

Implementación de un Sistema de Adquisición de Datos para el Análisis del Comportamiento de Variables Eléctricas en el Arranque de un Motor Trifásico de Inducción

Carla E. Revelo Flores, Escuela Politécnica Nacional (EPN), Quito – Ecuador
 Franklin L. Quilumba Gudiño, Escuela Politécnica Nacional (EPN), Quito – Ecuador
 Iván R. Sánchez Salazar, Universidad de las Américas (UDLA), Quito – Ecuador

Resumen- En el presente trabajo se ha implementado un sistema de adquisición de datos para el análisis del comportamiento de los parámetros eléctricos del arranque de un motor trifásico de inducción, para el efecto se han considerado tres tipos de arranque: directo, Y- Δ y suave. Cada tipo de arranque se realiza a partir de la conmutación de un circuito compuesto de contactores que son controlados por un microcontrolador ATME162P, este interactúa con un computador utilizando una interfaz gráfica desarrollada en MATLAB, que permite al usuario seleccionar el tipo de arranque del motor, recibe los datos extraídos por la placa de adquisición, procesa los datos y presenta finalmente las gráficas voltaje versus tiempo (V vs t), corriente eléctrica versus tiempo (I vs t), factor de potencia versus tiempo (fp vs t) y potencia versus tiempo (P vs t). Con la ayuda de los datos extraídos se realiza una comparación de la corriente RMS experimental con la corriente IRMS teórica obteniendo comportamientos muy semejantes.

Índices –Arranque de motores, microcontroladores, motor de inducción trifásico.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, existen diferentes motores trifásicos de inducción que son utilizados para analizar y relacionar los conceptos teórico-prácticos en los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica. Se han establecido diversas prácticas de laboratorio que permiten evidenciar los fenómenos de conversión de energía eléctrica-mecánica; sin embargo, los aparatos de medición utilizados no permiten llevar un registro de los parámetros medidos en función del tiempo para visualizar de mejor forma dicha información.

Considerando el caso específico del arranque de un motor trifásico de inducción existen diversos métodos de arranque de los cuales se menciona los siguientes [1]:

- Método directo
- Método estrella – delta
- Método arrancador suave

Al presente en el laboratorio se pueden observar los dos primeros métodos de arranque, para lo cual, el estudiante debe armar la circuitería del método seleccionado y mediante una pinza amperimétrica evidenciar el comportamiento de la corriente eléctrica sin tener un registro del comportamiento de la misma, posteriormente el instructor relaciona la parte teórica con lo observado por el estudiante en el amperímetro.

En este trabajo se presenta la implementación de un Sistema de Adquisición de Datos para el Análisis del

Comportamiento de Variables Eléctricas en el Arranque de un Motor Trifásico de Inducción, que mediante una interfaz gráfica controla un circuito que conmuta entre los tres métodos de arranque, posteriormente el sistema muestrea la corriente eléctrica y voltaje, para determinar el factor de potencia y la potencia de arranque, con lo cual se puede llevar un registro y graficar el comportamiento de dichas variables en función del tiempo.

II. DISEÑO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Como se observa en la Fig. 1, el proceso de adquisición involucra las etapas indicadas en los bloques que se mencionan a continuación:

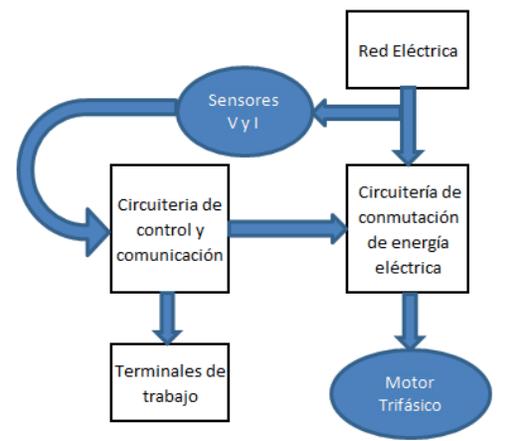


Fig.1. Diagrama de bloques del prototipo [2].

- Sensores para adquisición de variables (voltaje y corriente eléctrica)
- Circuitería de control y comunicación de datos
- Circuitería de conmutación de energía eléctrica
- Terminales de usuario (Interface de terminal de trabajo y teléfono inteligente)
- Motor trifásico de inducción

A. Sensores de Adquisición de Variables

Para determinar la potencia del motor trifásico es necesario adquirir las variables de voltaje de fase y corriente de línea, pero hay que tomar en cuenta que las señales de voltaje y corriente eléctrica tienen componentes armónicas que complican el cálculo del factor de potencia y la potencia trifásica del motor.

El voltaje de fase fue uno de los parámetros que se midió. En este caso se usó un transformador de voltaje para acoplar los niveles de voltaje y así llevarlos a niveles más bajos y posteriormente con la ayuda de elementos pasivos obtener niveles de voltaje TTL que pueden ser medidos por convertidores analógicos-digitales el momento de la adquisición de datos.

La corriente de línea se mide en una de las fases que alimentan al motor a través de un sensor no invasivo de corriente [3], se obtuvieron datos de corriente para diferentes niveles de voltaje, luego mediante el uso de elementos pasivos se acopló dicha señal a niveles TTL para que puedan ser medidos por convertidores analógicos-digitales en el momento de la adquisición de datos.

El factor de potencia es un parámetro difícil de medir debido al origen armónico de las señales de voltaje y corriente, por lo que se decidió usar la siguiente expresión matemática donde se relaciona la potencia activa y la potencia aparente [4] como se observa en la ecuación (1):

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{V.I}{V_{RMS}.I_{RMS}} = \cos \varphi \quad (1)$$

Para el cálculo de la potencia instantánea en un sistema trifásico equilibrado [5] se cuenta con la ecuación (2):

$$P = 3 \cdot V_{LRMS} \cdot I_{LRMS} \cdot \cos \varphi \quad (2)$$

En consecuencia para procedimiento de cálculo se consideran los valores RMS del voltaje de fase y corriente de línea, para determinar los valores RMS[6] se cuenta con la ecuación (3):

$$S_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_0^n S(n)^2} \quad (3)$$

B. Circuitería de Conmutación de Energía Eléctrica

Esta etapa es controlada por los niveles de voltaje generados en los relés de la circuitería de control, debido a que la energía eléctrica que alimenta al motor proviene de una red trifásica, las conexiones del sistema conmutan a través de contactores trifásicos, que cambian su configuración para el arranque respectivo.

Dentro de esta etapa se encuentra el módulo de arranque suave que es un elemento de acondicionamiento de voltaje de alimentación en un motor para romper el momento de inercia en una forma progresiva [7].

Además, en esta etapa se tomó como consideraciones los siguientes:

- 1) Acoplar los esquemas de conexión para arranque directo, arranque delta-estrella y arrancador suave en un solo diagrama de conexiones mediante la conmutación de seis contactores.
- 2) Se dimensionaron los contactores, fusibles, protecciones y guarda motores considerando la corriente nominal del motor trifásico 6.2 A (carga puramente inductiva).

C. Circuitería de Control y Comunicación de Datos

En esta etapa se posicionará el cerebro del sistema considerando que debe realizar tres acciones, primero recibir las señales de voltaje de fase y corriente de línea provenientes de los sensores, segundo controlar los elementos de la circuitería de conmutación de energía eléctrica con el fin de configurar el diagrama de arranque

que seleccione el usuario y finalmente establecer la comunicación con los terminales de trabajo: ya sea en forma física considerando que el usuario interactuará con el sistema mediante una PC enviando y recibiendo información del sistema, o en forma inalámbrica para que el usuario pueda recibir información del sistema y visualizarla en un teléfono inteligente. A continuación, se detallan los elementos considerados en el diseño de esta etapa:

El microcontrolador ATME1328P integrado en la tarjeta Arduino NANO puede recibir información, controlar y comunicarse con otras etapas del sistema, y cumple con los requerimientos del sistema [8] es decir 2 convertidores analógicos/digitales para la conversión de las señales de voltaje de línea y corriente de línea, un puerto de ocho pines (para controlar niveles lógicos 1 y 0), que permiten controlar relés para adaptar niveles digitales a niveles de voltaje alterno (110V), adicionalmente cuenta con un puerto de comunicaciones serial para la transferencia de información hacia el terminal de trabajo (PC) y un puerto de comunicaciones serial para manejar un dispositivo inalámbrico bluetooth para la transferencia de información hacia el terminal móvil (teléfono inteligente).

D. Terminales de Usuario (Interface de Terminal de Trabajo y Teléfono Inteligente)

Esta etapa permite al usuario interactuar con el cerebro del sistema, envía información sobre el tipo de conexión a implementar y recibe datos sobre la adquisición de los parámetros de voltaje y corriente. En el sistema se ha considerado dos terminales de usuario, el primero será una PC en la cual se ha desarrollado una interfaz en MATLAB [9] que se encarga de las siguientes acciones:

- 1) Comunicarse con el cerebro del sistema en dos vías de forma serial, donde se transmitirá información para la configuración de arranque del sistema, recibirá los datos planos provenientes de los sensores de voltaje y corriente, adicionalmente enviará información procesada de los resultados obtenidos.
- 2) Con la información plana receptada, se procesa los datos para posteriormente calcular el factor de potencia y la potencia generada en el motor trifásico.
- 3) Grafica las señales voltaje de fase vs tiempo, intensidad de línea vs tiempo, factor de potencia vs tiempo, Potencia vs tiempo.
- 4) Ajustar los resultados para que se encuentren disponibles al momento de enviar la información a la terminal móvil.

El segundo terminal de usuario es un terminal móvil con sistema operativo Android [10], éste trabaja como esclavo es decir a la espera de información que se envíe desde la PC a través de la circuitería de control y comunicación, se encarga de las siguientes acciones:

- 1) A través de una interfaz de usuario desarrollada en App2 Inventor recibe la información procesada en el PC [11].
- 2) Interpreta esta información para graficarla en la App del teléfono para que el usuario evidencie el funcionamiento del sistema.

E. Motor trifásico de inducción

Considerando que el presente trabajo es un prototipo que funcionará en el laboratorio de máquinas eléctricas, el motor trabajará en las mejores condiciones ambientales, por tal motivo la única variable a considerar será su potencia de trabajo, de la cual dependerá el dimensionamiento de contactores, fusibles, protecciones y guardamotors necesarios que eviten el cortocircuito y los sobrevoltajes que puedan afectar el motor.

La alimentación del motor sale directamente de la circuitería de conmutación de energía eléctrica a través de seis borneras conectadas por cables calibre AWG#12 a las borneras de las bobinas de los devanados del estator permitiendo a la circuitería de control y conmutación cambiar de configuración de arranque del motor. El sistema cuenta con un motor de 2 hp.

F. Esquema General del Sistema de Adquisición de Datos

En síntesis, en la Fig. 2 se puede observar el esquema general del diseño, como se puede apreciar este proceso involucra las etapas anteriormente descritas bajo el siguiente orden, la red eléctrica provee energía a la circuitería de conmutación, la misma que dependiendo del tipo de arranque que seleccione el usuario energiza al motor. El usuario mediante la interfaz gráfica interactúa con la circuitería de control y comunicación de datos, para seleccionar el método de arranque permitir la energización del motor. Después se extraen los parámetros de voltaje y corriente de la red trifásica.

Finalmente la información adquirida es empaquetada en tramas y enviada a la terminal de usuario, la cual se encarga de su procesamiento, análisis e interpretación y mantiene la información procesada disponible para el terminal móvil.

A continuación un diagrama general del diseño:

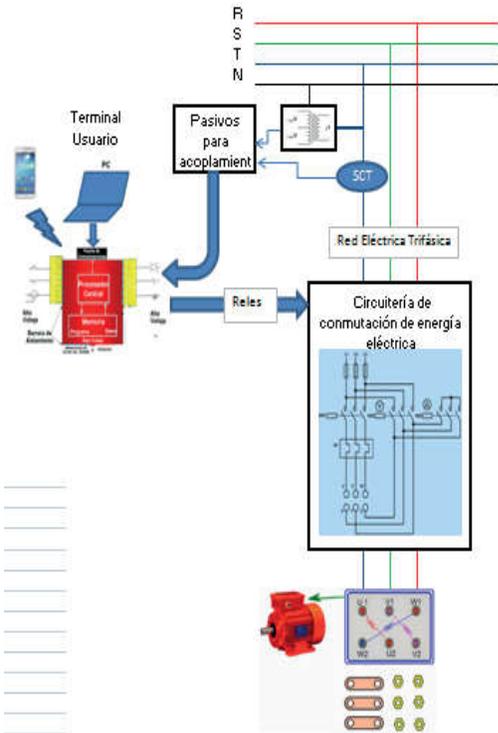


Fig.2. Diagrama de solución del Sistema[2].

III. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

En este apartado se presenta la implementación del hardware diseñado para la adquisición de los datos que provienen del arranque del motor de inducción trifásico.

A. Implementación del Circuito de Comunicación y Control

Considerando que el circuito fue diseñado con el software ISIS de Proteus del LabcenterElectronics versión 7.9, se utilizó la herramienta ARES para obtener el esquemático PCB del circuito diseñado. En la Fig. 3 se observa el PCB obtenido después de la integración del ARES y el ISIS de Proteus.

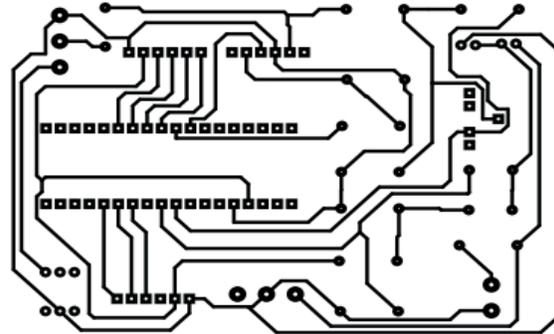


Fig.3. PCB del sistema de adquisición de datos[2].

El siguiente paso es transferir térmicamente este circuito ruteado a una baquelita y con la ayuda de ácido cloruro férrico diluir las secciones de cobre que no estén marcadas por las pistas del circuito, finalmente se perfora la baquelita con una broca de 1 mm y montan los elementos del sistema con la ayuda de estaño y cautín. El resultado final se puede observar en la Fig. 4 donde se aprecia la placa del sistema de adquisición de datos con todos sus elementos.



Fig.4. Placa del sistema de adquisición de datos[2].

B. Identificación de Puertos de la Placa de Adquisición de Datos

La tarjeta de adquisición de datos cuenta con los siguientes puertos: terminales de alimentación DC, terminal sensor de voltaje, terminal sensor de corriente, puerto de comunicaciones, puerto módulo bluetooth y puerto de control de módulos relés. En la Fig. 5 se observa la

identificación de cada uno de los elementos con su respectiva asignación de pines.

Es importante mencionar que para el funcionamiento de la placa se deben integrar el resto de elementos como son el módulo de relés, transformador de voltaje, sensor STC 013, módulo bluetoothHC-05 y la circuitería de conmutación.

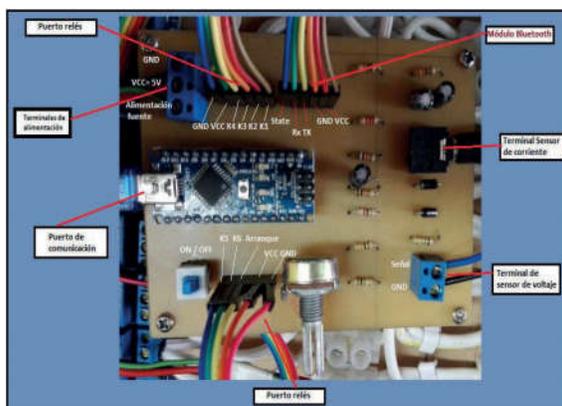


Fig.5. Identificación de puertos para la de adquisición de datos[2].

C. Integración de la Placa con los Módulos Relés y Bluetooth

En la Fig. 6 se puede observar la distribución de pines que se asignó a los dos módulos de relés, sobre la salida de estos módulos converge la alimentación de las bobinas de los contactores del circuito de conmutación los cuales funcionan a un voltaje de 120 VAC.

Adicionalmente se ha etiquetado los LEDs que representan la activación y desactivación de los contactores, se resalta que el último LED de la segunda placa etiquetado como "ARRANQUE" es el relé encargado de activar el módulo soft-starter encargado de la alimentación de voltaje en el arranque suave.

Finalmente se observa la distribución de pines del módulo bluetooth, las etiquetas que se observan en la Fig. 6 determinan la correspondencia de pines el momento de conectar el módulo bluetoothHC-05 a la placa de adquisición de datos.

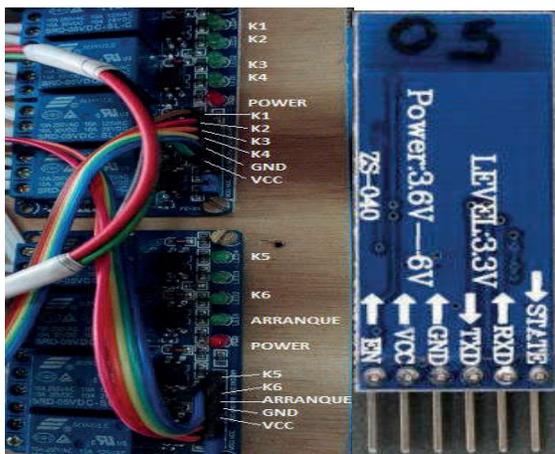


Fig.6. Distribución de pines módulos relés y Bluetooth HC-05[2].

D. Sensor SCT013 y Transformador de Voltaje

En la Fig. 7 se observa la ubicación del sensor de corriente SCT 013 y el transformador de voltaje. Los dos dispositivos se encuentran sobre las líneas principales de

entrada del sistema de energía trifásico, el objetivo de su ubicación es medir los parámetros de voltaje neutro y corriente de línea en una de las fases. El sensor de corriente al ser un elemento no invasivo envuelve uno de los cables de las fases de alimentación trifásica, en cambio el transformador de voltaje fue conectado entre la fase y el neutro de la alimentación principal.

Los dos dispositivos se integran a la placa de adquisición de datos a través del puerto de conexión del sensor de voltaje y el puerto del sensor de corriente.

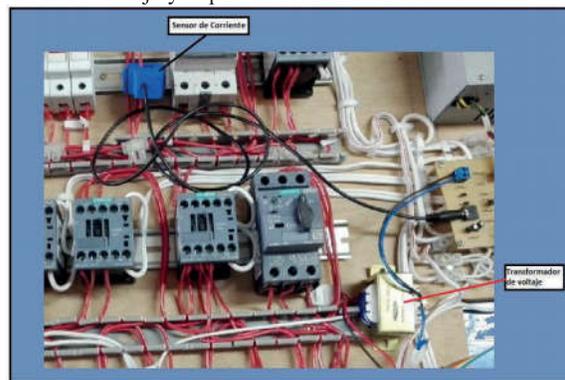


Fig.7. Posición del sensor de corriente y transformador de voltaje[2].

E. Implementación del Circuito Conmutación

Para la implementación de este circuito fue necesario la utilización de una base de madera, cable sólido AWG^o12, contactores, un soft-starter, canaletas metálicas y plásticas. Los contactores del sistema se encuentran normalmente abiertos, esta característica garantiza que a la falta de energía en la bobina de excitación del contactor el mismo estará abierto, evitando así que la energía eléctrica trifásica trascienda a través del circuito de conmutación.

En la Fig.8 se observa el circuito de conmutación de energía eléctrica.

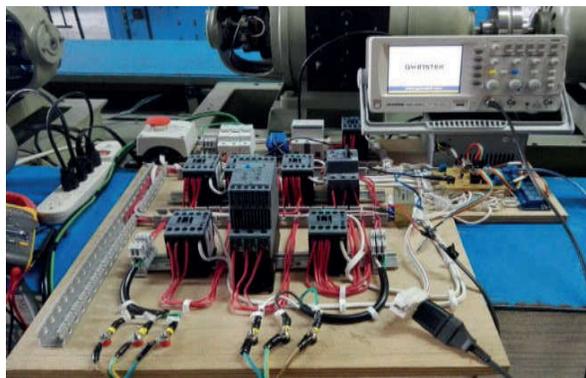


Fig.8. Implementación del circuito de conmutación de energía eléctrica[2].

El sistema cuenta con un botón de pánico, este elemento controla la energía que reciben las bobinas de los contactores y la energía de la fuente de poder; es decir, si existe algún evento inusual en el funcionamiento del sistema este botón quitará la energía en los elementos antes mencionados, salvaguardando su funcionamiento.

IV. SOFTWARE DEL SISTEMA

El sistema cuenta con una interfaz de usuario como se muestra en la Fig. 9.



Fig.9. Interfaz de la PC[2].

La interfaz de la PC fue desarrollada en MATLAB, considerando que la Escuela Politécnica Nacional cuenta con ese software, la aplicación dentro del Laboratorio de Máquinas Eléctricas, no será restringida. En la Fig.10 se observa el diagrama general de funcionamiento de la interfaz de usuario de la PC, se ha establecido el orden jerárquico en el cual el usuario podrá manipular el software, adicionalmente como la interfaz fue desarrollada en una GUIDE de Matlab los subprocesos que se observan obedecen a funciones que realizan una acción específica dentro del programa[9].

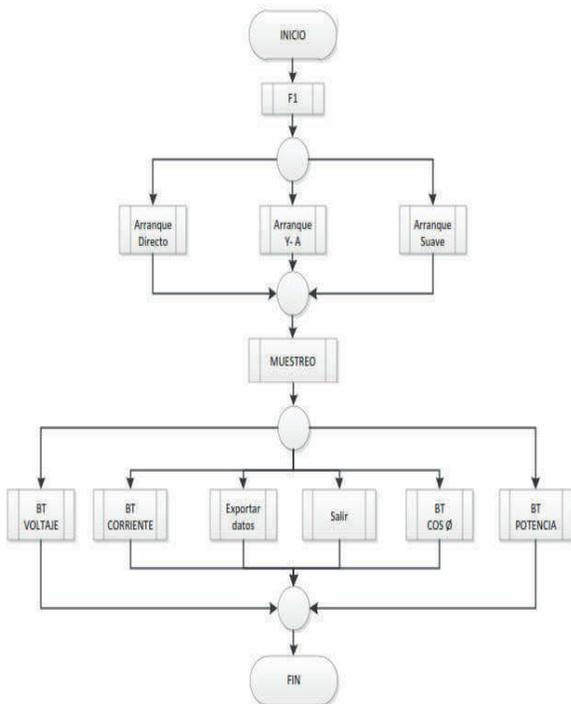


Fig.10. Diagrama de flujo de la interfaz de usuario PC[2].

V. ANÁLISIS DE DATOS DEL SISTEMA FRENTE A DATOS MEDIDOS

El sistema cuenta con una opción para exportar los datos generados por el sistema en los tres tipos de arranque con la finalidad de cotejar los resultados con los valores RMS medidos con una pinza amperimétrica FLUKE376 FC autoescala. Se toman las 10 últimas muestras de voltaje de fase y corriente de línea contenidas desde el tiempo 864 ms hasta 878.4 ms, mediante una hoja de cálculo en Excel y con la ayuda de las ecuaciones mencionadas en el numeral II.A se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA 1. EXPORTACIÓN DE DATOS ADQUIRIDOS EN EL ARRANQUE DIRECTO[2].

ARRANQUE DIRECTO					
Tiempo(ms)	Voltaje	Corriente	Potencia (W)	Vrms	Irms
864.00	-68,07	-3,16	1210.60	120,6522774	3,52
865.60	38,57	0,01	1210.60	Vrms medido	Irms medido
867.20	141,7	2,94	1210.60	123,20	3,80
868.80	171	4,4	1210.60	Error Relativo %	Error Relativo %
870.40	130,57	4,16	1210.60	2,07	7,36
872.00	3,42	2,21	1210.60	POTENCIA 3F	
873.60	-99,12	-1,21	1210.60	1210,18	
875.20	-147,17	-4,14	1210.60		
876.80	-152,44	-4,87	1210.60		
878.40	-135,45	-4,63	1210.60		

TABLA 2. EXPORTACIÓN DE DATOS ADQUIRIDOS EN ARRANQUE Y - Δ[2].

ARRANQUE Y - A					
Tiempo(ms)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Vrms	Irms
864.00	-61,04	-2,43	1165.77	120,2985508	3,50
865.60	-144,82	-4,87	1165.77	Vrms medido	Irms medido
867.20	-151,27	-4,63	1165.77	123,20	3,80
868.80	-154,2	-3,16	1165.77	Error Relativo %	Error Relativo %
870.40	-73,93	0,5	1165.77	2,36	7,95
872.00	35,06	3,18	1165.77	POTENCIA 3F	
873.60	139,35	4,89	1165.77	1165,48	
875.20	171	4,65	1165.77		
876.80	134,08	2,21	1165.77		
878.40	5,17	-0,72	1165.77		

TABLA 3. EXPORTACIÓN DE DATOS ADQUIRIDOS EN ARRANQUE SUAVE[2].

ARRANQUE SUAVE					
Tiempo(ms)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Vrms	Irms
864.00	-65,72	0,01	1160.16	120,6245405	3,38
865.60	-140,72	-2,68	1160.16	Vrms medido	Irms medido
867.20	-162,4	-4,87	1160.16	123,20	3,80
868.80	-153,03	-4,63	1160.16	Error Relativo %	Error Relativo %
870.40	-69,83	-2,92	1160.16	2,09	11,15
872.00	38,57	0,5	1160.16	POTENCIA 3F	
873.60	142,28	3,18	1160.16	1160,17	
875.20	169,82	4,65	1160.16		
876.80	127,05	4,16	1160.16		
878.40	-1,27	1,96	1160.16		

De los resultados obtenidos para los tres tipos de arranque se puede mencionar con respecto al voltaje fase neutro, que se calculó un voltaje RMS que fluctúa entre 120.29 V y 120.65 V, al comparar esta información con las mediciones a través de la pinza amperimétrica FLUKE (123.20 V RMS), se concluye que el error relativo generado se encuentra en el orden de 2.07 a 2.36%. Con respecto a la corriente de línea, los resultados obtenidos en los tres tipos de arranque han permitido calcular una corriente RMS que fluctúa entre los 3.38 A a 3.52 A, al comparar esta información con las mediciones a través de la pinza amperimétrica FLUKE (3.8 A RMS), se concluye que el error relativo generado se encuentra entre 7.36 a 11.15%. En cuanto al $\cos(\phi)$ generado en los tres tipos de arranque se observó que independientemente de la configuración con que arranca el motor, en el momento de la estabilización del sistema, el valor de $\cos(\phi)$ fluctúa entre 0.92 a 0.96, en consecuencia, se determinó que el $\cos(\phi)$ es aproximadamente el mismo en los tres métodos de arranque.

Los valores obtenidos de la potencia trifásica generada en los tres tipos de arranque muestran que, independiente de la configuración con que arranca el motor, al momento de la estabilización del sistema la

potencia fluctúa entre 1160.17 a 1210.18 W, por lo que se puede concluir que la potencia es aproximadamente la misma en los tres métodos de arranque cuando el sistema se estabiliza.

V. ANÁLISIS DE DATOS DEL SISTEMA FRENTE A CURVAS TEÓRICAS

Bajo la misma lógica que se utilizó en el numeral anterior, se procedió a calcular los valores RMS de la corriente de línea en cada uno de los 3 tipos de arranque del sistema. La corriente RMS calculada por periodo de muestreo fue emparejada con el instante de tiempo donde inicia dicho periodo, así se ha generado una tabla de datos corriente RMS vs tiempo, con estos datos se procedió a generar las gráficas de la corriente en función del tiempo como se observa en las Figs.10 a 13.

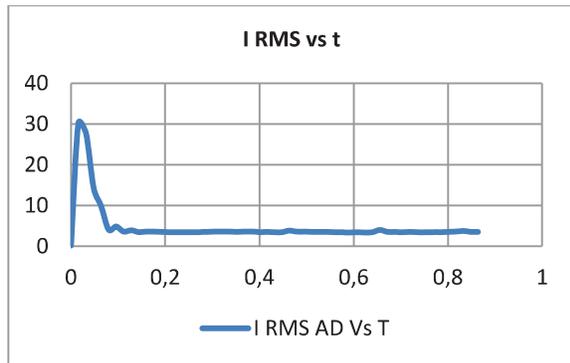


Fig.11. Gráfica IRMS vs t arranque directo[2].

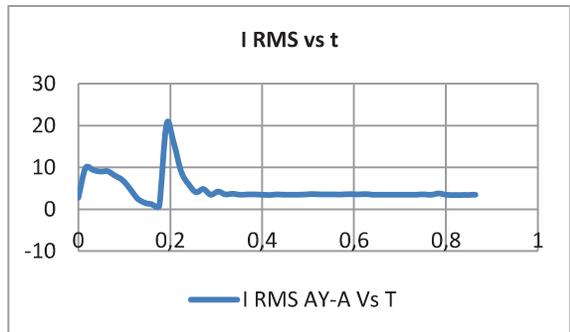


Fig.12. Gráfica IRMS vs t arranque Y - Δ[2].

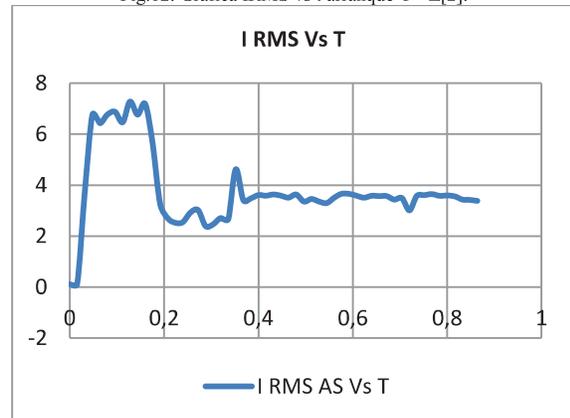


Fig.12. Gráfica IRMS vs t arranque suave[2].

De las gráficas se puede mencionar que en el arranque directo el pico de corriente es aproximadamente 8 veces más

alto que la corriente en estado estable del motor, en el arranque Y-Δ el pico de corriente es aproximadamente 6 veces más alto que la corriente en estado estable del motor y en el arranque suave el pico de corriente es aproximadamente 2.1 veces más alto que la corriente en estado estable del motor.

El tiempo de duración del pico de corriente es mayor en el arranque directo. En el estado estable del motor en las tres gráficas los valores de corriente se estabilizan aproximadamente en 3.6 A. En el arranque Y-Δ del motor, a la corriente le toma más tiempo estabilizarse, aproximadamente 0.3 s, mientras que en el arranque directo le toma menos tiempo, aproximadamente 0,15 s. El tiempo de inestabilidad en las gráficas no supera los 0,3 s debido a que el motor no tiene carga conectada a su rotor.

En la Fig.13 se puede observar la gráfica teórica de comportamiento de la corriente RMS en función del tiempo en los tres tipos de arranque, comparada con la gráfica de la misma corriente obtenida en forma experimental mediante el sistema de adquisición de datos.

Al comparar las gráficas, se puede observar que coinciden en su comportamiento. Es importante mencionar que el tiempo que le toma a la corriente del motor estabilizarse es menor que el observado en las gráficas teóricas, esto se atribuye al funcionamiento del soft-starter como se menciona en su manual técnico la estabilización de la corriente no dependerá del tiempo que se calibre para el arranque, por lo que el tiempo dependerá de que el motor cuente o no con carga mecánica, y de existir carga lo que se debe procurar es que el tiempo de estabilización no supere el tiempo de arranque calibrado en el soft-starter.

En base a lo expuesto, se considera que los resultados alcanzados por el sistema de adquisición de datos fueron los esperados, cumpliendo con los objetivos planteados en el presente trabajo.

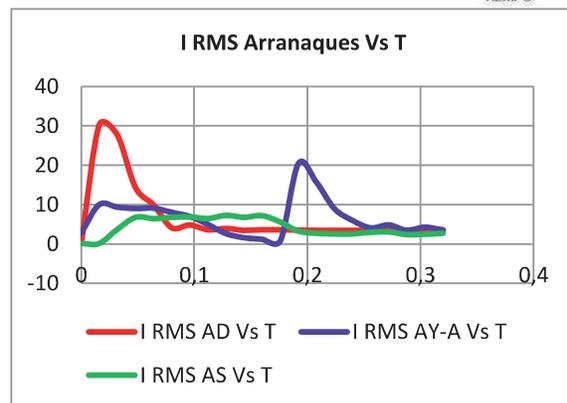
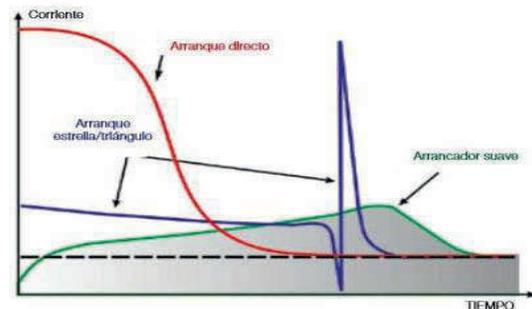


Fig.13. Comparación de las gráficas de corrientes teóricas y experimentales[2].

VI. CONCLUSIONES

Se implementó un módulo didáctico que permite la adquisición, cálculo y visualización de magnitudes eléctricas (voltaje, corriente, factor de potencia y potencia trifásica) de un motor trifásico en tres diferentes métodos de arranque, lo que permitió evidenciar su comportamiento a través de curvas en el dominio del tiempo.

Se analizó el comportamiento de la corriente de línea en tres métodos de arranque de un motor trifásico, mediante las pruebas del sistema se comprobó que en el arranque directo, el pico de corriente es aproximadamente 8 veces más alto que la corriente en el estado estable del motor, en el arranque Y- Δ el pico de corriente es aproximadamente 6 veces más alto que la corriente en estado estable del motor y en el arranque suave el pico de corriente es aproximadamente 2,1 veces más alto que la corriente en estado estable del motor; bajo lo mencionado la corriente pico que genera el motor es menor en el arranque suave.

En cuanto al comportamiento de las curvas de corriente de arranque, en los tres métodos analizados, se evidenció que tanto en la parte experimental así como en la parte teórica, las gráficas coinciden en su comportamiento. Cabe resaltar que el tiempo que le toma a la corriente estabilizarse en el arranque suave es menor que la que se observa en la teoría. Esta diferencia se atribuye al funcionamiento del soft-starter, debido a que la estabilización de la corriente no depende del tiempo que se calibre para el arranque sino de que el motor cuente o no con carga.

Se evidenció que con la integración de módulos (tarjeta arduino NANO, relés), elementos pasivos (transformador de corriente, SCT013, resistencias y capacitores) y elementos de control industrial (fusibles, breakers, guardamotors, contactores y soft-starter) fue posible establecer un proceso de adquisición de datos, que permitió medir magnitudes eléctricas como voltaje de fase, corriente de línea; así como también calcular otras magnitudes como factor de potencia y potencia trifásica en el arranque de un motor trifásico.

En las gráficas experimentales se evidenció que el pico de corriente es más duradero en el arranque directo, adicionalmente cuando el motor se encuentra en estado estable, la corriente nominal es aproximadamente de 3.6 A en los tres tipos de arranque.

El tiempo que a la corriente le toma estabilizarse es más alto en el arranque Y- Δ (aproximadamente 0.3s) y es más bajo en el arranque directo (aproximadamente 0.15 s), considerando en los dos escenarios que el motor funcionó sin carga, estos resultados podrían ser diferentes cuando el motor cuente con carga.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] De León Edwin, "MOTOR TRIFASICO-FUNCIONAMIENTO Y CONEXIONES". Enero-2015.
- [2] C. Revelo, "Implementación de un Sistema de Adquisición de Datos para el Análisis del Comportamiento de Variables Eléctricas en el Arranque de un Motor Trifásico de Inducción", may-2017
- [3] F. Pedrosa, «Medidor de energía eléctrica microcontrolado». jun-2011.
- [4] R. Ortega, "Guía 9. Calculo de potencias y factor de potencias". Colegio Juan Piamarta, NA.
- [5] J. Frailé, Máquinas eléctricas, Quinta. España: Mc. Graw Hill.
- [6] J. Gonzales, "CÁLCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL", p. 105, sep. 2006.
- [7] SIEMENS, "Control industrial SIRIUS Arrancadores suaves 3RW30 / 3RW40". SIEMENS, mar-2014.
- [8] ATMEL, "ATmega328/P". ATMEL, nov-2016.
- [9] M. Villanueva, "TUTORIAL DE INTRODUCCIÓN A MATLAB".
- [10] R. Invarato, "Android 100%". Jarroba, 29-oct-2014.
- [11] Android, "PROGRAMACIÓN DE APLICACIONES ANDROID CON APPINVENTOR". Android, NA.

VIII. BIOGRAFÍAS.



Carla Revelo obtuvo el título de Ingeniero Eléctrico en la Escuela Politécnica Nacional en Quito, Ecuador, en el 2017. Realizó sus estudios secundarios en el Colegio Hipatia Cárdenas 1999.

Desde el 2006, la Ing. Revelo se ha desempeñado en varios cargos en diversas instituciones privadas: SIEMENS ECUADOR, CET CONSTRUCCIONES, AENOR ECUADOR, dichos cargos estuvieron enfocados a la transmisión y distribución de energía eléctrica. Actualmente se desempeña como Ingeniera Eléctrica en la Empresa Eléctrica Quito.



Franklin L. Quilumba(S'10-M'14) obtuvo el título de Ingeniero Eléctrico en la Escuela Politécnica Nacional en Quito, Ecuador, en el 2008. Realizó sus estudios de posgrado en la Universidad de Texas Arlington, en Arlington, Estados Unidos de América, donde obtuvo el grado de Master of Science y el título de Doctor of Philosophy Ph.D.

in Electrical Engineering en el 2014.

Desde el 2014, el Dr. Quilumba es parte del cuerpo docente de la Escuela Politécnica Nacional, donde es Profesor Agregado. Sus áreas de interés son análisis, operación, estabilidad y control de sistemas eléctricos de potencia, modelación de carga, planeación de generación y transmisión; respuesta de la demanda; y predicción de carga.



Iván Ricardo Sánchez Salazar obtuvo el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en la Escuela Politécnica Nacional en Quito, Ecuador, en el 2006. Realizó sus estudios de posgrado en la Universidad Central del Ecuador, en Quito, Ecuador, donde obtuvo el grado de Magister en Calidad, Seguridad y Ambiente en el 2015. Desde el 2006, se desempeña como docente en cátedras como Comunicación Digital, Teoría de Comunicaciones y Circuitos Electrónicos en la Escuela Politécnica Nacional y en la Universidad de las Américas. Actualmente se desempeña como profesor principal en la Universidad de las Américas y brinda servicios de consultoría para Huawei Technologies.