

Diseño y Construcción de un Dispositivo Monofásico para Alimentar un Motor Trifásico de Inducción

Mónica Guerrero Echeverría¹

mguerrer@fiec.espol.edu.ec

Jorge Chiriboga Vásconez²

jchiribo@espol.edu.ec

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral

Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador

¹Egresada de Ingeniería Eléctrica, Escuela Superior Politécnica del Litoral, año 2005

²Director de Tesis. Ingeniero en Electricidad especialización Potencia, Postgrado EE.UU, Universidad Missouri-Rolla 1973, Profesor de ESPOL desde 1975.

Resumen

En la industria desde sus inicios hasta la actualidad la mayoría de máquinas y herramientas son manejadas por motores trifásicos de inducción. Sin embargo en zonas rurales o urbano marginales sin tener acceso a la alimentación trifásica muchas veces se necesita alimentar motores trifásicos de inducción por lo que fue necesario realizar un estudio del funcionamiento desde otro sistema como el monofásico. La recolección de datos a través de pruebas de laboratorio del dispositivo cuyos principales componentes son a base de inductores y capacitores fue fundamental para obtener mediciones tanto de voltajes, corrientes, potencia, eficiencia y un breve análisis de armónicos característicos del sistema de alimentación a comparar. De esta manera poder realizar un análisis económico entre la Alimentación trifásica vs. Alimentación monofásica con el uso del dispositivo y obtener resultados que permitan concluir con la viabilidad del proyecto.

Palabras claves: *motores trifásicos de inducción, sistema monofásico, sistema trifásico, armónicos, capacitancia, inductancia*

Abstract

In the industry from its beginnings to the present time most of machines and tools they are handled by three-phase induction motors. Nevertheless in marginal countryside or urban without having access to the three-phase feeding often it is needed to feed three phase induction motors reason why it was necessary to make a study of the operation from another system like the single-phase one. The data collection through laboratory tests of device whose main components are with capacitors and inductors and was fundamental to as much obtain measurements of voltages, currents, power, efficiency and a brief analysis of overtones characteristic of the system of feeding to compare. This way to be able to make an economic analysis of the use of three-phase feeding versus single-phase feeding with the use of the device and to obtain results that allow us concluding the viability of the project.

Keywords: *three-phase induction motors, single-phase system, three-phase system, harmonics, capacitance, inductance*

1. Introducción.

El proyecto consiste en la búsqueda de la solución ante la falta de alimentación trifásica en zonas rurales o urbano marginales en donde solo llega una línea de alimentación con retorno por tierra y en donde se requiere operar este tipo de máquinas. Por tanto los objetivos principales del presente proyecto son:

-Obtener las condiciones óptimas para arrancar y operar desde vacío hasta plena carga el motor trifásico de inducción desde el sistema de alimentación monofásico a través de un transformador de distribución conectado a un alimentador secundario.

-Analizar los desfases y forma de onda de Corrientes y Voltajes del sistema Monofásico en la alimentación del Motor Trifásico de Inducción.

Para el efecto se realizan los cálculos teóricos para seleccionar el capacitor e inductor adecuado para el funcionamiento del motor trifásico de inducción. El estudio del funcionamiento del motor trifásico de inducción de 1HP para este análisis se lo realiza experimentalmente a través de pruebas de laboratorio en lo que respecta a corrientes y voltajes de línea, potencias y un breve análisis de armónicos característico del tipo de sistema. Finalmente se realiza un análisis económico del uso de la alimentación Monofásica vs. Trifásica para justificar la aplicación del presente proyecto.

2. Diseño y Análisis Conceptual del Dispositivo Monofásico para la Alimentación de Motor Trifásico de Inducción.

2.1. Introducción.

Para alimentar a un motor trifásico de inducción desde un sistema de alimentación se necesita de elementos específicos para poder hacerlo, tales elementos son capacitores e inductores, que conforman principalmente el Dispositivo Monofásico para el motor trifásico de inducción.

2.2. Composición del Dispositivo Monofásico.

El dispositivo Monofásico consta de los siguientes elementos:

- Capacitores
- Inductores
- Disyuntor de Protección
- Contactores
- Borneras
- Temporizador
- Conductores de Cableado
- Estructura galvanizada

2.3. Cálculos Teóricos del Dispositivo Monofásico.

Como se menciona anteriormente los principales componentes del dispositivo monofásico lo constituyen los capacitores e inductores. El enfoque se realiza en dichos elementos para obtener los cálculos óptimos para el funcionamiento del mismo. Para la conformación del dispositivo se inicia con los datos de placa del motor de inducción de 1 HP a analizar. En la tabla 1 se presenta los datos de placa del motor.

Tabla 1. Datos de placa del motor de Inducción 1HP

INDUCTION MOTOR WESTINGHOUSE ELECTRIC	
HP: 1	CYCLES 60/3 PHASE
FRAME: 203	R.P.M: 1725
VOLTS: 220/440	AMPS: 3.2/1.6
RISE: 55° C	CLASS: A
MADE IN USA	

La conexión del motor de inducción se la realiza en DELTA-PARALELO. Para el motor de 1HP se tiene bobinas a 120 Voltios.

2.3.1 Cálculo de Capacitancia.

El análisis realizado parte desde un Sistema de Alimentación Monofásico L-N, al tener solo dos líneas de alimentación el motor no podría arrancar por lo que es fundamental la presencia del capacitor que inyecta los componentes reactivos necesarios para poner en funcionamiento al motor trifásico de inducción.

Se observa que para dicho análisis se necesitan dos tipos de capacitores uno para el Arranque y otro para Operación. Para evitar que el capacitor se comporte como un circuito abierto se necesita de mayor capacitancia al momento de arranque. De manera general se considera una caída de voltaje pequeña de entre 5 a 10 Voltios (4%-8%) y una corriente igual a la nominal del motor. Para el motor de 1HP una variación de 3 Amperios por disponibilidad de capacitancia.

Para obtener el capacitor apropiado para el arranque como para la operación del motor trifásico de inducción se calcula primero su **reactancia capacitiva**, se obtiene de la siguiente ecuación:

$$X_c = \frac{V}{I}$$

De donde para un motor de 1HP:

V=5 voltios

I= 3 amperios (Se coloca este valor por la disponibilidad en la capacitancia)

$$X_c = 1.66 \text{ ohmios}$$

La tabla 2. Muestra los valores reactancia capacitiva según la corriente nominal de motores de inducción.

Tabla 2. Valores de Reactancia Capacitiva según la corriente nominal de motores de inducción

MOTOR HP	Voltaje (V)	I nominal (A)	Xc (Ω)
½	220	2	2,5
¾	220	2,7	1,85
1	220	3,2	1,56
2	220	6,5	0,76
3	220	9	0,55
5	220	15	0,33

2.3.1.1. Cálculo de Capacitancia de Arranque.

Una vez conocida la reactancia capacitiva se procede a calcular el valor teórico del capacitor el cual se obtiene de la siguiente ecuación:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

De donde:

π : 3.1416

f: 60 Hz

$X_c = 1.66 \Omega$ (MOTOR 1 HP)

Despejando de la ecuación anterior se tiene:

$$C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times X_c}$$

$C_{\text{arranque}} = 159.87 \mu\text{f} \approx 160 \mu\text{f}$ (MOTOR 1HP)

La tabla 3. Muestra los valores capacitancia según la corriente nominal de motores de inducción.

Tabla 3. Valores de Capacitancia de Arranque según la corriente nominal de motores de inducción

MOTOR	Voltaje	I nominal	X_c	C arranque
HP	(V)	(A)	(Ω)	C(μf)
½	220	2	2,5	106
¾	220	2,7	1,85	143
1	220	3,2	1,56	170
2	220	6,5	0,76	349
3	220	9	0,55	483
5	220	15	0,33	804

2.3.1.2. Cálculo del capacitor de Operación.

Al conocer el valor teórico del capacitor de arranque se procede experimentalmente a obtener el valor de la capacitancia de operación óptima para el circuito. Experimentalmente se comprueba que el valor del capacitor de operación para motores es la mitad de la capacitancia de arranque. Es decir, con este valor de capacitancia de operación el motor trifásico de inducción opera sin olvidar que el circuito es trifásico desbalanceado, tanto los voltajes como las corrientes a ser analizados están desbalanceados. El valor de capacitancia de operación para el motor es el siguiente:

$C_{\text{operación}} = 80 \mu\text{f}$ (MOTOR 1HP)

Posteriormente en el capítulo 3 se observa el análisis de los capacitores de operación óptimos para el dispositivo monofásico.

2.3.1.3. Cálculo de Inductancia.

Para el cálculo del inductor se considera la misma caída de voltaje de 5-10 voltios (4%-8%) y una corriente igual a la nominal del motor. La corriente para el motor de 1HP es de 3 Amperios por

disponibilidad de equipos. La **reactancia inductiva**. Se la obtiene de la ecuación:

$$X_L = \frac{V}{I}$$

De donde para un motor de 1HP:

V=5 voltios

I= 3 amperios (Por disponibilidad de equipos)

$X_L = 1.66$ ohmios

La tabla 4. Muestra los valores reactancia inductiva según la corriente nominal de motores de inducción.

Tabla 4. Valores de Reactancia Inductiva según la corriente nominal de motores de inducción

MOTOR	Voltaje	I nominal	XI
HP	(V)	(A)	(Ω)
½	220	2	2,5
¾	220	2,7	1,85
1	220	3,2	1,56
2	220	6,5	0,76
3	220	9	0,55
5	220	15	0,33

Posteriormente se obtiene el valor del inductor de la ecuación:

$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L$$

Donde:

π : 3.1416

f: 60 Hz

XI= 1.66 Ω (MOTOR 1 HP)

Despejando de la ecuación anterior se tiene:

$$L = \frac{X_L}{2 \times \pi \times f}$$

L = 4.44 m H (MOTOR 1HP)

La tabla 5. Muestra los valores de Inductancia según la corriente nominal para motores trifásicos de inducción

Tabla 5. Valores de Inductancia según la corriente nominal de motores de inducción

MOTOR	VOLTAJE	I nominal	XI	Inductor
HP	(V)	(A)	(Ω)	L (mH)
½	220	2	2,5	6,6
¾	220	2,7	1,85	4,9
1	220	3,2	1,56	4,1
2	220	6,5	0,76	2
3	220	9	0,55	1,5
5	220	15	0,33	0,08

El inductor es valor fijo para los motores trifásicos de inducción. Este al contrario del capacitor no necesita de un valor durante el arranque y otro durante la operación ya que no afecta su presencia al momento del arranque. El inductor trata de controlar la corriente que pasa a través de la línea. Como el circuito formado es un sistema totalmente desbalanceado incluso en los ángulos de desfases, trata de equilibrar esos valores de corrientes ya que está desfasado 90° grados con respecto al voltaje.

Los principales componentes calculados del dispositivo monofásico que son componentes reactivos ponen en funcionamiento los motores trifásicos de inducción.

2.4. Cálculo de las Protecciones del Dispositivo Monofásico

2.4.1. Cálculo el Breaker de Protección.

El breaker que se usa es de **20 Amperios** ya que las corrientes durante el arranque del motor de Inducción llegan máximo a 17 Amperios.

2.4.2. Cálculo del Contactor

Para la selección del contactor se considera los datos de placa del motor a analizar y de acuerdo a las categorías y criterios de selección, el contactor que se usa es el siguiente:

- CONTACTOR de TIPO AC3
- CALIBRE de 30 AMPERIOS

3. Análisis Experimental del Comportamiento del Motor Trifásico de Inducción desde un Sistema de Alimentación Trifásico y Monofásico con el uso del Dispositivo Monofásico.

3.1. Introducción.

En el presente capítulo se hace un análisis experimental del comportamiento del motor trifásico de inducción. Este análisis se enfoca principalmente en los voltajes, corrientes, potencias, eficiencia y análisis de armónicos del motor trifásico de inducción desde un sistema de alimentación trifásico así como desde un sistema de alimentación monofásico con el uso del dispositivo monofásico. El proyecto se realiza en el Lab. de Maquinarias de FIEC-ESPOL con equipos de medición disponibles tales como: multímetros, amperímetros, wafímetros, equipo analizador FLUKE 43B, además motores trifásicos de inducción, generador, resistencias, banco de capacitores, inductores, fuentes de voltaje variables AC y DC, cables de conexión.

3.2. Pruebas Experimentales del Motor Trifásico de Inducción de 1HP.

Para el desarrollo de las pruebas se procede a la conexión del motor trifásico de inducción de 1HP/220V en DELTA-PARALELO (120V) con el resto de equipos desde el sistema de alimentación trifásico como desde el sistema de alimentación monofásico con el uso del dispositivo monofásico. Con énfasis en la conformación del circuito del dispositivo: capacitores a través del banco de capacitores, e inductores.

3.2.1. Pruebas del Motor de 1HP con Alimentación Trifásica.

Desde un Sistema de alimentación Trifásica se procede a tomar datos tanto de voltajes, corrientes, potencias y armónicos del motor trifásico de inducción. A las pruebas se las divide en operación con carga y operación en vacío.

3.2.1.1. Pruebas en Operación con Carga.

Al motor de Inducción se lo conecta a un generador para conectar una determinada carga, este generador tiene los siguientes datos de placa:

Voltaje Field: 125 Volts.

Corriente Arm: 14.2 Amps.

Los resultados de la prueba se observan en la tabla xx. A través del equipo de medición FLUKE se obtiene las gráficas de voltajes, corrientes de arranque y operación, potencias y armónicos en los terminales del motor trifásico de inducción 1HP y se muestran a continuación.

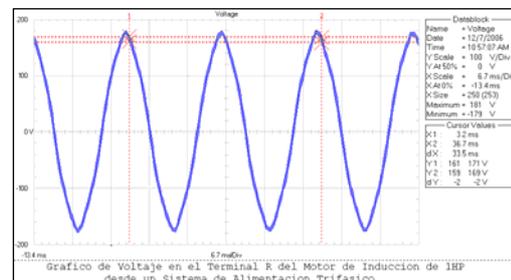


Fig 1. Gráfico de Voltaje con carga desde Sistema de Alimentación Trifásico

El voltaje en el terminal R es el mismo para los terminales S y T. La forma de onda es sinusoidal que es una característica del sistema, no presenta armónicos.

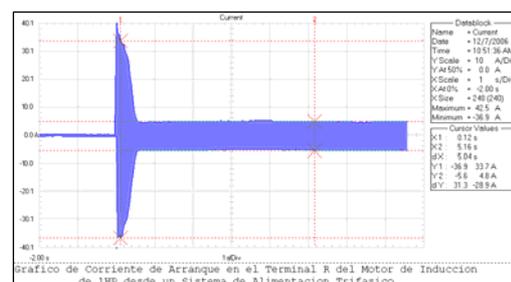


Fig 2. Gráfico de Corriente de Arranque con carga desde Sistema de Alimentación Trifásico

En el gráfico se observa la Corriente de Arranque en el terminal R, la misma para los terminales S, T. El valor máximo de corriente en un instante de tiempo es de 30 Amperios.

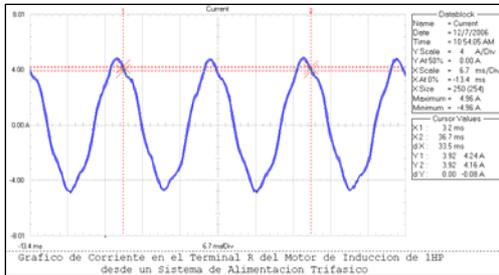


Fig 3. Gráfico de Corriente de Operación en el terminal R con carga desde Sistema de Alimentación Trifásico

La corriente en este terminal R tiene una forma de onda sinusoidal, sin embargo presenta una distorsión ligera de armónicos en todos los terminales.

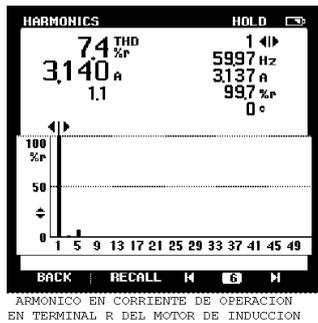


Fig 4. Gráfico de Armónicos de Corriente de Operación en el terminal R con carga desde Sistema de Alimentación Trifásico

En el terminal R se observa el armónico de 5to. Orden. El THD (Total Harmonic Distortion) es de 7.4%.

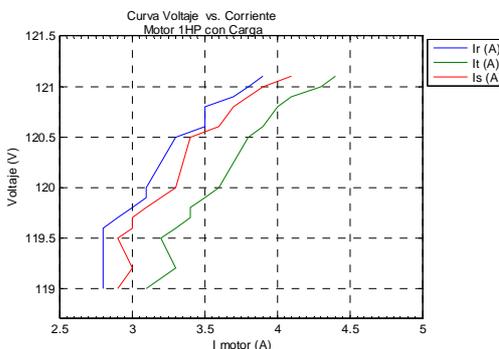


Fig 5. Corrientes de los Terminales del Motor de 1 HP desde Sistema de Alimentación Trifásico con carga

Desde el sistema de alimentación trifásico e introduciendo carga al Motor Trifásico de Inducción

los terminales presentan valores distintos de corrientes. Se observa que en cada uno de los terminales del motor trifásico existen corrientes cuyos valores son constantes.

3.2.1.2. Pruebas en Operación en Vacío.

Para las pruebas se pone en funcionamiento al motor en vacío sin conectar a él algún tipo de carga. Los resultados de la pruebas se muestran en la tabla xx. Con las pruebas de laboratorio se obtiene la gráfica que muestra el Voltaje vs. I del Motor Trifásico de Inducción.

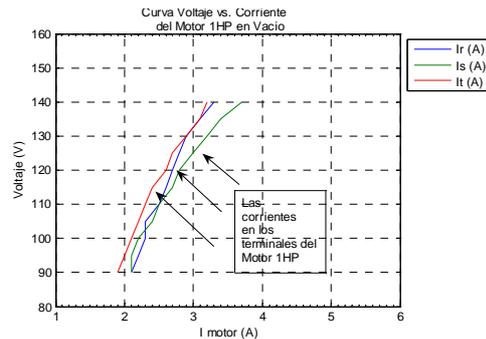


Fig 6. Corrientes de los Terminales del Motor de 1HP desde Sistema de Alimentación Trifásico en vacío

3.2.2. Pruebas del Motor de 1HP con Alimentación Monofásica con el Dispositivo Monofásico.

Desde un Sistema de alimentación Monofásico se procede a formar el circuito. El inductor está en serie a la bobina del terminal R del motor trifásico de Inducción y el capacitor tanto de arranque como en operación paralelo entre los terminales S-T. La figura 7. Muestra el circuito del Dispositivo Monofásico cuyos principales componentes son el capacitor y el inductor.

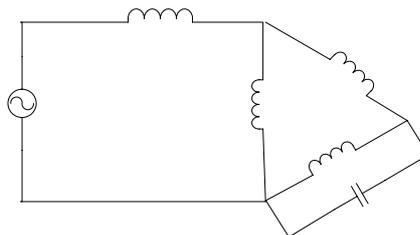


Fig 7. Circuito del Dispositivo Monofásico desde Sistema de Alimentación Monofásico

Posteriormente se toma datos tanto de voltajes, corrientes, potencias del motor trifásico de inducción. A las pruebas se las divide en pruebas en operación con carga y operación en vacío.

3.2.2.1. Pruebas en Operación con Carga.

Se coloca al motor con un generador para simular la carga, con los siguientes datos de placa:

Voltaje Field: 125 Volts.
Corriente Arm: 14.2 Amps.

Los resultados de la prueba se observan en la tabla xx.
Tabla 6. Muestra los valores de los principales componentes del dispositivo para la prueba en operación con carga

Tabla 6. Valores de los principales componentes del dispositivo para la prueba en operación con carga

DISPOSITIVO MONOFASICO	
CAPACITOR DE ARRANQUE (µf)	220
CAPACITOR DE OPERACIÓN (µf)	50
INDUCTOR (mH)	2.02

A través del equipo de medición FLUKE se obtiene las gráficas de voltajes, corrientes de arranque y operación, potencias y armónicos en los terminales del motor trifásico de inducción 1HP y se muestran a continuación.

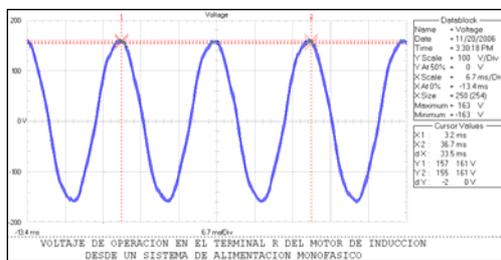


Fig. 8. Gráfico de Voltaje con carga desde Sistema de Alimentación Monofásico Motor 1HP

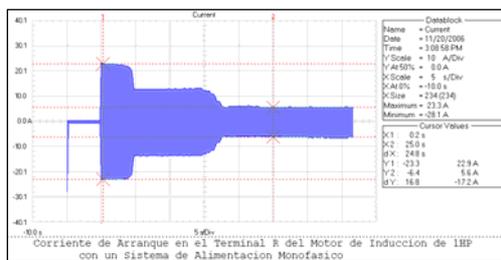


Fig.9. Gráfico de corriente de Arranque con carga terminal R con Alimentación Monofásico Motor 1HP

Muestra el gráfico de la corriente en el terminal R. Por la presencia del inductor la corriente adelanta al voltaje 90° grados. Se observa el incremento inicial de corriente al momento del arranque. Corriente máxima de 16.47 Amperios.

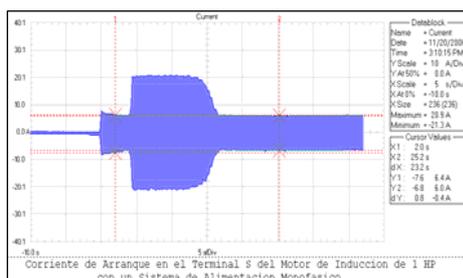


Fig. 11. Gráfico de Corriente de Arranque con carga terminal S con Alimentación Monofásico Motor 1HP

En el terminal S presente el capacitor la corriente se retrasa 90° grados con respecto al voltaje, la corriente en ese instante no se eleva hasta después de un cierto tiempo de lograr su arranque máximo. Corriente máxima de 14.77 amperios.

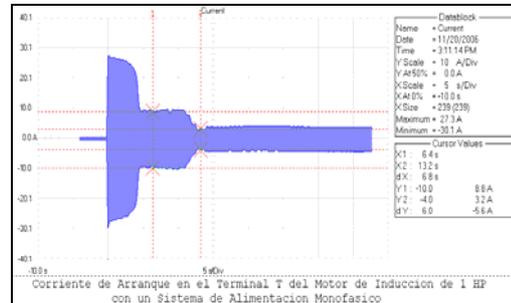


Fig. 12. Gráfico de Corriente de Arranque con carga terminal T con Alimentación Monofásico Motor 1HP

En el terminal T línea común del circuito del dispositivo monofásico. Soporta la corriente más elevada hasta lograr el arranque. Corriente máxima de 19.30 amperios.

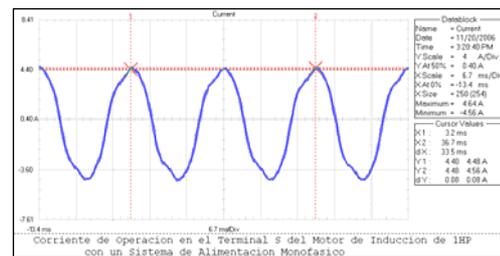


Fig. 13. Gráfico de Corriente de Operación con carga terminal S con Alimentación Monofásico Motor 1HP

Se observa en el gráfico una mayor desviación en la forma de onda de la corriente en este terminal S. Este terminal se conecta al neutro para la alimentación monofásica por eso la presencia del Armónico de orden 3ero, la onda está más abierta. Con 9.6 %THD (Total Harmonic Distortion).

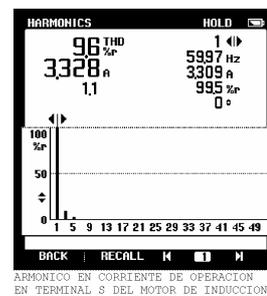


Fig. 14. Gráfico de Armónicos de Corriente de operación con carga desde Sistema de Alimentación Monofásico

Con las pruebas de laboratorio se obtiene la gráfica que muestra el Voltaje vs. I del Motor Trifásico de Inducción.

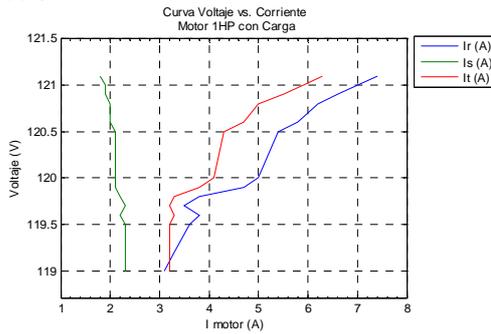


Fig. 15. Corrientes de los Terminales del Motor 1HP desde Sistema Monofásico con carga

Desde el sistema de alimentación monofásico e introduciendo carga al Motor Trifásico de Inducción presentan los terminales R y T valores semejantes de corrientes a medida que se aumenta la carga. Sin embargo en el terminal S se observa que la corriente no aumenta en igual medida que los otros terminales.

3.2.2.2. Pruebas en Operación en Vacío.

Para las pruebas se pone en funcionamiento al motor trifásico de inducción en vacío sin conectar a él algún tipo de carga desde el sistema monofásico. Los resultados de la pruebas se muestran en la tabla xx.

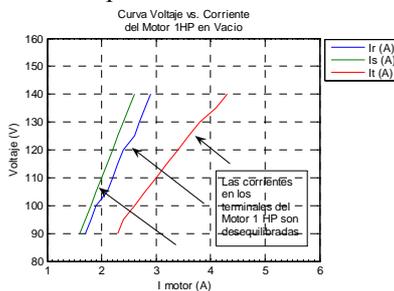


Fig. 16. Corrientes de los Terminales del Motor de 1HP desde Sistema de Alimentación Monofásico en vacío

Con las pruebas de laboratorio se obtiene la figura 16 que muestra el Voltaje vs. I del Motor Trifásico de Inducción. Se observa que en cada uno de los terminales del motor trifásico existen corrientes desbalanceadas. Los resultados de las pruebas se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Muestra los Resultados Totales de las Pruebas con los diferentes Sistemas de Alimentación con el Motor Trifásico de Inducción

MOTOR		1 HP	1 HP	1 HP	1 HP
FASES		3Φ	1Φ	3Φ	1Φ
SISTEMA		Op. Carga	Op. Carga	Op. Vacío	Op. Vacío
VOLTAJE	V	121,50	107,57	119,93	116,17
CORRIENTE	AMP	3,9	4,7	2,7	2,7
VELOCIDAD	R.P.M	1740	1707	1794	1791
DESLIZAMIENTO	R.P.M	60,0	93,0	6,00	9,00
DESLIZAMIENTO	P.U	0,033	0,052	0,0033	0,005
POTENCIA DE ENTRADA	W	469,8	501,98	173	155
POTENCIA DE SALIDA	W	389,6	416,68	327,82	321,39
EFICIENCIA	***	0,83	0,83	****	****
CAPACITANCIA	μf	****	Carranque=220 **** Coperación=50	****	Carranque=220 **** Coperación=50
INDUCTANCIA	mH	****	L=2,02	****	L=2,02
RESULTADO	***	OPTIMO	OPTIMO	OPTIMO	OPTIMO
CARGA SUMINISTRADA	***	650 W	650 W	****	****

3.3. Simulación del Proyecto mediante el uso del Software Labview 8.0.

Para el cálculo de los parámetros del dispositivo monofásico se diseña un programa el mismo que al introducir los datos de placa del motor calcula los valores de reactancia tanto inductiva como capacitiva además de otros parámetros del motor como potencia aparente, impedancia. Para obtener los valores de Capacitancia durante el Arranque como durante Operación. La figura 17 muestra la pantalla de inicio el programa en donde se ingresan los datos de placa del motor y presentan cálculos obtenidos.



Fig. 17. Ventana de ingreso de Datos y Presentación de Inductancia, Capacitancia del Motores de Inducción

La figura 18 Muestra la gráfica de la corriente desde el sistema monofásico junto con los valores de las corrientes en los terminales del motor.

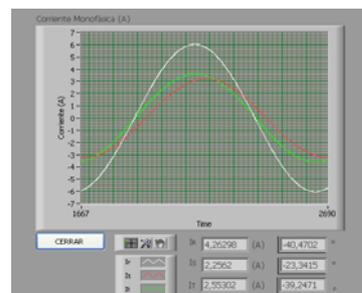


Fig. 18. Gráfica de la forma de onda de las Corriente desde la Alimentación Monofásica



Fig. 19. Tablero del Dispositivo Monofásico con todos sus elementos junto con el motor de Inducción 1HP

4. Análisis Económico entre Alimentación Trifásica vs. Alimentación Monofásica.

El análisis económico a llevar entre las redes de alimentación monofásica y trifásica por Km. se realiza una comparación entre los diferentes gastos que implica la instalación de una red como son: las estructuras, conductor, equipos e instalación del mismo. La comparación de instalación por Km. entre la red de alimentación monofásica y trifásica se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7. Comparación de instalación por Km. entre la red de alimentación monofásica y trifásica

TIPOS DE COSTOS	COSTO POR RED (\$)	
	RED MONOFASICA	RED TRIFASICA
Estructuras de distribución	2085,7	2.899,1
Conductor Altipo ASCR# 4	520,0	1.040,0
Transformador monofásico conv. 10KVA 7620/120-240V	738,7	1.477,5
Costo de instalación	934,7	1.388,9
Dispositivo Monofásico	527,63	-
Costo total (\$/Km.)	4.806,24	6.805,60

CONCLUSIONES

- El motor de inducción desde el sistema de alimentación monofásico al momento de arrancar desde el reposo necesita de un capacitor de arranque para lograr que el par sea suficiente como para vencer la inercia (motor en reposo) y otro durante la operación. El $C_{arranque}=220\mu f$ para todas las pruebas realizadas y el capacitor de Operación fue de $C_{operación}=50\mu f$ este valor es el adecuado con el cual se logró equilibrio de corrientes, de voltajes y principalmente una buena eficiencia.
- La variación de voltaje que se consideró en el análisis teórico del cual parte todo el análisis del dispositivo monofásico fue del 4-8% en los terminales del motor trifásico de inducción, lo cual experimentalmente se demostró que mantiene esta variación desde el sistema de alimentación monofásico al motor de 1HP. Esta caída de voltaje se encuentra dentro del rango permitido según

NEMA Standard MG-10 en donde se muestra el gráfico del efecto de variación de voltaje en las características del motor de inducción.

- Los resultados durante la operación desde el sistema de alimentación monofásico con el uso del dispositivo monofásico presenta armónicos de corrientes entre THDi 6.4% - 10.4% y de voltajes THDv <3.7% tomados con el uso del FLUKE 43B dichos valores son mínimos ya que el estándar IEEE 519-1992 indica los límites en porcentajes de THD (Total Harmonic Distortion) los cuales son THDi <30% y THDv <5%, siendo menor a éstos no presenta evidencia de armónicos en el sistema.
- El análisis técnico experimental indica que desde el sistema de alimentación monofásico más el uso del dispositivo Monofásico para motores trifásicos de inducción logran tener igual eficiencia que con el sistema de alimentación trifásico a una misma carga. La desventaja del proyecto se evidencia:
 - En el aumento de la temperatura interna de los motores trifásicos de inducción.
 - En el tiempo bajo el cuál van a ser utilizados los mismos, es decir; a largo plazo se evidencia un acortamiento en el tiempo de vida útil de los motores trifásicos de inducción en uso.
- El análisis económico indica que el costo total de la red de alimentación trifásica es: \$ 6.805,60. mayor que el costo total con el uso del dispositivo monofásico desde la alimentación monofásica que fue de: \$4.806,24. Es decir, se presenta una diferencia de alrededor de: \$2000. Por lo que resulta más económico el uso del dispositivo monofásico al sistema de alimentación monofásico que llevar el trifásico a sectores rurales.

REFERENCIAS

- Mónica Guerrero Echeverría, "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO MONOFÁSICO PARA ALIMENTAR UN MOTOR TRIFÁSICO DE INDUCCIÓN" (Tesis, Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2006).
- Irving Kosow, Máquinas Eléctricas y Transformadores, Prentice Hall 1993, Capítulo 9.
- Stephen J. Chapman, Máquinas Eléctricas, Mc Graw Hill 1987, Capítulo 7.
- Charla De Calidad de Energía Eléctrica y Análisis Armónico (Guayaquil, Octubre 11-12, 2005), "Calidad de Energía Eléctrica y Análisis Armónico, por Ing. Jorge Aragundy Rodríguez.
- NEMA Standards Publication MG 10-2001, Energy Management Guide for Selection and Use of Fixed Frequency Medium Ac Squirrel-Cage Polyphase Induction Motors.
- INECEL, Normas de Distribución, Tipo de Estructuras, Quito 1974.

