

Ahorro de energia electrica en motores

MFN -0717

N CHAMADA:

TITULO: Ahorro de energia electrica en motores

AUTOR(ES): ARTAL, C.REINOSO, E.

EDICAO:

IDIOMA: espanhol

ASSUNTO:

TIPO: Congresso

EVENTO: Congresso Anual da ABCP, 16

PROMOTOR: ABTCP

CIDADE: São Paulo

DATA: 21-26.11.1983

IMPRESSÃO: Sao Paulo, 1983, ABTCP

PAG/VOLUME: p.831-845, v.3

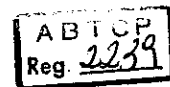
FONTE: Congresso Anual da ABCP, 16, 1983, São Paulo, v.3,
p.831-845

AUTOR ENTIDADE:

DESCRIPTOR:

RESUMO:

AHORRO DE ENERGIA ELECTRICA
EN MOTORES



Artal, C.; Reinoso, E.

Empresa Nacional de Celulosas, S.A., Madrid, España

O. INTRODUCCION

Cuando se habla de ahorro energético en general se piensa más en un ahorro o sustitución de combustibles, es menos frecuente asociarlo con una disminución del consumo de energía eléctrica, al menos casi la totalidad de los artículos y trabajos dedicados al ahorro energético en la industria de la pasta y el papel, se dedican en su mayoría al tema de los combustibles.

Se considera que la industria de la pasta y el papel debe plantearse el objetivo de que en este campo de la energía eléctrica no sólo es posible, sino también necesario emprender una acción similar a la realizada con los combustibles.

Para centrar la importancia del problema se puede indicar que en Suecia, el sector de pastas y papel consumió más de la tercera parte de la energía eléctrica consumida por la totalidad de la industria.

1. RAZONES PARA AHORRAR ENERGIA ELECTRICA

En tanto que en el ahorro o sustitución de combustible se han conseguido grandes logros no se puede decir lo mismo respecto a la energía eléctrica.

En concreto en la industria sueca de pasta y papel, según un informe de la Asociación Nacional entre los años 1973 y 1980, el consumo de combustibles disminuyó en un 1%, no obstante haberse aumentado la producción de papel en 1,1 Millones de toneladas. Las necesidades de fuel-oil disminuyeron en ese mismo período en 300.000 m³, lo que representó un 17%.

Por el contrario el consumo total de energía eléctrica se incrementó de 12,2 TWh a 13,8 TWh, es decir un 13%.

Trabajo presentado al III Congreso Latino-Americano de Celulosa y Papel - celebrado en Sao Paulo - Brasil, del 21 al 26 de Noviembre de 1983.

El consumo de fuel-oil para autogenerar energía eléctrica en el mismo período indicado aumentó en 70.000 m³.

Las causas que se aducen para este mayor consumo de energía eléctrica son:

- Mayor producción de papel
- Mayor proporción de pasta mecánica
- Mayor consumo para ahorrar combustible y no haber emprendido una campaña intensiva de ahorro de energía eléctrica.

En concreto, según el mismo informe, desde 1973 - el consumo específico de fuel-oil para la pasta química - de mercado disminuyó en un 42%, mientras que la energía eléctrica se incrementó en un 8%. Para el papel la disminución del fuel-oil fue de un 15% y para la energía eléctrica de un 1%.

Según un informe de la Federación Británica de la industria del papel y cartón de Julio de 1982, aunque la energía eléctrica comprada, expresada en kilocalorías, representó el 11% del consumo total energético, su importe fue del 31% del coste total energético.

En este mismo informe se indica que en el año -- 1975 la energía eléctrica autogenerada respecto al consumo total era del 59%, en 1981 esa misma proporción representaba el 34%.

En la tabla nº 1, figura el consumo de fuel-oil y gas en miles de T.E.P., el carbón en miles de toneladas y la energía eléctrica consumida en GWh (suma de comprada y autoproducida). Si se observa desde 1973 a 1980 se ha producido un descenso del consumo de fuel y gas del orden de un 13%, en carbón del 18%. En cambio en energía eléctrica hubo un aumento del casi 10%. En el año 1981 hubo un fuerte descenso de producción en la industria británica y no se ha considerado.

TABLA N° I

CONSUMO DE ENERGIA EN LA INDUSTRIA DE LA PASTA, PAPEL
Y CARTON EN GRAN BRETAÑA

Años	Fuel - Oil más Gas en 10 ³ TEP	Carbón 10 ³ toneladas carbón	Energía Eléctrica GWh
1973	1.538	1.273	4.194
1974	1.530	1.153	4.177
1975	1.417	1.000	4.301
1976	1.678	1.068	4.282
1977	1.569	1.012	4.149
1978	1.582	1.007	4.800
1979	1.491	1.000	4.696
1980	1.339	922	4.600
1981	1.087	720	3.442

La energía eléctrica comprada en la industria británica por este sector representó el 5,36% del total - de costes de fabricación, esta cifra no es extrapolable - a otros países, puesto que la producción de pastas en el Reino Unido es relativamente baja.

En la Empresa Nacional de Celulosas entre el año - 1982 y 1980 se incrementó la producción de pasta en un -- 1,1%. Mientras que la disminución del consumo de fuel-oil fue del 26%, la energía eléctrica prácticamente no sufrió modificación.

Por otra parte los ahorros energéticos llevados a cabo en el sector de pastas y papel se han traducido en - una menor producción de vapor, lo que da origen a que la relación:

$$\frac{\text{energía consumida en forma de energía eléctrica}}{\text{energía calorífica en forma de vapor}}$$

ambas expresadas en el mismo tipo de unidades, aumenta -- por disminución del denominador como ya se ha indicado, - y por aumento del numerador ya que esos ahorros se consiguen en parte por mayores recirculaciones.

Esta relación para algunos productos del sector de pasta y papel se indica en la tabla n° II:

TABLA N° IIENERGIA ELECTRICA
ENERGIA TERMICA (VAPOR)

- Pasta al sulfato cruda fibra larga	0,16
- Pasta al sulfato blanqueada de eucalipto	0,18
- Papel impresión y escritura	0,45
- Papel impresión y pasta al sulfato	0,30

y van aumentando continuamente como se ha mencionado.

Si se tiene en cuenta que las condiciones de trabajo de los grupos turbo-alternadores de contrapresión -- son las reflejadas en el gráfico n° 1, se observa que las fábricas de papel sin integrar, nunca podrían autoproducir toda la energía eléctrica que requieren y difícilmente podrán conseguirlo las fábricas de papel integradas -- con pasta química. Las fábricas de pasta en teoría pueden abastecerse de la totalidad de la energía eléctrica. Sin embargo, al incrementarse el valor de la relación, tal como se ha señalado anteriormente, puede llegarse al punto en que la energía autogenerada no sea suficiente para cubrir sus necesidades.

Esto explica lo indicado anteriormente para la industria británica que cada año compra un porcentaje mayor de su consumo.

En consecuencia, la energía eléctrica adicional -- o debe ser comprada del exterior o bien generada por medio de condensación en la turbina correspondiente. Ambos sistemas son caros.

Todo lo anterior lleva al planteamiento de la necesidad de proponerse seriamente el tema de ahorro de -- energía eléctrica.

2. ¿POR QUE NO SE HA AHORRADO ENERGIA ELECTRICA?

En realidad se puede preguntar por qué no se ha -- trabajado en este tema tanto como en el ahorro o sustitución de combustibles, aunque algunos fabricantes de pasta y papel, probablemente los más competitivos, ya han comenzado a actuar. Hay varias razones que se podrían denominar económicas:

- a) Muchos fabricantes de pasta y papel son autoprodu--
uctores de energía eléctrica y en ocasiones auto
suficientes o con poca compra de energía eléctri--
ca. En el caso de ser autoproducidos no se ha --
planteado la posibilidad de vender energía eléc--
trica.

- b) La subida del precio de la energía eléctrica, aún en el caso de compra, no ha sufrido alzas tan bruscas como el petróleo.

Entre las razones técnicas hay que señalar que en general son más difíciles de detectar los posibles ahorros de energía eléctrica. Efectivamente si una válvula - fuga, si un purgador va mal, una tubería no tiene calorifugado, el humo de una caldera no es el adecuado, etc., - todo ello es fácilmente perceptible. En cambio si un equipo trabaja con un bajo rendimiento eléctrica es más difícil de detectar.

3. ¿ES BAJO EL RENDIMIENTO ELECTRICO DE LOS EQUIPOS?

En general la respuesta es afirmativa basándose en los siguientes hechos, entre otros:

- a) En las fábricas de construcción no reciente el rendimiento de los motores eléctricos se valoraba poco frente a otras características: precio, robustez, fiabilidad, etc. No se construían motores eléctricos diseñados especialmente para conseguir un elevado rendimiento.
- b) En muchas ocasiones se sobredimensionaba un equipo con diferentes coeficientes de seguridad de cálculo y además a veces se acoplaba un motor distinto del óptimo, - siempre mayor, con el criterio de uniformizar los motores de una fábrica para obtener un mejor precio de compra, menores repuestos y una total seguridad de marcha. En consecuencia los motores trabajan fuera de la zona - de alto rendimiento.
- c) A veces previendo futuras ampliaciones, que tal vez no se hayan llevado a cabo, se instalaba un equipo ya dimensionado para la ampliación y que en la actualidad - trabaja muy lejano a su punto óptimo.

4. METODOS PARA AHORRAR ENERGIA ELECTRICA

Un alto porcentaje de la energía eléctrica consumida en la mayoría de las fábricas de pasta y papel, se excluyen aquellas en que puedan existir obtención de productos químicos tales como cloro, clorato sódico, etc., tiene lugar en los motores de accionamiento de los equipos. - Existe un cierto consumo en alumbrado, que es muy inferior en volumen al de los motores, aunque también hay nuevos métodos de iluminación que con la misma intensidad luminosa, tienen un bajo consumo, son las denominadas lámparas de alto rendimiento, si bien no es objeto de esta conferencia.

También un diseño adecuado de una nueva fábrica o soluciones tales como el blanqueo por desplazamiento, per

mite disminuir de una forma importante los consumos de -- energía eléctrica.

Pero ahora se trata, principalmente, de conside-- rar el ahorro en fábricas existentes.

Por ello se va a centrar la atención en los consu-- mos que tienen lugar en los motores eléctricos. Existen -- dos grupos claramente diferenciados según el tipo de equi-- po acoplado:

Grupo A:

- Equipos que al variar la carga de trabajo si se -- modifica su velocidad de funcionamiento, el rendi-- miento se mantiene cerca del óptimo.

Grupo B:

- Equipo que al cambiar la carga de trabajo no mejo-- ra su rendimiento porque se varíe su velocidad.

En el primer caso se tiene las bombas y los venti-- ladores, que ocupan la parte más importante, entre el -- 50-70% del consumo total en este tipo de fábricas.

En el segundo grupo se encuentran cintas, prensas, máquinas herramientas, etc.

4.1 Grupo A

En cuanto a los equipos de bombeo, por la alta -- participación que tienen en el consumo de energía eléc-- trica, se quieren hacer las siguientes consideraciones:

- Actualmente se fabrican bombas con rendimientos -- del 90% frente a un 75% como muy alto para hace -- unos años. Para una bomba de tamaño medio, caudal 100 m³/h y altura de descarga 20 m la diferencia-- de consumo entre un rendimiento del 85% y 65% pa-- ra 7.000 horas/año de funcionamiento supone --- 13.800 kWh/año.
- Un análisis de las condiciones de trabajo de las bombas, iniciándose lógicamente por las de mayor potencia, pueden dar resultados muy rentables. En muchos casos no será preciso cambiar la bomba, si no simplemente adaptar el rodete a las condicio-- nes reales de funcionamiento, que posiblemente se hayan modificado en el tiempo transcurrido desde-- el momento en que se especificó la bomba.
- Todo ésto es especialmente indicado cuando por ra-- zones de mantenimiento se debe reponer una bomba.

Se quiere primeramente analizar la influencia de la variación de velocidad en el accionamiento de bombas por medio de motores de velocidad variable. Por ello en el gráfico nº 2 se han reflejado las curvas características para distintas velocidades de una bomba centrífuga.

A dichas curvas de características de la bomba para distintas velocidades de funcionamiento, se les ha superpuesto la curva de pérdida de carga de una tubería, -- que refleja la variación de la misma para distintos caudales. Se puede observar que se aproxima bastante a los máximos rendimientos de las curvas de funcionamiento para distintas velocidades.

El ajuste del caudal requerido se puede hacer moviéndose en una curva de velocidad constante y aumentando artificialmente la pérdida de carga por medio de una válvula o bien modificando la velocidad de funcionamiento de la bomba, moviéndose a lo largo de la curva de características de la tubería.

En el primer caso se despilfarra una energía ya -- que aparte de crear una pérdida de carga adicional, la -- bomba trabaja en zona de peores rendimientos.

Teniendo en cuenta que una bomba generalmente se especifica para las condiciones de máxima presión y caudal, que coinciden normalmente con el máximo rendimiento, y no siempre se trabaja en dichas condiciones, es preciso una regulación frecuente por medio de una válvula de control, con el consiguiente despilfarro energético, o bien por variación de la velocidad.

Seguidamente se analiza para las curvas características anteriormente indicadas, lo que supone pasar de un caudal de 1.550 m³/h (punto A) a otro de 1.100 m³/h. En el caso de velocidad fija, 1.450 r.p.m., se deberá aumentar artificialmente la pérdida de carga por estrangulamiento de la correspondiente válvula (punto B). La otra posibilidad es reducir la velocidad de funcionamiento de 1.100 r.p.m. (punto C). La diferencia de potencia absorbida, se refleja en las curvas de la parte inferior, es del orden de 100 kW, que para unas 6.000 horas/año como media supone 600.000 kWh/año.

Ciertamente esta es una bomba grande, pero en las fábricas de pasta y papel existen bombas de estos tamaños.

Los razonamientos utilizados para las bombas es totalmente extrapolable a los ventiladores.

Todo ello muestra la conveniencia de regular los caudales de bombas y ventiladores por modificación de la velocidad de funcionamiento, en vez de actuar creando una pérdida de carga artificial.

Sistemas de variación de velocidad de motores

A continuación se indican los principales sistemas que permiten obtener una variación de velocidad en los motores. Dentro de estos sistemas se encuentran -- principalmente:

- Motor de corriente continua
- Motor de corriente alterna y convertidor de frecuencia
- Motor de anillos rozantes y convertidor de cascada
- Variador de velocidad electromagnético

A continuación se analizan brevemente cada uno de ellos:

a) Motor de corriente continua (gráfico nº 3)

- Es bastante conocido en la industria de la pasta y el papel.
- La velocidad del motor varía modificando la tensión de alimentación del inducido o la excitación. En el primer caso se mantiene constante el par y en el segundo la potencia.
- Es preciso un motor especial, corriente continua y un rectificador de corriente.
- La electrónica ha simplificado el equipo de rectificación.
- La variación de la velocidad es muy amplia.
- Tiene el inconveniente del motor de corriente continua de un mayor mantenimiento, y su ventaja de arranque suave por constante y buena regulación.

b) Motor de corriente alterna y convertidor de frecuencia (gráfico nº 4)

- Consiste en regular la velocidad modificando la frecuencia.
- Aunque la filosofía del sistema era conocida, actualmente la electrónica ha facilitado los equipos para variación de la frecuencia.
- Son aplicables a motores de jaula de ardilla, es decir a motores normalizados y existentes.

- En el supuesto de que se estropee el sistema de modificación de frecuencia puede conectarse directamente a la red.
 - Hay numerosos sistemas para conseguir la modificación de la frecuencia. Uno de ellos es el siguiente: la tensión trifásica de la red es rectificada y convertida en continua, cuya magnitud se puede regular. A continuación esta tensión continua regulada es aplicada a un inversor, obteniéndose un sistema trifásico de tensiones de magnitud y frecuencia variables que alimenta al motor.
 - Si la regulación se debe efectuar a par motor constante es obligado variar simultáneamente y en el mismo sentido la frecuencia y la tensión.
- c) Motor de anillos rozantes y convertidor en cascada - (gráfico nº 5)
- En este tipo de motores se regula la velocidad en función del deslizamiento y para ello se ponen en serie con el rotor una resistencia variable que produce un aumento del deslizamiento y una disminución de velocidad. Sin embargo ésto da origen a una disipación de energía por efecto Joule.
 - Actualmente esa energía rotórica que antes se disipaba se recupera en su mayor parte, para ello es preciso primeramente rectificar la corriente, por medio de un rectificador conectado a los anillos rozantes, filtrarla a través de una inductancia y devuelta a la red por un ondulator. En ocasiones es preciso prever un transformador a la salida del ondulator para ajustar la tensión a la red.
 - Sólo es aplicable a motores de rotor bobinado y anillos rozantes.
 - La variación de velocidad no es muy amplia.
- d) Variador de velocidad electromagnético (gráfico nº 6)
- El par de giro es creado por corriente de Foucault inducidas.
 - El rotor accionado por el motor asíncrono va recubierto de una capa de cobre.
 - La bobina de inducción crea un campo magnético que atraviesa los dos rotores.
 - La superficie del rotor de accionamiento es atravesada por una inducción máxima, frente a un diente

y mínima frente al valle.

- La variación del flujo crea corrientes de Foucault en el rotor de accionamiento que se opone a la causa que las provoca, es decir transmiten al rotor - accionado un par que tiende a anular la velocidad relativa entre ambos rotores.
- La regulación se efectúa por medio de la intensidad del campo magnético (es decir la intensidad de la corriente de la bobina).
- La potencia perdida oscila entre el 2% y el 15%.

4.2 Grupo B

Sistemas acoplados a equipos que no mejoran su rendimiento por disminución de velocidad

Este caso corresponde a aquellos equipos que están continuamente en marcha pero que con bastante frecuencia están lejos de su potencia nominal, tal como pueden ser motores acoplados a prensas que se trabaje en discontinuo. Si se recuerdan las curvas características de respuesta de un motor de inducción reflejado en el gráfico nº 7, se observa que a cargas parciales por debajo del 50% de la intensidad nominal, caen apreciablemente tanto el rendimiento como el factor de potencia.

En vacío por el rotor circula poca intensidad, en cambio el estator absorbe de la red la correspondiente intensidad activa más la asociada a las pérdidas por histeresis y corriente de Foucault en el núcleo. La potencia absorbida es del orden del 20% de la nominal.

En el gráfico nº 8 se refleja el comportamiento del motor de inducción en vacío para variaciones de la tensión. Se observa que si se disminuye dicha tensión se reduce la potencia absorbida, la intensidad y al mismo tiempo que se mejora el factor de potencia.

En la actualidad existen equipos en el mercado que permiten esta reducción de la tensión de alimentación. La regulación se efectúa por medio de medición de la carga del motor en tiempo real, ajustando la tensión de alimentación a un valor adecuado, optimizando simultáneamente el rendimiento y el factor de potencia. El gráfico nº 9 muestra de una manera esquemática como se efectúa la reducción de la tensión de alimentación.

Existiendo la doble ventaja de disminuir tanto la potencia como la energía reactiva consumida.

Incluso existen algunos de estos dispositivos que cuando la potencia absorbida es inferior al 50% de la -

nominal, se desconecta automáticamente una de las fases, por lo que dicha potencia disminuye de $\sqrt{3} U.I \cos \psi$ a $U.I. \cos \psi$.

4.3 Elección del sistema más idóneo

Varios son los factores que pueden influir en la elección de los sistemas indicados:

1) Situación eléctrica de la fábrica

Efectivamente es muy distinto que la fábrica en cuestión compre o no un alto porcentaje de la energía eléctrica consumida o que incluso exporte energía eléctrica. En el caso de que compre energía eléctrica el precio del kWh adquirido, normalmente es muy superior al precio que le pagarían a esa hipotética fábrica por el kWh exportado. Lo cual influye notablemente en la rentabilidad de la inversión.

2) Tipo de equipo a que está acoplado

Se refiere a si ese equipo mejora o no su rendimiento con la modificación de la velocidad de accionamiento.

3) Variación de velocidad de accionamiento

Dentro de estos casos, fundamentalmente bombas y ventiladores, los parámetros a tener en cuenta a su vez son:

a) Potencia del equipo. Para pequeñas potencias estas instalaciones no son muy rentables, por supuesto depende del precio de la energía eléctrica. Se señala de una manera arbitraria que estos sistemas deben estudiarse para potencias superiores a 100 C.V., debido a lo elevado de las inversiones.

De los sistemas expuestos para menores potencias los más rentables suelen ser la variación de frecuencia y el electromagnético y para las altas potencias las otras dos.

b) Margen de regulación. Es decir el campo de variación de la velocidad.

c) Existencia o no del equipo. Se refiere a si por ejemplo se tiene que acoplar el sistema a un equipo existente. O bien se dispone de un motor de corriente continua o anillos rozantes.

d) Ambiente en que se desarrolla el trabajo del motor, en ocasiones por las condiciones del lugar -

es preciso disponer de motores de jaula de ardilla.

e) Finalmente como opinión de los expertos parece -- que la tendencia en este campo es la de aplicar -- el sistema de modificación de frecuencias.

4) Equipos que no mejoran su rendimiento con la velocidad

En general estos equipos pueden aplicarse a motores de baja potencia desde 10 C.V. hasta 200 C.V. Si bien los ahorros no son elevados, las inversiones -- tampoco lo son.

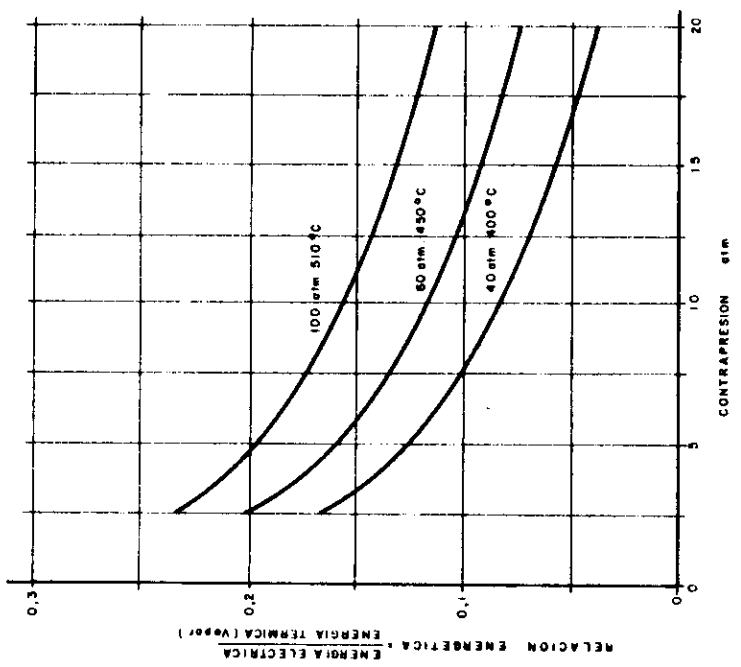
5) Fiabilidad del sistema

Independientemente de la posible rentabilidad de este tipo de inversiones, indudablemente un factor -- preponderante es la fiabilidad de los sistemas, todos ellos basados en equipos electrónicos. Naturalmente ello depende de la casa constructora ya que en si este tipo de instalaciones son cada día más fiables y también más baratas.

CONCLUSION

No se ha pretendido con esta exposición, dada la -- reducida disponibilidad de tiempo, efectuar una descripción -- detallada de los sistemas y equipos mencionados en ella, sino simplemente sembrar la inquietud por el ahorro de energía eléctrica en las fábricas de pasta y papel, dando algunas -- ideas básicas y generales de métodos y sistemas para conseguirlo, especialmente en los motores. Esperamos haber logrado, al menos, este objetivo.

GRAFICO Nº 1
CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO
DE TURBOALTERNADORES



VALORES RELACION ENERGETICA EN FUNCION DE LAS CONDICIONES
VAPOR ENTRADA Y CONTRAPRESION

GRAFICO Nº 2
CURVAS CARACTERISTICAS

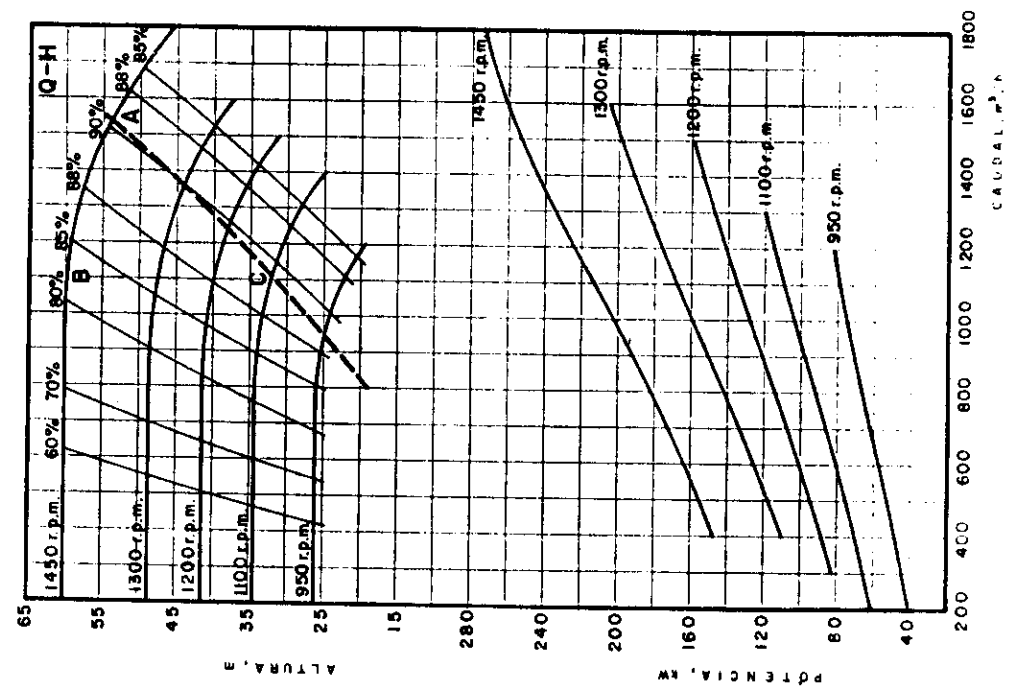


GRAFICO Nº 3

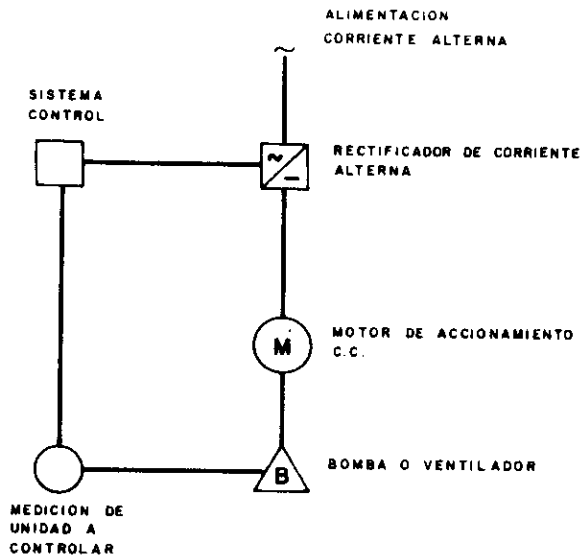


GRAFICO Nº 4

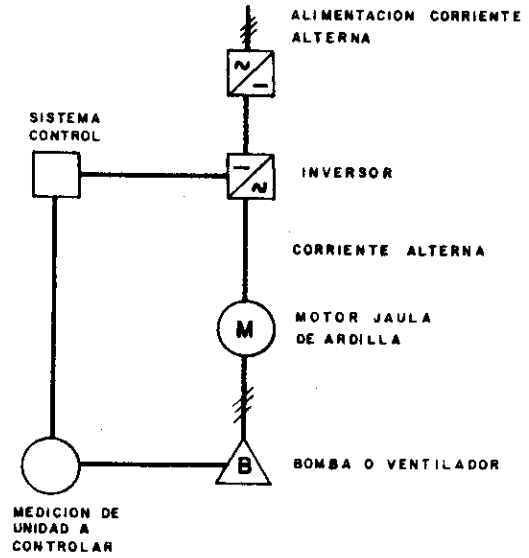


GRAFICO Nº 5

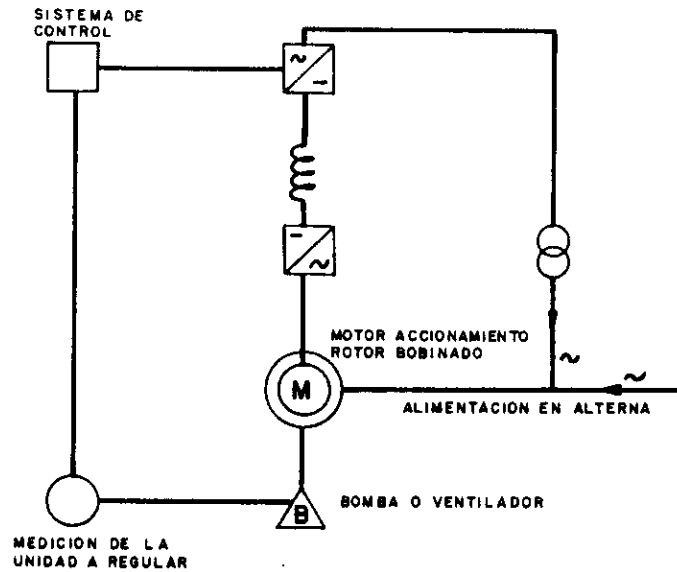
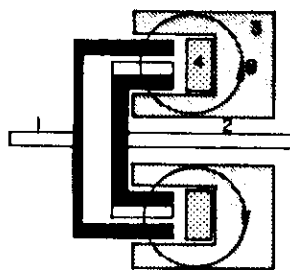
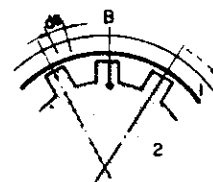


GRAFICO Nº 6

- 1. - ACCIONAMIENTO A MOTOR ASINCRONO DE VELOCIDAD FIJA
- 2. - ACCIONAMIENTO A BOMBA O VENTILADOR DE VELOC. VARIABLE
- 3. - INDUCTOR FIJO DE HIERRO
- 4. - BOBINA DE INDUCCION
- B. - CAMPO MAGNETICO



SECCION LONGITUDINAL



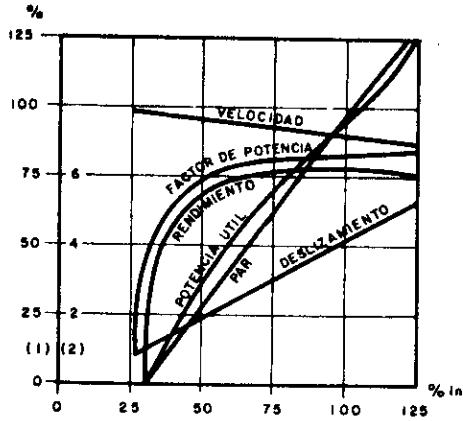
SECCION TRANSVERSAL

VARIADOR DE VELOCIDAD

CURVAS CARACTERISTICAS DE RESPUESTA DE UN MOTOR DE INDUCCION EN FUNCION DE LA INTENSIDAD

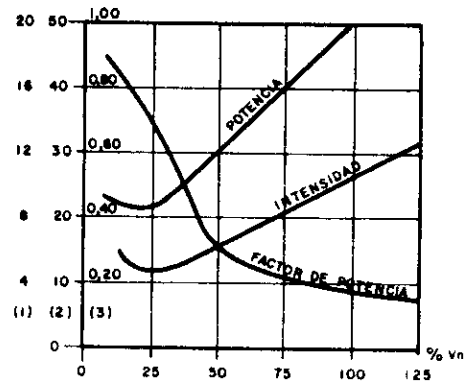
COMPORTAMIENTO DE UN MOTOR DE INDUCCION EN VACIO A TENSION REDUCIDA

GRAFICO N° 7



(1) ESCALA PARA VELOCIDAD, F.P., RENDIMIENTO, POT. UTIL, PAR
 (2) ESCALA PARA DESLIZAMIENTO

GRAFICO N° 8



(1) POTENCIA ABSORBIDA, % Pn.
 (2) INTENSIDAD ABSORBIDA, % In.
 (3) FACTOR DE POTENCIA

GRAFICO N° 9

ONDAS DE TENSION APLICADAS

