



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE**  
**POTENCIA**  
**PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UN MOTOR ASÍNCRONO**

Proyecto de titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico en  
Sistemas Eléctricos de Potencia.

**Autores:**

Cando Cando Tony Evair

Murillo Rivera Jose Daniel

**Tutor Académico:**

Ms.C. Castillo Fiallos Jessica Nataly

**LATACUNGA – ECUADOR**

**2023**



## DECLARACIÓN DE AUDITORIA

Nosotros **CANDO CANDO TONY EVAIR** y **DANIEL MURILLO RIVERA** declaramos ser autores del presente proyecto tecnológico: “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UN MOTOR ASÍNCRONO”, siendo la **Ms.C. Castillo Fiallos Jessica Nataly** la tutora del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

.....  
**Cando Cando Tony Evair**

**C.C. 050260512-4**

.....  
**Murillo Rivera Jose Daniel**

**C.C. 210093358-5**



## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UN MOTOR ASÍNCRONO”, de **Cando Cando Tony Evair**, con cédula de ciudadanía N° 050260512-4, y **Murillo Rivera Jose Daniel**, con cédula de ciudadanía N°210093358-5, de la carrera de Ingeniería Eléctrica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto del 2023

**Tutor de Titulación**

**Ms.C. Castillo Fiallos Jessica Nataly**

**CC: 0604590216**



## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.; cuanto, los postulantes Cando Cando Tony Evair, con cedula de ciudadanía N° 050260512-4, y Murillo Rivera Jose Daniel, con cedula de ciudadanía N° 210093358-5 con el título de Proyecto de titulación: “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UN MOTOR ASÍNCRONO” han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, agosto 2023

Para constancia firman:

**Lector 1 (Presidente)**  
**Ing. Gabriel Pesantez Palacios**  
C.C. 030189388-9

**Lector 2**  
**Ing. Franklin Vásquez Teneda**  
C.C. 171043449-7

**Lector 3**  
**Ing. Marco Anibal Leon Segovia**  
C.C. 050230540-2



## AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

Mediante el presente documento pongo a consideración que el **Sr. Cando Cando Tony Evair**, con numero de cedula N° 0502605124 y el **Sr. Murillo Rivera Jose Daniel** con numero de cedula N° 210093358-5 estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi de la carrera de Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia, realizaron el diseño e implementación de su propuesta tecnológica bajo el nombre de “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UN MOTOR ASÍNCRONO”, trabajo que fue desarrollado de manera satisfactoria logrando obtener resultados positivos

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al interesado hacer uso del presente documento en cuando estime conveniente mientras se encuentre dentro del marco legal.

Latacunga, agosto del 2023

Atentamente:

  
.....  
Ing. Luis Eduardo Hinojosa

C.C. 0502365810

Responsable del Laboratorio de Control Industrial



## AGRADECIMIENTO

*El principal agradecimiento es a Dios que me dio la salud y sabiduría ya que, siempre me mostro el camino del bien y me ha dado la fortaleza de seguir adelante.*

*Gracias a mis padres por ser los principales promotores de este sueño, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que han inculcado en mí, que con su amor y sabiduría han sabido guiarme para ser una mejor persona cada día, por darme su confianza para demostrar que con esfuerzo y sacrificio se puede lograr todo lo propuesto, además de su apoyo incondicional a lo largo de mi trayectoria estudiantil*

*A mis maestros, por sus enseñanzas y consejos brindados durante estos años para poder demostrar mi potencial y a su vez desarrollarme profesionalmente.*

*A mi compañera de vida que siempre me supo apoyar en todo momento a pesar de los malos momentos que pase en este trayecto, agradecida contigo por darme la bendición de tener a mi hija Gemma Daniela Cando Tipanluisa que es el motivo por el cual e concluido con éxito el tan anhelado título.*

*Finalmente agradezco a mi familia, amigos y personas especiales por apoyarme cuando más los necesito, por extenderme su mano en momentos difíciles de mi trayectoria estudiantil y por el cariño brindado, de verdad mil gracias siempre los llevo en mi corazón.*

*Cando Tony*



## AGRADECIMIENTO

*El principal agradecimiento a Dios que me dio salud y sabiduría, ya que, siempre me mostró el camino del bien y me ha dado la fortaleza de seguir adelante.*

*Gracias a mis padres y a la madre de mi hijo por ser los principales promotores de este sueño, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que han inculcado en mí, que con su amor y sabiduría han sabido guiarme para ser una mejor persona cada día, por darme su confianza para demostrar que con esfuerzo y sacrificio se puede lograr todo lo propuesto, además de su apoyo incondicional a lo largo de mi trayectoria estudiantil.*

*A todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos, Ing Gabriel Pesantez, Ing. Franklin Vásquez, Ing. Marco León por ser guías en este proyecto y al tutor Ms.C. Jessica Castillo.*

*Finalmente quiero agradecer a toda mi familia, amigos y personas especiales por apoyarme cuando más los necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día, de verdad mil gracias siempre los llevo en mi corazón.*

*Murillo Daniel*



## DEDICATORIA

*Este trabajo se lo dedico a mi madre querida Norma Balvina Cando Tipanluisa a mi padre Diego Alcides Cando Tandalla que con su esfuerzo dedicación y sabiduría me supieron guiar por el camino del bien, lo cual me ha ayudado a seguir adelante en los momentos más difíciles, aunque de vez en cuando uno era mal agradecido con ellos pero jamás me dejaron solo siempre estaré muy agradecido de mis padres que siempre tuve su apoyo incondicional ya que a pesar de mis tropiezos siempre se sintieron orgullosos de la persona en la que me estaba convirtiendo, gracias padres por nunca dejarme solo cuando se enteraron que venía en camino mi hija ahí fue cuando más los necesitaba pero por circunstancias de la vida poco a poco se fue resolviendo la situación, estaré siempre agradecido de la humilde persona que llegaron a formar.*

*Quiero dedicar este triunfo a mis hermanas Genesis Cando y Aylin Cando porque son la razón de sentirme apoyado por ustedes y de sentir que tienen ahora un apoyo más que dedicado a ustedes. Sin merecer a nadie dedico esto a toda mi familia en especial a mi primo David Pilatasig que empezamos juntos este camino, pero lamentablemente dejaste de existir en este mundo, pero siempre te tengo presente en mi corazón este logro va por los dos primo (PUKA)*

*En especial como no agradecer a la persona muy especial que es a la madre de mi hija Fernanada Tipanluisa porque con ella empezamos este recorrido estudiantil y que siempre me dio ese apoyo cuando ya uno estaba caído infinitamente agradecido, también dedicarle este logro tan especial para mi princesita Gemma Daniela Cando Tipanluisa que por ella se logró este objetivo tan anhelado gracias hija de mi vida por darme esas fuerzas.*

*Cando Tony*



## DEDICATORIA

*Este trabajo lo dedico con todo mi amor y cariño a mi Madre Tania Murillo y a mi Padre Danny Villalba, que inculcaron en mí los valores necesarios, los cuales me han llevado a ser una persona de bien, por enseñarme que, con humildad, respeto y perseverancia se puede llegar muy lejos en la vida, ya que a pesar de mis tropiezos siempre se siente orgulloso de la persona en la que me estaba convirtiendo, por haberme motivado y dado el valor de siempre enfrentar cada dificultad, por mostrarme que cada sacrificio trae consigo una recompensa y una experiencia de la cual se puede aprender, sobre todo por saber lidiar conmigo y siempre ayudarme a encontrar una solución a cada problema y obstáculo que se ha cruzado en mi camino.*

*En especial quiero dedicar este triunfo a mi acompañante de vida Karen Macias y mi hijo Breiner Daniel, porque son la razón de sentirme tan orgulloso de culminar mis estudios, ya que son un pilar fundamental en mi vida, gracias por confiar siempre en mí. Y sin dejar atrás a toda mi familia, abuelitos, tíos, hermanos y primos que han sido parte de mi vida y por permitirme ser parte de su orgullo.*

*Por último, quiero dedicar este logro a las pocas personas a las cuales puedo llamar Amigos, ya que desde hace muchos años hemos estado juntos y hemos visto el crecimiento personal de cada uno de nosotros, que los aprecio mucho por jamás darme la espalda, por brindarme de su apoyo cuando más los necesitaba y por estar conmigo en aquellos días que nadie más estaba.*

*Murillo Daniel*



## ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
DECLARACIÓN DE AUDITORIA.....	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN.....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iv
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
DEDICATORIA.....	viii
DEDICATORIA.....	ix
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xv</b>
ABSTRACT.....	xvi
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xvii
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
2.1. EL PROBLEMA.....	2
2.1.1. Situación Problemática.....	2
2.1.2. Formulación del Problema.....	3
2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	3
2.2.1. Objeto.....	3
2.2.2. Campo de acción.....	3
2.3. BENEFICIARIOS.....	3
2.3.1. Beneficiarios directos.....	3
2.3.2. Beneficiarios indirectos.....	3
2.4. JUSTIFICACIÓN.....	3
2.5. HIPÓTESIS.....	4
2.6. OBJETIVOS.....	4
2.6.1. Objetivo General.....	4
2.6.2. Objetivos Específicos.....	4
2.7. SISTEMA DE TAREAS.....	5



3.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	6
3.1.	ANTECEDENTES .....	6
3.2.	Máquina Asíncrona.....	9
3.2.1.	Aspectos constructivos .....	9
3.2.2.	Principio de Funcionamiento.....	12
3.2.3.	Circuito equivalente del motor asíncrono.....	15
3.3.	Característica en vacío y a rotor bloqueado.....	17
3.3.1.	Par de arranque del motor.....	18
3.4.	Parámetros de cálculo de los motores asíncronos.....	18
3.4.1.	Torque.....	18
3.4.2.	Potencia que pasa por el entre hierro.....	19
3.4.3.	Potencia del estator.....	20
3.5.	Arranque de motores asíncronos trifásicos.....	20
3.5.1.	Funciones y constitución de los arrancadores.....	20
3.6.	Tipos de conexiones en motores.....	21
3.6.1.	Arranque directo .....	22
3.6.2.	Arranque estrella – triangulo .....	23
3.6.3.	Arranque con variador de frecuencia.....	24
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
4.1.	MÉTODOS INVESTIGATIVOS .....	26
4.1.1.	Investigación bibliográfica .....	26
4.1.2.	Investigación descriptiva .....	26
4.1.3.	Investigación Formativa .....	26
4.1.4.	Investigación de Campo.....	26
4.2.	TÉCNICAS DE LA INVESTIGACIÓN .....	26
4.2.1.	Experimental.....	26
4.2.2.	Análítico.....	27
4.3.	MATERIALES .....	27
4.3.1	Motor de inducción trifásico 1Hp.....	27
4.3.2.	Características del motor a simular.....	28
4.3.3.	Analizador de redes FLUKE 435-II.....	28
4.3.4.	Variador de frecuencia INVE 3Hp .....	29



4.3.5. Módulo de automatización en control industrial .....	30
4.4. Metodología para el empleo del módulo de arranque de motores .....	30
4.4.1. Implementación del modulo .....	30
4.4.2. Diagrama de flujo .....	31
4.4.3. Condiciones de funcionamiento.....	32
4.4.4. Casos de estudio.....	32
4.4.5. Arranque directo para motores asíncronos trifásicos de 1 Hp .....	33
4.4.6. Arranque estrella-triángulo en el motor asíncrono trifásico de 1 Hp .....	33
4.4.7. Arranque suave para motores asíncrono-trifásicos de 1Hp .....	33
4.5. Tipos de Arranques .....	35
4.5.1. CASO 1 ARRANQUE EN DIRECTO .....	35
4.5.2. CASO 2 ARRANQUE EN ESTRELLA-TRIANGULO.....	35
4.5.3. CASO 3 ARRANQUE CON VARIADOR DE FRECUENCIA (VFD).....	36
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	38
5.1. ARRANQUE DE PRUEBA EN MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS .....	38
5.2. DESCRIPCIÓN DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DESARROLLADAS PARA LOS DIFERENTES TIPOS DER ARRANQUE.....	38
5.2.1. Arranque directo en motores asíncronos trifásicos.....	38
5.2.2. Arranque directo con carga 50% (14kg).....	42
5.2.3. Arranque en configuración estrella - triangulo en motores asíncronos .....	46
5.2.4. Arranque estrella triangulo con carga del 50% (14kg) .....	48
5.2.5. Arranque usando el variador de frecuencia. ....	53
5.2.6. Picos de voltaje efectuando en cada arranque trifásico. ....	54
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	57
6.1. CONCLUSIONES .....	57
6.2. RECOMENDACIONES.....	57
7. BIBLIOGRAFÍA .....	58
8. ANEXOS .....	61



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Sistema de tareas con relación a los objetivos establecidos.....	5
Tabla 3.1 Valores nominales de velocidad para maquinas asíncronas.....	15
Tabla 3.2 Valores nominales de velocidad para maquinas asíncronas.[23].....	22
Tabla 4.1 Características del motor. ....	28
Tabla 5.1. Datos obtenidos mediante el arranque directo sin carga .....	39
Tabla 5.2. Datos del arranque directo media carga (50%) .....	42
Tabla 5.3. Datos mediante el arranque directo a plena carga (100%).....	45
Tabla 5.4. Datos mediante el arranque directo a sin carga (0%).....	46
Tabla 5.5.. Datos mediante el arranque estrella - triangulo a con carga (50%).....	51



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Estator de un motor asíncrono[16].	10
Figura 3.2 Rotor en jaula de ardilla[16].	11
Figura 3.3 Rotor devanado o con anillos[16].	12
Figura 3.4 Tensión Trifásica Senoidales Desfasadas [13].	12
Figura 3.5 Vectores de un rotor [17].	14
Figura 3.6 Circuito equivalente de un motor de inducción.	16
Figura 3.7. Balance de potencias	16
Figura 3.8. Curva característica del arranque directo del motor asíncrono.	23
Figura 3.9 Configuración del arranque estrella – delta	24
Figura 3.10. Deceleración progresiva y para frenada	25
Figura 4.1. Rotor jaula de ardilla.	27
Figura 4.2. Equipo de medición analizador de redes.	28
Figura 4.3. Conexión del analizador a un sistema de distribución trifásica [29].	29
Figura 4.4. Configuración VDF – panel [30].	29
Figura 4.5. Diagrama de flujo de la construcción del tablero.	31
Figura 4.6. Conexión de un motor en triangulo y en estrella[32].	33
Figura 4.7. Esquema de conexión de arrancador usando el variador de frecuencia [33].	34
Figura 4.8. Arranque suave aumenta de forma progresiva la tensión [33].	34
Figura 5.1. Pico de corriente en arranque directo en vacío	40
Figura 5.2. Voltaje de arranque directo en vacío.	41
Figura 5.3. Corriente de arranque directo con carga (14Kg).	43
Figura 5.4. Voltaje de arranque directo con carga (14Kg).	44
Figura 5.5. Pico de corriente en arranque estrella triangulo en vacío.	47
Figura 5.6. Voltaje de arranque estrella triangulo en vacío	48
Figura 5.7. Datos mediante el arranque estrella - triangulo a con carga (50%)	49
Figura 5.8. Corriente de arranque directo con carga (14Kg).	50
Figura 5.9. Voltaje de arranque directo con carga (14Kg).	50
Figura 5.10. Corriente de arranque directo con carga (20Kg).	52
Figura 5.11. Voltaje de arranque directo con carga (20Kg).	53
Figura 5.12. Pico de corriente en arranque estrella triangulo en vacío.	53
Figura 5.13. Voltaje de arranque estrella triangulo en vacío.	54
Figura 5.14. Arranque trifásico en función del tiempo en segundos y el voltaje (V).	55
Figura 5.15. Arranque trifásico de manera local en función del tiempo en segundos y el voltaje en la línea AB (V).	56
Figura 5.16. Arranque trifásico de manera local en función del tiempo en segundos y el voltaje en la línea CA (V).	56
Figura B.1. Plano del Módulo previo a su construcción	¡Error! Marcador no definido.
Figura C.2. Diseño y montaje de los elementos en el módulo	63
Figura D.3. Esquema unifilar del módulo de automatización	82



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

### FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

**TITULO:** “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UN MOTOR ASÍNCRONO”

**Autores:**

Cando Cando Tony Evair

Murillo Rivera Jose Daniel

### RESUMEN

En la actualidad es de gran importancia entender el funcionamiento y el comportamiento de los motores asíncronos bajo ciertas condiciones de trabajo, tomando en consideración que los motores asíncronos son de gran importancia para el funcionamiento de la Industria. Es importante entender y comprender el cálculo de los parámetros eléctricos del motor, para esto es necesario establecer una metodología adecuada para la aplicación en el cálculo. Los motores de inducción presentan parámetros eléctricos que varían de acuerdo con las condiciones aplicadas en vacío y en carga.

Se realiza el diseño y la construcción de un módulo de prácticas de motores asíncronos para el Laboratorio de Control Industrial de la Universidad Técnica de Cotopaxi, debido al requerimiento de otro modulo para el laboratorio, que permita entender el principio de su funcionamiento, el cálculo de los parámetros básicos ante diferentes escenarios. Una vez que se han establecido los valores de los parámetros junto con las corrientes cuando el sistema está en reposo y cuando está funcionando a plena carga, se procede a definir el procedimiento para el funcionamiento del motor. Esto incluye la creación de gráficos que representen la potencia, el factor de potencia y la corriente en función de la velocidad. Se presta especial atención al cálculo de la fuerza y la corriente necesaria para poner en marcha el motor, así como la velocidad en la que opera de manera óptima.

Con la implementación de este módulo se podrá realizar las respectivas prácticas y pruebas del arranque y funcionamiento de motores asíncronos que permitirá a los estudiantes fortalecer los conocimientos sobre los motores de Inducción. Para el desarrollo de la presente investigación se presenta una guía práctica del funcionamiento del banco de pruebas, que cuenta con varias prácticas tomando en consideración los arranques y los pesos a los cuales es sometido el motor para de esta manera evaluar el comportamiento del motor. Queda a disposición de los estudiantes de mejorar el módulo de prueba y realizar un gran sinnúmero de pruebas.

**Palabras Clave:** Motor de inducción, arranque, parámetros eléctricos



## TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

### ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES SCHOOL

**THEME:** "ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF AN ASYNCHRONOUS MOTOR".

#### **Authors**

Cando Cando Tony Evair

Murillo Rivera Jose Daniel

#### **ABSTRACT**

This technological proposal on the analysis of the behavior of a three-phase asynchronous motor defines a type of induction motor commonly used in various types of machinery and industrial systems.

An industrial control module was designed in AutoCAD software which contains elements of force, control and electrical measurement, the combination of these elements allows different starts such as direct, star-triangle and with frequency converter subjecting the motor to a load at no load, 50% and 100% of its capacity. The behavior can be analyzed from different perspectives to understand how it works and evaluate its performance. Among the most important characteristics to consider are electrical, mechanical and thermal. Regarding the electrical characteristics, the synchronous speed, which is the speed at which the motor rotor should rotate if there were no slip, and the slip, which indicates the difference between the synchronous speed and the actual rotational speed of the rotor, stand out. Also relevant is the starting current, which is the electrical current flowing through the motor at start-up, and the efficiency, which indicates the ratio of the motor's power output to its power input.

Finally, it was identified that star-delta starting reduces the starting current in three-phase motors, since, the delta configuration can be 5 times greater than the total load demand causing damage to sensitive equipment. The star configuration will reduce the voltage to 58% and the coil current to 33%, compared to the delta configuration, in addition to reducing the torque by about 33%.

**KEYWORDS:** Asynchronous, Starting, Torque.



CENTRO  
DE IDIOMAS

### *AVAL DE TRADUCCIÓN*

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UN MOTOR ASÍNCRONO”** presentado por: **Cando Cando Tony Evair y Murillo Rivera José Daniel** egresados de la Carrera de: **Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia** perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, agosto del 2023

Atentamente,

  
MSc. Alison Mena Barthelotty  
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-  
UTCCI: 0501801252





## **1. INFORMACIÓN GENERAL**

**Título:** ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UN MOTOR ASÍNCRONO.

**Tipo de Proyecto:** Proyecto Tecnológico

**Fecha de inicio:** abril 2023

**Fecha de finalización:** agosto 2023

**Lugar de ejecución:** Universidad Técnica De Cotopaxi

**Facultad que auspicia:** Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

**Carrera que auspicia:** Carrera Electricidad

**Proyecto Macro Asociado:** Desarrollo de sistemas eficientes para el abastecimiento y uso de energía eléctrica a nivel local, regional o nacional.

**Equipo de Trabajo:**

**Grupo de Investigación:** Sistemas Eléctricos de Potencia

**Tutor de Titulación:** Ms.C. Jessica Nataly Castillo Fiallos

**Estudiante:** Tony Evair Cando

Jose Daniel Murillo Rivera

**Área de Conocimiento:** 07 Ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesiones Afines / 0713 Electricidad y Energía.

**Línea de investigación:** Energías Alternativas y Renovables, Eficiencia Energética y Protección Ambiental.

**Sublíneas de investigación de la Carrera:**

Motores Eléctricos

Control y sistemas inteligentes

## **2. INTRODUCCIÓN**

### **2.1.EL PROBLEMA**

#### **2.1.1. Situación Problemática**

Los motores asíncronos trifásicos están presentes en la industria por su gran facilidad de manipulación y su accesibilidad, el identificar su comportamiento de estos motores es un requerimiento en la actualidad.

Los motores eléctricos de inducción son parte integral de todos los procesos industriales; su durabilidad, bajo costo, facilidad de mantenimiento y versatilidad los han hecho populares en aplicaciones que van desde electrodomésticos hasta equipos industriales más avanzados. Al ser una máquina eléctrica de estructura física simple y giratoria, la clasificación de los tipos de falla se puede dividir en tres grupos: fallas mecánicas, fallas eléctricas y fallas eléctricas [1].

El uso de motores en fábricas crea problemas por su construcción y tipo de arranque que reducen la calidad de la electricidad, un par elevado crea un consumo excesivo que supera 7 veces la placa de desgaste del motor, lo que provoca un sobrecalentamiento donde se pierde el aislamiento, para protegerlos, se ha hecho necesario introducir sistemas de arranque que aseguren la continuidad del servicio y una mejor protección tanto para los motores como para las personas. Mucho depende de las capacidades para ejecutar una aplicación en particular que optimice las fallas en los motores [2].

Debido a que en los últimos años el desarrollo del parque industrial va en incremento y consigo las fallas que estos podrían causar en una producción industrial retrasaría los procesos industriales que afectarían la demanda de los clientes, es por ello que es necesaria elementos que ayuden a acortar tiempos e de producción, por tal motivo es necesario tener un equipo de profesionales que instalen, operen y mantengan el funcionamiento normal de la industria.

La Universidad Técnica de Cotopaxi, la Facultad de Ciencias De La Ingeniería Y Aplicadas, carrera de Ingeniería Eléctrica En Sistemas Eléctricos De Potencia, cuenta con un laboratorio para el desarrollo de prácticas y simulaciones de sistemas de control, automatización e instalaciones industriales, donde se identifica como problema la falta de módulos didácticos que faciliten el entendimiento sobre los parámetros de funcionamiento de los motores asíncronos.

### **2.1.2. Formulación del Problema**

El correcto funcionamiento de un motor asíncrono trifásico parte de la forma de su arranque inicial, evaluando los picos de corriente, voltaje y potencia al momento de colocar en funcionamiento el motor para así poder alargar la vida útil del motor tanto eléctrico como mecánico.

## **2.2.OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN**

### **2.2.1. Objeto**

El objeto de estudio son los motores asíncronos (inducción).

### **2.2.2. Campo de acción**

330000 ciencias Tecnológicas / 3311 Tecnología de la Instrumentación / 331101 Tecnología de Automatización.

## **2.3.BENEFICIARIOS**

### **2.3.1. Beneficiarios directos**

Los beneficiarios directos son los estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

### **2.3.2. Beneficiarios indirectos**

Los beneficiarios indirectos es el sector industrial.

## **2.4.JUSTIFICACIÓN**

Las máquinas eléctricas de inducción son elementos esenciales en cualquier proceso de producción y, por ende, necesitan un mantenimiento excepcional y condiciones de operación adecuadas para cumplir eficazmente con los objetivos generales de una instalación industrial.

Actualmente, los motores eléctricos asíncronos son de gran importancia en la industria, por lo que es importante conocer su comportamiento y variables de funcionamiento, así como sus procesos de arranque, tales como conexiones, potencia, voltaje y corriente. Estas variables se miden al inicio del proceso de arranque de un motor trifásico, lo cual facilita el aprendizaje y manejo con el objetivo principal de ayudar a los estudiantes de la facultad de CIYA de la Universidad Técnica de Cotopaxi La Matriz.

Ampliando los conocimientos en prácticas de arranque para motores asíncronos trifásicos de 1 Hp con el apoyo de tecnología se mantendrá un eficiente rendimiento durante el proceso de las conexiones, el control de los motores también tiene la conexión principal como es un variador

de frecuencia el cual permite rectificar la corriente, voltaje y el control de velocidad el cual permitirá observar diferentes comportamientos al momento del arranque al inicio durante y después, con el uso de un analizador de redes se interpretan los resultados a partir de las gráficas obtenidas mediante el monitoreo de los diferentes tipos de arranques.

Este tema de investigación fue elegido debido a los requisitos que surgen a medida que se desarrolla la tecnología en los campos industrial y de control de motores al considerar atenuar los picos de arranque por los diferentes métodos. Las mejoras se logran principalmente agregando material utilizando técnicas más costosas, como unidades de frecuencia variable que implementan un arranque suave. En segundo lugar, mediante la creación de configuraciones en el diseño inicial, como la configuración estrella-triángulo.

Por lo tanto, desde una perspectiva académica, este estudio es consistente con los objetivos del proyecto de Formación de la Carrera de Ingeniería Eléctrica denominado “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UN MOTOR ASÍNCRONO” proporcionando dar soluciones a los problemas que se encuentre, dando alternativas en el uso de los diferentes tipos de arranques en motores asíncronos trifásicos.

## **2.5.HIPÓTESIS**

¿La implementación de un módulo en el cual se estudia el motor asíncrono permitirá analizar los distintos tipos de arranques y facilitar el cálculo de los parámetros básicos del motor trifásico asíncrono?

## **2.6.OBJETIVOS**

### **2.6.1. Objetivo General**

Analizar los diferentes tipos de arranque de un motor trifásico asíncrono mediante distintas configuraciones en un módulo didáctico que facilite el cálculo del comportamiento de sus parámetros básicos.

### **2.6.2. Objetivos Específicos**

- Recopilar información bibliográfica sobre los motores asíncronos y sus configuraciones.
- Desarrollar una metodología para el análisis del comportamiento de los motores asíncronos.
- Implementar un módulo práctico para simular los motores asíncronos.
- Analizar el comportamiento de los motores asíncrono ante diferentes parámetros.

## 2.7.SISTEMA DE TAREAS

**Tabla 2.1** Sistema de tareas con relación a los objetivos establecidos.

<b>Objetivos específicos</b>	<b>Actividades (tareas)</b>	<b>Resultados Esperados</b>	<b>Medios e Instrumentos</b>
<b>Recopilar información bibliográfica sobre los motores asíncronos y sus configuraciones.</b>	Revisión de trabajos relacionados con los motores asíncronos (inducción).  Indagar en diferentes fuentes bibliográficas sobre los arranques de motores asíncronos trifásicos.	Descripción del motor asíncrono.  Información de carácter informativo y científico  Desarrollo del marco teórico.	Bibliografía relacionada con los motores asíncronos.  Artículos científicos.  Tesis  Informes
<b>Desarrollar una metodología para el análisis del comportamiento de los motores asíncronos.</b>	Recopilar información acerca de los tipos de conexiones.  Identificar el comportamiento de los motores bajo diferentes escenarios.	Manual de operación, guías prácticas.  Cuadro comparativo de las conexiones realizadas.	Aplicación de conocimientos en conexiones.  Analizador de redes.  Variador de frecuencias.
<b>Implementar un módulo práctico para simular los motores asíncronos.</b>	Construcción del módulo.  Realizar las conexiones de los circuitos en el tablero de control.	Módulo de control industrial.  Diagrama unifilar.	Planos en AutoCAD.  Circuito unifilar.  Diagrama de conexiones.
<b>Analizar el comportamiento de los motores asíncronos ante diferentes parámetros.</b>	Verificación de los resultados obtenidos de los diferentes tipos de conexiones  Interpretar los resultados obtenidos.	Análisis de la curva corriente - voltaje.	Datos obtenidos durante la práctica  Excel  Analizador de redes

### **3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **3.1. ANTECEDENTES**

En 1821, Michael Faraday demostró el principio de funcionamiento de la conversión de la energía eléctrica en energía mecánica utilizando medios electromagnéticos. Utilizó un alambre de hierro por un extremo en un envase ocupado de mercurio en el cual introdujo un imán. El alambre comenzó a girar alrededor del imán en cuanto se le suministró una corriente eléctrica desde una batería por el otro extremo. Se dice que esta fue la base del primer motor eléctrico, llamado motor homopolar. Generó movimiento, un movimiento circular creado por un campo magnético mediante electricidad [3].

Según la norma UNE EN 50160 [4] establece las características esperadas de la tensión suministrada por las líneas generales de distribución en condiciones normales de explotación. Dentro de la misma, define los parámetros y los límites a cumplir para que la tensión suministrada a un receptor se le considere aceptable. Entre los numerosos parámetros definidos en la norma, como las sobretensiones, interrupciones, amplitudes, huecos de tensión, parpadeos o flickers, valor nominal de la tensión suministrada y desequilibrio, respecto a esta última define literalmente que; “En condiciones normales de explotación, para cada periodo de una semana, el 95% de los valores eficaces en 10 minutos de la componente inversa de la tensión de alimentación debe situarse entre el 0% y el 2% de la componente directa. En ciertas regiones equipadas con líneas parcialmente monofásicas o bifásicas, los desequilibrios pueden alcanzar el 3% en los puntos de suministros trifásicos”.

En el año 2019 L. Zapana [5] “Diseño e Implementación de un Módulo Didáctico para el Arranque Electrónico de Motores de Inducción con Controlador Lógico Programable (PLC)” Implementación, diseño y posterior enseñanza del módulo para el arranque electrónico de un motor eléctrico de inducción con Controlador Lógico Programable (PLC). Análisis de. Ese hipotético es un módulo de arranque de motor de inducción de jaula de ardilla que puedes programar y saber configurar. Un convertidor de frecuencia y un controlador lógico programable para adaptar el módulo didáctico a sus características de diseño, y una evaluación práctica del arranque de un motor de inducción de jaula de ardilla por (PLC).

Según M. Sedano en el año 2016 [6][7], en su estudio titulado "Diseño de Sistemas de Arranque Electrónico para Arranque de Motores Síncronos". El objetivo principal es diseñar el arranque automático de un motor síncrono utilizando un microcontrolador. Además de controlar la corriente de magnetización ante variaciones de carga, su hipótesis está dada en la capacidad de

controlarse la eficiencia del motor en función de la carga. El objetivo general se logró diseñando y simulando el arranque automático de un motor síncrono usando un microcontrolador y ajustando la corriente en la bobina de excitación con cambios en la carga.

C. Barriga y J. Zambrano en el año 2011 [8], Arranque del motor de inducción por control difuso. Este artículo presenta la lógica difusa en la electrónica de potencia y los controladores de motores. En esta lógica, dos configuraciones de circuitos (una serie de tiristores conectados en anti-paralelo y un inversor trifásico) mejoran el arranque de un motor asíncrono, reduciendo la corriente de arranque y aumentando su torque. Este artículo contribuye a un enriquecimiento académico centrado en el control de motores de inducción de jaula de ardilla, ahorrando energía eléctrica, evitando las perturbaciones causadas por estos arranques y evitando el acoplamiento mecánico, la alineación y la fricción.

En base a otro de los diseños de un sistema para el arranque de motores en el año 2016 P. Sedano [6] desarrolla un módulo que describe primero el diseño y la simulación del circuito asociado para arrancar un motor asíncrono. De manera similar, se diseña una unidad de fuente de alimentación de voltaje controlable para suministrar energía al circuito de excitación de un motor síncrono trifásico. Para ello, en el presente trabajo de fin de grado se realiza un estudio de los motores síncronos trifásicos su principio de funcionamiento y su circuito eléctrico equivalente. También realizaremos un estudio de las tecnologías actuales utilizadas en el diseño de fuentes de alimentación y comenzaremos un análisis completo del diseño. Finalmente, se muestran los resultados de las pruebas realizadas tanto para el arranque del motor como para las fuentes implementadas.

Según L. Carrasco en el año 2011 [9], en su proyecto de investigación, construcción y desarrollo se ha logrado Implementar un Módulo de Laboratorio para Control y Monitoreo de un Motor Asíncrono Jaula de Ardilla Trifásico, el mismo que será utilizado en la escuela para la variación de la frecuencia y la velocidad de los motores en mención, con el propósito de instruir a los estudiantes mayores conocimientos, y que tengan una mejor visión acerca de las aplicaciones industriales que hoy en día se manejan, mediante la realización de las prácticas y pruebas.

En base a la obtención de parámetros de un motor asíncrono, en el año 2013 A. Rincon, A. Ospina [10], realizó la determinación de parámetros para el motor de inducción trifásico jaula de ardilla con la implementación de la norma NTC 5642-2008 en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Universidad Tecnológica de Pereira, haciendo una comparación de los

resultados obtenidos aplicando dicha norma con respecto a la guía de trabajo que se utiliza en la asignatura Laboratorio de Máquinas del Programa de Tecnología Eléctrica para determinar los parámetros del motor de inducción trifásico de jaula de ardilla. El objetivo de esta comparación entre la norma NTC 5642-2008 y la guía de laboratorio actual, es lograr que, al realizar las pruebas en la práctica de laboratorio, los resultados sean más confiables al momento de determinar los parámetros de dicho motor, es decir, contar con un punto de referencia más preciso.

Dada la importancia de la implementación de los tableros para automatización de controles industriales y la importancia que tienen los motores, en el año 2021, J. Tanquilla, E. Guanoluisa [11], realizaron una propuesta tecnológica trata sobre el “Diseño e Implementación de un Módulo experimental para simular procesos de control industrial en los laboratorios de la carrera de Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia, de la Universidad Técnica de Cotopaxi”, basado en el control manual y automático de motores, y sistemas automáticos. El objetivo principal fue el diseñar e implementar un módulo experimental didáctico, que permita un adecuado entrenamiento y aprendizaje de los estudiantes, mediante el uso de dispositivos, tanto de protección, maniobra, control y fuerza, realizando prácticas y simulaciones de procesos que se asemejan al campo profesional existente en el área industrial. Las prácticas se enfocan en los métodos de control básico cableado hasta control lógico programable por medio de un PLC LOGO, teniendo la facilidad de realizar arranques de los motores, como arranque directo, inversión de giro, frenado dinámico, además de arranque suave, arranque instantáneo, frenado suave, frenado instantáneo, todo esto por medio del variador de frecuencia existente en el módulo, el propósito de las prácticas es que los estudiantes vayan teniendo un aprendizaje progresivo y con el avance de las mismas un grado de dificultad mayor, beneficiando directamente a los estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

Finalmente mediante el uso del software LABVIEW J. Angueta, D. Andrango[3], desarrollaron el diseño de un simulador de arranque para motores trifásicos por medio del entorno Labview, programa en el cual se monitorean y analizan todas las variables eléctricas que inciden dentro de este arranque. Se emplea el entorno Labview debido a la facilidad que el programa presenta para la creación de entornos virtuales gráficos. El proyecto promueve el aprendizaje técnico de los estudiantes, permitiéndoles obtener conocimientos de dominio que no podrían haber obtenido a través de un motor tradicional. Con la implementación del simulador, en la práctica se pueden cambiar las variables que afectan el arranque del motor sin perjudicar el desempeño

del motor virtual, por lo que es posible observar el comportamiento del motor en la realidad, lo que ayuda a la creación y adquisición de nuevos conocimientos por parte de los estudiantes.

### **3.2.Máquina Asíncrona**

La ley de inducción de Faraday fue el comienzo de muchos científicos e ingenieros que buscaban máquina eléctrica para generar electricidad de una manera diferente a la de la época. Se puede decir que la ingeniería eléctrica nació en ese momento. En el primer período de desarrollo de esta industria tecnológica, las máquinas eléctricas jugaron un papel fundamental, determinando todos los movimientos de la ingeniería eléctrica, gracias a su aplicación en la producción, transformación y uso de la electricidad [13].

Un motor de inducción o asíncrono es un tipo de motor de corriente alterna. Este convertidor electromecánico consta de un rotor, que es de dos tipos: a) de jaula de ardilla; b) bobinado, y un estator, en el que se encuentran las bobinas inductoras. Estas bobinas son trifásicas y están desfasadas  $120^\circ$  entre sí. Según el teorema de Ferranti, cuando un sistema de corriente polifásica circula por estas bobinas y está desfasado en el tiempo, se crea un campo magnético giratorio en el entrehierro de la máquina. De acuerdo con la ley de Faraday, este campo magnético cambiante induce un voltaje en el rotor [1].

El motor asíncrono es el motor de CA más utilizado porque tiene alta durabilidad, estructura simple, buen rendimiento, bajo costo, así como la ausencia de colector y al hecho de que sus características de rendimiento son muy adecuadas para una velocidad de marcha constante. Los motores de inducción no requieren escobillas ni conmutadoras. Su armadura está hecha de láminas de metal magnetizables. La dirección de la circulación de la corriente alterna entre los devanados del estator crea un campo magnético giratorio que tira de la placa de metal para magnetizarla y hace que gire [9].

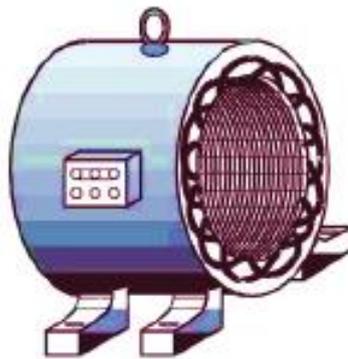
En resumen, la capacidad de cambiar la conexión del estator permite que los motores síncronos funcionen con dos voltajes nominales de línea diferentes. Los más pequeños corresponden a conexiones delta, también asignadas a diferentes líneas. El secundario corresponde a la conexión delta, que también es igual a la tensión de fase. El más grande corresponde a una conexión en estrella [14].

#### **3.2.1. Aspectos constructivos**

Los motores de inducción o asíncronos se definen como motores rotativos que funcionan con efecto asíncrono. La razón por la que se llama asíncrono o asincrónica es que las

revoluciones de los campos magnéticos del estator y del rotor no están sincronizadas; esto se debe a que el campo magnético giratorio producido por el estator no tiene la misma velocidad que el producido por el rotor y no funciona a la misma velocidad. Si la velocidad angular del rotor es menor que la velocidad del estator, la máquina actúa como un motor, convirtiendo la energía eléctrica en energía mecánica. Cuando la velocidad angular del rotor excede la velocidad del estator, la máquina actúa como un generador, convirtiendo la energía mecánica en energía eléctrica.

El motor jaula de ardilla consta de estator, rotor y otros componentes auxiliares. El estator es la parte fija de la máquina, que consta de un núcleo de hierro y una bobina. El núcleo de hierro está hecho de laminación de acero al silicio para reducir la histéresis y las pérdidas por corrientes de Foucault. Las laminaciones en los equipos de baja capacidad son circulares, pero en los equipos de alta capacidad las laminaciones circulares están segmentadas y apiladas una encima de la otra hasta formar una longitud de ranuras en las que se ubican los devanados de fase [14].



**Figura 3.1** Estator de un motor asíncrono[16].

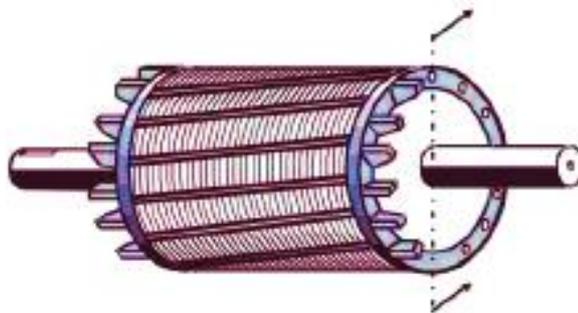
El devanado está formado por varias bobinas de conductor de cobre, prefabricadas y montadas simétricamente en las ranuras del núcleo alrededor de los 360 grados geométricos de las laminaciones.

El rotor de jaula de ardilla es el más utilizado debido a su sencillez y alta potencia, ya que casi nunca se producen daños eléctricos. Está construido sobre un eje de máquina a base de láminas estampadas de acero al silicio y al igual que los estatores se colocan uno tras otro hasta llegar al alojamiento del rotor con ranuras donde se colocarán las barras de perforación. Los devanados están hechos de conductores de cobre o aluminio en tiras montados en ranuras, y los extremos están cortocircuitados con anillos. Los cortes suelen ser semicerrados y ligeramente

inclinados respecto al eje, de manera que el campo magnético del corte de la cinta magnética es más uniforme y mejora el rendimiento [15].

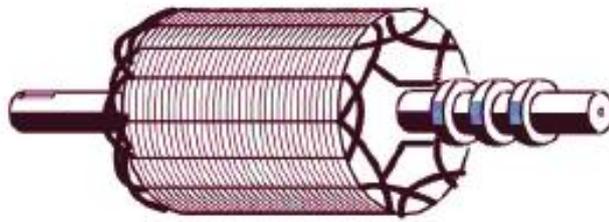
La carcasa es la cubierta de la máquina y sirve como soporte mecánico de las partes componentes de esta. Están fabricados con aletas disipadoras de calor de una aleación de aluminio dúctil de alta resistencia mecánica. También existen carcasas sin aletas disipadoras de calor fabricadas con hierro dulce lo que las hace muy pesadas [15].

El eje es la parte central del rotor, generalmente está construida de acero, y sobre él se montan y sujetan los laminados del rotor. El ventilador está montado en el exterior y cuando la máquina gira proporciona un flujo de aire para enfriar los componentes internos ya que la corriente que fluye a través de los devanados tiende a elevar su temperatura y reducir su rendimiento. La función principal de la tapa lateral es soportar las flechas mediante rodamientos instalados en la cavidad central de la tapa lateral. Se utilizan para apagar el motor y se atornillan a la carcasa [15].



**Figura 3.2** Rotor en jaula de ardilla[16].

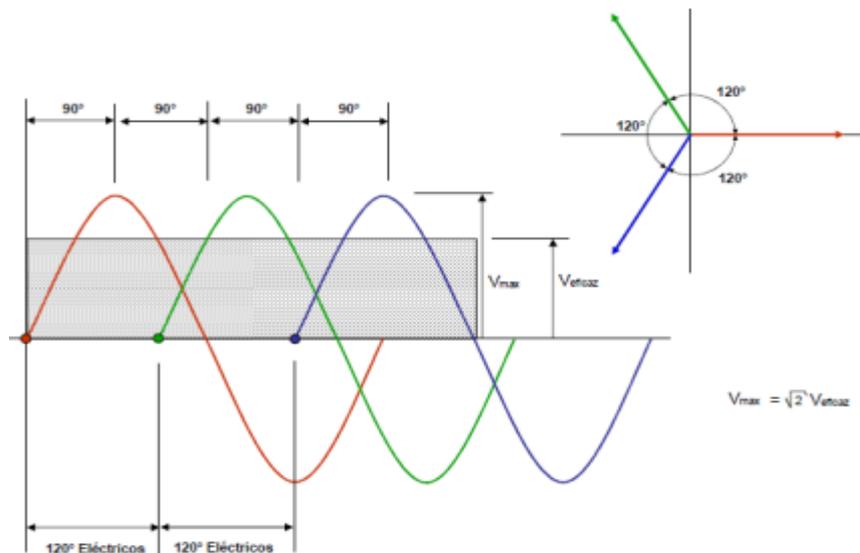
También asociados a los ejes están los rodamientos o cojinetes. Su función es reducir el rozamiento que produce el eje al girar, y suelen ser cajas de esferas prelubricadas y muy pulidas. No requieren mantenimiento porque siempre hay una película de aceite alrededor de los cojinetes. Hoy en día, cuando es de una sola vuelta, todavía hay rodamientos de anillos, que a menudo están lubricados. Cuando se utilizan rodamientos de doble anillo de diferentes diámetros, se colocan en un depósito de aceite llamado bloque de almohada; un anillo soporta la flecha y el otro anillo de mayor diámetro gira debido al movimiento de la flecha, se sumerge en el aceite y hace flotar el otro anillo [15].



**Figura 3.3** Rotor devanado o con anillos[16].

### 3.2.2. Principio de Funcionamiento

El motor trifásico asíncrono opera mediante la generación de un campo magnético rotativo, el cual se obtiene al suministrar tensiones trifásicas senoidales a los devanados estáticos, con un desfase de  $120^\circ$  entre ellas, como se ilustra en la Figura 3.4 [13].



**Figura 3.4** Tensión Trifásica Senoidales Desfasadas [13].

La velocidad del campo magnético del estator, conocida como velocidad de sincronismo o velocidad síncrona ( $n$ ), está determinada por el número de polos ( $p$ ) del motor y la frecuencia de la tensión eléctrica ( $f$ ). Esta relación puede expresarse de la siguiente manera:

$$n = \frac{60 \cdot f}{p} \text{ [r. p. m]} \quad (3.1)$$

Donde:

$n_{sinc}$  Velocidad de rotación del campo magnético

$f_e$  Frecuencia del sistema Hz

$P$  Numero de pares de polos de la maquina

El campo magnético giratorio, que se origina en las bobinas estáticas, atraviesa los conductores del rotor, generando en ellos una fuerza electromotriz. Debido a que los conductores del rotor están en cortocircuito, fluyen corrientes que, a su vez, generan un nuevo campo magnético giratorio inducido. La combinación de este nuevo campo giratorio con el campo magnético giratorio del estator es lo que crea el par electromagnético que impulsa el movimiento del rotor [13].

En consecuencia, los variadores de frecuencia funcionan basándose en el principio de que la velocidad síncrona de un motor de corriente alterna (CA) está directamente relacionada con la frecuencia de la corriente alterna suministrada y el número de polos en el estator. Esto puede expresarse mediante la siguiente relación:

$$RPM = \frac{120 \times f}{\rho} \quad (3.2)$$

Donde:

RPM = Revoluciones por minuto (velocidad sincrónica)

f = frecuencia de suministro desde la red eléctrica (Hertz).

$\rho$  = Número de polos del motor

En los motores asíncronos, las revoluciones por minuto son ligeramente inferiores a la velocidad síncrona esto se debe a un deslizamiento propio de las características de funcionamiento, lo que da sentido a su nombre. Existe un desfase mínimo entre la velocidad de rotación del rotor (velocidad "real" o "de salida") en comparación con la velocidad del campo magnético (la cual debería cumplir la ecuación mencionada anteriormente, tanto en motores síncronos como en motores asíncronos). Esto se debe a que el rotor solo es atraído por el campo magnético externo, que siempre lo supera en velocidad, evitando que el motor se detenga al alcanzar al campo magnético.

Los fallos en los motores más frecuentes que se la pueden presentar tanto en equipos trifásicos y monofásicos de inducción son las indicadas en la siguiente lista.

- Fusibles quemados
- Sobrecargas
- Fases invertidas
- Cortocircuito
- Conexiones internas erróneas

- Contactos a tierra de los devanados
- Eje torcido

Los fallos comunes en motores eléctricos y sus causas principales se muestran en el siguiente mapa conceptual, así como los pasos que se pueden tomar para reducir el riesgo de que ocurran estas fallas, le dará a su motor una buena oportunidad de lograr la máxima vida útil posible y rendimiento.

El deslizamiento es la pérdida de velocidad angular del motor (necesaria para producir un par electromagnético), expresada por unidad de velocidad síncrona, se llama deslizamiento.

La tensión inducida en la barra del rotor de un motor de inducción depende de la velocidad del rotor en relación con los campos magnéticos. Puesto que la conducta de un motor de inducción depende del voltaje y corriente del rotor, es más lógico hablar de la velocidad relativa. Hay dos términos que se usan regularmente para definir el movimiento relativo del rotor y los campos magnéticos. Uno es la velocidad de deslizamiento, que se define como la diferencia entre la velocidad síncrona y del rotor [17].

$$n_{des} = n_{sinc} - n_m \quad (3.3)$$

Donde:

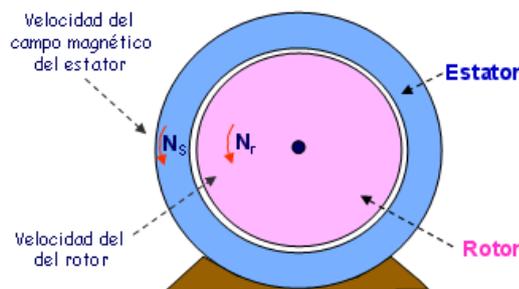
$n_{des}$  Velocidad de deslizamiento de la máquina.

$n_{sinc}$  Velocidad de los campos magnéticos.

$n_m$  Velocidad mecánica del eje del motor.

El otro término para describir el movimiento relativo es el desplazamiento que se deduce con la siguiente ecuación:

$$s = \left( \frac{n_{des} - n_r}{n_{sinc}} \right) * 100\% \quad (3.4)$$



**Figura 3.5** Vectores de un rotor [17].

El desplazamiento también se lo puede escribir en términos de velocidad angular  $w$  (revoluciones por minuto) de la siguiente forma:

$$s = \left( \frac{w_{sinc} - w_r}{w_{sinc}} \right) * 100\% \quad (3.5)$$

Cabe resaltar que cuando el rotor gira a velocidad síncrona  $s = 0$ , mientras que si el rotor está estacionado,  $s = 1$ . Todas las velocidades normales del rotor caen dentro de estos límites.

La velocidad mecánica se la puede expresar en términos de la velocidad síncrona y el deslizamiento. Despejando las fórmulas anteriores se tiene la siguiente expresión:

$$n_r = (1 - S) * n_{sinc} \quad (3.6)$$

$$w_r = (1 - S) * w_{sinc} \quad (3.7)$$

Estas ecuaciones son fundamentales para la reducción del par de motor y las relaciones de potencia.

En la siguiente tabla se puede ver los deslizamientos nominales típicos en función del número de polos del motor y, para una frecuencia de 60 Hz.

**Tabla 3.1** Valores nominales de velocidad para máquinas asíncronas.

Numero de polos	$n_{sinc}$ rpm	$n_r$ rpm	S %
2	3600	3550	1.38
4	1800	1750	2.7
6	1200	1150	4.16
8	900	850	5.5

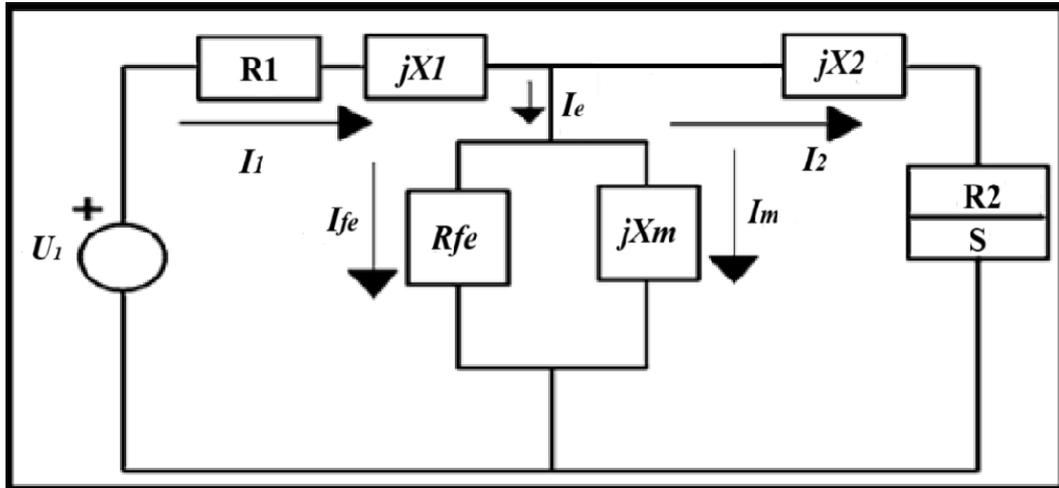
La velocidad del rotor ( $n_r$ ) y el deslizamiento ( $s$ ) evolucionan al revés: a menor velocidad, mayor deslizamiento y viceversa.

En el caso de un deslizamiento muy elevado, implica que el rotor gira a una velocidad lenta; sin embargo, el campo magnético estatórico, siempre gira a la velocidad de sincronismo.

### 3.2.3. Circuito equivalente del motor asíncrono

La operación de un motor de inducción depende de la inducción de voltajes y corrientes en su circuito de rotor desde el circuito del estator, en esencia una operación de transformación. Por ello un motor de inducción es también llamado máquina de excitación única.

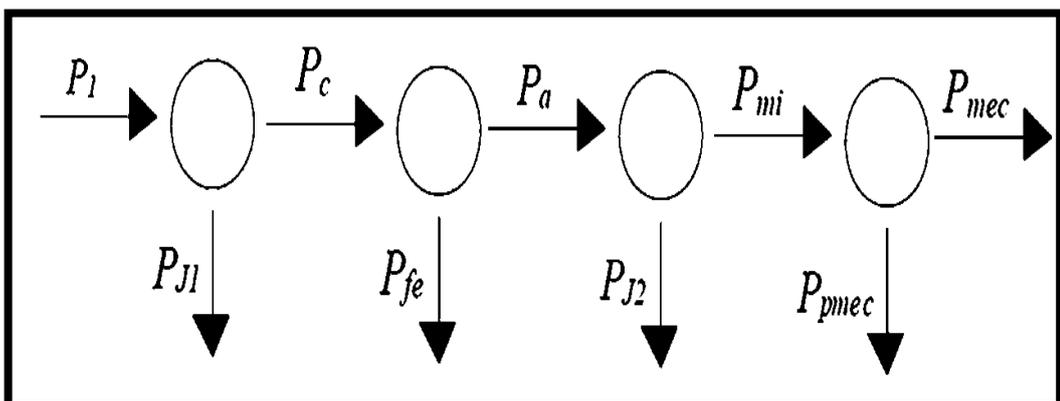
Los motores de inducción funcionan siempre con valores de deslizamiento muy pequeños ( $s \leq 0.05$ ). Los motores de inducción se pueden modelar con el circuito equivalente que se muestra a continuación [18].



**Figura 3.6** Circuito equivalente de un motor de inducción.

- $U_1$  Tensión en la red.
- $I_1$  Intensidad que circula por el estator (Intensidad absorbida por la red).
- $I_2$  Intensidad que circula por el rotor referidas al estator.
- $R_1$  Resistencia del estator.
- $X_1$  Reactancia de dispersión del estator.
- $R_2$  Resistencia del rotor referida al estator.
- $X_2$  Reactancia de dispersión del rotor expresada en el estator.
- $X_m$  Reactancia de magnetización.
- $R_{fe}$  Resistencia de pérdidas en el hierro.

En la siguiente figura observamos cómo será el balance de potencia en un motor de inducción jaula de ardilla.



**Figura 3.7.** Balance de potencias

Siendo:

- $P_l$  Potencia absorbida por la red.
- $P_{Jl}$  Perdidas en el estator.
- $P_c$  Potencia en el campo magnético.
- $P_{f_e}$  Perdidas Joule en y hierro.
- $P_a$  Potencia en el aire o entrehierro.
- $P_{Jl2}$  Perdidas joule en el rotor.
- $P_{mi}$  Potencia mecánica interna.
- $P_{pmec}$  Perdidas mecánicas.
- $P_{mec}$  Potencia mecánica útil.

Estas potencias se expresan a través de las siguientes ecuaciones:

$$P_1 = \sqrt{3} * U_1 * |I_1| * \cos\phi \quad (3.8)$$

$$P_{J1} = 3 * R_1 * |I_1|^2 \quad (3.9)$$

$$P_c = P_1 - P_{J1} \quad (3.10)$$

$$P_{Fe} = 3 * R_{Fe} * |I_{Fe}|^2 \quad (3.11)$$

$$P_{Fe} = 3 * \frac{R_2(1-s)}{s} * |I_2|^2 = P_a - P_{J2} = P_a(1 - s) \quad (3.12)$$

$$P_{mec} = P_{mi} - P_{pmec} \quad (3.13)$$

A partir de estas ecuaciones es posible calcular el rendimiento como:

$$\eta = \frac{P_{mec}}{P_1} \quad (3.14)$$

### 3.3. Característica en vacío y a rotor bloqueado

La diferencia entre la velocidad sincrónica (ns) y la velocidad de funcionamiento a régimen (nm) también está influenciada por el tamaño de la máquina, siendo típicamente del 3% al 10% [2]. El deslizamiento es una característica crucial de una máquina de inducción y está incluido en el modelo que describe al motor asíncrono.

En condiciones de vacío, el deslizamiento es muy pequeño, lo que resulta en una corriente del rotor mínima, suficiente solo para superar el par sin carga. En este caso, la velocidad del rotor será cercana a la velocidad sincrónica, lo que mantendrá un bajo factor de potencia. Por otro

lado, en el estado de rotor bloqueado, la velocidad del rotor es nula, lo que implica un deslizamiento del 100% o 1. En esta situación, la tensión de entrada al motor es igual a la tensión del rotor. Este efecto también afecta la corriente y la frecuencia del rotor.

### **3.3.1. Par de arranque del motor**

El par de arranque de un motor de inducción suele ser mayor que el par nominal. Una vez que se ha alcanzado el par de arranque, la frecuencia, la reactancia y la tensión inducida en el rotor disminuyen, ya que están directamente relacionados con el deslizamiento. A medida que disminuye la tensión inducida en el rotor, también lo hace la corriente. Sin embargo, el factor de potencia aumenta, lo que compensa y permite obtener un par de arranque máximo.

Durante el arranque del motor, tanto el par en el eje como la corriente en el estator son especialmente altos, ya que es necesario superar la inercia debido al peso del eje del motor. La corriente de arranque puede alcanzar valores de hasta 7 veces la corriente nominal. Aunque esta corriente no daña el motor debido a su naturaleza transitoria y al fuerte par de arranque que inmediatamente pone en movimiento el rotor, puede ocasionar bruscas y momentáneas caídas de tensión que se manifiestan, sobre todo, como parpadeo en las lámparas y podrían dañar equipos electrónicos sensibles [8].

Los motores de inducción están diseñados para soportar la corriente de arranque, pero arranques repetidos y muy frecuentes sin períodos de descanso pueden elevar progresivamente la temperatura del estator y comprometer la vida útil de sus devanados, llegando incluso a ocasionar fallas por derretimiento del aislamiento. Para abordar este problema, en potencias medianas y grandes, se utilizan dispositivos electrónicos de "arranque suave" que minimizan la corriente de arranque del motor.

## **3.4. Parámetros de cálculo de los motores asíncronos**

### **3.4.1. Torque**

El torque en el motor asíncrono es la fuerza rotacional que impulsa al rotor a girar. La magnitud del torque depende de varios factores, como la corriente de estator, la diferencia de velocidad entre el campo giratorio y el rotor, y el diseño del motor. Dado que la velocidad del rotor nunca alcanza la velocidad del campo magnético giratorio, el motor asíncrono es conocido por ser un motor de velocidad no sincrónica, lo que implica que siempre existirá una diferencia entre la velocidad del rotor y la velocidad de rotación del campo magnético del estator.

El torque máximo que puede entregar el motor asincrónico, también conocido como "torque de arranque", es un parámetro crucial para determinar su capacidad de superar la resistencia inicial al movimiento, como la inercia de una carga o la fricción. Una vez que el motor ha superado esta resistencia inicial, el torque disminuirá gradualmente con el aumento de la velocidad del rotor, hasta que alcanza el valor nominal de funcionamiento. Por lo tanto, el torque de arranque es un factor determinante en la selección adecuada del motor para diferentes aplicaciones.

Además, el torque también está relacionado con la eficiencia del motor. A mayor carga, es decir, cuando el motor trabaja cerca de su capacidad nominal, el torque requerido aumenta, lo que puede afectar la eficiencia energética. Por lo tanto, el diseño óptimo de un motor asincrónico debe considerar tanto el torque de arranque como el torque nominal en función de los requerimientos específicos de la aplicación.

$$T = \frac{P_{mecánica}}{W_r} \quad (3.15)$$

### 3.4.2. Potencia que pasa por el entrehierro

La potencia que pasa por el entrehierro en el motor asincrónico es una medida clave para comprender la eficiencia y el rendimiento de esta máquina eléctrica. El entrehierro es la distancia física entre el estator y el rotor, y es crucial para el funcionamiento del motor, ya que es donde se produce la interacción electromagnética que genera el torque.

La potencia electromagnética se refiere a la energía transferida entre el estator y el rotor, lo que resulta en la generación del par motor y, en última instancia, en el movimiento del rotor. Esta potencia es positiva y representa la energía útil que se convierte en trabajo mecánico.

Por otro lado, la potencia de pérdida se refiere a las pérdidas energéticas que ocurren dentro del motor debido a efectos como la resistencia eléctrica de los devanados, las corrientes de Foucault y la histéresis magnética. Estas pérdidas energéticas se disipan en forma de calor y reducen la eficiencia del motor. La potencia de pérdida es negativa y representa la energía desperdiciada en el proceso de conversión electromecánica.

En un motor asincrónico bien diseñado, se busca minimizar las pérdidas de potencia en el entrehierro para lograr una alta eficiencia. Esto se logra mediante la selección adecuada de materiales magnéticos, la optimización de las dimensiones del entrehierro y el control de las corrientes de estator.

$$P_{gap} = \#fases * I^2 * \frac{R_2}{s} \quad (3.7)$$

$$P_{gap} = P_{electrica} - P_{perdidas\ rotor} \quad (3.17)$$

### 3.4.3. Potencia del estator

La potencia del estator en el motor asincrónico es la potencia eléctrica que se suministra a las bobinas del estator para generar el campo magnético giratorio. Esta potencia se calcula multiplicando la corriente efectiva del estator por la tensión de línea aplicada al motor. Se trata de la potencia de entrada al motor, que se convierte en potencia electromagnética en el entrehierro para inducir el movimiento del rotor.

La eficiencia del motor asincrónico se define como la relación entre la potencia útil y la potencia del estator total (potencia útil más potencia de pérdida). Un motor asincrónico bien diseñado y operado a su capacidad nominal tendrá una alta eficiencia, lo que significa que la mayor parte de la potencia del estator se convierte en trabajo mecánico útil en lugar de pérdidas.

$$P_{mecánica} = (1 - s)P_{gap} \quad (3.8)$$

### 3.5. Arranque de motores asíncronos trifásicos

Cuando se enciende, el voltaje requerido es significativo y puede causar una caída de voltaje, lo que afecta el rendimiento del receptor, especialmente si el cable de alimentación es inadecuado. A veces pueden ocurrir fugas en los accesorios de iluminación. Para corregir estos errores, algunas normas de la industria prohíben el uso de motores de arranque directo que excedan una determinada potencia nominal. Otros se limitan a establecer una relación entre la corriente de arranque y la corriente medida, en función de la tensión. Los motores de jaula son los únicos que se pueden conectar directamente a la red con un equipo simple. Solo los extremos de los devanados del estator sobresalen del área terminal. Dado que la especificación del rotor la completa el fabricante, los diversos métodos de arranque implican principalmente cambiar el voltaje en los terminales del estator. En este tipo de tensión, que suele ser constante, una disminución de la corriente de pico provoca una importante disminución del par [21].

#### 3.5.1. Funciones y constitución de los arrancadores

##### A. Condición de arranque

El arranque es el proceso de puesta en marcha de un motor que lo lleva desde una velocidad nula a la del punto de funcionamiento estable que corresponda al par resistente de la carga que tiene que mover para poder realizarse esta maniobra cumpliendo la condición de arranque durante el arranque el par del motor es superior al par resistentes de no cumplirse esta condición,

el par motor es insuficiente para mover la carga mecánica que tiene acoplada y no se puede producir el arranque.

### B. Limitaciones en la corriente de arranque

En el mismo momento del arranque, cuando la velocidad aún es cero y el deslizamiento es 1, el motor requiere varias veces más corriente que la especificada. Esta alta corriente puede provocar una caída de tensión en el cableado que acciona el motor, afectando a otros equipos conectados a él, por lo que existen normas que definen la máxima corriente de arranque admisible (ej. ITC-BT-47), que suele implementarse mediante un programa que reduce las corrientes de red requeridas durante el arranque en comparación con el arranque directo durante el ciclo [14].

### C. Características mecánicas de la carga

Para determinar el proceso de aceleración del accionamiento y las fuerzas asociadas con los cambios de velocidad, se debe conocer el par de aceleración en función de la velocidad. El torque de aceleración es la suma algebraica entre el torque de una máquina accionada (muchas veces llamado torque motor) y el torque o arrastre de una máquina accionada, como se verá más adelante, ambos pueden tener signo positivo o negativo, específicamente dependiendo de la situación.

$$M_a = M_m = M_r \approx J \frac{dw_m}{dt} \quad (3.19)$$

$M_a$  Par aceleratriz [N.m]

$M_m$  Par motriz (desarrollado por el MTI) [N.m]

$M_r$  Par resistente (par de la carga mecánica) [N.m]

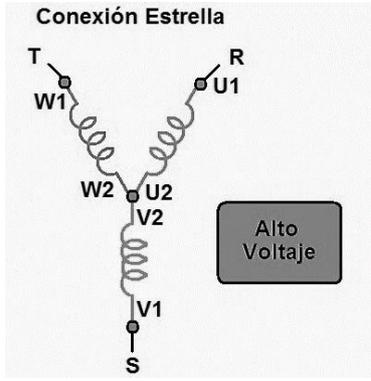
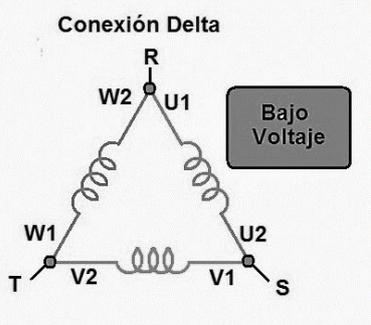
$J[m^2kg]$  Momento de Inercia de las masas en rotación (rotor del motor, carga mecánica)

$w_m$  Velocidad angular de rotación del eje mecánico del motor [ $rad/s$ ].

### 3.6. Tipos de conexiones en motores

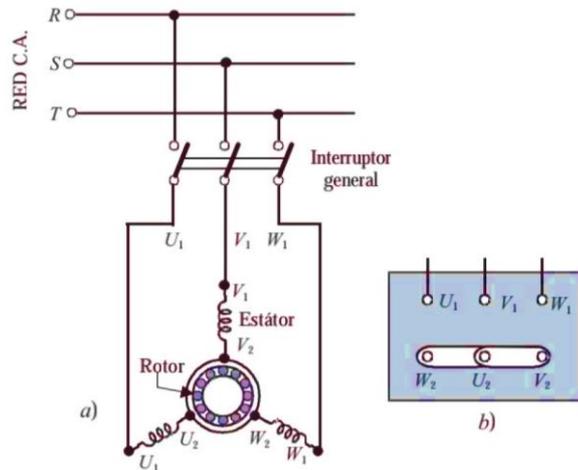
En este sentido, hay que tener en cuenta el número de terminales de un motor trifásico, que puede tener seis, nueve y doce terminales, respectivamente. En este caso, se analizan las conexiones para cada configuración de terminales que se encuentran en un motor trifásico [23].

**Tabla 3.2** Valores nominales de velocidad para maquinas asíncronas.[23].

Tipos de Conexiones	Definiciones	Gráfica
<p><b>Conexión en estrella</b></p>	<p>La intensidad de este tipo de conexión en cada paso será igual a la intensidad a través de cada línea. El cambio que se producirá en la tensión utilizada por cada fase con este valor mínimo a la tensión nominal de la línea de distribución</p>	 <p>Conexión Estrella</p>
<p><b>Conexión en triangulo</b></p>	<p>También cabe mencionar que, en este sentido, la tensión de alimentación será inferior a la tensión aplicada en la conexión en estrella analizada anteriormente, por lo que el consumo de corriente será mayor</p>	 <p>Conexión Delta</p>

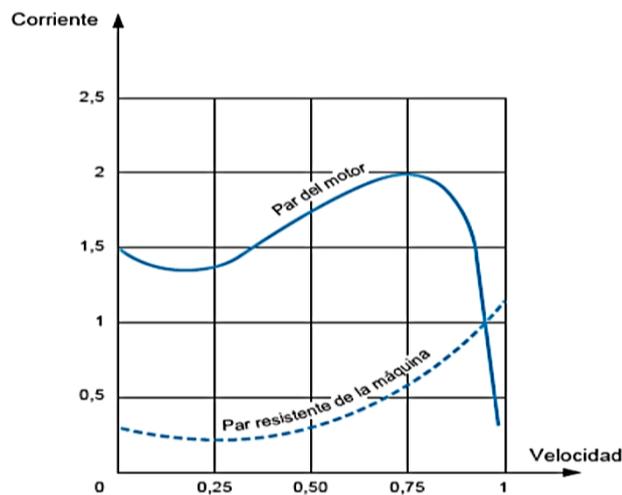
### 3.6.1. Arranque directo

Este tipo de arrancador se utiliza para arrancar el motor de forma sencilla. El motor está conectado directamente a la línea de alimentación, produciendo un par electromagnético. Cuando el motor alcanza la velocidad máxima, producirá el par de arranque máximo, limitando el flujo de corriente solo a través de la resistencia del motor. A medida que el motor acelera, la corriente disminuye hasta que se alcanza la velocidad nominal del motor. El tiempo de compensación de deslizamiento dependerá de la carga máxima del motor, su fricción y la posible inercia.



**Figura 3.8.** Esquema eléctrico del arranque directo [3].

Hay un problema con este tipo de arranque, ya que provoca pérdida de temperatura en los devanados del motor, lo que acorta la vida de los devanados del estator. Por otro lado, se considera un problema grave que causa pérdidas significativas en los devanados de motores trifásicos debido al sobrecalentamiento [3].



**Figura 3.8.** Curva característica del arranque directo del motor asíncrono.

### 3.6.2. Arranque estrella – triángulo

Con este tipo de arranque, el motor puede arrancar intercambiando energía entre los devanados. Los cables de transmisión en la caja de conexiones se omiten y las conexiones de 6 devanados se conectarán a la red eléctrica a través de un interruptor llamado estrella-triángulo.

El motor tiene tres devanados, los cuales se pueden conectar de dos formas diferentes (estrella o delta), darán como resultado dos resistencias diferentes, por lo tanto, la corriente tomada de la red también variará, como se muestra en la Ecuación 3.2. Si cada circuito tiene una

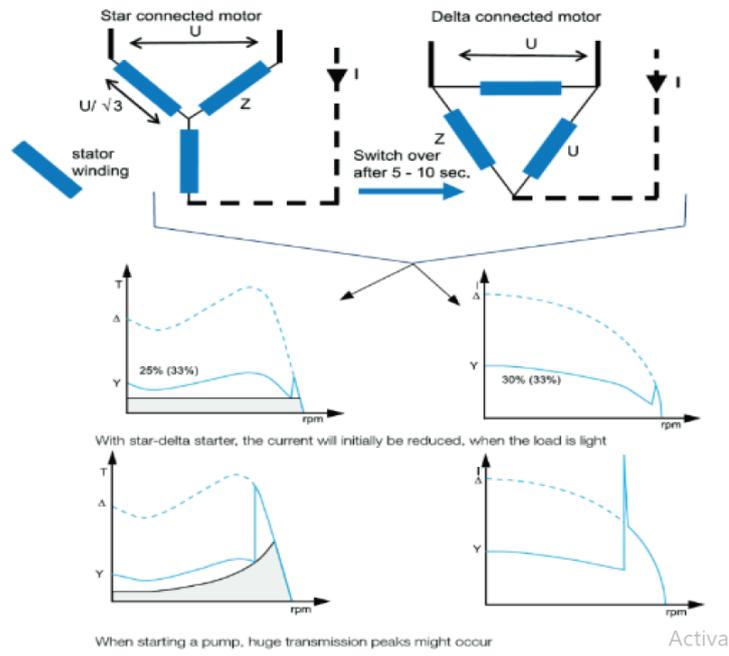
impedancia de  $Z$ , la resultante de la conexión delta es  $Z / \sqrt{3}$ , y en la conexión en estrella será  $Z\sqrt{3}$ , lo que significa que la interrupción de voltaje es para quien está conectado en estrella más de tres veces mayor que la impedancia de un motor conectado en delta:

$$\frac{Z_{\Delta}}{Z_Y} = \frac{Z}{\sqrt{3} Z \sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \gg Z_Y = 3Z_{\Delta} \quad (3.20)$$

$Z_{\Delta}$  Impedancia triángulo ( $\Omega$ ) (ohms)

$Z_Y$  Impedancia estrella ( $\Omega$ ) (ohms)

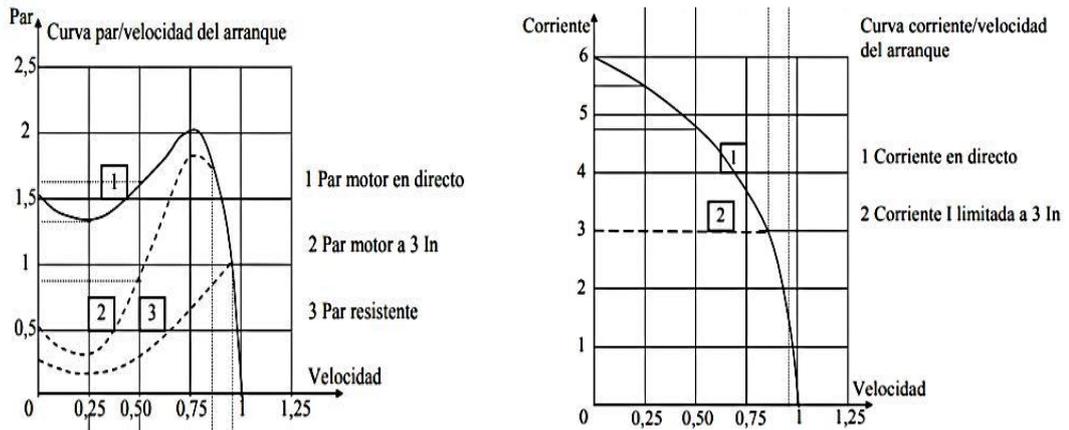
Dado que la tensión de la red no cambia, la corriente extraída por el motor de la red cuando está conectado en estrella será tres veces menor que en el triángulo dado en la figura 3.8, es decir cae al 33% a medida que disminuye la potencia disponible a 1/3 de su valor máximo, el par será también del 33%, aunque se trata de un cálculo teórico.



**Figura 3.9** Configuración del arranque estrella – delta

### 3.6.3. Arranque con variador de frecuencia

El motor se puede conectar por medio de un dispositivo electrónico de potencia, que facilita el arranque y frenado de manera controlada, variando la velocidad y el par de fuerza del motor mediante la alteración de la frecuencia, convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red, en magnitudes variables.



**Figura 3.10.** Deceleración progresiva y para frenada

Una vez obtenida la información se diseñan diferentes formas de control que ayudaran al cumplimiento de la conexión en los circuitos como se muestra en la siguiente figura, la adecuada programación de un variador de velocidad permite reducir el pico máximo de corriente de arranque y las caídas de tensión en la red, los golpes mecánicos y el desgaste en los acoplamientos, lo cual se ve reflejado en las magnitudes de salida.

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

La presente propuesta tecnológica se lo realizo empleando el método de investigación analítica y experimental, esto debido a que debemos conocer los valores que entrega el motor asíncrono en forma práctica.

### **4.1.MÉTODOS INVESTIGATIVOS**

#### **4.1.1. Investigación bibliográfica**

La investigación bibliográfica selecciona la mayor parte de la información científica acorde al tema del proyecto a través de fuentes confiables como son los artículos, manuales, revistas científicas, libros, páginas web y tesis [25].

#### **4.1.2. Investigación descriptiva**

Este proceso de investigación se utiliza para describir diferentes métodos de arranque de motores trifásicos, el estudio descriptivo se basa en la revisión bibliográfica, la información recabada describe cómo se implementó el proyecto, cómo se implementó el tablero de control y finalmente argumentar los datos [26].

#### **4.1.3. Investigación Formativa**

Esta investigación es formativa porque su ejecución promoverá el espíritu de indagación en el sector educativo de la Universidad Técnica de Cotopaxi-La Matriz y mejorará el proceso de aprendizaje con una propuesta que permita iniciar la simulación utilizando métodos de arranque y diferentes tipos de cálculos de las variables para motores trifásicos [27].

#### **4.1.4. Investigación de Campo**

Se realiza la recopilación de datos directamente en la Universidad Técnica de Cotopaxi La Matriz, en la carrera de Ingeniería Eléctrica, con un estudio se determina la necesidad de implementar un módulo de control para calcular el comportamiento de un motor trifásico [26].

### **4.2.TÉCNICAS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **4.2.1. Experimental**

El módulo de control está constituido de varios componentes que con ayuda de un software se calcula las diferentes variables que intervienen en un arranque de motor trifásico, este método ayuda a realizar pruebas para observar los efectos o reacciones que producen.

#### 4.2.2. Analítico

El método analítico se utiliza para analizar principalmente el problema de investigación, por qué se está realizando esta investigación, también se utilizará para analizar la justificación, para describir los resultados en cuanto al comportamiento cambiante del sistema de control determinar las técnicas para arrancar un motor trifásico.

### 4.3.MATERIALES

#### 4.3.1 Motor de inducción trifásico 1Hp

La forma de la bobina es realmente especial. Los conductores del rotor son varillas de cobre o aluminio cortocircuitadas en ambos extremos con anillos también de cobre o aluminio. El conjunto forma una estructura que recuerda a una "jaula de ardilla". Entonces, la jaula en sí está incrustada en un bloque ferromagnético de rotor con ranuras para acomodar las varillas.



**Figura 4.1.** Rotor jaula de ardilla.

Al observar que el rotor jaula de ardilla no presenta conexiones eléctricas con el exterior dado que los extremos de estas barras están cortocircuitados se tiene ventajas y desventajas.

#### A. Ventajas

- Bajo costo.
- Su rotor es de construcción simple.
- Lleva poco equipo de control.
- No produce chispas que puedan provocar incendios.

#### B. Desventajas

- El par de arranque es fijo.
- Su corriente de arranque es relativamente alta.

### 4.3.2. Características del motor a simular

Para el desarrollo de la simulación de la mejor manera, se tomará los datos reales del motor.

En la siguiente tabla se detalla las características principales del motor con el cual se va a trabajar.

**Tabla 4.1** Características del motor.

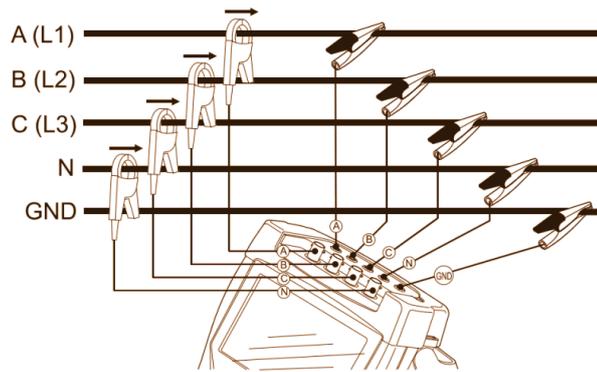
<b>SIEMENS</b>	3 – MOTOR 1LA7 073 4YA60		
	0.75 HP	Ta – 15 40 <sup>0</sup> C	FS 1 15
S1	IP 55	220YY/440YV	1000msnm
60 Hz	IMB3V	2.4/3.4 A	6.0Kg
ISL.F	N64.0	Cos 0.89	BG 071
IEC 3.4			1650.m

### 4.3.3. Analizador de redes FLUKE 435-II

El analizador proporciona un conjunto completo de potentes funciones para probar los sistemas de distribución eléctrica. Algunos de ellos pueden brindarle una descripción general de cómo funciona el sistema de energía, mientras que otros pueden explorarse con más detalle, explicando cómo tomar las medidas en un orden lógico[29].



**Figura 4.2.** Equipo de medición analizador de redes.



**Figura 4.3.** Conexión del analizador a un sistema de distribución trifásica [29].

#### 4.3.4. Variador de frecuencia INVE 3Hp

El mini controlador de frecuencia económico GD10 se considera como una aplicación común en el mercado OEM de baja potencia adopta tecnología de control de curva V/ f vectorizado y tiene muchas funciones comunes como PID, velocidad de etapas múltiples, frenado de CC.

Tiene muchas funciones, su pequeño tamaño puede reducir aún más el espacio de instalación (alrededor de un 15% más pequeño en tamaño que productos similares), el proyecto alcanzó un motor de 1hp.



**Figura 4.4.** Configuración VDF – panel [30].

#### **4.3.5. Módulo de automatización en control industrial**

El módulo de automatización contiene dispositivos de conexión, mando, maniobra protección, señalización y medición, para la realización de una práctica experimental en un sistema de tipo eléctrico, de manera específica se tiene los instrumentos tecnológicos, para una descripción más detallada de la misma la encontramos en el anexo C.

#### **4.4. Metodología para el empleo del módulo de arranque de motores**

##### **4.4.1. Implementación del modulo**

En el área de control industrial se identificó la necesidad de implementar un módulo de prueba para motores, teniendo una estructura en forma de mesa la cual tiene incorporado un cajón para guardar materiales y herramienta que no están directamente instaladas en el módulo sus elementos permiten medir y realizar maniobras de control y fuerza.

Para la implementación del módulo se realizó el diseño del plano estructural en el software AutoCAD como se observa en el anexo B y C teniendo en cuenta los elementos y materiales a instalar, se consideró que el material adecuado estructuralmente es de hierro tol de 3mm de grosor debido a que el tablero lleva materiales eléctricos, en base a que se puede producir una descarga eléctrica el recubriendo del módulo es con pintura electrostática la cual permite mayor durabilidad del material de la metálica, el tablero consta de un cajón tipo armario el cual permite guardar cosas externas al tablero como herramientas y equipos.

El diseño del módulo permite realizar varios tipos de pruebas donde se puede implementar un logo y un variador de frecuencia para realizar más prácticas para el estudiante de manera ilimitada.

El módulo dispone de un diagrama unifilar para entender de manera teórica la conexión de cada uno de sus elementos de protección, los elementos instalados en el módulo son de característica analógica, digital y electromecánica, la conexión entre estos elementos permite realizar prácticas de control industrial tanto de fuerza como de control, así como se describe en el anexo F guía del usuario.

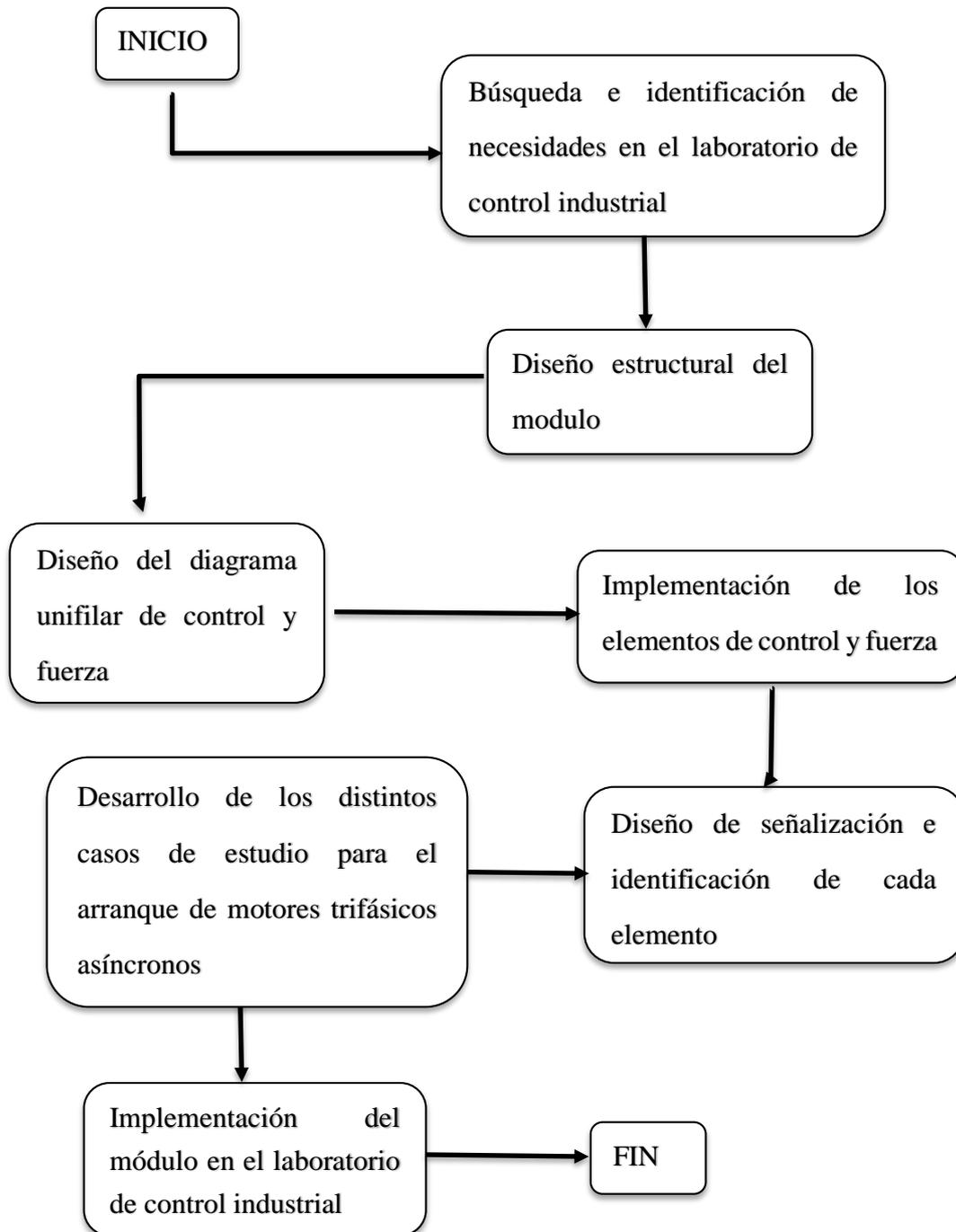
Los elementos del módulo disponen de un etiquetado de señalización para que el estudiante pueda identificar de manera sencilla el nombre del elemento y el tipo de conexión tanto de fuerza como de control.

El módulo está ubicado en el laboratorio de control industrial con el nombre módulo 6, al momento de realizar la entrega a recepción se realizó el funcionamiento de cada uno de sus

elementos instalados para poder realizar la entrega con la granita y seguridad de que todo lo que está instalado tenga un 100% de funcionalidad.

#### 4.4.2. Diagrama de flujo

##### A. Diseño e implementación del módulo



**Figura 4.5.** Diagrama de flujo de la construcción del tablero

#### **4.4.3. Condiciones de funcionamiento**

En este apartado hablaremos sobre el funcionamiento de cada uno de los tipos de arranques que se utilizan para poder adquirir los datos para su respectiva tabulación.

Para poder realizar las conexiones revisamos el anexo F donde se encuentra las conexiones y abreviaturas de cada elemento descrito a continuación.

En el arranque directo al activar el pulsador de marcha sentido horario (verde), se activa el contactor KM1 el cual debe quedar enclavado y energizar al motor que funcionara en sentido horario. Para detener el funcionamiento del motor se presiona el pulsador de paro (rojo) y el motor se detiene. Para la adquisición de datos realizamos la conexión del analizador de redes según los colores de los cables a la salida del contactor en este caso tenemos pinzas para el voltímetro y el amperímetro.

Para el arranque estrella – triangulo tenemos un pulsador de inicio (verde), se activa el contactor KM1 y KM2 en este caso este contactor está en estrella el cual se enclava dando contacto al motor pasado cierto tiempo se activa el temporizador y cambia a la configuración delta y para realizar la adquisición de datos conectamos las pinzas del voltímetro y amperímetro a la salida del arranque en delta.

Posteriormente para el arranque con variador de frecuencia debemos realizar la conexión según la guía práctica que se encuentra en el anexo G por su complejidad en la configuración y control del variador de frecuencia.

El sistema cuenta con un paro de emergencia, el cual desconecta y apaga todo el sistema, para esto se usará un pulsante tipo hongo color rojo, para la señalización de marcha sentido horario cuenta con una luz piloto verde y para señalización de paro o falla se cuenta con una luz piloto roja que protege el circuito de control y el circuito de fuerza con un breaker.

#### **4.4.4. Casos de estudio**

Los casos de estudio para el análisis del comportamiento de los motores asíncronos trifásicos al momento del arranque con esta finalidad el presente documento aborda el diseño y construcción de un módulo didáctico en el cual realizaran conexiones de las configuraciones existentes para un arranque de motores trifásicos. Al mismo tiempo facilitar la adquisición de datos mediante diferentes aparatos electrónicos como es un analizador de redes, multímetro, pinza amperimétrica, etc. En este marco optamos por analizar tres casos de estudio arranque directo, arranque estrella – triangulo y arranque con variador de frecuencia. Mediante al cual se

adquieren los datos mediante una aplicación de carga, primero caso un arranque con una carga en vacío 0%, segundo caso un arranque con una carga del 50% y como tercer caso un arranque a plena carga 100%, a continuación, detallaremos de mejor manera los casos:

#### 4.4.5. Arranque directo para motores asíncronos trifásicos de 1 Hp

Para motores de bajo consumo eléctrico, no es necesario ningún tipo de arranque especial, sino que el motor puede ser arrancado conectando directamente a la red, al principio el motor consumirá una corriente más alta durante algunos segundos, ira aumentando su velocidad y disminuyendo la corriente que consumo de forma progresiva, hasta llegar al punto de estabilidad este tipo de arranques es brusco y violento para la conexión de este tipo de arranque revisamos el anexo F.

#### 4.4.6. Arranque estrella-triángulo en el motor asíncrono trifásico de 1 Hp

En el arranque estrella-triángulo se busca reducir la corriente en el momento del arranque al alimentar a una tensión menor con la conexión en estrella  $V_n/\sqrt{3}$  como se muestra en la figura 5.3. Con ello se consigue que la intensidad baje a la tercera parte de la intensidad que se producirá en un arranque directo, también el par de arranque se reduce a menos de la mitad, lo que hace imposible este sistema en motores de media potencia que arranquen con mucha carga, otro inconveniente es el corte de tensión que se produce al pasar de estrella a triángulo[32].

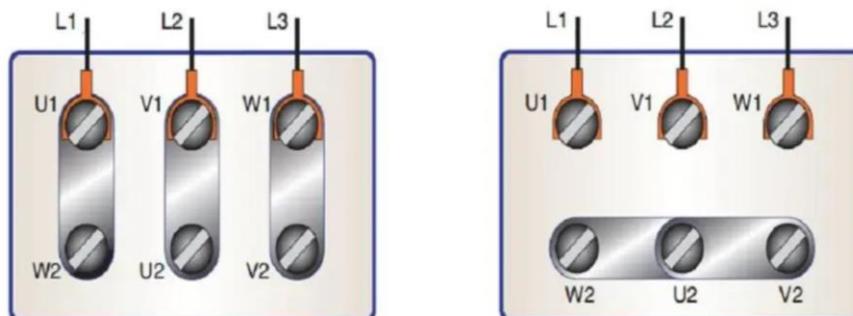
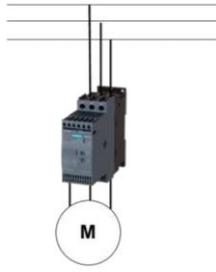


Figura 4.6. Conexión de un motor en triángulo y en estrella[32].

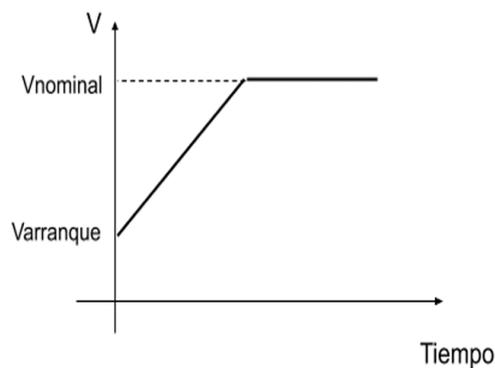
#### 4.4.7. Arranque suave para motores asíncrono-trifásicos de 1Hp

El arranque suave es un dispositivo electrónico que permite controlar la tensión con la que se alimenta el motor como logra controlar la tensión escapa a los alcances de esta materia en la siguiente figura5.5.



**Figura 4.7.** Esquema de conexión de arrancador usando el variador de frecuencia [33].

El arranque suave aumenta de forma progresiva la tensión aplicada al motor como se observa el a siguiente figura:



**Figura 4.8.** Arranque suave aumenta de forma progresiva la tensión [33].

Esto da como resultado un voltaje más bajo y una corriente de par más baja al comienzo del arranque a medida que la tasa de aumento de voltaje y par aumenta gradualmente. De esta forma se evitan valores elevados de corriente en el arranque y se realiza un arranque suave, pero este método es más caro que el anterior.

#### **A. Uso del variador de frecuencia en arranque suave.**

En el transcurso del marco teórico se explicó, la velocidad síncrona en un motor de inducción dependiendo de la frecuencia de alimentación del sistema trifásico como se observa en la ecuación 5.1.

$$n_1 = f_1 * 60 \text{ rpm} \quad (4.1)$$

$f_1$  Frecuencia 1 [Hz]

La frecuencia de la red eléctrica es de 60 Hz la velocidad del rotor con el aparato tecnológico mostrado en la figura 5.7, ósea, a la que gira el motor, es menor que la síncrona pero cercana, por lo tanto, variando la frecuencia de la tensión con la que se alimenta el motor es posible controlar su velocidad de giro.

## **4.5. Tipos de Arranques**

### **4.5.1. CASO 1 ARRANQUE EN DIRECTO**

El arranque directo de un motor trifásico es un método utilizado para poner en marcha el motor sin necesidad de utilizar dispositivos adicionales como contactores o arrancadores. Consiste en conectar directamente las fases del motor a la red eléctrica de funcionamiento.

El procedimiento para el arranque directo de un motor trifásico es el siguiente:

1. Verificar que el motor se encuentra en buen estado y cumple con las especificaciones técnicas necesarias para el arranque directo.
2. Asegurarse de que el motor esté desconectado de la alimentación eléctrica.
3. Conectar las fases del motor a las fases correspondientes de la red eléctrica, respetando la correcta secuencia de fases (R, S, T).
4. Conectar la tierra del motor a la tierra de la red eléctrica.
5. Verificar que todas las conexiones estén firmes y seguras.
6. Realizar una prueba de arranque para comprobar que el motor se pone en marcha correctamente.

Es importante destacar que el arranque directo de un motor trifásico es recomendado para motores de pequeña y mediana potencia. En el caso de motores de gran potencia, se suelen utilizar otros métodos de arranque como el arranque estrella-triángulo o el arranque suave, que permiten reducir el impacto inicial en el motor y evitar posibles daños.

### **4.5.2. CASO 2 ARRANQUE EN ESTRELLA-TRIANGULO**

El arranque en estrella-triángulo, también conocido como arranque en Y- $\Delta$ , es un método utilizado para reducir la corriente de arranque en motores trifásicos de alta potencia. Este método consiste en utilizar una conexión en estrella (Y) durante el arranque y luego cambiar a una conexión en delta ( $\Delta$ ) una vez que el motor ha alcanzado la velocidad nominal.

El procedimiento para el arranque en estrella-delta de un motor trifásico es el siguiente:

1. Verificar que el motor se encuentra en buen estado y cumple con las especificaciones técnicas necesarias para este tipo de arranque.
2. Asegurarse de que el motor esté desconectado de la alimentación eléctrica.

3. Conectar las fases del motor en configuración estrella (Y) utilizando un dispositivo de conexión especial, como un contactor o arrancador estrella-delta.
4. Conectar la tierra del motor a la tierra de la red eléctrica.
5. Verificar que todas las conexiones estén firmes y seguras.
6. Una vez que el motor ha alcanzado aproximadamente el 80% de su velocidad nominal, se cambia la conexión a configuración delta ( $\Delta$ ) utilizando el dispositivo de conexión especial.
7. Realizar una prueba de arranque para comprobar que el motor se pone en marcha correctamente y está funcionando a la velocidad y corriente nominal.

El arranque en estrella-delta permite reducir la corriente de arranque del motor hasta en un tercio de su valor inicial, lo que evita sobrecargas en la red eléctrica y prolonga la vida útil del motor. Sin embargo, este método solo es aplicable en motores de alta potencia y requiere de dispositivos de conexión adicionales.

#### **4.5.3. CASO 3 ARRANQUE CON VARIADOR DE FRECUENCIA (VFD)**

El arranque con variador de frecuencia, también conocido como arranque suave o arranque gradual, es un método utilizado para poner en marcha motores eléctricos de manera controlada y sin ocasionar impactos bruscos en el sistema eléctrico.

El variador de frecuencia es un dispositivo electrónico que permite controlar la velocidad y frecuencia de alimentación de un motor, lo que a su vez afecta su par y potencia de salida.

El procedimiento para el arranque con variador de frecuencia es el siguiente:

1. Verificar que el motor y el variador de frecuencia estén en buen estado y cumplan con las especificaciones técnicas requeridas.
2. Conectar el variador de frecuencia a la fuente de alimentación eléctrica y ajustar los parámetros de entrada y salida del variador según las especificaciones del motor.
3. Configurar el variador de frecuencia en el modo de arranque suave o gradual. Esto implica establecer una rampa de aceleración y deceleración, es decir, el tiempo en el que el motor alcanzará su velocidad máxima y el tiempo en el que se detendrá gradualmente.
4. Iniciar el arranque del motor mediante el variador de frecuencia. El variador suministrará una fuente de alimentación trifásica con una frecuencia y voltaje ajustados de manera progresiva, permitiendo un arranque controlado y sin picos bruscos.

5. Monitorear el funcionamiento del motor durante el arranque y realizar ajustes en el variador de frecuencia si es necesario.

El arranque con variador de frecuencia ofrece varios beneficios, como reducción de la corriente de arranque, menor desgaste y mayor eficiencia energética. Además, permite controlar y ajustar la velocidad del motor según las necesidades específicas de la aplicación. Sin embargo, es importante tener en cuenta las recomendaciones del fabricante y contar con la asesoría de un experto para su correcta implementación.

## **5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

En el siguiente capítulo se detallarán los resultados obtenidos en la validación de los elementos usados en la práctica, además de las simulaciones dadas por los arranques que se emplean en las industrias los cuales se encuentran disponibles en los diferentes catálogos que indican el uso que se le da a los diferentes tipos de arranques según el equipo y motor que será utilizado.

### **5.1. ARRANQUE DE PRUEBA EN MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS**

Para esta serie de arranques se deja la carga del motor sin momento de inercia, pero no el motor, que se deja con el momento de inercia indicado en las características del motor, que es la unidad.

A continuación, se procederá a efectuar los cálculos de los distintos tipos de arranque, todos estos arranques se analizan por etapas; en primer lugar, se analizará el arranque directo, a continuación, se analizará el arranque estrella-triángulo, posteriormente procederemos con el arranque con variador de frecuencia.

### **5.2. DESCRIPCIÓN DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DESARROLLADAS PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE ARRANQUE.**

En la presente sección por medio de la implementación y conexión de los diferentes tipos de arranques para motores asíncronos trifásicos, se realiza la toma de datos y su respectivo análisis comparando el funcionamiento de los tres diferentes tipos de conexiones.

Una vez realizada la práctica se obtendrán datos gráficos donde se observará la variación de la curva de corriente, par/torque y velocidad de los diferentes tipos de arranque.

#### **5.2.1. Arranque directo en motores asíncronos trifásicos**

Los principales métodos de arranque, la curva de arranque y la comparación de las curvas de arranque para un motor eléctrico mediante el uso de los diferentes métodos de arranque se presenta en la siguiente figura. Con esta recopilación se puede formar una idea compacta acerca de la diferencia del consumo de corriente según el método de arranque usado como lo es el arranque de forma directa en el lapso de 1 minuto.

Un motor trifásico asíncrono cuyo estator posee un único devanado por el que circula una corriente alterna monofásica no podrá, según el teorema de Leblac, arrancar por sí mismo, pues los dos campos magnéticos giratorios dan lugar a un par resultante nulo, al circular unas corrientes de iguales valores eficaces y desfasadas entre sí 90° en el tiempo por unos devanados desfasados 90° eléctricos en el espacio se genera un campo magnético giratorio circular que

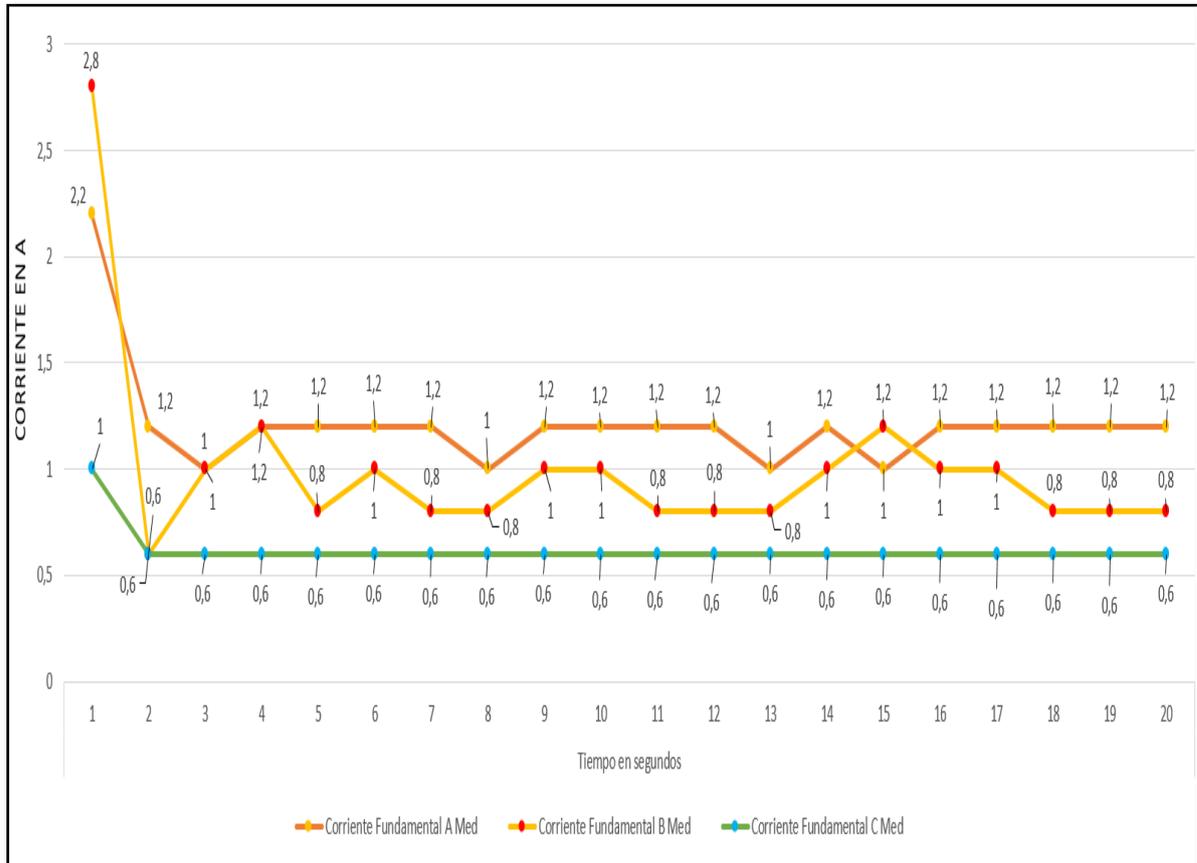
hace girar al motor, el pico de arranque es de 16.40 amperios. En la tabla 4.2 se indica los diferentes datos obtenidos ante diferentes pesos.

**Tabla 5.1.** Datos obtenidos mediante el arranque directo sin carga

INGENIERÍA ELÉCTRICA / UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL									
REGISTRO DE PRUEBA N. 1									
Practica #1									
TABLA N.1 ARRANQUE Y PARO DE EMERGENCIA DE MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO UTILIZANDO CONFIGURACIÓN ESTRELLA CON ALIMENTACIÓN 3F SIN CARGA (0%)								FECHA:	
								28/06/2023	
ELEMENTOS: BANCO DE PRUEBAS PARA CONTROL INDUSTRIAL, MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO EN CONFIGURACIÓN ESTRELLA, ANALIZADOR DE REDES.									
PRUEBA SIN CARGA - SENTIDO DE GIRO HORARIO									
MEDICIONES REALIZADAS CON EL ANALIZADOR DE REDES									
Tiempo en segundos	Voltaje AB	Voltaje BC	Voltaje CA	Corriente A	Corriente B	Corriente C	Potencia Activa (P)	Potencia Reactiva (Q)	Potencia Aparente (S)
13:47:12	212,58	213	212,01	2,2	2,8	1	110	50	70
13:47:13	212,79	213,21	212,21	1,2	0,6	0,6	30	40	60
13:47:14	212,69	213,12	212,1	1	1	0,6	30	40	60
13:47:15	212,68	213,1	212,05	1,2	1,2	0,6	30	40	60
13:47:16	212,9	213,33	212,27	1,2	0,8	0,6	30	40	60
13:47:17	212,7	213,16	212,11	1,2	1	0,6	30	40	60
13:47:18	212,67	213,14	212,12	1,2	0,8	0,6	30	40	60
13:47:19	212,57	213,1	212,1	1	0,8	0,6	30	40	60
13:47:20	212,5	212,96	212,03	1,2	1	0,6	30	40	60
13:47:21	212,51	212,95	211,98	1,2	1	0,6	30	40	60
13:47:22	212,51	212,95	211,98	1,2	0,8	0,6	30	40	60
13:47:23	212,39	212,82	211,92	1,2	0,8	0,6	30	40	60
13:47:24	212,48	212,9	212,02	1	0,8	0,6	30	40	60
13:47:25	212,52	212,97	212,11	1,2	1	0,6	30	40	60
13:47:26	212,47	212,94	212	1	1,2	0,6	30	40	60
13:47:27	212,5	213,01	212,09	1,2	1	0,6	30	40	60
13:47:28	212,59	213,11	212,13	1,2	1	0,6	30	40	60
13:47:29	212,5	213,02	212	1,2	0,8	0,6	30	40	60
13:47:30	212,55	213,05	212,05	1,2	0,8	0,6	30	40	60
13:47:31	212,59	213,08	212,09	1,2	0,8	0,6	30	40	60
características del motor	Frecuencia (Hz)	60 Hz							
	Velocidad (rpm)	1650							
	corriente (A)	2,9 A							

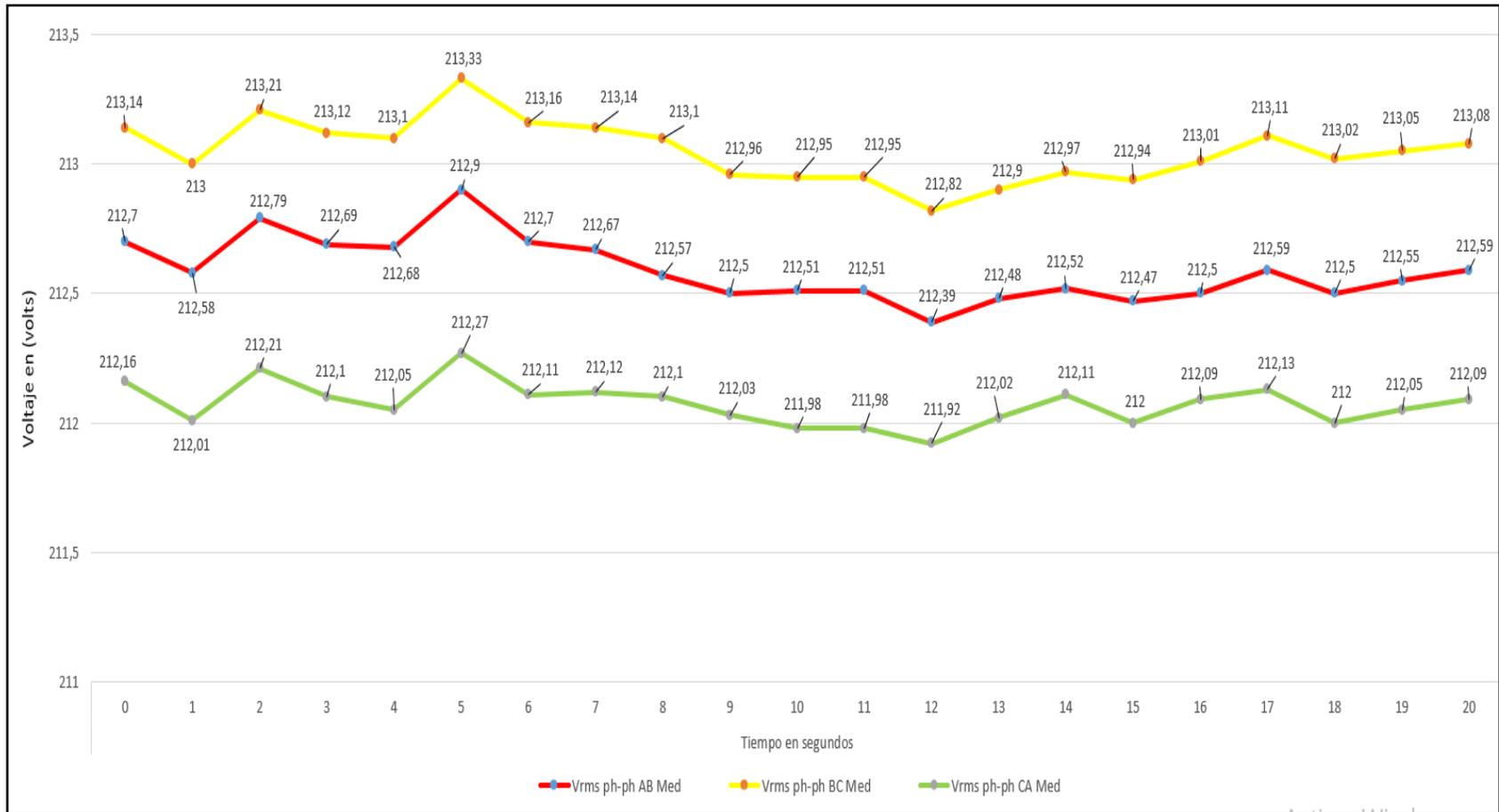
Se toma el pico de arranque como el 100 % del alcance para la intensidad de corriente de 3 A es el valor estable que se muestra en la siguiente figura se relaciona con el valor que representa el porcentaje al que el sistema encuentra la estabilidad en un motor de 1hp, accionando la

máquina de manera eficiente y usando el circuito de accionamiento directo a partir de una conexión delta.



**Figura 5.1.** Pico de corriente en arranque directo en vacío

En el caso de que la corriente de arranque original para arranque directo sea inaceptable en términos de efectos sobre la red a la que se encuentra conectada el motor, se puede inferir un criterio para diseñar el sistema, el cual surge de considerar al arranque satisfactorio si el pico de corriente en la conmutación no resulta mayor que el pico inicial como se muestra en la línea.



**Figura 5.2.** Voltaje de arranque directo en vacío.

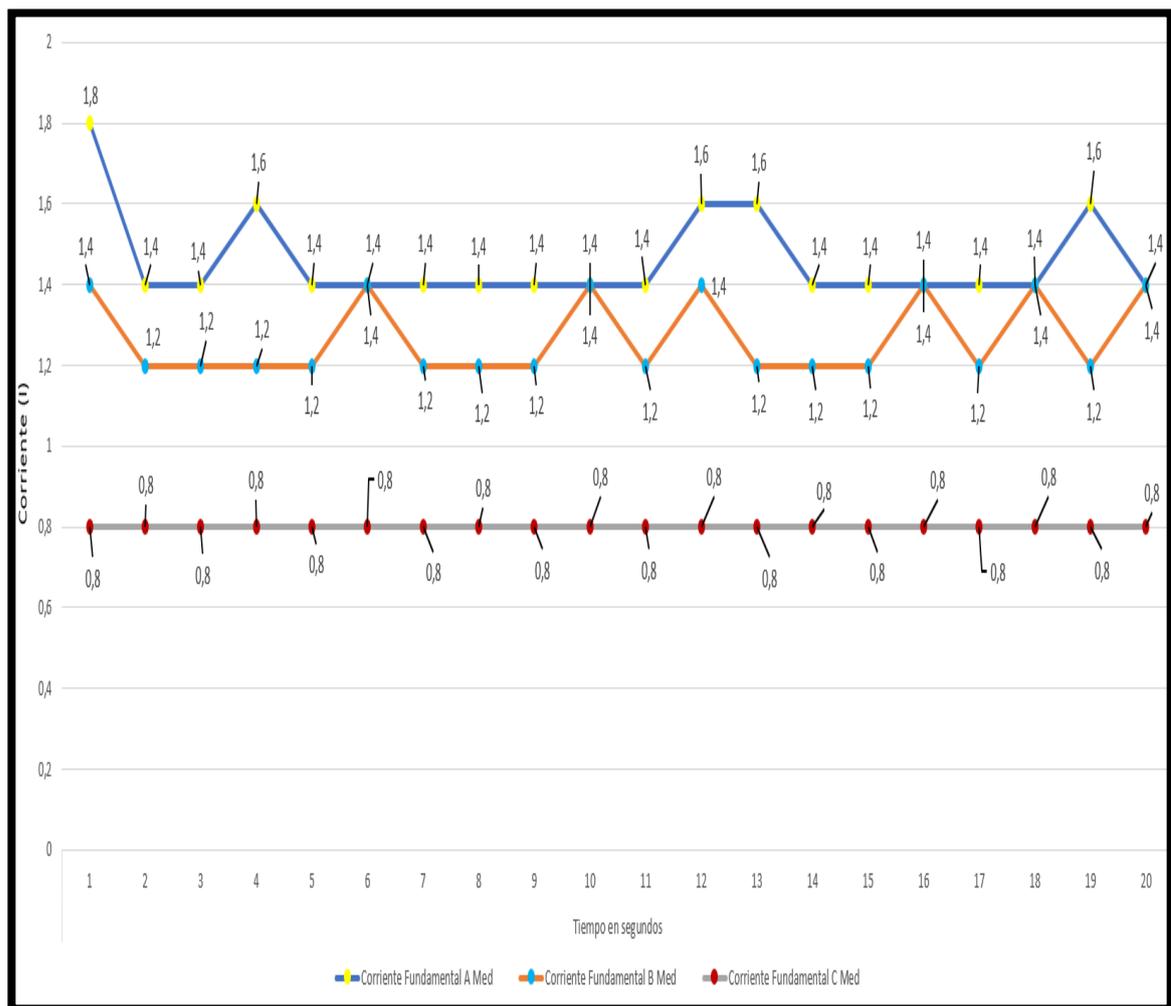
### 5.2.2. Arranque directo con carga 50% (14kg)

Teniendo en cuenta que el motor tiene una carga del 50% de su capacidad se toma en cuenta el pico de arranque de 1.8 A, llegando a tener una estabilidad de corriente en el valor de 1.4 A como se muestra en la siguiente figura se relaciona con el valor que representa el porcentaje al que el sistema encuentra la estabilidad en un motor de 1hp, accionando la máquina de manera eficiente y usando el circuito de accionamiento directo a partir de una conexión delta.

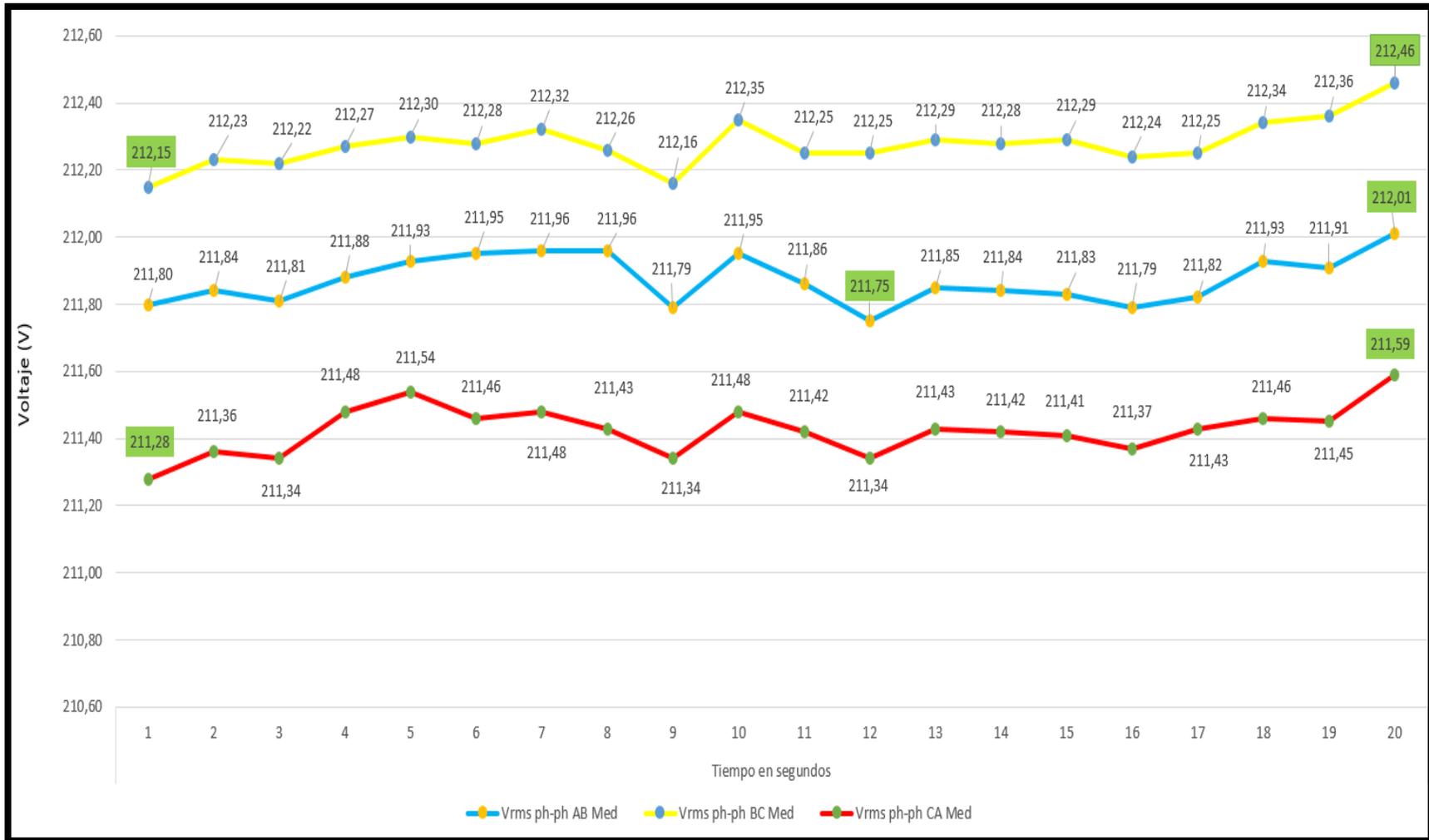
**Tabla 5.2.** Datos del arranque directo media carga (50%)

INGENIERÍA ELÉCTRICA / UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL									
REGISTRO DE PRUEBA N. 2									
Practica #2									
TABLA N.1 ARRANQUE Y PARO DE EMERGENCIA DE MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO UTILIZANDO CONFIGURACIÓN ESTRELLA CON ALIMENTACIÓN 3F Y CON UNA CARGA DE 50% (14kg).								FECHA: 28/06/2023	
ELEMENTOS: BANCO DE PRUEBAS PARA CONTROL INDUSTRIAL, MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO EN CONFIGURACIÓN ESTRELLA.									
PRUEBA CON CARGA – 14kg - SENTIDO DE GIRO HORARIO									
MEDICIONES REALIZADAS CON EL ANALIZADOR DE REDES									
Tiempo en segundos	Voltaje AB	Voltaje BC	Voltaje CA	Corriente A	Corriente B	Corriente C	Potencia Activa (P)	Potencia Reactiva (Q)	Potencia Aparente (S)
14:09:44	211,80	212,15	211,28	1,8	1,4	0,8	50	50	80
14:09:45	211,84	212,23	211,36	1,4	1,2	0,8	50	50	80
14:09:46	211,81	212,22	211,34	1,4	1,2	0,8	50	50	80
14:09:47	211,88	212,27	211,48	1,6	1,2	0,8	50	50	80
14:09:48	211,93	212,30	211,54	1,4	1,2	0,8	50	50	80
14:09:49	211,95	212,28	211,46	1,4	1,4	0,8	50	50	80
14:09:50	211,96	212,32	211,48	1,4	1,2	0,8	50	50	80
14:09:51	211,96	212,26	211,43	1,4	1,2	0,8	50	50	80
14:09:52	211,79	212,16	211,34	1,4	1,2	0,8	50	50	80
14:09:53	211,95	212,35	211,48	1,4	1,4	0,8	50	50	80
14:09:54	211,86	212,25	211,42	1,4	1,2	0,8	50	50	80
14:09:55	211,75	212,25	211,34	1,6	1,4	0,8	50	50	80
14:09:56	211,85	212,29	211,43	1,6	1,2	0,8	50	50	80
14:09:57	211,84	212,28	211,42	1,4	1,2	0,8	50	50	80
14:09:58	211,83	212,29	211,41	1,4	1,2	0,8	50	50	80
14:09:59	211,79	212,24	211,37	1,4	1,4	0,8	50	50	80
14:10:00	211,82	212,25	211,43	1,4	1,2	0,8	50	50	80
14:10:01	211,93	212,34	211,46	1,4	1,4	0,8	50	50	80
14:10:02	211,91	212,36	211,45	1,6	1,2	0,8	50	50	80
14:10:03	212,01	212,46	211,59	1,4	1,4	0,8	50	50	80
Mediciones del motor con carga de 14kg	Frecuencia (Hz)	60 Hz							
	Velocidad (rpm)	1589							
	corriente (A)	1,4 A							

En el caso de que la corriente de arranque original para arranque directo sea inaceptable en términos de efectos sobre la red a la que se encuentra conectada el motor, se puede inferir un criterio para diseñar el sistema, el cual surge de considerar al arranque satisfactorio si el pico de corriente en la conmutación no resulta mayor que el pico inicial como se muestra en la línea A que alcanza un pico de 1.8 A y se mantiene estable en corriente de 0.8 A – 1.4 A para motores trifásicos asíncronos de 1hp de no lograste esto, se pierde el objetivo principal que es el de reducir la caída de tensión durante el arranque.



**Figura 5.3.** Corriente de arranque directo con carga (14Kg).



**Figura 5.4.** Voltaje de arranque directo con carga (14Kg).

**Tabla 5.3.** Datos mediante el arranque directo a plena carga (100%)

INGENIERÍA ELÉCTRICA / UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL									
REGISTRO DE PRUEBA N. 3									
TABLA N.1 ARRANQUE Y PARO DE EMERGENCIA DE MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO EN CONFIGURACIÓN ESTRELLA CON ALIMENTACIÓN 3F Y CON UNA CARGA DEL 100% ( 20kg).								FECHA: 28/06/2023	
ELEMENTOS: BANCO DE PRUEBAS PARA CONTROL INDUSTRIAL, MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO EN CONFIGURACIÓN ESTRELLA.									
PRUEBA CON CARGA – 20kg - SENTIDO DE GIRO HORARIO									
MEDICIONES REALIZADAS CON EL ANALIZADOR DE REDES									
Tiempo en segundos	Voltaje AB	Voltaje BC	Voltaje CA	Corriente A	Corriente B	Corriente C	Potencia Activa (P)	Potencia Reactiva (Q)	Potencia Aparente (S)
15:02:12	192,97	193,02	193,09	1,4	0,6	0,8	10	10	60
15:02:13	193,16	193,21	193,24	1	0,6	0,8	10	10	60
15:02:14	193,14	193,19	193,21	1,2	0,6	0,8	10	10	60
15:02:15	193,15	193,22	193,32	1,2	0,6	0,8	10	10	60
15:02:16	193,17	193,23	193,28	1,2	0,6	0,8	10	10	60
15:02:17	193,15	193,20	193,26	1,2	0,6	0,8	10	10	60
15:02:18	193,13	193,22	193,27	1	0,6	0,8	10	10	60
15:02:19	193,17	193,21	193,25	1,4	0,6	0,8	10	10	60
15:02:39	192,96	193,04	193,12	1,2	0,6	0,8	10	10	60
15:02:44	193,03	193,16	193,25	1,4	0,6	0,8	10	10	60
15:02:56	193,18	193,28	193,33	1,4	0,6	0,8	10	10	60
15:02:57	193,10	193,12	193,14	1,2	0,6	0,8	10	10	60
15:03:01	193,09	193,18	193,22	1,2	0,6	0,8	10	10	60
15:03:04	193,03	193,08	193,21	1,2	0,6	0,8	10	10	60
15:03:14	192,92	192,97	193,03	1,2	0,6	0,8	10	10	60
15:03:15	192,92	193,12	193,28	1,2	0,6	0,8	10	10	60
15:03:18	193,14	193,17	193,19	1,4	0,6	0,8	10	10	60
15:03:29	193,17	193,24	193,33	1,4	0,6	0,8	10	10	60
15:03:32	193,32	193,43	193,51	1,2	0,6	0,8	10	10	60
15:03:33	193,16	193,29	193,40	1,2	0,6	0,8	10	10	60
Mediciones del motor con carga de 20kg	Frecuencia (Hz)	60 Hz							
	Velocidad (rpm)	1444							
	corriente (A)	1,9 A							

### 5.2.3. Arranque en configuración estrella - triangulo en motores asíncronos

A continuación, en la siguiente grafica se resaltan algunas características fundamentales para el análisis de los diferentes aparatos que se usó para este tipo de arranque, una vez que el motor alcanzo su velocidad de régimen y disminuyen sensiblemente la corriente, se aprecia el cambio de estrella a triangulo, en dicho cambio aparece un nuevo pico de corriente, cuyo valor puede ser alto 1.8 A estabilizándose en 1.4 A.

**Tabla 5.4.** Datos mediante el arranque directo a sin carga (0%)

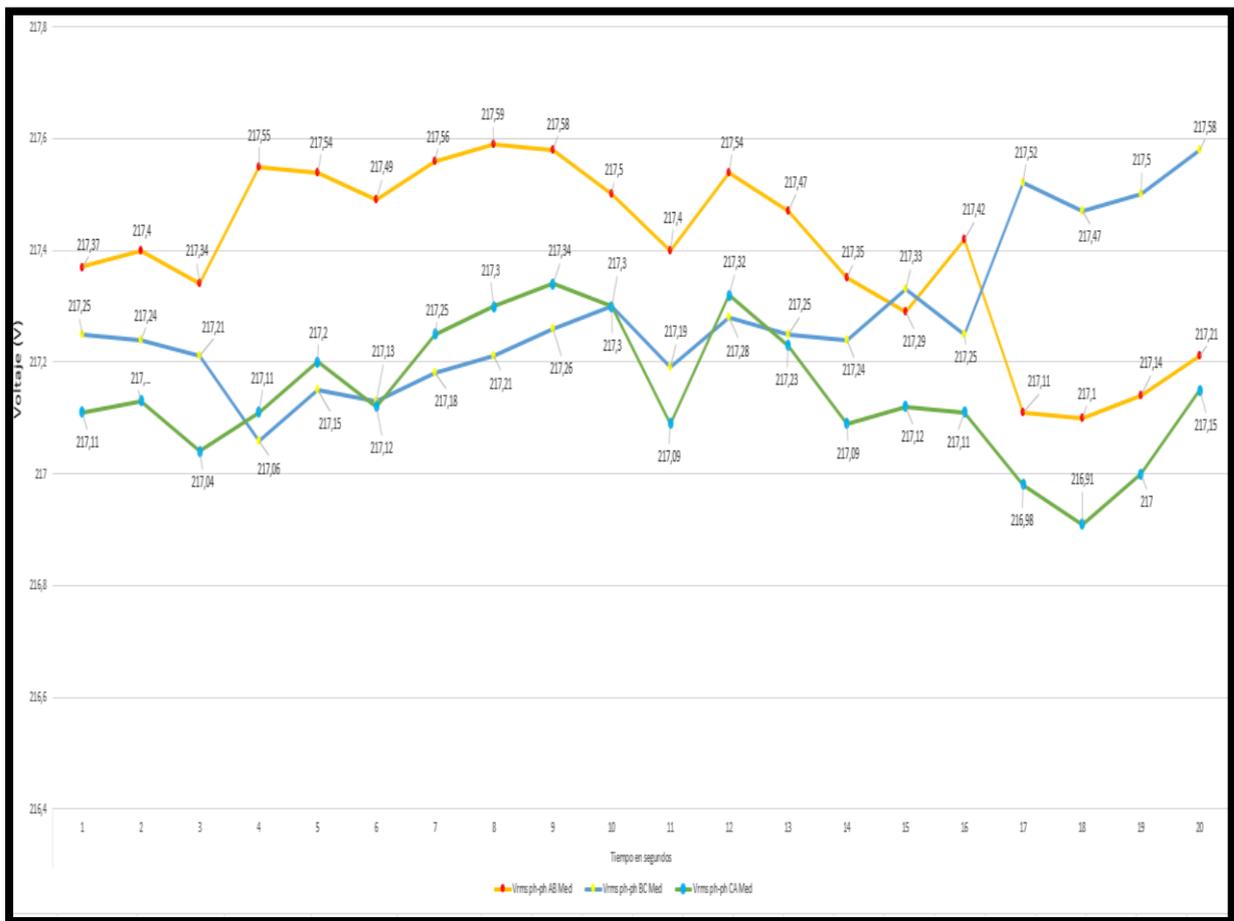
INGENIERÍA ELÉCTRICA / UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL									
REGISTRO DE PRUEBA N. 1									
Practica #1									
TABLA N.1 ARRANQUE ESTRELLA TRIÁNGULO Y PARO DE EMERGENCIA DE UN MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO CON ALIMENTACIÓN 3F SIN CARGA 0% (0kg)								FECHA:	
								30/06/2023	
ELEMENTOS: BANCO DE PRUEBAS PARA CONTROL INDUSTRIAL, MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO JAULA DE ARDILLA.									
PRUEBA SIN CARGA - SENTIDO DE GIRO HORARIO									
MEDICIONES REALIZADAS CON EL ANALIZADOR DE REDES									
Tiempo en segundos	Voltaje AB	Voltaje BC	Voltaje CA	Corriente A	Corriente B	Corriente C	Potencia Activa (P)	Potencia Reactiva (Q)	Potencia Aparente (S)
13:47:12	217,37	217,25	217,11	1,4	1,2	1,2	10	40	60
13:47:13	217,4	217,24	217,13	1,6	1,2	1,2	10	40	60
13:47:14	217,34	217,21	217,04	1,6	1,2	1,2	10	40	60
13:47:15	217,55	217,06	217,11	1,6	1,2	1,2	10	40	60
13:47:16	217,54	217,15	217,2	1,6	1,2	1,2	10	40	60
13:47:17	217,49	217,13	217,12	1,2	1,4	1,2	10	40	60
13:47:18	217,56	217,18	217,25	1,4	1,2	1,2	10	40	60
13:47:19	217,59	217,21	217,3	1,4	1,2	1,2	10	40	60
13:47:20	217,58	217,26	217,34	1,4	1,4	1,2	10	40	60
13:47:21	217,5	217,3	217,3	1,4	1,4	1,2	10	40	60
13:47:22	217,4	217,19	217,09	1,6	1,2	1,2	10	40	60
13:47:23	217,54	217,28	217,32	1,6	1,2	1,2	10	40	60
13:47:24	217,47	217,25	217,23	1,4	1,4	1,2	10	40	60
13:47:25	217,35	217,24	217,09	1,4	1,2	1,2	10	40	60
13:47:26	217,29	217,33	217,12	1,6	1,2	1,2	10	40	60
13:47:27	217,42	217,25	217,11	1,4	1,2	1,2	10	40	60
13:47:28	217,11	217,52	216,98	1,2	1,2	1,2	10	40	60
13:47:29	217,1	217,47	216,91	1,4	1,4	1,2	10	40	60
13:47:30	217,14	217,5	217	1,4	1,2	1,2	10	40	60
13:47:31	217,21	217,58	217,15	1,4	1,2	1,2	10	40	60
Características del motor	Frecuencia (Hz)	60 Hz							
	Velocidad (rpm)	1650							
	corriente (A)	1,6 A							

El valor de este pico de corriente depende de varios parámetros entre otro de la inercia que posee la carga a la que fue aplicada en la práctica en todo caso la duración de este pico de corriente es de un semi-ciclo, es decir de alrededor de 10 milisegundos, la corriente de pico 1.8 es el 100% la estabilidad es 1.4 y varía en un porcentaje de 33.33%.

Cuando se comparó con soluciones anteriores descriptivas, los variadores de frecuencia suelen ser la mejor solución a simple vista, pero esta puede ser la más costosa en cuanto a inversión económica esto explica por la necesidad de instalar otras medidas como apantallamiento de los cables del motor y filtros para compatibilidad electromagnética pero en algunos casos, la combinación de los factores conlleva en última instancia a un beneficio económico que convierte al variador de frecuencia en solución conveniente.



**Figura 5.5.** Pico de corriente en arranque estrella triángulo en vacío.



**Figura 5.6.** Voltaje de arranque estrella triangulo en vacío

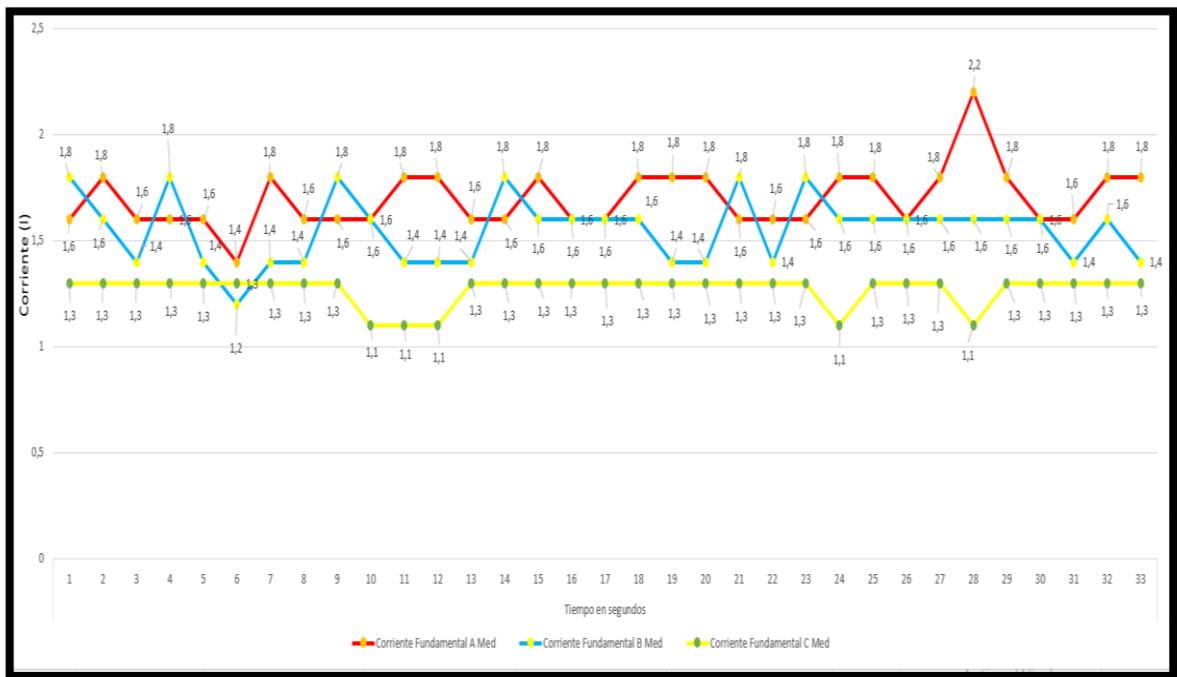
#### 5.2.4. Arranque estrella triangulo con carga del 50% (14kg)

En la siguiente figura 5.7, se resaltan algunas características fundamentales para el análisis de los diferentes aparatos que se usó para este tipo de arranque, una vez que el motor alcanzo su velocidad de régimen y disminuyen sensiblemente la corriente, se aprecia el cambio de estrella a triangulo, en dicho cambio aparece un nuevo pico de corriente, cuyo valor puede ser alto 2.2 A estabilizándose en 1.4 A.

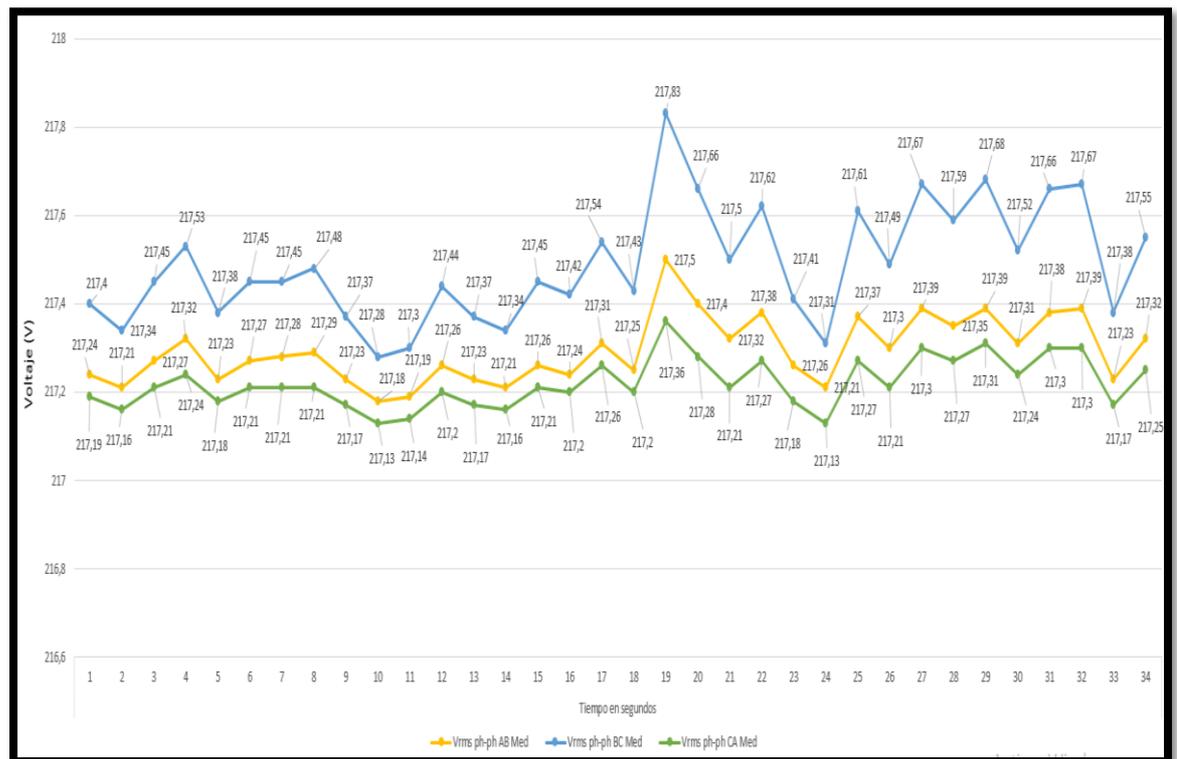
Cuando se comparó con soluciones anteriores descriptivas, los variadores de frecuencia suelen ser la mejor solución a simple vista, pero esta puede ser la más costosa en cuanto a inversión económica esto explica por la necesidad de instalar otras medidas como apantallamiento de los cables del motor y filtros para compatibilidad electromagnética pero en algunos casos, la combinación de los factores conlleva en última instancia a un beneficio económico que convierte al variador de frecuencia en solución conveniente.

**Figura 5.7.** Datos mediante el arranque estrella - triangulo a con carga (50%)

INGENIERÍA ELÉCTRICA / UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL									
REGISTRO DE PRUEBA N. 2									
Practica #2									
TABLA N.1 ARRANQUE ESTRELLA TRIANGULO DE MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO UTILIZANDO ALIMENTACIÓN 3F Y CON UNA CARGA DEL 50% (14kg).								FECHA:	
30/06/2023									
ELEMENTOS: BANCO DE PRUEBAS PARA CONTROL INDUSTRIAL, MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO.									
PRUEBA CON CARGA – 14kg - SENTIDO DE GIRO HORARIO									
MEDICIONES REALIZADAS CON EL ANALIZADOR DE REDES									
Tiempo en segundos	Voltaje AB	Voltaje BC	Voltaje CA	Corriente A	Corriente B	Corriente C	Potencia Activa (P)	Potencia Reactiva (Q)	Potencia Aparente (S)
15:45:52	217,23	217,38	217,18	1,6	1,4	1,3	80	70	90
15:45:53	217,27	217,45	217,21	1,4	1,2	1,3	80	70	90
15:45:54	217,28	217,45	217,21	1,8	1,4	1,3	80	70	90
15:45:55	217,29	217,48	217,21	1,6	1,4	1,3	80	70	90
15:45:56	217,23	217,37	217,17	1,6	1,8	1,3	80	70	90
15:45:57	217,18	217,28	217,13	1,6	1,6	1,1	80	70	90
15:45:58	217,19	217,3	217,14	1,8	1,4	1,1	80	80	90
15:45:59	217,26	217,44	217,2	1,8	1,4	1,1	80	80	90
15:46:00	217,23	217,37	217,17	1,6	1,4	1,3	80	80	90
15:46:01	217,21	217,34	217,16	1,6	1,8	1,3	80	70	90
15:46:02	217,26	217,45	217,21	1,8	1,6	1,3	80	70	90
15:46:03	217,24	217,42	217,2	1,6	1,6	1,3	80	70	90
15:46:04	217,31	217,54	217,26	1,6	1,6	1,3	80	70	90
15:46:05	217,25	217,43	217,2	1,8	1,6	1,3	80	70	90
15:46:06	217,5	217,83	217,36	1,8	1,4	1,3	80	70	90
15:46:07	217,4	217,66	217,28	1,8	1,4	1,3	80	70	90
15:46:08	217,32	217,5	217,21	1,6	1,8	1,3	80	70	90
15:46:09	217,38	217,62	217,27	1,6	1,4	1,3	80	70	90
15:46:10	217,26	217,41	217,18	1,6	1,8	1,3	80	70	90
15:46:11	217,21	217,31	217,13	1,8	1,6	1,1	80	70	90
Mediciones del motor con carga de 14kg	Frecuencia (Hz)	60 Hz							
	Velocidad (rpm)	1630							
	corriente (A)	1,8 A							



**Figura 5.8.** Corriente de arranque directo con carga (14Kg).



**Figura 5.9.** Voltaje de arranque directo con carga (14Kg).

A continuación, en la siguiente grafica se resaltan algunas características fundamentales para el análisis de los diferentes aparatos que se usó para este tipo de arranque, una vez que el motor alcanzo su velocidad de régimen y disminuyen sensiblemente la corriente, se aprecia el cambio de

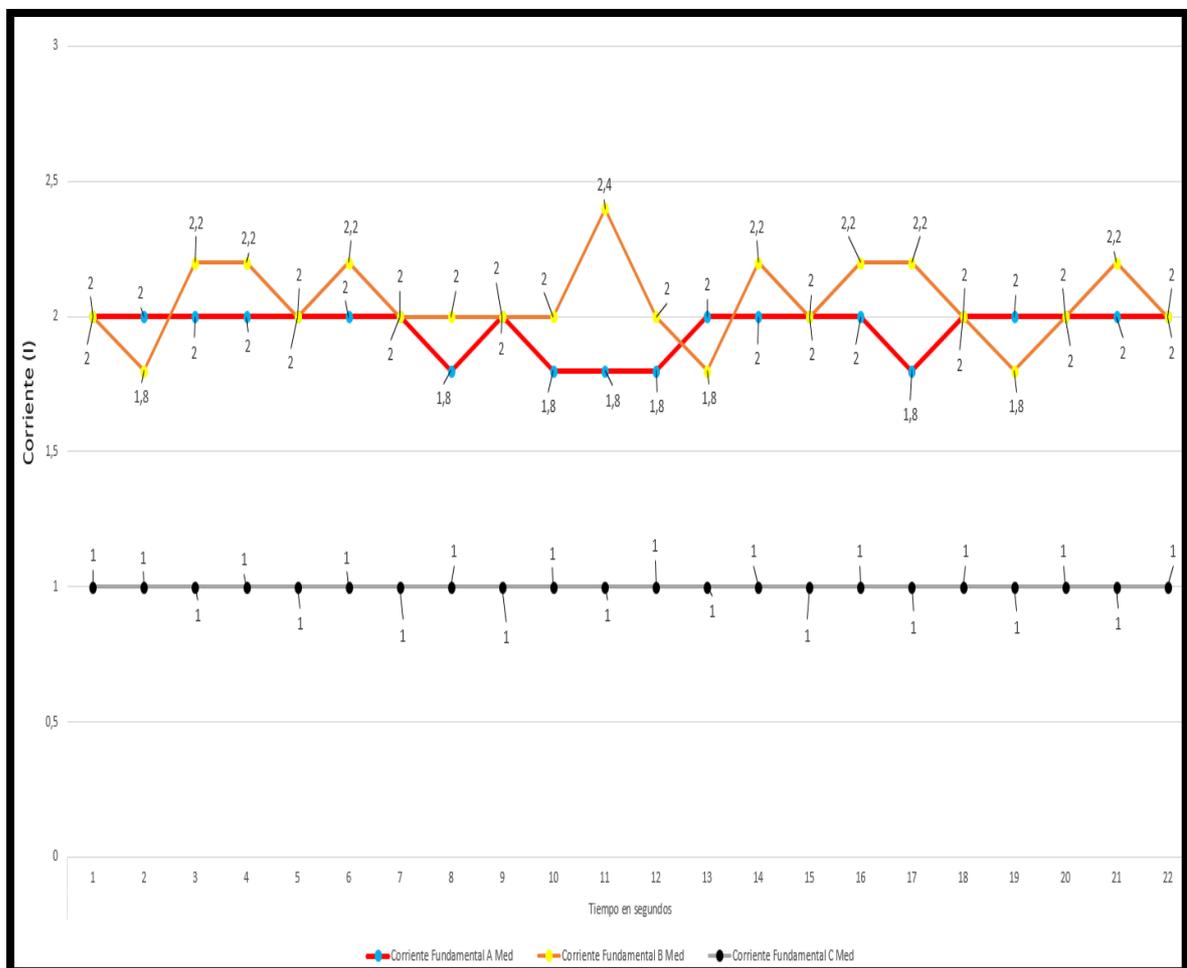
estrella a triangulo, en dicho cambio aparece un nuevo pico de corriente, cuyo valor puede ser alto 2.4 A estabilizándose en 1.6 A.

**Tabla 5.5.** Datos mediante el arranque estrella - triangulo a con carga (50%)

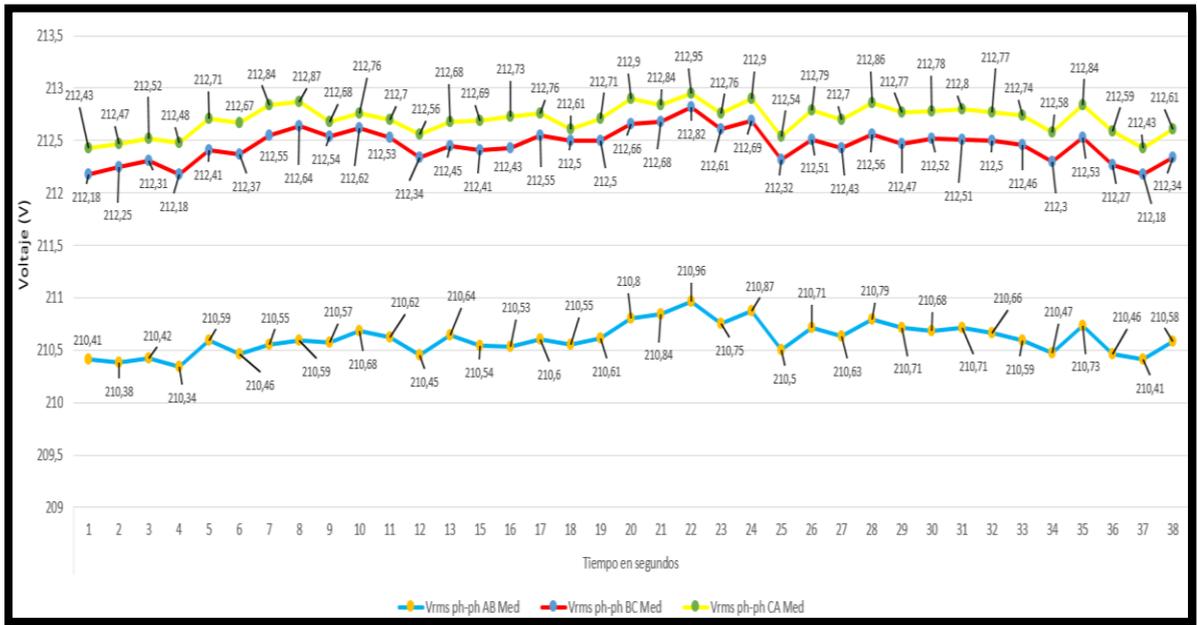
INGENIERÍA ELÉCTRICA / UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL									
REGISTRO DE PRUEBA N. 3 Practica #3									
TABLA N.1 ARRANQUE ESTRELLA TRIANGULO DE MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO CON ALIMENTACIÓN 3F Y CON UNA CARGA DEL 100% (20kg).								FECHA: 28/06/2023	
ELEMENTOS: BANCO DE PRUEBAS PARA CONTROL INDUSTRIAL, MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO.									
PRUEBA CON CARGA – 20kg - SENTIDO DE GIRO HORARIO									
MEDICIONES REALIZADAS CON EL ANALIZADOR DE REDES									
Tiempo en segundos	Voltaje AB	Voltaje BC	Voltaje CA	Corriente A	Corriente B	Corriente C	Potencia Activa (P)	Potencia Reactiva (Q)	Potencia Aparente (S)
16:18:46	210,59	212,41	212,71	2	1,8	1	10	70	120
16:18:47	210,46	212,37	212,67	2	2,2	1	10	70	120
16:18:48	210,55	212,55	212,84	2	2,2	1	10	70	120
16:18:49	210,59	212,64	212,87	2	2	1	10	70	120
16:18:50	210,57	212,54	212,68	2	2,2	1	10	70	120
16:18:51	210,68	212,62	212,76	2	2	1	10	70	120
16:18:52	210,62	212,53	212,7	1,8	2	1	10	70	120
16:18:53	210,45	212,34	212,56	2	2	1	10	70	120
16:18:54	210,64	212,45	212,68	1,8	2	1	10	70	120
16:18:55	210,54	212,41	212,69	1,8	2,4	1	10	70	120
16:18:56	210,53	212,43	212,73	1,8	2	1	10	70	120
16:18:57	210,6	212,55	212,76	2	1,8	1	10	70	120
16:18:58	210,55	212,5	212,61	2	2,2	1	10	70	120
16:18:59	210,61	212,5	212,71	2	2	1	10	70	120
16:19:00	210,8	212,66	212,9	2	2,2	1	10	60	120
16:19:01	210,84	212,68	212,84	1,8	2,2	1	10	60	120
16:19:02	210,96	212,82	212,95	2	2	1	10	60	120
16:19:03	210,75	212,61	212,76	2	1,8	1	10	70	120
16:19:04	210,87	212,69	212,9	2	2	1	10	70	120
16:19:05	210,5	212,32	212,54	2	2,2	1	10	70	120
Mediciones del motor con carga de 16kg	Frecuencia (Hz)	60 Hz							
	Velocidad (rpm)	1604							
	corriente (A)	2,2 A							

Cuando se comparó con soluciones anteriores descriptivas, los variadores de frecuencia suelen ser la mejor solución a simple vista, pero esta puede ser la más costosa en cuanto a inversión económica esto explica por la necesidad de instalar otras medidas como apantallamiento de los cables del motor y filtros para compatibilidad electromagnética pero en algunos casos, la combinación de los factores conlleva en última instancia a un beneficio económico que convierte al variador de frecuencia en solución conveniente.

En este caso la corriente pico a su capacidad máxima de carga es de 2.4 A teniendo en cuenta que la corriente nominal es de 2.9 A, al mismo tiempo la fase C la corriente es estable en 1 A por lo que la fase A la corriente es estable en 2.00A, siendo el arranque que consume más corriente y tensión con la capacidad máxima de carga.



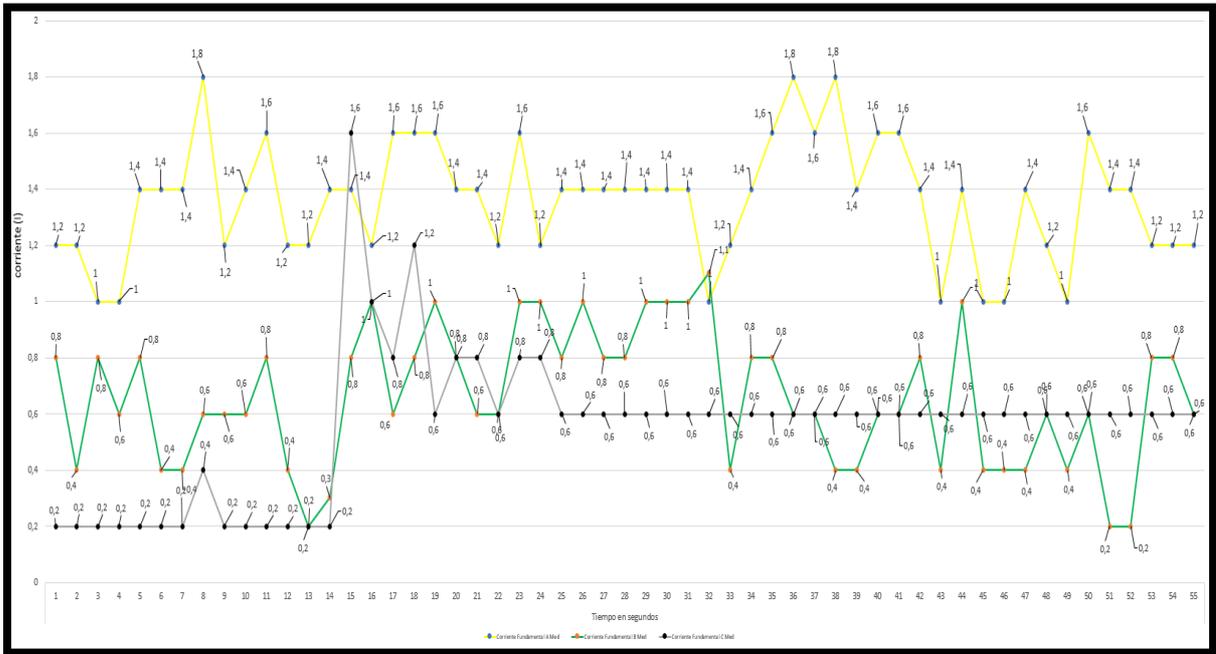
**Figura 5.10.** Corriente de arranque directo con carga (20Kg).



**Figura 5.11.** Voltaje de arranque directo con carga (20Kg).

### 5.2.5. Arranque usando el variador de frecuencia.

El arranque suave provee una solución a dichos problemas, ya que proporcionan una tensión que crece en el tiempo en forma de rampa continua, libre de conmutaciones, consiguiendo así disminuir los picos de corriente de arranque y valores altos de cupla mecánica ya que las conmutaciones son eliminadas la tensión aplicada a los devanados estatoricos del motor es entonces aumentada desde un valor prefijado hasta el valor nominal durante un tiempo configurable.



**Figura 5.12.** Pico de corriente en arranque estrella triángulo en vacío.

El arrancador suave también es capaz de controlar la detección de marcha del motor al realizar el proceso inverso, en la siguiente figura 5.9 se muestra el pico de corriente el cual alcanza 1.6A se tomó como 100%, se mantiene estable en 0.8A en la L2, en la L1 de 1.4A En altura junto a la línea L3, mitigada suavemente la distorsión en lapsos de 0.4 A por segundo obteniendo un 20% desde el pico de arranque.

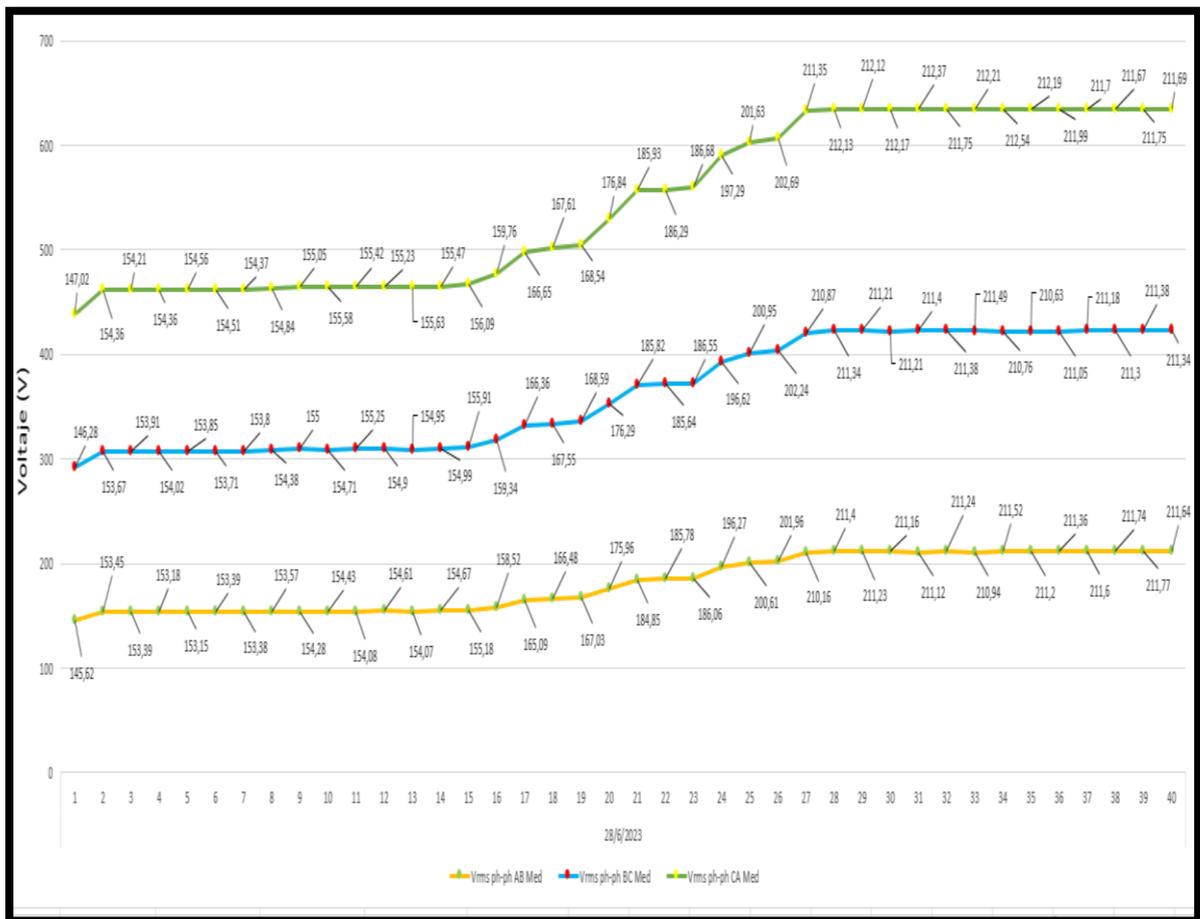
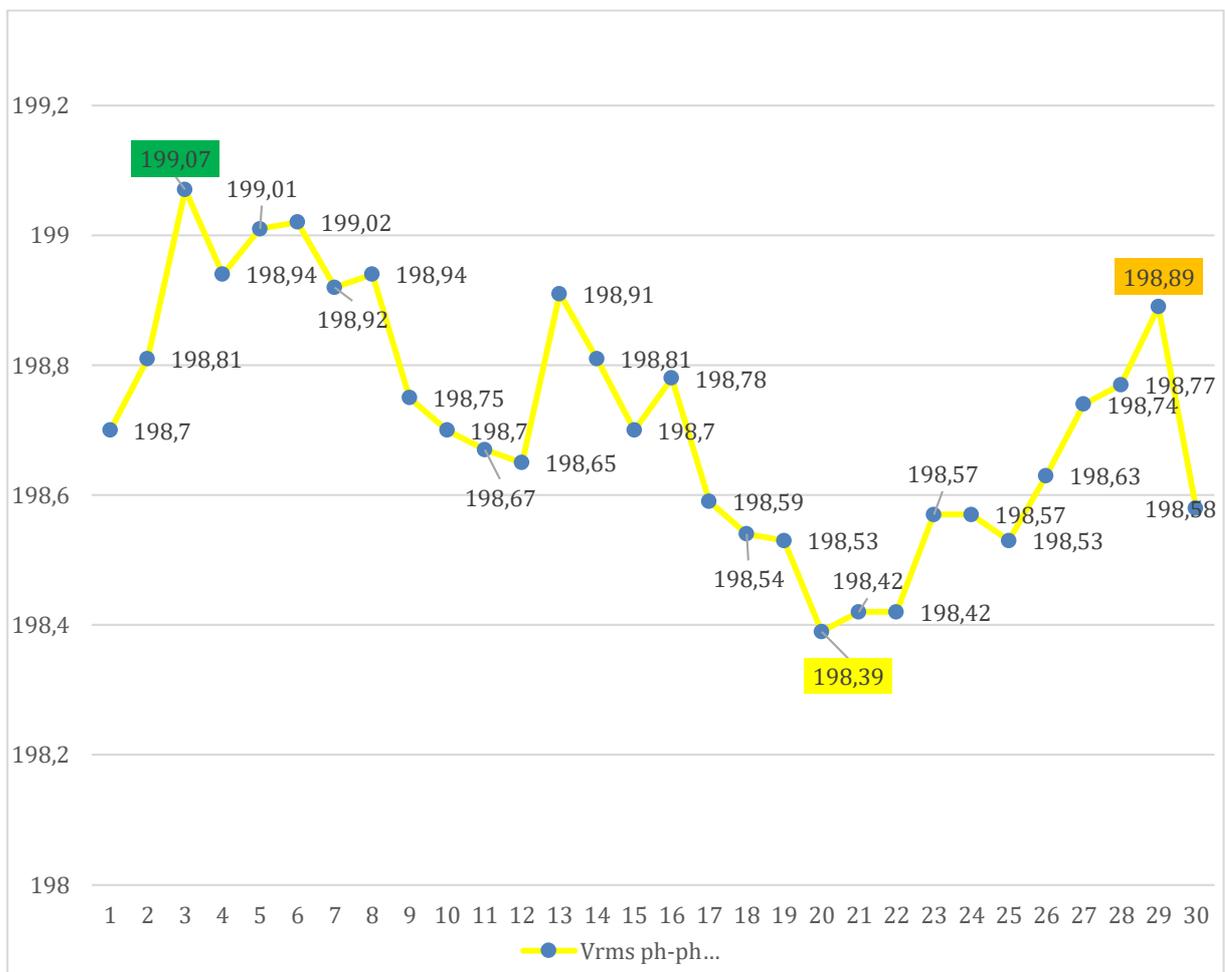


Figura 5.13. Voltaje de arranque estrella triangulo en vacío.

### 5.2.6. Picos de voltaje efectuando en cada arranque trifásico.

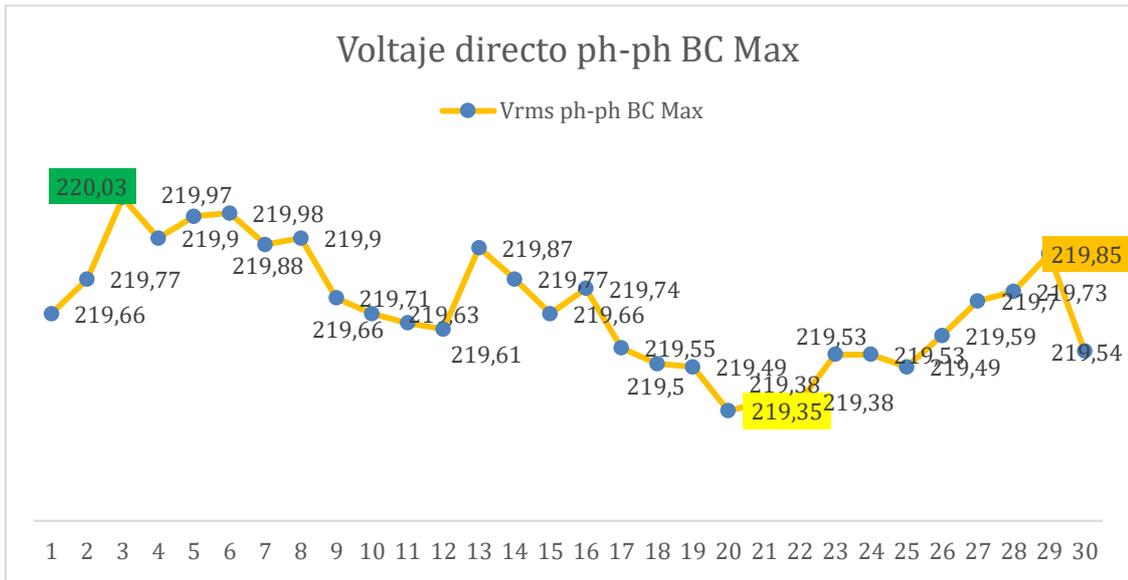
La curva del par de un motor asíncrono alimentado por un sistema trifásico de tensiones de valor eficaz y de frecuencia constante, cuyo devanado estatorico genera un campo magnético giratorio perfectamente circular y que no tiene perdidas mecánicas es la representada en la curva, si la tensión de alimentación disminuye, pero no varía la velocidad a la que el motor proporciona dicho par máximo en 199,07 V.



**Figura 5.14.** Arranque trifásico en función del tiempo en segundos y el voltaje (V).

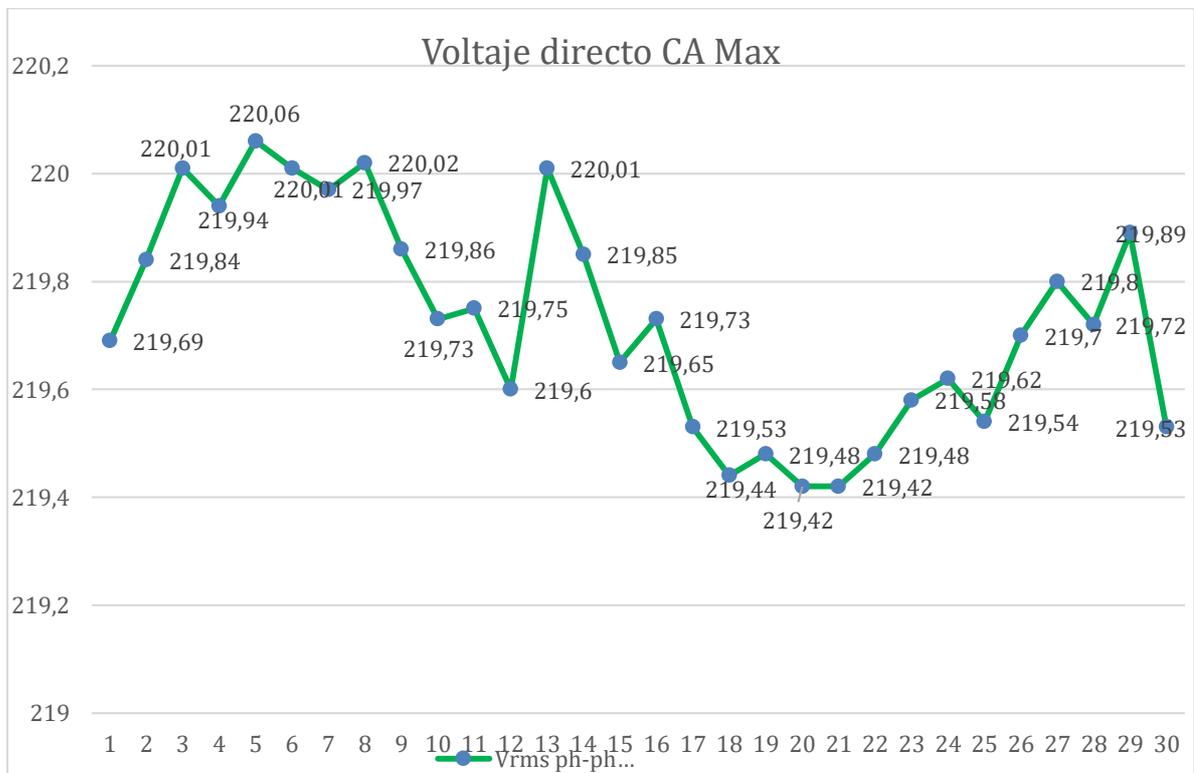
Los voltajes variables y fijos suelen tener un comportamiento diferente, en ocasiones sus valores tendrán una ligera variación dependiendo de la calidad de los dispositivos de medición, la pureza del material de las cargas en este caso no posee carga, entre ellos. En el voltaje de línea, los valores entre los terminales fijos y variables no cambian, en este caso se tiene un aproximado de 198.71 V, su voltaje dependerá de los terminales escogidos, ya que podría variar entre línea-línea o línea-neutro.

Si desea crear un nivel de voltaje de cualquier magnitud, simplemente establezca regiones de carga positiva y negativa a mayor voltaje requerido, mayor será la cantidad de carga positiva y negativa, a energía consumida dependería de donde se encuentra en el trayecto, por tanto, la posición de la carga es un factor cuando se determina el nivel de voltaje en cada punto del trayecto tomando el punto 219.67 V, como estabilidad en la fase y decae en 212,64 V.



**Figura 5.15.** Arranque trifásico en función del tiempo en segundos y el voltaje en la línea AB (V).

Como la energía potencial asociada con un cuerpo está definida por su posición, a menudo se aplica el término potencial para definir niveles de voltaje. Por ejemplo, la diferencia de potencial es de 4V entre los dos puntos, o la diferencia de potencial entre punto y tierra es de 12 V, la figura 5.11, se muestra ese desfase en caída de elevación de tensión en cuanto a la conexión de la línea 220V la cual esta empleada en el motor trifásico.



**Figura 5.16.** Arranque trifásico en función del tiempo en segundos y el voltaje en la línea CA (V).

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1.CONCLUSIONES**

- La recopilación de información del motor asíncrono determina varios aspectos generales tanto de construcción de este como el modelo matemático dando una perspectiva de información esencial realizando distintos escenarios tanto de conexión como de carga para lograr obtener distintos parámetros e identificar de manera correcta su comportamiento.
- La implementación del módulo permite realizar distintos tipos de arranques en el motor y poder identificar el comportamiento de los parámetros eléctricos mediante un analizador.
- Se ha encontrado que el arranque directo es usado normalmente para motores jaula de ardilla que requiere un alto par de arranque con base en las simulaciones y la práctica realizada en el tablero se determinó que la corriente de arranque directo es 5 veces el valor nominal de placa, lo cual es desfavorable y no optimo el arranque estrella triangulo reduce la fuerza e intensidad de arranque a la tercera parte de la fuerza de absorción en comparación con un arranque directo, esta resolución también ocurre en el par.
- El arranque estrella-triángulo reduce la corriente de arranque en los motores trifásicos, ya que, la configuración triángulo puede ser 5 veces mayor a la carga total de demanda causando daños a equipos sensibles. La configuración estrella reducirá el voltaje a un 58% y la corriente en la bobina a un 33%, en comparación a la configuración triángulo, además de la reducción del par o torque alrededor de un 33%.

### **6.2.RECOMENDACIONES**

- Se recomienda consultar fuentes relacionados a los tipos de arranques en motores trifásicos para una operación y uso eficiente, ya que, esto puede asegurar la vida útil de los motores eléctricos siendo también motivos fundamentales en el campo técnico, económico y ambiental.
- En caso de requerir mayor precisión en el control de motores eléctricos trifásicos se recomienda utilizar arrancadores electrónicos para controlar el tiempo de arranque y obtener corrientes de arranque más baja.
- Para realizar la conexión correcta en el analizador de redes y alimentar los motores es necesario conocer las características de placa con la finalidad de evitar averías o malos funcionamientos.
- En el momento de realizar una práctica es importante informarse sobre la conexión del módulo para evitar problemas de descargas eléctricas y daño en los elementos instalados.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. A. G. Espinoza, “Análisis, diseño y simulación del comportamiento mecánico de un motor asíncrono trifásico, utilizando el método de los elementos finitos,” p. 126, 2018, [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15560>
- [2] L. Cruz Huamán, “Elección óptima de arranque de motores eléctricos trifásicos asíncronos según su uso en la industria,” vol. 1, p. 166, 2020.
- [3] A. Gilson and A. Johnny, “Diseño de un simulador en entorno virtual labview con el análisis de variables eléctricas y técnicas de arranque de motores trifásicos,” vol. 1, p. 101, 2018, [Online]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4501/1/PI-000727>.
- [4] E. D. E. L. D. Une-en, “española,” 2001.
- [5] L. A. Zapana Mamani, “Diseño e implementación de un módulo didáctico para el arranque electrónico de motores eléctricos de inducción por controlador lógico programable (plc),” pp. 1–60, 2019.
- [6] M. Paul, “Diseño de un sistema de arranque electrónico para la puesta en marcha de motores síncronos,” p. 89, 2016.
- [7] F. Ocampo and A. Escobar, “Estimación de parámetros del motor de inducción a partir de los datos del fabricante,” *Sci. Tech. Año XIV*, vol. 39, p. 5, 2008.
- [8] C. Barriga Turriago and J. Zambrano, “Arranque de un motor de inducción usando control difuso,” *Rev. Tecnura*, vol. 15, no. 30, p. 32, 2012, doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2011.2.a03.
- [9] L. S. Carrasco, “Implementación De Un Módulo De Laboratorio Para El Control Y Monitoreo De Un Motor Asíncrono,” p. 242, 2011, [Online]. Available: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/1484/1/85T00206>.
- [10] A. O. J. Andrés Felie Rincón, “Determinación De Parámetros Para El Motor De Inducción Trifásico De Jaula De Ardilla Con La Norma Ntc 5642-2008,” pp. 13–51, 2013.
- [11] A. T. J. Joel and G. H. E. Eduardo, “Diseño e implementación de un módulo experimental para simular procesos de control industrial, en el laboratorio de la carrera de ingeniería eléctrica en sistemas eléctricos de potencia de la universidad técnica de cotopaxi campus la matriz en el periodo,” *Universida Tecnica de Cotopaxi*, 2020. [Online]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/7850/1/PI-001670.pdf>
- [12] A. L. Farina, “Motores eléctricos trifásicos: usos, componentes y funcionamiento,” *Rev. Ing.*

*Eléctrica*, p. 5, 2018.

- [13] C. Stephen, *Máquinas Eléctricas*, 5th ed. México: Mc Graw Hill, 2012.
- [14] M. Ángel and R. Pozueta, “Máquinas asincronas o de inducción,” p. 278, 2018, [Online]. Available: <http://personales.unican.es/rodrigma/primer/publicaciones.htm>
- [15] H. McGraw, “Motores eléctricos 11,” *Mot. eléctricos*, vol. 1, p. 20, 2011, [Online]. Available: <https://bit.ly/3D0FeKh>
- [16] J. S. Cortés and O. H. Gutiérrez, “Análisis electromecánico de una máquina de inducción con rotor jaula de ardilla empleando un modelo digital,” p. 199, 2011.
- [17] Eduardo Stincer Mederos, “Modelación del comportamiento del motor jaula de ardilla utilizando MatLab/Simulink,” Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, 2006. [Online]. Available: <https://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/12427>
- [18] “Máquinas Eléctricas: CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES SEGÚN LA NORMA NEMA,” 2015. <http://máquinaselectricas2016.blogspot.com/2015/11/clasificacion-de-los-motores-segun-la.html> (accessed May 02, 2023).
- [19] León García Gabriel, Gómez Sarduy Julio R., and Viego Felipe Percy R., “Ahorro De Energía Por Sustitución De Motores Subcargados Que Accionan Cargas De Alta Inercia,” *Revisa centro azucar*, vol. 46, no. 0. pp. 40–50, 2019. [Online]. Available: <http://centrozucar.uclv.edu.cu>
- [20] Instituto Costarricense de Electricidad, “Buenas Prácticas de Eficiencia Energética para Motores Eléctricos Industriales,” p. 16, 2017, [Online]. Available: <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/99e8cc9f-13ae-43e2-95eb-1be48772ad60/Motores+Eléctricos+web.pdf?MOD=AJPERES&CVID=1ZQ1ISi&CVID=1ZQ1ISi&CVID=1ZQ1ISi>
- [21] Schneider Electric, “Manual electrotécnico Telesquemario Tecnologías de control Industrial,” *Schneider Electr.*, p. 281, 2016, [Online]. Available: <https://www.um.es/docencia/mmc/pdf/telesquemario>.
- [22] justo jose Roberts, “Máquinas Asíncronas,” vol. 3, no. 342, p. 81, 2019.
- [23] R. Delgado, “Conexión y arranque de los motores trifásico,” 2015. <https://www.inesem.es/revistadigital/gestion-integrada/conexion-arranque-motores-trifasico/> (accessed Jan. 03, 2023).
- [24] J. Galeas and P. Tipan, “ANÁLISIS DEL ARRANQUE EN MOTORES JAULA DE

- ARDILLA TRIFÁSICOS, CONTROLADOS POR UN LOGO DE MANERA LOCAL Y REMOTA,” Universidad Tecnica de Cotopaxi, 2022.
- [25] O. Danelly, “Investigación bibliográfica,” p. 4, 2019, Accessed: Jan. 12, 2023. [Online]. Available: <https://investigaliacr.com/investigacion/investigacion-bibliografica/>
- [26] E. Arismendi, “Tipos y diseño de la investigación,” *21 abril*, p. 3, 2013, Accessed: Jan. 12, 2023. [Online]. Available: [http://planificaciondeproyectosemirarismendi.blogspot.com/2013/04/tipos-y-diseno-de-la-investigacion\\_21.html](http://planificaciondeproyectosemirarismendi.blogspot.com/2013/04/tipos-y-diseno-de-la-investigacion_21.html)
- [27] B. Rafael, “MODULO INVESTIGACION MERCADOS,” p. 2, 2016, Accessed: Jan. 12, 2023. [Online]. Available: <https://es.calameo.com/books/00475783880161863dbec>
- [28] O. Planas, “¿Qué es un rotor de jaula de ardilla?” <https://demotor.net/motores-electricos/motores-corriente-alterna/motor-asincrono/rotor-jaula-ardilla> (accessed Jan. 23, 2023).
- [29] “Fluke 433 / 434,” 2004.
- [30] “Inversores Goodrive10 Especiales Para Máquinas de Producción de Incienso,” p. 116.
- [31] I. Carles Martínez, “Análisis comparativo entre arranque estrella triángulo y con resistencias estáticas Análisis comparativo entre arranque estrella triángulo y con resistencias estáticas,” 2013, [Online]. Available: <http://blog.uclm.es/molinofernandez/files/2016/05/Configuración-estrella-triángulo.-Aplicación-industrial>.
- [32] “Arranque estrella triángulo - Formación para la Industria 4.0.” <https://automatismoidustrial.com/curso-carnet-instalador-baja-tension/motores/1-3-3-motores-asincronos/arranque-estrella-triangulo/> (accessed Jan. 23, 2023).
- [33] F. De la Torre, “Motor Asíncrono o de Inducción,” *Accionamientos Electromecánicos*, pp. 0–25, 2019.

## 8. ANEXOS

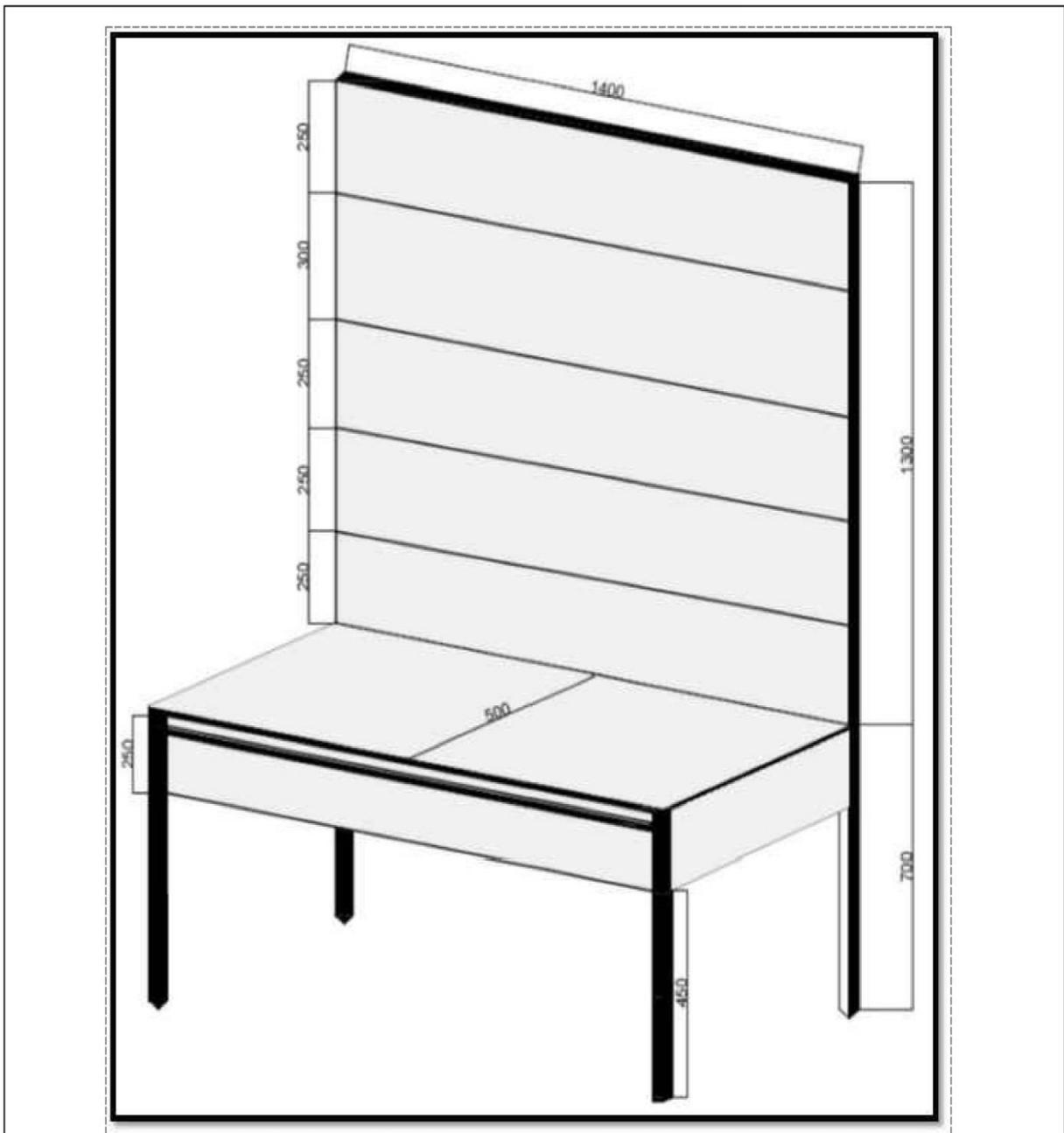
### Anexo A: Informe de Anti-Plagio



#### ANEXO 1. INFORME ANTIPLAGIO PROYECTO DE TITULACIÓN

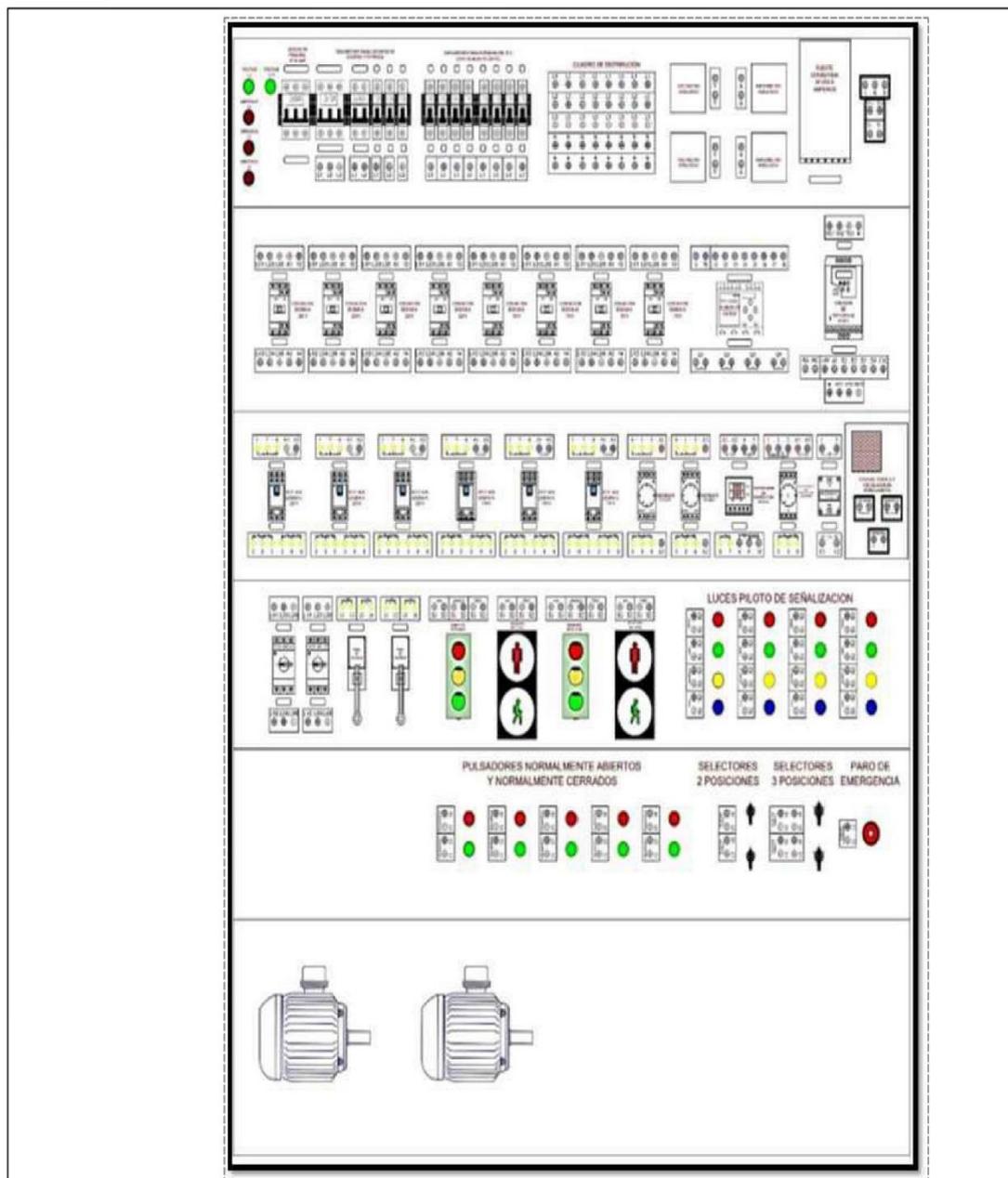
<b>Facultad:</b>	Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
<b>Carrera:</b>	Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia
<b>Nombre del docente evaluador que emite el informe:</b>	Ms.C Jessica Nataly Castillo Fiallos.
<b>Documento evaluado:</b>	Propuesta tecnológica presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia.
<b>Autores del documento:</b>	Cando Cando Tony Evair Murillo Rivera Jose Daniel
<b>Programa de similitud utilizado:</b>	Sistema URKUND
<b>Porcentaje de similitud según el programa utilizado:</b>	8 %
<b>Observaciones:</b> Calificación de originalidad atendiendo a los siguientes criterios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• El documento cumple criterios de originalidad, sin observaciones.</li> <li>• El documento cumple criterios de originalidad con observaciones.</li> <li>• El documento no cumple criterios de originalidad.</li> </ul>	-X- --- ---
<b>Fecha de realización del informe:</b>	16/08/2023 11:15:00 PM
<b>Captura de pantalla del documento analizado:</b>	
<p>TESIS_CANDO_MURILLO</p> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p><b>8%</b></p> <p>Similitudes</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>3%</b></p> <p>Texto entre comillas</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>1%</b></p> <p>similitudes entre comillas</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>0%</b></p> <p>Idioma no reconocido</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="font-size: 0.8em;"> <p>Nombre del documento: TESIS_CANDO_MURILLO.pdf ID del documento: 656f311785c880fcbbad087a12e3459092058c51 Tamaño del documento original: 2,96 MB</p> </div> <div style="font-size: 0.8em;"> <p>Depositante: JESSICA NATALY CASTILLO FIALLOS Fecha de depósito: 16/8/2023 Tipo de carga: Interface fecha de fin de análisis: 16/8/2023</p> </div> <div style="font-size: 0.8em;"> <p>Número de palabras: 15.700 Número de caracteres: 104.587</p> </div> </div>	
 <hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> <p>Ms.C Jessica Nataly Castillo Fiallos. Director del Proyecto de la Propuesta Tecnológica</p>	

**Anexo B:** Medidas del módulo previo a su construcción.



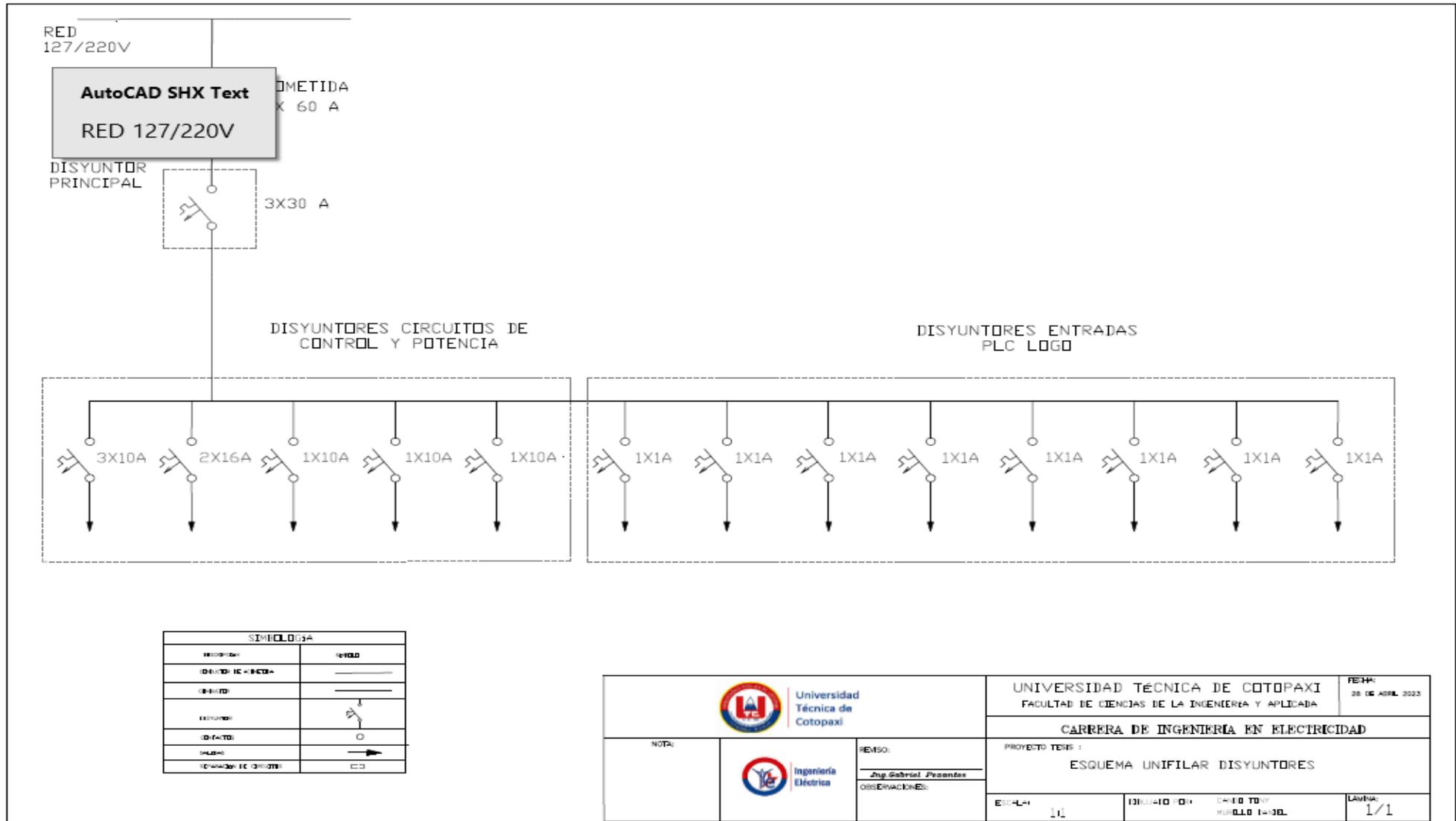
 Universidad Técnica de Cotopaxi		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADA		FECHA: 28 DE ABRIL 2023
		CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD		
NOTA:	 Ingeniería Eléctrica	REVISO: Ing. Gabriel Pezantes	PROYECTO TESIS : PLANO ESTRUCTURAL	
		OBSERVACIONES:	ESCALA: 1:1	DIBUJADO POR: CANDO TONY MURILLO DANIEL

Anexo C. Diseño y montaje de los elementos en el módulo experimental realizado en AutoCAD.



 Universidad Técnica de Cotopaxi		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI		FECHA:
		FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADA		28 DE ABRIL 2023
NOTA:		CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD		LÁMINA: 1/1
		PROYECTO TESIS :		
		PLAN DE DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS		
 Ingeniería Eléctrica	REVISO:	DIBUJADO POR:		
	Ing. Gabriel Pezantes OBSERVACIONES:	CANDO TONY MURILLO DANIEL		
		ESCALA:		
		1:1		

**Anexo D.** Esquema unifilar del módulo de automatización.



### *Manual de uso de un módulo experimental*

- PREVIO A REALIZAR CUALQUIER PRÁCTICA VERIFICAR QUE EL VOLTAJE SEA EL ADECUADO PARA EVITAR PROBLEMAS DE TRABAJO O DAÑOS EN LOS EQUIPOS.
- AL MOMENTO DE REALIZAR EL CABLEADO DE LAS PRACTICAS VERIFICAR QUE LOS DISYUNTORES (BREAKERS) SE ENCUENTREN EN LA POSICIÓN OFF Y ASÍ EVITAR CUALQUIER TIPO DE ACCIDENTES.
- UNA VEZ VERIFICADA LA CORRECTA CONEXIÓN DE LOS ELEMENTOS PROCEDER A ALIMENTAR LOS CIRCUITOS EN GENERAL POR MEDIO DE LOS DISYUNTORES (BREAKERS).
- CADA UNO DE LOS ELEMENTOS INSTALADOS EN EL MODULO EXPERIMENTAL TIENEN SUS ENTRADAS EN LA PARTE SUPERIOR Y SUS SALIDAS EN LA PARTE INFERIOR.

### *ASPECTOS A CONSIDERAR*

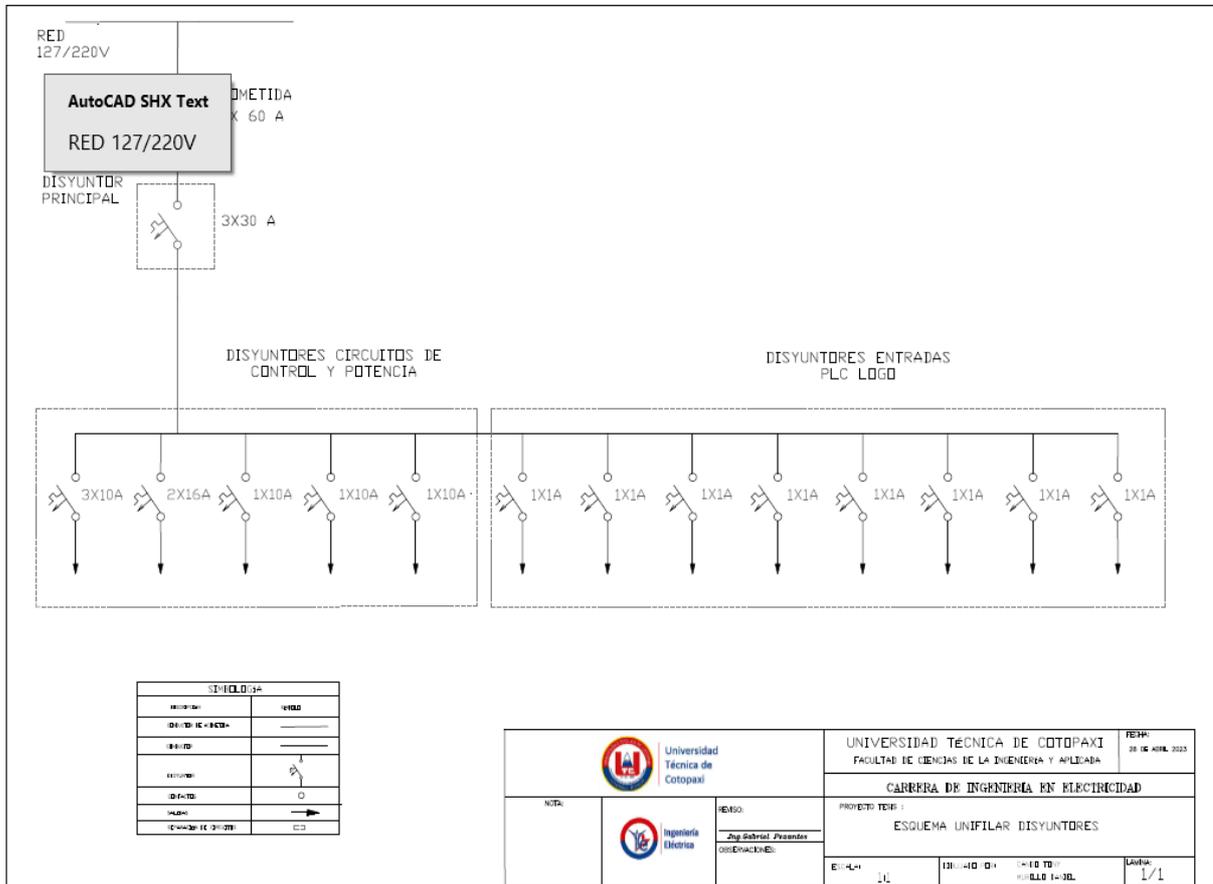
- LOS CONTACTORES DENOMINADOS **KM1**, **KM2**, **KM3** Y **KM4** TIENEN UN VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN DE SU BOBINA DE **220 V a.c.**
- LOS CONTACTORES DENOMINADOS **KM5**, **KM6**, **KM7** Y **KM8** TIENEN UN VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN DE SU BOBINA DE **110 V a.c.**
- LOS RELÉS AUXILIARES DENOMINADOS **R1**, **R2** Y **R3**, TIENEN UN VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN DE SU BOBINA DE **220 V a.c.**
- LOS RELÉS AUXILIARES DENOMINADOS **R4**, **R5** Y **R6**, TIENEN UN VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN DE SU BOBINA DE **110 V a.c.**
- LOS CONTROLADORES DE TEMPERATURA DEBERÁN SER ALIMENTADOS CON UN VOLTAJE DE **220 V a.c.** CADA UNO.
- LAS LUCES PILOTO DE SEÑALIZACIÓN TIENEN UNA ALIMENTACIÓN DE **220 V a.c.** CADA UNA.

**Tabla 1** Materiales del modulo

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>
Breaker principal	1	CHNT	NXB-63 C63
Breaker (3P)	1	CHNT	NXB-63 C16
Breaker (2P)	1	CHNT	NXB-63 C16
Breaker (1P)	3	CHNT	NXB-63 C10
Breaker (1P)	8	CHNT	NXB-63 C2
Voltímetro Analógico	1	CAMSCO	0-300V
Voltímetro Analógico	1	CAMSCO	0-300V
Amperímetro Analógico	1	CAMSCO	0-80A
Amperímetro Analógico	1	CAMSCO	0-100A
Fuente Conmutada	1	S-120-24	24 VDC-5A
Base para temporizador Temporizadores 8 pines	2	STROM	ST3
Base para Controlador de temperatura digital	1	N/E	CH102FK02-M*AN
Relé de estado sólido	1	AUTONIC	SR1-1215-N
Cámara de simulación térmica	1	N/E	N/E
Gauradamotor	2	CHNT	6-10A
Final de Carrera	2	CHNT	IEC60947-5-1
Pulsadores	5	CHNT	N/A
Pulsadores	5	CHNT	N/C
Luces piloto verde	8	CHNT	AC12-450V
Luces piloto rojo	9	CHNT	AC12-450V
Luces piloto amarillo	6	CHNT	AC12-450V
Luces piloto azul	4	CHNT	AC12-450V
Selectores dobles	2	CHNT	N/E
Selectores simples	2	CHNT	N/E
Paro de emergencia	1	CHNT	LMB-ES5
Contactores de bobina a 110V	4	CHNT	NXC-12
Contactores de bobina a 220V	4	CHNT	NXC-12
Base para Relé auxiliar de bobina a 110V	3	CHNT	MY4 12 VDC 5A 240 VAC 5A

## Circuito unifilar del modulo

Este circuito consta de varios disyuntores para el control de los elementos electrónicos que consta de tres fases, el disyuntor principal de 50 A que controla el módulo en general ante posibles sobrecargas, los disyuntores de control y potencia que protege a los contactores y a los motores, los disyuntores que protegen al PLC logo de sobrecorriente.



## Breaker

Un breaker eléctrico, también conocido como interruptor automático o disyuntor, es un dispositivo diseñado para proteger un circuito eléctrico y los dispositivos conectados a él contra sobrecargas y cortocircuitos. Su función principal es interrumpir automáticamente el flujo de corriente eléctrica cuando se detecta una condición anormal que podría dañar el circuito o provocar un incendio.

El funcionamiento básico de un breaker eléctrico:

- Interruptor de palanca o botón: Los breakers suelen tener una palanca o un botón que puede estar en una posición "ON" (encendido) o "OFF" (apagado). Esta palanca permite encender o apagar manualmente el circuito.
- Disparador magnético y térmico: Dentro del breaker, hay dos mecanismos principales de protección: el disparador magnético y el térmico.
- Disparador magnético: Este componente detecta rápidas y altas variaciones de corriente, como las que se producen en un cortocircuito. Cuando se detecta una corriente anormalmente alta, el campo magnético generado por la corriente excesiva activa el

disparador magnético, lo que hace que el breaker se "dispare" y corte automáticamente el flujo de corriente.

- **Disparador térmico:** Este componente monitorea el aumento de temperatura en el circuito debido a una sobrecarga prolongada. Si la corriente supera el límite de diseño durante un período de tiempo sostenido, el disparador térmico se activa y desconecta el circuito para prevenir el calentamiento excesivo.
- **Mecanismo de reinicio:** Después de que el breaker se dispara debido a una sobrecarga o cortocircuito, la palanca o botón se mueve a la posición "OFF". Para volver a restablecer el suministro eléctrico, el operador debe mover la palanca a la posición "ON" después de que se haya corregido la causa de la activación del breaker. Algunos breakers tienen un botón de reinicio que se debe presionar para volver a encender el circuito después de que se haya solucionado el problema.



### **Voltímetro Analógico**

Un voltímetro analógico es un dispositivo utilizado para medir la tensión eléctrica en un circuito. A diferencia de los voltímetros digitales que muestran valores numéricos en una pantalla, los voltímetros analógicos tienen una aguja que se desplaza a lo largo de una escala graduada.

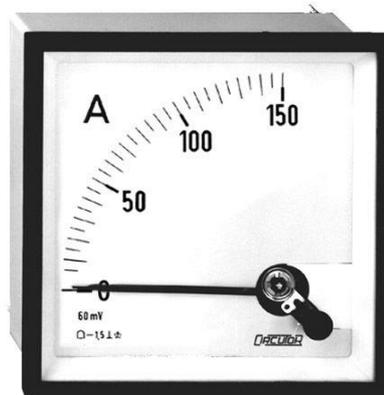
Cuando se conecta el voltímetro a un circuito y se aplica una tensión, la corriente fluye a través de la bobina, creando un campo magnético. La interacción entre el campo magnético generado por la bobina y el campo magnético del imán permanente causa que la aguja se desplace a lo largo de la escala graduada. La posición de la aguja en la escala indica el valor de la tensión presente en el circuito.



### **Amperímetro Analógico**

Un amperímetro analógico es un instrumento utilizado para medir la corriente eléctrica en un circuito. A diferencia de los amperímetros digitales que muestran valores numéricos en una pantalla, los amperímetros analógicos tienen una aguja que se desplaza a lo largo de una escala graduada.

Cuando se conecta el amperímetro a un circuito y fluye corriente a través de la bobina, se genera un campo magnético en la bobina. La interacción entre el campo magnético generado por la bobina y el campo magnético del imán permanente hace que la aguja se desplace a lo largo de la escala graduada. La posición de la aguja en la escala indica el valor de la corriente presente en el circuito.



### **Fuente Conmutada**

Una fuente conmutada, también conocida como fuente de alimentación conmutada o fuente de energía conmutada, es un tipo de fuente de alimentación eléctrica que utiliza la conmutación de componentes electrónicos, como transistores y diodos, para convertir la corriente continua (DC) en diferentes niveles de voltaje y corriente. Este tipo de fuente es ampliamente utilizado en electrónica debido a su eficiencia y versatilidad. Cómo funciona una fuente conmutada:

- **Rectificación y Filtrado:** La fuente conmutada comienza con un circuito rectificador que convierte la corriente alterna (AC) de la red eléctrica en corriente continua pulsante. Luego, se aplica un proceso de filtrado para suavizar las oscilaciones y obtener una corriente continua más constante.

- **Conversión de Voltaje:** En la etapa de conversión de voltaje, se utiliza un componente conmutado, generalmente un transistor de potencia (como un transistor MOSFET) o un interruptor controlado por estado sólido, para controlar el flujo de corriente hacia un transformador. La corriente se enciende y apaga rápidamente (conmuta) a una frecuencia muy alta, generalmente en el rango de varios kilohercios a varios megahercios.
- **Transformador:** El transformador en la fuente conmutada permite ajustar el voltaje de salida según sea necesario. La relación de vueltas entre las bobinas del transformador determina cómo se reduce o aumenta el voltaje. La alta frecuencia de conmutación permite que el transformador sea más pequeño y liviano en comparación con los transformadores utilizados en fuentes de alimentación lineales.
- **Rectificación y Filtrado nuevamente:** Después de la conversión de voltaje, el circuito rectifica y filtra nuevamente la corriente para obtener una forma de onda de corriente continua más suave.
- **Regulación y Control:** Para garantizar que la salida de la fuente conmutada se mantenga en el nivel de voltaje deseado, se utiliza un circuito de control. Este circuito monitorea la tensión de salida y ajusta la frecuencia de conmutación y el ciclo de trabajo del componente conmutado para mantener el voltaje en el valor especificado, incluso ante cambios en la carga o la entrada de voltaje.



### **Temporizadores con delay**

Los temporizadores con retardo, también conocidos como temporizadores con delay o temporizadores retardados, son dispositivos electrónicos que se utilizan para introducir un retraso específico antes de que ocurra una acción o se active una salida en respuesta a un evento de entrada. Estos temporizadores son comunes en aplicaciones industriales, de automatización y control, donde se requiere un cierto tiempo de espera antes de que se realice una acción.

Algunas aplicaciones típicas de los temporizadores con retardo incluyen:

- **Arranque de motores:** En sistemas industriales, es común utilizar temporizadores con retardo para evitar que los motores se enciendan inmediatamente después de una

interrupción de energía, permitiendo que se estabilice el sistema antes de reanudar la operación.

- Control de iluminación: En sistemas de iluminación automatizada, los temporizadores con retardo pueden utilizarse para apagar gradualmente las luces después de que se haya detectado la ausencia de movimiento en una habitación.
- Protección de circuitos: Los temporizadores con retardo también pueden utilizarse para evitar el arranque simultáneo de múltiples equipos en una instalación, evitando sobrecargas en el sistema eléctrico.
- Sistemas de alarma: En sistemas de seguridad, los temporizadores con retardo pueden proporcionar un tiempo de entrada y salida antes de que se active una alarma después de abrir una puerta o ventana.



### Controlador de temperatura digital

Un controlador de temperatura digital es un dispositivo utilizado para mantener una temperatura específica en un sistema o proceso. Se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, desde sistemas de climatización en edificios hasta procesos industriales que requieren control de temperatura preciso.



### Relé de estado sólido

Es un dispositivo de conmutación que opera utilizando componentes electrónicos de estado sólido, como transistores y tiristores, en lugar de contactos mecánicos, como en los relés electromecánicos tradicionales. Los SSRs son utilizados para controlar la energía eléctrica en aplicaciones

industriales, de automatización y control, donde se requiere una conmutación rápida, precisa y libre de ruido.

Cómo funciona un relé de estado sólido:

- **Entrada de control:** Al igual que con un relé electromecánico, el relé de estado sólido tiene una entrada de control que puede ser una señal de baja potencia, como una señal digital o una señal analógica. Esta entrada de control determina si el SSR está en estado de conducción (activo) o no conducción (inactivo).
- **Circuito de disparo:** Cuando se aplica una señal de control a la entrada del relé de estado sólido, un circuito de disparo interno activa los componentes electrónicos de estado sólido, generalmente tiristores (SCR) o transistores (MOSFETs), para permitir el flujo de corriente a través del SSR.
- **Conducción de corriente:** Cuando el circuito de disparo se activa, los componentes electrónicos de estado sólido se vuelven conductores y permiten que la corriente fluya desde la fuente de energía hacia la carga (como un motor, una resistencia, una lámpara, etc.) que se va a controlar.
- **Apagado controlado:** Cuando la señal de control se retira o cambia a inactivo, el circuito de disparo se desactiva y los componentes electrónicos de estado sólido dejan de conducir corriente. Esto corta el flujo de corriente a través del SSR y detiene la energización de la carga.



## **Guardamotor**

Un guardamotor, también conocido como disyuntor termomagnético o interruptor de protección de motor, es un dispositivo utilizado para proteger motores eléctricos y los circuitos en los que operan contra sobrecargas y cortocircuitos. Su función principal es desconectar automáticamente el motor y el circuito en caso de una condición anormal que podría dañar el motor o provocar un peligro.

Cómo funciona un guardamotor:

#### 1. Sobrecarga:

- El guardamotor tiene un elemento bimetálico sensible a la corriente. Cuando el motor comienza a funcionar, la corriente fluye a través del elemento bimetálico.
- Si la corriente aumenta debido a una sobrecarga prolongada, el elemento bimetálico se calienta y se deforma. A medida que se deforma, actúa sobre un mecanismo de disparo.

#### 2. Disparo por sobrecarga:

- Cuando el elemento bimetálico se deforma lo suficiente debido a la sobrecarga, activa el mecanismo de disparo.
- El mecanismo de disparo libera un resorte o una palanca que interrumpe el circuito eléctrico, desconectando así el motor y evitando un daño mayor debido a la sobrecarga.

#### 3. Cortocircuito:

- Además del elemento bimetálico, el guardamotor también tiene un componente magnético, como una bobina.
- Cuando se produce un cortocircuito repentino y la corriente aumenta drásticamente, la bobina magnética genera un campo magnético muy rápido.

#### 4. Disparo por cortocircuito:

- El campo magnético generado por la bobina magnética actúa sobre un mecanismo de disparo separado.
- Este mecanismo de disparo se activa por la fuerza magnética y rápidamente interrumpe el circuito eléctrico, desconectando el motor.



### **Final de Carrera**

Un final de carrera, también conocido como interruptor de límite o switch de posición, es un dispositivo electromecánico que se utiliza para detectar la posición de un objeto o un mecanismo en una máquina o sistema. Su función principal es activar o desactivar circuitos eléctricos en función de la posición del objeto que se está monitoreando.



### **Pulsador**

Un pulsador, también conocido como interruptor momentáneo o botón de presión, es un dispositivo eléctrico que se utiliza para abrir o cerrar un circuito eléctrico momentáneamente al ser presionado. Estos botones se encuentran comúnmente en electrodomésticos, paneles de control, equipos electrónicos y sistemas de automatización.



### **Luces piloto**

Las luces piloto, también conocidas como indicadores luminosos o luces de señalización, son dispositivos eléctricos utilizados para proporcionar información visual sobre el estado de un sistema, equipo o proceso. Estas luces se utilizan comúnmente en paneles de control, tableros de instrumentos y máquinas para indicar diversas condiciones operativas.



## **Selectores dobles y simples**

Son dispositivos utilizados para controlar diferentes funciones o estados en sistemas eléctricos y electrónicos. Estos interruptores permiten al usuario elegir entre varias opciones o posiciones, lo que puede ser crucial en aplicaciones donde se necesita seleccionar entre diferentes modos de operación, configuraciones o funciones.



## **Paro de emergencia**

El paro de emergencia, también conocido como botón de parada de emergencia o E-Stop (Emergency Stop), es un dispositivo crítico de seguridad utilizado para detener rápidamente una máquina, equipo o proceso en situaciones peligrosas o de emergencia. Su función principal es asegurar la seguridad de los operadores y prevenir accidentes al interrumpir inmediatamente la operación normal en caso de una amenaza inminente.



## **Contactores de bobina**

Un contactor con bobina, también conocido como relé de potencia o contactor electromagnético, es un dispositivo electromecánico utilizado para controlar la corriente eléctrica en circuitos de alta potencia. Los contactores se utilizan comúnmente en aplicaciones industriales y comerciales para controlar motores eléctricos, iluminación, sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado, entre otros equipos de gran potencia. Cómo funciona un contactor con bobina:

### **1. Operación de la bobina:**

- Cuando se aplica una corriente a la bobina del contactor, se crea un campo magnético en su núcleo.
- El campo magnético atrae el núcleo móvil del contactor hacia el núcleo fijo. Esto cierra el circuito magnético y proporciona el movimiento necesario para activar los contactos principales de potencia.

## 2. Contactos principales:

- Al activarse la bobina y mover el núcleo móvil, se cierran los contactos principales de potencia. Esto permite que la corriente fluya a través de la carga conectada al contactor, como un motor o una lámpara.
- Cuando la bobina se desactiva (generalmente al abrir el circuito de control), el núcleo móvil vuelve a su posición original debido a resortes de retorno.

## 3. Contactos auxiliares:

- Además de los contactos principales, los contactores a menudo tienen contactos auxiliares que se activan junto con la bobina.
- Estos contactos auxiliares pueden utilizarse para proporcionar señales de estado, como indicar que el contactor está activado o desactivado.



## Base para Relé auxiliar

Una base para relé auxiliar es un componente utilizado para montar y conectar relés auxiliares en aplicaciones eléctricas y de automatización. Estas bases proporcionan una forma organizada y segura de instalar y conectar relés adicionales en sistemas de control.



**Anexo F. Manual usuario.**

**PRÁCTICA**  
**ARRANQUE**  
**DE LOS MOTORES DE INDUCCIÓN TRIFÁSICOS**

# PRÁCTICA

## ARRANQUE DE MOTORES DE INDUCCIÓN

### OBJETIVO

El objetivo es el de analizar los distintos tipos de arranques de los motores de inducción con sus características propias y en particular los siguientes casos:

- Arranque directo.
- Arranque estrella-triángulo.
- Arranque electrónico.

### FUNDAMENTO TEÓRICO

## ARRANQUE DE MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS

### 1.- Introducción

Durante el arranque de un motor, la corriente solicitada es considerable y puede provocar una caída de tensión que afecte al funcionamiento de los receptores del entorno, sobre todo si no se ha tenido en cuenta a la hora de calcular la sección de la línea de alimentación.

A fin de poner remedio a estos inconvenientes, los Reglamentos limitan el uso de motores de arranque directo que superen cierta potencia. Los motores de jaula de ardilla son los únicos que pueden acoplarse directamente a la red por medio de un equipo simple.

En los motores de jaula de ardilla, únicamente son accesibles los terminales del devanado del estátor en la placa de bornes. Dado que el fabricante determina las características del motor, los distintos procesos de arranque consisten principalmente en hacer variar la tensión en las bornes del estátor. En este tipo de motores, cuya frecuencia es constante, la reducción de la punta de corriente conlleva de manera automática una fuerte reducción del par.

### 2.- Tiempo de arranque

La intensidad de arranque de un motor de inducción es siempre mucho más alta que la intensidad nominal, y un exceso en el tiempo de arranque produce una elevación de temperatura que puede ser perjudicial para el motor.

Además, esta sobreintensidad lleva consigo esfuerzos electromecánicos. Los fabricantes suelen establecer un tiempo de arranque máximo en función del tamaño del motor y de la velocidad. La norma IEC 34-12, en lugar del tiempo de arranque, especifica el momento de inercia permitido de la máquina accionada.

Para motores pequeños el esfuerzo térmico es mayor en el devanado del estátor, mientras que en motores grandes es mayor en el devanado del rotor.

Si se conocen las curvas del par de motor y de la carga, el tiempo de arranque se puede calcular integrando la ecuación:

$$M \square M_r \square \square J_M \square J_r \frac{d\omega}{dt}$$

Donde:  $M$  = par del motor, Nm  
 $M_r$  = par resistente o de carga  
 $J_M$  = momento de inercia del motor,  $\text{kgm}^2$   
 $J_r$  = momento de inercia de la carga,  $\text{kgm}^2$   
 $\omega$  = velocidad angular del motor

### 3.- Par en función de la variación de la tensión

Casi sin excepción, la intensidad de arranque disminuye algo más que proporcionalmente respecto a la tensión. Así, a 90% de la tensión nominal el motor consume entre el 87 y el 89%. El par de arranque es proporcional al cuadrado de la intensidad. El par suministrado al 90% de la tensión nominal es, por tanto, del 75 al 79% del par de arranque nominal.

Si la tensión se desvía de la tensión nominal del motor, el par del motor variará aproximadamente en proporción al cuadrado de la tensión. Es, por tanto, vital que los cables que suministran energía al motor estén dimensionados generosamente para asegurar que no haya caída de tensión significativa durante el arranque o cuando el motor está en marcha.

### 4.- Arranque de motores asíncronos trifásicos

Denominamos arranque al proceso de puesta en marcha de una máquina eléctrica. En el caso de los motores asíncronos, para que esta operación pueda llevarse a cabo, es preciso, que el par de arranque sea superior al par resistente de la carga, de esa forma se obtiene un momento de aceleración que obliga a girar al motor a una velocidad cada vez más elevada, alcanzando el régimen permanente cuando se igualan los pares motor y resistente.

El proceso de arranque va acompañado de un consumo elevado de corriente. La Instrucción MIE BT 034, Apto. 1.5, del Reglamento Electrotécnico para B.T., fija los límites de la relación corriente de arranque/corriente de plena carga, según se indica en la siguiente tabla:

POTENCIA NOMINAL DEL MOTOR	$I_{\text{arranque}}/I_{\text{plena carga}}$
De 0,75 kW a 1,5 kW	4,5
De 1,5 kW a 5 kW	3,0
De 5 kW a 15 kW	2,0
Más de 15 kW	1,5

Para reducir las corrientes en el momento de la puesta en marcha de un motor, se emplean métodos especiales de arranque, según que la máquina tenga su rotor en forma de jaula de ardilla o con anillos. Los principales métodos de arranque son los siguientes:

- Arranque directo
- Arranque estrella triángulo
- Arranque electrónico

#### 4.1.- Arranque directo

La manera más simple de arrancar un motor de jaula de ardilla es conectar el motor directamente a la red.

En el momento de la puesta bajo tensión, el motor actúa como un transformador cuyo secundario, formado por la jaula de poca resistencia del rotor, está en cortocircuito. La corriente inducida en el rotor es importante. La corriente primaria y la secundaria son prácticamente proporcionales.

Se obtiene una punta de corriente importante en la red:  $I_{arr} = 5 \text{ a } 8 I_n$

El par de arranque medio es:  $M_{arr} = 0,5 \text{ a } 1,5 M_n$

El arranque directo tiene una serie de ventajas:

- ◆ Sencillez del equipo
- ◆ Elevado par de arranque
- ◆ Arranque rápido
- ◆ Bajo coste

A pesar de las ventajas que conlleva, sólo es posible utilizarle en los siguientes casos:

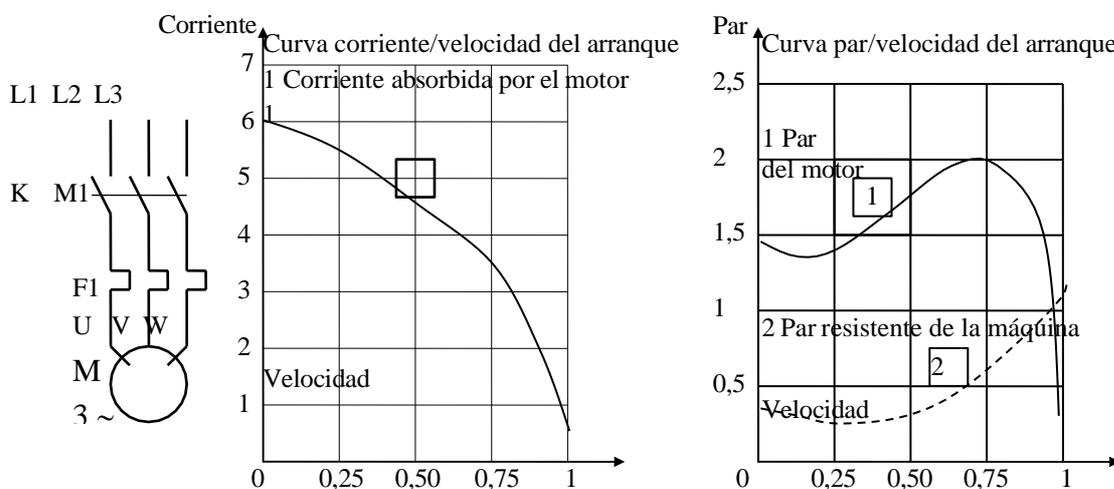
- La potencia del motor es débil con respecto a la de la red, para limitar las perturbaciones que provoca la corriente solicitada.
- La máquina accionada no requiere un aumento progresivo de velocidad y dispone de un dispositivo mecánico que impide el arranque brusco.
- El par de arranque debe ser elevado.

Por el contrario, será imprescindible recurrir a algún procedimiento para disminuir la corriente solicitada o el par de arranque, siempre que:

- La caída de tensión provocada por la corriente solicitada puede perturbar el buen funcionamiento de otros aparatos conectados a la misma red.
- La máquina accionada no pueda admitir sacudidas mecánicas.
- La seguridad o la comodidad de los usuarios se vea comprometida.

En estos casos, el método más utilizado consiste en arrancar el motor bajo tensión reducida. La variación de la tensión de alimentación tiene las siguientes consecuencias:

- ◆ La corriente de arranque varía proporcionalmente a la tensión de alimentación.
- ◆ El par de arranque varía proporcionalmente al cuadrado de la tensión de alimentación.



## 4.2.- Arranque estrella triángulo

Sólo es posible utilizar este método de arranque en motores en los que las dos extremidades de cada uno de los tres devanados estatóricos estén conectados en la placa de bornas. Por otra parte, el bobinado debe realizarse de manera que el acoplamiento en triángulo corresponda con la tensión de la red. En el caso de una red trifásica de 380 V, es preciso utilizar un motor bobinado a 380 V en triángulo y 660 V en estrella.

El principio consiste en arrancar el motor acoplando los devanados en estrella a la tensión de la red, lo que equivale a dividir la tensión nominal del motor en estrella por  $\sqrt{3}$ . La punta de corriente durante el arranque se divide por 3. El par de arranque se divide igualmente por 3, ya que es proporcional al cuadrado de la tensión de alimentación.

La punta de corriente en el arranque es:  $I_{arr} = 1,5 \text{ a } 2,6 I_n$   
El par de arranque es:  $M_{arr} = 0,2 \text{ a } 0,5 M_n$

En los motores industriales la relación entre el par de arranque y nominal, varía entre 1,2 y 2; en consecuencia, el par de arranque resultante oscila entre 0,4 y 0,67 del par nominal, por ello este procedimiento solamente se aplica en aquellos casos en los que el par resistente de la carga, en el momento de la puesta en marcha no excede, como media, del 50% del par nominal, como sucede en determinadas aplicaciones como, bombas centrífugas y ventiladores.

La velocidad del motor se estabiliza cuando se equilibran el par del motor y el par resistente, normalmente entre el 75 y 85% de la velocidad nominal. En ese momento, los devanados se acoplan en triángulo y el motor rinde según sus características. Mediante un temporizador se controla el tiempo de transición del acoplamiento en estrella al acoplamiento en triángulo. El cierre del contactor de triángulo se produce con un retardo de 30 a 50 milisegundos tras la apertura del contactor de estrella, lo que evita un cortocircuito entre fases al no poder encontrarse ambos cerrados al mismo tiempo.

La corriente que recorre los devanados se interrumpe con la apertura del contactor de estrella y se restablece con el cierre del contactor de triángulo. En paso al acoplamiento en triángulo va acompañado de una punta de corriente transitoria, tan breve como importante, debida a la fuerza contra electromotriz del motor.

El arranque estrella-triángulo es apropiado para las máquinas cuyo par resistente es débil o que arrancan en vacío.

Dependiendo del régimen transitorio en el momento del acoplamiento en triángulo, puede ser necesario utilizar una variante que limite los fenómenos transitorios cuando se supera cierta potencia:

□ *Temporización de 1 a 2 segundos al paso estrella-triángulo.*

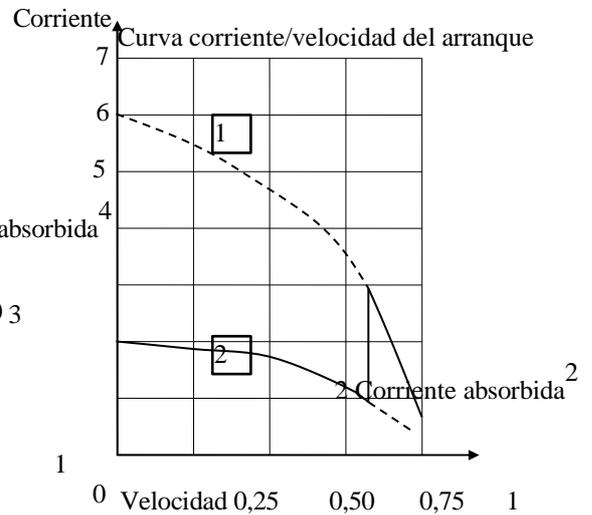
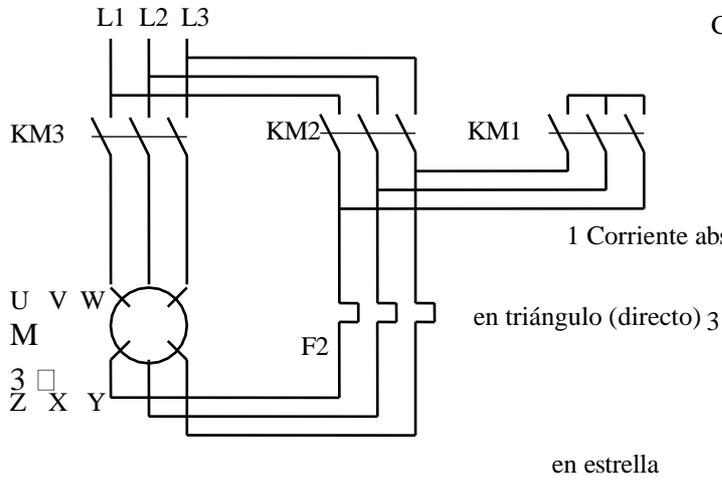
Esta medida permite disminuir la f.c.e.m. y, por tanto, la punta de corriente transitoria.

Esta variante sólo puede utilizarse en máquinas cuya inercia sea suficiente para evitar una deceleración excesiva durante la temporización.

□ *Arranque en estrella-triángulo + resistencia-triángulo sin corte.*

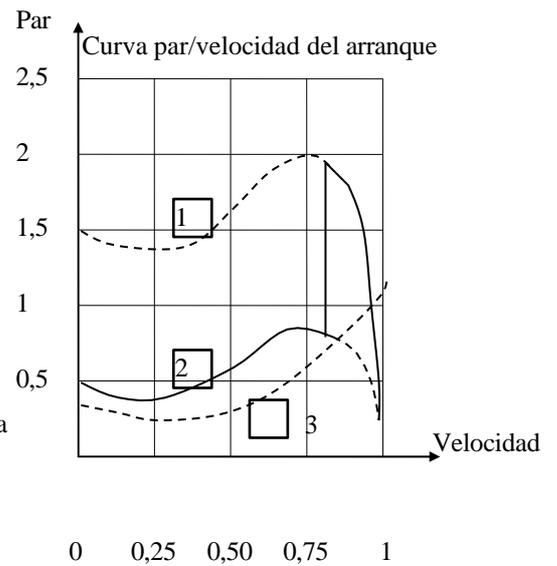
La resistencia se pone en serie con los devanados inmediatamente antes de la apertura del contactor de estrella. Esta medida evita cualquier corte de corriente y, por tanto, la aparición de fenómenos transitorios.

El uso de estas variantes conlleva la instalación de componentes adicionales y el consiguiente aumento del coste total.



1 Par en triángulo

2 Par en estrella  
3 Par resistente de la máquina



### 4.3.- Arranque Electrónico

La alimentación del motor durante la puesta en tensión se realiza mediante una subida progresiva de la tensión, lo que posibilita un arranque sin sacudidas y reduce la punta de corriente. Para obtener este resultado, se utiliza un graduador de tiristores montados en oposición de dos por dos en cada fase de la red.

La subida progresiva de la tensión de salida puede controlarse por medio de la rampa de aceleración, que depende del valor de la corriente de limitación, o vincularse a ambos parámetros.

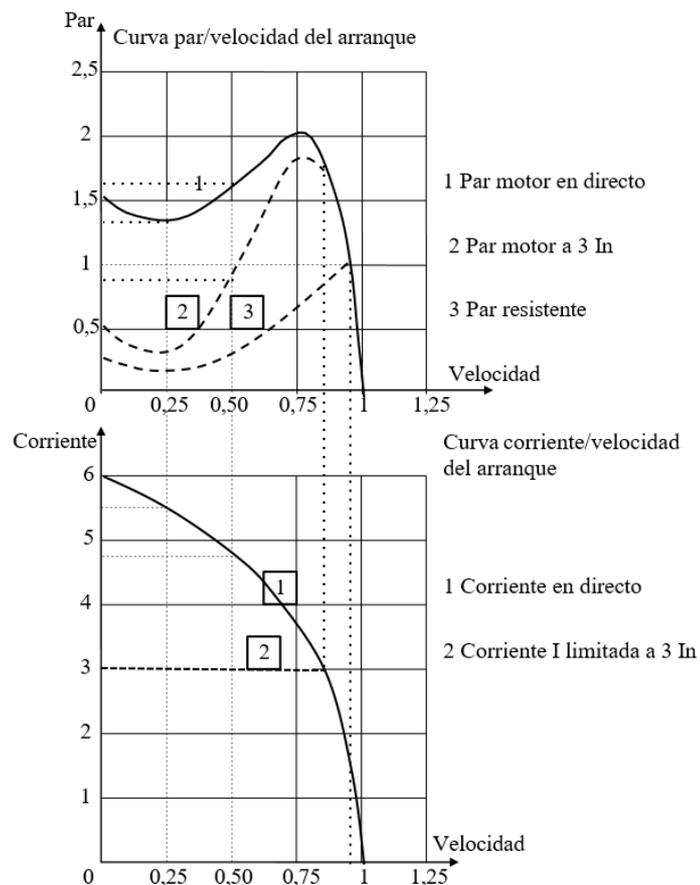
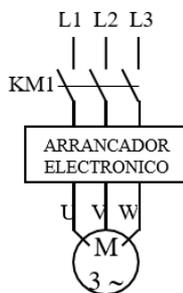
Un arrancador ralentizador progresivo es un graduador de seis tiristores que se puede utilizar para arrancar y parar de manera controlada los motores trifásicos de jaula, y garantiza:

- El control de las características de funcionamiento, principalmente durante los periodos de arranque y parada.
- La protección térmica del motor y del arrancador.
- La protección mecánica de la máquina accionada, mediante la supresión de las sacudidas de par y la reducción de la corriente solicitada.

La corriente puede regularse de 2 a 5  $I_n$ , lo que proporciona un par de arranque regulable entre 0,1 y 0,7 del par de arranque en directo.

Permite arrancar todo tipo de motores asíncronos. Puede cortocircuitarse para arrancar por medio de un contactor y mantener al mismo tiempo el dominio del circuito de control. A todo esto hay que añadir la posibilidad de:

- ◇ Deceleración progresiva.
- ◇ Parada frenada.



## DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA

El ensayo pretende analizar los arranques de los motores de inducción en los siguientes casos:

- Arranque directo.
- Arranque estrella-triángulo.
- Arranque electrónico.

Para el ensayo del arranque en directo, el arranque estrella triángulo y el arranque electrónico utilizaremos un motor trifásico de jaula de ardilla y para el arranque con resistencias rotóricas se utilizará un motor trifásico de rotor bobinado.

En cada uno de los ensayos se tomará nota del valor de las corrientes, tanto de la punta de arranque como de la de régimen permanente.

Teniendo en cuenta que en cada arranque se produce una punta de corriente, la máquina sufrirá un calentamiento que podría dañar los aislamientos del motor, por lo que habrá que tener presente, que cada ensayo debe ser precedido de un intervalo de tiempo de reposo.

## EQUIPO NECESARIO

- Motor de jaula de ardilla de las siguientes características:
  - Potencia:                      kW                      - Tensión:                      /                      V
  - Revoluciones:                      r.p.m.                      - Intensidad:                      /                      A
  - Frecuencia:                      60                      Hz                      -  $\cos \phi$ :
  
- Equipos de control de arranque para:
  - Arranque directo.
  - Arranque estrella-triángulo.
  - Arranque electrónico.
  
- Módulo de control industrial
- 1 Voltímetro
- 2 Amperímetros
- Analizador de redes.

## REALIZACIÓN DE LA PRÁCTICA

Se realizarán los arranques siguientes:

- Arranque directo.
- Arranque estrella-triángulo.
- Arranque electrónico.

Para ello se tendrán en cuenta los esquemas eléctricos del circuito de fuerza y de maniobra que se representan a continuación y se realizará el montaje en cada caso. Antes de iniciar el montaje y durante el montaje del circuito de fuerza y de maniobra se comprobará que la alimentación eléctrica está desconectada.

En los esquemas de montaje y desarrollo de la práctica, se relaciona el material necesario de los distintos equipos de control del arranque y se describe brevemente las secuencias de funcionamiento del circuito de potencia y de maniobra.

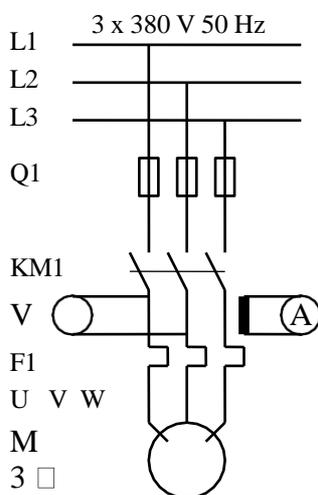
En cada uno de los ensayos se tomará nota del valor de las corrientes, tanto de la punta de arranque como de la de régimen permanente y se anotarán en los cuadros del resumen.

Al final se extraerán las conclusiones pertinentes de comparar los diferentes métodos de arranque.

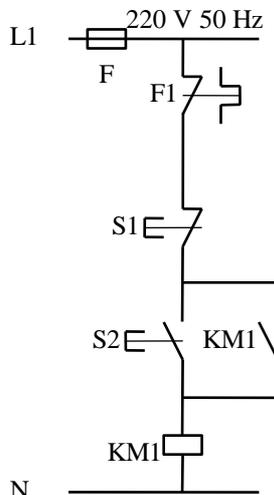
### *Esquemas de montaje y desarrollo de la práctica*

#### **Arranque directo**

##### *Circuito de fuerza*



##### *Circuito de mando*



##### *Material necesario*

- Q1 □ Seccionador portafusibles
- KM1 □ Contactor
- F1 □ Relé de protección térmica F
- Fusible mando
- S1 □ Pulsador de paro S2
- Pulsador de marcha

##### *Funcionamiento del circuito de potencia:*

Cierre manual del seccionador Q1.

Cierre del contactor KM1. Arranca el motor.

##### *Funcionamiento del circuito de mando:*

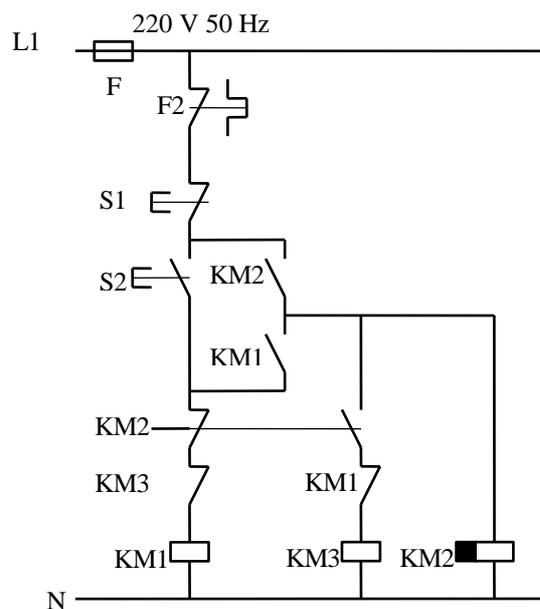
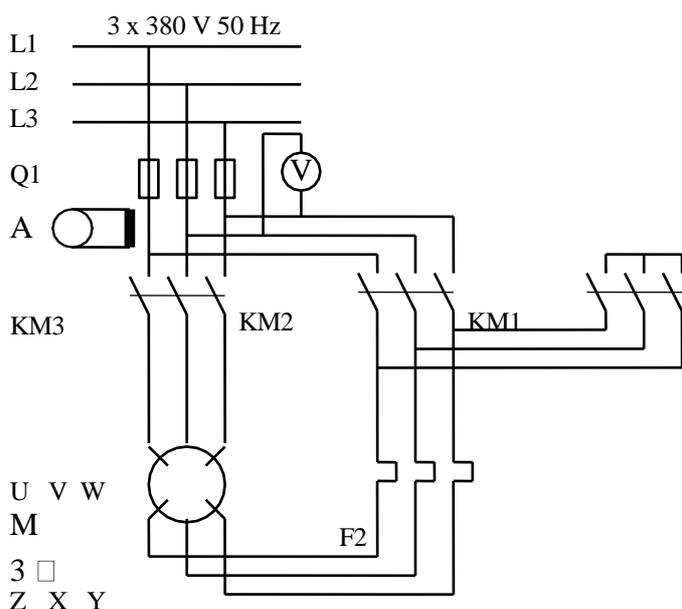
Accionando el pulsador S2 se cierra contactor KM1 y arranca el motor.

Automantenimiento por KM1.

Parada al accionar el pulsador S1 o por disparo del relé de protección térmica.

## Arranque estrella triángulo

### Circuito de fuerza    Circuito de mando



#### Material necesario

Q1  Seccionador portafusibles

KM1  Contactor

KM2  Contactor + bloque de contactos temporizados al accionamiento KM3

Contactor

F2  Relé de protección térmica F

Fusible mando

S1  Pulsador de paro S2

Pulsador de marcha

#### Funcionamiento del circuito de potencia:

Cierre manual del seccionador Q1.

Cierre del contactor KM1. Acoplamiento en estrella. Cierre del contactor KM2. Alimentación del motor.

Apertura del contactor KM1. Eliminación del acoplamiento en estrella. Cierre del contactor KM3. Acoplamiento en triángulo.

#### Funcionamiento del circuito de mando:

Accionando el pulsador S2 se cierra el contactor KM1.

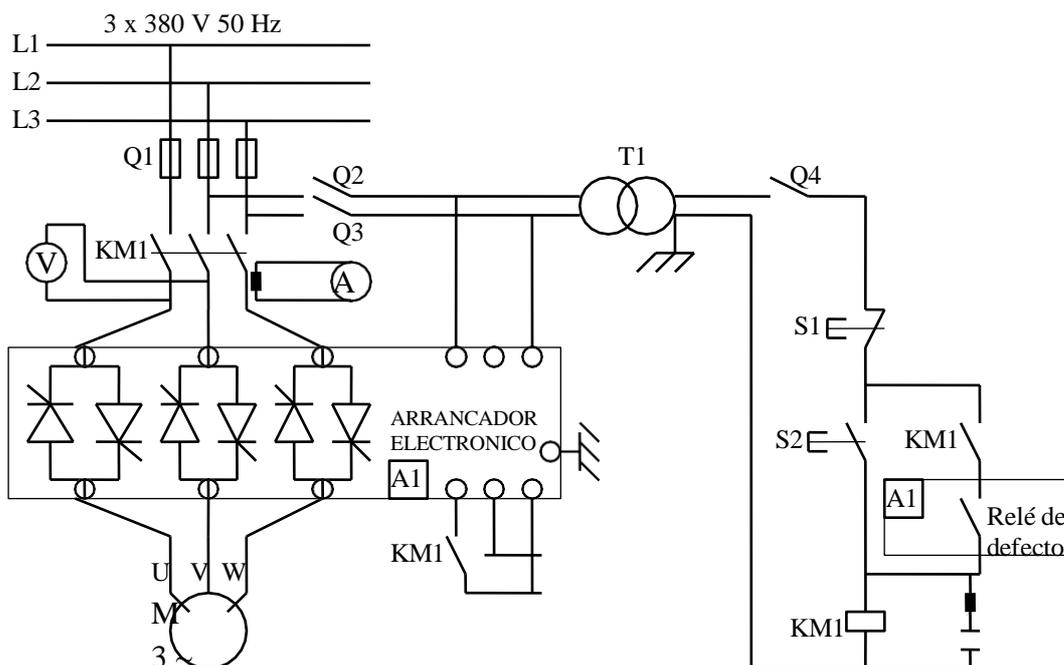
Cierre del contactor KM2 por KM1.

Automantenimiento de KM1-KM2 por KM2. Apertura de KM1 por contacto temporizado de KM2. Cierre de KM3 por KM1 y KM2.

Parada al accionar el pulsador S1 o por disparo del relé de protección térmica.

## Arranque electrónico

### Circuito de fuerza    Circuito de mando



#### Material necesario

- Q1 □ Seccionador portafusibles
- KM1 □ Contactor
- A1 □ Arrancador electrónico
- Q2, Q3, Q4 □ Disyuntores mando S1
- Pulsador de paro
- S2 □ Pulsador de marcha

#### Funcionamiento del circuito de potencia:

Cierre manual del seccionador Q1.

Cierre del contactor KM1. KM1 pone al arrancador electrónico bajo tensión y un contacto auxiliar da la orden de marcha, por lo que el contactor no se activa a corriente elevada sino a corriente nula.

#### Funcionamiento del circuito de mando:

Accionando el pulsador S2 se cierra el contactor KM1.

Parada manual al accionar el pulsador S1 o automático, mediante el contacto del relé de defecto de A1.

## RESULTADOS

Arranque directo (Ruleta freno 40%)				
Ensayo N°	Arranque		Régimen permanente	
	<i>Voltímetro</i> V	<i>Amperímetro</i> A	<i>Voltímetro</i> V	<i>Amperímetro</i> A

Arranque estrella-triángulo				
Ensayo N°	Arranque		Régimen permanente	
	<i>Voltímetro</i> V	<i>Amperímetro</i> A	<i>Voltímetro</i> V	<i>Amperímetro</i> Línea Fase

Arranque electrónico (Ruleta freno 10%)				
Ensayo N°	Arranque		Régimen permanente	
	<i>Voltímetro</i> V	<i>Amperímetro</i> A	<i>Voltímetro</i> V	<i>Amperímetro</i> A

**Conclusiones:**

**ANEXO**

**Anexo G. Guías prácticas de laboratorio de los distintos tipos de arranques.**

	<h1>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</h1>
<p><b>PRACTICA DE LABORATORIO</b> Laboratorio de simulación Carrera de ingeniería eléctrica</p>	

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
FECHA:	FECHA:	
CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
INGENIERÍA ELÉCTRICA		

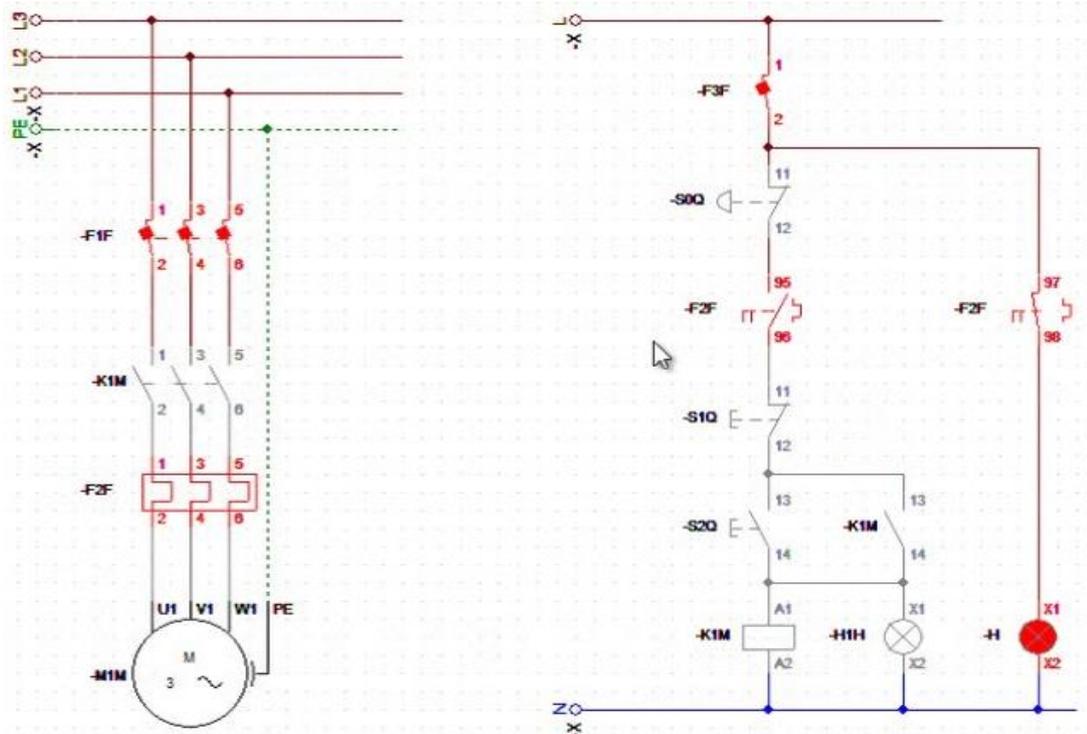
PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	Laboratorio de control eléctrico industrial	DURACIÓN (HORAS)
1	NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	Arranque directo	3

<b>1</b>	<b>OBJETIVO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar el diagrama de circuito de mando y fuerza para entender el consumo eléctrico del arranque directo para los motores asíncronos trifásicos.</li> <li>• Montar los diagramas en el tablero con los equipos principales para el sistema de arranque.</li> <li>• Evaluar los niveles de tensión, corriente, potencia que se presentan en el motor asíncrono con el arranque directo.</li> </ul>
----------	-----------------	--

<b>2</b>	<b>FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b>	<p><b>2.1. INTRODUCCIÓN</b></p> <p>El arranque directo es uno de los métodos más simples y comunes utilizados para arrancar motores asíncronos trifásicos. En este método, se conectan directamente las terminales del motor a la fuente de alimentación trifásica. A continuación, se explica cómo funciona el arranque directo y sus características:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Conexión directa:</b> En el arranque directo, las terminales del motor están conectadas directamente a la red eléctrica trifásica a través de un interruptor principal o un contactor. Cuando se energiza el interruptor principal, la corriente fluye a través de las bobinas del motor, lo que genera un campo magnético giratorio y provoca el arranque del motor.</li> </ul>
----------	-------------------------------	--

- Alto pico de corriente: Durante el arranque directo, el motor consume una corriente de arranque elevada, también conocida como corriente de arranque en frío. Esta corriente de arranque puede ser varias veces mayor que la corriente nominal del motor. Por lo tanto, es importante asegurarse de que la fuente de alimentación y los dispositivos de protección sean capaces de manejar este pico de corriente.
- Bajo control del par y la velocidad: En el arranque directo, el motor arranca a plena carga y su par y velocidad no están controlados. Esto puede ser adecuado para algunas aplicaciones en las que no se requiere un control preciso del par o la velocidad durante el arranque.
- Impacto mecánico y eléctrico: El arranque directo puede generar un impacto mecánico y eléctrico en el motor y el sistema de alimentación. El alto pico de corriente puede provocar caídas de voltaje en la red eléctrica, y el arranque brusco puede generar vibraciones y golpes en el sistema mecánico del motor. Esto puede afectar la vida útil del motor y de los equipos asociados.

Es importante tener en cuenta que el arranque directo no es adecuado para todos los casos y aplicaciones. Para situaciones en las que se requiere un arranque más suave, un control más preciso del par y la velocidad, y una reducción del impacto eléctrico y mecánico, se utilizan métodos de arranque más avanzados, como el arranque estrella-delta, el arranque con autotransformador o los variadores de frecuencia.



**Figura 1.** Diagrama del arranque en directo.

## **2.2 EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS**

### **Equipos:**

Equipo de cómputo, Tablero de control, Analizador Fluke, Multímetro, Motor asíncrono (1 Hp).

## **2.3 MEDIDAS DE SEGURIDAD**

EPP: Mandil, alcohol y mascarilla.

### **Instrucciones de seguridad:**

- Lea y comprenda la presente guía de laboratorio
- Lea y comprenda el manual de seguridad y operación de la máquina de ensayos universales
- No corra dentro del laboratorio
- Absténgase de usar el teléfono celular
- Aleje sus manos de las partes móviles del equipo

## **2.4 TRABAJO PREPARATORIO**

### **2.4.1. ACTIVIDADES A DESARROLLAR**

El laboratorio de Control Industrial cuenta con instalaciones para la realización de prácticas mediante dispositivos electromecánicos y controladores programables, a través de los cuales se pretende completar el estudio teórico sobre dichos temas y crear en el estudiante habilidades para el diseño e implementación de circuitos de control y fuerza, generalmente utilizados en plantas industriales.

Para realizar el arranque directo de un motor se procede a la conexión del circuito de control:

- El selector de tres posiciones S1 activa el contactor designado KM1 y este se queda encendido mientras el selector no cambie de posición.
- El selector al estar en la posición 0 no deberá accionar el motor ni mucho menos permitir el paso de energía para el accionamiento del circuito.
- En caso de existir alguna falla el operador por medio de un paro de emergencia PE colocado en serie con el pulsador P1 y el contacto cerrado puede desactivar el circuito de una manera instantánea y no se podría desactivar este pulsador mientras no este todo en total normalidad.

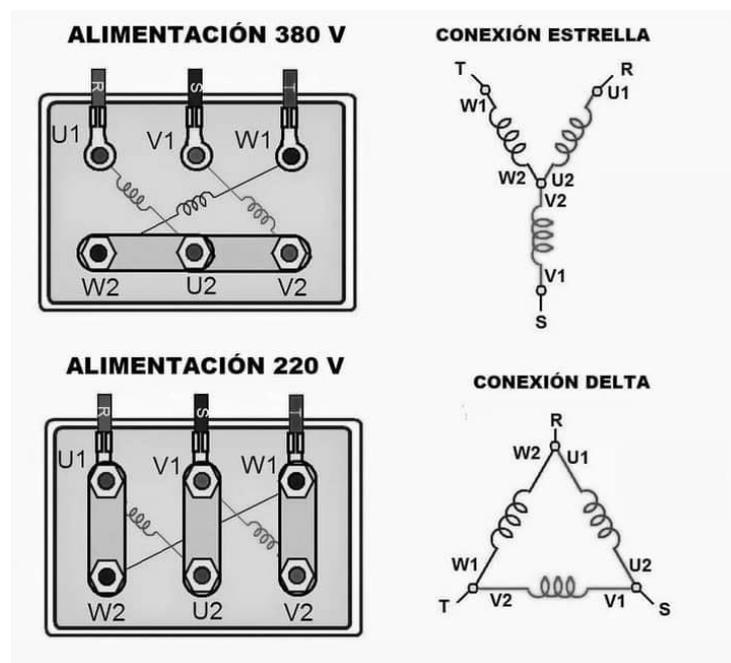
Una vez realizado el circuito de control y comprobado su funcionamiento, proceder a armar el circuito de fuerza para el encendido de un motor trifásico jaula de ardilla según las especificaciones del motor.

- La alimentación para el circuito de fuerza será tomada desde el disyuntor trifásico ubicado en la parte superior del módulo experimental.
- El guardamotor G1 va estar conectado en serie con el contactor KM1.

- El guardamotor G2 a estar conectado en serie con el contactor KM2.
- Los dos guardamotores van a ser utilizados con el fin de proteger al circuito y el motor ante cualquier falla.
- El motor arranca alimentando por medio del guarda motor G1.

### Arranque directo

El arranque directo de un motor asíncrono trifásico se puede realizar en configuración estrella o triángulo, según los valores de tensión de red y las tensiones nominales del motor. Estas configuraciones se determinan en función de las tensiones indicadas en la placa de características del motor.



**Figura 2.** Diagrama de conexión del motor.

Es importante mencionar que la elección entre la conexión en estrella y en triángulo debe realizarse de acuerdo con las especificaciones del motor y las condiciones de la aplicación. La placa de características del motor proporciona información crucial sobre las tensiones nominales y las conexiones posibles, y debe ser consultada para garantizar una conexión adecuada y segura del motor a la red eléctrica.

### 2.3 METODOLOGÍA Y TÉCNICA EXPERIMENTAL

Para la conexión en el tablero de control industrial se sigue los siguientes pasos:

- a) Energizar el tablero: Comprobar si los disyuntores están energizados.

- b) Conexión el circuito: Se utiliza los cables adaptados para el tablero.
- c) Conectar componentes: Conecta los componentes eléctricos de acuerdo a las especificaciones del motor y los elementos electromagnéticos a utilizar.
- d) Configurar propiedades de los componentes: Configura las propiedades de los componentes según sea necesario. Esto puede incluir valores de resistencia, capacitancia, inductancia, voltajes o corrientes iniciales, entre otros parámetros relevantes para el circuito de mando.
- e) Añadir fuentes de alimentación: Alimentar el circuito según las especificaciones de los componentes ya utilizados.
- f) Revisión de la conexión del circuito: realizar la revisión y posible comparación de los componentes ya conectados (alimentación de los contactores y guardamotores).
- g) Ejecutar la conexión: Ejecutamos la activación del circuito para el arranque directo. Realizar la respectiva conexión del equipo de medición (analizador de redes) y recopilamos los resultados correspondientes, como las potencias, corrientes y tensiones en cada componente.
- h) Analizar los resultados: Examina los resultados obtenidos mediante una tabla de comparación.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**LABORATORIOS DE SIMULACIÓN**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**  
**INFORME PRACTICA**

**Nota:** El informe tiene que ser conciso, simple y claro, no tiene que contener más de 5 hojas, no caratula, no carpetas, no binchas, se tiene que presentar grapado y ocupando toda el área de la hoja de impresión.

**TEMA:** Arranque directo sin carga 0%.

**Numero de practica:** 1

**NOMBRES:** Cando Tony- Murillo Rivera

**Fecha:** 28/06/2023

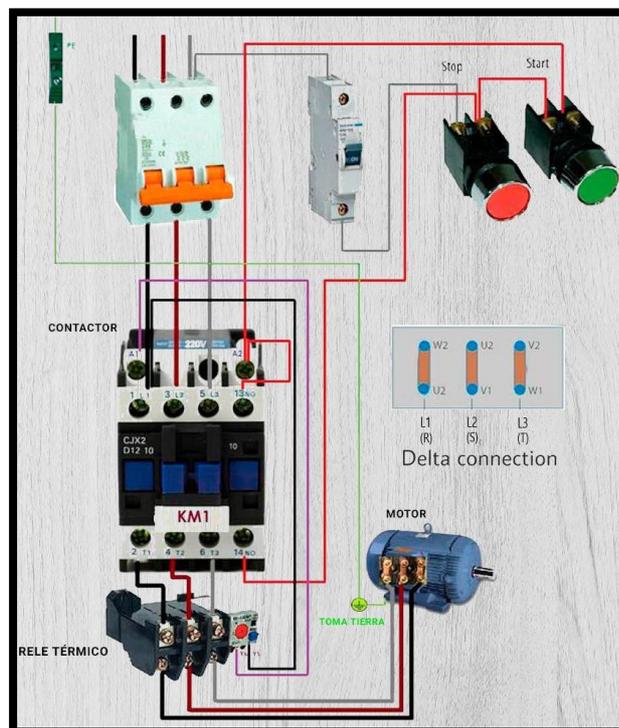
## 1 Procedimiento

- Comprobar el funcionamiento de cada uno de los elementos y equipos a utilizar en el módulo de pruebas.
- Revisión de los cables de conexión para el modulo.
- Normas de seguridad para el uso del módulo de pruebas.
- Normas de seguridad dentro del laboratorio.
- Formatos para elaborar y presentar los informes del laboratorio.
- Revisión del circuito a ser ejecutado.

## 2 Diagramas de fuerza y control

2.1 Temas de importancia para el desarrollo de la práctica.

- Configuración del arranque directo
- Aparatos tecnológicos utilizados



**Figura 3.** Diagrama de control y fuerza para el arranque directo.

## Resultados

### 3 Valores obtenidos en prácticas

Corriente de arranque en vacío.

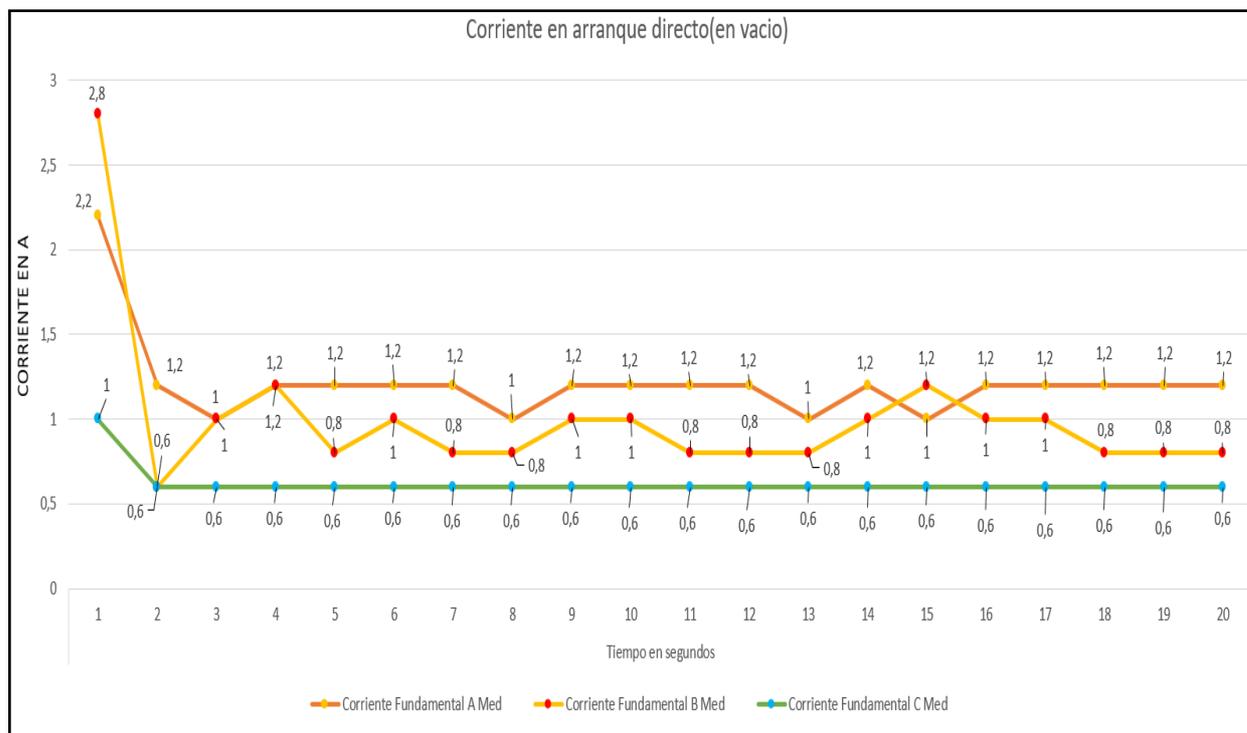


Figura 4. Pico de corriente en arranque directo en vacío.

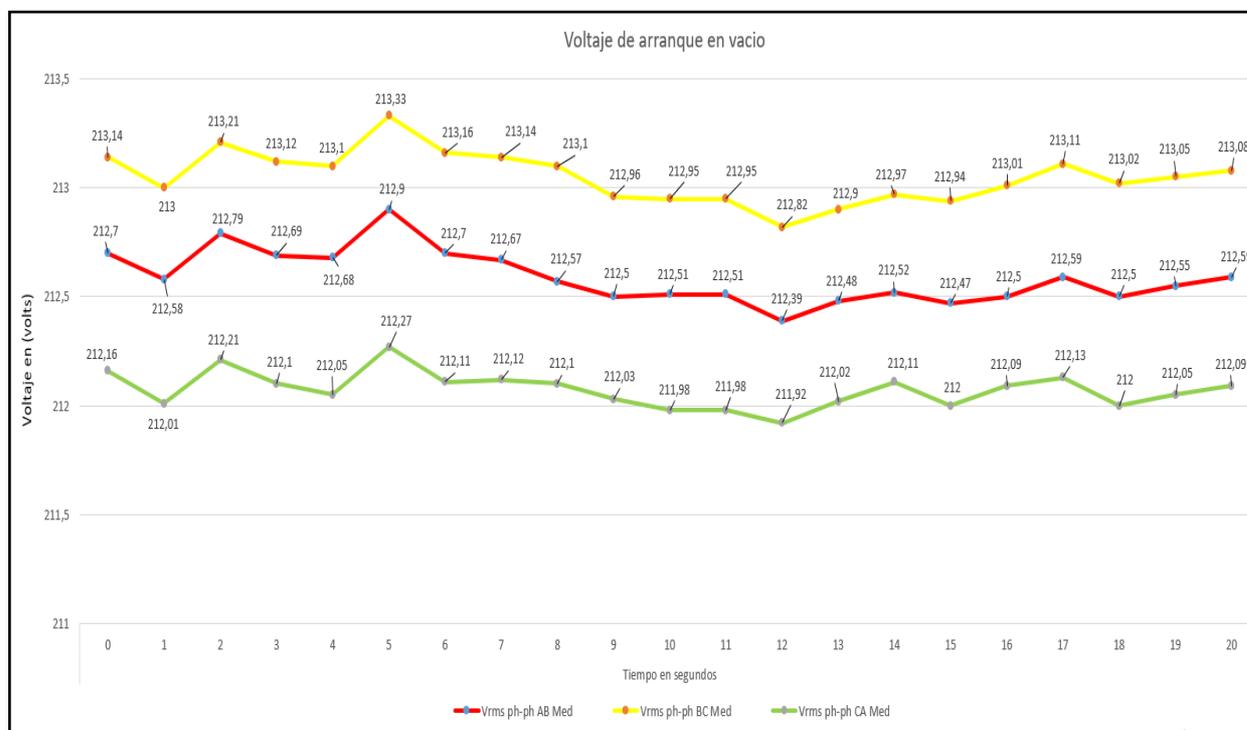


Figura 5. Voltaje de arranque directo en vacío.



## 4 Conclusiones

La práctica del arranque directo es únicamente para motores con bajo consumo de potencia, este requiere tres elementos principales los cuales son contactores, relés de sobre carga y termo magnéticos, los cuales los termo magnéticos nos brinda protección para el cableado eléctrico y en el caso de interruptor manual a pleno voltaje actúa como el medio de desconexión para nuestro circuito, además, los motores a plena carga tienden a incrementar su corriente, tanto de arranque como nominal, por lo que este factor debe considerarse al diseñar el arrancador así como el tiempo que el eje girando una vez que el circuito se des energiza.

## 5 Anexos

Anexo 1. Conexión estrella triangulo en vacío y uso del analizador de redes.



Anexo 2. Motor trifásico jaula de ardilla de 1hp.



Anexo 2. Conexión directa del motor en configuración estrella en vacío y uso del analizador de redes.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**LABORATORIOS DE SIMULACIÓN**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**  
**INFORME PRACTICA**

**Nota:** El informe tiene que ser conciso, simple y claro, no tiene que contener más de 5 hojas, no caratula, no carpetas, no binchas, se tiene que presentar grapado y ocupando toda el área de la hoja de impresión.

**TEMA:** Arranque directo con una carga de 50% (14kg)

**Numero de practica:** 2

**NOMBRES:** Cando Tony- Murillo Rivera

**Fecha:** 28/06/2023

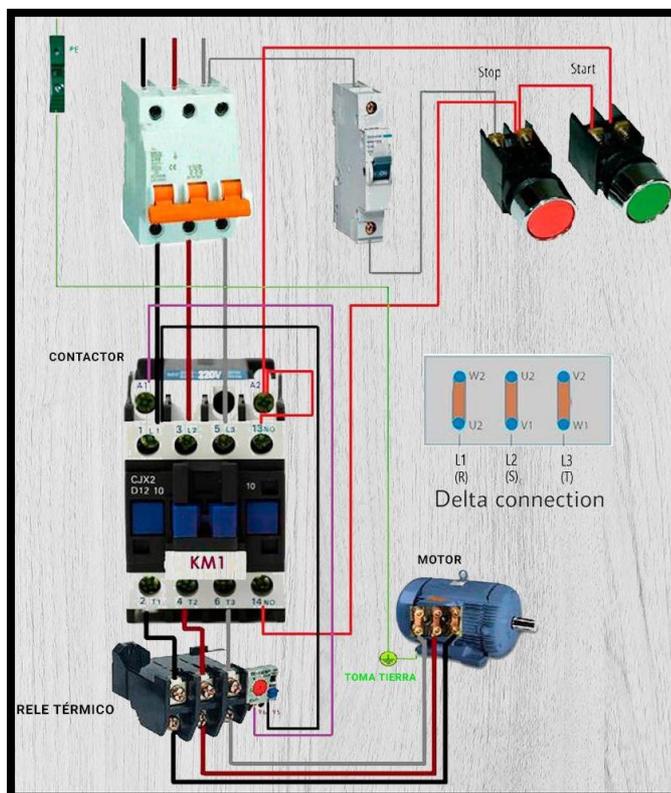
### 1 Procedimiento

- Comprobar el funcionamiento de cada uno de los elementos y equipos a utilizar en el módulo de pruebas.
- Revisión de los cables de conexión para el modulo.
- Normas de seguridad para el uso del módulo de pruebas.
- Normas de seguridad dentro del laboratorio.
- Formatos para elaborar y presentar los informes del laboratorio.
- Revisión del circuito a ser ejecutado.

### 2 Diagramas de fuerza y control

2.1 Temas de importancia para el desarrollo de la práctica.

- Configuración del arranque directo
- Aparatos tecnológicos utilizados



**Figura 6.** Diagrama de control y fuerza para el arranque directo.

## Resultados

### 3 Valores obtenidos en prácticas

Corriente de arranque con carga de 14kg.

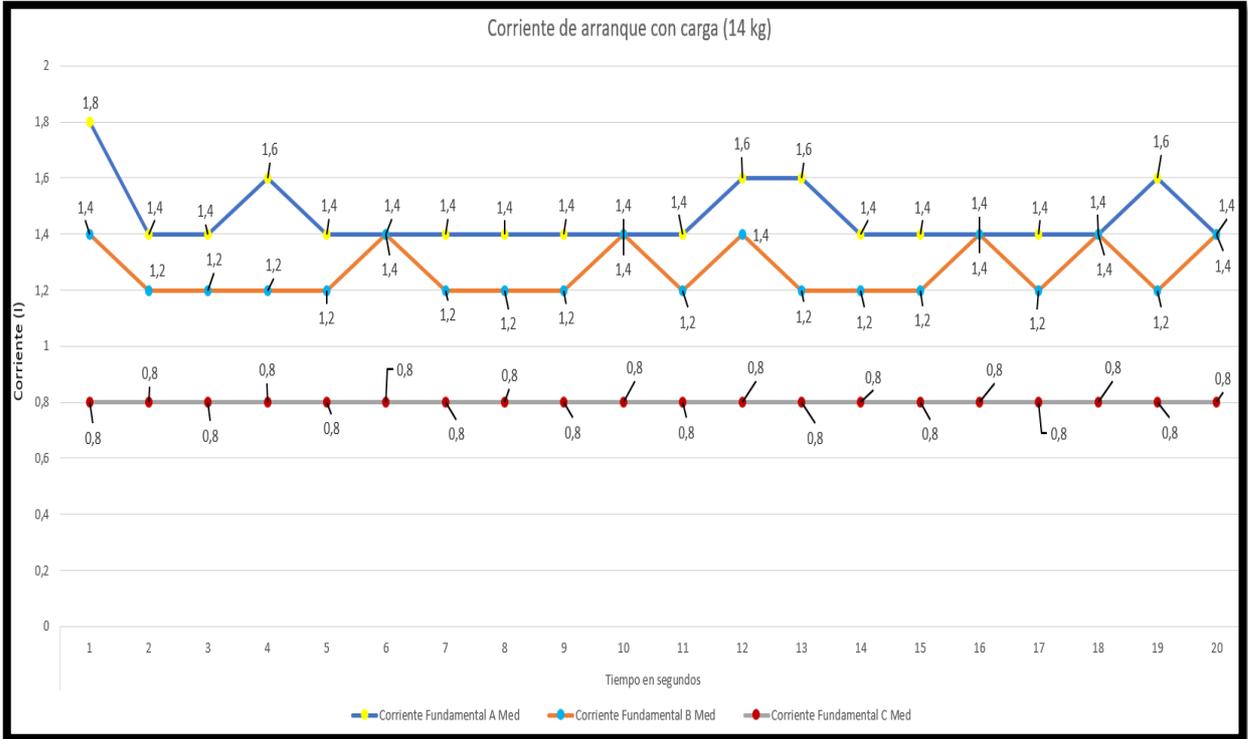


Figura 7. Corriente de arranque directo con carga (14Kg).

Voltaje de arranque con carga de 14kg.

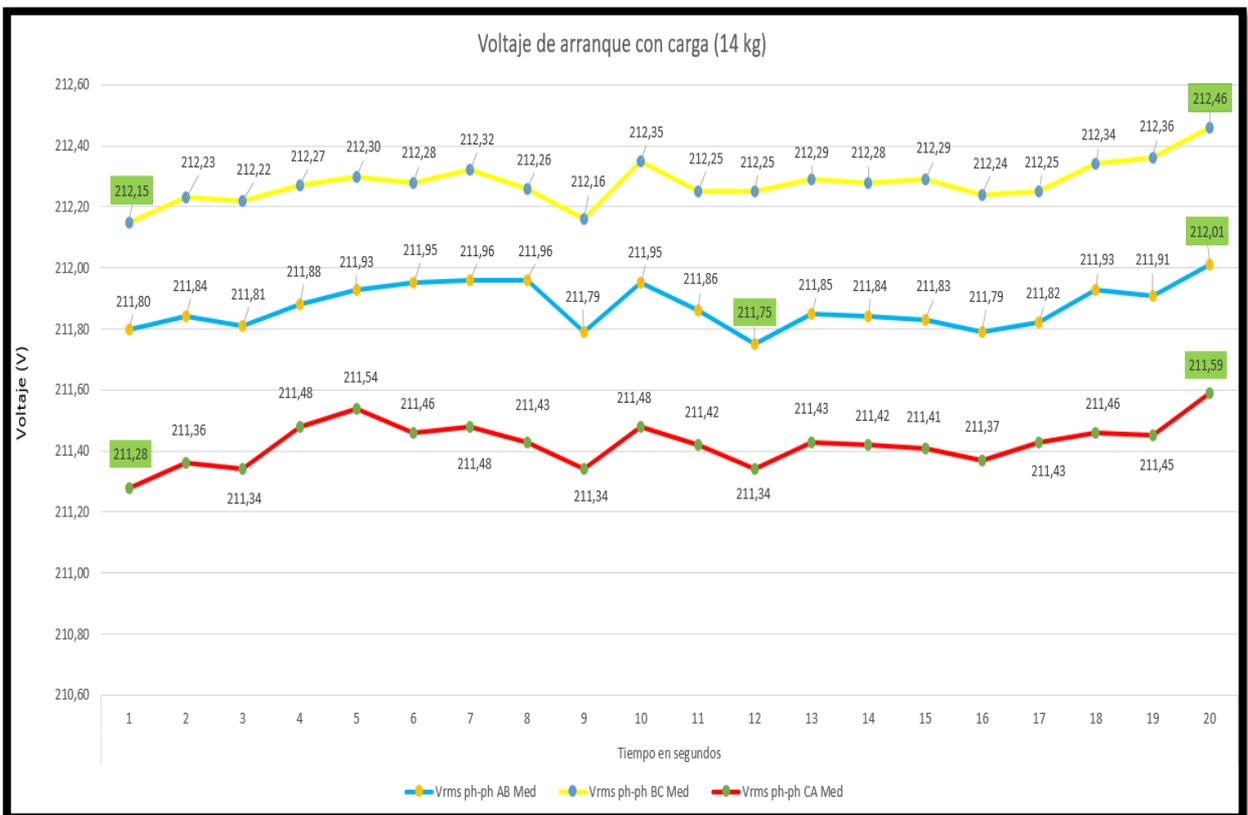


Figura 8. Voltaje de arranque directo con carga (14Kg).

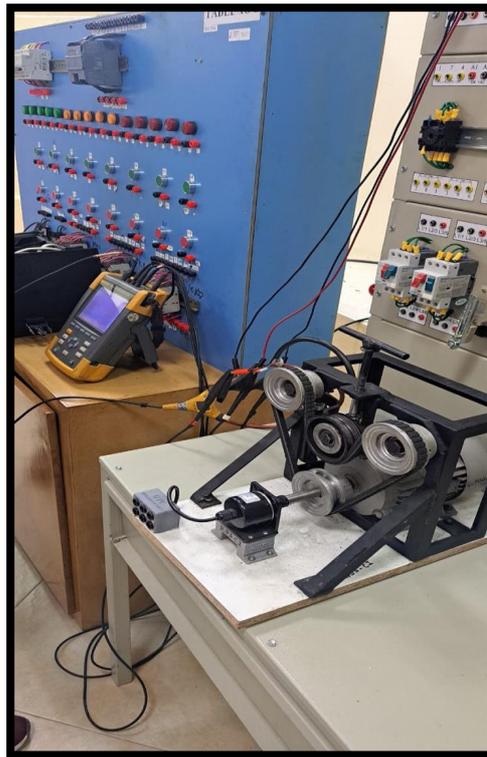
INGENIERÍA ELÉCTRICA / UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL									
REGISTRO DE PRUEBA N. 2									
Practica #5									
TABLA N.1 ARRANQUE Y PARO DE EMERGENCIA DE MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO UTILIZANDO CONFIGURACIÓN ESTRELLA CON ALIMENTACIÓN 3F Y CON UNA CARGA DE 50% (14kg).								FECHA: 28/06/2023	
ELEMENTOS: BANCO DE PRUEBAS PARA CONTROL INDUSTRIAL, MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO EN CONFIGURACIÓN ESTRELLA.									
PRUEBA CON CARGA – 14kg - SENTIDO DE GIRO HORARIO									
MEDICIONES REALIZADAS CON EL ANALIZADOR DE REDES									
Tiempo en segundos	Voltaje AB	Voltaje BC	Voltaje CA	Corriente A	Corriente B	Corriente C	Potencia Activa (P)	Potencia Reactiva (Q)	Potencia Aparente (S)
14:09:44	211,80	212,15	211,28	1,8	1,4	0,8	50	50	80
14:09:45	211,84	212,23	211,36	1,4	1,2	0,8	50	50	80
14:09:46	211,81	212,22	211,34	1,4	1,2	0,8	50	50	80
14:09:47	211,88	212,27	211,48	1,6	1,2	0,8	50	50	80
14:09:48	211,93	212,30	211,54	1,4	1,2	0,8	50	50	80
14:09:49	211,95	212,28	211,46	1,4	1,4	0,8	50	50	80
14:09:50	211,96	212,32	211,48	1,4	1,2	0,8	50	50	80
14:09:51	211,96	212,26	211,43	1,4	1,2	0,8	50	50	80
14:09:52	211,79	212,16	211,34	1,4	1,2	0,8	50	50	80
14:09:53	211,95	212,35	211,48	1,4	1,4	0,8	50	50	80
14:09:54	211,86	212,25	211,42	1,4	1,2	0,8	50	50	80
14:09:55	211,75	212,25	211,34	1,6	1,4	0,8	50	50	80
14:09:56	211,85	212,29	211,43	1,6	1,2	0,8	50	50	80
14:09:57	211,84	212,28	211,42	1,4	1,2	0,8	50	50	80
14:09:58	211,83	212,29	211,41	1,4	1,2	0,8	50	50	80
14:09:59	211,79	212,24	211,37	1,4	1,4	0,8	50	50	80
14:10:00	211,82	212,25	211,43	1,4	1,2	0,8	50	50	80
14:10:01	211,93	212,34	211,46	1,4	1,4	0,8	50	50	80
14:10:02	211,91	212,36	211,45	1,6	1,2	0,8	50	50	80
14:10:03	212,01	212,46	211,59	1,4	1,4	0,8	50	50	80
Mediciones del motor con carga de 14kg	Frecuencia (Hz)	60 Hz							
	Velocidad (rpm)	1589							
	corriente (A)	1,4 A							

## 4 Conclusiones

Finalmente la práctica del arranque directo es únicamente para motores con bajo consumo de potencia, este requiere tres elementos principales los cuales son contactores, relés de sobre carga y termo magnéticos, los cuales los termo magnéticos nos brinda protección para el cableado eléctrico y en el caso de interruptor manual a pleno voltaje actúa como el medio de desconexión para nuestro circuito, además, los motores a plena carga tienden a incrementar su corriente, tanto de arranque como nominal, por lo que este factor debe considerarse al diseñar el arrancador así como el tiempo que el eje girando una vez que el circuito se des energiza.

## 5 Anexos

Anexo 1. Conexión directa del motor en configuración estrella con una carga de **14kg** y uso del analizador de redes.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**LABORATORIOS DE SIMULACIÓN**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**  
**INFORME PRACTICA**

**Nota:** El informe tiene que ser conciso, simple y claro, no tiene que contener más de 5 hojas, no caratula, no carpetas, no binchas, se tiene que presentar grapado y ocupando toda el área de la hoja de impresión.

**TEMA:** Arranque directo con una carga de 100% (20kg).

**Numero de practica:** 3

**NOMBRES:** Cando Tony- Murillo Rivera

**Fecha:** 28/06/2023

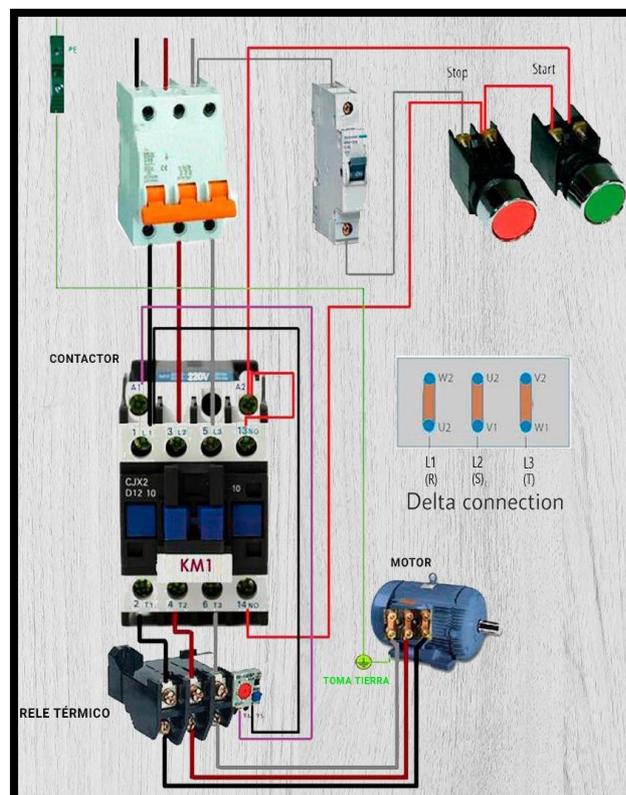
### 1 Procedimiento

- Comprobar el funcionamiento de cada uno de los elementos y equipos a utilizar en el módulo de pruebas.
- Revisión de los cables de conexión para el modulo.
- Normas de seguridad para el uso del módulo de pruebas.
- Normas de seguridad dentro del laboratorio.
- Formatos para elaborar y presentar los informes del laboratorio.
- Revisión del circuito a ser ejecutado.

### 2 Diagramas de fuerza y control

2.1 Temas de importancia para el desarrollo de la práctica.

- Configuración del arranque directo
- Aparatos tecnológicos utilizados



**Figura 9.** Diagrama de control y fuerza para el arranque directo.

## Resultados

### 3 Valores obtenidos en prácticas

Corriente de arranque con carga de 20kg.

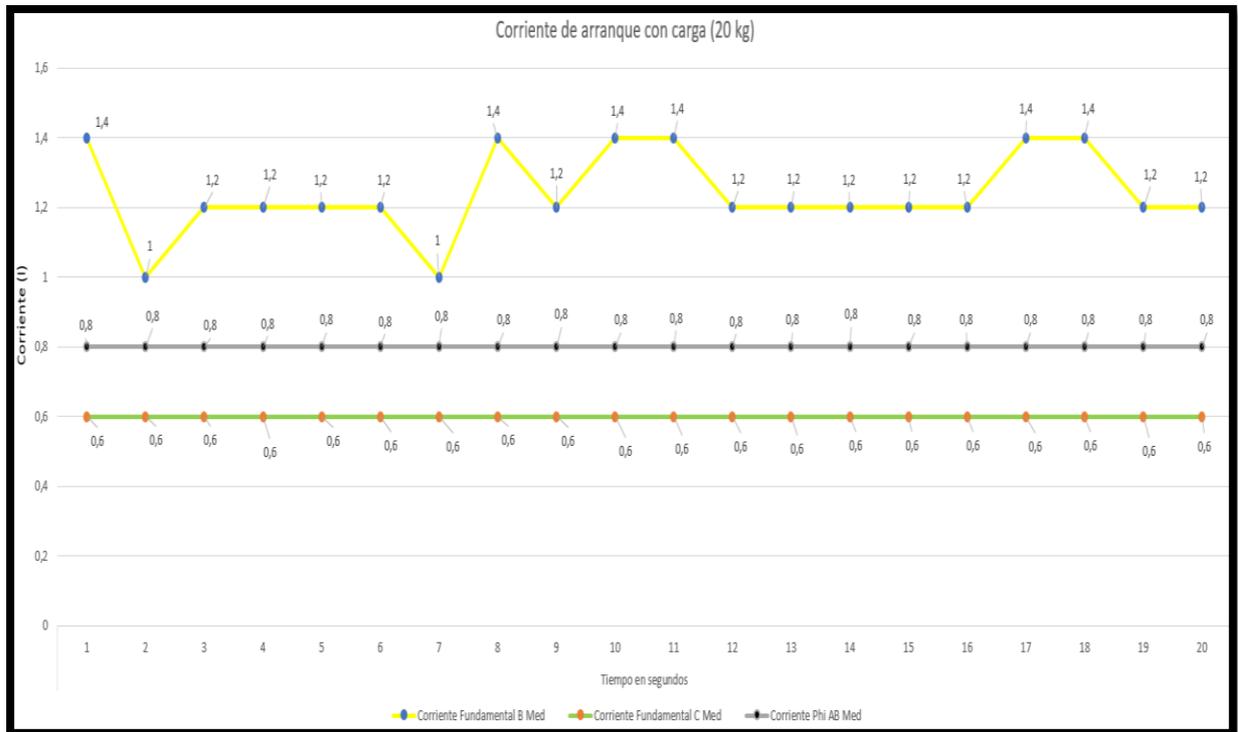


Figura 10. Corriente de arranque directo con carga (20Kg).

Voltaje de arranque con carga de 20kg.

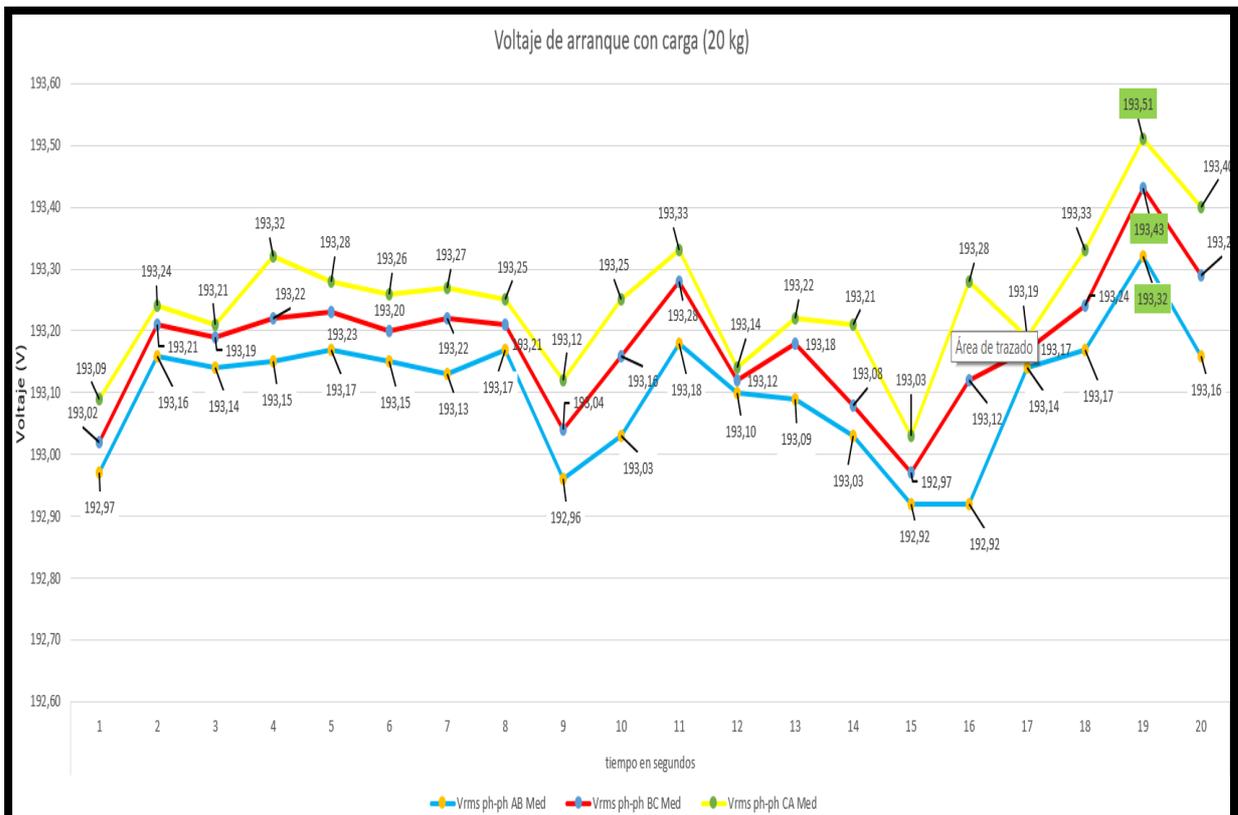


Figura 11. Voltaje de arranque directo con carga (20Kg).

INGENIERÍA ELÉCTRICA / UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL									
REGISTRO DE PRUEBA N. 3									
Practica #3									
TABLA N.1 ARRANQUE Y PARO DE EMERGENCIA DE MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO UTILIZANDO CONFIGURACIÓN ESTRELLA CON ALIMENTACIÓN 3F Y CON UNA CARGA DEL 100% (20kg).									FECHA: 28/06/2023
ELEMENTOS: BANCO DE PRUEBAS PARA CONTROL INDUSTRIAL, MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO EN CONFIGURACIÓN ESTRELLA.									
PRUEBA CON CARGA – 20kg - SENTIDO DE GIRO HORARIO									
MEDICIONES REALIZADAS CON EL ANALIZADOR DE REDES									
Tiempo en segundos	Voltaje AB	Voltaje BC	Voltaje CA	Corriente A	Corriente B	Corriente C	Potencia Activa (P)	Potencia Reactiva (Q)	Potencia Aparente (S)
15:02:12	192,97	193,02	193,09	1,4	0,6	0,8	10	10	60
15:02:13	193,16	193,21	193,24	1	0,6	0,8	10	10	60
15:02:14	193,14	193,19	193,21	1,2	0,6	0,8	10	10	60
15:02:15	193,15	193,22	193,32	1,2	0,6	0,8	10	10	60
15:02:16	193,17	193,23	193,28	1,2	0,6	0,8	10	10	60
15:02:17	193,15	193,20	193,26	1,2	0,6	0,8	10	10	60
15:02:18	193,13	193,22	193,27	1	0,6	0,8	10	10	60
15:02:19	193,17	193,21	193,25	1,4	0,6	0,8	10	10	60
15:02:39	192,96	193,04	193,12	1,2	0,6	0,8	10	10	60
15:02:44	193,03	193,16	193,25	1,4	0,6	0,8	10	10	60
15:02:56	193,18	193,28	193,33	1,4	0,6	0,8	10	10	60
15:02:57	193,10	193,12	193,14	1,2	0,6	0,8	10	10	60
15:03:01	193,09	193,18	193,22	1,2	0,6	0,8	10	10	60
15:03:04	193,03	193,08	193,21	1,2	0,6	0,8	10	10	60
15:03:14	192,92	192,97	193,03	1,2	0,6	0,8	10	10	60
15:03:15	192,92	193,12	193,28	1,2	0,6	0,8	10	10	60
15:03:18	193,14	193,17	193,19	1,4	0,6	0,8	10	10	60
15:03:29	193,17	193,24	193,33	1,4	0,6	0,8	10	10	60
15:03:32	193,32	193,43	193,51	1,2	0,6	0,8	10	10	60
15:03:33	193,16	193,29	193,40	1,2	0,6	0,8	10	10	60
Mediciones del motor con carga de 20kg	Frecuencia (Hz)	60 Hz							
	Velocidad (rpm)	1444							
	corriente (A)	1,9 A							

## 4 Conclusiones

Finalmente la práctica del arranque directo es únicamente para motores con bajo consumo de potencia, este requiere tres elementos principales los cuales son contactores, relés de sobre carga y termo magnéticos, los cuales los termo magnéticos nos brinda protección para el cableado eléctrico y en el caso de interruptor manual a pleno voltaje actúa como el medio de desconexión para nuestro circuito, además, los motores a plena carga tienden a incrementar su corriente, tanto de arranque como nominal, por lo que este factor debe considerarse al diseñar el arrancador así como el tiempo que el eje girando una vez que el circuito se des energiza.

## 5 Anexos

Anexo 1. Conexión directa del motor en configuración estrella con una carga de **20kg** y uso del analizador de redes.





# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## PRÁCTICA DE LABORATORIO LABORATORIO DE SIMULACIÓN CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
FECHA:	FECHA:	

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
INGENIERÍA ELÉCTRICA		

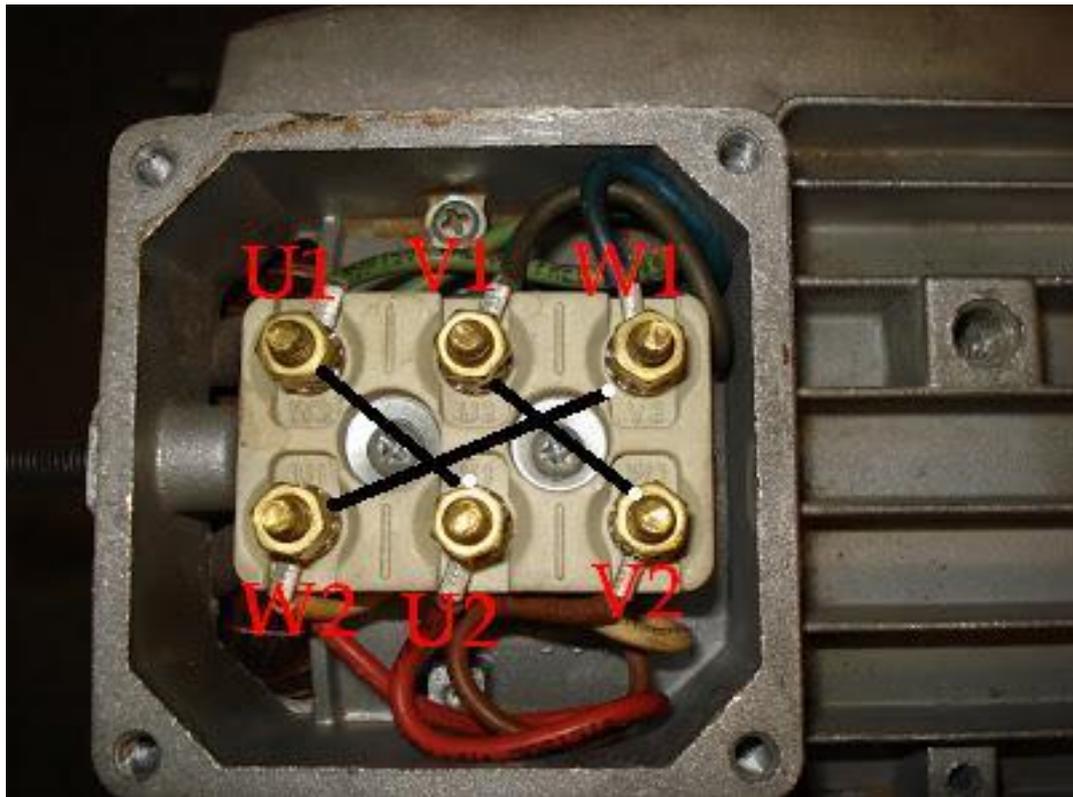
PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	Laboratorio de control eléctrico industrial	DURACIÓN (HORAS)
2	NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	Arranque Estrella-Triángulo	3

1	OBJETIVO
	<ul style="list-style-type: none"><li>Realizar el diagrama de circuito de mando y fuerza para entender el consumo eléctrico del arranque estrella-triángulo para los motores asíncronos trifásicos.</li><li>Montar los diagramas en el tablero con los equipos principales para el sistema de arranque.</li><li>Evaluar los niveles de tensión, corriente, potencia y armónicos que se presentan en el motor asíncrono con el arranque estrella-triángulo.</li></ul>

2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
	<h3>2.1. INTRODUCCIÓN</h3> <p>El arranque estrella-triángulo es un método utilizado para arrancar motores asíncronos trifásicos con corriente reducida durante el arranque. Este método implica dos etapas en las que se conecta el motor primero en configuración estrella y luego se cambia a configuración triángulo una vez que el motor ha alcanzado velocidad nominal. A continuación, se explica los pasos típicos para realizar el arranque estrella-triángulo</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Conexión en estrella: Inicia el arranque conectando las terminales del motor en configuración estrella (Y). Esto se logra conectando juntas las tres fases en un punto común y conectando las otras extremidades de las fases a la fuente de</li></ul>

alimentación trifásica.

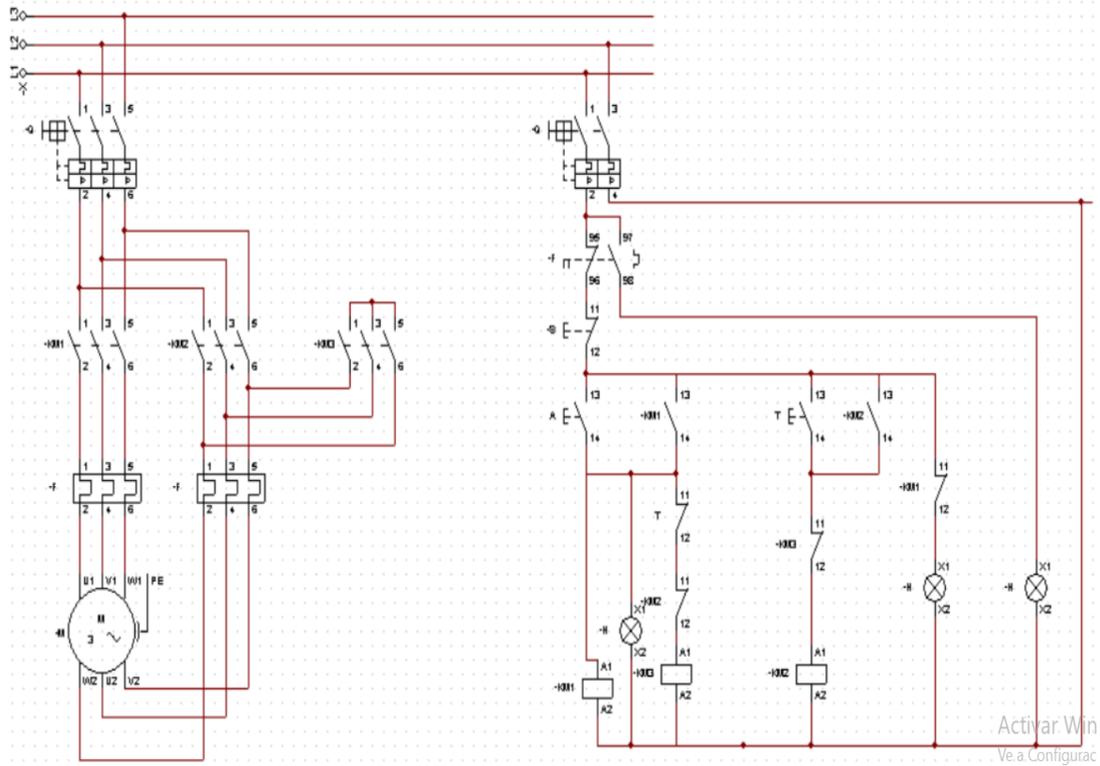
- Arranque en estrella: Energiza el circuito de alimentación para arrancar el motor en configuración estrella. Durante esta etapa, el motor estará conectado en configuración estrella y operará con una tensión reducida en cada fase. Esto resulta en una corriente de arranque menor en comparación con un arranque directo.
- Cambio a configuración triángulo: Después del tiempo de espera, utiliza un contactor o interruptor para cambiar la conexión del motor de configuración estrella a configuración triángulo. Esto implica desconectar las conexiones en estrella y reconectar las fases del motor en una configuración en forma de triángulo ( $\Delta$ ).
- Arranque en triángulo: Una vez que el motor está conectado en configuración triángulo, se restablece la tensión nominal en cada fase. Ahora el motor puede funcionar a plena potencia y velocidad nominal.



**Figura 1.** Caja de bornes del motor.

Es importante destacar que el arranque estrella-triángulo solo se utiliza en motores que no requieren un par de arranque muy alto y que están diseñados específicamente para soportar este método. Además, el sistema de control debe contar con dispositivos de

protección adecuados, como relés de sobrecarga, para garantizar la seguridad del motor durante el arranque y la transición entre las configuraciones estrella y triángulo.



**Figura 2.** Diagrama del arranque estrella triángulo.

## 2.1. EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS

### Equipos:

Equipo de cómputo, Software Cade Simu, Tablero de control, Analizador Fluke, Multímetro, Motor asíncrono (1 Hp).

## 2.2 MEDIDAS DE SEGURIDAD

EPP: Mandil, alcohol y mascarilla.

### Instrucciones de seguridad:

- Lea y comprenda la presente guía de laboratorio
- Lea y comprenda el manual de seguridad y operación de la máquina de ensayos universales
- No corra dentro del laboratorio
- Absténgase de usar el teléfono celular
- Aleje sus manos de las partes móviles del equipo

## 2.3 TRABAJO PREPARATORIO

### 2.4.1. ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR

El laboratorio de Control Industrial cuenta con instalaciones para la realización de prácticas mediante dispositivos electromecánicos y controladores programables, a través de los cuales se pretende completar el estudio teórico sobre dichos temas y crear en el

estudiante habilidades para el diseño e implementación de circuitos de control y fuerza, generalmente utilizados en plantas industriales.

Para realizar el arranque directo de un motor se procede a la conexión del circuito de control:

- Realizar el circuito de control para el arranque de un motor trifásico en estrella, el contactor KM1 junto con KM2, realizar el trabajo del arranque en estrella.
- El contactor KM1 y KM3 realizaran el arranque en triangulo.
- El pulsador P1 activa el circuito y el motor arranque en estrella y después de transcurrir un determinado tiempo se realiza el cambio de manera automática a triangulo mediante la activación de los contactores de un temporizador On Delay.
- Se utilizarán 2 pulsadores uno de marcha y un pulsador de paro, designados como P1 y P0 respectivamente.
- El circuito de potencia deberá ser armado según la investigación preparatoria.
- El circuito de mando se trabajará con un voltaje 220V y 110V para cumplir con todos los requerimientos.
- Consideraciones: Tomar en cuenta el funcionamiento de un temporizador On Delay, ya que en este caso el circuito presenta un grado de dificultad mayor en cuanto al manejo de los voltajes para el arranque.

Una vez realizado el circuito de control y comprobar su funcionamiento, proceder a armar el circuito de fuerza para el encendido de un motor trifásico según indicaciones.

- La alimentación para el circuito de fuerza será tomada desde el disyuntor trifásico ubicado en la parte superior del módulo experimental.
- El guardamotor G1 va estar conectado en serie con el contactor KM1.
- Se deberá calibrar los dos guardamotors según la corriente de trabajo o una aproximada del motor.
- El motor arranca alimentando por medio del guardamotor G1.

### **Arranque estrella-triángulo**

El arranque estrella-triángulo se utiliza precisamente para reducir la corriente de arranque en comparación con un arranque directo, alimentando el motor con una tensión menor en la conexión en estrella ( $U_n/\sqrt{3}$ ). Al hacerlo, la corriente de arranque se reduce a aproximadamente un tercio de la corriente que se produciría en un arranque directo.

Esta reducción de corriente es beneficiosa para evitar sobrecargas en el sistema de alimentación y para evitar picos de corriente que puedan afectar a otros equipos

conectados a la misma red eléctrica. También puede ayudar a prolongar la vida útil del motor al reducir el estrés inicial durante el arranque.

Durante la transición del arranque estrella al arranque en triángulo, se produce un corte de tensión momentáneo debido a la reconfiguración de las conexiones. Este corte de tensión puede afectar a otros equipos conectados a la misma red y podría causar problemas en el funcionamiento de esos equipos sensibles. Por lo tanto, es importante tener en cuenta esta interrupción y tomar las medidas adecuadas, como utilizar relés de protección y dispositivos de compensación de energía reactiva, para mitigar los efectos adversos del corte de tensión.

### **2.3 METODOLOGÍA Y TÉCNICA EXPERIMENTAL**

Para la conexión en el tablero de control industrial se sigue los siguientes pasos:

- a) Energizar el tablero: Comprobar si los disyuntores están energizados.
- b) Conexión el circuito: Se utiliza los cables adaptados para el tablero.
- c) Conectar componentes: Conecta los componentes eléctricos de acuerdo con las especificaciones del motor y los elementos electromagnéticos a utilizar.
- d) Configurar propiedades de los componentes: Configura las propiedades de los componentes según sea necesario. Esto puede incluir valores de resistencia, capacitancia, inductancia, voltajes o corrientes iniciales, entre otros parámetros relevantes para el circuito de mando.
- e) Añadir fuentes de alimentación: Alimentar el circuito según las especificaciones de los componentes ya utilizados.
- f) Revisión de la conexión del circuito: realizar la revisión y posible comparación de los componentes ya conectados (alimentación de los contactores y guardamotores).
- g) Ejecutar la conexión: Ejecutamos la activación del circuito para el arranque directo. Realizar la respectiva conexión del equipo de medición (analizador de redes) y recopilamos los resultados correspondientes, como las potencias, corrientes y tensiones en cada componente.
- h) Analizar los resultados: Examina los resultados obtenidos mediante una tabla de comparación.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**LABORATORIOS DE SIMULACIÓN**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**  
**INFORME PRACTICA**

**Nota:** El informe tiene que ser conciso, simple y claro, no tiene que contener más de 5 hojas, no caratula, no carpetas, no binchas, se tiene que presentar grapado y ocupando toda el área de la hoja de impresión.

**TEMA:** Arranque estrella triangulo sin carga 0% (0kg).

**Numero de practica:** 1

**Nombres:** Cando Tony - Murillo Rivera

**Fecha:** 30/06/2023

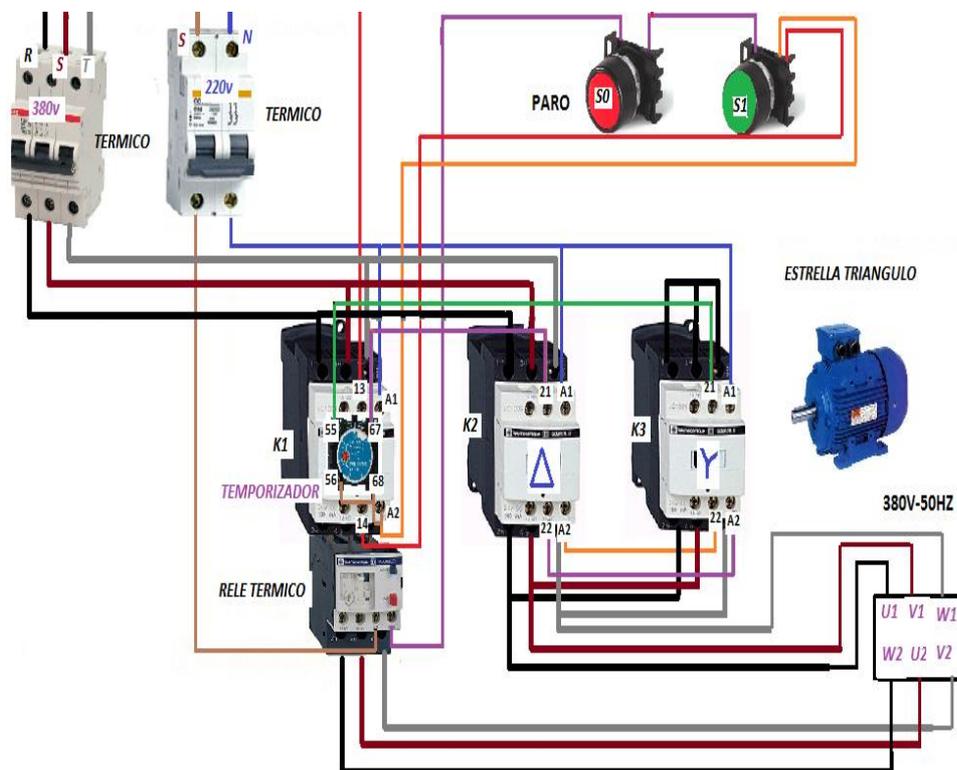
### 1 Procedimiento

- Comprobar el funcionamiento de cada uno de los elementos y equipos a utilizar en el módulo de pruebas.
- Revisión de los cables de conexión para el módulo.
- Normas de seguridad para el uso del módulo de pruebas.
- Normas de seguridad dentro del laboratorio.
- Formatos para elaborar y presentar los informes del laboratorio.
- Revisión del circuito a ser ejecutado.

### 2 Diagramas de fuerza y control

2.1 Temas de importancia para el desarrollo de la práctica.

- Configuración del arranque directo
- Aparatos tecnológicos utilizados



**Figura 3.** Diagrama de control y fuerza para el arranque directo.

## Resultados

### 3 Valores obtenidos en prácticas

Corriente de arranque en configuración estrella triangulo en vacío.

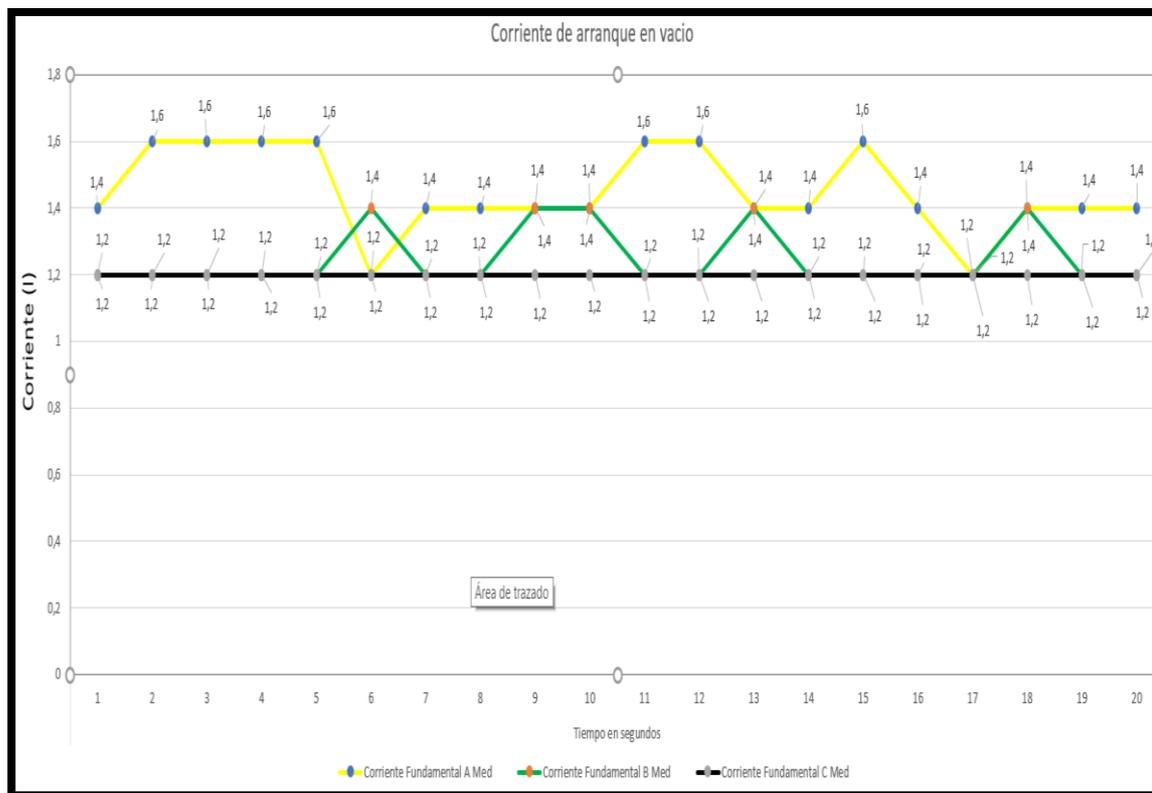


Figura 4. Pico de corriente en arranque estrella triangulo en vacío.

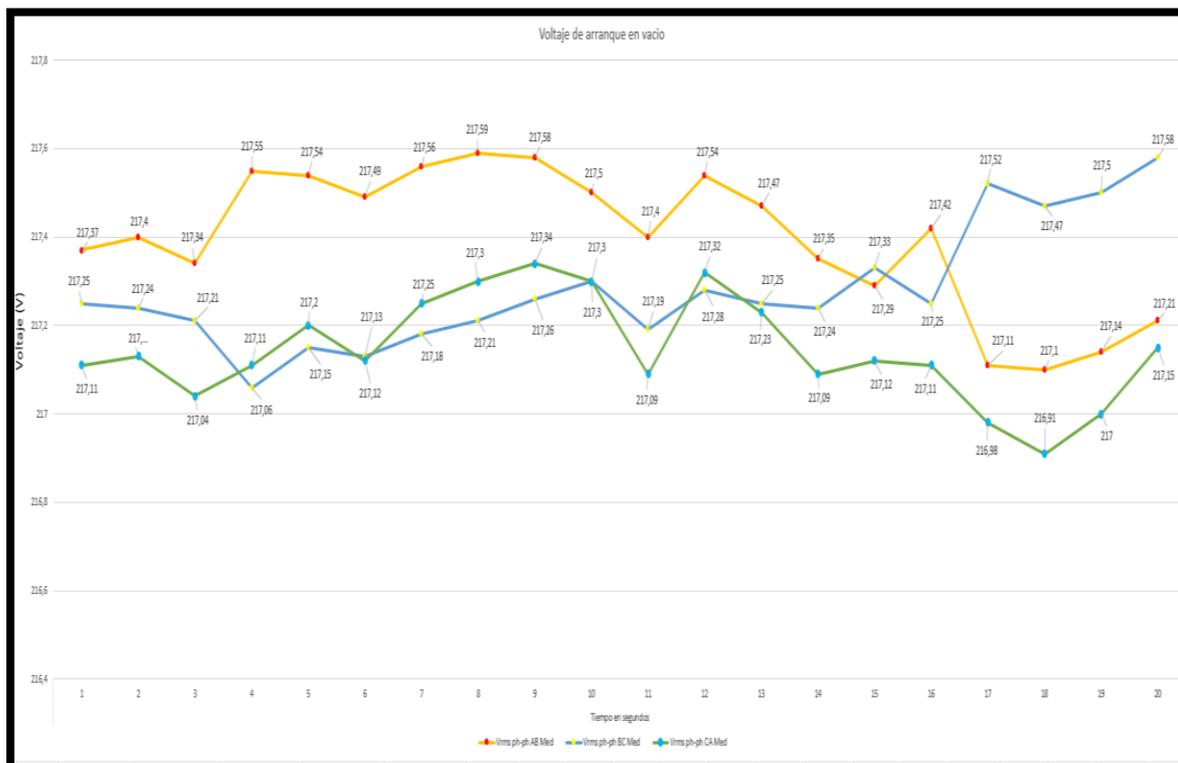


Figura 5. Voltaje de arranque estrella triangulo en vacío

INGENIERÍA ELÉCTRICA / UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL									
REGISTRO DE PRUEBA N. 1									
Practica #1									
TABLA N.1 ARRANQUE ESTRELLA TRIAGULO Y PARO DE EMERGENCIA DE UN MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO CON ALIMENTACIÓN 3F SIN CARGA 0% (0kg)								FECHA: 30/06/2023	
ELEMENTOS: BANCO DE PRUEBAS PARA CONTROL INDUSTRIAL, MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO JAULA DE ARDILLA.									
PRUEBA SIN CARGA - SENTIDO DE GIRO HORARIO									
MEDICIONES REALIZADAS CON EL ANALIZADOR DE REDES									
Tiempo en segundos	Voltaje AB	Voltaje BC	Voltaje CA	Corriente A	Corriente B	Corriente C	Potencia Activa (P)	Potencia Reactiva (Q)	Potencia Aparente (S)
13:47:12	217,37	217,25	217,11	1,4	1,2	1,2	10	40	60
13:47:13	217,4	217,24	217,13	1,6	1,2	1,2	10	40	60
13:47:14	217,34	217,21	217,04	1,6	1,2	1,2	10	40	60
13:47:15	217,55	217,06	217,11	1,6	1,2	1,2	10	40	60
13:47:16	217,54	217,15	217,2	1,6	1,2	1,2	10	40	60
13:47:17	217,49	217,13	217,12	1,2	1,4	1,2	10	40	60
13:47:18	217,56	217,18	217,25	1,4	1,2	1,2	10	40	60
13:47:19	217,59	217,21	217,3	1,4	1,2	1,2	10	40	60
13:47:20	217,58	217,26	217,34	1,4	1,4	1,2	10	40	60
13:47:21	217,5	217,3	217,3	1,4	1,4	1,2	10	40	60
13:47:22	217,4	217,19	217,09	1,6	1,2	1,2	10	40	60
13:47:23	217,54	217,28	217,32	1,6	1,2	1,2	10	40	60
13:47:24	217,47	217,25	217,23	1,4	1,4	1,2	10	40	60
13:47:25	217,35	217,24	217,09	1,4	1,2	1,2	10	40	60
13:47:26	217,29	217,33	217,12	1,6	1,2	1,2	10	40	60
13:47:27	217,42	217,25	217,11	1,4	1,2	1,2	10	40	60
13:47:28	217,11	217,52	216,98	1,2	1,2	1,2	10	40	60
13:47:29	217,1	217,47	216,91	1,4	1,4	1,2	10	40	60
13:47:30	217,14	217,5	217	1,4	1,2	1,2	10	40	60
13:47:31	217,21	217,58	217,15	1,4	1,2	1,2	10	40	60
Características del motor	Frecuencia (Hz)	60 Hz							
	Velocidad (rpm)	1650							
	corriente (A)	1,6 A							

## 4 Conclusiones

El motor cuando arranca en la configuración estrella y funciona en triángulo los motores estrella triángulo, los que tienen los puntos para conexión (Y- $\Delta$ ) en el exterior. Se usan principalmente para impulsar cargas centrifugas tales como ventiladores, sopladores, bombas centrifugas, etc. Y en aplicaciones donde se requiere un torque de arranque reducido. Si bien la corriente en el arranque y la corriente de línea son menores al conectarse en estrella que cuando se conecta en triángulo, la corriente del bobinado es menor que la de la línea cuando se conecta en triángulo.

## 5 Anexos

Anexo 1. Conexión estrella triángulo en vacío y uso del analizador de redes.



Anexo 2. Motor trifásico jaula de ardilla de 1hp.



Anexo 2. Conexión del analizador de redes al motor trifásico jaula de ardilla de 1hp.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**LABORATORIOS DE SIMULACIÓN**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**  
**INFORME PRACTICA**

**Nota:** el informe tiene que ser conciso, simple y claro, no tiene que contener más de 5 hojas, no caratula, no carpetas, no binchas, se tiene que presentar grapado y ocupando toda el área de la hoja de impresión.

**TEMA:** Arranque estrella triangulo con una carga del 50% (14kg).

**Numero de practica:** 2

**NOMBRES:** Cando Tony- Murillo Rivera

**Fecha:** 30/06/2023

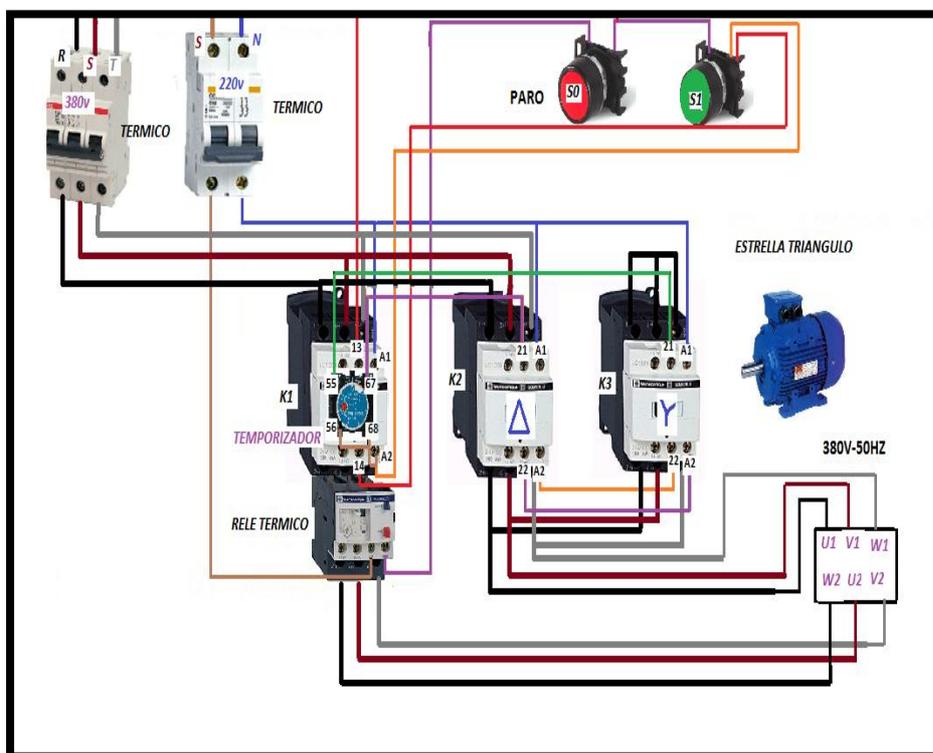
<b>1</b>	<b>Procedimiento</b>
----------	----------------------

- Comprobar el funcionamiento de cada uno de los elementos y equipos a utilizar en el módulo de pruebas.
- Revisión de los cables de conexión para el módulo.
- Normas de seguridad para el uso del módulo de pruebas.
- Normas de seguridad dentro del laboratorio.
- Formatos para elaborar y presentar los informes del laboratorio.
- Revisión del circuito a ser ejecutado.

<b>2</b>	<b>Diagramas de fuerza y control</b>
----------	--------------------------------------

2.1 Temas de importancia para el desarrollo de la práctica.

- Configuración del arranque directo
- Aparatos tecnológicos utilizados



**Figura 6.** Diagrama de control y fuerza para el arranque directo.

## Resultados

### 3 Valores obtenidos en prácticas

Corriente de arranque con carga de 14kg.

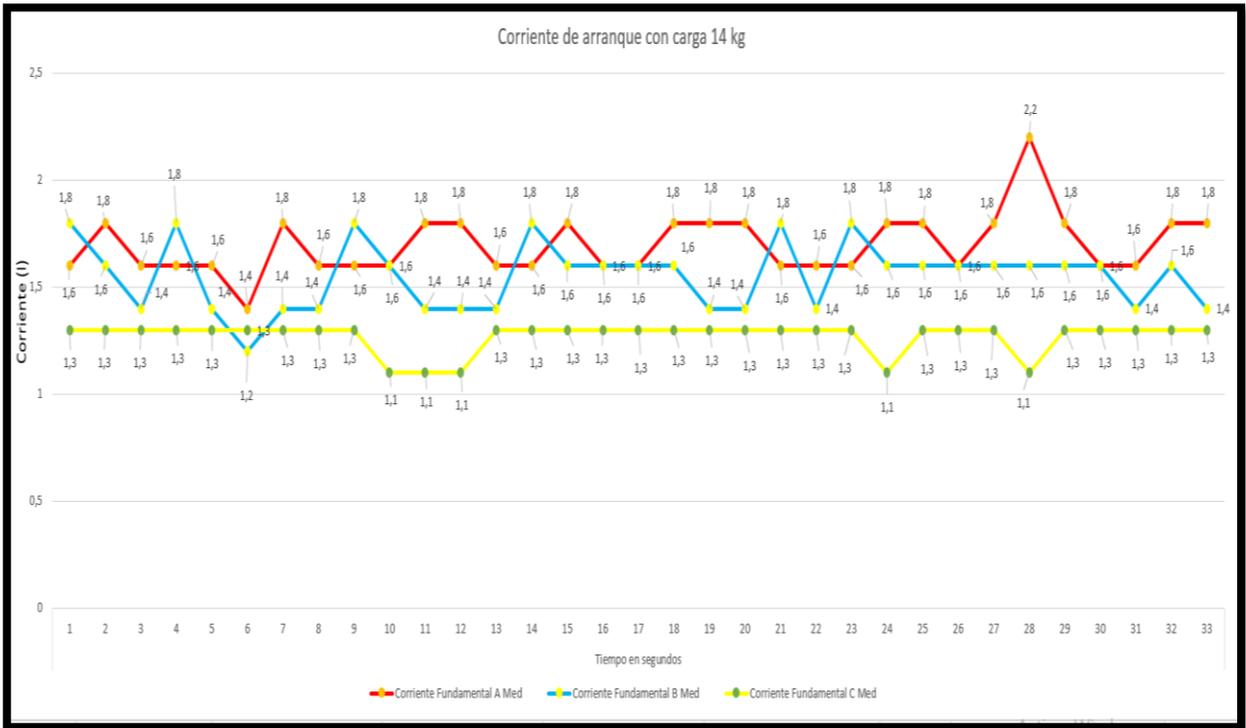


Figura 7. Corriente de arranque directo con carga (14Kg).

Voltaje de arranque con carga de 14kg.

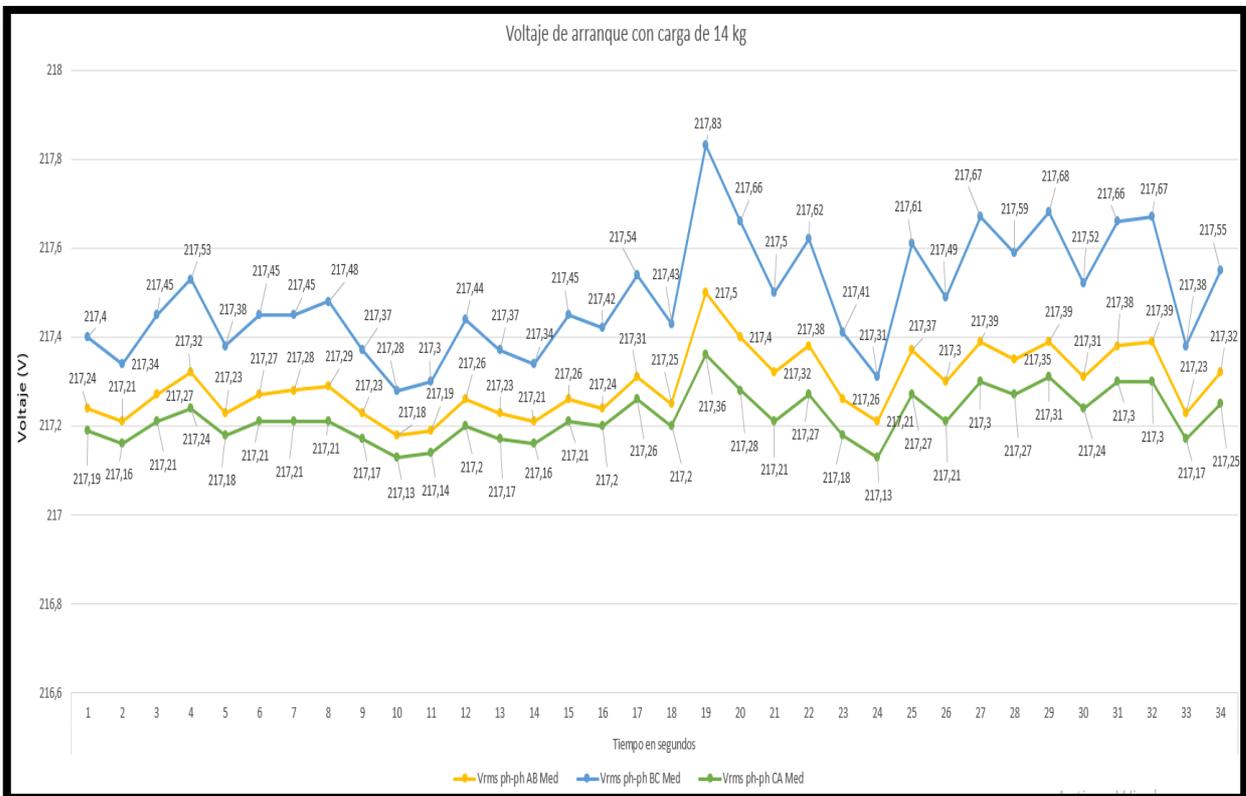
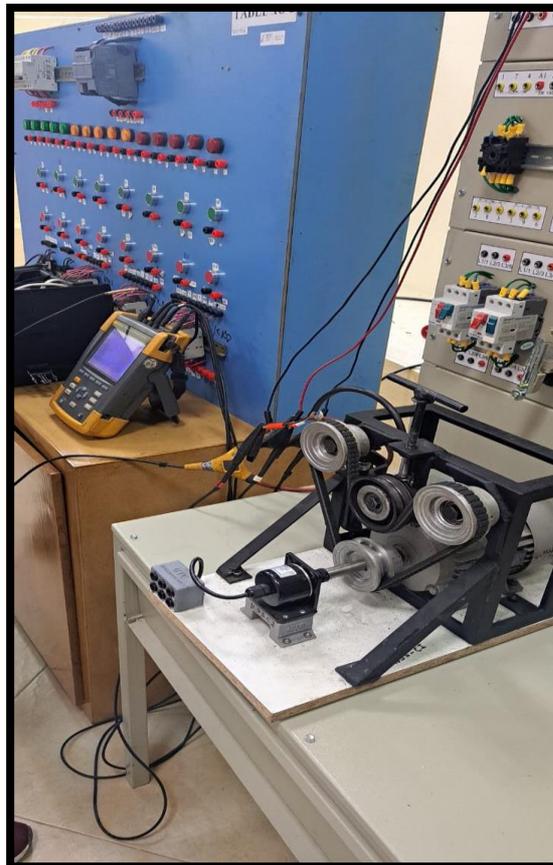


Figura 8. Voltaje de arranque directo con carga (14Kg).

INGENIERÍA ELÉCTRICA / UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL									
REGISTRO DE PRUEBA N. 2									
Practica #2									
TABLA N.1 ARRANQUE ESTRELLA TRIANGULO DE MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO UTILIZANDO ALIMENTACIÓN 3F Y CON UNA CARGA DEL 50% (14kg).								FECHA: 30/06/2023	
ELEMENTOS: BANCO DE PRUEBAS PARA CONTROL INDUSTRIAL, MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO.									
PRUEBA CON CARGA – 14kg - SENTIDO DE GIRO HORARIO									
MEDICIONES REALIZADAS CON EL ANALIZADOR DE REDES									
Tiempo en segundos	Voltaje AB	Voltaje BC	Voltaje CA	Corriente A	Corriente B	Corriente C	Potencia Activa (P)	Potencia Reactiva (Q)	Potencia Aparente (S)
15:45:52	217,23	217,38	217,18	1,6	1,4	1,3	80	70	90
15:45:53	217,27	217,45	217,21	1,4	1,2	1,3	80	70	90
15:45:54	217,28	217,45	217,21	1,8	1,4	1,3	80	70	90
15:45:55	217,29	217,48	217,21	1,6	1,4	1,3	80	70	90
15:45:56	217,23	217,37	217,17	1,6	1,8	1,3	80	70	90
15:45:57	217,18	217,28	217,13	1,6	1,6	1,1	80	70	90
15:45:58	217,19	217,3	217,14	1,8	1,4	1,1	80	80	90
15:45:59	217,26	217,44	217,2	1,8	1,4	1,1	80	80	90
15:46:00	217,23	217,37	217,17	1,6	1,4	1,3	80	80	90
15:46:01	217,21	217,34	217,16	1,6	1,8	1,3	80	70	90
15:46:02	217,26	217,45	217,21	1,8	1,6	1,3	80	70	90
15:46:03	217,24	217,42	217,2	1,6	1,6	1,3	80	70	90
15:46:04	217,31	217,54	217,26	1,6	1,6	1,3	80	70	90
15:46:05	217,25	217,43	217,2	1,8	1,6	1,3	80	70	90
15:46:06	217,5	217,83	217,36	1,8	1,4	1,3	80	70	90
15:46:07	217,4	217,66	217,28	1,8	1,4	1,3	80	70	90
15:46:08	217,32	217,5	217,21	1,6	1,8	1,3	80	70	90
15:46:09	217,38	217,62	217,27	1,6	1,4	1,3	80	70	90
15:46:10	217,26	217,41	217,18	1,6	1,8	1,3	80	70	90
15:46:11	217,21	217,31	217,13	1,8	1,6	1,1	80	70	90
Mediciones del motor con carga de 14kg	Frecuencia (Hz)	60 Hz							
	Velocidad (rpm)	1630							
	corriente (A)	1,8 A							

El motor cuando arranca en la configuración estrella y funciona en triángulo los motores estrella triángulo, los que tienen los puntos para conexión (Y- $\Delta$ ) en el exterior. Se usan principalmente para impulsar cargas centrifugas tales como ventiladores, sopladores, bombas centrifugas, etc. Y en aplicaciones donde se requiere un torque de arranque reducido. Si bien la corriente en el arranque y la corriente de línea son menores al conectarse en estrella que cuando se conecta en triángulo, la corriente del bobinado es menor que la de la línea cuando se conecta en triángulo

Anexo 1. Conexión del motor en configuración estrella triángulo con una carga de **14kg** y uso del analizador de redes.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**LABORATORIOS DE SIMULACIÓN**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**  
**INFORME PRACTICA**

**NOTA:** el informe tiene que ser conciso, simple y claro, no tiene que contener más de 5 hojas, no caratula, no carpetas, no binchas, se tiene que presentar grapado y ocupando toda el área de la hoja de impresión.

**TEMA:** Arranque directo con una carga del 100% (20kg).

**Numero de practica:** 3

**NOMBRES:** Cando Tony- Murillo Rivera

**Fecha:** 30/06/2023

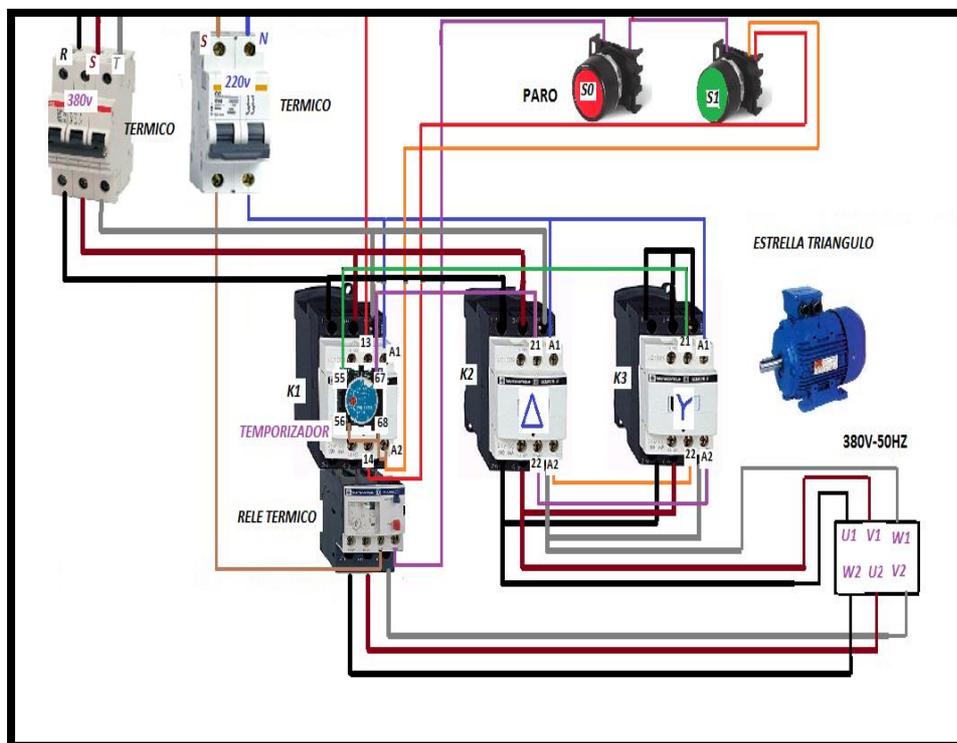
### 1 Procedimiento

- Comprobar el funcionamiento de cada uno de los elementos y equipos a utilizar en el módulo de pruebas.
- Revisión de los cables de conexión para el módulo.
- Normas de seguridad para el uso del módulo de pruebas.
- Normas de seguridad dentro del laboratorio.
- Formatos para elaborar y presentar los informes del laboratorio.
- Revisión del circuito a ser ejecutado.

### 2 Diagramas de fuerza y control

2.1 Temas de importancia para el desarrollo de la práctica.

- Configuración del arranque directo
- Aparatos tecnológicos utilizados



**Figura 9.** Diagrama de control y fuerza para el arranque directo.

## Resultados

### 3 Valores obtenidos en prácticas

Corriente de arranque con carga de 20kg.

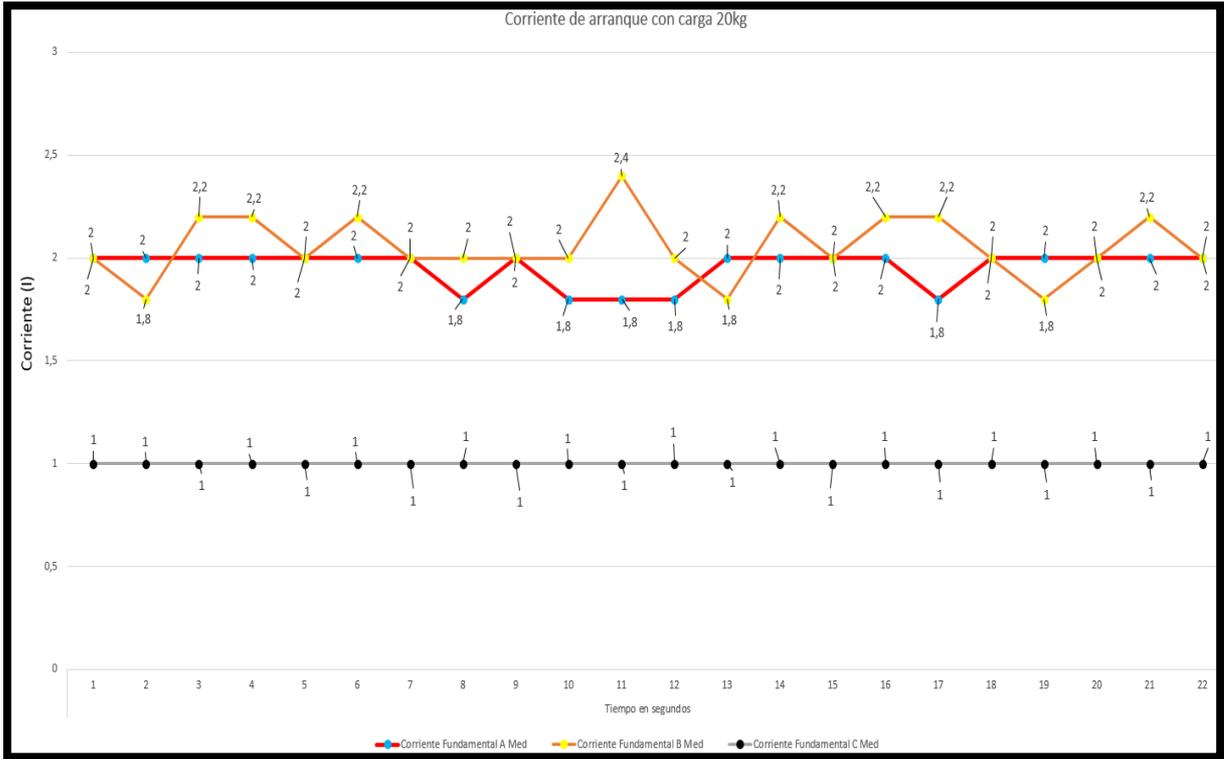


Figura 10. Corriente de arranque directo con carga (20Kg).

Voltaje de arranque con carga de 18kg.

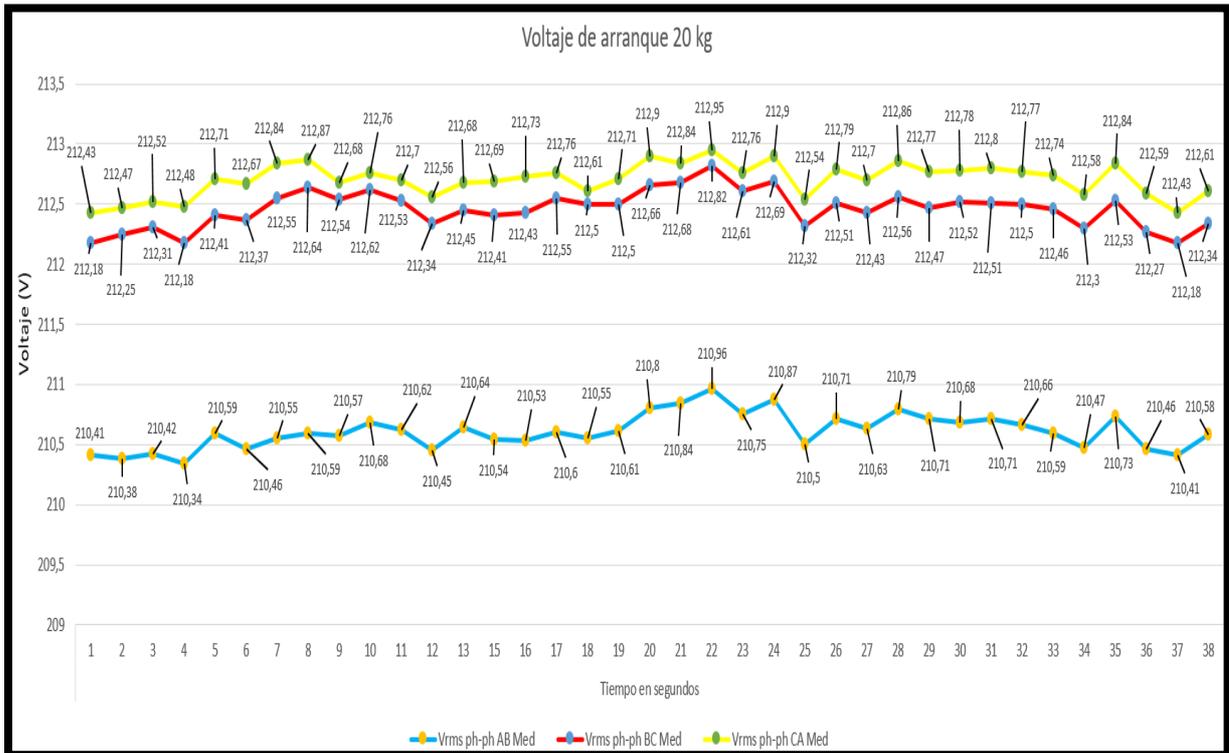


Figura 11. Voltaje de arranque directo con carga (20Kg).

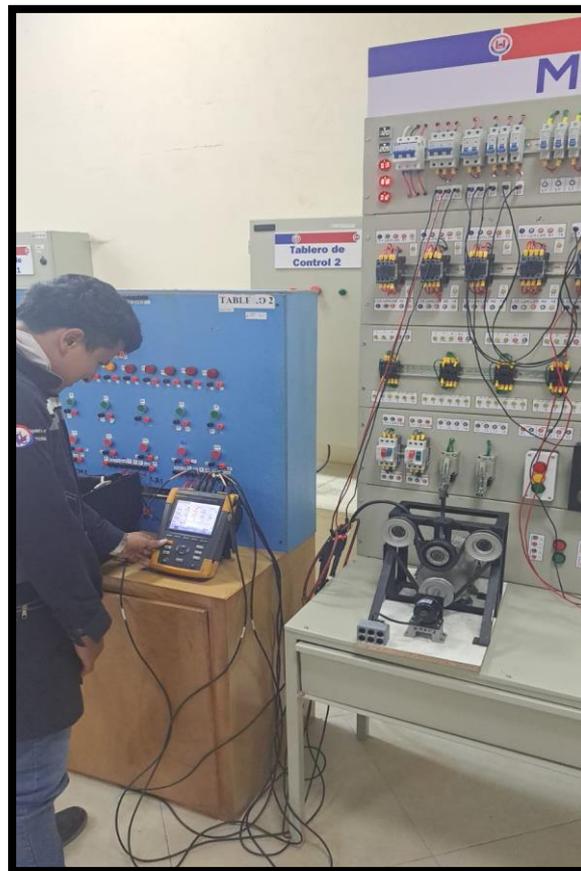
INGENIERÍA ELÉCTRICA / UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL									
REGISTRO DE PRUEBA N. 3									
Practica #3									
TABLA N.1 ARRANQUE ESTRELLA TRIANGULO DE MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO CON ALIMENTACIÓN 3F Y CON UNA CARGA DEL 100% (20kg).								FECHA: 28/06/2023	
ELEMENTOS: BANCO DE PRUEBAS PARA CONTROL INDUSTRIAL, MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO.									
PRUEBA CON CARGA – 20kg - SENTIDO DE GIRO HORARIO									
MEDICIONES REALIZADAS CON EL ANALIZADOR DE REDES									
Tiempo en segundos	Voltaje AB	Voltaje BC	Voltaje CA	Corriente A	Corriente B	Corriente C	Potencia Activa (P)	Potencia Reactiva (Q)	Potencia Aparente (S)
16:18:46	210,59	212,41	212,71	2	1,8	1	10	70	120
16:18:47	210,46	212,37	212,67	2	2,2	1	10	70	120
16:18:48	210,55	212,55	212,84	2	2,2	1	10	70	120
16:18:49	210,59	212,64	212,87	2	2	1	10	70	120
16:18:50	210,57	212,54	212,68	2	2,2	1	10	70	120
16:18:51	210,68	212,62	212,76	2	2	1	10	70	120
16:18:52	210,62	212,53	212,7	1,8	2	1	10	70	120
16:18:53	210,45	212,34	212,56	2	2	1	10	70	120
16:18:54	210,64	212,45	212,68	1,8	2	1	10	70	120
16:18:55	210,54	212,41	212,69	1,8	2,4	1	10	70	120
16:18:56	210,53	212,43	212,73	1,8	2	1	10	70	120
16:18:57	210,6	212,55	212,76	2	1,8	1	10	70	120
16:18:58	210,55	212,5	212,61	2	2,2	1	10	70	120
16:18:59	210,61	212,5	212,71	2	2	1	10	70	120
16:19:00	210,8	212,66	212,9	2	2,2	1	10	60	120
16:19:01	210,84	212,68	212,84	1,8	2,2	1	10	60	120
16:19:02	210,96	212,82	212,95	2	2	1	10	60	120
16:19:03	210,75	212,61	212,76	2	1,8	1	10	70	120
16:19:04	210,87	212,69	212,9	2	2	1	10	70	120
16:19:05	210,5	212,32	212,54	2	2,2	1	10	70	120
Mediciones del motor con carga de 16kg	Frecuencia (Hz)	60 Hz							
	Velocidad (rpm)	1604							
	corriente (A)	2,2 A							

## 4 Conclusiones

En el arranque estrella, el motor consume 3 veces menos la corriente que conectado en triángulo, la aplicación está en el hecho de que las bobinas de un motor trifásico conectados en estrella reciben una tensión menor que el mismo motor conectado en triángulo, para un sistema estrella  $V_L=V_F$  y en el sistema en triángulo,  $V_L=\sqrt{3}V_F$ , ocurriendo lo inverso con las corrientes.

## 5 Anexos

Anexo 1. Conexión directa del motor en configuración estrella con una carga de **20kg** y uso del analizador de redes.





# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## PRÁCTICA DE LABORATORIO LABORATORIO DE SIMULACIÓN CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

<b>ELABORADO POR:</b>	<b>REVISADO POR:</b>	<b>APROBADO POR:</b>
FECHA:	FECHA:	
<b>CARRERA</b>	<b>CÓDIGO DE LA ASIGNATURA</b>	<b>NOMBRE DE LA ASIGNATURA</b>
INGENIERÍA ELÉCTRICA		

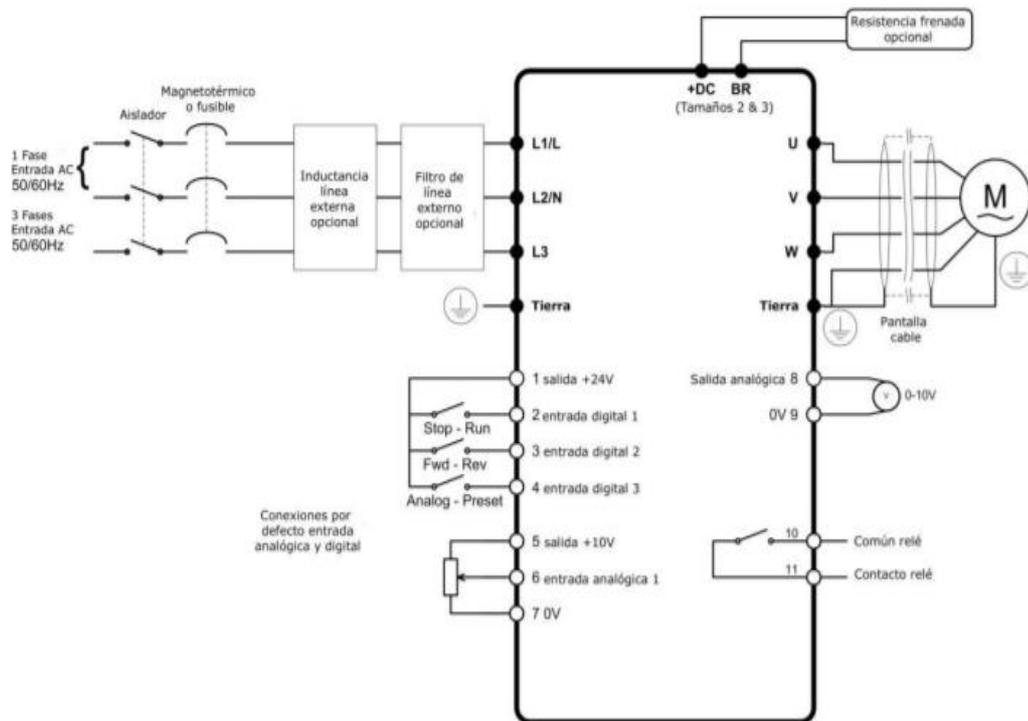
<b>PRÁCTICA N°</b>	<b>LABORATORIO:</b>	Laboratorio de control eléctrico industrial	<b>DURACIÓN (HORAS)</b>
3	<b>NOMBRE DE LA PRÁCTICA:</b>	Arranque suave	3

<b>1</b>	<b>OBJETIVO</b>
	<ul style="list-style-type: none"><li>Realizar el diagrama de circuito de mando y fuerza para entender el consumo eléctrico del arranque suave para los motores asíncronos trifásicos.</li><li>Montar los diagramas en el tablero con los equipos principales para el sistema de arranque.</li><li>Evaluar los niveles de tensión, corriente, potencia y armónicos que se presentan en el motor asíncrono con el arranque suave.</li></ul>

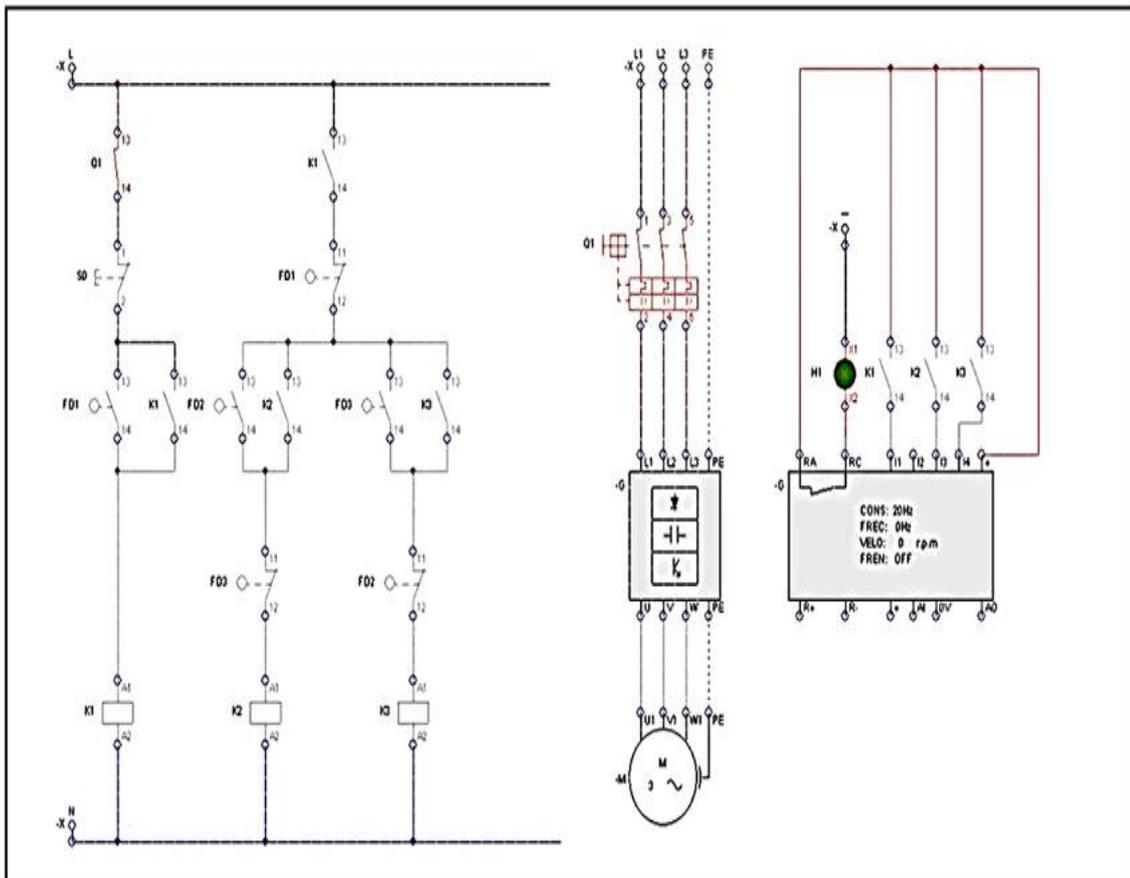
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b>
	<h3>2.1. INTRODUCCIÓN</h3> <p>El arranque suave es un método utilizado para iniciar motores asíncronos trifásicos de manera gradual, evitando corrientes de arranque elevadas y reduciendo los impactos mecánicos y eléctricos en el sistema. Este método se utiliza cuando se requiere un arranque suave y controlado del motor, especialmente en aplicaciones donde la carga es pesada o sensible. Hay varios métodos de arranque suave disponibles para motores asíncronos trifásicos, y a continuación se presentan algunos de los más comunes:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Arrancadores electrónicos: Los arrancadores electrónicos utilizan dispositivos de estado sólido, como tiristores o transistores, para controlar la tensión y la corriente suministradas al motor durante el arranque. Estos dispositivos permiten variar</li></ul>

gradualmente la tensión y la frecuencia aplicadas al motor, lo que resulta en un arranque suave y controlado.

- Arrancadores estrella-delta: Similar al arranque estrella-triángulo, en este método se utiliza una conexión inicial en estrella (con tensión reducida) para arrancar el motor, y luego se cambia a una conexión en triángulo (con tensión completa) una vez que el motor ha alcanzado una velocidad nominal. El cambio de conexión se realiza utilizando contactores controlados por un temporizador o un controlador.
- Arrancadores con autotransformador: Los arrancadores con autotransformador utilizan un autotransformador para reducir la tensión aplicada al motor durante el arranque.
- Arrancadores con variadores de frecuencia: Los variadores de frecuencia, también conocidos como convertidores de frecuencia variable o inversores, permiten controlar la velocidad y la frecuencia suministrada al motor de forma precisa. Durante el arranque, el variador de frecuencia puede ajustar gradualmente la frecuencia y la tensión aplicada al motor, proporcionando un arranque suave y controlado.



**Figura 7.** Conexión en el variador de frecuencia [30].



**Figura 8.** Esquema de conexión en el variador de frecuencia [33].

## 2.2 EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS

### Equipos:

Equipo de cómputo, Variador de frecuencia, Tablero de control, Analizador Fluke, Multímetro, Motor asíncrono (1 Hp).

## 2.3 MEDIDAS DE SEGURIDAD

EPP: Mandil, alcohol y mascarilla.

### Instrucciones de seguridad:

- Lea y comprenda la presente guía de laboratorio.
- Lea y comprenda el manual de seguridad y operación de la máquina de ensayos universales.
- No corra dentro del laboratorio.
- Absténgase de usar el teléfono celular.
- Aleje sus manos de las partes móviles del equipo.
- Leer el manual de uso del variador de frecuencia.

## 2.3 TRABAJO PREPARATORIO

### 2.4.1. ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR

¿Cómo conectar un variador de frecuencia? ¿Cómo parametrizar un variador de frecuencia?

## 1. Conectar las líneas de potencia

Lo primero de todo es conectar las líneas de potencia en el variador de frecuencia. Por líneas de potencia entendemos las líneas que alimentarán la fuerza del variador y al motor por lo que se conectan a la red eléctrica.



Figura 4. Conexión de las líneas de alimentación.

## 2. Conectar la marcha/paro (control externo)

El siguiente paso depende de la forma en la que queramos controlar nuestro variador. Se pueden definir dos formas de controlar el arranque y la parada del variador:

### Control de la marcha y el paro mediante el display/console del variador

De esta forma no se requiere de cableado extra, ya que se controla el arranque y la parada con los botones disponibles en el display del variador.

### Control de la marcha y el paro mediante elementos externos

Si el variador trabaja conjuntamente con otros equipos o colocar dentro de un cuadro eléctrico y arrancarlo y pararlo con un pulsador o selector.



Figura 5. Control de marcha.

## 3. Ingresar los valores nominales del motor

Introducir en el variador los parámetros que aparecen en la placa de características del motor, de forma que el control sea el óptimo. La mayor parte de los fabricantes incorporan estos parámetros dentro del grupo de «parámetros básicos». Dichos parámetros son:

- Tensión nominal del motor (220V – 380V)
- Intensidad nominal del motor

- Velocidad de giro (indicada en RPM)
- Potencia (kW o CV/HP)
- Factor de potencia



**Figura 6.** Parámetros del motor.

#### **Conexión de los elementos para el arranque del circuito.**

- El variador de frecuencia está programado en una frecuencia de 0 Hz como su valor mínimo y 60 Hz como su valor máximo.
- Primero se deberá conectar los 3 terminales de salida del variador a los 3 terminales de entrada del guardamotor, y los 3 terminales de salida del guardamotor se deberá conectar al motor trifásico.
- La alimentación del variador de frecuencia se la deberá realizar por medio de dos fases, teniendo en la parte superior del módulo un breaker de dos polos destinado a este servicio de protección.
- Una vez realizada la alimentación del variador de frecuencia y hecho el circuito de potencia proceder a energizar el variador, esperar un tiempo prudente hasta que este arranque de una manera correcta.
- Una vez con el variador estable nos vamos hacia la pantalla del variador y pulsamos la tecla menú, con los mandos de selección arriba-abajo-izquierda, nos posicionamos en las diferentes opciones de programación en este caso seleccionamos la opción A0.04 y mantenemos pulsada la tecla shift/enter por un tiempo de 2 segundos hasta que nos dirija hasta las opciones de este apartado de programación, y seleccionamos la opción 0 que es control del variador por medio del panel, para guardar esta selección pulsamos nuevamente la tecla shift/enter por un tiempo de 2 segundos y se guardada la selección de programación.
- Luego seleccionamos la opción A0.05 y mantenemos pulsada la tecla shift/enter por un tiempo de 2 segundos hasta que nos dirija hasta las opciones de este apartado de programación, y seleccionamos la opción 0 o 1 para las opciones de giro del variador, siendo 0 sentido Horario y 1 antihorario, para guardar esta selección pulsamos otra vez la tecla shift/enter por 2 segundos y se guarda la selección de programación.
- Una vez realizada estas selecciones presionamos la tecla shift/enter hasta que el

variador quede en la pantalla inicial, y luego presionamos la tecla RUN y por medio del potenciómetro disponible en la pantalla vamos variando la frecuencia y verificamos como varia la velocidad del motor y además visualizamos el sentido de giro.

- Para parar el giro del motor pulsamos nuevamente la tecla RUN.
- Para realizar la inversión de giro seleccionamos nuevamente la opción A0.05 y mantenemos pulsada la tecla shift/enter por un tiempo de 3 segundos hasta que nos dirija hasta las opciones de este apartado de programación, y seleccionamos una opción diferente a la inicial y guardamos la selección.
- Nuevamente presionamos la tecla RUN y observamos cómo se ha invertido el giro de funcionamiento del motor y para parar el giro del motor nuevamente presionamos la tecla RUN.
- Para cambiar el modo de mando del arranque realizamos el procedimiento inicial selección de la opción A0.04 y ahora seleccionamos la opción 1.
- Una vez realizada esta selección conectamos un selector de tres posiciones entre los terminales Común, X1 y X2 del variador de frecuencia.
- Una vez realizada esta conexión accionamos el selector y verificamos el funcionamiento del motor y de la misma manera vamos variando la frecuencia por medio del potenciómetro disponible en la pantalla del mismo adicional para realizar la inversión de giro primero ponemos el selector en la posición 0 o posición OFF y esperamos hasta que el motor se detenga y luego accionamos el selector al lado contrario y comprobamos la inversión de giro.

### **Arranque suave con variador de frecuencia.**

El arranque suave en motores asíncronos trifásicos ofrece varias características y beneficios importantes. A continuación, se presentan algunas de las principales características del arranque suave:

- Reducción de corriente de arranque: El arranque suave permite limitar y controlar la corriente de arranque del motor, evitando así picos de corriente elevados. Esto ayuda a evitar sobrecargas en el sistema eléctrico y reduce el estrés en los componentes del motor y la carga conectada.
- Menor impacto mecánico: Al iniciar el motor de manera gradual, el arranque suave minimiza los impactos mecánicos y las vibraciones asociadas con un arranque brusco. Esto ayuda a prolongar la vida útil del motor y reduce el desgaste en los elementos mecánicos de la maquinaria o equipos conectados.
- Control preciso de la aceleración: El arranque suave permite un control preciso de

la velocidad de aceleración del motor. Esto es especialmente útil en aplicaciones donde se requiere un ajuste fino de la velocidad o una respuesta suave a cambios de carga repentinos.

- **Protección del sistema eléctrico:** Al limitar la corriente de arranque, el arranque suave protege el sistema eléctrico de sobrecargas y minimiza las fluctuaciones de tensión. Esto ayuda a prevenir apagones y garantiza un funcionamiento estable de otros equipos conectados a la misma red eléctrica.
- **Mayor eficiencia energética:** Al reducir la corriente de arranque y los impactos mecánicos, el arranque suave contribuye a una mayor eficiencia energética. Esto se traduce en ahorro de energía y reducción de los costos operativos a lo largo del tiempo.
- **Flexibilidad en la selección de métodos de arranque:** El arranque suave ofrece una variedad de métodos y tecnologías disponibles para adaptarse a diferentes aplicaciones y requisitos. Esto incluye arrancadores electrónicos, arrancadores estrella-delta, arrancadores con autotransformador, variadores de frecuencia, entre otros.

### **2.3 METODOLOGÍA Y TÉCNICA EXPERIMENTAL**

Para la conexión en el tablero de control industrial se sigue los siguientes pasos:

- a) **Energizar el tablero:** Comprobar si los disyuntores están energizados.
- b) **Conexión el circuito:** Se utiliza los cables adaptados para el tablero.
- c) **Conectar componentes:** Conecta los componentes eléctricos de acuerdo con las especificaciones del motor y los elementos electromagnéticos a utilizar.
- d) **Configurar propiedades de los componentes:** Configurar el variador de frecuencia según las características del motor.
- e) **Revisión de la conexión del circuito:** realizar la revisión y posible comparación de los componentes ya conectados (alimentación de los contactores y guardamotors).
- f) **Ejecutar la conexión:** Ejecutamos la activación del circuito para el arranque con variador de frecuencia. Realizar la respectiva conexión del equipo de medición (analizador de redes) y recopilamos los resultados como las potencias, corrientes y tensiones en cada componente.
- g) **Analizar los resultados:** Examina los resultados obtenidos mediante una tabla de comparación.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**LABORATORIOS DE SIMULACIÓN**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**  
**INFORME PRACTICA**

**Nota:** El informe tiene que ser conciso, simple y claro, no tiene que contener más de 5 hojas, no caratula, no carpetas, no binchas, se tiene que presentar grapado y ocupando toda el área de la hoja de impresión.

**TEMA:** Arranque directo utilizando un variador de frecuencia sin carga.

**Numero de practica:** 1

**NOMBRES:** Cando Tony- Murillo Rivera

**Fecha:** 01/07/2023

1	Procedimiento
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Comprobar el funcionamiento de cada uno de los elementos y equipos a utilizar en el módulo de pruebas.</li><li>• Revisión de los cables de conexión para el módulo.</li><li>• Normas de seguridad para el uso del módulo de pruebas.</li><li>• Normas de seguridad dentro del laboratorio.</li><li>• Formatos para elaborar y presentar los informes del laboratorio.</li><li>• Revisión del circuito a ser ejecutado.</li></ul>
2	Diagramas de fuerza y control

2.1 Temas de importancia para el desarrollo de la práctica.

- Configuración del arranque directo
- Aparatos tecnológicos utilizados
- Analizar las conexiones del variador de frecuencia.

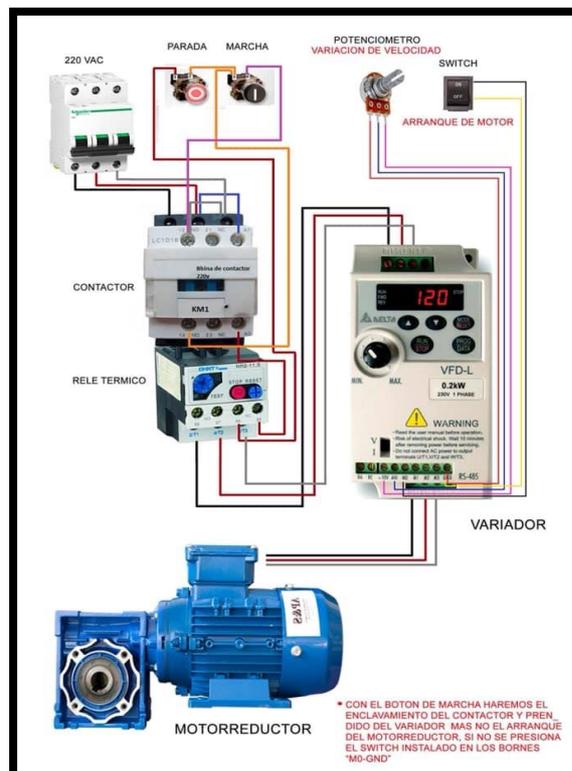


Figura 3. Diagrama de control y fuerza para el arranque directo.

# Resultados

## 3 Valores obtenidos en prácticas

Corriente de arranque en configuración estrella triangulo en vacío.

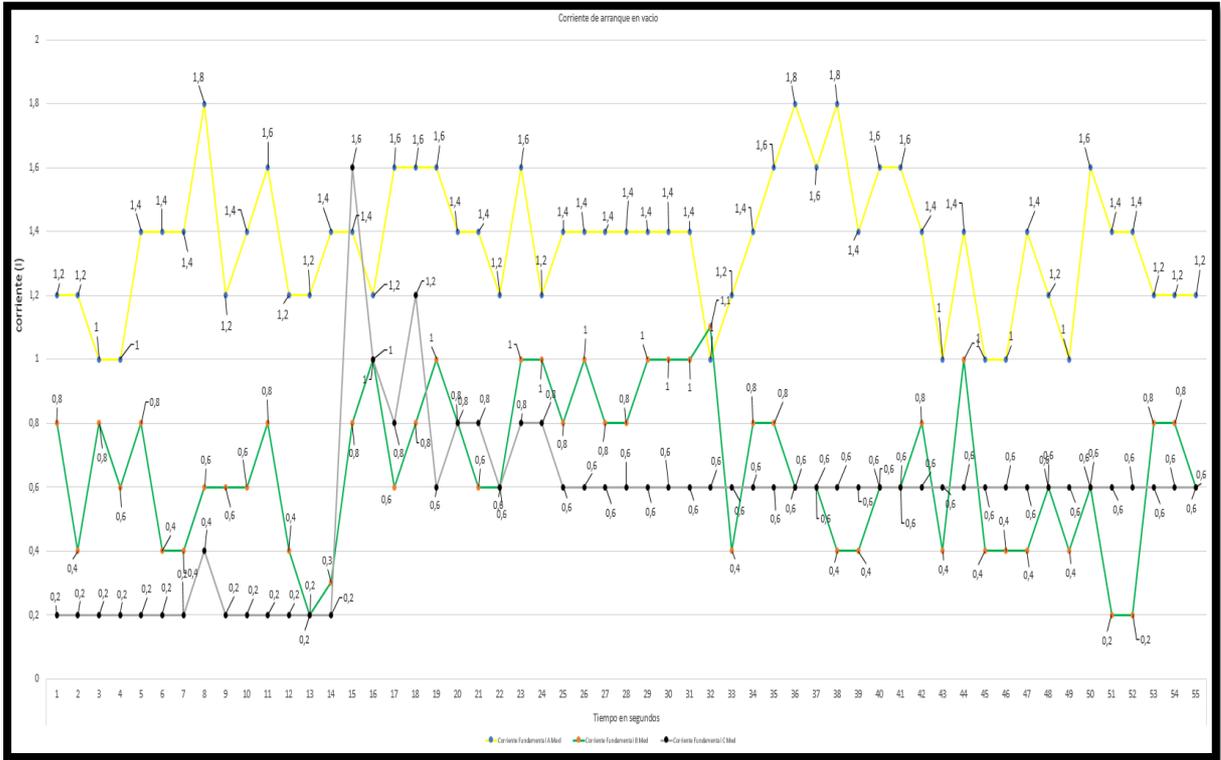


Figura 4. Pico de corriente en arranque estrella triangulo en vacío.

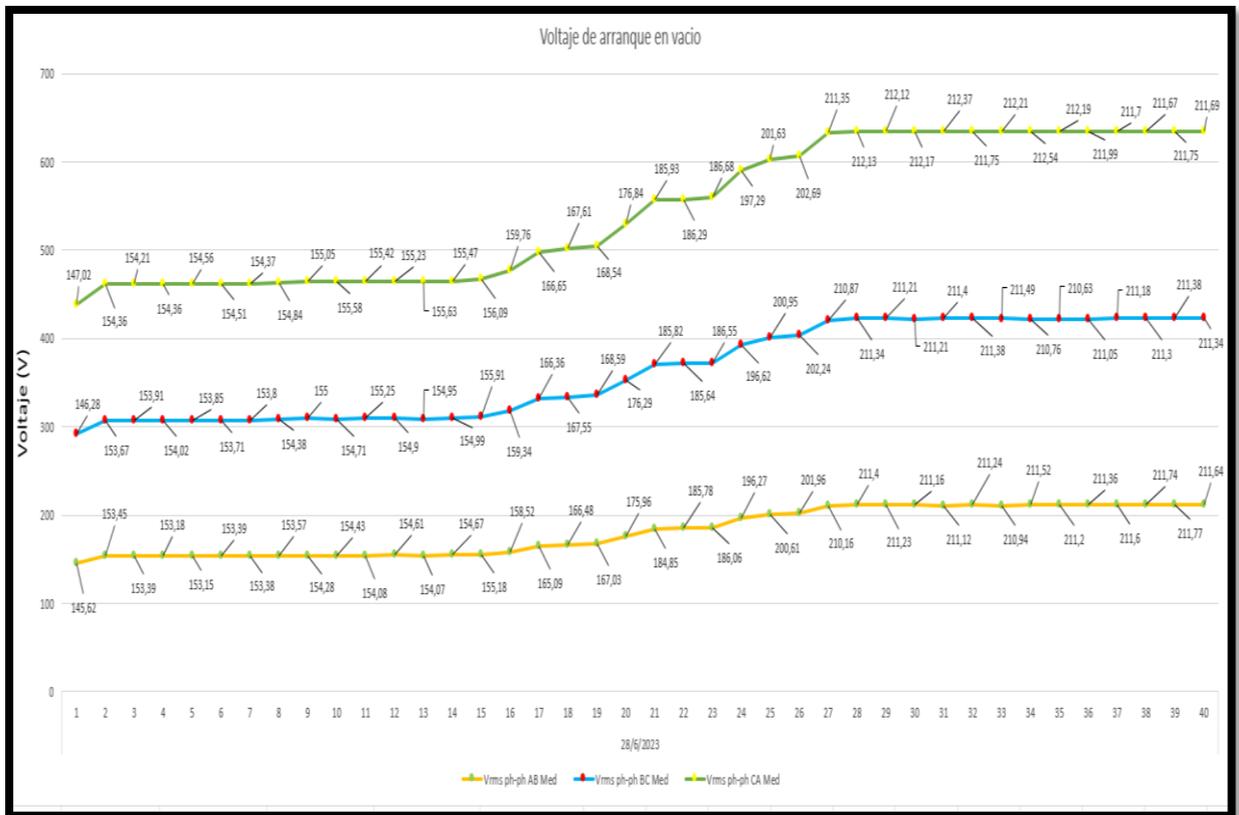


Figura 5. Voltaje de arranque estrella triangulo en vacío.

INGENIERÍA ELÉCTRICA / UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL									
REGISTRO DE PRUEBA N. 1									
Practica #1									
TABLA N.1 ARRANQUE DE MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO UTILIZANDO UN VARIADOR DE FRECUENCIA CON ALIMENTACIÓN 3F									FECHA:
30/06/2023									
ELEMENTOS: BANCO DE PRUEBAS PARA CONTROL INDUSTRIAL, MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO JAULA DE ARDILLA.									
PRUEBA SIN CARGA - SENTIDO DE GIRO HORARIO									
MEDICIONES REALIZADAS CON EL ANALIZADOR DE REDES									
Tiempo en segundos	Voltaje AB	Voltaje BC	Voltaje CA	Corriente A	Corriente B	Corriente C	Potencia Activa (P)	Potencia Reactiva (Q)	Potencia Aparente (S)
13:47:12	154,07	154,95	155,63	1,2	0,6	0,2	10	10	10
13:47:13	154,67	154,99	155,47	1,4	0,6	0,2	10	20	20
13:47:14	155,18	155,91	156,09	1,6	0,8	0,2	10	60	20
13:47:15	158,52	159,34	159,76	1,2	0,4	0,2	10	50	120
13:47:16	165,09	166,36	166,65	1,2	0,2	0,2	10	80	80
13:47:17	166,48	167,55	167,61	1,4	0,3	0,2	10	40	60
13:47:18	167,03	168,59	168,54	1,4	0,8	1,6	10	50	80
13:47:19	175,96	176,29	176,84	1,2	1	1	10	50	90
13:47:20	184,85	185,82	185,93	1,6	0,6	0,8	10	50	60
13:47:21	185,78	185,64	186,29	1,6	0,8	1,2	10	50	60
13:47:22	186,06	186,55	186,68	1,6	1	0,6	10	50	70
13:47:23	196,27	196,62	197,29	1,4	0,8	0,8	10	50	60
13:47:24	200,61	200,95	201,63	1,4	0,6	0,8	10	50	60
13:47:25	201,96	202,24	202,69	1,2	0,6	0,6	10	50	70
13:47:26	210,16	210,87	211,35	1,6	1	0,8	10	50	60
13:47:27	211,4	211,34	212,13	1,2	1	0,8	10	40	60
13:47:28	211,23	211,21	212,12	1,4	0,8	0,6	10	50	70
13:47:29	211,16	211,21	212,17	1,4	1	0,6	20	50	70
13:47:30	211,12	211,4	212,37	1,4	0,8	0,6	30	50	70
13:47:31	211,24	211,38	211,75	1,4	0,8	0,6	40	50	70
características del motor en vacío	Frecuencia (Hz)	60 Hz							
	Velocidad (rpm)	1650							
	corriente (A)	1,6 A							

#### 4 Conclusiones

Desarrollando el sistema al final se logró el accionamiento del inicio del circuito y puesta en marcha con un tiempo de 1 minuto, encontrando el valor en el pico de arranque en este caso 1,2 A mitigando los picos de corriente a lo largo del tiempo que se encuentra trabajando el motor.

#### 5 Anexos

Anexo 1 Tablero de control industrial usado para las practicas.



Anexo 2. Motor trifásico jaula de ardilla de 1hp.



Anexo 2. Conexión con un variador de frecuencia en vacío y uso del analizador de redes.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**LABORATORIOS DE SIMULACIÓN**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**  
**INFORME PRACTICA**

Nota: el informe tiene que ser conciso, simple y claro, no tiene que contener más de 5 hojas, no caratula, no carpetas, no binchas, se tiene que presentar grapado y ocupando toda el área de la hoja de impresión.

TEMA: Arranque directo con un variador de frecuencia utilizando una carga de **14kg**

Numero de practica: 5

NOMBRES: Cando Tony- Murillo Rivera

Fecha: 29/06/2023

1	Procedimiento
---	---------------

- Comprobar el funcionamiento de cada uno de los elementos y equipos a utilizar en el módulo de pruebas.
- Revisión de los cables de conexión para el módulo.
- Normas de seguridad para el uso del módulo de pruebas.
- Normas de seguridad dentro del laboratorio.
- Formatos para elaborar y presentar los informes del laboratorio.
- Revisión del circuito a ser ejecutado.

2	Diagramas de fuerza y control
---	-------------------------------

2.1 Temas de importancia para el desarrollo de la práctica.

- Configuración del arranque directo
- Aparatos tecnológicos utilizados

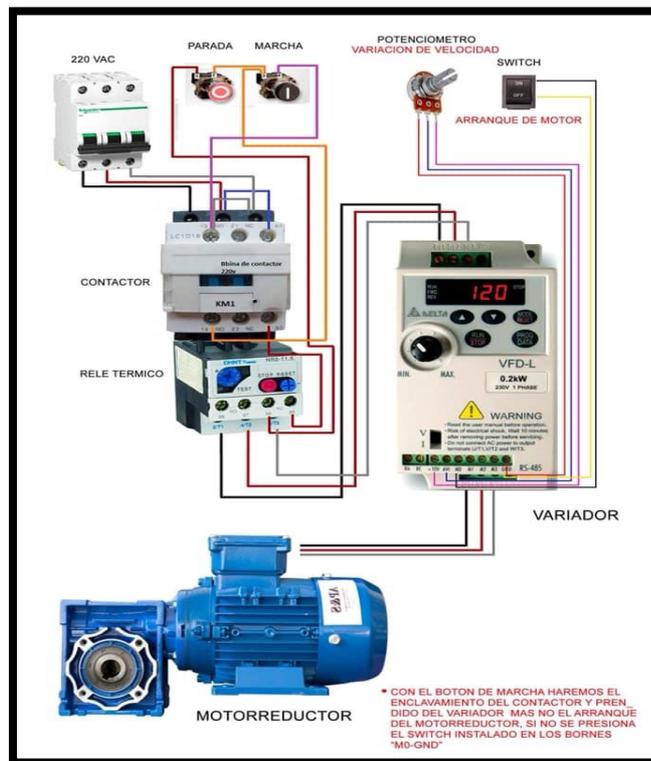


Figura 3. Diagrama de control y fuerza para el arranque directo.

## Resultados

### 3 Valores obtenidos en prácticas

Corriente de arranque con carga de 14kg.

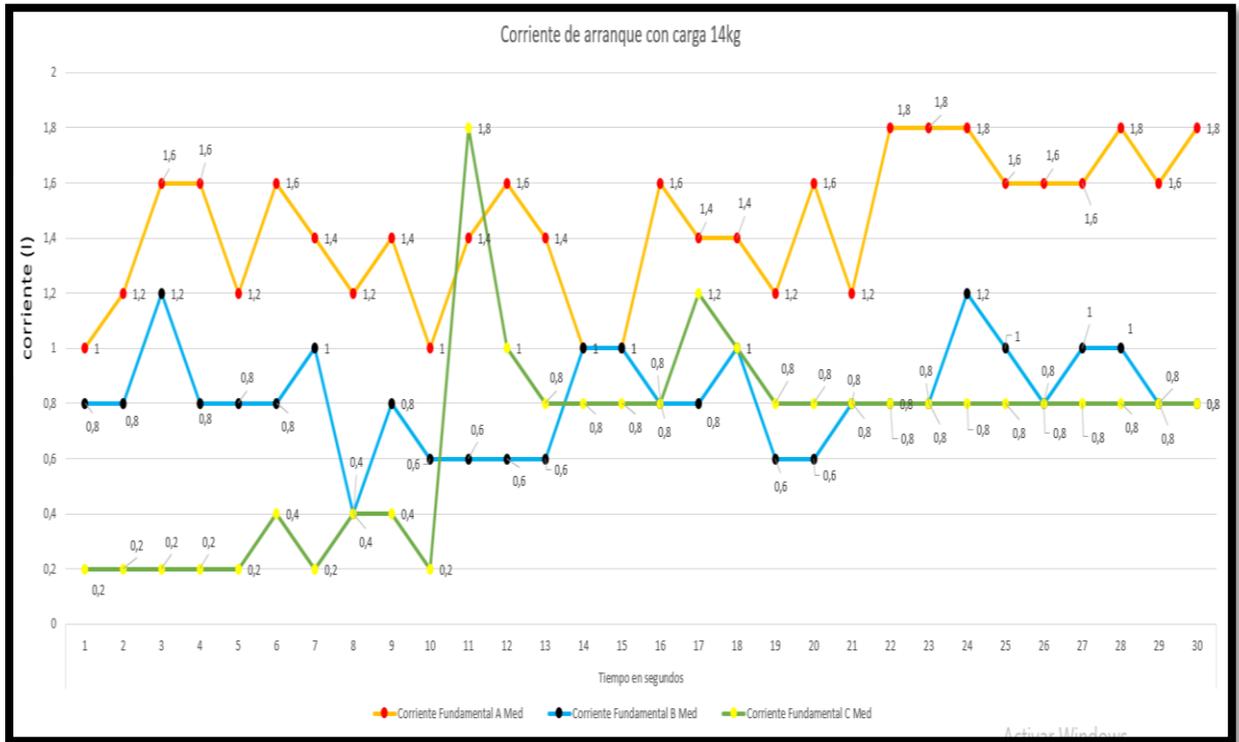


Figura 12. Corriente de arranque directo con carga (14Kg).

Voltaje de arranque con carga de 14kg.

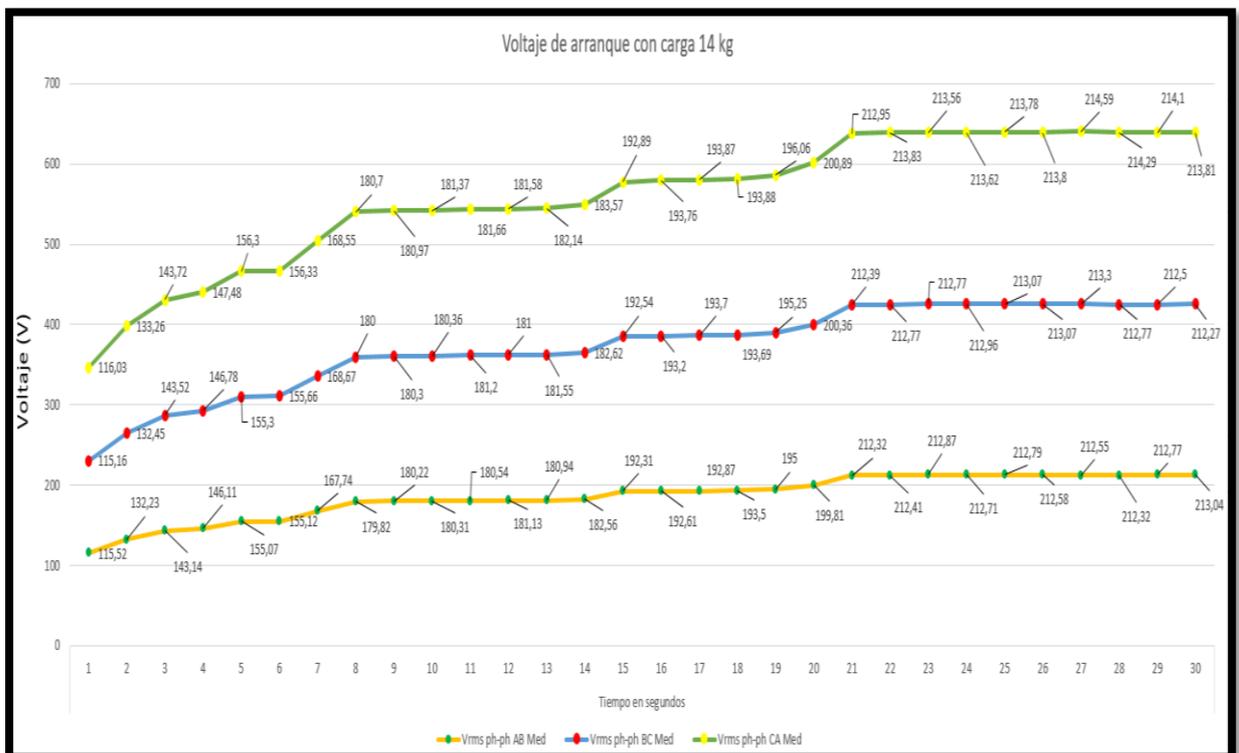


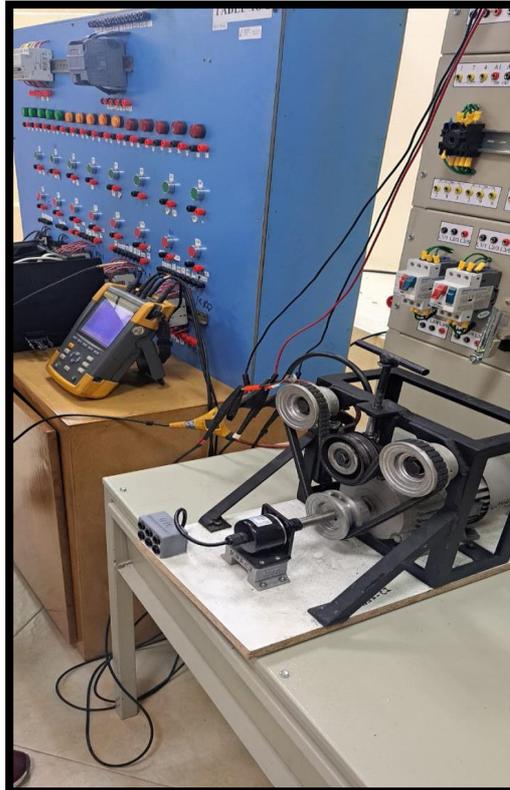
Figura 13. Voltaje de arranque directo con carga (14Kg).

INGENIERÍA ELÉCTRICA / UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL									
REGISTRO DE PRUEBA N. 5									
Practica #5									
TABLA N.1 ARRANQUE DE MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO UTILIZANDO UN VARIADOR DE FRECUENCIA CON ALIMENTACIÓN 3F								FECHA:	
								30/06/2023	
ELEMENTOS: BANCO DE PRUEBAS PARA CONTROL INDUSTRIAL, MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO JAULA DE ARDILLA.									
PRUEBA CON CARGA – 14kg - SENTIDO DE GIRO HORARIO									
MEDICIONES REALIZADAS CON EL ANALIZADOR DE REDES									
Tiempo en segundos	Voltaje AB	Voltaje BC	Voltaje CA	Corriente A	Corriente B	Corriente C	Potencia Activa (P)	Potencia Reactiva (Q)	Potencia Aparente (S)
12:42:48	166,48	167,55	167,61	1,2	0,8	0,2	0,1	10	20
12:42:49	167,03	168,59	168,54	1,2	0,4	0,2	0,1	20	20
12:42:50	175,96	176,29	176,84	1	0,8	0,2	0,1	60	120
12:42:51	184,85	185,82	185,93	1	0,6	0,2	0,2	50	80
12:42:52	185,78	185,64	186,29	1,4	0,8	0,2	0,2	80	60
12:42:53	186,06	186,55	186,68	1,4	0,4	0,2	0,1	40	80
12:42:54	196,27	196,62	197,29	1,4	0,4	0,2	0,2	50	90
12:42:55	200,61	200,95	201,63	1,8	0,6	0,4	0,2	50	60
12:42:56	201,96	202,24	202,69	1,2	0,6	0,2	0,3	50	60
12:42:57	210,16	210,87	211,35	1,4	0,6	0,2	0,4	50	70
12:42:58	211,4	211,34	212,13	1,6	0,8	0,2	0,4	50	60
12:42:59	211,23	211,21	212,12	1,2	0,4	0,2	4,1	50	60
12:43:00	211,16	211,21	212,17	1,2	0,2	0,2	0,4	50	70
12:43:01	211,12	211,4	212,37	1,4	0,3	0,2	0,4	50	60
12:43:02	211,24	211,38	211,75	1,4	0,8	1,6	1,1	50	60
12:43:03	210,94	211,49	212,21	1,2	1	1	0,4	40	70
12:43:04	211,52	210,76	212,54	1,6	0,6	0,8	0,3	50	70
12:43:05	211,2	210,63	212,19	1,6	0,8	1,2	0,3	50	70
12:43:06	211,36	211,05	211,99	1,6	1	0,6	0,3	50	70
12:43:07	211,6	211,18	211,7	1,4	0,8	0,8	0,6	50	70
Mediciones del motor con carga de 14kg	Frecuencia (Hz)	60 Hz							
	Velocidad (rpm)	1589							
	corriente (A)	1,8 A							

Al momento de arrancar el motor tenemos unos parámetros estables con una corriente de un 50% del nominal 1,8 A el cual el arranque con un peso de 14kg el motor trabaja en una condición estable.

**5** Anexos

Anexo 1. Conexión directa del motor en configuración estrella con una carga de **14kg** y uso del analizador de redes.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**LABORATORIOS DE SIMULACIÓN**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**  
**INFORME PRACTICA**

Nota: el informe tiene que ser conciso, simple y claro, no tiene que contener más de 5 hojas, no caratula, no carpetas, no binchas, se tiene que presentar grapado y ocupando toda el área de la hoja de impresión.

TEMA: Arranque directo utilizando un variador de frecuencia con una carga de **20kg**

Numero de practica: 8

NOMBRES: Cando Tony- Murillo Rivera

Fecha:

1	Procedimiento
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Comprobar el funcionamiento de cada uno de los elementos y equipos a utilizar en el módulo de pruebas.</li><li>• Revisión de los cables de conexión para el módulo.</li><li>• Normas de seguridad para el uso del módulo de pruebas.</li><li>• Normas de seguridad dentro del laboratorio.</li><li>• Formatos para elaborar y presentar los informes del laboratorio.</li><li>• Revisión del circuito a ser ejecutado.</li></ul>
2	Diagramas de fuerza y control

2.1 Temas de importancia para el desarrollo de la práctica.

- Configuración del arranque directo
- Aparatos tecnológicos utilizados

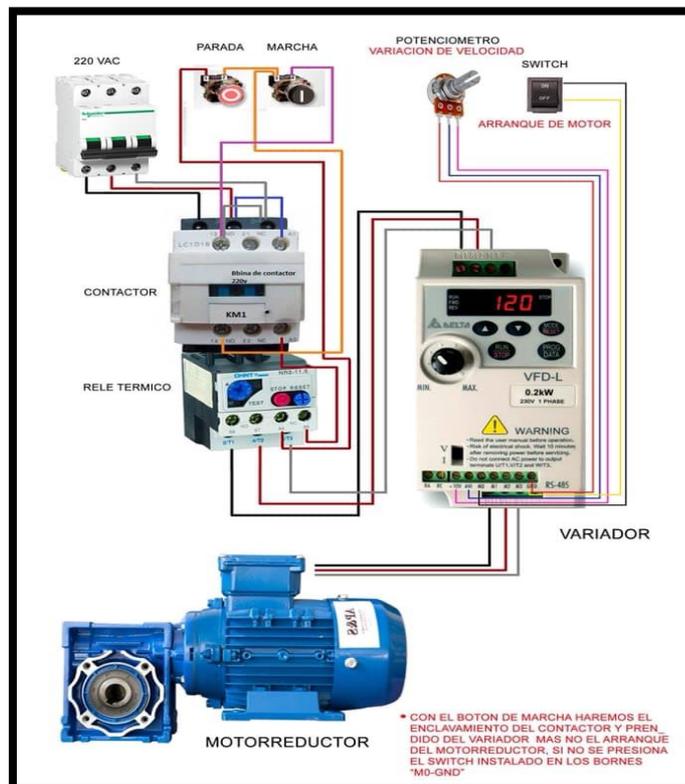


Figura 3. Diagrama de control y fuerza para el arranque directo.

## Resultados

### 3 Valores obtenidos en prácticas

Corriente de arranque con carga de 20kg.

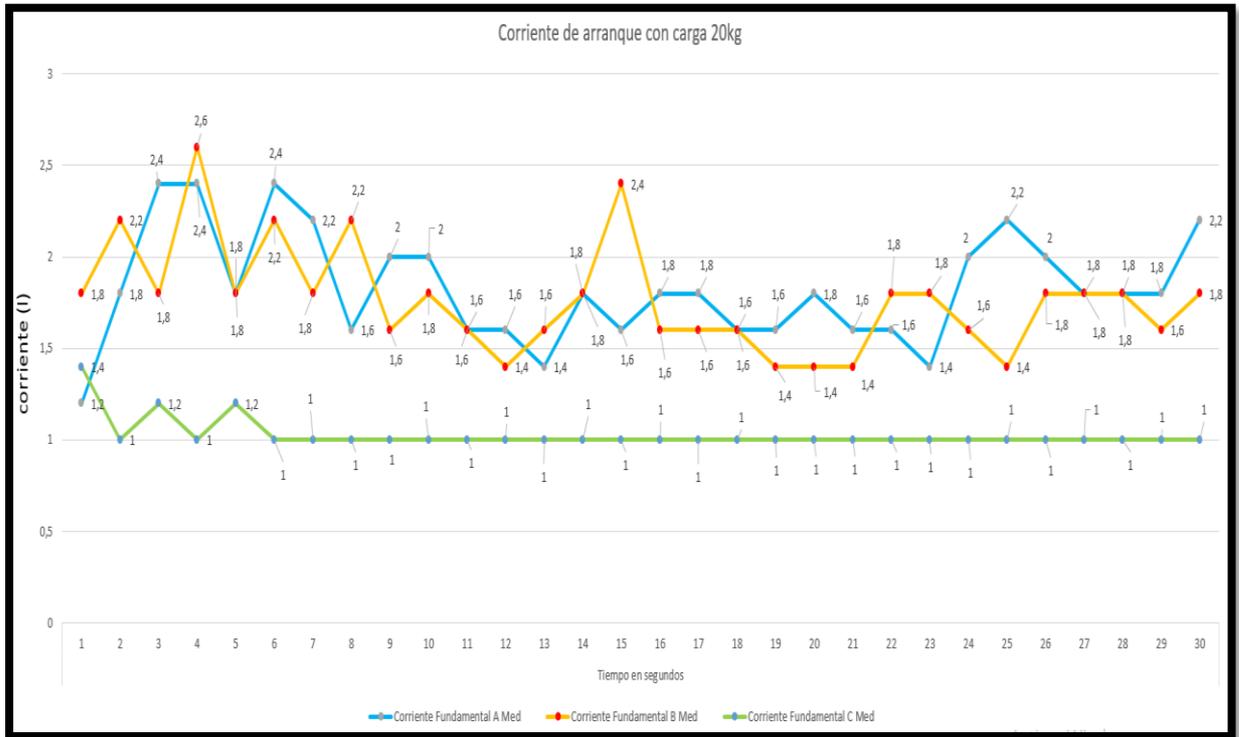


Figura 18. Corriente de arranque directo con carga (20Kg).

Voltaje de arranque con carga de 20kg.

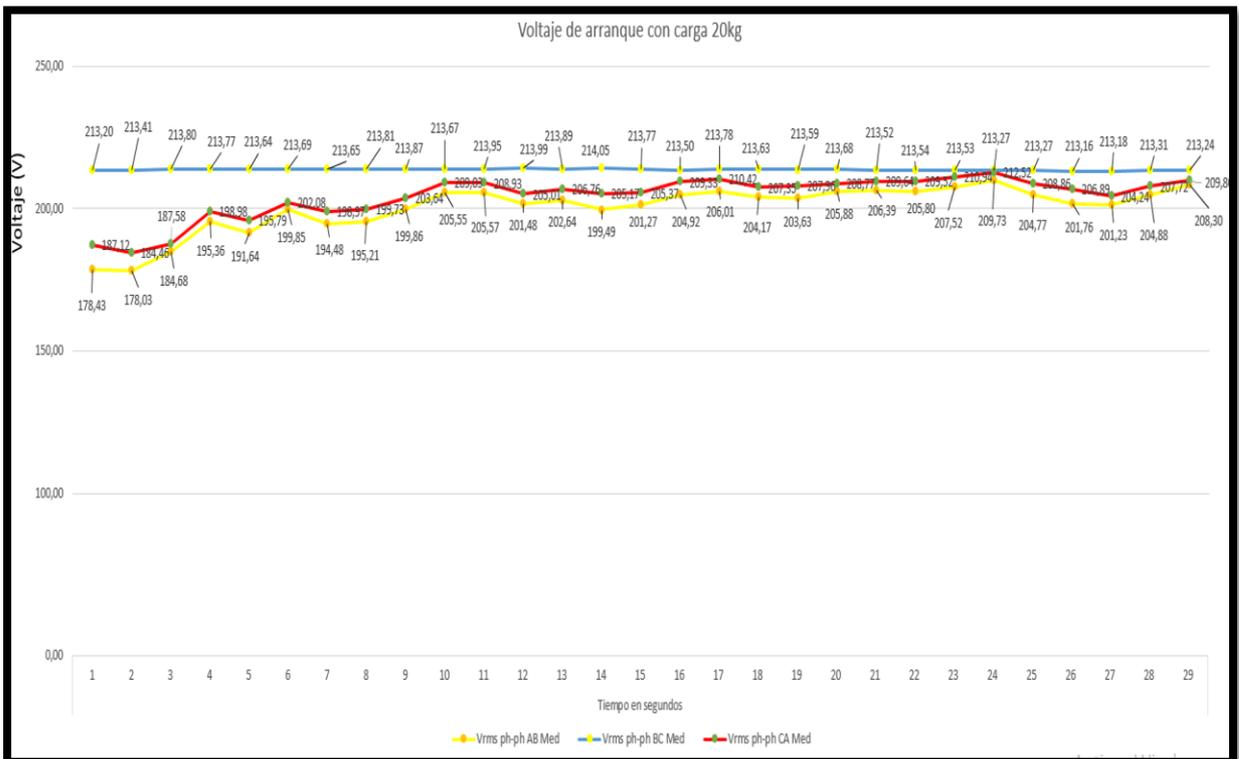


Figura 18. Voltaje de arranque directo con carga (20Kg)

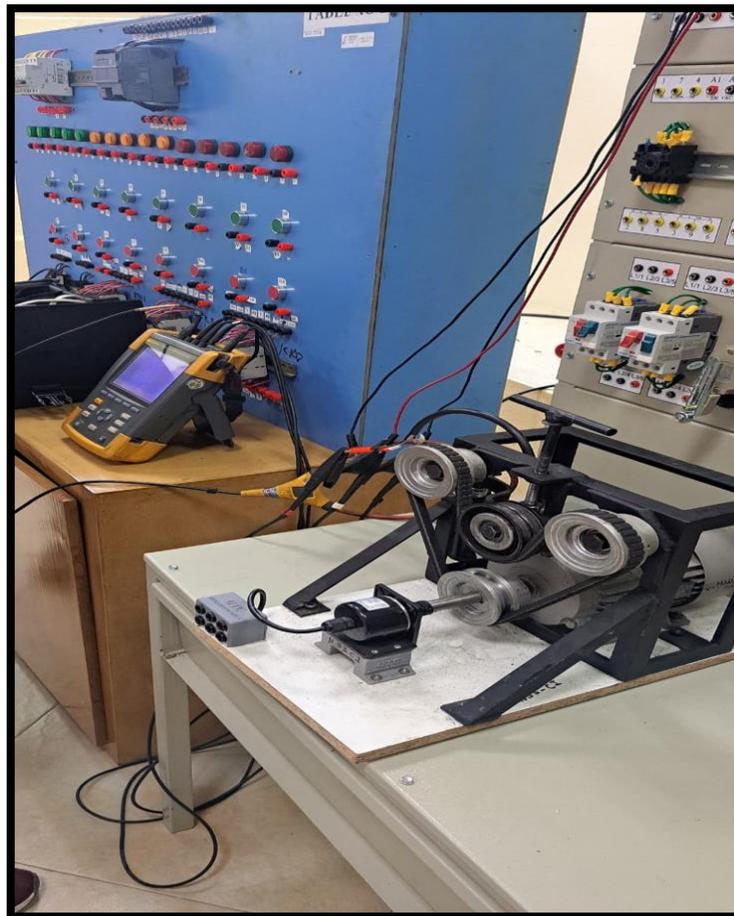
INGENIERÍA ELÉCTRICA / UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL									
REGISTRO DE PRUEBA N. 8									
Practica #8									
TABLA N.1 ARRANQUE DE MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO UTILIZANDO UN VARIADOR DE FRECUENCIA CON ALIMENTACIÓN 3F Y CON UNA CARGA DE 20kg.								FECHA:	
								28/06/2023	
ELEMENTOS: BANCO DE PRUEBAS PARA CONTROL INDUSTRIAL, MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO.									
PRUEBA CON CARGA – 20kg - SENTIDO DE GIRO HORARIO									
MEDICIONES REALIZADAS CON EL ANALIZADOR DE REDES									
Tiempo en segundos	Voltaje AB	Voltaje BC	Voltaje CA	Corriente A	Corriente B	Corriente C	Potencia Activa (P)	Potencia Reactiva (Q)	Potencia Aparente (S)
13:37:44	178,43	213,20	187,12	1,2	1,8	1,4	1,7	40	90
13:37:45	178,03	213,41	184,46	1,8	2,2	1	0,8	70	90
13:37:46	184,68	213,80	187,58	2,4	1,8	1,2	0,8	70	100
13:37:47	195,36	213,77	198,98	2,4	2,6	1	0,7	70	110
13:37:48	191,64	213,64	195,79	1,8	1,8	1,2	0,7	80	110
13:37:49	199,85	213,69	202,08	2,4	2,2	1	0,7	80	110
13:37:50	194,48	213,65	198,97	2,2	1,8	1	0,7	70	110
13:37:51	195,21	213,81	199,73	1,6	2,2	1	0,7	80	110
13:37:52	199,86	213,87	203,64	2	1,6	1	0,7	70	110
13:37:53	205,55	213,67	209,03	2	1,8	1	0,7	70	110
13:37:54	205,57	213,95	208,93	1,6	1,6	1	0,7	70	120
13:37:55	201,48	213,99	205,01	1,6	1,4	1	0,7	70	110
13:37:56	202,64	213,89	206,76	1,4	1,6	1	0,7	70	110
13:37:57	199,49	214,05	205,17	1,8	1,8	1	0,7	70	110
13:37:58	201,27	213,77	205,37	1,6	2,4	1	0,7	70	110
13:37:59	204,92	213,50	209,33	1,8	1,6	1	0,7	70	110
13:38:00	206,01	213,78	210,42	1,8	1,6	1	0,7	70	110
13:38:01	204,17	213,63	207,35	1,6	1,6	1	0,7	70	110
13:38:02	203,63	213,59	207,96	1,6	1,4	1	0,6	70	110
13:38:03	205,88	213,68	208,77	1,8	1,4	1	0,7	70	110
Mediciones del motor con carga de 16kg	Frecuencia (Hz)	60 Hz							
	Velocidad (rpm)	1444							
	corriente (A)	2,4 A							

#### 4 Conclusiones

Todo esto se hace a tensión reducida las pérdidas sean elevadas con niveles de carga elevados, manifestándose incluso en la generalidad de los casos, una disminución de la eficiencia con las cargas por encima del 40%, los ahorros de energía, aun a bajas cargas, no suelen llegar al 5% estas condiciones, los arrancadores suaves no son comparados con la idea de que se pueda ahorrar energía a cargas parciales. Resulta casi imposible obtener una recuperación razonable de la inversión, si se adquieren pretendiendo solo reducir el consumo.

#### 5 Anexos

Anexo 1. Conexión directa del motor con un variador de frecuencia **20kg** y uso del analizador de redes.





# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## PRÁCTICA DE LABORATORIO LABORATORIO DE SIMULACIÓN CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
FECHA:	FECHA:	

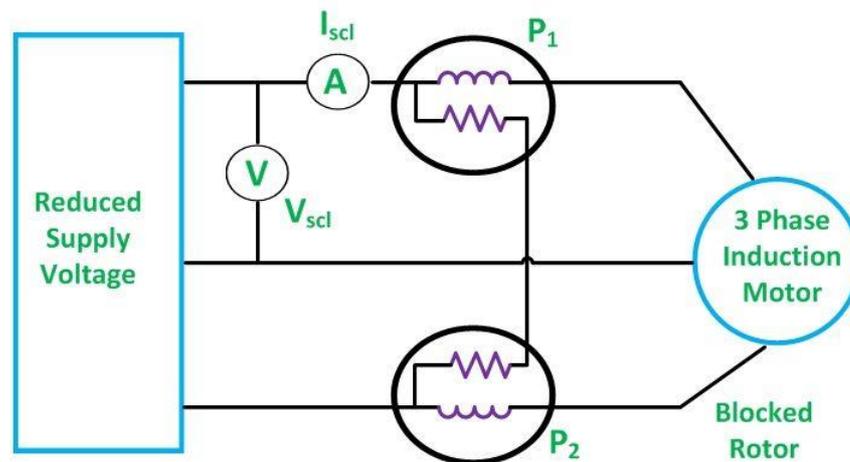
CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
INGENIERÍA ELÉCTRICA		

PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	Laboratorio de Maquinas Eléctricas	DURACIÓN (HORAS)
4	NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	Prueba de rotor bloqueado	3

1	OBJETIVO
	<ul style="list-style-type: none"><li>Realizar la prueba de rotor bloqueado (o prueba de corto circuito) al motor de inducción trifásico jaula de ardilla.</li><li>Montar los diagramas en el tablero con los equipos principales para el sistema de bloqueo del motor.</li><li>Evaluar los niveles de tensión, corriente, potencia que se presentan en la prueba de rotor bloqueado.</li></ul>

2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
	<h3>2.1. INTRODUCCIÓN</h3> <p>Los motores de inducción se utilizan ampliamente en las industrias y consumen la máxima potencia. Para mejorar sus características de rendimiento se han diseñado ciertas pruebas como la prueba en vacío y la prueba del rotor de bloque, etc. La prueba del rotor bloqueado se realiza normalmente en un motor de inducción para averiguar la impedancia de fuga. Aparte de ello, otros parámetros como el par, el motor, la corriente de cortocircuito en condiciones normales voltaje...y se pudieron encontrar muchos más en esta prueba. La prueba del rotor bloqueado es análoga a la prueba de cortocircuito del transformador. Aquí</p>

el eje del motor está sujetado, es decir, bloqueado para que no pueda moverse y el bobinado del rotor esté en cortocircuito. En los motores de anillos colectores, el bobinado del rotor está en cortocircuito a través de los anillos colectores y en los motores de jaula, las barras del rotor están permanentemente en cortocircuito. La prueba del motor de inducción es un poco compleja, ya que el valor resultante de la impedancia de fuga puede verse afectado por la posición del rotor, la frecuencia del mismo y por la dispersión magnética de la trayectoria del flujo de fuga. Estos efectos podrían minimizarse realizando una prueba de corriente de rotor de bloqueo en rotores de jaula de ardilla.



**Figura 1.** Diagrama del rotor bloqueado.

## 2.3 EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS

### Equipos:

Equipo de cómputo, Tablero Labvolt, Analizador Fluke, Multímetro, Motor asíncrono (1 Hp).

### 2.3.1 MEDIDAS DE SEGURIDAD

EPP: Mandil, alcohol y mascarilla.

### Instrucciones de seguridad:

- Lea y comprenda la presente guía de laboratorio
- Lea y comprenda el manual de seguridad y operación de la máquina de ensayos universales
- No corra dentro del laboratorio
- Absténgase de usar el teléfono celular
- Aleje sus manos de las partes móviles del equipo

## 2.4 TRABAJO PREPARATORIO

### 2.4.1. ACTIVIDADES A DESARROLLAR

El laboratorio de Maquinas eléctricas cuenta con instalaciones para la realización de prácticas mediante dispositivos electromecánicos y controladores programables, a través

de los cuales se pretende completar el estudio teórico sobre dichos temas y crear en el estudiante habilidades para la realización de ensayos de cortocircuito en el módulo del LabVolt.

Para realizar las pruebas de rotor bloqueado de un motor se procede a la conexión del circuito de control:

- Energizar el módulo de tensión.
- Realizamos la respectiva conexión en la interfaz de adquisición de datos y control.
- Procedemos a realizar la conexión en los bornes del motor jaula de ardilla.
- Realizamos la respectiva conexión de los elementos según el circuito de la Figura 1.

Una vez realizado el circuito de control y comprobado su funcionamiento, proceder a armar el circuito de fuerza para el encendido de un motor trifásico jaula de ardilla según las especificaciones del motor.

- La alimentación para el circuito de fuerza será tomada desde el módulo de tensión.
- Para la adquisición de los datos se procede a realizar la respectiva conexión con un cable de datos a la computadora.

## **2.5 METODOLOGÍA Y TÉCNICA EXPERIMENTAL**

Para la conexión en el tablero de control industrial se sigue los siguientes pasos:

- a) Energizar el módulo: Comprobar si el módulo de LabVolt esta energizado.
- b) Conexión del circuito: Utilizar los respectivos cables del módulo.
- c) Conexión de la interfaz de datos: conexión a la computadora y alimentación de 24 volts de módulo de interfaz de datos y control.
- d) Conectar componentes: Conecta los componentes eléctricos de acuerdo con las especificaciones del motor.
- e) Configurar propiedades de los componentes: Configura las propiedades de los componentes según sea necesario. Esto puede incluir valores de resistencia, capacitancia, inductancia, voltajes o corrientes iniciales, entre otros parámetros relevantes para el circuito de mando.
- f) Añadir fuentes de alimentación: Alimentar el circuito según las especificaciones de los componentes ya utilizados.
- g) Revisión de la conexión del circuito: realizar la revisión y posible comparación de los componentes ya conectados.

- h) Ejecutar la conexión: Ejecutamos la activación del circuito de rotor bloqueado.
- i) Activación del circuito: procedemos a realizar la alimentación aumentando lentamente el voltaje en el bobinado del estator para que la corriente alcance su valor nominal.
- j) Recopilar datos: tomamos lectura del voltaje, potencia y corriente.
- k) Analizar los resultados: Examina los resultados obtenidos mediante una tabla de comparación.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**LABORATORIOS DE SIMULACIÓN**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**  
**INFORME PRACTICA**

**Nota:** El informe tiene que ser conciso, simple y claro, no tiene que contener más de 5 hojas, no caratula, no carpetas, no binchas, se tiene que presentar grapado y ocupando toda el área de la hoja de impresión.

**TEMA:** Prueba de rotor bloqueado.

**Numero de practica:** 1

**NOMBRES:** Cando Tony- Murillo Rivera

**Fecha:** 18/07/2023

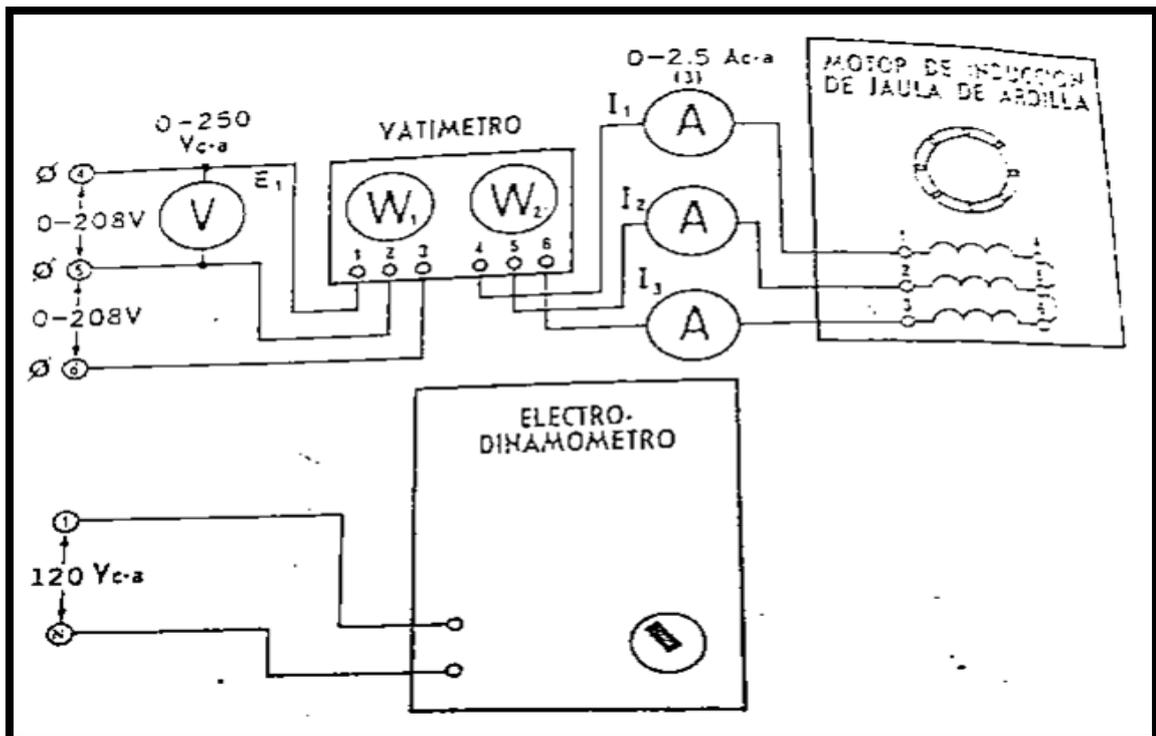
<b>1</b>	<b>Procedimiento</b>
----------	----------------------

- Comprobar el funcionamiento de cada uno de los elementos y equipos a utilizar en el módulo de pruebas.
- Revisión de los cables de conexión para el modulo.
- Normas de seguridad para el uso del módulo de pruebas.
- Normas de seguridad dentro del laboratorio.
- Formatos para elaborar y presentar los informes del laboratorio.
- Revisión del circuito a ser ejecutado.

<b>2</b>	<b>Diagramas de fuerza y control</b>
----------	--------------------------------------

2.1 Temas de importancia para el desarrollo de la práctica.

- Configuración del módulo de interfaz de conexión.
- Aparatos tecnológicos utilizados.
- Conexión de la interfaz modulo computadora.



**Figura 3.** Diagrama de prueba del rotor bloqueado.

# Resultados

## 3 Valores obtenidos en prácticas

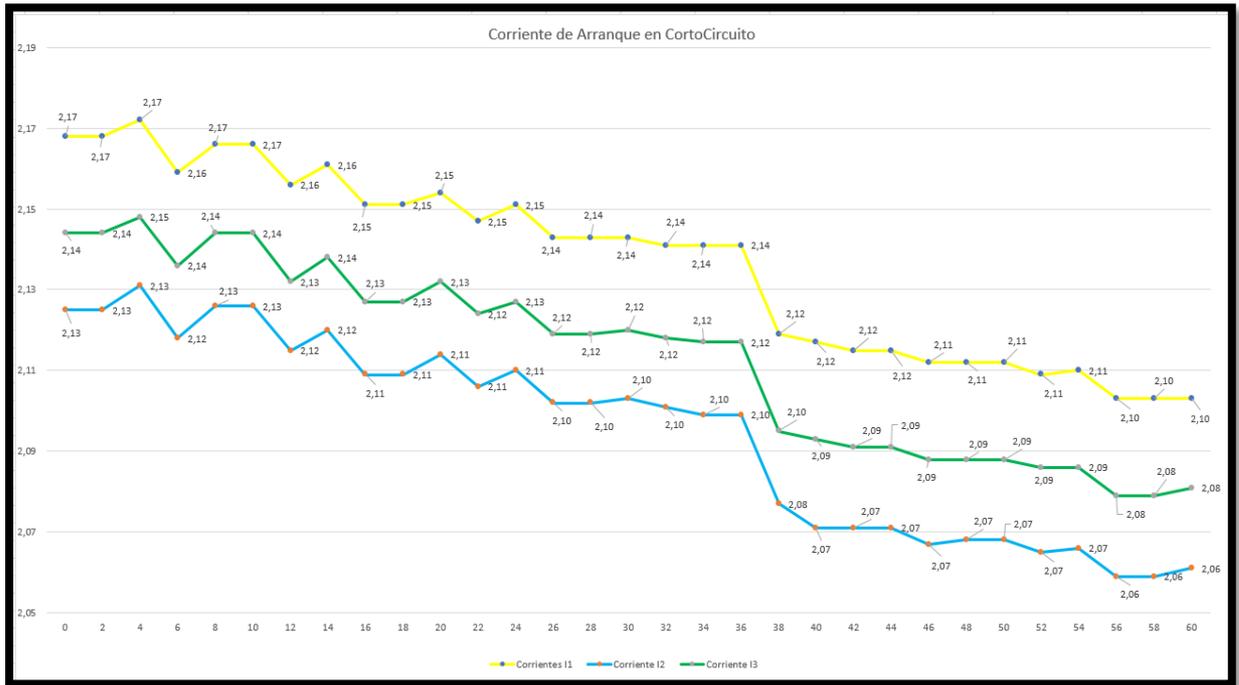


Figura 4. Corriente en corto circuito.

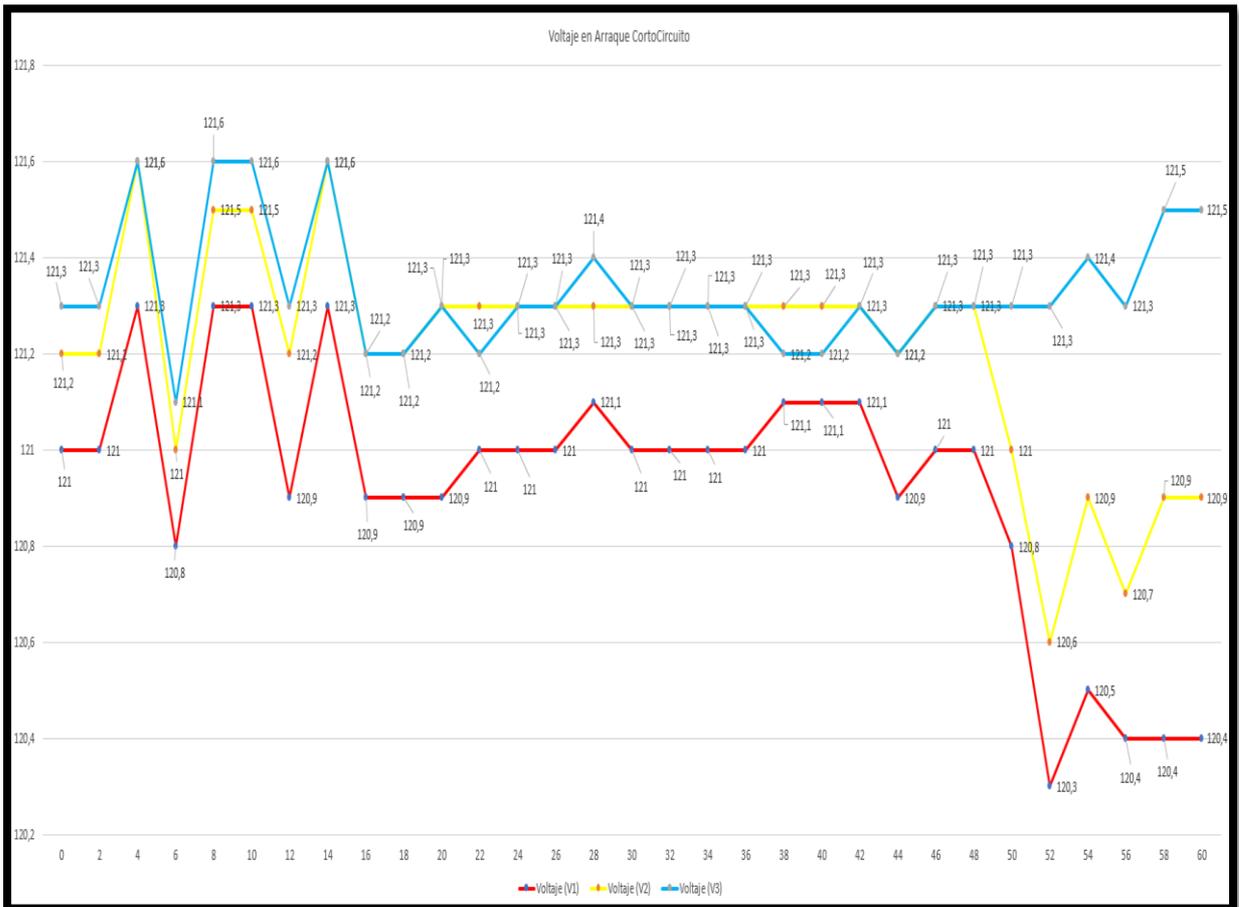


Figura 5. Voltaje en corto circuito.

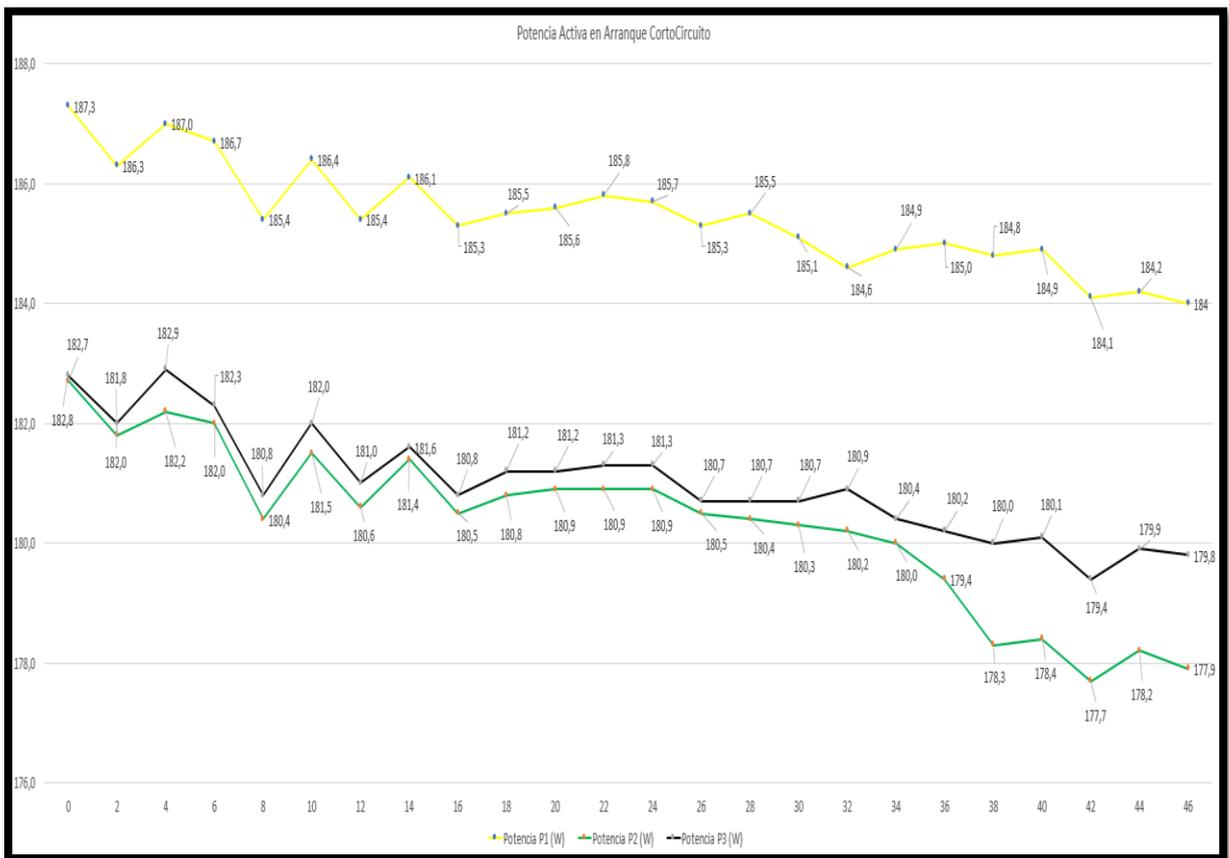


Figura 6. Potencia activa en corto circuito.

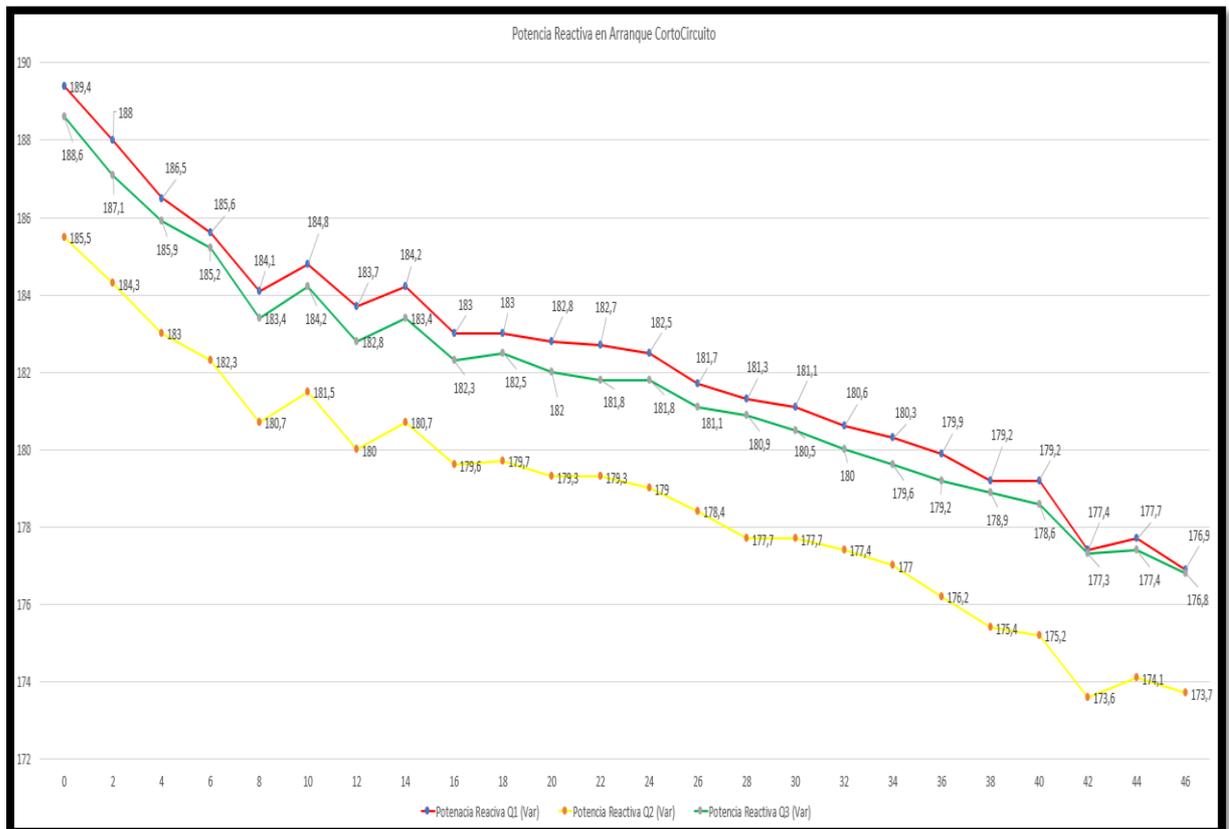


Figura 7. Potencia activa en corto circuito.



**INGENIERÍA ELÉCTRICA / UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL**

**REGISTRO DE PRUEBA**

**Tabla n. 1** Prueba de rotor bloqueado de motor eléctrico trifásico utilizando configuración estrella con alimentación 3F

**FECHA:**  
18/07/2023

**ELEMENTOS:** Modulo de pruebas LabVolt, motor de inducción trifásico en configuración estrella, computadora.

Prueba de rotor bloqueado

Mediciones realizadas mediante la interfaz de datos con la computadora

<b>Promedio</b>	<b>Fase A</b>	<b>Fase B</b>	<b>Fase C</b>	<b>total</b>
Voltaje de línea	120,85	121,14	121,33	<b>121,10</b>
Corriente de línea	2,17	2,13	2,15	<b>2,15</b>
Frecuencia	60 Hz			
Potencia activa	0,185	0,180	0,181	<b>0,182</b>
Potencia reactiva	0,182	0,179	0,182	<b>0,181</b>
Potencia aparente	0,258	0,254	0,257	<b>0,256</b>
Factor de potencia	0,89			

## Cálculos

$$n_s = ?$$

$$\#polos = 4$$

$$f = 60 \text{ Hz}$$

$$n_m = 1650 \text{ rpm}$$

$$n_s = \frac{120 * f}{\#polos}$$

$$n_s = \frac{120 * (60)}{4} = 1800 \text{ rpm}$$

### Deslizamiento

$$S = \frac{n_s - n_m}{n_s} * 100$$

$$S = \frac{(1800 - 1650)}{1800} * 100 = 0,083$$

$$S = 0.083$$

### Potencia de pérdidas del rotor

$$R = 16,3 \Omega$$

$$P_{pr} = I^2 * R$$

$$P_{pr} = (2,12)^2 * (16,3)$$

$$P_{pr} = 73,26 \text{ W}$$

### Potencia eléctrica

$$P_e = \sqrt{3} * 121,11 \text{ V} * 2,12 \text{ A} * 0,89$$

$$P_e = 395,79 \text{ W}$$

### Potencia a través del entrehierro

$$P_{gap} = P_{electrica} - P_{perdidas \text{ rotor}}$$

$$P_{gap} = 395,79 \text{ W} - 73,26 \text{ W}$$

$$P_{gap} = 322,53 \text{ W}$$

### Potencia mecánica

$$P_{mecánica} = (1 - s) * P_{gap}$$

$$P_{mecánica} = (1 - 0,083) * 322,53 \text{ W}$$

$$P_{mecánica} = 295,76 \text{ W}$$

### Eficiencia

$$Eficiencia = \frac{P_{mecánica}}{P_{electrica}} * 100$$

$$Eficiencia = \frac{295,76}{395,79} * 100$$

$$Eficiencia = 74 \%$$

## Torque

$$\tau = \frac{P_{mecánica}}{W_r}$$
$$\tau = \frac{295,76 W}{(1650 RPM) * 2\pi * \left(\frac{1 min}{60 seg}\right)} = 1,71 N * m$$

## 4 Conclusiones

Se comprobó que el circuito equivalente de un motor de inducción se lo puede determinar a partir de los resultados de las pruebas en rotor bloqueado, en cada una de las cuales se determina los parámetros distintos del circuito.

Se demostró que en la prueba de rotor bloqueado del motor de inducción trifásico se mide las pérdidas en el cobre del rotor y el estator, debido a que se detiene el eje del rotor y se alimenta a los devanados del estator con un voltaje bajo hasta llegar a su valor de corriente nominal por medio de un regulador de voltaje.

## 5 Anexos

### Anexo 1. Conexión al módulo LabVolt.



**Anexo 2.** Motor trifásico jaula de ardilla de 1hp con el rotor bloqueado.



**Anexo 3.** Conexión del motor con rotor bloqueado y conexión con la interfaz de datos.

