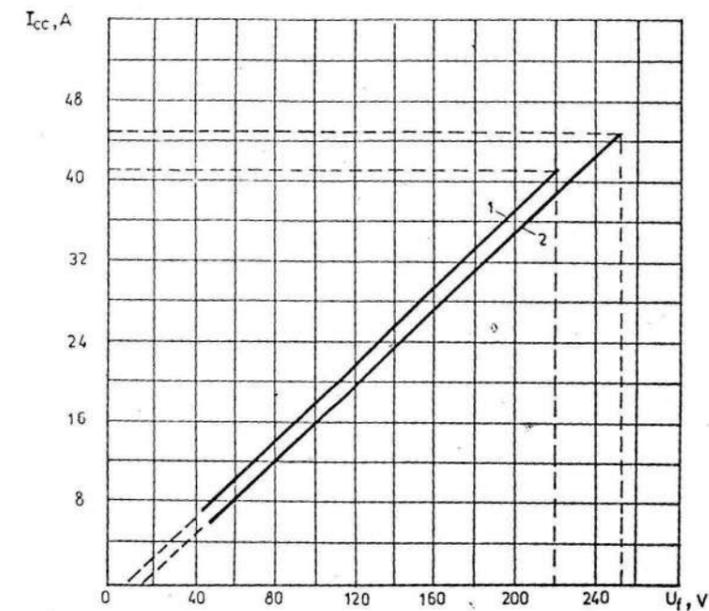


Fig. 8. Dependencia de la corriente de cortocircuito del voltaje de fase en la red de 50 y 60 Hz.

La potencia de cortocircuito determinada para el voltaje de cortocircuito disminuido se calcula para el voltaje nominal por la fórmula:

$$P_{ccn} = P_{cc} U_n U_{cc}^2$$

Las curvas de las pérdidas de potencia de cortocircuito, y las pérdidas en el rotor en función voltaje, se muestran en la Figura 9.

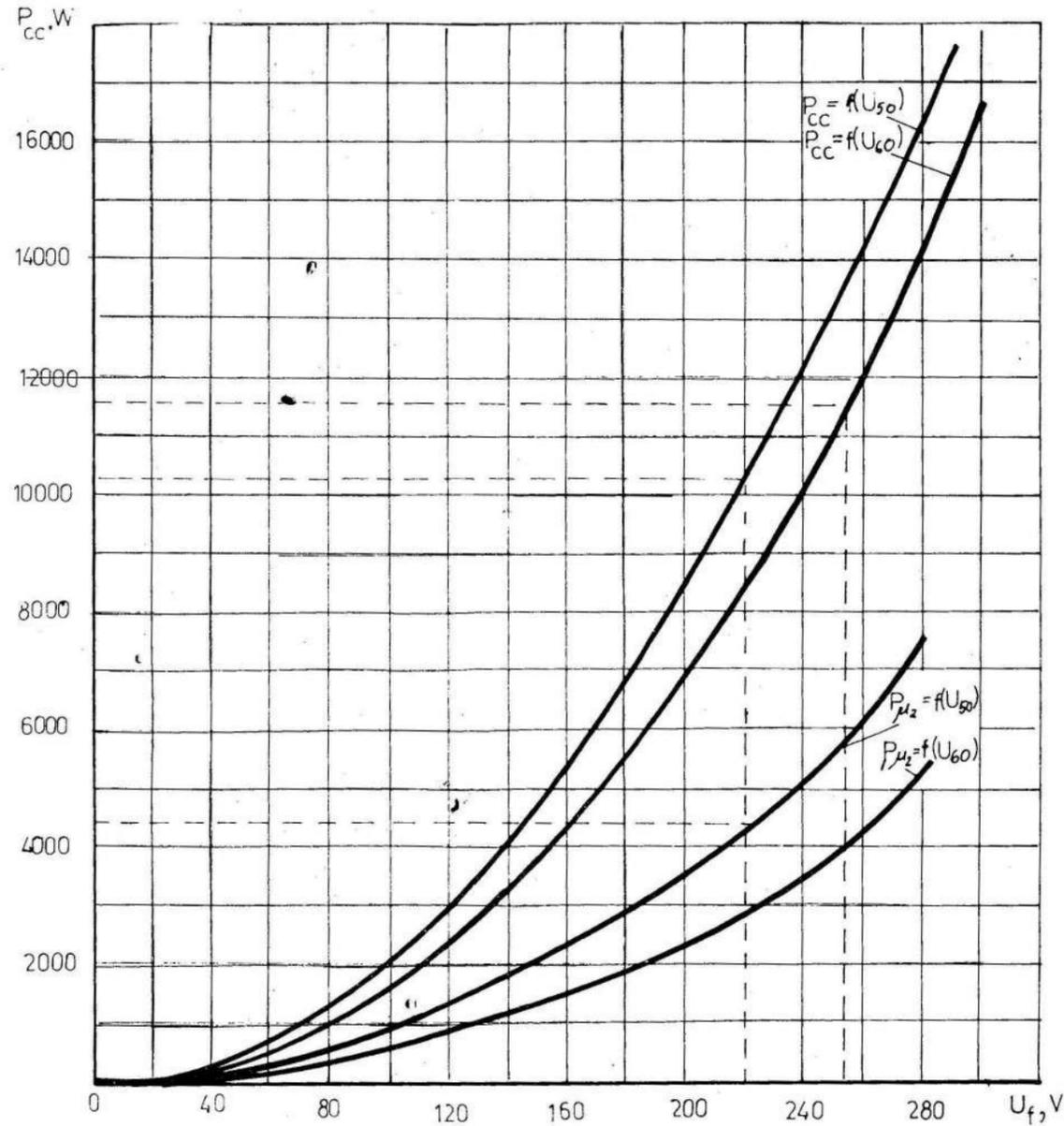


Fig. 9. Pérdidas de cortocircuito del motor asincrónico en las redes de 50 y 60 Hz

En los gráficos anteriores se observa que el aumento de la frecuencia de 50 hasta 60 Hz provoca la disminución de las pérdidas de cortocircuito, y de las pérdidas en el rotor para un mismo voltaje; pero el incremento simultáneo del voltaje desde 380 hasta 440 V o más (voltaje lineal) o desde 220 hasta 254 V (voltaje de fase) con la frecuencia de 50 a 60 Hz provoca el aumento de las pérdidas en un 9-10 %.

La resistencia total del cortocircuito se determinó con los datos de las mediciones por la fórmula:

$$Z_{cc} = U_{cc} / I_{cc}$$

Por cuanto la potencia de cortocircuito se gasta prácticamente en las pérdidas en los enrollados del estator y del rotor (el motor no realiza ningún trabajo útil), y se pueden despreciar pérdidas en el

acero ( $P_{acc} \approx 0$ ), entonces la resistencia activa de cortocircuito puede determinarse por la fórmula:

$$r_{cc} = P_{cc} / I_{cc}^2$$

Por lo tanto la resistencia inductiva puede ser determinada de la siguiente manera:

$$X_{cc} = \sqrt{Z_{cc}^2 - r_{cc}^2} = \sqrt{\left(\frac{U_{cc}}{I_{cc}}\right)^2 - \left(\frac{P_{cc}}{I_{cc}^2}\right)^2}$$

La variación de las resistencias de cortocircuito: activa ( $r_{cc}$ ), inductiva ( $X_{cc}$ ) y total ( $Z_{cc}$ ) se muestran en la Figura 10 para la frecuencia de 50 y 60 Hz.

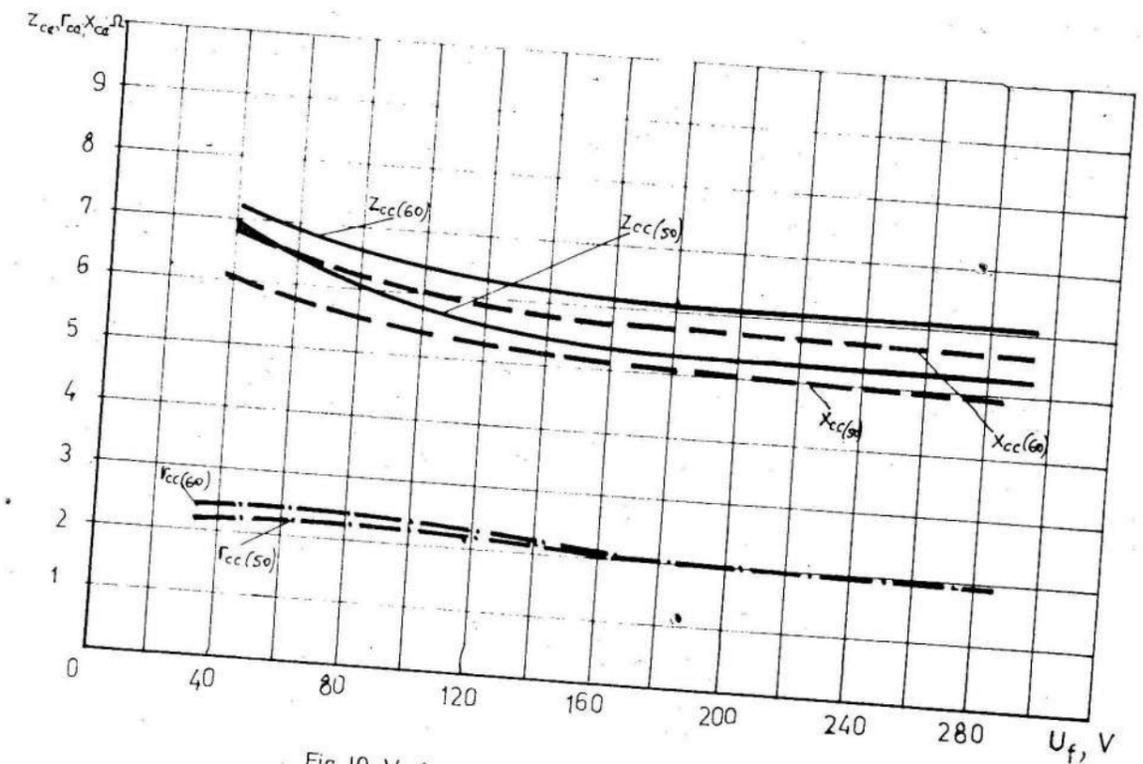


Fig. 10. Variación de las resistencias del motor en dependencia del voltaje de fase para frecuencias de 50 y 60 Hz.

La variación de la frecuencia de 50 a 60 Hz influye considerablemente en la variación de la resistencia inductiva y total, que se incrementa en más de un 12% con respecto a los valores correspondientes a la frecuencia de 50 Hz.

Al mismo tiempo la resistencia inductiva y total dependen, en gran medida, del voltaje aplicado en la zona de los bajos voltajes, o sea, en la zona no saturada del sistema magnético del motor.

La elevación del voltaje sobre los límites del voltaje nominal, o sea, sobre 380 V del voltaje lineal o 220 V del voltaje de fase no influye absolutamente sobre el valor de las resistencias del motor que se mantienen prácticamente constantes. Es decir, en esta zona el incremento de voltaje no provoca la disminución de la resistencia.

Las pérdidas de cortocircuito en el enrollado del rotor son proporcionales al momento de rotación desarrollado por el mismo, y se pueden expresar en unidades mecánicas por la fórmula:

$$M_{cc} = 162,3 \frac{pP_{\mu^2}}{f} \text{ Nm}$$

donde:

$P_{\mu^2}$  - pérdidas de potencia en el rotor del motor, expresadas en kW

El momento de arranque  $M_{cc}$  puede determinarse por la fórmula:

$$M_{cc.n} \left( \frac{I_{cc.n}}{I_{cc}} \right)^2 M_{cc}$$

La variación del momento rotatorio del motor en dependencia del voltaje de fase de la red para las frecuencias de 50 y 60 Hz se muestra en la Figura 11.

Como se observa en la Figura 11 el momento rotatorio del motor disminuye considerablemente con el aumento de la frecuencia. La variación de la frecuencia desde 50 hasta 60 Hz, o sea en un 20% para un mismo voltaje lineal o de fase, provoca la disminución del momento rotatorio desarrollado por el motor en un 35%. El incremento simultáneo del voltaje de la red hasta 440 V del voltaje lineal (o sea 254 V del voltaje de fase) incrementa el momento rotatorio. Sin embargo, en comparación con el momento desarrollado por el motor en la red de 50 Hz y voltaje nominal  $U_L = 380 \text{ V}$  (o  $U_f = 220 \text{ V}$ ), en las nuevas condiciones el momento será menor para la frecuencia de 60 Hz y el voltaje  $U_L = 440 \text{ V}$  ( $U_f = 264 \text{ V}$ ) en un 14%.

Al mismo tiempo la corriente de arranque aumenta en 6-7% en comparación con la corriente de arranque correspondiente a los parámetros nominales de la red.

En conclusión, la variación de la frecuencia de 50 a 60 Hz en el régimen de marcha al vacío disminuye el factor de potencia, aumenta las pérdidas en el acero y la corriente de marcha al vacío.

En el régimen de cortocircuito también disminuye el factor de potencia, y las pérdidas en el cobre de cortocircuito disminuyeron para un mismo voltaje, pero son mayores cuando se aumenta el voltaje de 380 a 440 V.

Las resistencias totales e inductivas prácticamente no varían con el incremento del voltaje en la zona de los voltajes de explotación, y aumentan con el incremento de la frecuencia.

El momento rotatorio del motor ensayado disminuye considerablemente cuando se incrementa la frecuencia de 50 a 60 Hz, e incluso cuando simultáneamente se aumenta el voltaje.

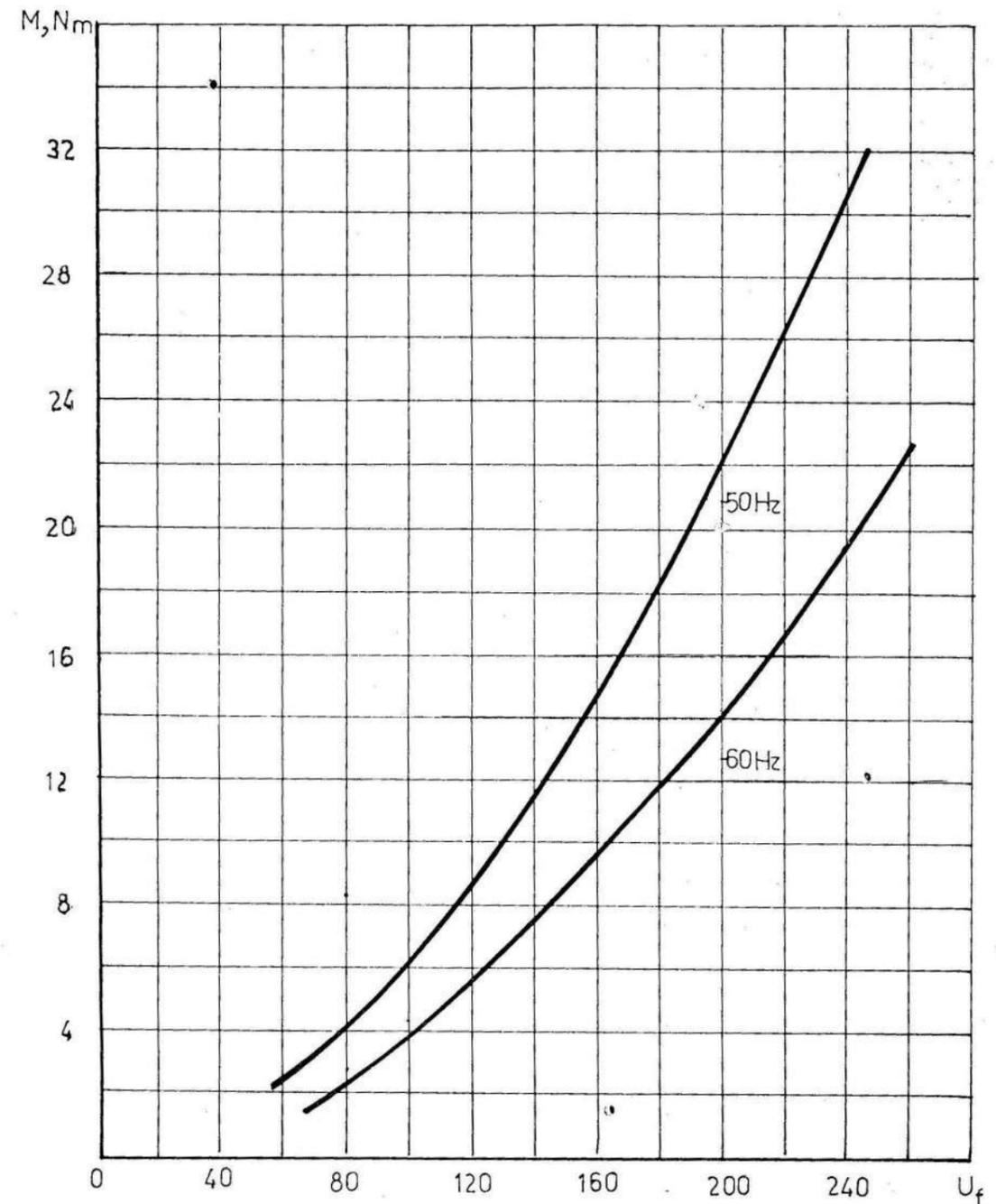


Fig. 11. Variación del momento de rotación del motor del voltaje de fase para frecuencias de 50 y 60 Hz.

CDU : 528.42/482 : 624.131.542 (729.16)

## REFERENCIAS

1. MALIUK, S. y R. PEREZ : " Sobre el ahorro de energía eléctrica mediante la racionalización del servicio energético de empresas de producción". Revista Minería y Geología no. 1, 1983.
2. SIROMIATRIKOV, I. : Regímenes de trabajo de los motores eléctricos asincrónicos y sincrónicos. Gosenergoizdat, Moscú, Leningrado, 1963 (en ruso).

## RESULTADOS DE LAS INVESTIGACIONES DE LA ESTABILIDAD DE LOS PUNTOS DE APOYO EN EL AREA DE CONSTRUCCION DE LA FABRICA DE PUNTA GORDA

Ing. Guennadi Andreevich Golovin  
Consultante del Departamento de Explotación de Yacimientos Minerales  
Facultad de Minería del ISMMMoA

Ing. Juan F. Yolí Mateos  
Instructor del Departamento de Explotación de Yacimientos Minerales.  
Facultad de Minería del ISMMMoA

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación es establecer las posibilidades de utilización de los puntos de apoyo en la determinación de asentamientos de los cimientos de los objetos de obras que se construyen en la fábrica de Punta Gorda.

Se exponen las exigencias fundamentales que presenta la creación de la red de nivelación en el área de construcción, la metodología de nivelación y elaboración de los resultados de las mediciones de campo.

Se recomienda determinar la estabilidad de los puntos de apoyo por el método basado en el principio de la cota media invariable de uno de los puntos de apoyo más estables del sistema.

## ABSTRACT

This work is intended to establish the possibility of using the support points, in the determination of the slump of different facilities, that are being built in the Punta Gorda plant.

The work also, exposes the fundamental requirements for the creation of the construction area grading net, the grading methodology, as well as elaboration of the results of the field measurements.

The support points' stability is recommended to be determined by the method based on the invariable medium elevation of one of the most stable support points of the system.

La fábrica que se construye en Punta Gorda es un complejo de obras ingenieriles, en cuyos cimientos se montan las instalaciones que sirven para garantizar el proceso tecnológico para la obtención del concentrado de níquel.

Para determinar el estado de los cimientos, tanto en el período de construcción como en el de explotación es necesario realizar observaciones de ingeniería, teniendo en cuenta, primero, que algunas obras se realizan sobre suelos inestables que tendrán asentamientos; segundo, que algunas instalaciones en el proceso de explotación no aguantan las inclinaciones y encorvaduras, y tercero, para la determinación de los posibles asentamientos provocados por otras causas no previstas en el proyecto.

Para las observaciones de los asentamientos y elevaciones de los cimientos de los objetos que se construyen, en el territorio de la fábrica fue creada una red de puntos de apoyo (Fig. 1). La exigencia fundamental para los puntos de apoyo es la conservación e invariabilidad de sus posiciones durante todo el tiempo de las observaciones.

En la plataforma de construcción de la fábrica, la red de apoyo altimétrica se conserva con los puntos de apoyo subterráneos que son pilotes de hormigón armado, cuya parte superior tiene la forma mostrada en la Figura 2.

Fueron construidos 12 pilotes de los cuales el V y el VI fueron instalados a la profundidad de 17 m; los demás a 5 m. Los puntos de apoyo V y VI se pueden catalogar como condicionalmente profundos ya que prácticamente sus extremos se colocan en los suelos incompresibles y estos pueden suponerse como de posición invariable.

La medición de las elevaciones entre los puntos de apoyo se ha realizado con la nivelación de segundo orden de acuerdo con la instrucción [1] en dos direcciones con la posición de las miras en los "sapos" especiales de nivelación. Para el trabajo se ha utilizado un nivel de exactitud superior con compensador NI007 producido por la firma Karl Zeiss Jena de la RDA y dos miras de nivelación de tres metros con cinta de invar y un nivel esférico de producción de la misma firma.