



## **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

### **FACULTAD DE EDUCACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TABLERO DIDÁCTICO PARA PRUEBAS EN MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS EN EL LABORATORIO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO"

Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero en Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico.

**AUTORES:** Hidrovo Enríquez Oswaldo Sebastián

Recalde Juncal Diego Armando

**DIRECTOR:** Ing. Mauricio Vásquez

Ibarra, 2015

## **ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR**

Luego de haber sido designado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Educación, Ciencia y Tecnología de la Universidad Técnica del Norte de la ciudad de Ibarra, he aceptado con satisfacción participar como director en el trabajo de grado titulado **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TABLERO DIDÁCTICO PARA PRUEBAS EN MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS EN EL LABORATORIO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO"**; de los señores egresados : HIDROVO ENRÍQUEZ OSWALDO SEBASTIÁN - RECALDE JUNCAL DIEGO ARMANDO, previo a la obtención del título de Ingenieros en la especialidad de Mantenimiento Eléctrico.

Al ser testigo presencial, y corresponsable directo del desarrollo del presente trabajo de investigación, afirmo que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sustentado públicamente ante el tribunal que sea designado oportunamente.

Esto es lo que puedo certificar por ser justo y legal.



**Ing. Mauricio Vásquez**

**DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**

## **DEDICATORIA**

Dedico este triunfo principalmente a Dios, por haberme brindado tanta sabiduría a lo largo de mi vida, toda la fortaleza necesaria para seguir transitando por el sendero del conocimiento y el saber y, llegar a cristalizar exitosamente una parte de mi carrera profesional.

A mi madre por darme la vida y ser la fuente de ayuda e inspiración en mi formación personal y académica, siendo el principal motivo de esperanza para crecer cada día como el mejor ser humano del planeta. Para ti madre querida este trabajo, fruto de mi dedicación y esfuerzo.

**Oswaldo Hidrovo**

## **DEDICATORIA**

A mi maravillosa familia, mis hermanos, que han sido ejemplo de esfuerzo y superación, por sus consejos y el gran apoyo brindado, el que motivó seguir creciendo día a día.

A mi madre, con inmenso amor dedico el presente trabajo, por darme la oportunidad de superarme, ser mi inspiración y ejemplo a seguir, quien con sus desvelos y consejos impregnaron en mí, la huella imborrable de amor infinito. Siempre la tendré presente madre, para usted todo el cariño, admiración y respeto.

**Diego Recalde**

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente agradezco a Dios por haberme dado la vida y permitirme llegar al éxito en mi formación profesional, gracias al esfuerzo de mi madre querida, por ser mi mejor amiga, mi eterna confidente, quien día a día moldeó mi espíritu con pinceladas de amor, paciencia y ternura.

A la prestigiosa Universidad Técnica del Norte que me abrió las puertas para llegar a ser un profesional.

Finalmente quiero exteriorizar mi agradecimiento a todos los docentes, en especial a los ingenieros Mauricio Vásquez, Hernán Pérez y Ramiro Flores, por sus horas dedicadas a mi formación estudiantil, ya que revestidos de paciencia, tolerancia y comprensión depositaron en mí la semilla de la ciencia y virtud.

**Oswaldo Hidrovo**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco de todo corazón principalmente a Dios y a mi familia por haber estado conmigo, en las buenas y en las malas durante toda mi formación académica, sobre todo también, durante toda mi vida diaria, motivándome constantemente para lograr todo lo que he logrado hasta este momento, ya que sin el apoyo incondicional que me dedican, no habría podido recorrer todo el camino que he recorrido hasta llegar aquí.

Para ustedes, muchas gracias por todo.

**Diego Recalde**

## ÍNDICE GENERAL

|   |      |
|---|------|
| ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR.....                              | ii   |
| DEDICATORIAS.....   | iii  |
| AGRADECIMIENTOS.....                                      | iv   |
| ÍNDICE GENERAL .....                                      | vii  |
| LISTA DE TABLAS .....                                     | xi   |
| LISTA DE FIGURAS.....                                     | xiii |
| LISTA DE GRÁFICOS .....                                   | xv   |
| RESUMEN.....  | xvi  |
| ABSTRACT .....  | xvii |
| CAPÍTULO I.....   | 1    |
| 1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....                      | 1    |
| 1.1 Antecedentes.....                                     | 1    |
| 1.2 Planteamiento del problema .....                      | 2    |
| 1.3 Formulación del problema .....                        | 3    |
| 1.4 Delimitación .....                                    | 3    |
| 1.4.1 Temporal .....                                      | 3    |
| 1.4.2 Espacial .....                                      | 3    |
| 1.5 Objetivos.....  | 3    |
| 1.5.1 Objetivo general.....                               | 3    |
| 1.5.2 Objetivos específicos .....                         | 3    |
| 1.6 Justificación .....                                   | 4    |
| CAPÍTULO II.....  | 6    |
| 2. MARCO TEÓRICO .....                                    | 6    |
| 2.1 Base legal. ....                                      | 6    |
| 2.2 Motores asíncronos o de inducción. ....               | 7    |
| 2.2.1 Constitución de un motor de inducción. ....         | 8    |
| 2.2.2 Circuito equivalente. ....                          | 9    |
| 2.2.3 Conceptos básicos de los motores de inducción ..... | 11   |
| 2.2.3.1 Par inducido en un motor de inducción. ....       | 11   |
| 2.2.3.2 Deslizamiento del rotor .....                     | 12   |

|  |    |
|--|----|
| 2.2.3.3 Frecuencia eléctrica en el rotor .....   | 13 |
| 2.2.4 Características par-velocidad en los motores de inducción .....                  | 14 |
| 2.2.5 Pruebas en motores de inducción.....   | 15 |
| 2.2.5.1 Control de velocidad en los motores de inducción .....                         | 15 |
| 2.2.5.1.1 Control de velocidad mediante el cambio en la frecuencia de línea.....       | 15 |
| 2.2.5.1.2 Control de velocidad del motor de inducción mediante el cambio de polos..... | 16 |
| 2.2.5.1.3 Control de velocidad mediante la variación del deslizamiento del rotor.....  | 18 |
| 2.2.5.2 Prueba de DC para determinar la resistencia del estator .....                  | 19 |
| 2.2.5.3 Prueba en vacío o de rotor libre .....   | 20 |
| 2.2.5.4 Pruebas de aislamiento.....  | 22 |
| 2.2.5.5 Determinación de la resistencia de los devanados.....                          | 23 |
| 2.2.5.6 Índice de polarización .....   | 24 |
| 2.2.5.7 Pruebas con carga en los motores de inducción .....                            | 24 |
| 2.2.6 Inserción de fallas .....  | 25 |
| 2.2.6.1 Operación entre dos fases (motor trifásico) .....                              | 25 |
| 2.2.6.2 Bobinados del estator sueltos (bobinado abierto) .....                         | 28 |
| 2.2.6.3 Cortocircuito entre espiras .....  | 29 |
| 2.2.6.4 Falla cruce de bobinas en motores monofásicos y trifásicos .....               | 30 |
| 2.2.6.5 Falla capacitor defectuoso (abierto) en motores monofásicos.....               | 30 |
| 2.2.6.6 Falla platinera abierta en motores monofásicos .....                           | 31 |
| 2.3 Motores de corriente directa .....   | 32 |
| 2.3.1 Introducción .....   | 32 |
| 2.3.2 Motores de corriente directa en paralelo (shunt) .....                           | 33 |
| 2.3.2.1 Circuito equivalente .....   | 34 |
| 2.3.2.2 Características de los terminales de un motor shunt.....                       | 35 |
| 2.3.3 Pruebas en motores de corriente directa tipo shunt .....                         | 36 |
| 2.3.3.1 Cambio de la resistencia de campo .....  | 36 |
| 2.3.3.2 Control de velocidad mediante la variación de voltaje.....                     | 38 |
| 2.3.3.3 Inserción de un resistor en serie con el circuito del inducido.....            | 39 |
| 2.4 Glosario de términos.....  | 40 |

|   |    |
|---|----|
| CAPÍTULO III.....   | 42 |
| 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....  | 42 |
| 3.1 Tipo de investigación. ....   | 42 |
| 3.2 Métodos.....  | 42 |
| 3.3 Técnicas e Instrumentos.....  | 43 |
| CAPÍTULO IV .....   | 44 |
| 4. PROPUESTA ALTERNATIVA .....  | 44 |
| 4.1 Título de la propuesta .....  | 44 |
| 4.2 Propósito .....   | 44 |
| 4.3 Introducción .....  | 44 |
| 4.4 Diseño y construcción del tablero didáctico .....   | 45 |
| 4.4.1 Descripción de equipos principales del tablero didáctico .....                                    | 48 |
| 4.4.1.1 Variador de frecuencia SV004iE5-2C.....   | 48 |
| 4.4.1.2 Tacómetro DT-6236C .....  | 49 |
| 4.4.1.3 Megger fluke 1507 .....   | 50 |
| 4.4.1.4 NANOVIP PLUS MEM (Analizador de parámetros eléctricos) ....                                     | 51 |
| 4.4.1.5 Analizador de calidad de la energía eléctrica trifásico fluke 1744 .....                        | 52 |
| 4.4.1.6 Controlador de velocidad BC-138 DC BALDOR.....  | 54 |
| 4.4.1.7 Motor trifásico de inducción a 2 velocidades .....  | 54 |
| 4.4.1.8 Motor trifásico de inducción .....  | 56 |
| 4.4.1.9 Motor monofásico WEG .....  | 56 |
| 4.4.1.10 Motor shunt DC BALDOR-RELIANCER.....   | 57 |
| 4.4.2 Diagramas de conexión internas del tablero didáctico .....  | 59 |
| 4.5 Pruebas realizadas y resultados obtenidos.....  | 65 |
| 4.5.1 Control de velocidad en motores de inducción trifásicos a través del variador de frecuencia ..... | 65 |
| 4.5.2 Control de velocidad en motores de inducción trifásicos mediante el cambio de polos .....         | 66 |
| 4.5.3 Prueba de DC para determinar la resistencia del estator .....                                     | 67 |
| 4.5.4 Prueba en vacío o de rotor libre .....  | 68 |
| 4.5.5 Pruebas de aislamiento .....  | 69 |
| 4.5.6 Pruebas con carga.....  | 70 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.5.7 Inserción de fallas en motores trifásicos .....   | 70  |
| 4.5.8 Inserción de fallas en motores monofásicos .....  | 71  |
| 4.5.9 Cambio de la resistencia de campo en el motor DC (Shunt) .....  | 72  |
| 4.5.10 Control de velocidad mediante la variación de voltaje en el motor DC (Shunt).....                            | 73  |
| 4.6 Guía de prácticas a realizar en el tablero didáctico .....  | 75  |
| 4.6.1 Practica 1: Control de velocidad en motores de inducción trifásicos a través del variador de frecuencia ..... | 76  |
| 4.6.2 Práctica 2: Control de velocidad en motores de inducción trifásicos mediante el cambio de polos .....         | 80  |
| 4.6.3 Práctica 3: Prueba de DC para determinar la resistencia del estator .....                                     | 83  |
| 4.6.4 Práctica 4: Prueba en vacío o de rotor libre .....  | 85  |
| 4.6.5 Práctica 5: Pruebas de aislamiento .....  | 87  |
| 4.6.6 Práctica 6: Pruebas con carga .....   | 90  |
| 4.6.7 Práctica 7: Inserción de fallas en motores trifásicos.....  | 92  |
| 4.6.8 Práctica 8: Inserción de fallas en motores monofásicos.....   | 94  |
| 4.6.9 Práctica 9: Cambio de la resistencia de campo en el motor DC (Shunt).....                                     | 97  |
| 4.6.10 Práctica 10: Control de velocidad mediante la variación de voltaje en el motor DC (Shunt) .....              | 100 |
| CAPÍTULO V .....  | 103 |
| 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....   | 103 |
| 5.1 Conclusiones. ....  | 103 |
| 5.2 Recomendaciones .....   | 104 |
| 6. Referencias bibliográficas.....  | 105 |
| 7. Lincografía.....   | 105 |
| 8. Anexos .....   | 107 |

## LISTA DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Voltajes DC de prueba .....  | 23 |
| Tabla 2. Índice de polarización .....   | 24 |
| Tabla 3. Características del variador de frecuencia sv004ie5-2c .....   | 49 |
| Tabla 4. Características del tacómetro DT-6236C.50 .....  | 50 |
| Tabla 5. Características del Megger fluke 1507 .....  | 51 |
| Tabla 6. Características del controlador de velocidad BC – 138 DC<br>BALDOR.....                              | 54 |
| Tabla 7. Características motor trifásico de inducción a 2 velocidades ....                                    | 55 |
| Tabla 8. Características del motor trifásico de inducción .....   | 56 |
| Tabla 9. Características del motor monofásico WEG.....  | 57 |
| Tabla 10. Características del motor shunt DC BALDOR- RELIANCER....  | 58 |
| Tabla 11. Tipos de conexión motor shunt o en paralelo .....   | 59 |
| Tabla 12. Control de velocidad en motores de inducción trifásicos a través<br>del variador de frecuencia..... | 65 |
| Tabla 13. Control de velocidad en motores de inducción trifásicos<br>mediante el cambio de polos .....        | 66 |
| Tabla 14. Prueba de DC para determinar la resistencia del estator .....                                       | 67 |
| Tabla 15. Prueba en vacío o de rotor libre .....  | 68 |
| Tabla 16. Pruebas de aislamiento entre fases y carcasa .....  | 69 |
| Tabla 17. Pruebas de resistencia de aislamiento .....   | 69 |
| Tabla 18. Pruebas con carga.....  | 70 |
| Tabla 19. Pruebas en vacío .....  | 70 |
| Tabla 20. Inserción de fallas en motores trifásicos .....   | 71 |
| Tabla 21. Inserción de fallas en motores monofásicos.....   | 71 |
| Tabla 22. Cambio de la resistencia de campo en el motor DC (Shunt)<br>alto voltaje .....                      | 72 |
| Tabla 23. Cambio de la resistencia de campo en el motor DC (Shunt) bajo<br>voltaje.....                       | 73 |

|  |    |
|--|----|
| Tabla 24. Control de velocidad mediante la variación de voltaje en el motor DC (Shunt) en vacío .....  | 73 |
| Tabla 25. Control de velocidad mediante la variación de voltaje en el motor DC (Shunt) con carga ..... | 74 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Motor asíncrono.....  | 7  |
| Figura 2. Circuito equivalente por fase de un motor asíncrono .....   | 10 |
| Figura 3. Desarrollo de un par inducido en el motor de inducción.....   | 12 |
| Figura 4. Curva característica par- velocidad de un motor de inducción típico.....  | 14 |
| Figura 5. Curvas características par-velocidad para todas las frecuencias .....   | 16 |
| Figura 6. Devanado de estator para cambio de polos.....   | 17 |
| Figura 7. Devanado de 2 a 4 polos mediante polos consecuentes .....   | 18 |
| Figura 8. Control de velocidad por relación del voltaje de línea .....  | 19 |
| Figura 9. Circuito de prueba de DC de resistencia en el estator .....   | 20 |
| Figura 10. Diagrama de conexión, prueba en vacío.....   | 21 |
| Figura 11. Esquema de conexión para prueba de aislamiento con megger .....  | 22 |
| Figura 12. Operación entre dos fases a) Motor en estrella b) motor en triángulo.....  | 25 |
| Figura 13. Conexión del estator trifásico de bobinas simples, mostrando una bobina abierta a) motor en estrella b) motor en triángulo .....   | 28 |
| Figura 14. Cortocircuito entre espiras .....  | 30 |
| Figura 15. Cruce de bobinado .....  | 30 |
| Figura 16. Motor monofásico con falla capacitor abierto. ....   | 31 |
| Figura 17. Motor monofásico con falla platinera abierta .....   | 32 |
| Figura 18. Motor de corriente directa (DC).....   | 33 |
| Figura 19. Motor de corriente directa en paralelo o shunt .....   | 34 |
| Figura 20. Circuito equivalente de un motor en paralelo o shunt.....  | 34 |
| Figura 21. (a) Características par-velocidad de un motor shunt con devanados de compensación para eliminar la reacción de armadura. (b) Característica torque-velocidad del motor con reacción de armadura..... | 36 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 22. Circuito de un motor de corriente directa en paralelo o shunt con resistencia de campo variable .....   | 36 |
| Figura 23. Circuito de un motor de corriente directa en paralelo o shunt con controlador de voltaje variable ..... | 38 |
| Figura 24. Vista frontal del tablero didáctico .....   | 45 |
| Figura 25. Vista lateral del tablero didáctico .....   | 46 |
| Figura 26. Secciones del tablero.....  | 47 |
| Figura 27. Variador de frecuencia.....   | 48 |
| Figura 28. Tacómetro .....   | 49 |
| Figura 29. Megger .....  | 50 |
| Figura 30. Analizador de parámetros eléctricos .....   | 52 |
| Figura 31. Analizador de calidad de energía.....   | 53 |
| Figura 32. Controlador de velocidad. ....  | 54 |
| Figura 33. Motor trifásico de inducción a 2 velocidades .....  | 55 |
| Figura 34. Motor trifásico de inducción .....  | 56 |
| Figura 35. Motor monofásico .....  | 57 |
| Figura 36. Motor shunt DC.....   | 58 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 1. Frecuencia vs velocidad ..... | 65 |
| Gráfico 2. Corriente vs frecuencia.....  | 66 |
| Gráfico 3. Velocidad vs voltaje.....     | 74 |

## RESUMEN

La presente investigación tiene como finalidad diseñar e implementar un tablero didáctico para pruebas en máquinas eléctricas rotativas y ser un aporte para fortalecer los conocimientos teórico- práctico, orientados al aprendizaje de estudiantes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico. Se plantearon objetivos como: investigar la fundamentación teórica, los diferentes tipos de pruebas eléctricas que se realizan en máquinas eléctricas rotativas; diseñar y construir un tablero didáctico de pruebas eléctricas en máquinas rotativas; y elaborar una guía para prácticas que facilite la manipulación de los diferentes parámetros a tomar en cuenta en la práctica de pruebas eléctricas. Se sustenta en una investigación de campo de carácter descriptiva, práctica y documental, mediante el método analítico, inductivo-deductivo, con apoyo de la técnica de observación, de laboratorio y el criterio de expertos para el diseño de la propuesta. Para diseñar y construir el tablero didáctico de pruebas eléctricas se adquirió motores de corriente continua y alterna, se modificó sus conexiones internas para simular las pruebas utilizando la técnica de inserción de fallas; el motor de corriente continua del tipo Shunt se convirtió en un motor didáctico, por su acceso a todas las conexiones de sus terminales y de realizar distintas pruebas de control de velocidad. Se utilizaron dos tipos de motores de inducción: monofásico y trifásico, estos fueron sometidos a pruebas de fallas eléctricas para observar su comportamiento de vida útil. También se investigaron pruebas de control de velocidad, de aislamiento, en vacío y con carga, lo cual permitió generar las bases para diseñar la guía de prácticas para estudiantes de la carrera que permita de manera cómoda, ágil y oportuna un aprendizaje práctico fundamentado en la teoría.

Palabras claves: tablero didáctico, pruebas eléctricas, motores de inducción.

## **ABSTRACT**

The purpose of this study is to design and implement a didactic board that tests rotary electric machines and to serve as contribution to the Electric Maintenance Engineering students so that they can strengthen their theoretical-practical knowledge. The following objectives were pursued: research of theoretical foundation, study of the different types of electric testing that rotary electric machines do, to design and build an electric-testing didactic board for rotary machines and to create a practical guide which can facilitate the handling of different parameters taking into account the practice of electric testing. This field study is supported by descriptive, practical and documental characteristics through an analytical method, inductive-deductive methodology and backed by observation techniques both in the laboratory and by the proposal's design experts. In order to design and build this didactic board, continuous and alternate current motors were obtained; internal connections were modified to simulate testing using fault insertion. As far as the continuous current motor type Shunt, it was converted into a didactic motor because of its access to all terminals and its capability to conduct speed control tests. Two induction motors were used, single-phased and phased which were tested in electric faults to observe its behavioral life-span. Testing speed control and isolation testing including empty and loaded were studied as well, allowing the generation of basis for the design and practical guides for the students of this career. Such innovations will ease in a comfortable and agile way their practical learning founded by theory.

Key words: didactic board, electric testing, induction engines.

## CAPÍTULO I

### 1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1 Antecedentes.

En la actualidad las universidades que ofrecen la carrera de Ingeniería Eléctrica y afines, a nivel mundial cuentan con laboratorios y talleres equipados con tecnología de punta, como es el caso de tableros didácticos para pruebas eléctricas, con el fin de que los estudiantes se relacionen con situaciones que se presentan en las industrias.

En el Ecuador la mayoría de universidades que ofrecen carreras técnicas fortalecen los conocimientos teóricos conjuntamente con la práctica, para lo cual, se ha implementado tableros didácticos, a fin de que los estudiantes puedan realizar pruebas eléctricas en máquinas rotativas de todo tipo.

El sector eléctrico del país requiere contar con profesionales científica y técnicamente capacitados, de tal manera que respondan a las necesidades de la sociedad y contribuyan positivamente al desarrollo técnico-profesional, con seguridad, solvencia y eficacia en la aplicación de conocimientos actualizados, cuyo ejercicio demanda de una profesión sustentada en bases prácticas en un alto porcentaje.

Bajo este enfoque, y a medida que la demanda de estudiantes viene siendo cada vez mayor en la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico perteneciente a la facultad de Educación, Ciencia y Tecnología de la UTN, aparece la necesidad de implementar recursos que permitan fortalecer la estructura integral de operación e implantación de

laboratorios, de tal forma que se obtenga una proporcionalidad a la demanda actual, que requiere cubrir la práctica escasa en cuanto a conocimientos in situ para los futuros profesionales.

Desde los años 1791 – 1867 en que se desarrolló las distintas etapas de funcionamiento de las máquinas eléctricas rotativas así como también el estudio del comportamiento referente a pruebas eléctricas que se han realizado tanto en corriente continua y corriente alterna se ha obtenido valiosas aportaciones para el desarrollo tecnológico e industrial de la humanidad (Carmona y Goldstein, s/f).

## 1.2 Planteamiento del problema.

La carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico de la Universidad Técnica del Norte actualmente, si bien cuenta con un laboratorio, es necesario complementar con el equipamiento que permita realizar pruebas en máquinas eléctricas con carga, pruebas de aislamiento, pruebas de cortocircuito de campo giratorio, mediciones de voltajes en los devanados o grupos de bobinas, variadores de frecuencia, establecer los sistemas de prueba de falla tanto mecánicas como eléctricas, pruebas dieléctricas y parciales de descarga, giratorio entre otras, en los distintos tipos de máquinas eléctricas rotativas como motores y generadores, ya sean estos de corriente continua o corriente alterna.

En la actualidad la necesidad de aprender y desarrollar más conocimientos enfocados a la rama técnica, despierta un mayor interés y surge la necesidad de aportar con material técnico y didáctico como es la implementación de un tablero para pruebas en máquinas eléctricas rotativas, facilitando al estudiante de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico comprobar la teoría aprendida en las aulas de clase con la

práctica al manipular y realizar pruebas con equipos actualizados, cubriendo así inquietudes que pueden surgir en su futura vida profesional.

### 1.3 Formulación del problema.

¿Cómo diseñar e implementar un tablero didáctico para realizar pruebas eléctricas en máquinas rotativas de forma práctica para los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico?

### 1.4 Delimitación.

#### 1.4.1 Temporal.

El trabajo de grado se ejecutó entre junio del 2014 y febrero del 2015.

#### 1.4.2. Espacial.

La investigación se realizó en la Universidad Técnica del Norte, ubicada en la Avenida 17 de Julio.

### 1.5 Objetivos:

#### 1.5.1 Objetivo General:

“Diseñar e implementar un tablero didáctico para pruebas en máquinas eléctricas rotativas, en el laboratorio de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico”.

#### 1.5.2 Objetivos Específicos:

1. Investigar la fundamentación teórica que se requiere para elaborar el proyecto, así como también los diferentes tipos de pruebas eléctricas que se pueden realizar en máquinas eléctricas rotativas.
2. Diseñar y construir un tablero didáctico de pruebas eléctricas en máquinas rotativas.
3. Elaborar guías de prácticas para facilitar la manipulación de los diferentes parámetros a tomar en cuenta en las prácticas de pruebas eléctricas.

#### 1.6 Justificación del tema.

El presente trabajo de investigación se refiere al diseño e implementación de un tablero didáctico para pruebas en máquinas eléctricas rotativas, el mismo que permitirá a los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico fortalecer sus conocimientos a través de este equipo multifuncional práctico, en donde se pueda observar de forma experimental fenómenos y comportamiento de las máquinas eléctricas que antes sólo eran descritos teóricamente o mediante simulación.

Además con el propósito de equipar al laboratorio de máquinas eléctricas con tableros actualizados se crea esta iniciativa que permita contribuir a la investigación mediante un aprendizaje práctico y significativo para generar un crecimiento técnico-profesional en estudiantes de la Universidad Técnica del Norte.

Es factible la realización del presente proyecto porque existe la necesidad de complementar conocimientos teóricos con la práctica en los laboratorios de la UTN, a fin de obtener grandes beneficios a nivel

institucional y del personal docente, ya que es fundamental la actualización técnica y didáctica de los laboratorios de la carrera en mención. El alcance de este proyecto va desde el estudio de elementos necesarios para las diferentes prácticas en el laboratorio de máquinas eléctricas, hasta llegar a tener todos los instrumentos necesarios para realizar cada práctica.

Otro de los factores para el desarrollo de la investigación en este tablero didáctico, es que se cuenta con ayudas bibliográficas, manuales de operación de fácil acceso, en donde se podrá adquirir información teórica suficiente para la ejecución del mismo.

En consecuencia se justifica la elaboración de este tablero didáctico para pruebas eléctricas de las máquinas eléctricas, ya que la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico obtendrá grandes beneficios a través de bases informativas sólidas para mejorar la preparación académica de los estudiantes, que posibilite tener una concepción más actualizada de las diferentes pruebas eléctricas que se pueden realizar, consolidando de esta manera la formación de profesionales críticos, creativos, capacitados en el campo de la energía eléctrica y técnico industrial.

## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Base legal.

Según la Constitución Ecuatoriana (2008), en su **Art. 350** del Sistema de Educación Superior (SES), literal a), menciona que: *“el sistema de educación superior tiene como finalidad la formación académica y profesional con visión científica y humanista; la investigación científica y tecnológica”*. Conforme con este artículo toda institución de educación superior deberá garantizar un buen desempeño académico basada a la investigación tecnológica actual con el objetivo de formar profesionales de excelencia.

También cuestiona a las instituciones sobre las políticas y líneas de investigación en la mayoría de las universidades y escuelas politécnicas públicas son apenas un enunciado teórico y muy poco práctico, por lo que los mecanismos que impulsan el aseguramiento de la calidad de educación en toda institución es corregir falencias en la impartición de conocimientos hacia los futuros profesionales por parte de docentes de cátedra y llevarlo al entorno aplicativo; para esto se debe contar con infraestructura adecuada como: laboratorios, talleres, oficinas, salas de estudio, espacio de recreación, infraestructura deportiva y gimnasios, bibliotecas. Deben poseer elementos pedagógicos y tecnológicos que permita un buen aprendizaje para los estudiantes. En base a esto, los laboratorios y talleres deberán contar con todos los elementos necesarios para un buen conocimiento académico especialmente relacionado al tema de motores eléctricos como el caso de los de inducción.

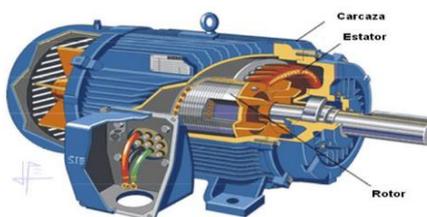
## 2.2. Motores asíncronos o de inducción.

Se considera un motor de inducción cuando la velocidad de giro del rotor no alcanza la velocidad de campo magnético del estator.

Al respecto, De Valdemira, (2011) manifiesta que los motores asíncronos constan de dos partes fundamentales:

El estator es la parte fija del motor. Está constituido por una carcasa en la que está fijada una corona de chapas de acero al silicio provistas de unas ranuras. Los bobinados de sección apropiada están dispuestos en dichas ranuras formando las bobinas que se dispondrán en tantos circuitos como fases tenga la red a la que se conectará la máquina. El rotor es la parte móvil del motor. Está situado en el interior del estator y consiste en un núcleo de chapas de acero al silicio apiladas que forman un cilindro, en el interior del cual se dispone un bobinado eléctrico. Los tipos más utilizados son: rotor de jaula de ardilla y rotor bobinado (p.2).

Lo antes expreso señala que este tipo de motor comprende una serie de componentes importantes para una fácil comprensión en cuanto a su funcionamiento considerando al rotor y estator como el eje fundamental de su estructura. Para una mejor comprensión la fig. 1 ilustra de manera didáctica.



**Figura 1.** Motor asíncrono.  
**Fuente:** De Vandelvira (2011)

En este contexto, Chapman (2012), indica que el funcionamiento del motor de inducción se produce al aplicar corriente eléctrica al estator generando un campo electromagnético que se mueve en círculo y hace

girar al rotor por el cual circula corriente eléctrica producida por la inducción electromagnética (ley de Faraday), la cual establece que si una espira es atravesada por un campo magnético que varía en el tiempo se crea en sus terminales una diferencia de potencial dado por la expresión:

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Dónde:

e= diferencia de potencial inducida en la espira en vatios

$\Phi$ =flujo que corta a la espira en Weber

t= tiempo en segundos.

### 2.2.1 Constitución de un motor de inducción.

Para el autor antes mencionado, tanto motores asíncronos, como los síncronos tienen físicamente el mismo estator, lo que les diferencia es la construcción de sus rotores, por tanto se conocen dos tipos de rotores en los motores de inducción o asíncronos, el rotor jaula de ardilla y el rotor devanado.

El rotor jaula de ardilla también llamado rotor en cortocircuito está formado por barras conductoras dentro de ranuras labradas generalmente oblicuas respecto al eje, esto para evitar puntos muertos en inducción electromagnética. Este tipo de rotor es usado con mayor frecuencia en motores pequeños, en donde la corriente de arranque supera entre seis u ocho veces la corriente nominal, sin embargo, en la actualidad se está implementando el uso de rotores jaula de ardilla doble porque se reduce considerablemente la corriente de arranque y es más resistente a las sobrecargas.

A diferencia de los rotores jaula de ardilla, el rotor devanado está constituido por un bobinado que se conecta a unos anillos deslizantes y al eje, este rotor tiene corrientes accesibles en las escobillas del estator, esto permite tener un control sobre la característica par-velocidad del motor, ya que es posible insertar una resistencia extra al circuito del rotor. Por su gran tamaño y en vista que requieren mayor mantenimiento debido a su gran desgaste, este tipo de rotores es poco utilizado dentro de la industria.

### 2.2.2 Circuito equivalente.

El circuito equivalente del motor de inducción es similar al de un transformador ordinario, puesto que en el funcionamiento del motor de inducción se inducen voltajes y corrientes del circuito del estator al circuito del rotor, lo que comúnmente se conoce como acción transformadora.

Chapman (2012) establece, las siguientes ecuaciones cuando la relación es efectiva del número de vueltas  $a_{ef}$ .

El voltaje transformado del rotor es:

$$E_1 = E'_R = a_{ef} E_{RO}$$

La corriente del rotor es:

$$I_2 = \frac{I_R}{a_{ef}}$$

La impedancia del rotor es:

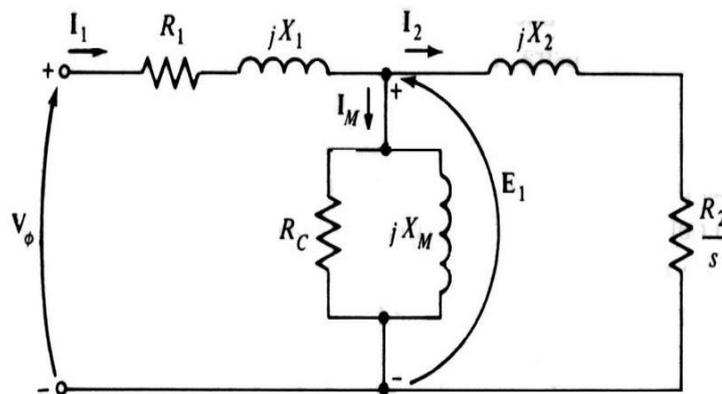
$$Z_2 = a_{ef}^2 \left( \frac{R_R}{S} + jX_{RO} \right)$$

Ahora se define:

$$R_2 = a_{ef}^2 R_R$$

$$X_2 = a_{ef}^2 X_{RO}$$

Entonces el circuito equivalente por fase del motor, se muestra en la siguiente figura.



**Figura 2.** Circuito equivalente por fase de un motor asíncrono.  
**Fuente:** Chapman, S. (2012:240).

Dónde:

- $E_1$  : Voltaje transformado del rotor
- $I_2$  : Corriente del rotor
- $Z_2$ : Impedancia del rotor
- $a_{ef}$  : Relación efectiva de vueltas
- $R_R$ : Resistencia del rotor.
- $X_{RO}$ : Reactancia del rotor en estado bloqueado.
- $R_2$ : Resistencia referida.
- $X_2$ : Reactancia referida.
- $R_c$ : Resistencia del entrehierro.
- $X_m$ : Reactancia mutua entrehierro.

## 2.2.3 Conceptos básicos de los motores de inducción.

### 2.2.3.1 Par inducido en un motor de inducción.

Chapman (2012) establece, al aplicar voltajes trifásicos al estator fluyen corrientes trifásicas que producen un campo magnético  $B_S$  cuya velocidad de rotación de campo magnético está dada por:

$$n_{sinc} = \frac{120fe}{P}$$

Donde  $n_{sinc}$  es la velocidad síncrona,  $fe$  es la frecuencia del estator y  $P$  es el número de polos en la máquina.

El campo magnético  $B_s$  induce un voltaje en las barras del rotor dado por:

$$e_{ind} = (v * B) * l$$

Dónde:

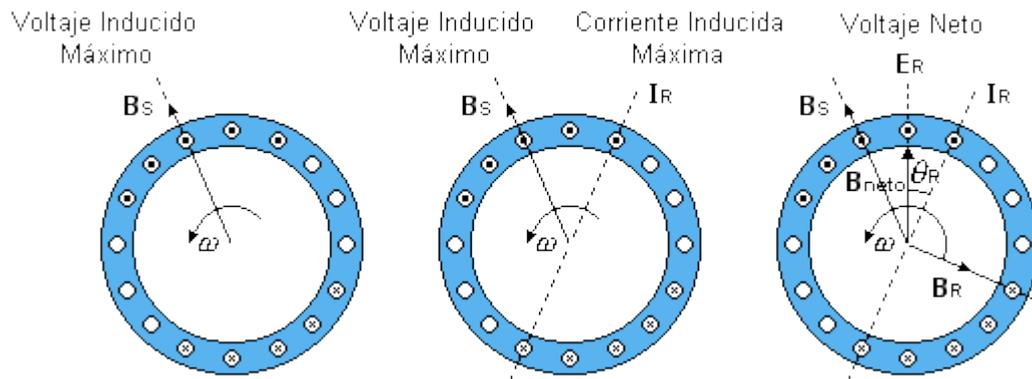
V: velocidad de la barra en relación con el campo magnético

B: vector de densidad de flujo magnético

L: longitud del conductor en el campo magnético

Existe movimiento relativo del rotor respecto con el campo magnético del estator, generando un flujo de corriente hacia fuera de las barras superiores y hacia dentro de las barras inferiores. El flujo de corriente en el rotor produce un campo magnético en el rotor  $B_R$ , determinando el par inducido en la máquina por :

$$\tau_{ind} = k B_R * B_S$$



**Figura 3.** Desarrollo de un par inducido en el motor de inducción.  
**Fuente:** <http://proton.ucting.udg.mx/posgrado/cursos/idc/neuronales2/DescripcionM.htm>

### 2.2.3.2 Deslizamiento del rotor.

El autor antes mencionado emplea los términos: la velocidad de deslizamiento y el deslizamiento, para definir el movimiento relativo del rotor y los campos magnéticos. La siguiente ecuación determina la velocidad de deslizamiento.

$$n_{des} = n_{sinc} - n_m$$

Dónde:

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

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

$n_m$ : Velocidad mecánica del eje del motor

Finalmente como el deslizamiento se debe expresar en porcentaje, se deduce la siguiente ecuación:

$$s = \frac{n_{des}}{n_{sinc}} (* 100\%)$$

$$s = \frac{n_{sinc} - n_m}{n_{sinc}} (* 100\%)$$

### 2.2.3.3 Frecuencia eléctrica en el rotor.

Chapman (2012) afirma que, si el rotor se bloquea tendrá la misma frecuencia que el estator, por otro lado si el rotor gira a velocidad síncrona, la frecuencia del rotor será cero.

Si  $n_m = 0 \text{ r/min}$ , entonces la frecuencia en el rotor es  $f_r = f_e$  y el deslizamiento es  $s = 1$ .

En cambio si  $n_m = n_{sinc}$  la frecuencia en el rotor es cero  $f_r = 0 \text{ Hz}$  y el deslizamiento es  $s = 0$ .

Por tanto la frecuencia se puede expresar:

$$f_r = s f_e$$

Sustituyendo  $s$  se tiene:

$$f_r = \frac{n_{sinc} - n_m}{n_{sinc}} * f_e$$

Pero  $n_{sinc} = 120 f_e / P$  por lo que:

$$f_r = (n_{sinc} - n_m) \frac{P}{120 f_e} f_e$$

Por tanto:

$$f_r = \frac{P}{120} (n_{sinc} - n_m)$$

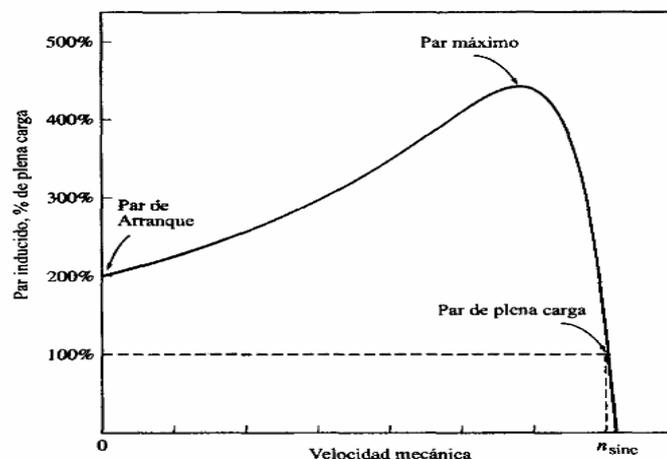
Dónde:

$f_r$ : Frecuencia del rotor  
 $f_e$ : Frecuencia del estator  
 $s$ : Deslizamiento  
 $P$ : Número de polos

## 2.2.4 Características Par- velocidad en los motores de inducción.

Chapman (2012) establece las siguientes características:

- El par inducido del motor es cero a la velocidad sincrónica.
- La curva par-velocidad es aproximadamente lineal entre vacío y plena carga; ya que cuando crece el deslizamiento, crecen linealmente: la corriente del rotor, el campo magnético del rotor, y el par inducido.
- El par máximo o de desviación, equivale a 2 o 3 veces el par nominal y no puede ser excedido.
- El par de arranque es ligeramente mayor al par de plena carga.
- Para un deslizamiento dado, el par inducido varía con el cuadrado del voltaje aplicado.
- La máquina de inducción opera como generador cuando la velocidad del rotor es mayor que la sincrónica.
- Para frenar con rapidez el motor, se conmutan dos fases, que significa invertir la dirección de rotación del campo magnético.



**Figura 4.** Curva característica par- velocidad de un motor de inducción típico.  
**Fuente:** Chapman, S. (2012:253).

## 2.2.5 Pruebas en motores de inducción.

### 2.2.5.1 Control de velocidad en los motores de inducción.

Es posible variar la velocidad de un motor de inducción de tres maneras: variación de la frecuencia, mediante el cambio de polos y variación del deslizamiento del rotor.

La velocidad síncrona de un motor de inducción está dado por:

$$n_{sinc} = \frac{120f_e}{P}$$

Dónde:

$n_{sinc}$ : Velocidad síncrona  
 $f_e$ : Frecuencia del estator  
 $P$ : Número de polos

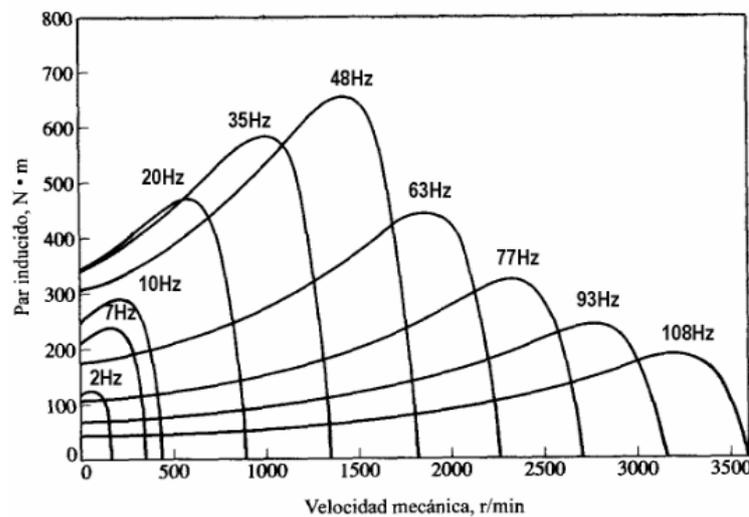
#### 2.2.5.1.1 Control de velocidad mediante el cambio en la frecuencia de la línea.

Chapman (2012) manifiesta:

Si se cambia la frecuencia eléctrica aplicada al estator de un motor de inducción, la tasa de rotación de sus campos magnéticos  $n_{sinc}$  cambiará en proporción directa con el cambio de la frecuencia eléctrica y el punto de vacío sobre la curva de la característica par – velocidad cambiara con ella. (p.275).

A través del variador de frecuencia, se puede ajustar la velocidad del motor aumentando o disminuyendo su velocidad base, sin embargo para tener una operación segura se debe mantener ciertos límites de voltaje y par del motor de acuerdo se vaya variando la frecuencia.

En el proceso de degradación operando a velocidades bajas se debe reducir el voltaje en los terminales del estator linealmente con el decremento de la frecuencia del estator, esto con el fin de evitar la saturación en el núcleo y el aumento de la corriente de magnetización del motor.



**Figura 5.** Curvas características par-velocidad para todas las frecuencias.  
**Fuente:** Chapman, S. (2012:275).

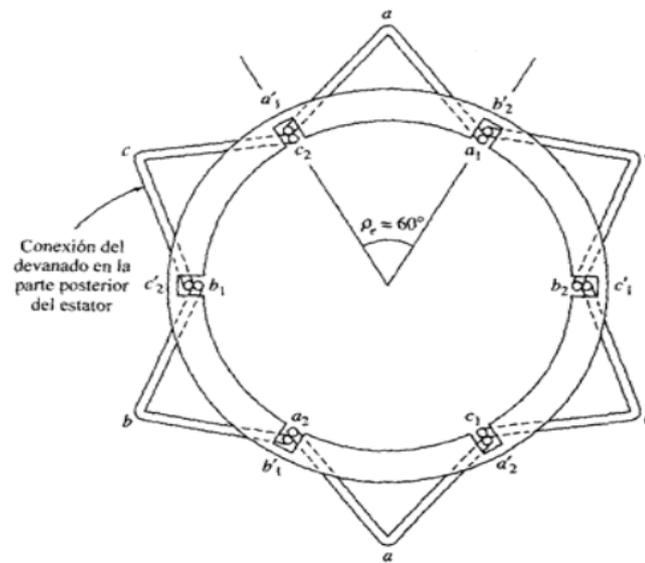
#### 2.2.5.1.2 Control de velocidad del motor de inducción mediante el cambio de polos.

Chapman (2012) establece dos métodos:

1. Método de polos consecuentes
2. Devanados de estator múltiples

En el método de polos consecuentes se puede cambiar el número de los polos en los devanados del estator por un factor 2:1 únicamente cambiando las conexiones de las bobinas.

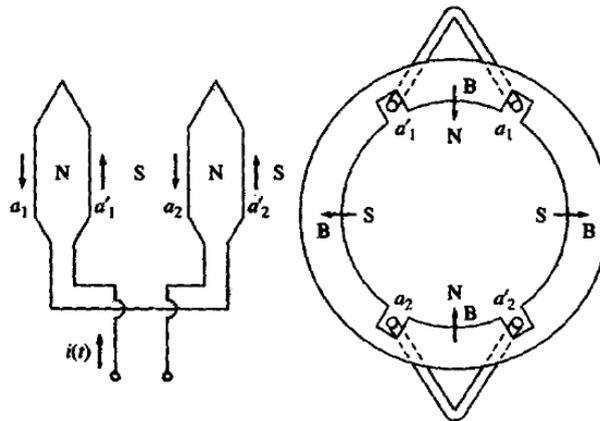
En la figura 6 se muestra el estator de un motor de inducción de dos polos simple adecuado para el cambio de polos.



**Figura 6.** Devanado de estator para cambio de polos. Nótese la bobina del rotor tan pequeña de los devanados.  
**Fuente:** Chapman, S. (2012:273).

Las bobinas individuales tienen un paso corto de  $60^\circ$  a  $90^\circ$  además el campo magnético deja al estator en el grupo de la fase superior (polo norte) y entra en el estator en el grupo de la fase inferior (polo sur) produciéndose dos polos magnéticos en el estator. Al producirse un cambio de dirección de flujo de corriente (cambio de conexión de una de las bobinas) el campo magnético dejará el estator en ambos grupos, siendo cada grupo un polo norte magnético.

El flujo magnético debe regresar al estator entre los dos grupos de fase, produciéndose un par de polos magnéticos sur consecuentes y finalmente el estator tiene cuatro polos magnéticos.



**Figura 7.** Devanado de 2 a 4 polos mediante polos consecuentes.  
**Fuente:** Chapman, S. (2012:273).

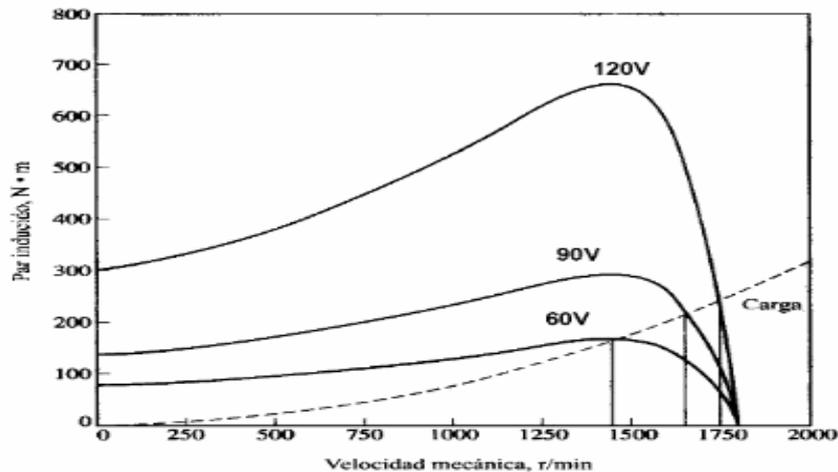
Debido al inconveniente de no poder obtener velocidades intermedias en el método de polos consecuentes se emplea el método de los devanados múltiples con diferentes cantidades de polos por lo que el estator se puede rebobinar a dos velocidades, un devanado se bobina para 2 polos producirá una velocidad de 3600 rpm y un segundo devanado para 4 polos bajando la velocidad a 1800rpm.

### 2.2.5.1.3 Control de velocidad mediante la variación del deslizamiento del rotor.

La variación del deslizamiento se logra a través de dos técnicas: variando el voltaje aplicado al estator, es decir, voltaje de línea y mediante el cambio de la resistencia del rotor.

En el control por voltaje de línea se deduce que el par varía en forma cuadrática con la variación del voltaje, como se muestra en la figura 8, este método de control de velocidad es poco satisfactorio, debido a que el par máximo a la mitad del voltaje nominal es un 25 % de dicha tensión nominal, por lo que no es posible obtener ni la mitad del par nominal,

reduciéndose la velocidad del motor rápidamente y éste se para antes de desarrollar el par nominal.



**Figura 8.** Control de velocidad por relación del voltaje de línea.  
**Fuente** Chapman, S. (2012:277).

En el método de cambio de la resistencia del rotor, consiste en la inserción de una resistencia extra en el rotor de la máquina produciéndose un deslizamiento. Sin embargo presenta bajo rendimiento debido al aumento de las pérdidas en la resistencia del rotor. Esta prueba únicamente se la puede realizar en motores cuyo rotor sea del tipo devanado.

#### 2.2.5.2 Prueba de DC para determinar la resistencia del estator.

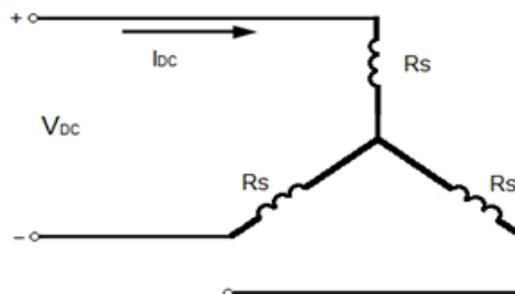
Consiste en aplicar voltaje DC a los devanados de un motor de inducción, como la corriente también es DC, el voltaje inducido del rotor será cero y no habrá flujo de corriente en el mismo; considerando además que la reactancia del motor es cero en corriente directa, entonces lo que limita el flujo de corriente en el motor es la resistencia del estator  $R_S$  y de esta manera se puede calcular esta resistencia.

Para la prueba se conecta los tres terminales del motor de inducción conectado en Y, a una fuente de potencia DC y se ajusta la corriente de los devanados del estator a su valor nominal, tal como se muestra en la figura 9, la corriente fluye a través de dos de los devanados, entonces la resistencia total es  $2R_S$ . Por tanto.

$$2R_S = \frac{V_{DC}}{I_{DC}}$$

$$R_S = \frac{V_{DC}}{2I_{DC}}$$

Con el valor de  $R_S$  se puede determinar las pérdidas en el cobre del estator en vacío y pérdidas rotacionales restando la potencia de entrada en vacío y las pérdidas en el cobre del estator.



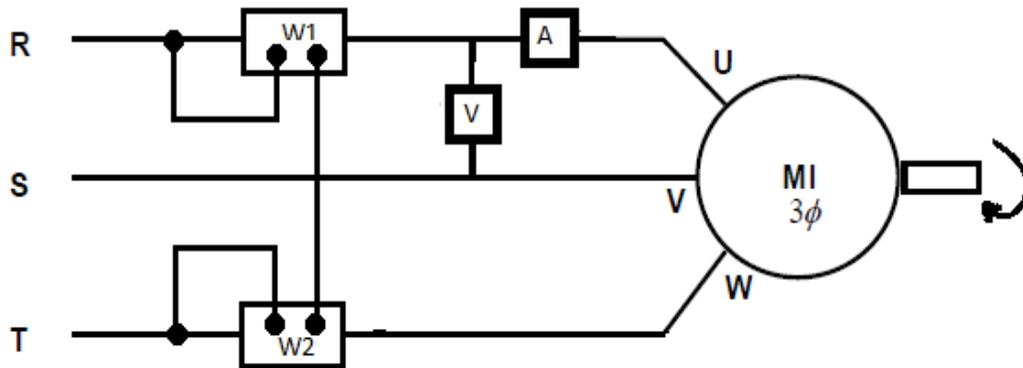
**Figura 9.** Circuito de prueba de dc de resistencia en el estator.  
**Fuente:** Los autores (2015).

### 2.2.5.3 Prueba en vacío o de rotor libre.

En esta prueba Fraile (2008) afirma que el motor funciona sin ninguna carga mecánica en el eje, es decir, la máquina trabaja a rotor libre, se aplica voltaje al estator y se obtienen mediciones de intensidad, potencia absorbida y velocidad rotórica en vacío. Con el valor de la resistencia en el estator  $R_S$ , obtenida en la prueba de DC,

se puede calcular el valor de las pérdidas en el rotor, pérdidas magnéticas y reactancia de magnetización.

En la siguiente figura se muestra el diagrama de prueba.



**Figura 10.** Diagrama de conexión, prueba en vacío.  
Fuente: Los autores (2015).

Las ecuaciones para realizar esta prueba son:

$$X_{ls} + X_m = [Z_{vac}] = \frac{V_{vac}}{\sqrt{3} * I_{vac}}$$

$$P_{cs,vac} = 3I_s^2 R_s$$

$$P_{rot} = P_{T,vac} - P_{cs,vac}$$

Dónde:

$X_{ls}$  = Reactancia de fuga del estator.

$X_m$  = Reactancia de magnetización.

$P_{cs,vac}$  = Pérdidas en el cobre del estator.

$P_{rot}$  = Pérdidas rotaciones.

$P_{T,vac}$  = Pérdidas totales en vacío.

$V_{vac}$  = Voltaje de alimentación en vacío.

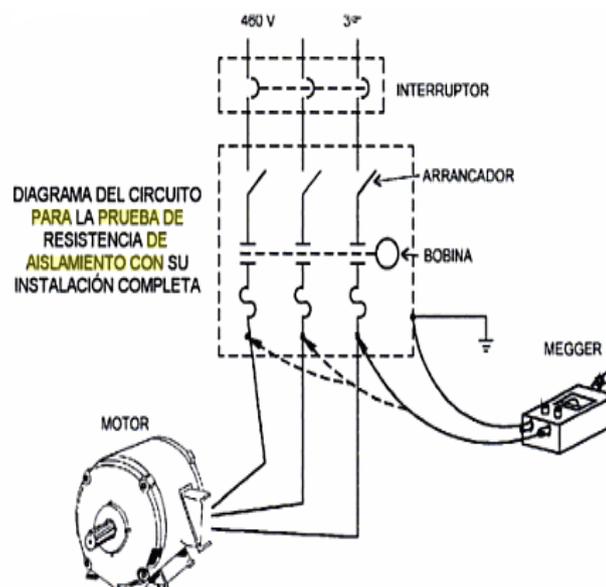
$I_{vac} = I_s$  = Corriente de la línea

También existe la prueba de rotor bloqueado, su diagrama de conexión es similar a la prueba de vacío, con la diferencia que se bloquea mecánicamente el rotor y se alimenta a tensión reducida el devanado del estator, pero esta prueba no es muy conveniente realizarla debido a que, existe calentamiento en los devanados y esto puede deteriorar la vida útil del motor.

#### 2.2.5.4 Pruebas de aislamiento.

Son pruebas de medición de la resistencia de aislamiento, cuyo resultado depende de la resistencia que presenta un material de aislamiento al flujo de corriente que se genera al aplicar voltaje DC.

La medición se toma en 60 segundos a través del megger, luego de alcanzar el voltaje de prueba. Puede realizarse en el panel de arrancadores. Si el valor obtenido no es satisfactorio se debe hacer directamente en la caja del motor.



**Figura 11.** Esquema de conexión para prueba de aislamiento con megger.  
**Fuente:** Enríquez Harper, G. (2004:243).

#### 2.2.5.5 Determinación de la resistencia de los devanados.

La norma ANSI/IEEE 43-2000 indica el nivel de tensión en corriente continua que se debe aplicar en las pruebas de aislamiento dependiendo de la potencia de la máquina, así como también los valores mínimos aceptables de la resistencia de aislamiento para los bobinados de las máquinas rotatorias para corriente continua (CC) y corriente alterna (CA), es decir, la resistencia medida al cabo de un minuto.

La siguiente tabla da a conocer los valores de voltaje de c.c. que será aplicado durante la prueba de resistencia de aislamiento.

| Capacidad del equipo de CA | Voltaje de prueba de CD     |
|----------------------------|-----------------------------|
| hasta 100 volts            | 100 a 250 volts             |
| 440 a 550 volts            | 500 a 1,000 volts           |
| 2,400 volts                | 1,000 a 2,500 volts o mayor |
| 4,160 volts y mayor        | 1,000 a 5,000 volts o mayor |

**Tabla 1.** Voltajes D.C. de prueba.

**Fuente:** Megger, La guía completa para pruebas de aislamiento (2010:20).

Se recomienda aislar cada fase y probar cada fase por separado las otras dos fases que no están siendo probadas deben ser aisladas a tierra en la misma tierra del núcleo del rotor o cuerpo del rotor. Para tener una lectura precisa se debe desconectar todo el equipo externo (cables, capacitores etc.) y conectarlos a tierra.

La resistencia mínima de cualquier fase del bobinado de una armadura debe aproximarse a dos veces al bobinado total, se prueba con las dos

fases restantes conectadas a tierra. Si cada fase es probada de forma independiente, la resistencia mínima (a 1 minuto) observada deberá ser tres veces el bobinado total.

Si la resistencia a 1 minuto es mayor a 500 MΩ, entonces el cálculo del índice de polarización (IP) puede inhibirse.

#### 2.2.5.6 Índice de polarización.

El índice de polarización es la relación entre la resistencia de aislamiento medida en 10 minutos y la resistencia de aislamiento medida en 1 minuto, a temperatura relativamente constante.

El índice de polarización permite evaluar las condiciones del aislamiento del motor conforme la siguiente tabla.

| Índice de polarización | Condición de aislamiento |
|------------------------|--------------------------|
| 1 o menor              | Malo                     |
| < 1.5                  | Peligroso                |
| 1.5 A 2                | Regular                  |
| 2 A 3                  | Bueno                    |
| 3 A 4                  | Muy Bueno                |
| > 4                    | Excelente                |

**Tabla 2.** Índice de polarización.

**Fuente:** Weg, Manual de instalación, operación y mantenimiento (2013:21).

#### 2.2.5.7 Pruebas con carga en los motores de inducción.

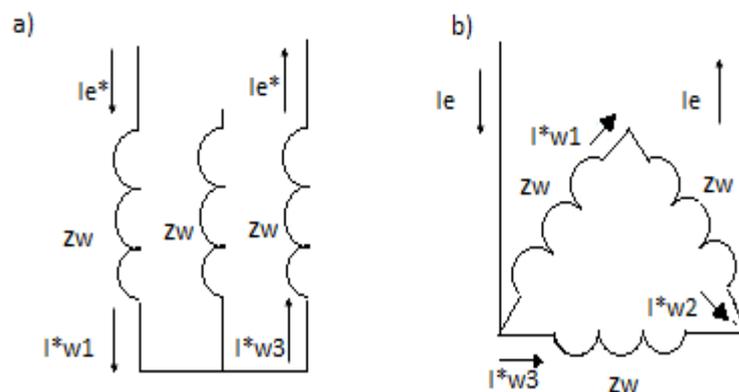
En esta prueba el motor se conecta a una carga ajustable o nominal, se puede obtener el valor de la corriente del motor a plena carga siempre y cuando que el motor arranque con voltaje nominal. El valor eficaz de la corriente, actuará de acuerdo al voltaje, si el voltaje aplicado es menor

con respecto al de placa del motor, el valor de amperaje medido es más alto que lo esperado bajo condición nominal, para corregir esto se debe elevar el voltaje hasta llegar al valor nominal. En otras palabras la corriente del motor varía respecto a la carga, a mayor carga mayor corriente y viceversa.

## 2.2.6 Inserción de fallas.

### 2.2.6.1 Operación entre dos fases (motor trifásico).

Esto puede ocurrir cuando el motor presenta una falla en una de las fases ya sea por algún elemento de protección o conexiones defectuosas, esto provocará que el motor tenga problemas al momento de arrancar o si se presenta la falla cuando el motor está en funcionamiento, se elevará la intensidad en las dos fases restantes y un desbalance de cargas en el devanado, provocando daños en el motor.



**Figura 12.** Operación entre dos fases a) motor en estrella b) motor en triángulo.

**Fuente:** Los autores (2015).

Bajo condiciones normales de funcionamiento la potencia trifásica se define:

$$P_e = \sqrt{3}.V_n.I_e.\cos\Phi$$

Dónde:

$P_e$ : Potencia del motor

$V_n$ : Voltaje de línea

$I_e$ : Intensidad de línea

$\cos\Phi$  : Factor de potencia

Para el análisis de un motor conectado en estrella con falla de fase alimentación tenemos las siguientes ecuaciones:

Asumiendo que  $V_n = V^*$  y el factor de potencia  $\cos\Phi = \cos\Phi^*$  la fórmula se expresa así:

$$P^* = V^*.I_e^*.\cos\Phi^*$$

Igualando las 2 ecuaciones anteriores tenemos:

$$\sqrt{3}.V_n.I_e.\cos\Phi = V^*.I_e^*.\cos\Phi^*$$

$$\sqrt{3}.I_e = I_e^* \rightarrow I_e^* = 1.73.I_e$$

Por lo tanto un motor trifásico conectado en estrella con falla de una fase absorbe un 73 % más de la intensidad nominal para suministrar la misma potencia.

Para el análisis de un motor conectado en triángulo con falla de fase alimentación como se muestra en la figura 12, asumiendo que la corriente de los 3 devanados es la misma tenemos las siguientes ecuaciones:

$$I_{w1} = I_{w2} = I_{w3} = I_w = \frac{I_e}{\sqrt{3}}$$

Si el motor absorbe en línea la corriente nominal " $I_e$ ", en las fases la corriente será:

$$I^*w1 = I^*w2 = \frac{V}{2.Z_w} ;$$

$$I^*w3 = \frac{V}{Z_w}$$

Despejando el voltaje en función de la impedancia total de los devanados, se obtiene:

$$V = \frac{2.Z_w}{3} . I_e$$

Sustituyendo el voltaje en las expresiones  $I^*w1 = I^*w2$  y  $I^*w3$  se tiene:

$$I^*w1 = I^*w2 = \frac{1}{2.Z_w} . \frac{2.Z_w}{3} . I_e = \frac{I_e}{3}$$

$$I^*w3 = \frac{1}{Z_w} . \frac{2.Z_w}{3} . I_e = \frac{2}{3} . I_e$$

Contrarrestando las corrientes en los devanados en condiciones normales, y en el funcionamiento con falta de fase se obtienen las siguientes relaciones:

$$\frac{I_{w1}}{I^*w1} = \frac{I_{w2}}{I^*w2} = \frac{I_e}{\sqrt{3}} \cdot \frac{3}{I_e} = \frac{3}{\sqrt{3}} = 1.73$$

$$\frac{I^*w1}{I_{w1}} = \frac{I^*w2}{I_{w2}} = 0.578$$

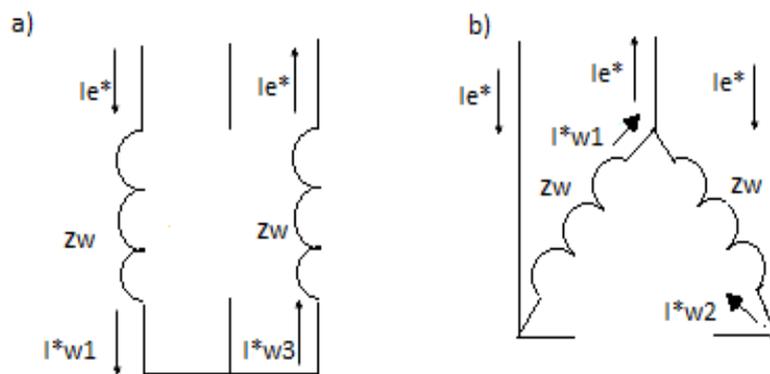
$$\frac{I_{w3}}{I^*w3} = \frac{I_e}{\sqrt{3}} \cdot \frac{3}{2.I_e} = \frac{3}{2.\sqrt{3}} = 0.876$$

$$\frac{I^*w3}{I_{w3}} = 1.15$$

Por lo tanto un motor trifásico conectado en triángulo con falla de una fase absorbe un 15 % más de la intensidad nominal en los devanados bajo condiciones normales.

### 2.2.6.2 Bobinados del estator sueltos (bobinado abierto).

En esta falla se produce un aumento de la vibración aproximadamente el doble de la frecuencia de la red, produciéndose un deterioro del aislamiento de los conductores, fallos a tierra y cortocircuitos entre los devanados.



**Figura 13.** Conexión de estator trifásico de bobinas simples con una bobina abierta a) motor en estrella b) motor en triángulo.  
**Fuente:** Los autores, (2015).

El análisis del aumento de las intensidades en un motor conectado en estrella con bobinado abierto es igual como en la falla de fase, por tanto se analizará la falla de bobinado abierto en la conexión en triángulo partiendo de la siguiente relación:

$$P^* = 2.V^*.Ie^*.cos\phi^*$$

Asumiendo que el motor debe suministrar la misma potencia y que  $V_n = V^*$  al igual que factor de potencia  $\cos\Phi = \cos\Phi^*$  he igualado la relación anterior con la ecuación:

$$P_e = \sqrt{3}.V_n.I_e.\cos\Phi$$

Se obtiene:

$$\begin{aligned}\sqrt{3}.V_n.I_e.\cos\Phi &= 2.V^*.I_e^*.\cos\Phi^* ; \\ \sqrt{3}.I_e &= 2.I_e^* \rightarrow I_e^* = \frac{\sqrt{3}}{2}.I_e\end{aligned}$$

Como  $I_e^*$  recorre el único devanado en esta falla entonces es igual a la corriente  $I^*_w$ , pero bajo condiciones normales sabemos que

$$I_w = \frac{I_e}{\sqrt{3}}$$

En términos de corriente de devanado introduciendo este concepto en la fórmula anterior tenemos:

$$\sqrt{3}.\sqrt{3}.I_w = 2.I^*_w$$

Despejando se tiene:

$$I^*_w = 1.5 I_w$$

### 2.2.6.3 Cortocircuito entre espiras.

Este tipo de fallas se presenta cuando las espiras del devanado se cruzan y se produce un cortocircuito, estos daños se presentan por diversos factores, por ejemplo: contaminación interna del motor, pérdida de aislamiento del conductor y oscilaciones rápidas en la tensión de alimentación.

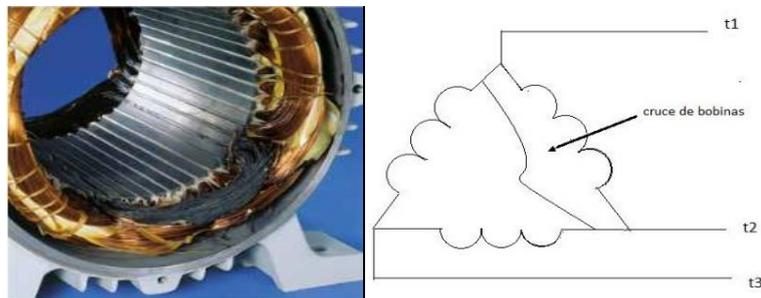


**Figura 14.** Cortocircuito entre espiras.

**Fuente:** <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-danos-en-los-bobinados-motores-trifasicos-50036032-guia-instalacion-espanol.pdf>

#### 2.2.6.4 Falla cruce de bobinas en motores monofásicos y trifásicos.

Es la falla en el bobinado cuando hay bajas de tensión por lo cual la intensidad se eleva y los bobinados se agrietan perdiendo su aislamiento; a diferencia de los motores monofásicos es una falla de cruce de bobinas de trabajo con las bobinas de arranque, el cual se da por sobrecalentamiento, bajas de tensión, fallas por contaminantes ambientales tales como diluyentes e inflamables.



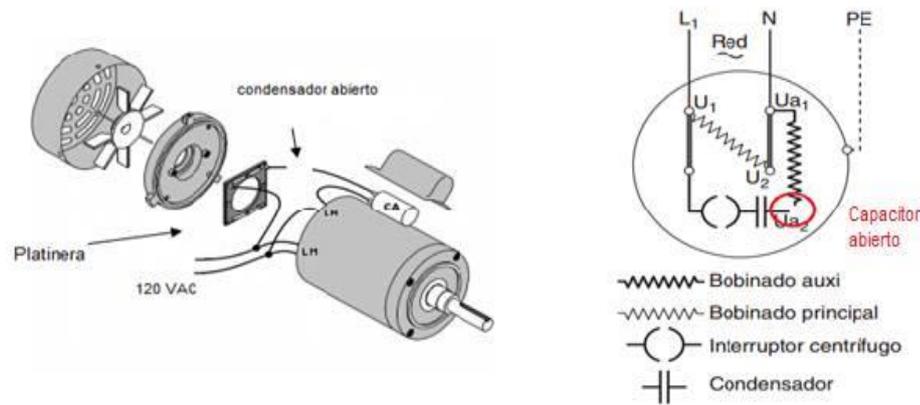
**Figura 15.** Cruce de bobinado.

**Fuente:** <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-danos-en-los-bobinados-motores-trifasicos-50036032-guia-instalacion-espanol.pdf>

#### 2.2.6.5 Falla capacitor defectuoso (abierto) en motores monofásicos.

El capacitor se conecta en serie con el bobinado de arranque y su función es mantener una corriente constante al momento del arranque,

con el fin de evitar que el motor llegue a forzarse, y una vez que el motor alcanza su velocidad nominal, este se desconecta mediante la apertura de un interruptor centrífugo.

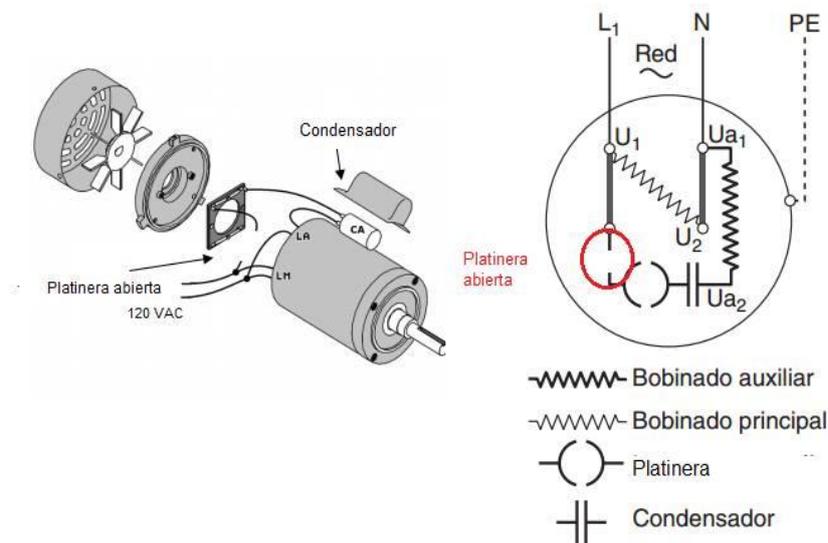


**Figura 16.** Motor monofásico con falla capacitor abierto  
**Fuente:** Los autores, (2015).

Cuando un capacitor presenta daños, no permite el paso de corriente por el bobinado de arranque, entonces el bobinado de trabajo en el arranque inicial recibe de tres a cuatro veces el valor de su corriente nominal y no termina de arrancar, para motores de altas potencias ante esta situación el motor se quemaría inevitablemente a menos que exista protección contra sobrecorriente.

#### 2.2.6.6 Falla platinera abierta en motores monofásicos.

Un interruptor centrífugo consta de dos partes una fija conocida también como platinera y una parte móvil giratoria, su función es desconectar el bobinado de arranque cuando el motor alcanza aproximadamente las  $\frac{3}{4}$  partes de su velocidad nominal, es ahí cuando la parte giratoria deja de presionar los contactos de la parte fija desconectando el bobinado de arranque.



**Figura 17.** Motor monofásico con falla platinera abierta.  
**Fuente:** Los autores, (2015).

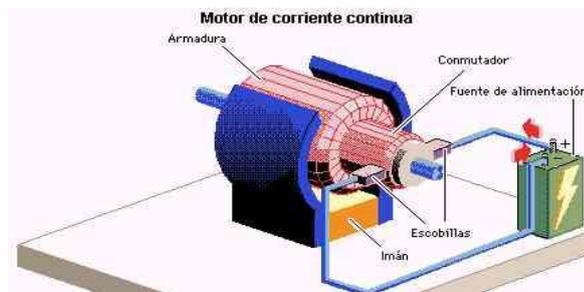
Las fallas de este tipo se dan por el excesivo número de arranques con baja tensión. Como alternativa para solucionar este problema se puede implementar una llave electrónica la cual funciona con voltaje inducido a una bobina.

### 2.3. Motores de corriente directa.

#### 2.3.1. Introducción.

El motor de corriente continua CC o corriente directa DC, transforma la energía eléctrica en mecánica, esto se produce gracias a la acción de los campos magnéticos. Está formado fundamentalmente de dos partes, el estator y el rotor. El estator está constituido por dos devanados o polos, estos pueden ser de imanes permanentes o por devanados de hilo de cobre sobre un núcleo. El rotor es también devanado, el mismo que se alimenta de corriente, por medio de las escobillas o carbones.

Los motores de corriente directa se utilizan cada vez menos, ya que han sido reemplazados por motores de corriente alterna, debido a su elevado costo de mantenimiento. Sin embargo, se sigue utilizando en aplicaciones de control y automatización de procesos en fábricas, minas, trenes y tranvías.



**Figura 18.** Motor de corriente directa (DC).

**Fuente:** <http://www.monografias.com/trabajos61/motores-corriente-continua/Image27863.jpg>

### 2.3.2 Motor de corriente directa en paralelo (shunt).

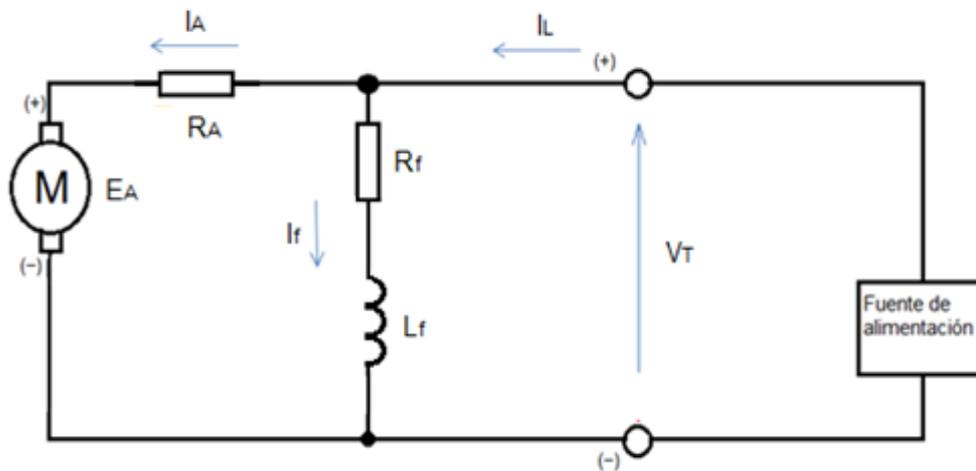
El motor de DC en paralelo tiene como característica principal que su devanado inductor está conectado en paralelo con el devanado de la armadura, a este tipo de máquina se la conoce como motor de excitación en paralelo.

Las características de este tipo de motor son diferentes a las de otros motores en DC ya que este motor tiene un par de arranque menor, debido a que la bobina de campo en derivación está devanado con muchas vueltas de alambre de calibre delgado con la finalidad de mantener una velocidad constante.



**Figura 19.** Motor de corriente directa en paralelo o en shunt.  
**Fuente:** Los autores, (2015).

### 2.3.2.1 Circuito equivalente.



**Figura 20.** Circuito equivalente de un motor en paralelo o shunt.  
**Fuente:** Chapman, S. (2012:348).

Dónde:

- $E_A$ = Voltaje de la armadura.
- $R_A$ = Resistencia de la armadura.
- $I_A$ = Corriente de la armadura.
- $L_f$ = Devanado de campo.
- $R_f$ = Resistencia de campo.
- $I_f$ = Corriente de campo.
- $V_T$ = Voltaje de la fuente.
- $I_L$ = Corriente de línea.

### 2.3.2.2 Características de los terminales de un motor shunt.

CHAPMAN (2012) afirma que la característica de los terminales de motor en paralelo (shunt) es la gráfica del par en relación a la velocidad de salida. Esto quiere decir la respuesta del motor con respecto a la carga que se le aplica, por ejemplo: se aumenta la carga en el eje, entonces el par de carga  $\tau_{carga}$  excederá el par inducido  $\tau_{ind}$ , en el motor, por tanto, el motor comenzará a reducir la velocidad y a decrecer el voltaje interno en  $E_A$ .

Las características de salida de este tipo de motor, pueden ser derivadas a partir de las ecuaciones del voltaje inducido y el par del motor, más la ley de voltajes de Kirchhoff. La ecuación de la mencionada ley para un motor shunt es:

$$V_T = E_A + I_A R_A$$

El voltaje inducido está definido como  $E_A = K\phi\omega$

Sustituyendo esta expresión en la ecuación anterior se tiene:

$$V_T = K\phi\omega + I_A R_A$$

Puesto que  $t_{ind} = K\phi I_A$ , la corriente  $I_A$  puede ser expresada como:

$$I_A = \frac{\tau_{ind}}{K\phi}$$

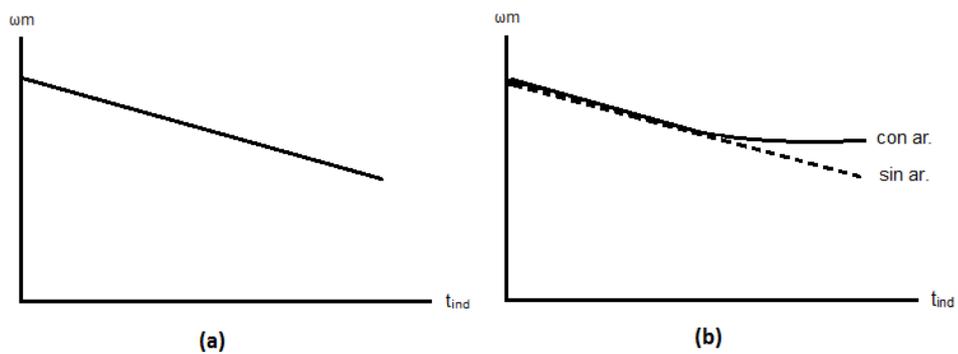
Sustituyendo esta corriente en la ecuación del voltaje terminal  $V_T$ , se tiene:

$$V_T = K\phi\omega + \left(\frac{\tau_{ind}}{K\phi}\right) * R_A$$

Finalmente, despejando la velocidad  $\omega$  del motor resulta:

$$\omega = \left(\frac{V_T}{K\phi}\right) - \left(\frac{R_A}{(K\phi)^2}\right) * \tau_{ind}$$

Esta expresión es la de una línea recta con una pendiente negativa y es justo la característica terminal del motor shunt de CD, tal como se muestra en la figura.

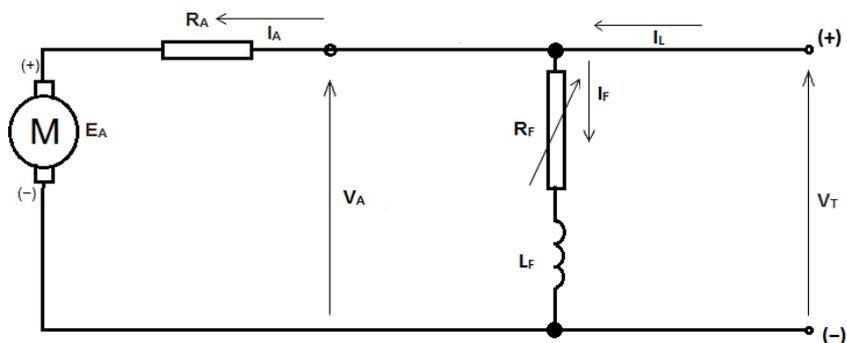


**Figura 21.** (a) Características par-velocidad de un motor shunt con devanados de compensación para eliminar la reacción de armadura. (b) Característica torque-velocidad del motor con reacción de armadura.

**Fuente:** Chapman, S. (2012:349).

### 2.3.3 Pruebas en motores de corriente directa tipo shunt.

#### 2.3.3.1 Cambio de la resistencia de campo.



**Figura 22.** Circuito de un motor de corriente directa en paralelo o en shunt con resistencia de campo variable.

**Fuente:** Chapman, S. (2012:356).

Este tipo de prueba consiste en cambiar el valor la resistencia de campo de un motor de DC y al aumentar dicha resistencia la corriente de campo disminuirá  $I_F = \frac{V_F}{R_F \uparrow}$ , a su vez al disminuir la corriente de campo, disminuye el flujo  $\phi$ . Si el flujo disminuye provoca que el voltaje interno generado vaya decreciendo instantáneamente  $E_A = K\phi \downarrow \omega$ , que a su vez causa un alto incremento de la corriente del inducido de la máquina, ya que  $I_A = \frac{V_T - E_A}{R_A}$ .

El par inducido de un motor está dado por  $\tau_{ind} = k\phi I_A$ . Puesto que el flujo en este tipo de máquina disminuye al mismo tiempo que la corriente  $I_A$  aumenta, en otras palabras, un aumento de la corriente predomina sobre la disminución del flujo y el par inducido aumenta  $\tau_{ind} = K \downarrow \phi \uparrow I_A$ , puesto que  $\tau_{ind} > \tau_{carga}$ , el motor se acelera. Sin embargo, a medida que el motor se acelera, el voltaje interno generado  $E_A$  se incrementa, lo cual provoca que la corriente  $I_A$  decrezca, a su vez si  $I_A$  disminuye, también el par inducido  $\tau_{ind}$  disminuirá, lo cual al final será igual a  $\tau_{carga}$  a una velocidad en estado estacionario más alta que la original.

CHAPMAN (2012) resume, el comportamiento causa y efecto en este método de velocidad.

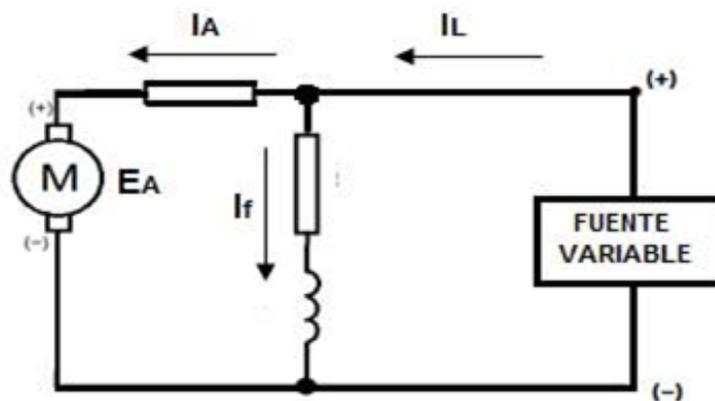
1. Un incremento en  $R_F$  causa una disminución en  $I_F = \frac{V_T}{R_F \uparrow}$ .
2. Una disminución en  $I_F$  disminuye  $\phi$ .
3. Una disminución en  $\phi$  disminuye  $E_A = K\phi \downarrow \omega$ .
4. Una disminución en  $E_A$  aumenta  $I_A = \frac{V_T - E_A \downarrow}{R_A}$ .
5. Un aumento en  $I_A$  aumenta  $\tau_{ind} = K \downarrow \phi \uparrow I_A$  y el cambio en  $I_A$  es más grande que el cambio en el flujo.
6. Un aumento en  $\tau_{ind}$  hace  $\tau_{ind} > \tau_{carga}$  y aumente la velocidad  $\omega$ .
7. Un aumento en  $\omega$  causa otro aumento en  $E_A = K\phi\omega \uparrow$ .

8. Una disminución en  $E_A$  disminuye  $I_A$ .
9. Una disminución en  $I_A$  disminuye  $\tau_{ind}$  hasta que  $\tau_{ind} = \tau_{carga}$  a una velocidad  $\omega$  más alta.

### 2.3.3.2 Control de velocidad mediante la variación de voltaje.

En los motores en derivación o shunt están conectados en paralelo el inducido con la excitación, por lo tanto en este método al variar voltaje en el inducido también se varía el voltaje en el devanado de campo.

Se requiere una conexión similar a la de la siguiente figura para realizar este tipo de control.



**Figura 23.** Circuito de un motor de corriente directa en paralelo o en shunt con controlador de voltaje variable.

**Fuente:** Los autores, (2015).

Un incremento en la velocidad del motor aumenta  $E_A = K\phi\omega \uparrow$ , en cambio el par del motor para un flujo constante es directamente proporcional a la corriente del inducido e inversamente proporcional a la velocidad  $\tau_{ind} = K\phi I_A \rightarrow \tau_{ind} \propto I_A$ .

### 2.3.3.3 Inserción de un resistor en serie con el circuito del inducido.

Cuando se inserta un resistor se debe colocar en serie con el circuito del inducido, lo cual provocará que la pendiente de la característica par-velocidad del motor aumente considerablemente y esto provoca que trabaje de forma lenta si el resistor se carga.

Este método de control de velocidad provoca un alto desperdicio, puesto que son muy grandes las pérdidas en el resistor insertado. Por ese motivo es poco utilizado. Se encuentra solo en aplicaciones en las que el motor opera a velocidad nominal y/o aplicaciones donde no se requiera que el motor realice trabajos con esfuerzos grandes de operación.

## 2.4 Glosario de términos.

**A.C.:** Abreviatura para corriente alterna.

**Campo magnético:** Es la influencia magnética de las corrientes eléctricas y de los materiales magnéticos.

**Capacitor:** Elemento pasivo que almacena energía en forma de campo eléctrico.

**Conmutar:** Cambiar la dirección o interrumpir el paso de una corriente eléctrica en un circuito.

**Corriente de magnetización:** Es una condición transitoria que ocurre cuando se energiza un transformador o maquina eléctrica.

**D.C.:** Abreviatura para corriente directa.

**Derivación:** Conexión en paralelo.

**Deslizamiento:** Es la diferencia relativa entre la velocidad síncrona y la velocidad del rotor.

**Flujo magnético:** Cantidad de energía que en la unidad de tiempo atraviesa una superficie o sección dada.

**Frecuencia:** Es la magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno suceso periódico.

**Impedancia:** Es la oposición que presenta una carga al paso de la corriente alterna.

**Inducido:** Es una bobina excitada por un campo magnético producido por otro elemento de igual características llamado inductor.

**Inductor:** Es una bobina compuesta de alambre fino de cobre formada por varias espiras o vueltas.

**Intensidad de corriente:** Es la cantidad de electrones que pasa por un conductor.

**Megger:** Es un instrumento para la medición del aislamiento eléctrico en alta tensión.

**Par de arranque:** En un motor es el que va a romper las condiciones iniciales de inercia y pueda comenzar a operar.

**Polarización:** Es el campo vectorial que establece la densidad de los momentos eléctricos dipolares permanentes o inducidos en un material dieléctrico.

**Polos:** Son piezas de material magnético en el estator de los materiales y siempre van en parejas, entre los cuales se establece el flujo magnético.

**Reactancia:** Es la oposición que presenta una carga ya sea capacitiva o inductiva al paso de la corriente alterna.

**Reóstato:** Es una resistencia variable que permite regular la intensidad de corriente sin abrir el circuito.

**Shunt:** En un motor es la forma de conexión de sus devanados, en derivación o paralelo.

**Síncrono:** Simultaneo o coincidente.

**Torque:** Es el momento de fuerza que ejerce un motor sobre el eje de transmisión de potencia.

**Voltaje:** Es la fuerza necesaria para mover los electrones.

## CAPITULO III

### 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Tipo de investigación.

Esta investigación es de tipo **documental**, ya que para la construcción del tablero didáctico se realizó consultas previas en fuentes de información impresos como libros, catálogos de proveedores, revistas e Internet.

También se sustenta en una **Investigación práctica** en razón que se caracteriza a través de la aplicación y utilización de los conocimientos teóricos referentes a pruebas y simulaciones en máquinas eléctricas rotativas.

De igual manera es **de campo**, porque conlleva la obtención de datos e información directamente del laboratorio de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico y otras universidades.

#### 3.2 Métodos.

Se utilizó el **Método analítico**, ya que para efecto de la investigación consistió en la descomposición de las partes o elementos que constituyen las máquinas eléctricas rotativas así como también la observación de las causas, la naturaleza y los efectos en las pruebas eléctricas.

Como complemento a la investigación se utilizó también el **Método inductivo deductivo**, por cuánto para indagar se necesitó derivar información general y deducir la utilización de accesorios más idóneos

para el funcionamiento y aplicación práctica del tablero didáctico lo cual imprime mayor agilidad a los estudiantes.

### 3.3 Técnicas e Instrumentos.

Se utilizó la **técnica de observación de campo y de laboratorio** porque permitió enlazar activamente con el objeto de investigación en este caso las pruebas en máquinas eléctricas rotativas para ello se hizo visitas en laboratorios eléctricos de las distintas Universidades del país, utilizando como instrumentos de investigación cámaras fotográficas , filmadoras y registro de datos a través de apuntes .

Finalmente la **técnica de criterio de expertos** mediante una breve entrevista en razón de consultar a un profesional del área para construir y validar la propuesta sustentada en sus conocimientos, investigaciones, experiencia y observaciones pertinentes para el correcto funcionamiento del tablero didáctico.

## CAPITULO IV

### 4. PROPUESTA ALTERNATIVA

#### 4.1 Título de la propuesta.

"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TABLERO DIDÁCTICO PARA PRUEBAS EN MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS, EN EL LABORATORIO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO"

#### 4.2 Propósito.

Diseñar e implementar un tablero didáctico para pruebas en máquinas eléctricas rotativas específicamente en motores de inducción y motores de corriente continua (shunt), además elaborar guías de prácticas para las distintas pruebas a realizar en el tablero didáctico.

#### 4.3 Introducción.

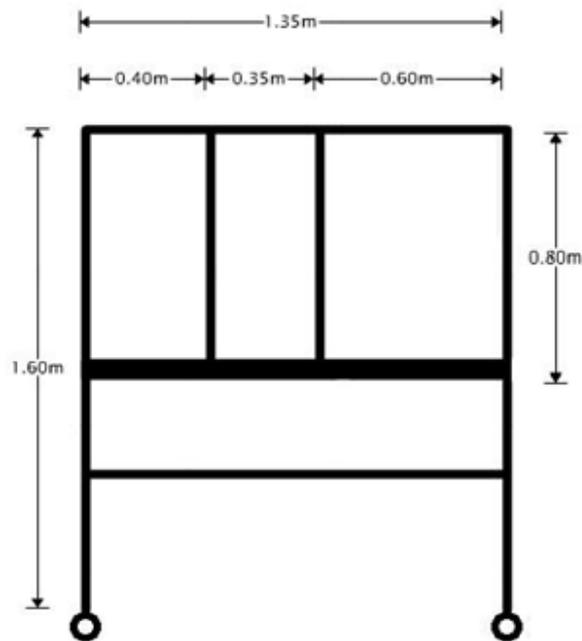
La construcción del tablero didáctico permite reforzar el aprendizaje teórico-práctico en cuanto se refiere a la materia de máquinas eléctricas de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico de la Universidad Técnica Del Norte.

En busca de una renovación y un equipamiento del laboratorio de la carrera el tablero constituye un gran aporte para las prácticas de los estudiantes mediante la manipulación de motores de inducción y motores de corriente continua que anteriormente solo se lo estudiaba en forma teórica.

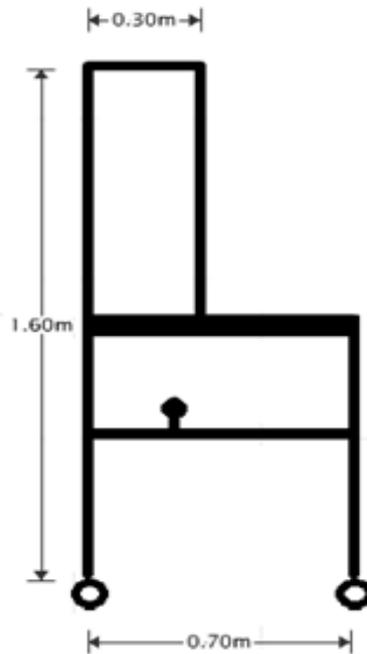
El tablero está diseñado de forma didáctica para que el estudiante pueda manipularlo de manera fácil y sencilla; sin embargo se elaboró guías prácticas en donde se describe los diferentes pasos y parámetros a considerar en cada prueba.

#### 4.4 Diseño y construcción del tablero didáctico.

Para el diseño del tablero se tomó en cuenta las diversas conexiones eléctricas tanto de control como de fuerza, además los diferentes tipos de equipos e instrumentos de medida adecuados para realizar las prácticas, de acuerdo a este análisis se construyó un tablero con las siguientes dimensiones:



**Figura 24.** Vista frontal del tablero didáctico.



**Figura 25.** Vista lateral del tablero didáctico.

Este tablero didáctico está diseñado de forma que permite al estudiante realizar pruebas en los motores de inducción y de corriente continua para verificar los distintos parámetros de comportamiento (voltaje, corriente, potencia, factor de potencia, velocidad, frecuencia, resistencia de aislamiento), tanto en la inserción de fallas, así como también en pruebas en vacío y con carga.

El tablero está dividido en 3 secciones: protección y medición, sistema de control y sistema de fuerza como se indica en la siguiente figura.



**Figura 26.** Secciones del tablero.

En la sección de protección y medición cuenta con elementos como: breakers que independizan cada circuito de prueba y dimensionados de acuerdo a las características de placa de los motores y aparatos de medición como: multímetro digital, amperímetros y voltímetros analógicos de corriente continua y alterna.

En la sección del sistema de control se instaló luces indicadores, selectores, interruptores para cada falla insertada en los motores, además se colocó plugs para las diferentes conexiones de los motores y una fuente DC que a la vez es un controlador de velocidad.

En la sección de sistema de fuerza consta de un breaker principal, contactores, relés encapsulados, relés térmicos para motores (monofásicos y trifásicos), temporizador y un variador de frecuencia de 0.4 Kw.

Para la realización de las pruebas con carga se adaptó un sistema de poleas con bandas mediante chumaceras móviles ajustables con el fin de simular la carga en los motores.

#### 4.4.1 Descripción de equipos principales del tablero didáctico.

##### 4.4.1.1 Variador de frecuencia SV004iE5-2C.

Este dispositivo electrónico se implementó en el tablero didáctico para realizar las pruebas de control de velocidad en motores de baja potencia, ya que maneja un rango de corriente de 3A, además el usuario puede realizar múltiples funciones que permiten observar el comportamiento de los motores de inducción al programar los distintos parámetros del variador.



**Figura 27.** Variador de frecuencia.

| DATOS TÉCNICOS             |   |
|----------------------------|---|
| Características del motor  | 0,5 HP                                      |
|                            | 0,4 Kw                                      |
| Características de salida  | <b>Capacidad</b> 1,14 KVA                   |
|                            | <b>Corriente</b> 3,0 A                      |
|                            | <b>Voltaje</b> 200/230 V Trifásico          |
|                            | <b>Frecuencia</b> 0,1/200 Hz                |
| Características de entrada | <b>Voltaje</b> 200/230 V (10%)<br>Trifásico |
|                            | <b>Corriente</b> 3,5 A                      |
|                            | <b>Frecuencia</b> 50/60 Hz (5%)             |
| <b>Peso</b>                | 0,67 Kg                                     |

**Tabla 3.** Características del variador de frecuencia sv004ie5-2c

#### 4.4.1.2 Tacómetro DT-6236C.

Este dispositivo de medición permite medir rangos altos de velocidad dando una lectura efectiva en cualquiera de sus dos opciones de muestreo, sea por contacto o por láser. Se adquirió para la comprobación de la velocidad en los distintos métodos implementados en el control de velocidad como el cambio de la frecuencia de línea, cambio de polos así como también en las pruebas de rotor libre y pruebas con carga. Todo esto en motores de inducción, también para determinar la velocidad en el motor DC al variar el voltaje en el inducido y en el cambio de la resistencia de campo.



**Figura 28.** Tacómetro

| DATOS TÉCNICOS  |                       |                       |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| Modelo          | DT-6236               |                       |
| Características | Display               | 5 dígitos             |
|                 | Rango (laser)         | 2,5 - 99,999 RPM      |
|                 | Rango (Al contacto)   | 0,5 - 19,999 RPM      |
|                 | Resolución            | 1,0 R.P.M             |
|                 | Exactitud             | +/- (0,05% + 1 digit) |
|                 | Muestreo              | 10 seg.               |
|                 | Distancia de medición | 2M (Tipo del láser)   |
|                 | Potencia              | 1,5V(AA) * 4          |

**Tabla 4.** Características del tacómetro DT-6236C

#### 4.4.1.3 Megger fluke 1507.

Este dispositivo digital de alta precisión, se utilizó para las pruebas de aislamiento, medición de resistencia de la conexión a tierra, además tiene la ventaja que proporciona el índice de polarización y la relación de absorción dieléctrica sin necesidad de realizar cálculo alguno.



**Figura 29.** Megger.

| <b>DATOS TÉCNICOS</b>                   |  |
|---|--|
| <b>Rango de prueba de aislamiento</b>   | 0,01 MΩ a 10 GΩ                              |
| <b>Tensión de prueba de aislamiento</b> | 50V , 100V , 250V , 500V , 1000V             |
| <b>Tensión AC o DC</b>                  | 0,1 V a 600 V                                |
| <b>Continuidad</b>                      | 200 mA                                       |
| <b>Resistencia</b>                      | 0,01 MΩ a 20,00 KMΩ                          |
| <b>Batería</b>                          | AA 15 A (Mínimo 1000 medidas de aislamiento) |

**Tabla 5.** Características del Megger fluke 1507.

Características de operación.

1. Las medidas respectivas o en puntos de difícil acceso resultan muy fáciles con la sonda de prueba remota.
2. Cálculo automático del índice de polarización y de la relación de absorción dieléctrica.
3. Detección de circuitos bajo tensión para anular la prueba si se detecta tensión > 30 V.
4. Descarga automática de la tensión capacitiva para mayor protección.
5. Ahorro de energía con el apagado automático.
6. Pantalla con retroalimentación.
7. Categoría de seguridad CAT IV 600V.

#### 4.4.1.4 NANOVIP PLUS MEM (Analizador de parámetros eléctricos).

Este dispositivo electrónico se utilizó para la determinación de la potencia activa en los motores de inducción factor necesario para conocer los parámetros de pérdidas a tomar en cuenta en la prueba de vacío o de rotor libre.



**Figura 30.** Analizador de parámetros eléctricos.

#### Especificaciones Técnicas.

1. Voltaje (V rms), corriente (A rms), F.p.  $\cos\Phi$ , potencia activa (W), potencia reactiva (Var), potencia aparente (VA), frecuencia (Hz).
2. Contadores de energía activa (Kwh) y de energía reactiva (Kvarh).
3. (THD) de V y I respecto a la fundamental y al valor rms.
4. Puerta de Comunicación serial RS232 para la conexión a computador PC con selección de: 19.2, 9.6, 4.8, 2.4, 1.2, Kbaud 7/8 datos bits 1/2 stop bit no/pares/dis pares paridad.

#### 4.4.1.5 Analizador de calidad de la energía eléctrica trifásico fluke 1744.

Se utilizó en la prueba en vacío de un motor trifásico de inducción, para obtener los parámetros de potencia que nos permite determinar el valor de pérdidas que presenta el motor al funcionar en vacío, además de voltajes, corrientes de línea y factor de potencia.



**Figura 31.** Analizador de calidad de energía.

### Características

1. Medida de los parámetros eléctricos más comunes: V, A, W, VA, VAR, PF, energía, flicker (parpadeo), eventos de tensión (huecos, sobretensiones e interrupciones) y THD.
2. Medida de armónicos de tensión y corriente hasta el 50º, desequilibrio, frecuencia y transmisión de señales.
3. Indicadores LEDs.
4. Memoria de 8MB.
5. SAI (autonomía) de cinco horas de alimentación ininterrumpida.
6. Evalúa conforme al estándar de calidad eléctrica EN50160 y presenta la información en forma de resúmenes estadísticos.

#### 4.4.1.6 Controlador de velocidad BC – 138 DC BALDOR.

Se adquirió este controlador de velocidad que a la vez es una fuente de DC compatible con las características del motor DC, para variar la velocidad del motor manipulando el voltaje en el inducido a través de un reóstato del controlador.



Figura 32. Controlador de velocidad.

| DATOS TÉCNICOS                  |            |          |
|---------------------------------|------------|----------|
| Máxima capacidad                | 1/3 HP.    |          |
|                                 | 0,25 Kw.   |          |
| Características de salida (DC)  | Corriente  | 3,5 A    |
|                                 | Voltaje    | 0-90 VDC |
| Características de entrada (AC) | Voltaje    | 115 V    |
|                                 | Corriente  | 5,0 A    |
|                                 | Frecuencia | 50/60 Hz |

Tabla 6. Características del controlador de velocidad BC – 138 DC BALDOR.

#### 4.4.1.7 Motor trifásico de inducción a 2 velocidades.

Se rebobinó un motor trifásico utilizando devanados múltiples para poder demostrar la variación de velocidad en la prueba del cambio de polos permitiendo así tener un motor de 2 y 4 polos en la misma carcasa, considerando además que es un motor de bajo rendimiento ya que las dimensiones del rotor y estator son de un motor de 3 Hp, el estator de 2 polos fue diseñado para las distintas pruebas de inserción de fallas.



**Figura 33.** Motor trifásico de inducción a 2 velocidades.

| <b>DATOS TÉCNICOS</b>  |                |                    |                              |
|------------------------|----------------|--------------------|------------------------------|
| <b>Número de polos</b> | <b>2 Polos</b> | Velocidad          | 3590 RPM                     |
|                        |                | Potencia           | 1,5 Hp                       |
|                        |                | Corriente nominal  | 10 A                         |
|                        |                | Voltaje            | $\Delta$ -Y<br>220 V - 440 V |
|                        |                | Frecuencia         | 50 - 60 Hz                   |
|                        |                | Factor de potencia | 0.40                         |
|                        | <b>4 Polos</b> | Velocidad          | 1790 RPM                     |
|                        |                | Potencia           | 0,5 Hp                       |
|                        |                | Voltaje            | 220 V                        |
|                        |                | Corriente nominal  | 3,8 A                        |
|                        |                | Frecuencia         | 50 - 60 Hz                   |
|                        |                | Factor de potencia | 0.35                         |

**Tabla 7.** Características motor trifásico de inducción a 2 velocidades.

#### 4.4.1.8 Motor trifásico de inducción.

Este motor se utilizó para realizar la prueba en vacío debido a su baja corriente nominal, fue factible la obtención de la resistencia del estator aplicando voltaje a través de la fuente de DC.



Figura 34. Motor trifásico de inducción.

| DATOS TÉCNICOS               |      |                   |         |
|------------------------------|------|-------------------|---------|
| <b>Voltaje</b>               | 220  | 380               | 440     |
| <b>Corriente nominal</b>     | 2.8  | 1.6               | 1.4     |
| <b>Cos <math>\phi</math></b> | 0.7  | <b>Potencia</b>   | 0.75 Hp |
| <b>Velocidad</b>             | 1675 | <b>Frecuencia</b> | 60Hz    |

Tabla 8. Características del motor trifásico de inducción.

#### 4.4.1.9 Motor monofásico WEG.

Este motor fue modificado manipulando sus conexiones internas a través de la inserción de fallas simuladas, esto con el fin de observar el

comportamiento que puede tener un motor de este tiempo a lo largo de su vida útil.



Figura 35. Motor monofásico.

| DATOS TÉCNICOS          |                  |
|-------------------------|------------------|
| Potencia                | 1/3 Hp           |
| Velocidad               | 1745rpm          |
| Frecuencia              | 60 Hz            |
| Voltaje de alimentación | 110/220 v        |
| Corriente nominal       | 6.6/3.3 A        |
| FRAME                   | C48              |
| IP                      | 21               |
| Capacitor               | 1x189-227Uf 110v |

Tabla 9. Características del motor monofásico WEG.

#### 4.4.1.10 Motor shunt DC BALDOR- RELIANCER.

Este motor en derivación o shunt, presenta una fácil manipulación en la conexión de sus devanados, ya que tiene la ventaja de un devanado

de campo dividido en dos partes con lo que hace fácil su conexión sea esta en serie o en paralelo variando así la resistencia de campo.

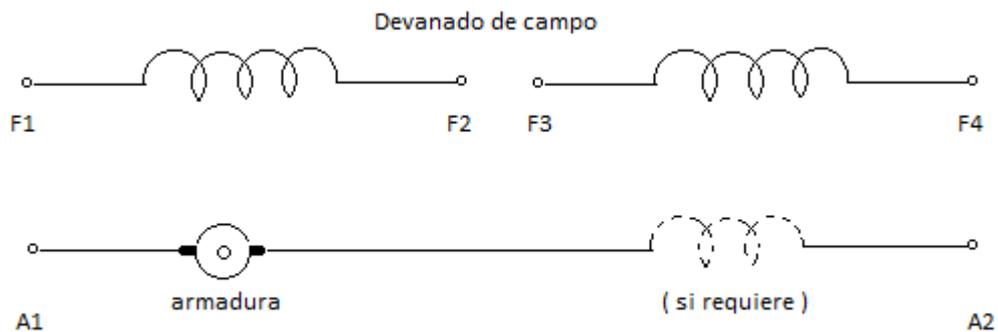


Figura 36. Motor shunt DC.

| DATOS TÉCNICOS          |                 |          |                 |         |
|-------------------------|-----------------|----------|-----------------|---------|
| <b>Potencia</b>         |                 | 1/4 Hp   |                 |         |
| <b>Velocidad</b>        |                 | 1750 rpm |                 |         |
| <b>Armazón ( FRAME)</b> |                 | 56C      |                 |         |
| <b>Polos</b>            |                 | 2        |                 |         |
| <b>Voltaje</b>          | <b>Armadura</b> | 90       | <b>Amperaje</b> | 3       |
|                         | <b>De campo</b> | 100/50   |                 | 0,3/0,6 |

Tabla 10. Características del motor shunt DC BALDOR- RELIANCER.

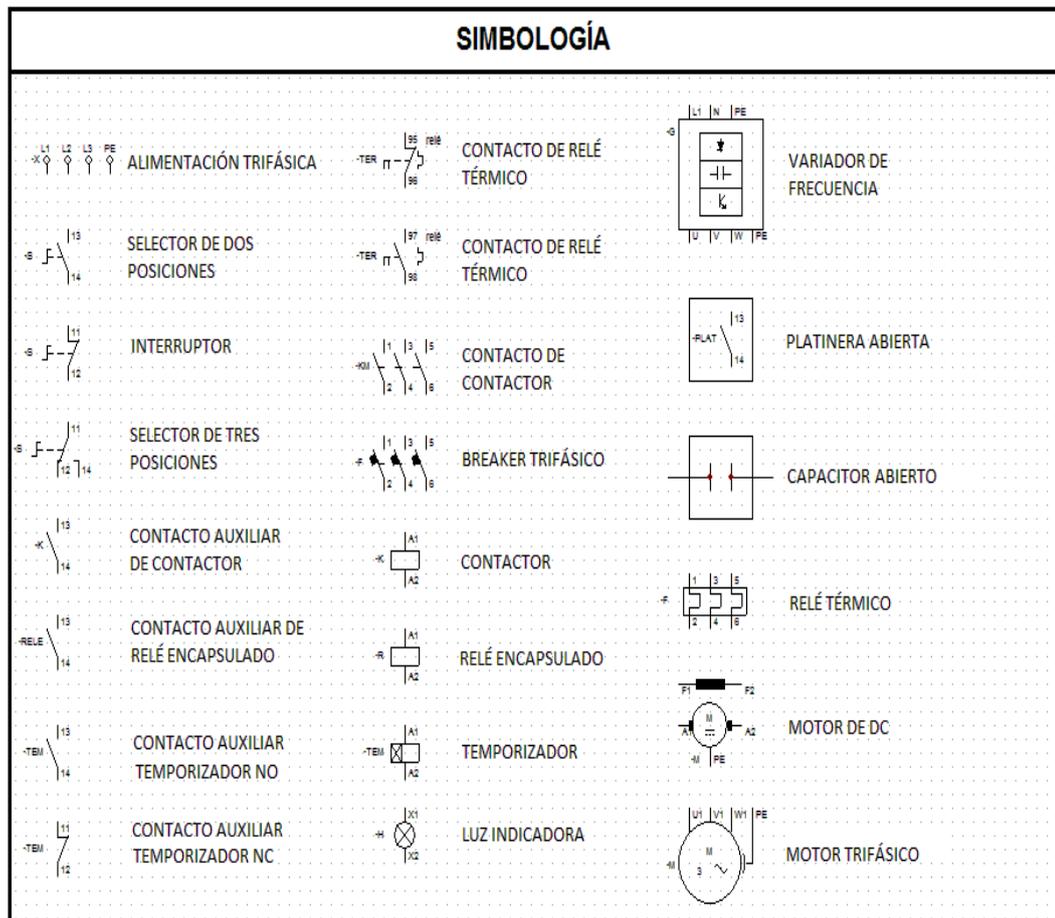
Diagrama de conexión motor shunt o en paralelo

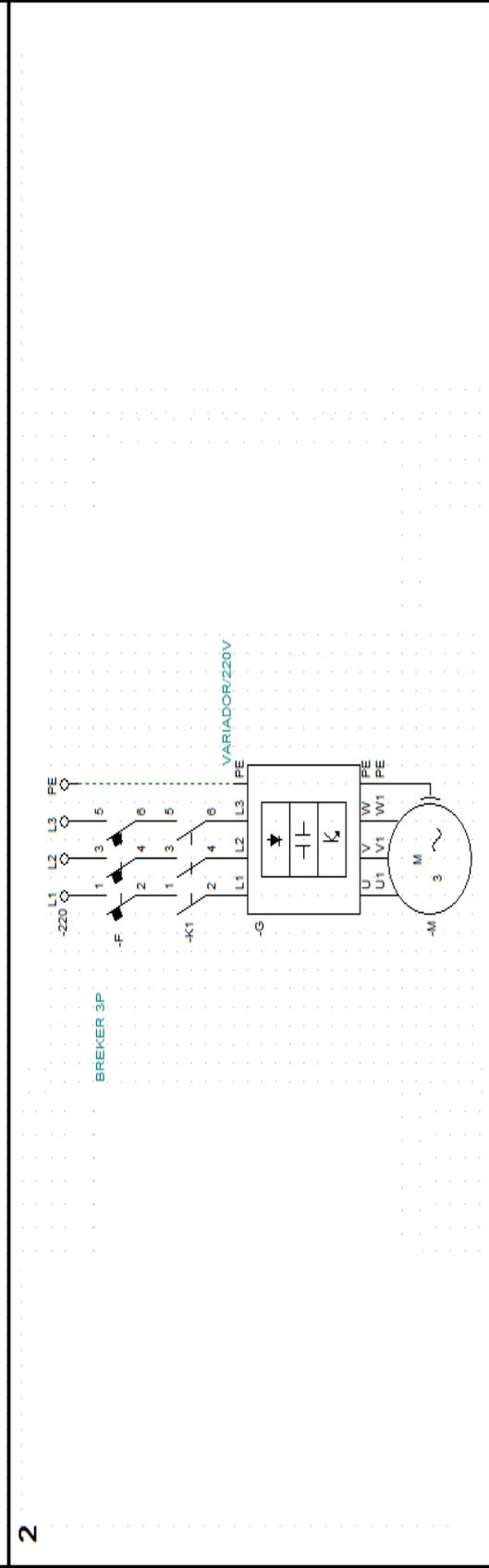
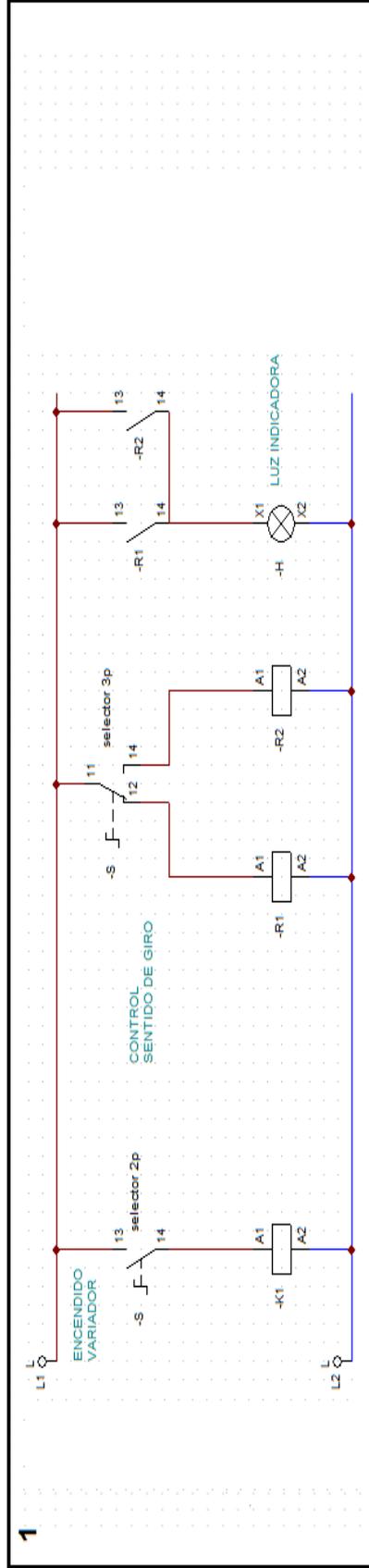


| Conexión     | Dirección de rotación |              |                   |              |
|--------------|-----------------------|--------------|-------------------|--------------|
|              | Sentido 1             |              | Sentido 2         |              |
|              | Terminal (+)          | Terminal (-) | Terminal (+)      | Terminal (-) |
| Alto voltaje | A1                    | A2           | A2                | A1           |
|              | F1                    | F4           | F1                | F4           |
|              | Conectado F2 Y F3     |              | Conectado F2 Y F3 |              |
| Bajo voltaje | A1                    | A2           | A2                | A1           |
|              | F1 y F3               | F2 y F4      | F1 y F3           | F2 y F4      |

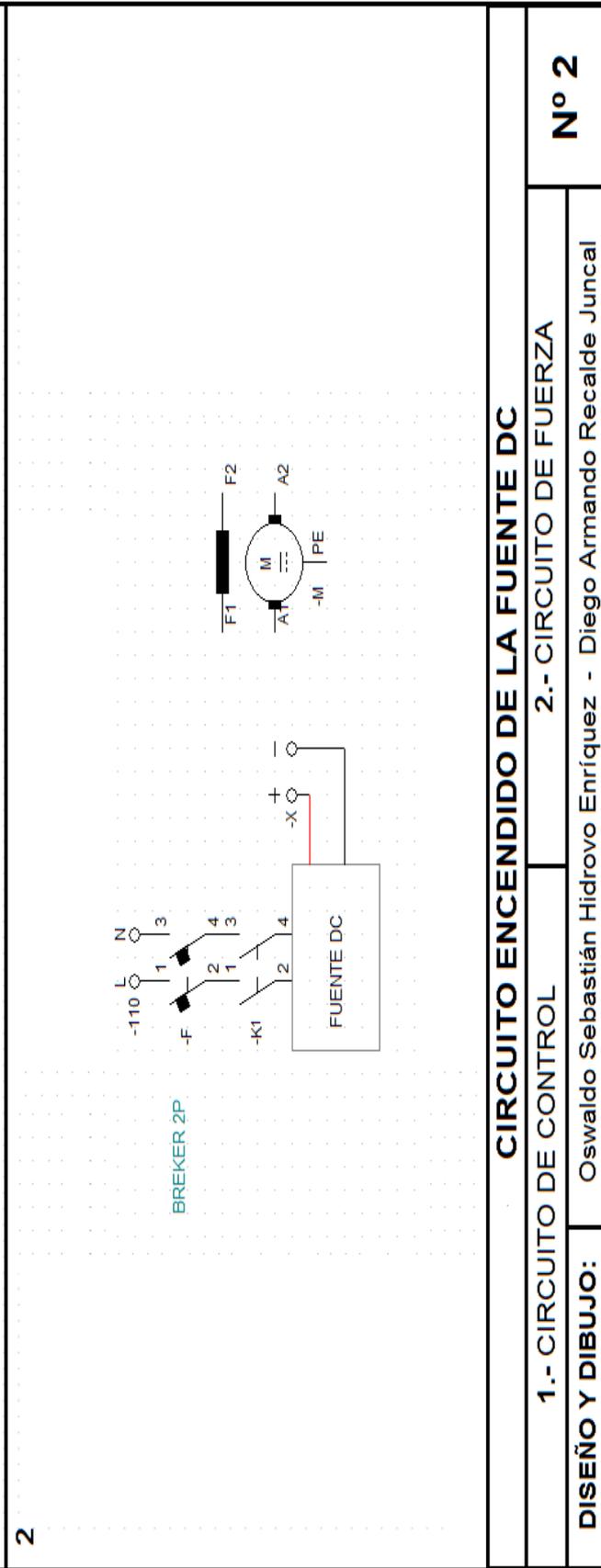
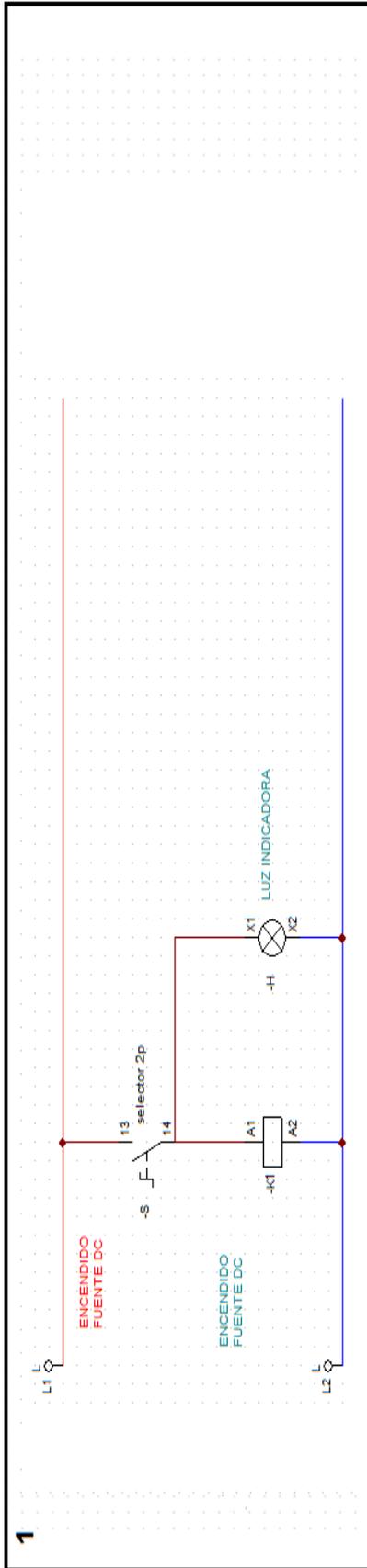
Tabla 11. Tipos de conexión motor shunt o en paralelo.

#### 4.4.2 Diagramas de conexión internas del tablero didáctico





|  |   |
|--|---|
| <b>CIRCUITO ENCENDIDO DEL VARIADOR DE FRECUENCIA</b> |   |
| <b>1.- CIRCUITO DE CONTROL</b>                       | <b>2.- CIRCUITO DE FUERZA</b>                                     |
| <b>DISEÑO Y DIBUJO:</b>                              | Oswaldo Sebastián Hidrovo Enríquez - Diego Armando Recalde Juncal |
| <b>Nº 1</b>  |   |



**CIRCUITO ENCENDIDO DE LA FUENTE DC**

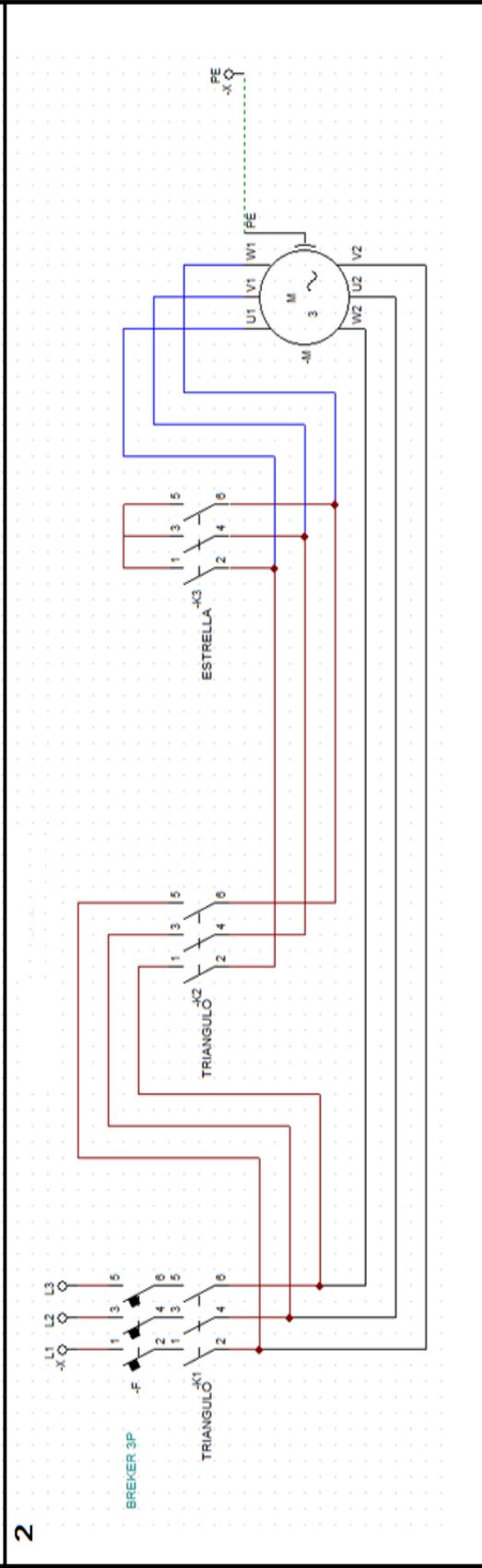
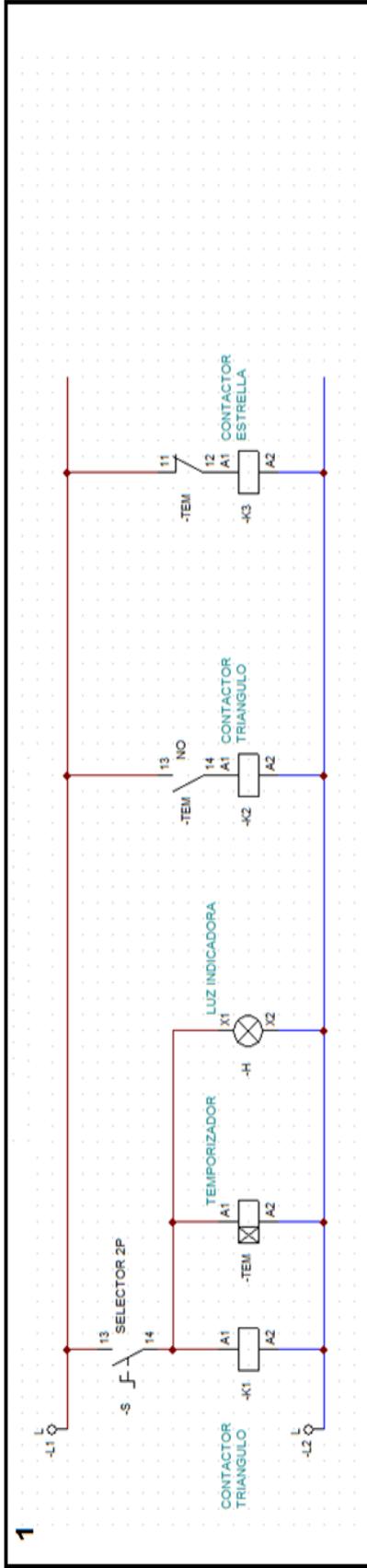
**1.- CIRCUITO DE CONTROL**

**2.- CIRCUITO DE FUERZA**

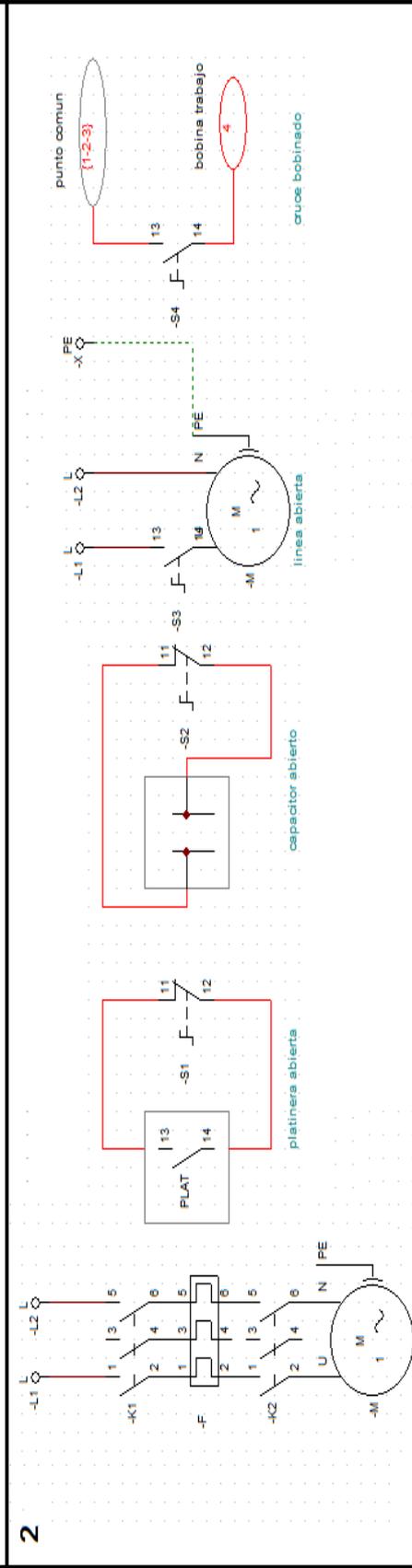
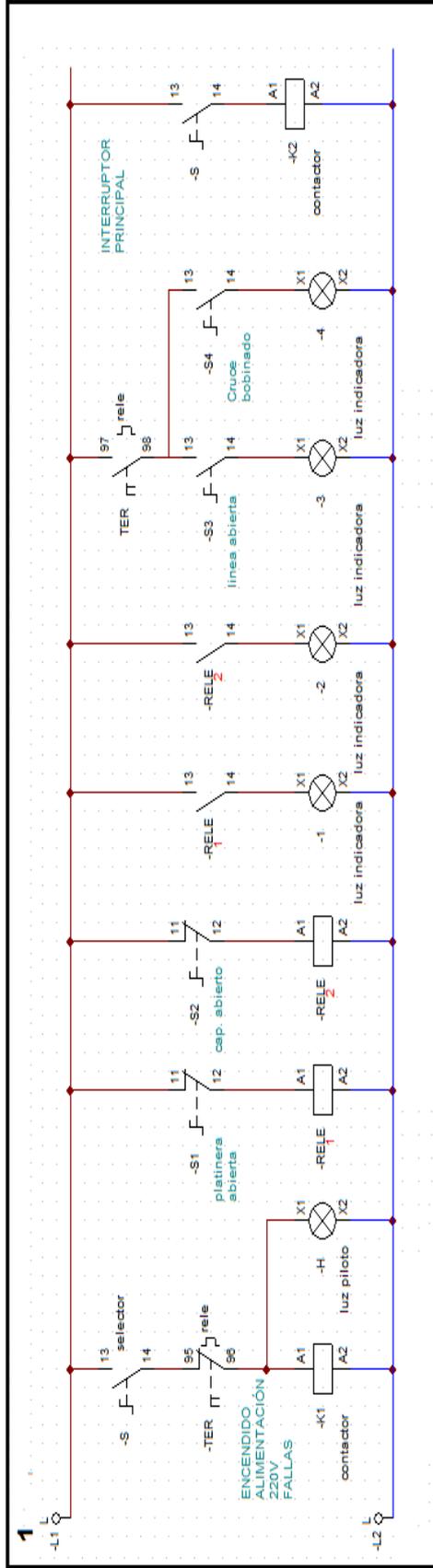
**DISEÑO Y DIBUJO:**

Oswaldo Sebastián Hidrovo Enríquez - Diego Armando Recalde Juncal

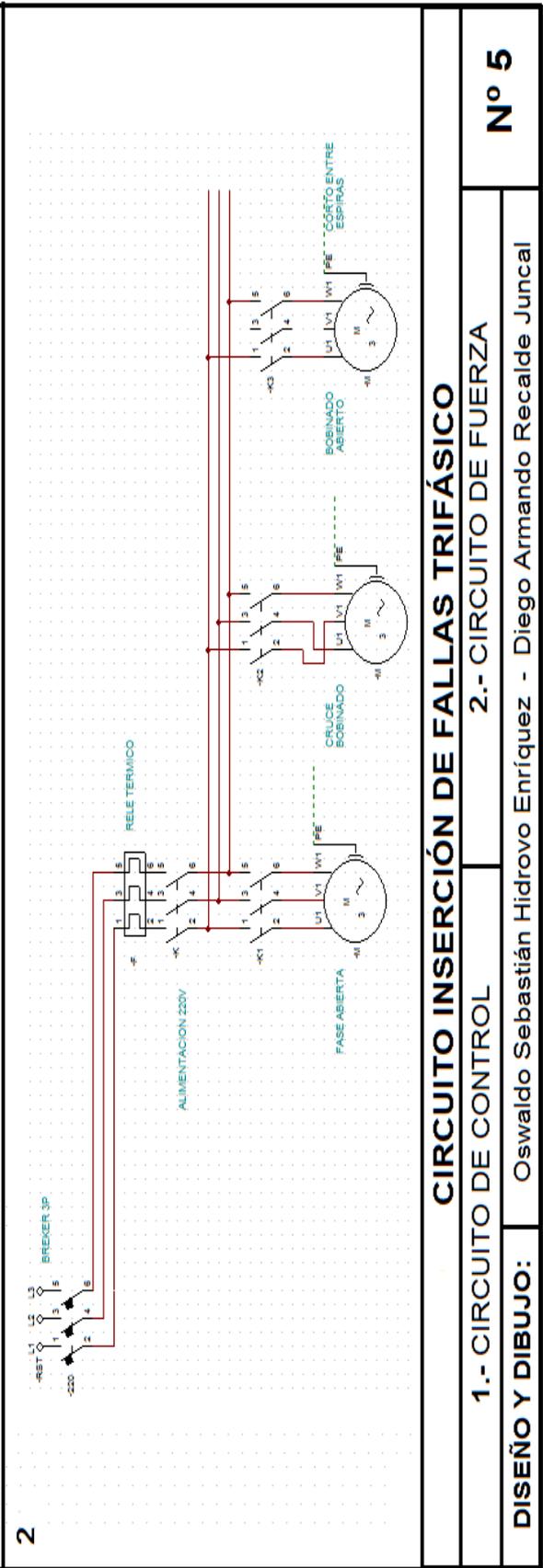
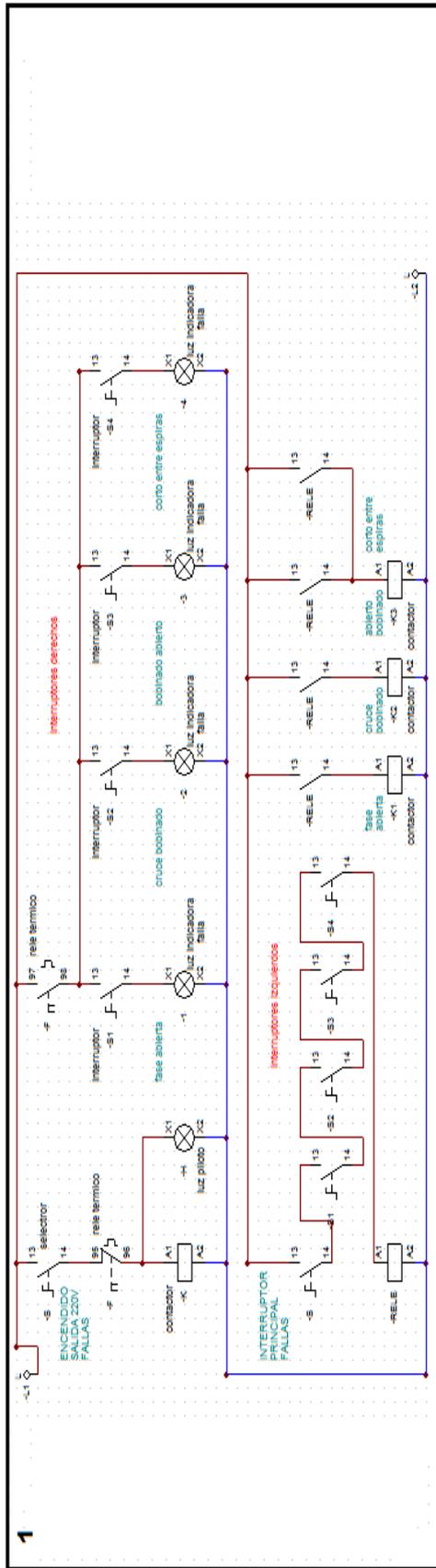
**Nº 2**



|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| <b>CIRCUITO ESTRELLA - TRIÁNGULO</b> |   |
| <b>1.- CIRCUITO DE CONTROL</b>       | <b>2.- CIRCUITO DE FUERZA</b>                                     |
| <b>Nº 3</b>                          |   |
| <b>DISEÑO Y DIBUJO:</b>              | Oswaldo Sebastián Hidrovo Enríquez - Diego Armando Recalde Juncal |



|   |                               |
|---|-------------------------------|
| <b>CIRCUITO INSERCIÓN DE FALLAS MONOFÁSICO</b>  |                               |
| <b>1.- CIRCUITO DE CONTROL</b>  | <b>2.- CIRCUITO DE FUERZA</b> |
| <b>DISEÑO Y DIBUJO: Oswaldo Sebastián Hidrovo Enríquez - Diego Armando Recalde Juncal</b> |                               |
| <b>Nº 4</b>   |                               |



**CIRCUITO INSERCIÓN DE FALLAS TRIFÁSICO**

**1.- CIRCUITO DE CONTROL**

**2.- CIRCUITO DE FUERZA**

**DISEÑO Y DIBUJO:** Oswaldo Sebastián Hidrovo Enriquez - Diego Armando Recalde Juncal

**Nº 5**

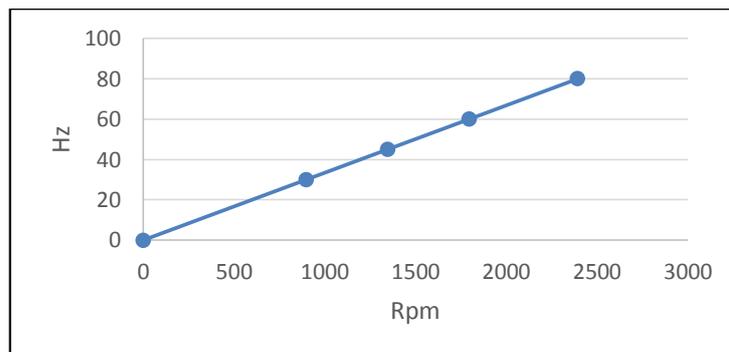
#### 4.5 Pruebas realizadas y resultados obtenidos.

Como parte final del trabajo para constatar el funcionamiento del tablero didáctico se realizó todas las pruebas investigadas a lo largo del desarrollo del proyecto mediante prácticas establecidas, obteniéndose los siguientes resultados que se presentan en las siguientes tablas y gráficos respectivos.

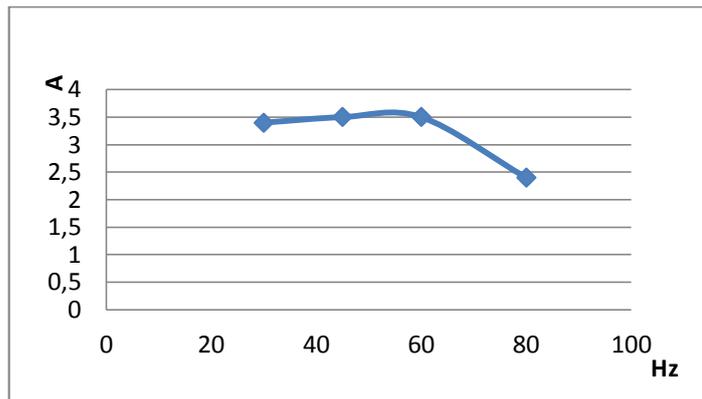
##### 4.5.1 Control de velocidad en motores de inducción trifásicos a través del variador de frecuencia.

| DATOS DE LAS MEDICIONES |                 |                               |                                |                           |               |     |     |
|-------------------------|-----------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|-----|-----|
| Puntos                  | Frecuencia (Hz) | Velocidad (R.P.M) (Tacómetro) | Velocidad (R.P.M) ( variador ) | Corriente (A) ( variador) | Corriente (A) |     |     |
|                         |                 |                               |                                |                           | 1Φ            | 2Φ  | 3Φ  |
| 1                       | 30              | 898                           | 900                            | 3,7                       | 3,4           | 3,4 | 3,4 |
| 2                       | 45              | 1347                          | 1350                           | 3,7                       | 3,5           | 3,5 | 3,5 |
| 3                       | 60              | 1797                          | 1800                           | 3,5                       | 3,5           | 3,5 | 3,5 |
| 4                       | 80              | 2395                          | 2400                           | 2,6                       | 2,4           | 2,4 | 2,4 |

**Tabla 12.** Control de velocidad en motores de inducción trifásicos a través del variador de frecuencia.



**Gráfico 1.** Frecuencia vs velocidad.



**Gráfico 2.** Corriente vs frecuencia.

Como se puede observar conforme se aumenta la frecuencia, el motor aumenta su velocidad, la corriente de línea se mantiene constante hasta llegar a frecuencia nominal, al superar esta frecuencia se disminuye la corriente y el torque del motor. A una frecuencia menor de 30 Hz el motor consume una corriente menor a la nominal.

#### 4.5.2 Control de velocidad en motores de inducción trifásicos mediante el cambio de polos.

| DATOS DE LAS MEDICIONES |                               |                    |               |     |     |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------|---------------|-----|-----|
| Motor                   | Velocidad (R.P.M) (Tacómetro) | Factor de potencia | Corriente (A) |     |     |
|                         |                               |                    | 1Φ            | 2Φ  | 3Φ  |
| 2 polos                 | 3595                          | 0,37               | 9,9           | 9,8 | 8,3 |
| 4 polos                 | 1797                          | 0,32               | 3,9           | 3,5 | 3,9 |

**Tabla 13.** Control de velocidad en motores de inducción trifásicos mediante el cambio de polos.

De la siguiente ecuación se determina el deslizamiento:

$$s = \frac{n_{sinc} - n_m}{n_{sinc}} (* 100\%)$$

$$s_{2polos} = \frac{3600 - 3595}{3600} (* 100\%) \qquad s_{4polos} = \frac{1800 - 1797}{1800} (* 100\%)$$

$$s_{2polos} = 0.13\% \qquad s_{4polos} = 0.16 \%$$

Se observó que al cambiar de 4 a 2 polos la velocidad se incrementa al doble, también se consiguió al realizar este cambio que el motor en 2 polos mejoró su factor de potencia.

La corriente en el motor de 2 polos es mayor debido a que es un motor de mayor potencia que el de 4 polos, respecto al deslizamiento no existe mayor variación, prácticamente es el mismo.

#### 4.5.3 Prueba de DC para determinar la resistencia del estator.

| Corriente Nominal IDC | Voltaje aplicado DC | Valor RS calculado |
|-----------------------|---------------------|--------------------|
| 1,6A                  | 51v                 | 15,94 Ω            |

**Tabla 14.** Prueba de DC para determinar la resistencia del estator.

Utilizando la siguiente ecuación se determina la resistencia del estator.

$$R_S = \frac{V_{DC}}{2I_{DC}}$$

$$R_S = \frac{51}{2 * 1.6}$$

$$R_S = 15.94 \Omega$$

En esta prueba tres de los terminales del motor se cortocircuitaron (conexión Y) para poder aplicar voltaje DC a dos terminales hasta llegar a la corriente nominal del motor y tomar mediciones.

#### 4.5.4 Prueba en vacío o de rotor libre.

| DATOS DE LAS MEDICIONES |                               |                    |            |                        |      |      |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------|------------|------------------------|------|------|
| Potencia (w)            | Velocidad (R.P.M) (Tacómetro) | Factor de potencia | Voltaje(V) | Corriente de línea (A) |      |      |
|                         |                               |                    |            | 1Φ                     | 2Φ   | 3Φ   |
| 78                      | 1793                          | 0.7                | 220        | 0.29                   | 0.26 | 0.26 |

**Tabla 15.** Prueba en vacío o de rotor libre.

Para realizar esta prueba se utilizó un analizador de mayor sensibilidad debido a la corriente baja en vacío del motor. **Ver anexo 8 y 9.**

Utilizando la ecuación de impedancia en vacío se tiene:

$$[Z_{vac}] = \frac{V_{vac}}{\sqrt{3} * I_{vac}}$$

$$[Z_{vac}] = \frac{220}{\sqrt{3} * 0.29}$$

$$[Z_{vac}] = 437.98 \Omega$$

Una vez determinado el valor de la resistencia  $R_s$  se determina las pérdidas en el estator empleamos las siguientes ecuaciones:

$$P_{cs,vac} = 3I_s^2 R_s$$

$$P_{cs,vac} = 3 * (0.29)^2 * 15.94\Omega$$

$$P_{cs,vac} = 4.02 \text{ w}$$

$$P_{rot} = P_{T,vac} - P_{cs,vac}$$

$$P_{rot} = 78\text{w} - 4\text{w} = 74\text{w}$$

En esta práctica se deduce que cerca de un 13 % de la potencia total del motor son pérdidas rotacionales.

#### 4.5.5 Pruebas de aislamiento.

| Valor de resistencia entre fases y carcasa<br>( Motores trifásicos ) |       |       |                  |       |       |
|--|-------|-------|------------------|-------|-------|
| Motor de 4 polos   |       |       | Motor de 2 polos |       |       |
| F1   | F2    | F3    | F1               | F2    | F3    |
| >22KΩ  | >22KΩ | >22KΩ | >22KΩ            | >22KΩ | >22KΩ |

**Tabla 16.** Pruebas de aislamiento entre fases y carcasa.

| Valor de resistencia de aislamiento ( Motores trifásicos ) |        |        |        |                               |
|--|--------|--------|--------|-------------------------------|
| Motor de 2 polos   |        |        |        |                               |
| Voltaje (Dc) aplicado                                      | F1-F2  | F2-F3  | F1-F3  | Índice de polarización ( PI ) |
| 250  | >220MΩ | >220MΩ | >220MΩ | —                             |
| 500  | >500MΩ | >500MΩ | >500MΩ | —                             |
| 1000   | >4.4GΩ | >4.4GΩ | >4.4GΩ | —                             |

**Tabla 17.** Pruebas de resistencia de aislamiento.

El voltaje aplicado recomendable para estos motores es de 500 a 1000 v, se visualizó la resistencia de aislamiento con el símbolo > debido a que el valor esta fuera del rango del dispositivo. El índice de polarización en estos motores se inhibe debido a que el valor de la resistencia de aislamiento supera los 500 MΩ.

#### 4.5.6 Pruebas con carga.

En esta prueba se utilizó el sistema de poleas con el fin de simular carga en el motor.

| DATOS DE LAS MEDICIONES A PLENA CARGA |                               |                    |         |               |    |     |
|---------------------------------------|-------------------------------|--------------------|---------|---------------|----|-----|
| Potencia ( w )                        | Velocidad (R.P.M) (Tacómetro) | Factor de potencia | Voltaje | Corriente (A) |    |     |
|                                       |                               |                    |         | 1Φ            | 2Φ | 3Φ  |
| 675                                   | 1789                          | 0.43               | 220     | 4.1           | 4  | 4.1 |

**Tabla 18.** Pruebas con carga.

| DATOS DE LAS MEDICIONES EN VACIO |                               |                    |         |               |      |      |
|----------------------------------|-------------------------------|--------------------|---------|---------------|------|------|
| Potencia ( w )                   | Velocidad (R.P.M) (Tacómetro) | Factor de potencia | Voltaje | Corriente (A) |      |      |
|                                  |                               |                    |         | 1Φ            | 2Φ   | 3Φ   |
| 482                              | 1796                          | 0.32               | 220     | 4             | 3.83 | 3.98 |

**Tabla 19.** Pruebas en vacío.

Esta prueba se realizó con el motor de 4 polos y se observó que el incremento de la corriente a plena carga respecto a la de vacío es mínima, debido a que el motor utilizado ya presenta una carga interna la del rotor que es propiamente de un motor de 3 Hp, pero para fines de prueba fue rebobinado para 1 / 2 Hp, por lo que se recomienda no aplicar mucha carga a este motor.

La velocidad disminuye porque existe un deslizamiento mayor en el motor a plena carga.

#### 4.5.7 Inserción de fallas en motores trifásicos.

| FUNCIONAMIENTO NORMAL Y-Δ |     |     | FALLAS TRIFÁSICO            |                          |      |    |
|---------------------------|-----|-----|-----------------------------|--------------------------|------|----|
| Corriente de línea ( A )  |     |     | Falla Insertada             | Corriente de línea ( A ) |      |    |
| 1Φ                        | 2Φ  | 3Φ  |                             | 1Φ                       | 2Φ   | 3Φ |
| 9,8                       | 8,8 | 8,6 | Bobinado abierto            | 35                       | 34   | 55 |
|                           |     |     | Cortocircuito entre espiras | 33                       | ———— | 33 |
|                           |     |     | Cruce de bobinados          | 58                       | ———— | 59 |
|                           |     |     | Operación entre dos fases   | 34                       | ———— | 25 |

**Tabla 20.** Inserción de fallas en motores trifásicos.

Se insertó fallas en el motor de 2 polos produciéndose un elevado consumo de corriente muestreado en un período corto de aproximadamente 3 segundos , debido a que el motor sufre un recalentamiento excesivo y puede llegar a quemarse los devanados . Se pudo observar el incremento de 3 veces la corriente en funcionamiento normal, la falla más grave que los motores de inducción pueden sufrir es un cruce de bobinado en donde la corriente tiende al infinito porque es un cortocircuito interno de sus bobinados.

#### 4.5.8 Inserción de fallas en motores monofásicos.

| FUNCIONAMIENTO NORMAL |               | FALLAS MONOFÁSICO  |             |               |                                       |
|-----------------------|---------------|--------------------|-------------|---------------|---------------------------------------|
| Voltaje (V)           | Corriente (A) | Falla insertada    | Voltaje (V) | Corriente (A) | Porcentaje de incremento de corriente |
| 219                   | 2,3           | Fase abierta       | ————        | ————          | ————                                  |
|                       |               | Cruce de bobinados | 202         | 22            | 956%                                  |
|                       |               | Capacitor abierto  | 210         | 11,5          | 500%                                  |
|                       |               | Platinera abierta  | 210         | 12            | 521%                                  |

**Tabla 21.** Inserción de fallas en motores monofásicos.

En las fallas de capacitor y platinera abierta la corriente aumenta aproximadamente 5 veces debido a que el motor quiere arrancar sin la bobina de arranque. Sin embargo el mayor consumo de corriente se presenta en la falla de cruce de bobinados ya que la corriente alcanza un aproximado de 10 veces la corriente en estado normal.

Estas pruebas se deben realizar en períodos cortos de tiempo para evitar que el motor sufra un recalentamiento y acorte su vida útil.

#### 4.5.9 Cambio de la resistencia de campo en el motor DC (Shunt).

Cabe mencionar que esta prueba se realizó en vacío y se basó en la combinación de las conexiones de la bobina de campo dividida en 2 partes.

La bobina se conectó en serie para aumentar la resistencia de campo y así poder manipular hasta un voltaje máximo de 100v DC .En esta conexión el motor alcanza su máxima velocidad.

| Voltaje aplicado (V) | Corriente de arranque (A) | Corriente en vacío (A) | Velocidad (RPM) |
|----------------------|---------------------------|------------------------|-----------------|
| 86                   | 3.65                      | 0.72                   | 2056            |

**Tabla 22.** Cambio de la resistencia de campo en el motor DC (Shunt) alto voltaje.

La bobina se conectó en paralelo disminuyendo así la resistencia de campo, por tal razón solo se puede manipular un voltaje máximo de 50v DC, esta conexión limita a que el motor pueda trabajar a su velocidad nominal.

| Voltaje aplicado (V) | Corriente de arranque (A) | Corriente en vacío (A) | Velocidad (RPM) |
|----------------------|---------------------------|------------------------|-----------------|
| 43                   | 2.19                      | 0.95                   | 1020            |

**Tabla 23.** Cambio de la resistencia de campo en el motor DC (Shunt) bajo voltaje.

#### 4.5.10 Control de velocidad mediante la variación de voltaje en el motor DC (Shunt).

Esta prueba se realizó en la conexión de alto voltaje con el fin de tomar más rangos de voltaje de referencia.

| MEDICIONES EN VACÍO  |                               |                         |                      |                 |
|----------------------|-------------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------|
| Voltaje aplicado (V) | Corriente en el inducido (IA) | Corriente de campo (If) | Corriente Total (IL) | Velocidad (RPM) |
| 15                   | 0,6                           | 0,07                    | 0,63                 | 1138            |
| 43                   | 0,34                          | 0,16                    | 0,48                 | 1428            |
| 68                   | 0,35                          | 0,25                    | 0,6                  | 1761            |
| 86                   | 0,4                           | 0,32                    | 0,71                 | 2056            |

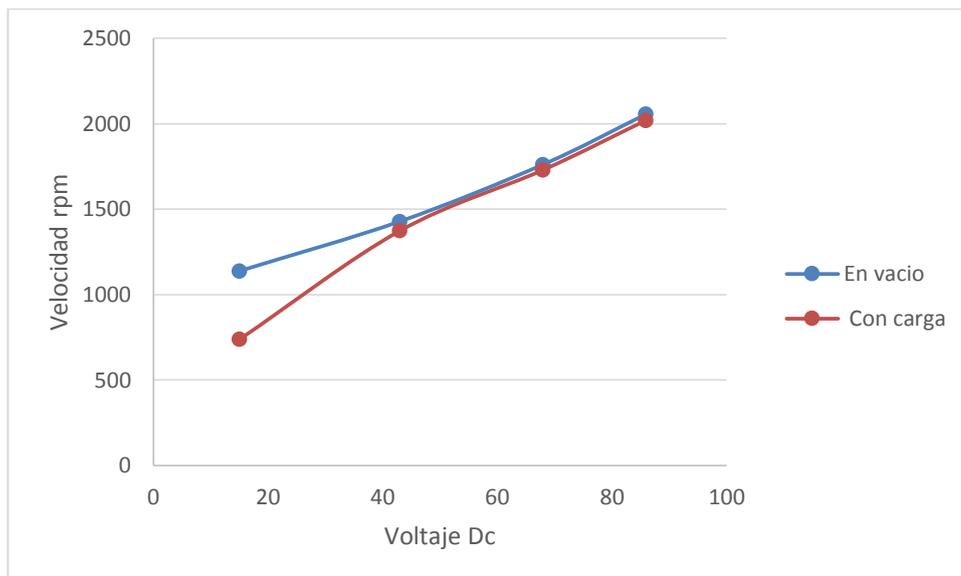
**Tabla 24.** Control de velocidad mediante la variación de voltaje en el motor DC (Shunt) en vacío.

A medida que el voltaje aplicado en el campo aumenta, también se aumenta el voltaje en el inducido por lo que el motor gira a mayor velocidad, respecto a las corrientes en el campo y en el inducido a mayor voltaje son mayores, cabe indicar que la corriente en el inducido de un motor a voltajes demasiado bajos se incrementa porque el motor necesita mayor esfuerzo para poder girar lo que implica mayor consumo de corriente.

| MEDICIONES CON CARGA |                               |                         |                      |                 |
|----------------------|-------------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------|
| Voltaje aplicado (V) | Corriente en el inducido (IA) | Corriente de campo (If) | Corriente Total (IL) | Velocidad (RPM) |
| 15                   | 2,8                           | 0,07                    | 2,87                 | 738             |
| 43                   | 1,9                           | 0,16                    | 2,06                 | 1373            |
| 68                   | 1,53                          | 0,25                    | 1,78                 | 1729            |
| 86                   | 1,46                          | 0,32                    | 1,79                 | 2020            |

**Tabla 25.** Control de velocidad mediante la variación de voltaje en el motor DC (Shunt) con carga.

En las mediciones con carga el motor incrementa su corriente en el inducido pero la corriente en el devanado permanece constante como en la prueba en vacío.



**Gráfico 3.** Velocidad vs voltaje.

#### 4.6 Guía de prácticas en el tablero didáctico.

- Introducción.

La presente guía de prácticas contiene información detallada y pasos a seguir de las 10 prácticas a efectuarse en el tablero didáctico, esto para mayor efectividad del aprendizaje, enfocado al refuerzo del conocimiento teórico - práctico dando un mayor panorama de temas tratados en la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico.

En el contenido de la guía se describen los equipos necesarios para cada práctica, en algunas de éstas, se requerirá del equipo didáctico del laboratorio de la carrera, como es el caso del megger, analizador de parámetros eléctricos y pinza amperimétrica, que complementan la utilidad del tablero para la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico.

- Objetivo.

Proporcionar a los estudiantes una fuente de información técnica y práctica referente a todas las pruebas eléctricas de máquinas rotativas que se pueden realizar en el tablero didáctico, así como también el proceso y el equipo necesario para realizar dichas pruebas.

**4.6.1 Practica 1:** Control de velocidad en motores de inducción trifásicos a través del variador de frecuencia.

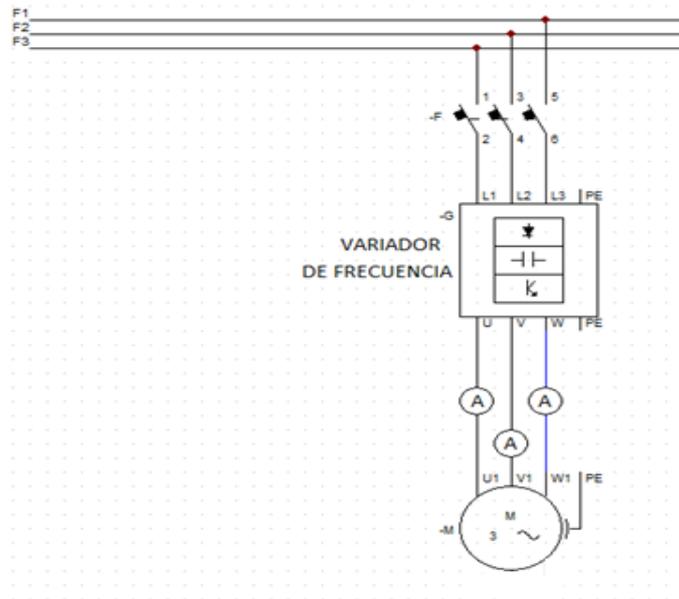
**Objetivos:**

1. Variar la velocidad del motor aumentando o disminuyendo la frecuencia de línea.
2. Conocer los parámetros necesarios para la puesta en marcha del variador de frecuencia.
3. Obtener y realizar un informe de los parámetros medidos a distinto valor de frecuencia, así como también conclusiones y recomendaciones observadas en la práctica.

**Equipos y materiales:**

1. Variador de frecuencia SV- iE5 0.4Kw.
2. Tacómetro digital.
3. Pinza amperimétrica.
4. Motor trifásico de 4 polos, 0.5 Hp.
5. Osciloscopio (opcional).

**Diagrama de conexión.**



### Procedimiento.

1. Accionar el breaker de alimentación (bloque 1) del variador y a continuación el breaker de control.
2. Conectar el motor trifásico a las salidas del variador de frecuencia.
3. Accionar el selector de encendido del variador de frecuencia.
4. Configuración de datos del motor en el variador de frecuencia, para ello utilizar las siguientes funciones:

| LISTA DE FUNCIONES |                             |                    |   |
|--------------------|-----------------------------|--------------------|---|
|                    | Nombre                      | Rango min/<br>máx. | Descripción   |
| P16                | MÁXIMA FRECUENCIA           | 40-200 Hz          | Este parámetro permite fijar un límite superior de frecuencia. Esta frecuencia es referencia para la aceleración y la desaceleración. |
| P40                | POTENCIA DEL MOTOR          | 0,1-0,4 (KW)       | Selecciona la capacidad del motor a usarse.   |
| P41                | NÚMERO DE POLOS DEL MOTOR   | 2-12               | Permite fijar la velocidad del motor.   |
| P43                | CORRIENTE NOMINAL DEL MOTOR | 0-25,5 A           | Fija la corriente nominal de placa del motor.   |

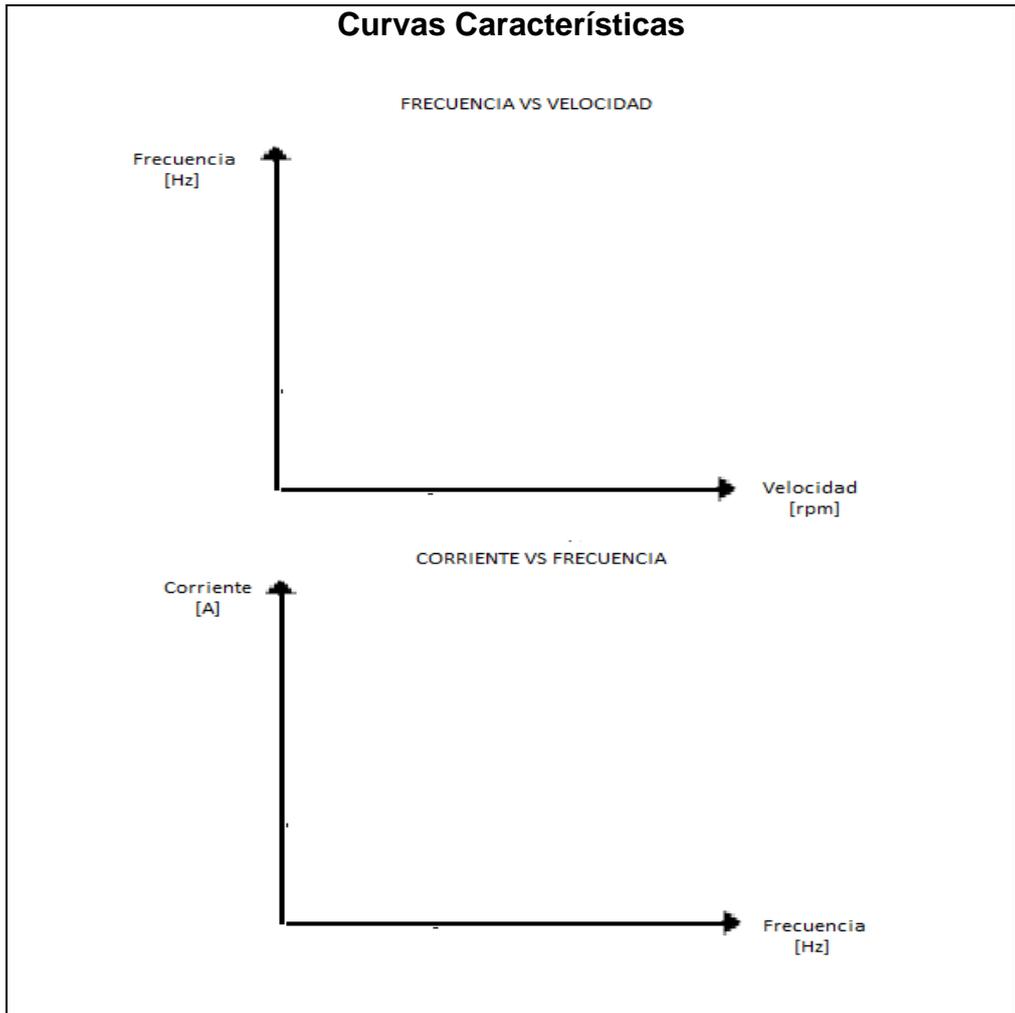
5. Configuración de funciones del variador de frecuencia para la puesta en marcha del motor, para ello utilizar las siguientes funciones:

| LISTA DE FUNCIONES |                                      |                    |  |                                   |
|--------------------|--------------------------------------|--------------------|--|-----------------------------------|
|                    | Nombre                               | Rango min/<br>máx. | Descripción  |                                   |
| drv                | MODO DE OPERACIÓN                    | 0-3                | 0  | Habilita el teclado ( run / stop) |
|                    |                                      |                    | 1  | Ambos sentidos de giro            |
|                    |                                      |                    | 2  | Únicamente un sentido de giro     |
|                    |                                      |                    | 3  | Comunicación opcional             |
| Frq                | MÉTODO DE MANIPULACIÓN DE FRECUENCIA | 0-4                | 0  | De forma digital.                 |
|                    |                                      |                    | 1  |                                   |
|                    |                                      |                    | 2  | De forma analógica.               |
|                    |                                      |                    | 3  |                                   |
|                    |                                      |                    | 4  |                                   |
| ACC                | TIEMPO DE ACELERACIÓN                | 0-6000 (sec)       | Permite fijar el tiempo de aceleración del motor.    |                                   |
| dEC                | TIEMPO DE DESACELERACIÓN             |                    | Permite fijar el tiempo de desaceleración del motor. |                                   |

6. Puesta en marcha del motor.

### Análisis de resultados.

| DATOS DE LAS MEDICIONES |                 |                               |                              |                          |               |    |    |
|-------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------|---------------|----|----|
| Puntos                  | Frecuencia (Hz) | Velocidad (R.P.M) (Tacómetro) | Velocidad (R.P.M) (Variador) | Corriente (A) (Variador) | Corriente (A) |    |    |
|                         |                 |                               |                              |                          | 1Φ            | 2Φ | 3Φ |
| 1                       |                 |                               |                              |                          |               |    |    |
| 2                       |                 |                               |                              |                          |               |    |    |
| 3                       |                 |                               |                              |                          |               |    |    |
| 4                       |                 |                               |                              |                          |               |    |    |



**Conclusiones.-**

- 1.....
- 2.....
- 3.....

**Recomendaciones.-**

- 1.....
- 2.....
- 3.....

**4.6.2 Práctica 2:** Control de velocidad en motores de inducción trifásicos mediante el cambio de polos.

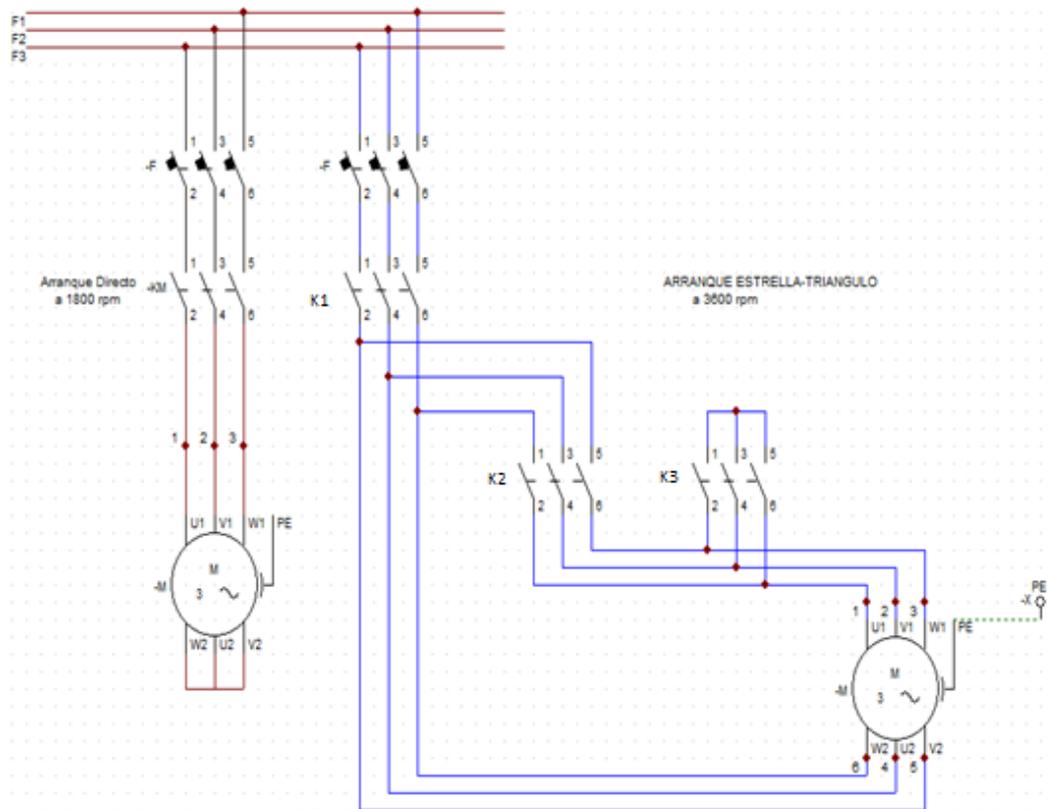
**Objetivos:**

1. Variar la velocidad del motor trifásico de estator con devanados múltiples de 2 polos a 4 polos.
2. Verificar la velocidad del motor a 4 polos (1800 rpm) y a 2 polos (3600 rpm).
3. Obtener y realizar un informe de los parámetros medidos, así como también conclusiones y recomendaciones observadas en la práctica.

**Equipos y materiales:**

1. Tacómetro digital.
2. Pinza amperimétrica.
3. Motor trifásico a dos velocidades (estator de devanado múltiple).
4. NANOVIP PLUS MEM (Analizador de parámetros eléctricos).
5. Osciloscopio (opcional).

**Diagrama de conexión.**



### Procedimiento.

1. Accionar el breaker de alimentación (bloque 1) y a continuación el breaker de control.
2. Conectar el motor trifásico de dos velocidades a 4 polos en la alimentación trifásica.
3. Accionar el selector de encendido de alimentación trifásica.
4. Tomar mediciones y desenergizar el motor.
5. Conectar el motor trifásico de dos velocidades a 2 polos, usando el arranque estrella – triángulo (bloque 3).
6. Accionar el selector de encendido estrella – triángulo.
7. Tomar mediciones y realizar el análisis del cambio de velocidad.

### Análisis de resultados.

| DATOS DE LAS MEDICIONES |                                     |                       |               |    |    |
|-------------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------|----|----|
| Motor                   | Velocidad<br>(R.P.M)<br>(Tacómetro) | Factor de<br>potencia | Corriente (A) |    |    |
|                         |                                     |                       | 1Φ            | 2Φ | 3Φ |
| 2 polos                 |                                     |                       |               |    |    |
| 4 polos                 |                                     |                       |               |    |    |

**Conclusiones.-**

1.....

2.....

3.....

**Recomendaciones.-**

1.....

2.....

3.....

### 4.6.3 Práctica 3: Prueba de DC para determinar la resistencia del estator.

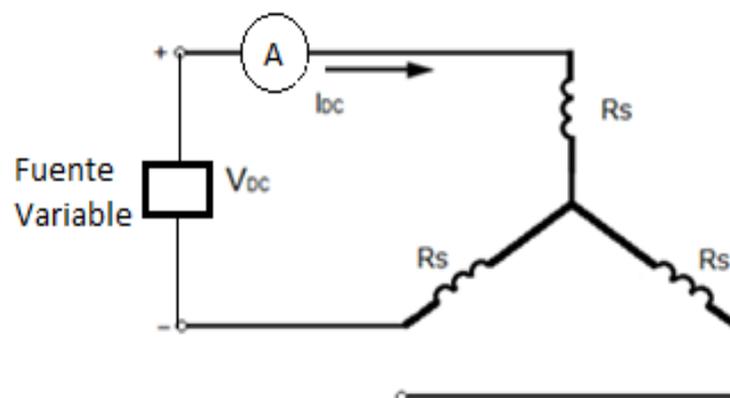
#### Objetivos:

1. Determinar la resistencia del estator de un motor a través de la fuente DC.
2. Manipular el voltaje DC necesario para la obtención del valor de la resistencia  $R_s$ .
3. Obtener y realizar un informe del parámetro medido, así como también conclusiones y recomendaciones observadas en la práctica.

#### Equipos y materiales:

1. Fuente DC 100V 3.5A
2. Multímetro digital.
3. Motor trifásico de inducción 3/4 Hp.

#### Diagrama de conexión.



#### Procedimiento.

1. Accionar el breaker de alimentación (bloque 2) y a continuación el breaker de control.
2. Accionar el selector e interruptor de encendido de la fuente DC.
3. Conectar el motor trifásico como se muestra en el diagrama y manipular el reóstato de la fuente hasta llegar a la corriente nominal del motor  $I_{DC}$ .
4. Tomar medición del voltaje DC empleado para alcanzar dicha corriente y realizar los cálculos necesarios para determinar el valor de  $R_s$ .

**Análisis de resultados.**

| Corriente Nominal $I_{DC}$ | Voltaje aplicado DC | Valor $R_s$ calculado |
|----------------------------|---------------------|-----------------------|
|                            |                     |                       |
|                            |                     |                       |

**Conclusiones.-**

- 1.....
- 2.....
- 3.....

**Recomendaciones.-**

- 1.....
- 2.....
- 3.....

#### 4.6.4 Práctica 4: Prueba en vacío o de rotor libre.

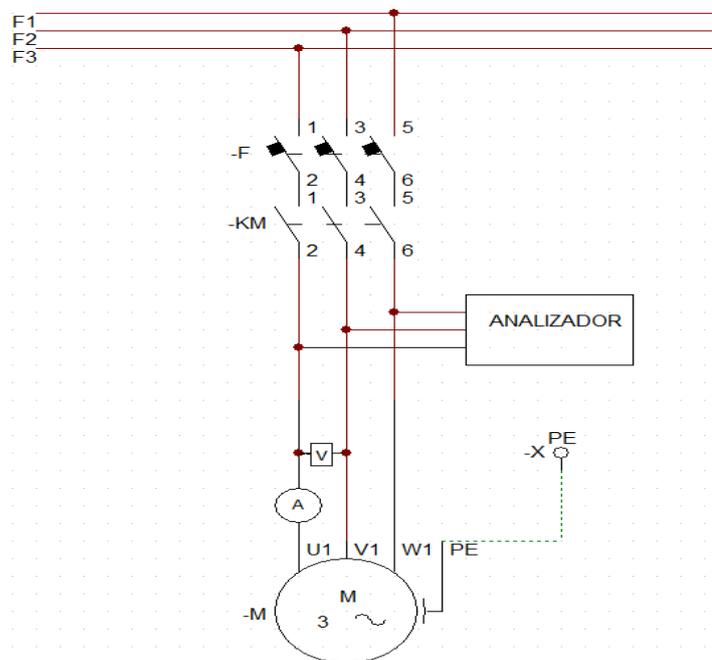
##### Objetivos:

1. Aplicar voltaje al estator y obtener mediciones del motor sin ninguna carga mecánica.
2. Calcular las pérdidas en el rotor.
3. Obtener y realizar un informe de los parámetros medidos, así como también conclusiones y recomendaciones observadas en la práctica.

##### Equipos y materiales:

1. NANOVIP PLUS MEM (Analizador de parámetros eléctricos).
2. Tacómetro digital.
3. Pinza amperimétrica.
4. Motor trifásico de inducción 3/4 Hp.

##### Diagrama de conexión.



**Procedimiento.**

1. Accionar el breaker de alimentación (bloque 1) y a continuación el breaker de control.
2. Conectar el motor en la alimentación trifásica.
3. Accionar el selector de encendido de alimentación trifásica.
4. Tomar mediciones y realizar el cálculo de pérdidas en el estator.

**Análisis de resultados.**

| DATOS DE LAS MEDICIONES |                               |                    |            |                        |    |    |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------|------------|------------------------|----|----|
| Potencia ( w )          | Velocidad (R.P.M) (Tacómetro) | Factor de potencia | Voltaje(V) | Corriente de línea (A) |    |    |
|                         |                               |                    |            | 1Φ                     | 2Φ | 3Φ |
|                         |                               |                    |            |                        |    |    |

| DATOS CALCULADOS             |  |                              |
|------------------------------|--|------------------------------|
| Impedancia en vacío ( Zvac ) | Pérdidas en el cobre del estator (Pcs,vac) | Pérdidas rotacionales (Prot) |
|                              |  |                              |

**Conclusiones.-**

- 1.....
- 2.....
- 3.....

**Recomendaciones.-**

- 1.....
- 2.....
- 3.....

#### 4.6.5 Práctica 5: Pruebas de aislamiento.

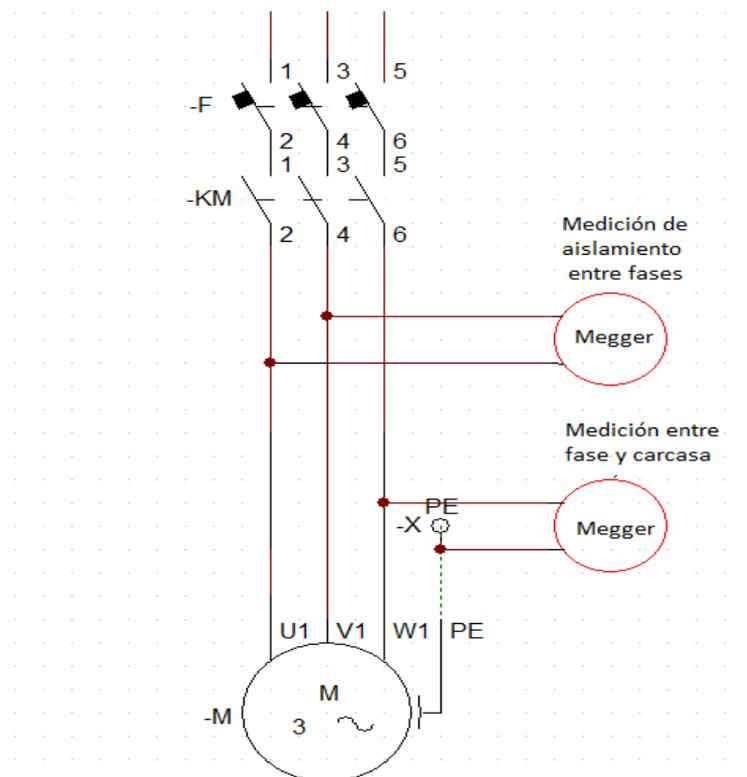
##### Objetivos:

1. Comprobar la resistencia de aislamiento entre las 3 fases del motor.
2. Comprobar la resistencia de aislamiento entre cada fase y la carcasa de los motores.
3. Obtener y realizar un informe de los parámetros medidos, así como también conclusiones y recomendaciones observadas en la práctica.

##### Equipos y materiales:

1. Megger fluke 1507.
2. Motor trifásico de dos velocidades.

##### Diagrama de conexión.



### Procedimiento prueba de aislamiento entre fases.

1. Conectar las sondas del megger en cada fase.
2. Seleccionar el voltaje DC recomendado en la tabla 1.
3. Presionar el botón test y obtener resultados.

### Procedimiento prueba de aislamiento entre cada fase y la carcasa.

1. Conectar una sonda del megger a la carcasa y la otra sonda a cada fase.
2. Seleccionar la posición Zero  $\Omega$
3. Presionar el botón test y obtener resultados.

### Análisis de resultados.

| Valor de resistencia de aislamiento ( Motores trifásicos ) |       |       |       |                               |                       |       |       |       |                               |
|--|-------|-------|-------|-------------------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------------------------------|
| Motor de 4 polos   |       |       |       |                               | Motor de 2 polos      |       |       |       |                               |
| Voltaje (DC) aplicado                                      | F1-F2 | F2-F3 | F1-F3 | Índice de polarización ( PI ) | Voltaje (DC) aplicado | F1-F2 | F2-F3 | F1-F3 | Índice de polarización ( PI ) |
|  |       |       |       |                               |                       |       |       |       |                               |
|  |       |       |       |                               |                       |       |       |       |                               |
|  |       |       |       |                               |                       |       |       |       |                               |

| Valor de resistencia entre fases y carcasa<br>( Motores trifásicos ) |    |    |                  |    |    |
|--|----|----|------------------|----|----|
| Motor de 4 polos   |    |    | Motor de 2 polos |    |    |
| F1   | F2 | F3 | F1               | F2 | F3 |
|  |    |    |                  |    |    |
|  |    |    |                  |    |    |
|  |    |    |                  |    |    |

**Conclusiones.-**

- 1.....
- 2.....
- 3.....

**Recomendaciones.-**

- 1.....
- 2.....
- 3.....

#### 4.6.6 Práctica 6: Pruebas con carga.

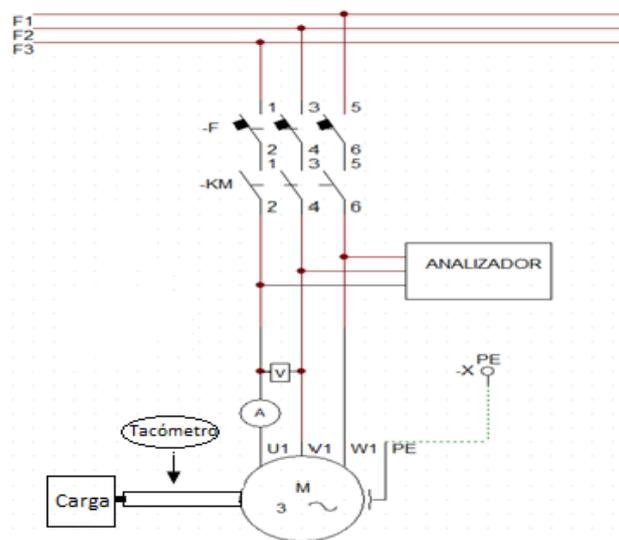
##### Objetivos:

1. Simular la carga en los motores a través de dos poleas.
2. Comparar los parámetros medidos en vacío y con carga.
3. Obtener y realizar un informe de los parámetros medidos, así como también conclusiones y recomendaciones observadas en la práctica.

##### Equipos y materiales:

1. Motor trifásico de 4 polos,  $\frac{1}{2}$  de Hp.
2. Motor monofásico  $\frac{1}{3}$  de Hp.
3. NANOVIP PLUS MEM (Analizador de parámetros eléctricos).
4. Tacómetro digital.
5. Pinza amperimétrica.

##### Diagrama de conexión.



##### Procedimiento.

1. Colocar el motor a prueba en el sistema de poleas para simular la carga.
2. Poner en marcha el motor por arranque directo.
3. Tomar mediciones y realizar el análisis de los parámetros obtenidos.

**Análisis de resultados.**

| DATOS DE LAS MEDICIONES A PLENA CARGA |                                     |                       |         |               |    |    |
|---------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------|---------------|----|----|
| Potencia<br>( w )                     | Velocidad<br>(R.P.M)<br>(Tacómetro) | Factor de<br>potencia | Voltaje | Corriente (A) |    |    |
|                                       |                                     |                       |         | 1Φ            | 2Φ | 3Φ |
|                                       |                                     |                       |         |               |    |    |

| DATOS DE LAS MEDICIONES EN VACIO |                                     |                       |         |               |    |    |
|----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------|---------------|----|----|
| Potencia<br>( w )                | Velocidad<br>(R.P.M)<br>(Tacómetro) | Factor de<br>potencia | Voltaje | Corriente (A) |    |    |
|                                  |                                     |                       |         | 1Φ            | 2Φ | 3Φ |
|                                  |                                     |                       |         |               |    |    |

**Conclusiones.-**

- 1.....
- 2.....
- 3.....

**Recomendaciones.-**

- 1.....
- 2.....
- 3.....

#### **4.6.7 Práctica 7:** Inserción de fallas en motores trifásicos.

##### **Objetivos:**

1. Conocer las posibles fallas eléctricas que puede sufrir un motor trifásico a lo largo de su vida útil.
2. Observar el comportamiento del motor al ser expuesto a fallas como: operación entre dos fases, cortocircuito entre espiras, falla cruce de bobinas, bobinados del estator suelto.
3. Obtener y realizar un informe de los parámetros medidos, así como también conclusiones y recomendaciones observadas en la práctica.

##### **Equipos y materiales:**

1. Motor trifásico de 2 polos, ½ Hp.
2. Pinza amperimétrica.

##### **Procedimiento.**

1. Accionar el breaker de alimentación (bloque 4) y a continuación el breaker de control.
2. Conectar el motor trifásico en la sección de fallas trifásico.
3. Accionar el selector de encendido de fallas trifásicas.
4. Seleccionar la falla a insertarse en el motor.
5. Puesta en marcha del motor.
6. Tomar mediciones y realizar el análisis de los parámetros obtenidos.

##### **Análisis de resultados.**

| FUNCIONAMIENTO NORMAL Y-Δ |    |    | FALLAS TRIFÁSICO            |                 |    |    |
|---------------------------|----|----|-----------------------------|-----------------|----|----|
| Corriente ( A )           |    |    | Falla Insertada             | Corriente ( A ) |    |    |
| 1Φ                        | 2Φ | 3Φ |                             | 1Φ              | 2Φ | 3Φ |
|                           |    |    | Bobinado abierto            |                 |    |    |
|                           |    |    | Cortocircuito entre espiras |                 |    |    |
|                           |    |    | Cruce de bobinados          |                 |    |    |
|                           |    |    | Operación entre dos fases   |                 |    |    |

**Conclusiones.-**

- 1.....
- 2.....
- 3.....

**Recomendaciones.-**

- 1.....
- 2.....
- 3.....

#### 4.6.8 Práctica 8: Inserción de fallas en motores monofásicos.

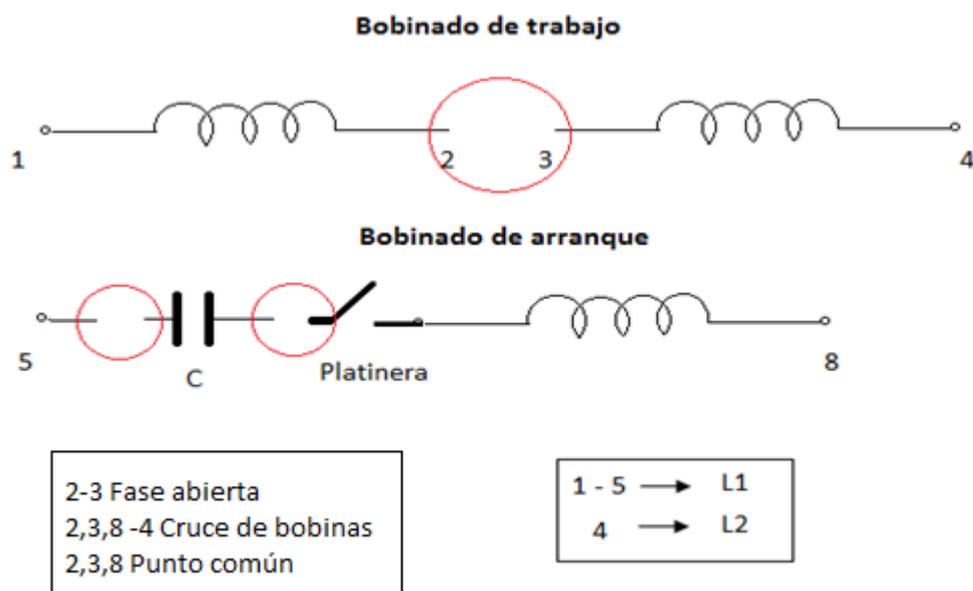
##### Objetivos:

1. Conocer las posibles fallas eléctricas que puede sufrir un motor monofásico a lo largo de su vida útil.
2. Observar el comportamiento del motor al ser expuesto a fallas como: fase abierta, cruce de bobinados (arranque y trabajo), falla en el capacitor y falla en la platinera.
3. Obtener y realizar un informe de los parámetros medidos, así como también conclusiones y recomendaciones observadas en la práctica.

##### Equipos y materiales:

1. Motor monofásico de 1/3 Hp.
2. Pinza amperimétrica.

##### Diagrama de conexión interna del motor monofásico.



### Procedimiento.

1. Accionar el breaker de alimentación (bloque 5) y a continuación el breaker de control.
2. Conectar el motor monofásico en la sección de fallas monofásico de acuerdo a la siguiente numeración: 1 capacitor abierto, 2 fase abierta, 3 platinera abierta y 4 es el punto común para cruce de bobinado.
3. Accionar el selector de encendido de fallas monofásicas.
4. Seleccionar la falla a insertarse en el motor.
5. Puesta en marcha del motor.
6. Tomar mediciones y realizar el análisis de los parámetros obtenidos.

### Análisis de resultados.

| FUNCIONAMIENTO NORMAL |               | FALLAS MONOFÁSICO  |             |               |                                       |
|-----------------------|---------------|--------------------|-------------|---------------|---------------------------------------|
| Voltaje (V)           | Corriente (A) | Falla insertada    | Voltaje (V) | Corriente (A) | Porcentaje de incremento de corriente |
|                       |               | Fase abierta       |             |               |                                       |
|                       |               | Cruce de bobinados |             |               |                                       |
|                       |               | Capacitor abierto  |             |               |                                       |
|                       |               | Platinera abierta  |             |               |                                       |

### Conclusiones.-

1.....

2.....

3.....

**Recomendaciones.-**

1.....

2.....

3.....

#### 4.6.9 Práctica 9: Cambio de la resistencia de campo en el motor DC (Shunt).

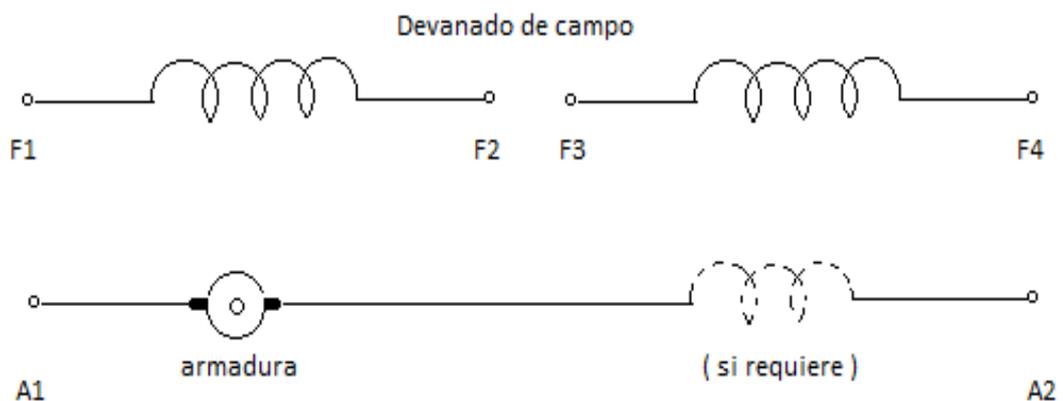
##### Objetivos:

1. Variar la resistencia de campo a través de la conexión en serie o paralelo de la bobina dividida en dos.
2. Determinar el voltaje máximo aplicado en los dos diferentes de conexión del bobinado.
3. Obtener y realizar un informe de los parámetros medidos, así como también conclusiones y recomendaciones observadas en la práctica.

##### Equipos y materiales:

1. Motor DC 1/4 Hp (Shunt).
2. Fuente DC 100V 3.5A
3. Multímetro digital.
4. Tacómetro digital.
5. Osciloscopio (opcional).

##### Diagrama de conexión.



### Procedimiento.

1. Accionar el breaker de alimentación (bloque 2) y a continuación el breaker de control.
2. Elegir la conexión del bobinado a realizar sea en serie o en paralelo.
3. Accionar el selector e interruptor de encendido de la fuente DC.
4. Puesta en marcha del motor fijando el voltaje adecuado para cada tipo de conexión.
5. Tomar mediciones y realizar el análisis de los parámetros obtenidos.

### Análisis de resultados.

| CONEXIÓN ALTO VOLTAJE |                           |                        |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|-----------------|
|                       |                           |                        |                 |
| Voltaje aplicado (V)  | Corriente de arranque (A) | Corriente en vacío (A) | Velocidad (RPM) |
|                       |                           |                        |                 |

| CONEXIÓN BAJO VOLTAJE |                           |                        |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|-----------------|
|                       |                           |                        |                 |
| Voltaje aplicado (V)  | Corriente de arranque (A) | Corriente en vacío (A) | Velocidad (RPM) |
|                       |                           |                        |                 |

**Conclusiones.-**

- 1.....
- 2.....
- 3.....

**Recomendaciones.-**

- 1.....
- 2.....
- 3.....

#### 4.6.10 Práctica 10: Control de velocidad mediante la variación de voltaje en el motor DC (Shunt).

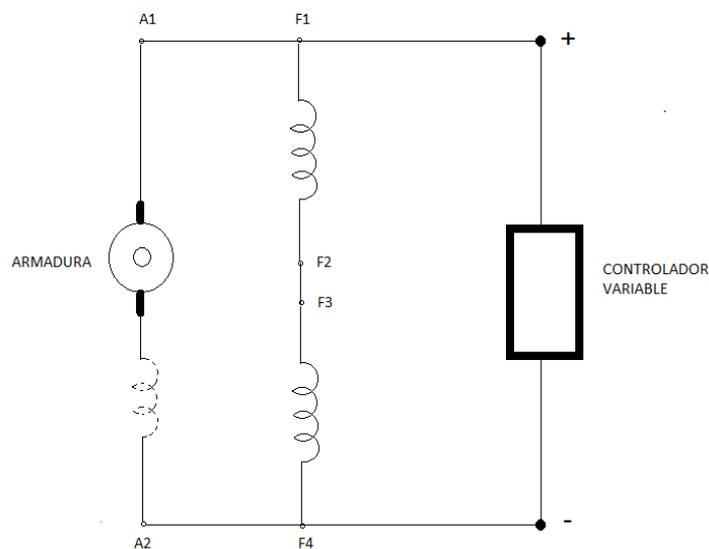
##### Objetivos:

1. Controlar la velocidad del motor aumentando o disminuyendo el voltaje en el inducido y en el devanado de campo.
2. Comparar la velocidad del motor en vacío y a plena carga.
3. Obtener y realizar un informe de los parámetros medidos, así como también conclusiones y recomendaciones observadas en la práctica.

##### Equipos y materiales:

1. Motor DC 1/4 Hp (shunt).
2. Fuente DC 100V 3.5A
3. Multímetro digital.
4. Tacómetro digital.
5. Osciloscopio (opcional).

##### Diagrama de conexión.



### **Procedimiento.**

1. Accionar el breaker de alimentación (bloque 2) y a continuación el breaker de control.
2. Elegir la conexión del bobinado en serie.
3. Accionar el selector e interruptor de encendido de la fuente DC.
4. Puesta en marcha del motor y variar el voltaje a través del reóstato del controlador.
5. Tomar mediciones y realizar el análisis de los parámetros obtenidos.

### **Análisis de resultados.**

| <b>MEDICIONES EN VACÍO</b>  |                                      |                                |                             |                        |
|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| <b>Voltaje aplicado (V)</b> | <b>Corriente en el inducido (IA)</b> | <b>Corriente de campo (If)</b> | <b>Corriente Total (IL)</b> | <b>Velocidad (RPM)</b> |
|                             |                                      |                                |                             |                        |
|                             |                                      |                                |                             |                        |
|                             |                                      |                                |                             |                        |
|                             |                                      |                                |                             |                        |
|                             |                                      |                                |                             |                        |

| MEDICIONES CON CARGA |                               |                         |                      |                 |
|----------------------|-------------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------|
| Voltaje aplicado (V) | Corriente en el inducido (IA) | Corriente de campo (If) | Corriente Total (IL) | Velocidad (RPM) |
|                      |                               |                         |                      |                 |
|                      |                               |                         |                      |                 |
|                      |                               |                         |                      |                 |
|                      |                               |                         |                      |                 |
|                      |                               |                         |                      |                 |

**Conclusiones.-**

- 1.....
- 2.....
- 3.....

**Recomendaciones.-**

- 1.....
- 2.....
- 3.....

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones.

- La fundamentación teórica contribuyó en la elaboración del tablero didáctico para pruebas en máquinas eléctricas rotativas para el laboratorio de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico, constituyendo un material de aporte enfocado a la asignatura de máquinas eléctricas, enlazando los conocimientos teóricos con la práctica en forma didáctica.
- El tablero y los motores eléctricos fueron adecuados en forma didáctica para satisfacer los requerimientos del estudiante debido a su fácil acceso a las conexiones internas para realizar las prácticas.
- Las guías prácticas son una fuente de información de fácil comprensión para los estudiantes, en donde se detallan todos los pasos a seguir para realizar cada práctica de manera oportuna, ágil y dinámica.

## 5.2 Recomendaciones.

- Para todas las prácticas que se van a realizar en el tablero se recomienda al estudiante seguir el proceso especificado en la guía práctica para su fácil comprensión y que se investigue sobre el tema.
- Antes de realizar cada práctica es necesario que se realice una revisión del funcionamiento de los equipos de protección, por la vulnerabilidad que están expuestos al manejar corrientes muy altas de falla y en forma repetitiva.
- Incentivar a los estudiantes sobre la importancia de estos tableros, con el fin de implementar más recursos didácticos que complementen las distintas áreas de la especialidad.
- Facilitar a los estudiantes de equipos eléctricos y electrónicos adicionales necesarios para ejecutar las prácticas en forma adecuada.
- Las pruebas de fallas deben ser realizadas en periodos cortos de tiempo para evitar daños del tablero y sobrecalentamiento de los motores.

## 6 Referencias bibliográficas.

- Asamblea Nacional Constituyente (2008). Constitución del Ecuador. Montecristi: Autor.
- Baldor (2004). *Paquete de información de producto CD3425*
- Chapman, S. (2012). *Máquinas eléctricas*. Editorial Mc Graw- Hill
- De Vandelvira, A. (2011). *Motores de corriente alterna*. Departamento de SAP.
- Enríquez Harper, G. (2004). *El libro de los generadores, transformadores y motores eléctricos*. México : Limusa
- Fraile Mora, J. (2008) .*Máquinas eléctricas*. Editorial Mc Graw- Hill
- Gómez Alos, M., Bachiller Soler, A., y Ortega Gómez, G. (2008). *Problemas resueltos de máquinas eléctricas*. Editorial Paraninfo Segunda edición.
- LS, Is (2004). *Manual programable del variador SV-iE5*
- Martínez Ruiz, H. y Ávila Reyes, E. (2010). *Metodología de investigación* .Editorial Cengage Learning
- Megger, (2010) .*La guía completa para pruebas de aislamiento eléctrico*.
- Ponce cruz, P. y Sampé López, J. (2008) .*Máquinas eléctricas y técnicas modernas de control*. Editorial Alfaomega.
- Weg, (2013). *Manual de instalación, operación y mantenimiento*

## 7 Lincografía.

[http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/136/htm/sec\\_4.htm](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/136/htm/sec_4.htm)

<http://proton.ucting.udg.mx/posgrado/cursos/idc/neuronales2/DescripcionM.htm>

<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-danos-en-los-bobinados-motores-trifasicos-50036032-guia-instalacion-espanol.pdf>

<http://ecuadoruniversitario.com/directivos-y-docentes/legislacion/marco-normativo-de-la-educacion-superior-ecuatoriana>

<http://todoproductividad.blogspot.com/2011/01/determinando-eficiencia-y-carga-de-los.html>

<http://es.scribd.com/doc/25810178/Megger-Aislamiento-electrico#scribd>

[http://www.infoplcn.net/files/documentacion/motion\\_control/infoPLC\\_net\\_8448127641.pdf](http://www.infoplcn.net/files/documentacion/motion_control/infoPLC_net_8448127641.pdf)

[http://www.sav.us.es/formaciononline/asignaturas/asigte/apartados/textos/apartado2\\_4.PDF](http://www.sav.us.es/formaciononline/asignaturas/asigte/apartados/textos/apartado2_4.PDF)

<http://tiposdeinvestigacion.com/>

[http://www.buenastareas.com/ensayos/Control-De-Velocidad-En-Motores-Dc/2964542.html?\\_p=8](http://www.buenastareas.com/ensayos/Control-De-Velocidad-En-Motores-Dc/2964542.html?_p=8)

<http://www.monografias.com/trabajos74/motores-corriente-directa/motores-corriente-directa2.shtml>

<http://es.slideshare.net/jesuspsa/motores-cc>

[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/477b5b9a47443becc125791a003ab324/\\$file/1TXA007106G0701\\_CT6.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/477b5b9a47443becc125791a003ab324/$file/1TXA007106G0701_CT6.pdf)

[http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/136/htm/sec\\_4.htm](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/136/htm/sec_4.htm)

# 8. ANEXOS

## ANEXO 1. SECCIONES DEL TABLERO



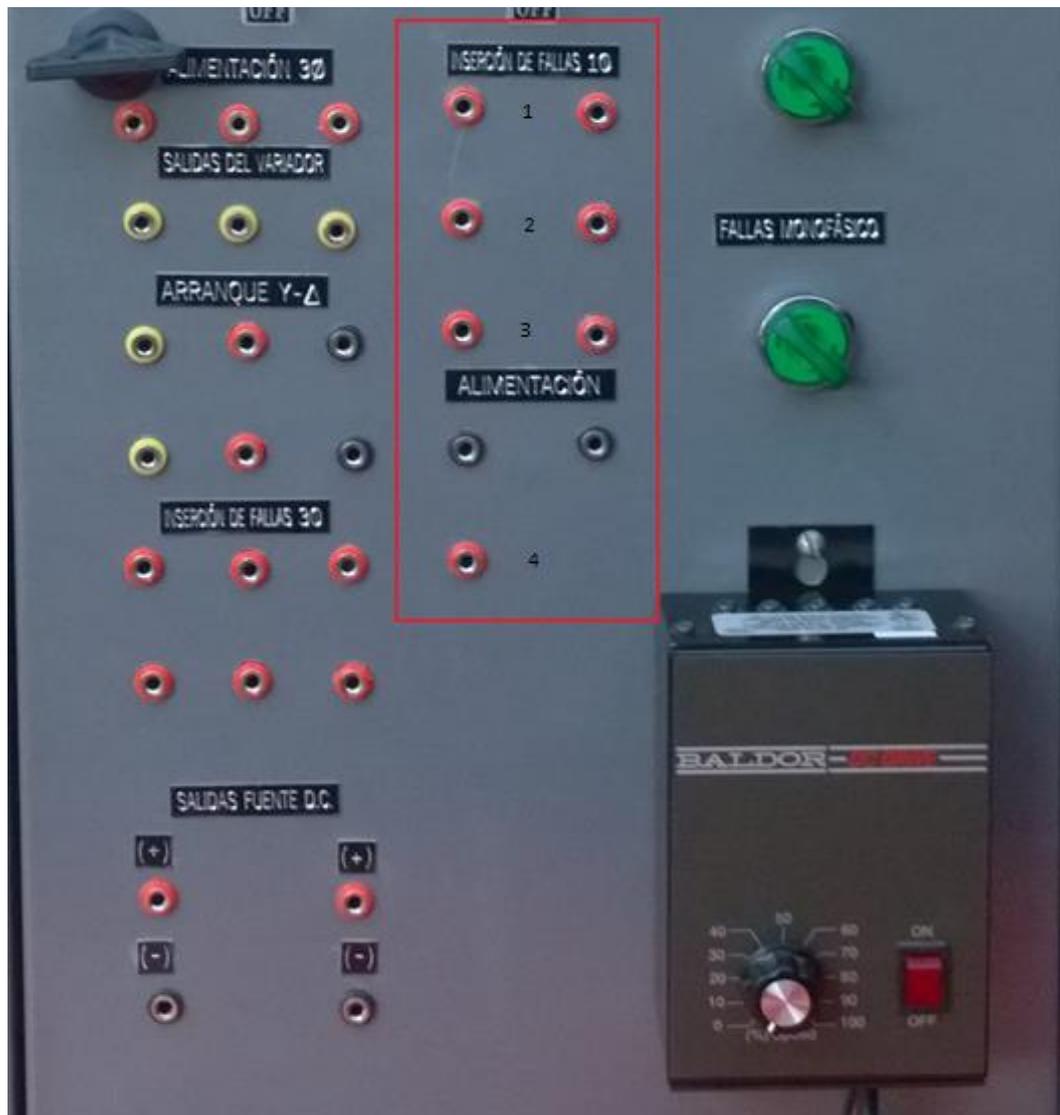
## ANEXO 2. FALLAS TRIFÁSICAS



### ANEXO 3. SELECCIÓN DE FALLAS TRÍFÁSICAS



## ANEXO 4. FALLAS MONOFÁSICO



## ANEXO 5. SELECCIÓN DE FALLAS MONOFÁSICO



## ANEXO 6. TABLERO DIDÁCTICO



## ANEXO 7. TABLERO DIDÁCTICO Y MOTORES ELÉCTRICOS



## ANEXO 8. CURVAS DE MEDICIONES ANALIZADOR FLUKE 1744



## ANEXO 9. TABLA DE MEDICIONES ANALIZADOR FLUKE 1744

| PQ Log               | Potencia                      |                             |            |            |            |            |            |               |          |  |  |
|----------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------|----------|--|--|
| 1744 Power (         |                               | Número de serie: 20824AA/V7 |            |            |            |            |            |               |          |  |  |
| Código de medición:  |                               |                             |            |            |            |            |            |               |          |  |  |
| Periodo de medición: | 3 segundos                    |                             |            |            |            |            |            |               |          |  |  |
| Tensión nominal:     | 127 V                         |                             |            |            |            |            |            |               |          |  |  |
| Tensión:             | 230 \ Factor de Corrección: 1 |                             |            |            |            |            |            |               |          |  |  |
| Corriente:           | 50 \ Factor de Corrección: 1  |                             |            |            |            |            |            |               |          |  |  |
| Fecha                | Hora: 30/01/ #####            |                             | 19:08:16   |            |            |            |            |               |          |  |  |
| Fecha                | Hora                          | V medio L1                  | V medio L2 | V medio L3 | I medio L1 | I medio L2 | I medio L3 | P total medio | PF total |  |  |
|                      |                               | V                           | V          | V          | A          | A          | A          | W             |          |  |  |
| 30/01/2015           | 19:02:06                      | 126,45                      | 126,37     | 124,49     | 0,682      | 0,577      | 0,651      | 143,75        | 0,863    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:02:09                      | 126,42                      | 126,34     | 124,5      | 0,295      | 0,27       | 0,261      | 78,409        | 0,759    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:02:12                      | 126,41                      | 126,34     | 124,57     | 0,295      | 0,267      | 0,261      | 78,409        | 0,759    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:02:15                      | 126,36                      | 126,33     | 124,54     | 0,295      | 0,267      | 0,261      | 78,409        | 0,759    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:02:18                      | 126,4                       | 126,29     | 124,54     | 0,295      | 0,267      | 0,261      | 77,756        | 0,753    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:02:21                      | 126,46                      | 126,3      | 124,5      | 0,295      | 0,27       | 0,261      | 78,409        | 0,759    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:02:24                      | 126,45                      | 126,38     | 124,44     | 0,295      | 0,27       | 0,261      | 79,063        | 0,766    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:02:27                      | 126,45                      | 126,4      | 124,5      | 0,295      | 0,27       | 0,261      | 79,063        | 0,766    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:02:30                      | 126,46                      | 126,45     | 124,55     | 0,295      | 0,267      | 0,261      | 79,063        | 0,761    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:02:33                      | 126,54                      | 126,46     | 124,57     | 0,295      | 0,267      | 0,261      | 78,409        | 0,755    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:02:36                      | 126,59                      | 126,46     | 124,59     | 0,295      | 0,267      | 0,261      | 78,409        | 0,759    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:02:39                      | 126,53                      | 126,47     | 124,64     | 0,295      | 0,27       | 0,261      | 78,409        | 0,755    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:02:42                      | 126,5                       | 126,46     | 124,55     | 0,295      | 0,27       | 0,261      | 78,409        | 0,759    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:02:45                      | 126,53                      | 126,46     | 124,54     | 0,295      | 0,27       | 0,261      | 77,756        | 0,748    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:02:48                      | 126,57                      | 126,42     | 124,53     | 0,295      | 0,267      | 0,261      | 77,756        | 0,758    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:02:51                      | 126,47                      | 126,46     | 124,67     | 0,295      | 0,267      | 0,261      | 77,756        | 0,748    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:02:54                      | 126,36                      | 126,53     | 124,72     | 0,295      | 0,27       | 0,261      | 77,756        | 0,753    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:02:57                      | 126,4                       | 126,5      | 124,64     | 0,295      | 0,27       | 0,261      | 77,756        | 0,748    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:03:00                      | 126,37                      | 126,46     | 124,62     | 0,295      | 0,267      | 0,261      | 77,756        | 0,748    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:03:03                      | 126,36                      | 126,47     | 124,64     | 0,295      | 0,267      | 0,261      | 78,409        | 0,755    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:03:06                      | 126,34                      | 126,49     | 124,64     | 0,295      | 0,267      | 0,261      | 77,756        | 0,748    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:03:09                      | 126,34                      | 126,46     | 124,62     | 0,295      | 0,267      | 0,261      | 77,756        | 0,748    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:03:12                      | 126,29                      | 126,41     | 124,59     | 0,295      | 0,27       | 0,261      | 77,756        | 0,748    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:03:15                      | 126,29                      | 126,4      | 124,61     | 0,295      | 0,27       | 0,261      | 77,756        | 0,748    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:03:18                      | 126,3                       | 126,46     | 124,64     | 0,295      | 0,267      | 0,261      | 77,756        | 0,748    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:03:21                      | 126,32                      | 126,53     | 124,68     | 0,295      | 0,267      | 0,261      | 77,756        | 0,748    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:03:24                      | 126,32                      | 126,49     | 124,66     | 0,295      | 0,267      | 0,261      | 78,409        | 0,755    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:03:27                      | 126,25                      | 126,46     | 124,66     | 0,293      | 0,267      | 0,261      | 79,063        | 0,761    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:03:30                      | 126,19                      | 126,49     | 124,68     | 0,295      | 0,267      | 0,261      | 79,063        | 0,761    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:03:33                      | 126,12                      | 126,43     | 124,67     | 0,293      | 0,267      | 0,261      | 78,409        | 0,759    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:03:36                      | 126,06                      | 126,46     | 124,67     | 0,293      | 0,267      | 0,261      | 78,409        | 0,759    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:03:39                      | 126,08                      | 126,49     | 124,71     | 0,293      | 0,267      | 0,261      | 77,756        | 0,753    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:03:42                      | 126,08                      | 126,5      | 124,7      | 0,295      | 0,267      | 0,261      | 77,756        | 0,748    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:03:45                      | 126,11                      | 126,47     | 124,64     | 0,295      | 0,267      | 0,261      | 77,756        | 0,748    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:03:48                      | 126,11                      | 126,45     | 124,67     | 0,295      | 0,267      | 0,261      | 77,102        | 0,742    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:03:51                      | 126,12                      | 126,43     | 124,72     | 0,295      | 0,267      | 0,261      | 77,756        | 0,748    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:03:54                      | 126,13                      | 126,42     | 124,71     | 0,295      | 0,267      | 0,261      | 77,756        | 0,748    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:03:57                      | 126,17                      | 126,43     | 124,7      | 0,295      | 0,267      | 0,261      | 77,756        | 0,748    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:04:00                      | 126,11                      | 126,43     | 124,62     | 0,295      | 0,267      | 0,261      | 78,409        | 0,764    |  |  |
| 30/01/2015           | 19:04:03                      | 126,08                      | 126,47     | 124,64     | 0,295      | 0,267      | 0,261      | 78,409        | 0,755    |  |  |



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN  
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

| DATOS DE CONTACTO    |                                    |                |            |
|----------------------|------------------------------------|----------------|------------|
| CÉDULA DE IDENTIDAD: | 100311206-5                        |                |            |
| APELLIDOS Y NOMBRES: | Hidrovo Enríquez Oswaldo Sebastián |                |            |
| DIRECCIÓN:           | Calle 13 de Abril                  |                |            |
| EMAIL:               | sebastianhe@rocketmail.com         |                |            |
| TELÉFONO FIJO:       | 062950030                          | TELÉFONO MÓVIL | 0990491491 |

| DATOS DE LA OBRA            |  |
|-----------------------------|--|
| TÍTULO:                     | "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TABLERO DIDÁCTICO PARA PRUEBAS EN MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS EN EL LABORATORIO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO" |
| AUTOR (ES):                 | Hidrovo Enríquez Oswaldo Sebastián<br>Recalde Juncal Diego Armando   |
| FECHA: AAAAMMDD             | 2015/05/7  |
| SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO |  |
| PROGRAMA:                   | <input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO   |
| TÍTULO POR EL QUE OPTA:     | Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico  |
| ASESOR /DIRECTOR:           | Ing. Mauricio Vasquez  |

## 2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Hidrovo Enríquez Oswaldo Sebastián , con cédula de identidad Nro. 100311206-5 , en calidad de autor (es) y titular (es) de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

## 3. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 7 días del mes de Mayo del 2015

**EL AUTOR:**



(Firma).....

Nombre: Hidrovo Enríquez Oswaldo Sebastián  
c.c. 100311206-5



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Hidrovo Enríquez Oswaldo Sebastián, con cédula de identidad Nro. 100311206-5 manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor (es) de la obra o trabajo de grado titulado: "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TABLERO DIDÁCTICO PARA PRUEBAS EN MÁQUINAS ELECTRICAS ROTATIVAS EN EL LABORATORIO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO" . Qué ha sido desarrollada para optar por el Título de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 7 días del mes de Mayo del 2015

(Firma).....

Nombre: Hidrovo Enríquez Oswaldo Sebastián  
Cédula: 100311206-5



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN  
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**4. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

| DATOS DE CONTACTO    |                                 |                |            |
|----------------------|---------------------------------|----------------|------------|
| CÉDULA DE IDENTIDAD: | 100386526-6                     |                |            |
| APELLIDOS Y NOMBRES: | Recalde Juncal Diego Armando    |                |            |
| DIRECCIÓN:           | Alpachaca Macahala y Portoviejo |                |            |
| EMAIL:               | diegorc_34@hotmail.com          |                |            |
| TELÉFONO FIJO:       | 062605845                       | TELÉFONO MÓVIL | 0997134243 |

| DATOS DE LA OBRA            |  |
|-----------------------------|--|
| TÍTULO:                     | "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TABLERO DIDÁCTICO PARA PRUEBAS EN MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS EN EL LABORATORIO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO" |
| AUTOR (ES):                 | Hidrovo Enríquez Oswaldo Sebastián<br>Recalde Juncal Diego Armando   |
| FECHA: AAAAMMDD             | 2015/05/7  |
| SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO |  |
| PROGRAMA:                   | <input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO   |
| TÍTULO POR EL QUE OPTA:     | Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico  |
| ASESOR /DIRECTOR:           | Ing. Mauricio Vasquez  |

## 5. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Recalde Juncal Diego Armando , con cédula de identidad Nro. 100386526-6, en calidad de autor (es) y titular (es) de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

## 6. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 7 días del mes de Mayo del 2015

**EL AUTOR:**

(Firma).....  


Nombre: Recalde Juncal Diego Armando  
c.c. 100386526-6



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Recalde Juncal Diego Armando, con cédula de identidad Nro. 100386526-6 manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor (es) de la obra o trabajo de grado titulado: "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TABLERO DIDÁCTICO PARA PRUEBAS EN MÁQUINAS ELECTRICAS ROTATIVAS EN EL LABORATORIO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO". Qué ha sido desarrollada para optar por el Título de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 7 días del mes de Mayo del 2015

(Firma)   
Nombre: Recalde Juncal Diego Armando  
Cédula: 100386526-6