



C-71-T/1

MINI CONGRESO CIEMI – COPIMERA - XII

**COLEGIO FEDERADO DE INGENIEROS
Y ARQUITECTOS DE COSTA RICA**

**EL CONVERTIDOR DE FASES ROTATORICO COMO SOLUCIÓN A LA
ALIMENTACIÓN DE CARGAS TRIFASICAS EN ZONAS RURALES O
URBANOS DONDE NO EXISTE SERVICIO TRIFASICO**

TALLER ELECTRICO BARRIO LA CRUZ S.A.



NOVIEMBRE DE 1988

1. RESUMEN:

Conforme se desarrolla un país, la industria rural tiende a incrementarse. La información por televisión, gráfica y la agresividad de los vendedores de equipo influyen en la decisión de muchos campesinos e industriales de mecanizar eléctricamente sus miniempresas rurales.

Cortadoras de pasto, bombas de vacío para ordeñamiento, cámaras de refrigeración, molinos para productos industriales; son algunos de los ejemplos que tienen motores eléctricos que superan hasta los 5 HP. de potencia.

Los motores monofásicos son caros y las alimentaciones trifásicas no ha sido la norma de las redes de distribución en Costa Rica y es aquí donde el convertidor de fases rotatórico tiene su aplicación.

Trataremos de explicar en estos apuntes la metodología de selección y el costo comparativo de estos equipos para resolver la falta de líneas trifásicas en la red de distribución rural de Costa Rica.

2. INTRODUCCIÓN:

A mediados del año 1977 se presentó a nuestra empresa un señor de Desamparados que por motivos particulares había trasladado una pequeña fábrica de adornos para caserío periférico.

Cuando el pequeño empresario solicitó la conexión eléctrica a la CNFL. Se encontró con el serio problema de que la compañía eléctrica no tenía servicio trifásico en el caserío.

Con el problema presentado nos indicó que había escrito a un hijo que tenía en norteamérica y éste le había enviado una caja y un instructivo para su instalación.

La caja y las instrucciones anduvieron de taller en taller y de técnico en técnico hasta que llegó hasta nuestro conocimiento.

Por información de revistas yo conocía que desde 1963 existía en Estados Unidos un sistema rotatórico de conversión de fases y decidí investigar y ayudar al indicado señor a resolver el problema de la instalación.

Pretendo en este estudio hacer alguna divulgación de los principios técnicos y de las experiencias desarrolladas en esta área.



3. DESARROLLO DEL TEMARIO:

3.1. Condiciones Técnicas:

Según el principio de reversibilidad de un motor o un alternador eléctrico, un motor de inducción puede ser convertido en un generador de inducción asincrónico.

El funcionamiento de un sistema de convertidor rotatorio de monofásico o trifásico es básicamente la utilización de un motor de inducción trifásico que arranca mediante un sistema similar de arranque por condensadores d los motores monofásicos.

Una vez arrancado el motor, éste se transforma en un generador asincrónico trifásico cuya corriente de magnetización la toma de la red.

Este motor convertido en generador, no puede tener ninguna carga mecánica, de ahí que se le denomina motor esclavo.

Una vez arrancado el motor esclavo se puede verificar fácilmente la existencia de un verdadero sistema trifásico a la salida de las 3 líneas del motor esclavo a y a partir de ellas se desarrolla toda la instalación trifásica independiente del tipo de conexión de los motores trifásicos (estrella, doble, delta, etc., dos o tres velocidades, dos o tres devanados, cargas resistivas o inductivas, etc.).

En la Figura No. 1 se muestra un diagrama trifilar de la conexión del convertidor rotatorio.

3.2. Consideraciones Prácticas:

El principio anterior es conocido por muchos técnicos en el área eléctrica, pero el problema; pero el problema fundamental del diseño consiste en el cálculo de la potencia del motor esclavo y el correcto dimensionamiento de los condensadores de arranque.

Es en este aspecto donde he incursionado tratando de seleccionar y diseñar sistemas que vuelvan de una manera económica el problema de alimentar cargas trifásicas en donde no existe el servicio o donde llevarlo costaría ciento de miles de colones y un tiempo de falta de operación de la planta muy oneroso para el empresario.

Como guía indico en la Tabla No. 1 una relación que he encontrado entre las potencias de los motores esclavos y los motores trifásicos más grandes del sistema a alimentar.



Llamo la atención que ha sucedido en algunas ocasiones que he tenido que variar la potencia del motor esclavo pues los datos suministrados por los cliente algunas veces no sean tan ciertos o cuando llega la maquinaria aparecen motores con potencias mayores o periodos de arranque muy largos pues el motor debe arrancar con parte o toda la carga conectada como los ascensores, transportadores mayores.

También para reducir la potencia del motor esclavo he utilizando sistemas de arranque diferidos o con arranque a voltajes mayores.

Un caso reciente desarrollado para una firma italiana que se estableció en la Rivera de San Antonio de Belén nos obligó a arrancar el motor esclavo de 60 HP., utilizando el arranque a voltaje reducido para un motor de 2 líneas de salida.

Esta es una solución que nosotros hemos desarrollado logrando economías de hasta un 500% si se comparan los precios estándares de sistemas importados.

También y dado que el motor esclavo no debe tener carga mecánica aplicada, le hemos dado uso a motores usados a los cuales se le han quebrado los ejes o han salido de aplicación por ser modernizadas las plantas industriales.

Usando estos motores usados hemos reducido hasta 50% adicional el costo de sistema rotatóricos.

También hemos utilizado los servicios de empresas nacionales para construir los sistemas de control (tableros de mando) mejorando la presentación y así evitar la desconfianza del empresario sobre la viabilidad de nuestros equipos.

Normalmente ahora lo que hacemos es hacer el diseño del control que entregamos a las firmas indicadas.

Una vez recibido el tablero incorporamos los sistemas de arranque y realizamos todas las pruebas del sistema en el taller, incluyendo el arranque del motor esclavo.

Finalmente trasladamos el sistema a la industria o miniempresa y ahí realizamos las pruebas de aceptación del equipo.

También y para empresarios rurales o industrias muy pequeños como ebanisterías, o fabricas de baldes hemos hecho instalaciones simplificadas que básicamente consisten de interruptores de cuchillas, fusibles, condensadores y motores usados logrando costos hasta 10 veces menos el equivalente automático e importado.

Algunos sistemas de estos tienen más de ocho años trabajando y únicamente las fallas que presentan se deben a fallas en la sincronización de la conexión manual de los condensadores que se queman por este motivo.



Quisiera llamar la atención sobre el cálculo de los condensadores en la cual hemos elaborado un archivo de memorias de cálculo y de procedimientos de prueba y error que nos ha permitido resolver hasta la fecha todas las situaciones presentadas a nuestra consideración.

La poca información que existe sobre el particular nos da las siguientes reglas:

- Un motor de 1 HP monofásicos requiere un capacitor de trabajo con potencia reactiva de aproximadamente 3 KVAR. a su vez un motor de 1 HP. requiere un condensador de arranque con una capacidad reactiva d 1 KVAR.

Para calcular la capacidad de un condensador para un motor trifásico las reglas son :

- Un motor de 1 KW requiere de trabajo de aproximadamente 70 microfaradios a un voltaje nominal de 230 voltios.
- El mismo motor requiere un condensador de trabajo de aproximadamente 240 microfaradios a un voltaje nominal de 230 voltios.

Una formula muy usual establece que la capacidad de un condensador se determina así:

$$C = \left[N + \frac{(U^2)}{K} (2) (\pi) (f) (10^{-9}) \right] \quad 3.2.1$$

$$C = \left[N + \frac{(U^2)}{K} (0.3768) (10^{-6}) \right] \quad 3.2.2$$

C en microfaradios.

$$N = (U) (2) (\pi) (f) (C) (10^{-6}) = 3768 (U) (C) \quad 3.2.3$$

C = Capacidad en microfaradios

U = Voltaje de la capacidad en voltios

f = Frecuencia industrial en Hz.

$\pi = 3.14$

Cuando los datos solo son de frecuencia; pues como se ve en figura No. 2 los datos en microfaradios para poder arrancar un motor de 60 HP. nos dieron: 2000 microfaradios; utilizando un arranque con conexión estrella simple a 440 V.

Cuando inicialmente probamos con una conexión doble estrella, 220 Voltios, 3000 microfaradios, no pudimos iniciar el arranque del motor.



Finalmente y como guía de las experiencias desarrolladas y basadas en la información de la bibliografía (No. 1) podemos identificar 3 tipos de cargas trifásicas que normalmente se presentan también en Costa Rica, estas son:

a) Carga Liviana:

Consiste de motores que impulsan maquinas con bajo par de arranque y velocidades sobre 1750 RPM.

También incluye motores que arrancan con algún método de voltaje reducido.

Ejemplo:

Motoválvulas, ordeñadores y equipos para tratamientos de productos alimenticios, computadores.

b) Carga Estándar:

Consiste en motores que impulsan maquinas con pares de arranque moderados y velocidades sobre 1200 RPM.

Ejemplo:

Amasadores de pan, compresores que arrancan en vacío, bombas de agua, etc.

c) Carga Pesada:

Consiste en motores con maquinas de alta inercia que arrancan a plena carga o porcentajes muy altos de esta como:

Bandas transportadoras, maquinas de imprenta, lavadoras y peladores de verduras; motores de baja velocidad - menos de 800 RPM; ascensores y elevadores.

Este dato es muy importante pues es una vez desarrollamos un sistema para un sistema de bombeo para 40 HP, posteriormente el diseño nuestro fue copiado para fabricar otro sistema similar, pero que se destinó a un sitio que estaba a menos de 100 metros sobre el nivel del mar y comenzó a dañar los condensadores casi diariamente.

Fuimos consultados y determinamos que la altura y la temperatura como es normal actúa sobre equipos eléctricos y los tiempos de conexión y la capacidad de los condensadores debiendo ser modificados para la nueva ubicación.

3.3. Consideraciones Económicas:



Solo para referencia indicamos que un sistema para 60 HP. con motor esclavo nuevo marca BUFALO y tablero de control con voltímetro, selector, sistema automático de mando cerca de ¢ 250000.00.

Un sistema similar importado pasaba de los ¢850000.00 y según un estudio de ingeniería para llevar el trifásico hasta la instalación (casi un 1. 6 KM) el costo era de casi ¢ 2000000.00.

Este puede ser un caso muy extremo, pero también se dio un caso de una joyería ubicada frente al Parque Central sobre la calle 2 en donde pareciera mentira no existe servicio trifásico y es casi imposible que la compañía eléctrica lo suministre por la limitación del espacio y por lo costoso de los derechos de paso.

En esta empresa el equipo tenía más de un año de haberse instalado y seguían puliendo a mano los anillos hasta que instalamos un convertidor rotatórico de $\frac{3}{4}$ HP.

Otro caso que es difícil de evaluación económica; por la importancia de la sustitución de los motores se da con una imprenta; cuyo motor principal es de velocidad mediante resistencias estáticas.

Los sistemas de refrigeración industriales movidos por motocompresores integrales trifásicos es otra situación que no permite la sustitución de un motor trifásico por uno monofásico para resolver el problema de la falta del trifásico.

4. REFERENCIAS:

Usos más corrientes de este sistema.

Según una publicación de la “International Division, Inc” de Missouri, U.S.A. este equipo es aplicable a las siguientes cargas trifásicas rurales:

- Mezcladores y molinos para granos.
- Cortadores de pasto
- Llenadores de tanques de almacenamiento de cereales
- Incubadoras
- Equipo de congelación y refrigeración de productos perecederos
- Ordeñadores
- Bomba de agua
- Mezcladores de concreto
- Transportadoras

Mi experiencia profesional en el cálculo, construcción y puesta en funcionamiento de los sistemas rotatóricos se extiende a:

- Imprentas (30 KW)



- Industrias de calzado (75 KW)
- Bombas sumergibles (50 KW).
- Equipo de refrigeración (30 KW)
- Ebanisterías (15 KW)
- Pulidoras de joyas (0.5 KW)
- Tornos (10 KW)
- Elevadores industriales (12KW)
- Fabrica de baldes metálicos (10 KW)
- Cortadoras de pasto (5 KW)
- Mezcladores de concreto (10 KW)
- Procesadores industriales de frutas (50 KW)

El valor entre paréntesis indica la potencia del motor esclavo.

El mayor número de motores movido por un sistema de los instalados es de 25 motores. Según la información existente la potencia máxima instalada en un solo sistema es hasta de 250 KW.

En la figura No. 3 se muestra un diagrama elemental de control para un sistema de bombeo (40 HP)

En la Figura No. 4 se muestra un diagrama similar para un sistema de una planta industrial con motor esclavo de 60m HP; arranque a voltaje reducido y capacidad para alimentar 25 motores trifásicos entre 1/3 y 25 HP.

5. OTROS SISTEMAS DE CONVERSIÓN:

Existen otros sistemas de conversión que induce a errores muy onerosos cuando no se conoce o se investiga a fondo el problema o se utiliza un simple catálogo, para seleccionar un sistema de conversión de fases.

6. CONCLUSIONES:

La experiencia profesional desarrollada en el campo de los convertidores rotatóricos me ha permitido hasta la fecha los problemas que los pequeños empresarios urbanos o rurales nos han presentado cuando han adquirido equipos con motores trifásicos y se han encontrado al momento de iniciar su operación que la compañía de energía eléctrica no lo tiene disponible.

El diseño y construcción en Costa Rica de estos equipos permiten reducciones de precios hasta 500%, pues se incluyen equipos o motores ociosos cuyo costo de adquisición para el país es nulo y para el empresario es muy bajo y se ha dado trabajo a empresas constructoras de tableros en el país.



Se han creado soluciones de control manual que han ayudado a la creación de pequeños empresarios.

Todos estos aspectos me han motivado a seguir investigando sobre esta área de la ingeniería eléctrica y a presentar a la consideración de este congreso estas experiencias que creo podrán ser útiles a algún colega se le presenta una situación similar.

7. APENDICES:

Figura No. 1	Pág. 11
Tabla No. 1	Pág. 12
Figura No. 2	Pág. 13
Figura No. 3	Pág. 14
Figura No. 4	Pág. 15
Tabla No. 2	Pág. 16 – 17
Bibliografía	Pág. 18

TABLA No. 1

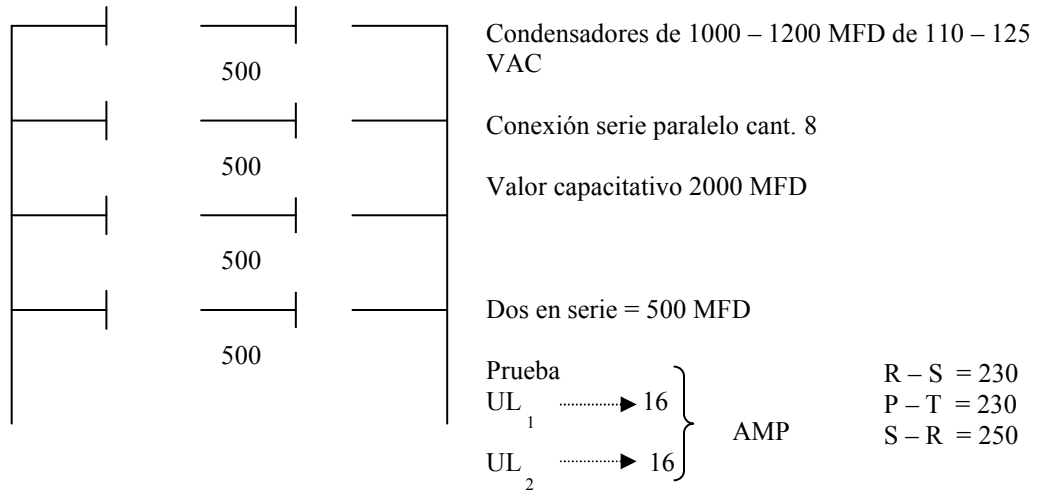
Potencia del motor esclavo versus potencia del motor más grande trifásico que puede conducir el sistema

Potencia Motor Esclavo (HP.)	Potencia Motor más Grande (HP)
1	1/2- 1/3
2	3/4
3	1
5	3
10	5
15	7 1/2
20	10
25	12.5
30	15
50	20
50	25
60	30
80	40



FIGURA No. 2

Prueba 220 Voltios Conexiones 440 Voltios (Estrella)



Prueba 200 Voltios Conexión 220 V. (Doble Estrella)

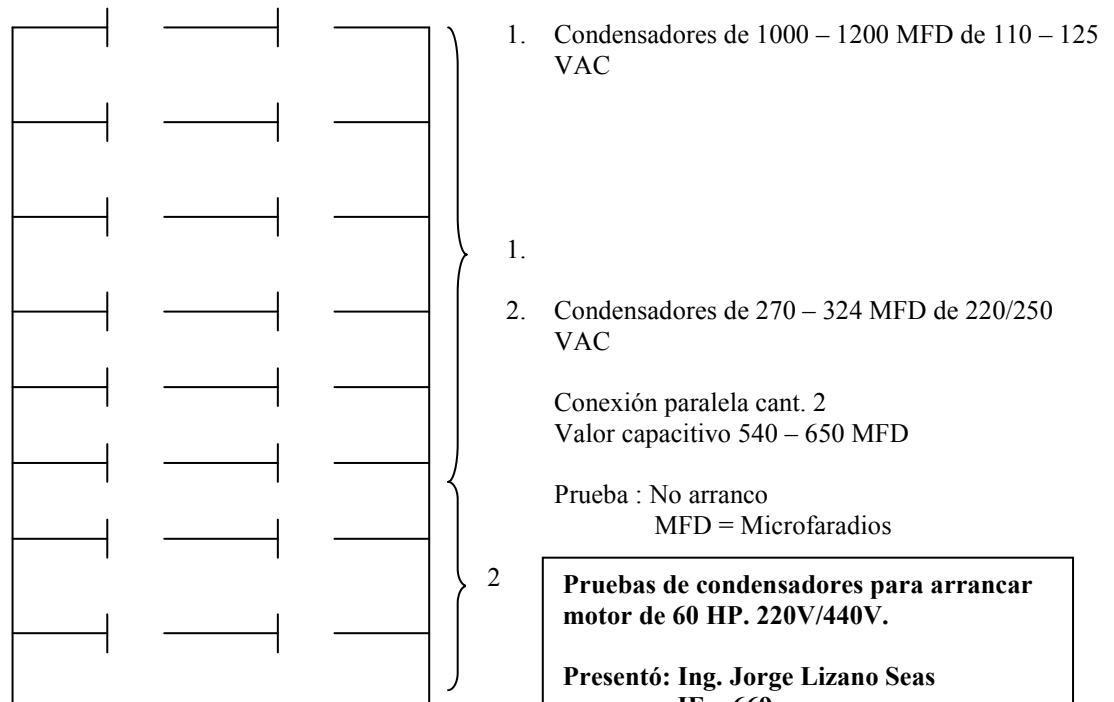




TABLA No. 2

Comparación entre un convertidor rotatórico y uno estático

ITEM	SISTEMA ROTATÓRICO	SISTEMA ESTATÓRICO
Numero de motores operados	Sin limite	Uno
Variabilidad de su aplicación	Excelente	Limitada
Record del mantenimiento	Bueno	Malo
Aprovechamiento de la capacidad en HP	100%	65 %
Operación con motores de velocidad múltiple	Si	No
Operación de motores con reversa	Buena	Mala
Arranque frecuente de los motores	Buena	Mala
Grandes ciclos de arranque o motores con arranque largo	Buena	Mala
Operación con carga oscilante	Buena	Mala
Operación con cargas tipo choque (frenado eléctrico)	Buena	Mala
Operación con sistemas rectificadores SCR	Si	No
Requerimientos de balance de carga	No	Si
Existencia de un verdadero sistema trifásico	Si	No
Eficiencia promedio	83%	63%
Forma de onda	Bueno	Malo
Factor de potencia	Bueno	Malo
L.R. Torque (torque a rotor bloqueado)	Mala	Buena
Torque máximo	Bueno	Mala
Corrientes de arranque del motor	Baja	Baja
Factibilidad de instalación	Si	Si
Costo relativo para una operación trifásica	100%	180%



BIBLIOGRAFÍA

1. ARCO – ROTO – PHASE
COMPACT DEPENDABLE ECONOMICAL ROTARY
PHASE GENERATORS
16.3/ A.R – INDIANA – USA.
2. EC&M – MC GRAW – HILL
Setiembre - 1980
Revista de Construcción Eléctrica y Mantenimiento