



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

SEDE GUAYAQUIL

**Tesis Previa La Obtención De Título De**

**INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBA PARA UNA MÁQUINA ASÍNCRONA TRIFÁSICA (MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO, MARCA: HAMPDEN, MODELO: WRM – 300, ROTOR TIPO JAULA Y DEVANADO) PARA EL LABORATORIO DE MAQUINAS ELÉCTRICAS DE LA UPS- GUAYAQUIL”**

**AUTORES:** Joffre Medardo Cortez Fernández

Héctor Iván Guevara Ganchozo

José Alfredo Rodríguez Enríquez

**DIRECTOR:** Ing. Otto Astudillo, MAE

**FECHA DE EMISIÓN:** Guayaquil, 05 de Agosto del 2014

**TRIBUNAL DEL CONSEJO DE CARRERA**

---

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

---

DIRECTOR DE TESIS

---

VOCAL DEL TRIBUNAL

## DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Joffre Medardo Cortez Fernández, Héctor Iván Guevara Ganchozo, José Alfredo Rodríguez Enríquez, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra completa autoría, que no ha sido desarrollado ni presentado ni calificado profesionalmente por terceros y que las referencias bibliográficas que se incluyen, fueron consultadas para soportarnos en el desarrollo de este trabajo.

De acuerdo a lo establecido por la ley de propiedad intelectual, dando cumplimiento a sus reglamentos y por la normativa de la institución, a través de este documento cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana

Los Autores

f \_\_\_\_\_  
Joffre Medardo Cortez Fernández

f \_\_\_\_\_  
Héctor Iván Guevara Ganchozo

f \_\_\_\_\_  
José Alfredo Rodríguez Enríquez

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar y sobre todo es nuestra voluntad agradecer eternamente a Dios uno y trino, quien nos ha permitido iniciar y culminar el presente trabajo, gracias y gloria a Él por las bendiciones y dones recibidos, los cuales se los ofrecemos para el servicio de nuestro prójimo y comunidad entera.

A la comunidad de profesores de la Universidad Politécnica Salesiana de la sede Guayaquil por habernos transmitido sus conocimientos durante el tiempo que nuestra carrera duró. Al Ing. Otto Astudillo, por creer en nosotros y guiarnos con sabiduría y paciencia en el proceso de este proyecto como director de tesis. Al personal administrativo de la UPS que nos supieron guiar en los procesos y tecnicismos durante toda la carrera.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres Doris y Elmer, por la dedicación y esfuerzos de ellos hacia mi formación, por darme la oportunidad de educarme, por creer en mí siempre, por su apoyo incondicional, que solo podré pagarlo siendo un buen profesional y emulando su ejemplo en mis hijos.

A mi esposa Yadira, a mis hijos Jeffrey, Katherine y Nathalia que supieron comprenderme cuando nos les pude dedicar el tiempo que ellos necesitaban, ahora es momento de recuperar el tiempo perdido.

Joffre Cortez

Con mucho amor dedico nuestra tesis a Dios y a mis padres Alfredo e Inés que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por inspirarme y darme la mano cuando sentía que la adversidad me alcanzaba. También a mis maestros y amigos que supieron influir en mí con sus consejos y experiencias; por lo que les agradezco a cada uno de ellos.

Alfredo Rodríguez

Mis agradecimientos a todos aquellos que influyeron directa e indirectamente en mi carrera en especial a mis progenitores y a mi hermano por su valiosa ayuda que motivo mi superación y con ello lograr seguir escalando por el bien de la patria.

Iván Guevara

# ÍNDICE GENERAL

Página

<b>RESUMEN</b> .....	<b>IX</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>X</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>11</b>
<b>GENERALIDADES</b> .....	<b>11</b>
<b>1.1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>11</b>
<b>1.2 EL PROBLEMA.</b> .....	<b>12</b>
<b>1.2.1 Planteamiento del problema</b> .....	<b>12</b>
<b>1.2.2 Delimitación del Problema</b> .....	<b>12</b>
<b>1.3 Objetivos.</b> .....	<b>13</b>
<b>1.3.1 Objetivos generales</b> .....	<b>13</b>
<b>1.3.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>13</b>
<b>1.4 Justificación</b> .....	<b>14</b>
<b>1.5 Hipótesis</b> .....	<b>15</b>
<b>1.6 Variables</b> .....	<b>15</b>
<b>1.6.1 Variable Independiente:</b> .....	<b>15</b>
<b>1.6.2 Variable Dependiente</b> .....	<b>15</b>
<b>1.7 Metodología</b> .....	<b>15</b>
<b>1.7.1 Método Experimental</b> .....	<b>15</b>
<b>1.7.2 Método Inducción completa</b> .....	<b>16</b>
<b>1.8 Técnicas</b> .....	<b>16</b>
<b>1.8.1 Técnica de Documentación:</b> .....	<b>16</b>
<b>1.8.2 Técnica de Campo</b> .....	<b>16</b>
<b>1.8.3 Instrumentos de recolección de datos</b> .....	<b>16</b>
<b>1.9 Población y Muestra</b> .....	<b>17</b>
<b>1.9.1 Tabla de encuestas</b> .....	<b>17</b>
<b>1.9.2 Gráficos de los datos</b> .....	<b>17</b>
<b>1.9.3 Descripción de la Propuesta</b> .....	<b>18</b>
<b>1.9.4 Beneficiarios</b> .....	<b>18</b>
<b>1.9.5 Impacto</b> .....	<b>18</b>
<b>CAPITULO II</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1 Introducción de los motores eléctricos.</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1.1 Origen Del Campo Magnético Giratorio</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1.2 Principio de funcionamiento del motor de inducción trifásica.</b> .....	<b>21</b>

2.1.3	<b>Voltaje inducido en un devanado trifásico.</b>	<b>21</b>
2.1.4	<b>Velocidad del rotor</b>	<b>23</b>
2.1.5	<b>Circuito equivalente del motor de inducción.</b>	<b>24</b>
2.1.6	<b>Par producido por el motor de inducción.</b>	<b>25</b>
2.1.7	<b>Partes Constitutivas de un Motor de Inducción Jaula de Ardilla.</b>	<b>25</b>
2.2	<b>Revisión de variables eléctricas.</b>	<b>27</b>
2.2.1	<b>Concepto de Voltaje.</b>	<b>27</b>
2.2.2	<b>Concepto de Potencia.</b>	<b>27</b>
2.2.3	<b>Concepto de Corriente.</b>	<b>28</b>
2.2.4	<b>Factor De Potencia.</b>	<b>29</b>
2.3	<b>Revisión de Variables Mecánicas</b>	<b>31</b>
2.3.1	<b>Velocidad Angular</b>	<b>31</b>
2.3.2	<b>Concepto de Par Motor</b>	<b>32</b>
2.4	<b>Tipos de arranque de los motores de inducción.</b>	<b>33</b>
2.4.1	<b>Arranque sin carga y/o en vacío.</b>	<b>33</b>
2.4.2	<b>Arranque a plena carga tensión reducida Estrella - triangulo.</b>	<b>34</b>
2.4.3	<b>Arranque directo de Motor de Inducción.</b>	<b>34</b>
2.4.4	<b>Arranque con Auto transformador de Motor de Inducción</b>	<b>34</b>
2.4.5	<b>Arranque por regulación de frecuencia para Motor de Inducción</b>	<b>35</b>
2.5	<b>Principio Básico de funcionamiento del electro-dinamómetro.</b>	<b>35</b>
2.5.1	<b>Diagrama de conexión de Motor de excitación independiente.</b>	<b>36</b>
2.6	<b>Principio de funcionamiento del Variac.</b>	<b>36</b>
2.6.1	<b>Rangos de voltaje.</b>	<b>37</b>
2.7	<b>Principio básico de los analizadores de red.</b>	<b>37</b>
2.7.1	<b>Aplicaciones de los analizadores de Red.</b>	<b>37</b>
2.8	<b>SIMEAS P.</b>	<b>38</b>
2.9	<b>PAC4200.</b>	<b>38</b>
2.10	<b>Sensores de Medición.</b>	<b>39</b>
2.10.1	<b>Sensores o detectores de posición.</b>	<b>39</b>
2.10.2	<b>Contador de pulsos.</b>	<b>40</b>
2.10.3	<b>Sensores Analógicos de Corriente (Amperímetros análogos).</b>	<b>40</b>
2.10.4	<b>Transformador de corriente.</b>	<b>41</b>
2.11	<b>Introducción Regulador de Frecuencia.</b>	<b>41</b>
2.11.1	<b>Fundamentos del regulador de frecuencia</b>	<b>41</b>

2.11.2	Etapas que componen un regulador de frecuencia.....	42
2.11.3	Etapa Rectificadora.....	42
2.11.4	Etapa de circuito intermedio. ....	42
2.11.5	Etapa Inversora.....	43
2.11.6	Control de voltaje de frecuencia. ....	43
2.11.7	Criterios de selección de un regulador de frecuencia. ....	43
2.11.8	Frenado con regulador de frecuencia. ....	44
2.11.9	Ventajas de uso del regulador de frecuencia.....	44
2.11.10	Desventajas.....	45
<b>CAPÍTULO III .....</b>		<b>46</b>
3.2	Introducción a los tableros .....	46
3.2.1	Tipos de Tableros .....	47
3.3	Arquitectura Del Tablero De Prueba.....	48
3.3.1	Materiales Utilizados .....	48
3.3.2	Diseño de la Arquitectura del tablero .....	49
3.4	Diseño Freno Eléctrico .....	51
3.4.1	Introducción.....	51
3.4.2	Concepto de freno.....	51
3.4.3	Principio Generales de los Frenados.....	51
3.4.4	Frenado de un motor de inducción por electro-freno.....	52
3.4.5	Frenado de un motor de inducción por Contracorriente.....	52
3.4.6	Frenado de un Motor de Inducción por inyección de corriente continua.....	53
3.4.7	Cálculos.....	53
<b>CAPÍTULO IV.....</b>		<b>55</b>
<b>PRÁCTICAS TUTORIALES .....</b>		<b>55</b>
4.	Instructivo para prácticas del banco de pruebas. ....	55
4.1	PRÁCTICA # 1 .....	56
1.	DATOS INFORMATIVOS .....	56
2.	DATOS DE LA PRÁCTICA .....	56
4.2	PRÁCTICA # 2 .....	59
1.	DATOS INFORMATIVOS .....	59
2.	DATOS DE LA PRÁCTICA .....	59
3.	ACTIVIDADES ANEXAS.....	70
4.3	PRÁCTICA # 3 .....	72

2.	DATOS DE LA PRÁCTICA .....	72
3.	ACTIVIDADES ANEXAS.....	79
4.4	PRÁCTICA # 4 .....	80
1.	DATOS INFORMATIVOS .....	80
2.	DATOS DE LA PRÁCTICA .....	80
3.	ACTIVIDADES ANEXAS.....	87
4.5	PRÁCTICA # 5 .....	88
1.	DATOS INFORMATIVOS .....	88
2.	DATOS DE LA PRÁCTICA .....	88
3.	ACTIVIDADES ANEXAS.....	96
4.6	PRÁCTICA # 6.....	97
1.	DATOS INFORMATIVOS .....	97
2.	DATOS DE LA PRÁCTICA .....	97
3.	ACTIVIDADES ANEXAS.....	106
4.7	PRÁCTICA # 7 .....	107
1.	DATOS INFORMATIVOS .....	107
2.	DATOS DE LA PRÁCTICA .....	107
TABLA DE RESULTADOS.....		113
3.	ACTIVIDADES ANEXAS.....	114
4.8	PRÁCTICA # 8.....	115
1.	DATOS INFORMATIVOS .....	115
2.	DATOS DE LA PRÁCTICA .....	115
3.	ACTIVIDADES ANEXAS.....	122
4.9	PRÁCTICA # 9 .....	123
1.	DATOS INFORMATIVOS .....	123
2.	DATOS DE LA PRÁCTICA .....	123
3.	ACTIVIDADES ANEXAS.....	130
4.10	PRÁCTICA # 10.....	131
1.	DATOS INFORMATIVOS .....	131
2.	DATOS DE LA PRÁCTICA .....	131
3.	ACTIVIDADES ANEXAS.....	138
4.11	PRÁCTICA # 11.....	139
1.	DATOS INFORMATIVOS .....	139
2.	DATOS DE LA PRÁCTICA .....	139

3.	<b>ACTIVIDADES ANEXAS.....</b>	<b>146</b>
<b>4.12</b>	<b>PRÁCTICA # 12.....</b>	<b>147</b>
1.	<b>DATOS INFORMATIVOS .....</b>	<b>147</b>
2.	<b>DATOS DE LA PRÁCTICA .....</b>	<b>147</b>
3.	<b>ACTIVIDADES ANEXAS.....</b>	<b>153</b>
<b>ANEXO 1</b>	<b>.....</b>	<b>154</b>
	<b>CONSTRUCCIÓN DEL TABLERO DE PRUEBA .....</b>	<b>154</b>
<b>ANEXO 2</b>	<b>.....</b>	<b>161</b>
	<b>DISEÑO DEL FRENO ELECTRO-MECÁNICO .....</b>	<b>161</b>
<b>ANEXO 3</b>	<b>.....</b>	<b>167</b>
	<b>DIAGRAMAS ELÉCTRICOS GENERALES DEL TABLERO DE PRUEBA.....</b>	<b>167</b>
<b>ANEXOS 4</b>	<b>.....</b>	<b>170</b>
	<b>PROTOCOLOS DE PRUEBA PARA TABLERO .....</b>	<b>170</b>
<b>ANEXO 5</b>	<b>.....</b>	<b>188</b>
	<b>MANUALES DE PROGRAMACIÓN EQUIPOS .....</b>	<b>188</b>

## **RESUMEN**

Este tablero de prueba fue construido para contribuir con los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil que están formándose como futuros ingenieros eléctricos y que prestaran sus servicios a la comunidad para el desarrollo del país. Es por ello que hemos diseñado un tablero de prueba con las herramientas acorde a la época que estarán en vigencia por mucho tiempo.

El presente documento está formado por cuatro capítulos los cuales tienen como finalidad contribuir en el manejo y aprovechamiento de este proyecto de tesis.

En el capítulo primero encontraremos las generalidades de esta tesis, que permitirá entender la utilidad y beneficios para los estudiantes de la carrera de ingeniería.

El capítulo segundo encontramos información relevante para entender el principio de funcionamiento de los equipos que están instalados en el tablero. Así como los criterios que debe manejar el ingeniero eléctrico referente a los diferentes tipos de arranque de motores, hemos recopilado información sobre los tipos de sistema de medición en tiempo real que hemos utilizado para la elaboración del tablero de pruebas. Adicionalmente se agregó información sobre los variadores de electrónicos de frecuencia que permiten tener un control diferente en el motor M.I.J.A siendo estos muy usados en el área industrial, se revisan las diferentes partes de un regulador electrónico.

En el capítulo tercero encontramos todo lo referente a la elaboración del tablero eléctrico y del sistema de freno electromagnético. Se adicionaron planos y diagramas eléctricos para una mejor comprensión del diseño del tablero de pruebas para maquinas asíncrona.

En el capítulo cuarto se expone el trabajo realizado en laboratorio donde hemos integrado aproximadamente doce prácticas de laboratorio las cuales son de fácil desarrollo y de mucho valor técnico científico para el estudiante de ingeniería eléctrica

**Palabras claves:** nuevas tendencias, tablero de prueba, prácticas de laboratorio

# **“Design and implementation of a test for a three-phase asynchronous machine for electrical machines laboratory of UPS-Guayaquil”**

## **ABSTRACT**

This test board was built to contribute to the students of Salesian University Guayaquil who are being trained as future electrical engineers and will provide their service to the community for the development of the country. It is for them that we have designed a test board with the tools according to the time that will be in effect for a long time.

This document is made of four chapters which are intended to contribute to the management and use of this thesis project.

In the first chapter we can find the generalities of this thesis, which will understand the usefulness and benefits for students that are studying engineering.

In the second chapter we find relevant information to understand the principle of operation of the equipment that are installed on the board information. And the criteria that must manage electrical engineer concerning the different types of engine starting, we have collected information on the types of measurement system in real time that we used to prepare the test panel. Further information about electronic frequency inverters that allow a different control on the engine MIJA that are being widely used in the industrial area, the different parts of an electronic controller are checked.

In the third chapter we can find everything related to the development of the electrical panel and electromagnetic brake system. Panels and electrical diagrams were added for better understanding of the design of the testing board to asynchronous machines.

In the fourth chapter the work done in the laboratory is exposed where we have built about twelve labs which are easily handle and with more scientific development value for the students of electrical engineering.

**Keywords:** new trends, test board, laboratory practices

# **CAPÍTULO I GENERALIDADES**

## **1.1 INTRODUCCIÓN**

El desarrollo de este proyecto de tesis ha sido con el deseo de contribuir con los estudiantes de los niveles intermedios que están formándose como futuros ingenieros eléctricos en la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil y que presten sus servicios a la comunidad para el desarrollo del país. Es por ello que hemos diseñado un tablero de prueba con herramientas acorde a la época.

El presente documento está formado por cuatro capítulos los cuales tienen como finalidad contribuir al manejo y aprovechamiento de este proyecto de tesis, el cual; esperamos, sea considerado por parte del alumnado como una herramienta para complementar los conocimientos adquiridos en las aulas.

En capítulo dos se presenta información relevante para entender el principio de funcionamiento de los equipos que están instalados en el tablero. Así como los criterios que debe manejar el ingeniero eléctrico referente a los diferentes tipos de arranque de motores. Hemos recopilado información sobre los tipos de sistema de medición en tiempo real que hemos utilizado para la elaboración del tablero de pruebas. Se adicionó también información de programación de estos equipos tratando de ser lo más objetivos y prácticos. También hay información sobre los variadores de electrónicos de frecuencia que permiten tener un control diferente en el motor M.I.J.A siendo estos muy usados en el área industrial, se revisan las diferentes partes de un regulador electrónico y también se incorporan las diferentes aplicaciones con su respectiva puesta en marcha.

En cuarto capítulo se expone el trabajo realizado en laboratorio donde hemos integrado aproximadamente 12 prácticas de laboratorio las cuales son de fácil desarrollo y de mucho valor técnico científico para el estudiante de ingeniería eléctrica

## **1.2 EL PROBLEMA.**

### **1.2.1 Planteamiento del problema**

Los cambios tecnológicos implementados por la Universidad Politécnica Salesiana en la readecuación y mejoramiento de los laboratorios, sin duda han contribuido de gran manera en el desarrollo técnico- práctico de los estudiantes de las carreras de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, sin embargo esto no es suficiente, en el laboratorio de Maquinarias específicamente se dispone de tableros didácticos para la realización de pruebas tanto en transformadores como en generadores, pero se carece de tableros didácticos para la realización de pruebas, simulaciones y modelado matemático en Motores trifásicos, tanto Síncronos como Asíncronos, lo cual genera una carencia en los conocimientos correspondientes en dicho ámbito.

Por este motivo, para ampliar los conocimientos sobre motores de inducción y detallarlos con mayor profundidad, se considera la realización de dicho módulo. Este trabajo contribuirá a facilitar los conceptos generalizados en lo que a simulación y modelación se refiere utilizando las nuevas herramientas de ingeniería que existen en el mercado.

### **1.2.2 Delimitación del Problema**

El presente trabajo tiene como objeto presentar una alternativa a los docentes de la asignatura de maquinarias eléctricas, para realizar el modelado matemático de la máquina asíncrona de inducción y los sistemas de control que se requieren para dicho propósito los mismos que serán descritos en las secciones siguientes.

### **1.3 Objetivos.**

#### **1.3.1 Objetivos generales**

Diseño e implementación de un banco de prueba didáctico para un motor de inducción trifásico del laboratorio de maquinarias eléctricas de la UPS-GYE.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Desarrollar un banco de pruebas para el motor de inducción asíncrono para el uso de los estudiantes de maquinarias eléctricas, de fácil uso e interpretación del aprendizaje de la materia de laboratorio de maquinarias.
  
- Capturar los datos en tiempo real de las variables eléctricas del motor MIJA, durante la realización de pruebas como circuito abierto, cortocircuito, rendimiento, equivalente Thévenin, torque-velocidad, la misma que pueden ser utilizadas para el análisis del estudiante.
  
- Desarrollar una guía de varias prácticas para el uso apropiado del tablero de prueba, de fácil interpretación para el estudiante de ingeniería eléctrica, que le permita operar y al mismo tiempo estudiar el comportamiento del motor de inducción.
  
- Presentar las curvas obtenidas por medio del tablero de prueba, durante las pruebas de laboratorio del motor de inducción tipo jaula de ardilla.

## 1.4 Justificación

Hoy en día se puede decir que en el área industrial, el ochenta por ciento de los motores eléctricos se emplea el motor asíncrono, trabajando con una frecuencia fija o variable y tensión de alimentación constante. Las aplicaciones de los motores asíncrónicos en la industria son muy amplias tal como los molinos, extrusores y batidoras pueden requerir un momento de torsión constante en toda su variedad de velocidad. Estas requieren un motor de inducción jaula de ardilla, diseño clase *C* ó *D* los que tienen un alto momento de torsión de arranque, para alcanzar su velocidad nominal.

Las máquinas que requieren un bajo momento de torsión de arranque hacen que los motores jaula de ardilla diseño *B* de propósito general sean los preferidos para esta aplicación. En los ventiladores centrífugos se requiere un motor de caja de ardilla diseño *C* o *D* de alto momento de torsión de arranque para que el ventilador adquiriera su velocidad de trabajo en un periodo razonable de tiempo.

El limitante que presenta esta máquina es regular la velocidad y de ahí que cuando esto suceda en diversas aplicaciones; como la tracción eléctrica, trenes de laminación, transportadores, trituradores, etc., eran sustituidos por los motores de corriente continua que son más idóneos para este servicio. Desde finales del siglo XX y con los nuevos avances en la electrónica industrial se ha podido superar este inconveniente.

Por tanto era necesario contar con un sistema de control actualizado con nuevas herramientas en ingeniería, para realizar pruebas a los motores asíncronos y de esta forma contribuir a la formación y entendimiento en el modelado y simulación de las mismas, para el beneficio académico de los alumnos de la carrera de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la UPS. Es imperativo que los estudiantes de ingeniería se alineen con las nuevas tendencias de arranque de motores sin descuidar los modelos y conceptos anteriores que son los fundamentos de los actuales. Por esta razón se vio la necesidad de desarrollar un sistema de prueba didáctico para fortalecer la preparación técnica de los estudiantes de ingeniería.

Para el desarrollo de este trabajo se requiere de conceptos y análisis matemático del motor asíncrono y de los sistemas de control necesarios usar para el desempeño dinámico del sistema en general.

## **1.5 Hipótesis**

Consideramos que los estudiantes de maquinarias eléctricas de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, tendrán una mejora significativa en su preparación técnica, a partir de la utilización del tablero de prueba dedicado al estudio del motor asíncrono, frente a aquellos estudiantes que no pudieran utilizar esta herramienta de aprendizaje.

## **1.6 Variables**

### **1.6.1 Variable Independiente:**

- ❖ Diseñar un banco de prueba para motor de inducción tipo jaula de ardilla

### **1.6.2 Variable Dependiente**

- ❖ Proporcionar una nueva herramienta para el laboratorio de maquinarias eléctricas de la UPS-GYE que permita mejorar el aprendizaje de la máquina de inducción trifásica - asíncrona tipo jaula de ardilla.

## **1.7 Metodología**

### **1.7.1 Método Experimental**

El desarrollo de este proyecto tuvo como soporte el proceso experimental para llegar al prototipo de tablero de prueba. Realizando pruebas controladas en el laboratorio, se obtuvieron mediciones y datos relevantes para la realización del proyecto, mismos que fueron registrados y al reproducirlos se pudo comprobar la repetición de los resultados obtenidos inicialmente.

### **1.7.2 Método Inducción completa**

Realizar el estudio por medio de la inducción completa del proyecto utilizando los elementos que lo conformaban, permitió demostrar que el comportamiento del motor de inducción tipo jaula de ardilla permite entender de igual manera a los motores asíncronos trifásicos en sus diferentes variantes.

## **1.8 Técnicas**

Para el desarrollo de este proyecto se utilizaron las siguientes técnicas:

### **1.8.1 Técnica de Documentación:**

Este tipo de técnica permitió recopilar y soportar los conceptos técnicos y de ingeniería para el entendimiento y desarrollo del prototipo de tablero de pruebas. Los capítulos fueron soportados y desarrollados por medio de esta técnica, pudiendo así completar los objetivos del presente proyecto. Se utilizaron diferentes tipos de documentos de consulta, los mismos que están registrados en la bibliografía de este documento

### **1.8.2 Técnica de Campo**

Siendo esta técnica un método experimental pudimos realizar las pruebas de nuestro tablero en el área de laboratorio de maquinarias, utilizando los motores de inducción tipo jaula de ardilla comprobando la operatividad de nuestro tablero al obtener mediciones y datos que permitieron cumplir con los objetivos específicos.

### **1.8.3 Instrumentos de recolección de datos**

Los soportes utilizados para documentar la información durante la ejecución de este proyecto fueron del tipo estadísticos y las respectivas tablas técnicas.

Para el soporte estadístico se utilizó:

Encuestas a los diferentes estudiantes de la ups del área de ingeniería eléctrica.

Los instrumentos de recolección de datos fueron:

Tablas de mediciones

Análisis a partir de los datos obtenidos

## 1.9 Población y Muestra

### 1.9.1 Tabla de encuestas

Para definir y levantar los datos de la población y de la muestra se hizo la investigación en los estudiantes de quinto al octavo semestre de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil de la carrera de Ingeniería eléctrica.

FACULTAD DE INGENIERÍAS ESTUDIANTES POR MATERIA	CANTIDAD
ESTUDIANTES DE QUINTO SEMESTRE DE ING. ELÉCTRICA	10
ESTUDIANTES DE SEXTO SEMESTRE DE ING. ELÉCTRICA	8
ESTUDIANTES DE SÉPTIMO SEMESTRE DE ING. ELÉCTRICA	7
ESTUDIANTES DE OCTAVO SEMESTRE DE ING. ELÉCTRICA	6

### 1.9.2 Gráficos de los datos.

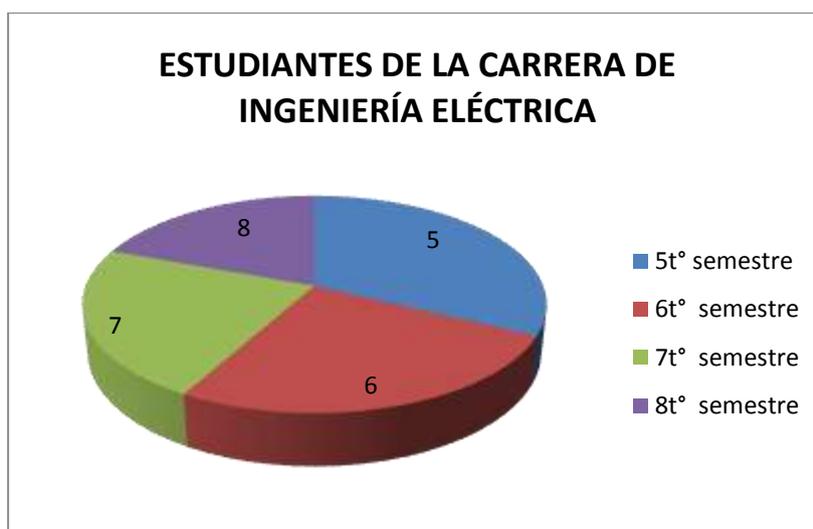


Fig. 1: Grafica de resultados tabla 1

Fuente: Los autores

### **1.9.3 Descripción de la Propuesta**

El desarrollo de este tablero está basado en los tipos básicos de control de motores de arranque que se han desarrollado en los últimos cuarenta años y en los actuales como lo son los arranques por medio de estados sólidos, los cuales han permitido arranques más controlados y con menos impacto en la parte mecánica del motor siendo esta la que más se afecta por el continuo uso y arranques violentos, productos de los torques de arranque no regulados.

El estudiante encontrará fácilmente la forma de utilizar el tablero de prueba debido a que cuenta con una simbología familiar y didáctica, lo que facilita su interpretación y manejo. La ventaja de contar con un sistema de ejes, permite la movilización a cualquier parte del laboratorio, haciendo del tablero una herramienta muy práctica al momento de requerirse para combinarse con otros equipos.

### **1.9.4 Beneficiarios**

El tablero de pruebas esta direccionado para que los estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica sean los beneficiarios directos de las aplicaciones que pudieran desarrollar, sin descartar a los de carreras afines que desean aprender de los motores de inducción.

### **1.9.5 Impacto**

Se estima que el uso del tablero de prueba para maquina asíncrona, impactara en la mayoría de los estudiantes dadas las prestaciones y beneficios que este equipo abarca en su diseño. Los estudiantes podrán practicar y simular las veces que sean necesarias todas las pruebas que ellos consideren necesarios para ganar habilidad y experiencia en el estudio y análisis del motor de inducción tipo jaula de ardilla.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Introducción de los motores eléctricos.

Cuando hablamos de motores eléctricos nos viene a la mente un equipo que simplemente funciona con electricidad y produce un movimiento mecánico, sin embargo los motores eléctricos de corriente alterna fueron desarrollados hace más de un siglo por el científico Nikola Tesla en 1888, lo que permitió el avance y el progreso para la humanidad. Los motores de inducción de corriente alterna son máquinas que transforman la energía eléctrica en energía mecánica, misma que es aprovechada para dar impulso a las grandes maquinarias de la industria.

Los motores de inducción se dividen en dos grupos: el tipo asíncrono y los síncronos. El primero tiene como característica principal, la velocidad variable que se presenta en su eje debido al deslizamiento entre los campos eléctricos del rotor como del estator, el siguiente, presenta una velocidad casi constante en su eje debido a las compensaciones internas adosadas por el fabricante lo que lo hace especial para aplicaciones complicadas.

En este proyecto se tomó al motor asíncrono tipo jaula de ardilla debido al generalizado uso en la industria.

#### 2.1.1 Origen Del Campo Magnético Giratorio.

El campo magnético giratorio es el causante del movimiento mecánico en el eje del motor eléctrico, dicho movimiento es utilizado para diferentes usos en la industria.

La producción del campo magnético giratorio se produce por los siguientes principios básicos que fueron descubiertos en el siglo XVIII por estudiosos de la época:

**Ley de Ampere (1775-1836)** Al circular corriente por un conductor se produce un campo magnético alrededor del conductor. En el siguiente grafico se puede apreciar la corriente **I** que circula por el conductor, el mismo que induce un campo magnético de densidad **B** y de intensidad **H**.

$$\oint H \cdot dl = I_{net}.$$

**Ley de Michael Faraday 1791-1867.** Si un flujo magnético pasa a través de una espira de un bobinado formado por un elemento conductor, en ella se induce un voltaje que es directamente proporcional a la rata de variación del flujo con respecto al tiempo. Así tenemos la ecuación de Faraday.

$$e_{ind} = \frac{\partial \phi}{\partial t}$$

**Ley de Biot-Savart (1820)** Establecieron que si un alambre conduce una corriente constante I, este induce un campo magnético dB en un punto P. La magnitud dB es directamente proporcional a dicha corriente e inversamente proporcional a la distancia  $r^2$ , donde r es la distancia desde el elemento hasta el punto p.

Esta ley describe teóricamente la relación que se establece entre el diferencial de corriente y la intensidad de campo magnético H que esta produce.

$$\overrightarrow{dB} = \frac{\mu_0 \cdot i \, dl \times \vec{r}}{4\pi r^3}$$

**La ley de Lenz (1865)** El sentido de las corrientes o fuerza electromotriz inducida es tal que se opone siempre a la causa que la produce, o sea, a la variación del flujo. Para el campo electromagnético relaciona cambios producidos en el campo eléctrico en un conductor con la variación de flujo magnético en dicho conductor, y afirma que las tensiones o voltajes inducidos sobre un conductor y los campos eléctricos asociados son de un sentido tal que se oponen a la variación del flujo magnético que las induce.

$$\phi = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S} = BS \cos \alpha.$$

Dónde:

$\phi$  = flujo magnético.  $\mathbf{B}$  = inducción magnética. ; $\mathbf{S}$  = superficie definida por el conductor.  $\alpha$  = es el ángulo que forma el vector  $\mathbf{S}$  perpendicular a la superficie definida por el conductor y dirección del campo.

Si el conductor está en movimiento el valor del flujo será:

$$\Phi = \int S B \cos \alpha ds$$

### **2.1.2 Principio de funcionamiento del motor de inducción trifásica.**

El motor asíncrono de inducción tiene como principio de funcionamiento el efecto del flujo magnético giratorio que se presenta en el circuito estatórico producto de las corrientes inducidas por dicho flujo en el circuito rotor del motor.

Debido a que el flujo magnético giratorio inducido por el bobinado estatórico, al girar induce un voltaje en los conductores del rotor los mismos que estando cortocircuitados producen una fuerza electromotriz inducida.

El campo magnético necesario para dar movimiento al eje del motor se obtiene a partir de hacer circular un sistema de corriente trifásica desfasada en 120° eléctricos de igual magnitud a través del bobina del estator.

La acción mutua del flujo giratorio y las corrientes existentes en los conductores del rotor originan fuerzas electrodinámicas sobre los propios conductores que arrastran al rotor haciéndolo girar (ley de Lenz).

### **2.1.3 Voltaje inducido en un devanado trifásico.**

Así como un sistema trifásico de corrientes puede producir un campo magnético giratorio, un campo magnético giratorio puede producir un sistema trifásico de voltaje (Ley de Faraday).<sup>1</sup>

El voltaje inducido en cierta barra de rotor está dado por la ecuación.

$$e_{ind} = (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{l}$$

---

<sup>1</sup> Bibliografía de Maquinas eléctricas Stephen Chapman 1991.

Dónde:

$v$  = velocidad constante del conductor respecto al campo magnético.

$B$  = densidad del campo magnético.

$l$  = longitud del conductor.

Ahora, si alrededor del campo magnético del rotor se colocan tres bobinas, cada una con  $N_e$  espiras, cada una de ellas inducirá un voltaje de la misma magnitud pero desfasados  $120^\circ$  entre sí. Los voltajes por cada fase serán:

1 Bibliografía de Maquinas eléctricas Stephen Chapman 1991.

$$E_{aa'} = N_e \varnothing \omega \text{ sen}(\omega t) \quad V$$

$$E_{bb'} = N_e \varnothing \omega \text{ sen}(\omega t - 120^\circ) \quad V$$

$$E_{cc'} = N_e \varnothing \omega \text{ sen}(\omega t - 240^\circ) \quad V$$

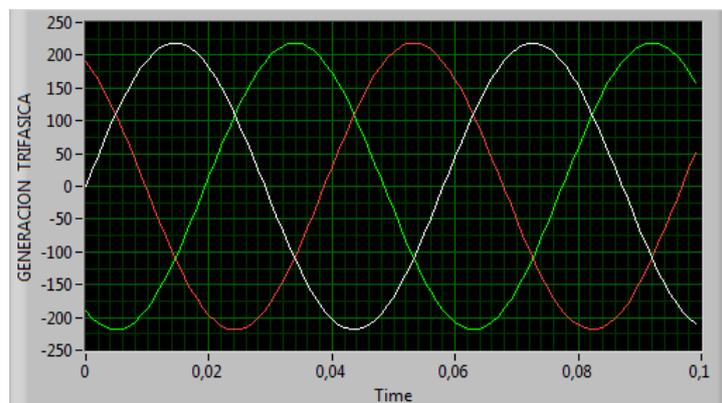
Donde:

$E$  = voltaje de fase inducido.

$N_e$  = número de espiras por fase.

$\varnothing$  = flujo máximo.

$\omega$  = velocidad del campo.



**Figura 2:** Voltaje Trifásico.  
**Fuente:** Los Autores.

### 2.1.4 Velocidad del rotor

Como habíamos mencionado el motor asíncrono tiene como particularidad el tener una velocidad diferente a la de sincronismos debido al deslizamiento entre ambos. La velocidad de rotación del rotor está dada por:

$$n_r = (120 f_e) / (\#P)$$

Dónde:

$f_e$  : es la frecuencia del sistema en hertz ;  $\#P$  : es el número de polos en la máquina.

#### 2.1.4.1 Velocidad de deslizamiento rotor.

La figura muestra un motor de inducción con un rotor de jaula de ardilla. En este grafico se puede observar que el rotor gira a una velocidad diferente que la del rotor

Es decir la velocidad del rotor es menor en comparación con la del campo magnético principal, a esta diferencia de velocidad entre el estator y rotor se le conoce como deslizamiento.

$$s = \frac{N_s - N_r}{N_s}$$

Dónde :

$S$  = velocidad de deslizamiento.

$N_s$  = velocidad campo magnético estático.

$N_r$  = velocidad mecánica en el rotor.

#### 2.1.4.2 Frecuencia eléctrica rotor:

Un motor de inducción trabaja con base en voltajes inducidos en el rotor y por esta razón en algunas oportunidades se le ha llamado transformador giratorio. Lo mismo que un transformador, el primario (estator) induce un voltaje en el secundario (rotor), pero a diferencia del transformador, la frecuencia en el secundario no es necesariamente la misma frecuencia que hay en el primario.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Bibliografía de máquinas eléctricas Stephen Chapman 1991.

Si se bloquea el rotor de tal manera que no se pueda mover, entonces su frecuencia será igual a la del estator. En otro caso, si el rotor gira a la velocidad sincrónica su frecuencia será cero.

$$f_r = S \cdot f_e$$

Dónde:

$S$  = velocidad de deslizamiento.

$f_e$  = frecuencia campo magnético estático.

$f_r$  = frecuencia mecánica en el rotor.

### **2.1.5 Circuito equivalente del motor de inducción.**

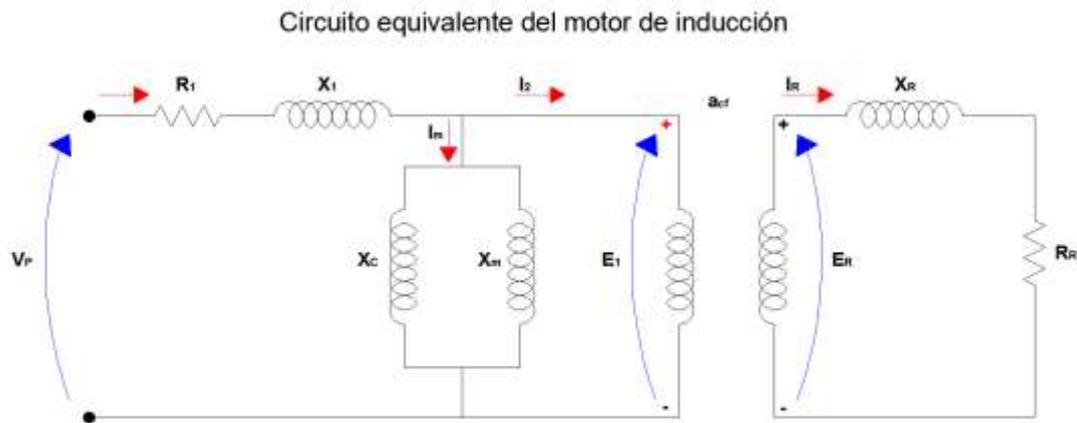
El motor de inducción tipo jaula de ardilla, se puede comportar como un transformador si a este se le bloquea el giro del rotor por medios mecánicos. Este procedimiento lo podremos ver en el capítulo 4 donde se detallan las diferentes prácticas de laboratorio. Al bloquear el eje del motor, este experimenta un comportamiento muy similar al de un transformador, es decir que el rotor experimenta una frecuencia que depende del deslizamiento.

Al estar el rotor bloqueado el valor del deslizamiento es igual a la unidad  $S = 1$ , quedando igualada la ecuación.

$$f_r = f_e$$

Bajo estas condiciones el motor de inducción tendrá dos circuitos eléctricos formados por resistencias y reactancias.

El circuito del estator estará formado por la resistencia  $R_1$  y su reactancia la llamaremos  $X_1$  siendo dibujadas en el lado derecho del circuito equivalente. La reactancia de magnetización también estará presente debido al entrehierro existente entre el estator y el rotor siendo este representado por  $X_m$ . El voltaje interno del estator (primario)  $E_1$  está acoplado por el voltaje interno del circuito rotor  $E_R$  este voltaje inducido produce un flujo de corriente en el circuito del rotor debido a que está en corto circuito.



**Figura 3:** Circuito Equivalente del Motor de Inducción.  
Fuente: Los Autores.

### 2.1.6 Par producido por el motor de inducción.

En el motor de inducción están presente dos campos magnéticos: uno producido por el circuito del estator y otro por el circuito del rotor, ambos campos al interactuar tienen como resultante un giro mecánico que se lo llama par interno de la máquina. El par producido por el motor de inducción se expresa utilizando la siguiente expresión:

$$T_{ind} = k B_R \times B_S$$

Dónde:

$T_{ind}$  = par producido en la máquina.

$B_R$  = densidad de flujo rotor.

$B_S$  = densidad de flujo estator.

$k$  = constante dependiente del sistema de unidades.

### 2.1.7 Partes Constitutivas de un Motor de Inducción Jaula de Ardilla.

Desde el diseño del primer motor eléctrico en el siglo XVIII las partes constitutivas han variado significativamente, sin embargo las partes principales siguen conservando su características iniciales, esta son la del circuito eléctrico y la del circuito magnético. Los circuitos eléctricos son dos, el primero recibe el nombre de

circuito estatórico debido a que es estacionario y el otro circuito rotórico o rotor debido a que se encuentra en movimiento constante.

El circuito magnético se forma tanto en el estator como en el rotor debido a los fenómenos explicados por las leyes de Faraday, Biot-Savart y Ampere.

Las partes complementarias para el funcionamiento del motor son las mecánicas, que sirven de soporte al circuito estatórico y al circuito rotórico, entre estas tenemos: carcasa, escudos, eje rotórico, rodamientos, bobinado eléctrico, caja de conexiones, ventilador y pernos de cierre.

#### **2.1.7.1 Estator.**

Esta constituido por un empaquetado de chapas de hierro al silicio, unidos a alta presión, el mismo que está depositado en una carcasa de hierro colado que servirá de soporte para el conjunto motor. El estator tiene chapas con ranuras, lo cual sirve para

Depositar las bobinas de cobre esmaltado, las mismas que al energizarse producirá el campo magnético principal.

#### **2.1.7.2 Rotor.**

Está formado por un eje metálico de acero que sirve de soporte para el circuito rotórico, este circuito también está hecho con chapas de hierro al silicio unidas con alta presión. Estas chapas pueden ser ranuradas o cortocircuitadas internamente dependiendo del tipo y diseño. El rotor es la parte del motor que transfiere la fuerza mecánica al exterior del motor.

#### **2.1.7.3 Carcasa.**

La carcasa es la parte exterior que sirve de base para el estator y de soporte al rotor, el material empleado para su fabricación depende del tipo de motor, de su diseño y su aplicación.

#### **2.1.7.4 Base.**

La base es el elemento en donde se soporta toda la fuerza mecánica de operación del motor, puede ser de dos tipos: base frontal y base lateral.

### **2.1.7.5 Caja de conexiones.**

La caja de conexiones es un elemento donde se depositan las conexiones que alimentan al motor, protegiéndolas del medio exterior de impactos mecánica, y contra cualquier elemento que pudiera dañarlos.

### **2.1.7.6 Tapas.**

Escudos o tapas son los elementos que tienen la función de sostener los cojinetes o rodamientos que soportan la acción del rotor.

### **2.1.7.7 Cojinetes.**

Conocidos como rodamientos, se utilizan para sostener y fijar el eje mecánico dentro del motor, ayuda a reducir la fricción mecánica para minimizar las pérdidas. Según la aplicación pueden ser estándar o reforzados.

## **2.2 Revisión de variables eléctricas.**

### **2.2.1 Concepto de Voltaje.**

La cantidad de trabajo que se requiere para mover una carga eléctrica de un punto hacia otro para realizar un trabajo se llama potencial o voltaje. La unidad de medida es el volt (v).

### **2.2.2 Concepto de Potencia.**

La potencia determina la cantidad de potencial eléctrico que se requiere para hacer circular una corriente de electrones al desarrollar un trabajo. La potencia eléctrica se mide en joule /seg. que es equivalente a un watt y se simboliza con la letra P . Se la conoce como la potencia activa.

$$P = V.I.Cos \varphi \quad (w)$$

### **2.2.2.1 Componente de la potencia.**

La potencia eléctrica como tal, tiene dos componentes la aparente y la reactiva, que son producto del desfase entre el voltaje y la corriente que se presenta cuando existen cargas reactivas o cargas no lineales.

### **2.2.2.2 Potencia Reactiva.**

Esta componente de la potencia eléctrica se presenta por efecto de las cargas no lineales como lo son los capacitores e inductores. Las cargas no lineales tienen como efecto adelantar o atrasar a la corriente con respecto al voltaje en  $90^\circ$ , lo que ocasiona que la potencia activa generada, se vea descompuesta vectorialmente ocasionando efectos no deseados en las fuentes de potencia. Está representada por la letra Q y se mide en (VAR ).

$$Q= V.I. \text{ Sen } \varphi \quad ; \quad Q= S.\text{sen}\varphi \quad (\text{var})$$

### **2.2.2.3 Potencia Aparente.**

La potencia aparente o potencia total es la suma de la potencia activa y la reactiva. Estas dos potencias representan la potencia que se toma de la red de distribución eléctrica, que es igual a toda la potencia que entregan los generadores en las plantas eléctricas.

$$S= V.I. \quad (\text{va})$$

### **2.2.3 Concepto de Corriente.**

La corriente eléctrica es la cantidad de electrones o intensidad con la que circulan por un conductor, cuando hay una tensión aplicada en sus extremos, La unidad que mide la intensidad es el amperio (A).

#### **2.2.3.1 Corriente Nominal. ( In )**

Es la corriente que toma o consigue un motor cuando desarrolla su potencia nominal y se indica por lo general en su placa de características.

### **2.2.3.2 Corriente en Vacío o sin Carga.( I<sub>o</sub>)**

La corriente en vacío o sin carga, sirve para sostener el flujo magnético giratorio que proporcionará la fuerza de giro, cuando no existe carga mecánica en el eje del motor.

### **2.2.3.3 Corriente de Arranque. ( I<sub>arr</sub> )**

Es la corriente que necesita el campo magnético para sacar de la inercia al eje del motor, esta corriente es mayor que su corriente nominal, que es aproximadamente dos a seis veces la corriente nominal y puede durar un par de segundos.

### **2.2.3.4 Corriente de rotor bloqueado. ( I<sub>rb</sub> )**

Esta se presenta cuando el rotor esta frenado o bloqueado y su valor es igual a la corriente nominal cuando se aplica el 35% al 40% del voltaje nominal.

## **2.2.4 Factor De Potencia.**

Se define factor de potencia, al cociente o relación entre la potencia activa y la potencia aparente, este factor permite saber el aporte de la potencia reactiva cuando existen cargas no lineales en el sistema eléctrico. El factor de potencia se mide en valores a dimensionales o porcentuales.

$$\text{COS } \phi = P / Q$$

$$\Phi = \text{cos}^{-1}$$

Como esta energía provoca sobrecarga en las líneas transformadoras y generadoras, sin producir un trabajo útil, es necesario neutralizarla o compensarla.

Los capacitores generan energía reactiva de sentido inverso a la consumida en la instalación. La aplicación de estos neutraliza el efecto de las pérdidas por campos magnéticos.

### **2.2.4.1 Efectos del factor de potencia.**

Las instalaciones eléctricas que operan con un factor de potencia menor a la unidad y afectan a la red eléctrica tanto en alta tensión como en baja tensión, además, tienen las siguientes consecuencias en la medida que el factor de potencia disminuye:

En el incremento de las pérdidas por efecto joule la potencia que se pierde por calentamiento está dada por la expresión.

$$I^2 R$$

Dónde:

I = es la corriente total.

R = es la resistencia eléctrica de los equipos (bobinado de generadores y transformadores, conductores de los circuitos de distribución, etc.).

Las pérdidas por efecto Joule se manifestarán en:

Calentamiento de cables.

Calentamiento de embobinados de los transformadores de distribución.

Disparo sin causa aparente de los dispositivos de protección.

**1.- Sobrecalentamiento:** Este ocasiona el deterioro irreversible del aislamiento de los conductores que, además de reducir la vida útil de los equipos, puede provocar cortos circuitos.

**2.- Sobrecarga:** De los generadores, transformadores y líneas de distribución. El exceso de corriente debido a un bajo factor de potencia, ocasiona que los Generadores, transformadores y líneas de distribución, trabajen con cierta sobrecarga y reduzcan su vida útil, por esta razón se deben operar sin rebasar la carga permitida.

**3.- Aumento de la caída de tensión:** La circulación de corriente a través de los conductores ocasiona una pérdida de potencia transportada por el cable, y una caída de tensión o diferencia entre las tensiones de origen y la que lo canaliza, resultando en un insuficiente suministro de potencia a las cargas (motores, lámparas, etc.); estas cargas sufren una reducción en su potencia de salida.

Esta caída de voltaje afecta a:

Los embobinados de los transformadores de distribución.

Los cables de alimentación.

Sistemas de protección y control.

**4.-** Incremento en la facturación eléctrica debido a que un bajo factor de potencia implica pérdidas de energía en la red eléctrica, el productor y distribuidor de energía eléctrica se ve en la necesidad de penalizar al usuario haciendo que pague más por su electricidad.

Conociendo los efectos negativos que ocasionan los reactivos en un sistema eléctrico y lo perjudicial que resulta para los generadores y conductores eléctricos, se desarrolló varias técnicas de compensación.

**Compensación Individual:** Este tipo de método para compensar el factor de potencia se basa en proporcionar a cada consumidor de carga reactiva una fuente de energía reactiva; en este caso un condensador. Este tipo de compensación es el más efectivo ya que el condensador se puede instalar junto al consumidor, de manera que la potencia reactiva fluye solamente sobre los conductores cortos entre el consumidor y el condensador.

**Compensación en Grupos:** Los grupos se conforman de varios consumidores de igual potencia e igual tiempo de trabajo y se compensan por medio un condensador común.

**Compensación Central:** La potencia reactiva inductiva de varios consumidores de diferentes potencias y diferentes tiempos de trabajo es compensada por medio de un banco de compensadores. Una regulación automática compensa según las exigencias del momento.

## **2.3 Revisión de Variables Mecánicas**

### **2.3.1 Velocidad Angular**

Es la cantidad de vueltas completas que da el rotor en el lapso de un minuto; el símbolo de la velocidad angular es omega [ $\omega$ ], no obstante, en la industria se utilizan también para referirse, la letra: “n” o simplemente las siglas rpm.

$$\omega = n = 2\pi f; \quad f = \frac{1}{t}$$

Dónde:

$W$  = Revoluciones por minuto o velocidad angular.

$\pi$  = Constante [3.1416];  $f$  = Frecuencia;  $t$  = Tiempo

Las unidades de la velocidad son los radianes por segundo (rad/s), sin embargo la velocidad también se mide en metros por segundo (m/s) y en revoluciones por minuto [rpm]. Para calcular las rpm de un motor se utiliza la ecuación:

$$rpm = \frac{120 * f}{\# \text{ polos}} = \frac{60 * f}{\# \text{ pares polos}}$$

Donde :

$rpm$  = Revoluciones por minuto o velocidad angular.

$f$  = Frecuencia.

### 2.3.2 Concepto de Par Motor

Como su nombre lo sugiere se refiere a la resultante de dos fuerza, la del campo magnético rotórico y del campo magnético estatórico, esta fuerza resultante aparece en el eje del motor y se conoce como el momento de fuerza que ejerce un motor sobre el eje de transmisión de potencia.

$$t = M = P. w$$

Donde:

P = potencia (watts)

M = Torque (N.m);  $w$  = velocidad angular (rad/seg)

#### 2.3.2.1 Par Nominal.

Se denomina así al torque necesario que debe producirse en un motor eléctrico para que pueda desarrollar sus condiciones nominales de diseño.

#### 2.3.2.2 Par de arranque.

Es el par que se produce en el motor para salir de las condiciones iniciales de inercia y pueda ser el doble del par nominal.

### **2.3.2.3 Par máximo.**

También llamado par pico, es el par que puede desarrollar el motor y del cual no debe sobrepasar. Se considera el límite en el que trabaja el motor sin consumir más corriente y voltaje. Puede llegar a ser dos veces el valor del par de arranque.

### **2.3.2.4 Par de aceleración.**

Es el par que desarrolla el motor hasta que alcanza su velocidad nominal.

## **2.4 Tipos de arranque de los motores de inducción.**

Los motores de inducción asíncrona pueden ser arrancados o puesto en marcha bajo diferentes situaciones que los hace muy prácticos para su uso generalizado. Existen varias tipos de arranques que pueden ser puestos en práctica para analizar y entender mejor el funcionamiento de este tipo de motor.

Uno de los fenómenos que se presenta durante la puesta en marcha en un motor cuando se le aplica una tensión eléctrica, es la demanda de corriente para poder iniciar la transformación de energía eléctrica a energía mecánica. Esta corriente solicitada puede ser considerable dependiendo de la potencia del motor y puede provocar una caída de tensión que afecte al funcionamiento de los demás receptores. Por este fenómeno que se presenta en el arranque de motores, fue necesario desarrollar varios tipos de puesta en marcha con el objetivo de minimizar el impacto de las caídas de tensión y demanda de corrientes elevadas.

Entre los más comunes tenemos arranque en vacío, directo, a plena carga, tipo estrella triángulo, con auto transformador y con reguladores electrónicos.

### **2.4.1 Arranque sin carga y/o en vacío.**

El tipo de arranque sin carga o llamado también en vacío, como su nombre lo sugiere, se realiza en el motor asíncrono cuando este no posee carga mecánica en el eje. En este tipo de arranque, el deslizamiento es pequeño, lo cual tiene como resultado que la corriente que se presenta en el rotor sea también pequeña, lo suficiente para salir de la inercia y conseguir la velocidad asíncrona. La corriente en vacío puede llegar a un valor de hasta el 50% de su corriente nominal.

#### **2.4.2 Arranque a plena carga tensión reducida Estrella - triangulo.**

Se denomina así cuando el motor arranca con carga mecánica en el eje, cuyo valor en corriente es igual al nominal o a plena carga. En el arranque tipo estrella-triángulo; como su nombre, lo indica, se hace una combinación de conexiones del motor por medios externos utilizando un juego de contactores para hacer el arranque inicialmente en conexión estrella para reducir un tercio del torque y de corriente de arranque, luego de unos segundos hasta que tenga un 75 y 85% de la velocidad nominal se cambia a conexión en delta, hasta que la velocidad del motor se estabiliza. Con esta aplicación se reduce la tensión en un 57%, el par de arranque cae a un 33% y la corriente de arranque se reduce a  $2xI_n$ .

#### **2.4.3 Arranque directo de Motor de Inducción.**

Un motor arranca en forma directa cuando a sus bornes se aplica directamente la tensión nominal a la que debe trabajar. Si el motor arranca a plena carga, el bobinado tiende a absorber una cantidad de corriente muy superior a la nominal, lo que hace que en las líneas de alimentación se vean incrementadas considerablemente su carga y como consecuencia directa se produzca una caída de tensión. La intensidad de corriente durante la fase de arranque puede tomar valores entre 6 a 8 veces mayores que la corriente nominal del motor. Su principal ventaja es el elevado par de arranque: 1,5 veces el nominal.

#### **2.4.4 Arranque con Auto transformador de Motor de Inducción**

El arranque por auto Transformador donde el motor se alimenta a tensión reducida mediante un autotransformador que, una vez finalizado el arranque, queda fuera del circuito.

El motor puede arrancar en dos o varias etapas dependiendo de la potencia del motor. Este arranque es suave y flexible, pero de costo elevado para su implementación.

La característica es la reducción de la corriente de arranque, entre 1,7 y 4 la Intensidad nominal y la reducción del par de arranque, entre 0,4 y 0,85 el par nominal, ya que éste debe resultar suficiente para acelerar la máquina accionada, hasta la velocidad nominal.

#### **2.4.5 Arranque por regulación de frecuencia para Motor de Inducción**

Por medio de esta tecnología, podemos programar un arranque suave y es una mejor solución que los arranques por autotransformadores.

El arranque por regulador de frecuencia, permite controlar tanto la frecuencia de la red como el voltaje de alimentación, dando como resultado un arranque controlado y suave, es decir sin esfuerzos mecánicos.

El arranque por medios electrónicos tiene varias ventajas entre ellas la de poder programar según la necesidad un arranque, según el tipo de aplicación, lo cual reduce el estrés mecánico que se presenta al cambio brusco de la inercia. Estos nos brindan la posibilidad de paradas y arranques suaves.

#### **2.5 Principio Básico de funcionamiento del electro-dinamómetro.**

El dinamómetro es un instrumento que sirve para medir fuerzas o para determinar el peso de un cuerpo. Su funcionamiento se basa en el estiramiento o elongación de un resorte respondiendo a la ley de Hooke sobre la elasticidad de los cuerpos cuando estos se deforman. Este instrumento está constituido por un muelle que está conectado mecánicamente a un resorte, y al ejercerse una fuerza sobre este, se deforma directamente proporcional a la fuerza aplicada, para indicar el valor de dicha fuerza tiene un sistema de engranajes que hacen desplazar una aguja sobre un disco escalado radialmente indicando el valor de la fuerza aplicada.



**Figura 4:** Sistema Dinamómetro.  
**Fuente:** Los autores.

### 2.5.1 Diagrama de conexión de Motor de excitación independiente.

Por medio del siguiente grafico mostramos la conexión de una resistencia externa para variar la corriente que se genera en el inducido o rotor, con la cual podemos apreciar una disminución en la velocidad del motor.

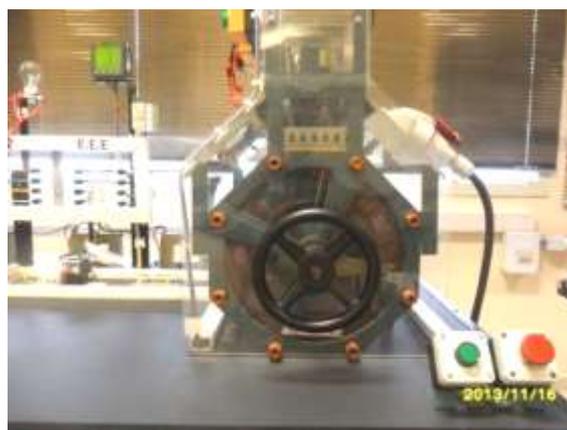
Del lado de la bobina de campo conectaremos una fuente fija de voltaje DC según la placa que nos muestra el motor.

### 2.6 Principio de funcionamiento del Variac.

Los transformadores, variables también llamados "Variac", toman una línea de tensión fija (en la entrada) y proveen de tensión de salida variable ajustable, dentro de dos valores. Un variac es un auto transformador variable con el cual podemos obtener una tensión de salida de corriente alterna desde 0V y la tensión de alimentación.

Los transformadores variables tienen muchas aplicaciones industriales y de laboratorio que son componentes básicos para el control de tensión, corriente, potencia, calor, velocidad, luz y fuerza electromecánica.

Un transformador variable básico, consta de una sola capa, alambre de bobina magnética en un núcleo toroide de acero al silicio laminado. Un cepillo de carbón, conectado a un cable de salida.



**Figura 5:** Transformador regulable tipo variac.  
**Fuente:** Los autores.

### **2.6.1 Rangos de voltaje.**

Los transformadores variables o regulables pueden tener asignado una variación de voltajes desde 120 hasta 240vac. Los mayores requerimientos de voltaje se cumplen mediante la combinación de unidades de 120 voltios o 240 voltios.

Cuando los transformadores variables son conectados en delta abierto para aplicaciones trifásicas, se puede usar dos varias de 120VAC o 240VAC según el tipo de voltaje que se requiera.

### **2.7 Principio básico de los analizadores de red.**

Los analizadores se basan en el análisis de las principales variables que están presentes en un sistema eléctrico sean estas el voltaje, corriente y frecuencia. Los analizadores de red por medio un programa de software interno realizan los cálculos correspondientes para entregar un análisis del estado de la calidad de energía o análisis de la red.

#### **2.7.1 Aplicaciones de los analizadores de Red.**

En la industria existe la necesidad de conocer los consumos de energía eléctrica los cuales sirven para comparar con los diferentes índices de producción y así definir qué tan efectiva es la planta o industria. También existe la necesidad de conocer la presencia de los armónicos o las variaciones existentes del factor de potencia.

El campo de uso de los analizadores no tiene límite, ya que existen analizadores para sistemas monofásicos como trifásicos en baja y alta tensión.<sup>3</sup>

Las variables más usadas o recomendadas para un buen análisis son:

- Tensiones de fase.
- Corrientes de fase.
- Factor de cresta.
- Armónicos
- Flicker (Parpadeo).
- Fluctuaciones.
- Frecuencia.
- Desequilibrio.
- Transmisión de señales.
- Registrador.

---

<sup>3</sup> Fuente: <http://www.textoscientificos.com/fisica/instrumentos/analizadores-redes-electricas>.

## **2.8 SIMEAS P.**

SIMEAS P es un medidor de potencia para montaje en panel con iluminación de fondo y display gráfico. Es un sistema de monitoreo de energía de instalación permanente, se habilita el registro continuo de datos relacionados con la energía y proporciona información sobre las características operativas de los sistemas eléctricos. Ayuda a identificar las fuentes de consumo de energía y el tiempo de pico de consumo. Los valores medidos son valores eficaces de las tensiones (de fase a fase y / o fase- to ground ), corrientes, potencia activa, reactiva y aparente y la energía, factor de potencia, ángulo de fase, los armónicos de las corrientes y voltajes, distorsión armónica total por fase más frecuencia y factor de simetría.

Viene con dos salidas binarias, que se pueden configurar para pulsos de energía, violaciones límite o señales de estado adicional genera una lista de valores mínimos, medios y máximos de las corrientes, tensiones, potencia, energía, etc. <sup>4</sup>

**(Ver programación en anexo 5)**

## **2.9 PAC4200.**

El equipo Sentron PAC4200 es un multímetro tipo central de medida para la visualización, el almacenamiento y el monitoreo de todos los parámetros de red relevantes en la distribución de energía eléctrica en baja tensión. Puede realizar mediciones monofásicas, bifásicas y trifásicas, y puede utilizarse en redes (sistemas) en esquema TN, TT e IT de dos, tres o cuatro conductores.

Para la variante con fuente de alimentación de muy baja tensión está permitida la conexión directa a redes de hasta 500 V. Pueden medirse tensiones superiores si se usan transformadores de tensión. Para la medición de corriente se pueden utilizar transformadores de corriente x/1 A o x/5 A.

Ofrece una alta precisión de medida. Permite la captación y el almacenamiento de curvas de carga siguiendo diferentes métodos. Dispone de una serie de útiles funciones de monitoreo, diagnóstico y servicio técnico, un contador de tarifa doble de energía aparente, activa y reactiva, dos contadores universales y un contador de horas de funcionamiento para monitorear los consumidores conectados.

---

<sup>4</sup> fuentes: Manual SIMEAS P año 2012. SIEMEN AG

Guarda el consumo diario de energía aparente, activa y reactiva y la tarifa a lo largo de un año. Además, el multímetro posee un contador de energía aparente, activa y reactiva para medir el consumo de energía de un proceso de fabricación. Un contador propio de horas de funcionamiento determina la duración de este proceso. Para controlar los contadores de energía de proceso se utilizan las entradas digitales existentes.

Dispone de dos entradas digitales multifuncionales y dos salidas digitales multifuncionales.<sup>5</sup> **(Ver programación en anexo 5)**

## **2.10 Sensores de Medición.**

Existen varias maneras para poder llevar la medida de la velocidad de un sistema. Los tacómetros son una forma de realizarlo, este dispositivo se usa para medir la frecuencia de rotaciones, un elemento en operación dinámica o velocidades de superficies y extensiones lineales. Son utilizados para gran diversidad de usos industriales, ya sea en motores eléctricos de combustión interna, molinos, bandas transportadoras, turbinas entre otros equipos.

Otra manera es la combinación de dos dispositivos para llegar al mismo objetivo, medir la velocidad angular o lineal de un cuerpo. Este consiste en un contador de pulsos rápidos y un sensor de pulsos de alta frecuencia, la combinación de ambos permite tener la lectura de la velocidad del cuerpo que se desea monitorear. La siguiente imagen proporciona una idea clara de lo que queremos expresar.

### **2.10.1 Sensores o detectores de posición.**

Los sensores o detectores de posición, son muy útiles debido a que no existe contacto físico gracias a la electrónica incorporada, sirven para contar revoluciones, definir sentido de rotación, etc. Según el fabricante tiene diferentes grados de sensibilidad los más comunes son desde 20Khz a 3mm de distancia y pueden detectar cualquier cambio de un engranaje o pieza mecánica. Los sensores presentan una forma cilíndrica desde 8 mm de ancho o M8 hasta M30 los que son de fácil montaje.

---

<sup>5</sup> fuente: Manual PAC 4200 año 2012. SIEMEN AG

Puede venir con dos o tres hilos de conexión, su voltaje de alimentación varía desde 10 a 30vdcVdc hasta 200mA de corriente, la polarización es posible en tipo NPN o PNP dependiendo de la aplicación.

### **2.10.2 Contador de pulsos.**

Los contadores de pulso trabajan con señales compatibles TTL o lógica transistor a transistor por su traducción en español. Estos tienen una lógica de voltaje baja y alta valorada así: Lógica baja: 0V – 0.8V; Lógica alta: 2V – 5V, cada cambio tiene un tiempo máximo de subida/bajada = 50ns.

Los contadores captan la señal y realizan la transición de un estado a otro. Los contadores puede detectar flancos de subida y bajada es decir el cambio de un nivel bajo a otro alto o viceversa. El tiempo de subida/bajada y el ancho mínimo del pulso son dos variables que se monitorean para el proceso de cálculo. El tiempo de subida/bajada es la rapidez en que ocurre la transición del cambio de estado bajo alto de la señal. Para que un contador detecte el flanco debe ocurrir en un tiempo de 50ns como máximo.

Hay cinco tipos de contadores: contador de flanco, medición del pulso, de generación de pulso, medición de frecuencia y de la posición.

### **2.10.3 Sensores Analógicos de Corriente (Amperímetros análogos).**

Los amperímetros se emplean para medir la intensidad de corriente que circula a través de un elemento de un circuito. Se coloca el amperímetro en serie para obtener la medición. Consta de una bobina móvil y cuando la lectura es indirecta se utiliza una resistencia shunt, para hacer un divisor de corriente y así obtener la lectura.

El amperímetro ideal es aquel que no presenta caída o pérdida de voltaje en sus extremos, cuando está realizando la medición. Dado que la tecnología actual no permite desarrollar productos ideales, los medidores presentan una resistencia, aunque pequeña, lo que lleva consigo la aparición de errores en las medidas.

#### **2.10.4 Transformador de corriente.**

El transformador es un dispositivo que convierte la energía eléctrica alterna de un cierto nivel de tensión, en energía alterna de otro nivel de tensión, basándose en el fenómeno de la inducción electromagnética. Está constituido por dos bobinas de material conductor, devanadas sobre un núcleo cerrado de material ferro magnético, pero aisladas entre sí eléctricamente. La única conexión entre las bobinas la constituye el flujo magnético común que se establece en el núcleo.

Las bobinas o devanados se denominan primarios y secundarios según correspondan a la entrada o salida del sistema. Son aparatos en que la corriente secundaria, dentro de las condiciones normales de operación, son prácticamente proporcional a la corriente primaria, aunque ligeramente desfasada. Desarrollan dos tipos de función: transformar la corriente y aislar los instrumentos de control y medición conectados a los circuitos de media y alta tensión.

#### **2.11 Introducción Regulador de Frecuencia.**

Los comandos de programación basados en los sistemas electrónicos para motores proveen un desempeño mayor que las soluciones tradicionales electromecánicas. La necesidad parte cuando se desea arrancar un motor, existen los métodos tradicionales electromecánicos de arranque directo o a tensión reducida como estrella-triángulo o autotransformador para motores jaula de ardilla, o con resistencias rotóricas para motores de rotor bobinado, entre otros, y un arrancador electrónico progresivo.

##### **2.11.1 Fundamentos del regulador de frecuencia**

Los reguladores de frecuencia son dispositivos electrónicos que basados en los principios de la ley de Lenz- Faraday, explican el comportamiento del flujo magnético y del voltaje inducido. Aprovechando esto, se puede modificar la amplitud y el periodo de la onda fundamental. Utilizando los medios electrónicos actuales, se puede manipular la frecuencia y el voltaje que alimentará la carga, en este caso el motor asíncrono, convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables.

Su utilización puede variar según el tipo de aplicación como dominio de par y la velocidad. Los variadores de velocidad están preparados para trabajar con motores trifásicos asíncronos de rotor jaula.

### **2.11.2 Etapas que componen un regulador de frecuencia**

Un regulador electrónico de velocidad está formado por circuitos que incorporan transistores de potencia como el IGBT (transistor bipolar de puerta aislada) o tiristores, siendo el principio básico de funcionamiento transformar la energía eléctrica de frecuencia industrial en energía eléctrica de frecuencia variable.

Esta variación de frecuencia se consigue mediante dos etapas en serie. Una etapa rectificadora que transforma la corriente alterna en continua, con toda la potencia en el llamado circuito intermedio y otra inversora que transforma la corriente continua en alterna, con una frecuencia y una tensión regulables, que dependerán de los valores de consigna. A esta segunda etapa también se le suele llamar ondulator. Todo el conjunto del convertidor de frecuencia recibe el nombre de inversor.

### **2.11.3 Etapa Rectificadora.**

Es la primera etapa, donde ingresa la tensión alterna de la red (monofásica o trifásica), y por medio de un bloque de transistores, se obtiene un voltaje de corriente continua que servirá de fuente para el circuito intermedio.

### **2.11.4 Etapa de circuito intermedio.**

La etapa central es el denominado circuito intermedio que puede funcionar como fuente de tensión o de corriente para la etapa final del ondulator, según la disposición que se adopte.

La función del circuito intermedio es alimentar la tercera etapa, es decir al ondulator, y esto puede hacerlo funcionando como fuente de tensión, en cuyo caso se colocaría un condensador electrostático entre los terminales (+) y (-) para mantener constante la tensión daría lugar a un inversor con circuito intermedio de tensión. Cuando el circuito intermedio funciona como fuente de intensidad para el ondulator, se pone una inductancia en serie con una de sus ramas, su función es mantener constante la intensidad, y estaríamos hablando de un inversor con circuito intermedio de intensidad.

### **2.11.5 Etapa Inversora.**

La etapa inversora del variador es donde se modifica la fuente de voltaje directo a un voltaje de alterno utilizando la técnica de modulación de ancho de pulso, que se consigue utilizando dispositivos semiconductores como los SCR o IGBT .

La disposición más común es el puente trifásico de Graetz. De los anteriores el que más se está utilizando para motores industriales es el IGBT. En función de la mayor o menor perfección del sistema de conmutación lograremos que las ondas de tensión a la salida hagan que las corrientes absorbidas se acerquen más o menos al sistema trifásico senoidal.

### **2.11.6 Control de voltaje de frecuencia.**

Con este método la tensión de alimentación evoluciona proporcionalmente a la frecuencia. Cuando la relación Voltaje /frecuencia (V/F) es constante, el motor funciona de forma aproximada con flujo constante en los regímenes permanentes. Este tipo de control es más fácil de llevar a la práctica en un convertidor y se suele emplear cuando los requisitos de regulación son de baja velocidad.

En los convertidores con este tipo de control, una de las parametrizaciones más importante es la selección o ajuste de la curva V/f. Algunos convertidores traen varias curvas ya ajustadas en su programación. Para seleccionar la curva adecuada se debe tener en cuenta las características de tensión y frecuencia del motor y la velocidad máxima a la que puede girar el rotor.

### **2.11.7 Criterios de selección de un regulador de frecuencia.**

Para definir el equipo más adecuado para resolver una aplicación de variación de velocidad, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- **Tipo de carga:** se refiere al tipo de aplicación es decir carga con Par constante o par variable, etc.
- **Tipo de motor:** De inducción rotor jaula de ardilla o bobinado, corriente y potencia nominal, factor de servicio, rango de voltaje.
- **Rangos de funcionamiento:** Velocidades máximas y mínimas. Verificar necesidad de Ventilación forzada del motor

- **Par en el arranque:** Verificar que no supere los permitidos por el variador. Si supera el 170% del par nominal es conveniente sobredimensionar al variador.
- **Frenado regenerativo:** Cargas de gran inercia, ciclos rápidos y movimientos verticales requieren de resistencia de frenado exterior.
- **Condiciones ambientales:** Temperatura ambiente, humedad, altura, tipo de gabinete y ventilación.

### **2.11.8 Frenado con regulador de frecuencia.**

El frenado del motor, consiste en el descenso controlado de su velocidad, reduciendo la frecuencia aplicada. Se establece en unidades de tiempo, teniendo en cuenta que el par aplicado, sea constante o variable. El frenado por regulador de frecuencia puede ser:

- Inyección de c.c.: el variador, puede inyectar durante un breve periodo de tiempo, cierto valor de c.c., que provoca el frenado rápido del motor.
- El frenado por medio de chopper usando resistencias de frenado externas que absorben la regeneración que se presenta cuando el motor frena.

Adicional se recomienda el bloqueo del motor una vez parado, mediante otro procedimiento externo al variador: freno magnético, zapata, disco, etc.

### **2.11.9 Ventajas de uso del regulador de frecuencia.**

- Evita picos o puntas de intensidad en los arranques del motor. (En el arranque directo, en estrella-triángulo son más elevados).
- El par del motor se controla totalmente a cualquier velocidad, lo que evita giros bruscos del motor ante la carga.
- Comunicación mediante bus industrial, lo que permite conocer en tiempo real el estado del variador y el motor, así como el historial de fallos
- Los arranques y paradas son controlados, y suaves, sin movimientos bruscos.
- El consumo energético se adapta a la exigencia del motor (ahorro de energía).

### **2.11.10 Desventajas**

- La instalación, programación y mantenimiento, debe ser realizada por personal cualificado.
- Si no está bien aislado (con filtros) o instalado derivar ruidos e interferencias en la red eléctrica, que podrían afectar a otros elementos electrónicos cercanos.
- Para aplicaciones sencillas puede suponer mayor inversión, que un sistema simple (contactor-guardamotor), si bien a la larga se amortiza el gasto suplementario, por el ahorro energético y de potencia reactiva que aporta el variador.

## CAPÍTULO III

### CONSTRUCCIÓN DEL TABLERO DE PRUEBA

#### 3.1 Antecedente

En este capítulo revisaremos los temas relacionados con la construcción y elaboración del tablero de prueba para la máquina asíncrona tipo jaula de ardilla, el mismo que fue construido y ensamblado completamente a mano, utilizando las herramientas apropiadas para este fin

También se incorporan todos los diagramas y esquemas que fueron utilizados para el desarrollo de este tablero

El tablero tiene los siguientes parámetros eléctricos:

##### **Alimentación motor**

Voltaje: 220vac trifásico en “Y” regulado por variac

Corriente: 20 Amp - máximo

Voltaje de control: 120vac

##### **Alimentación Fuentes**

Voltaje: 220vac en “ $\Delta$ ” delta abierto

Fuente DC 1: 24vdc – 50 amp.

Fuente DC 2: 24vdc – 3 amp.

#### 3.2 Introducción a los tableros

El desarrollo industrial se ha incrementado sustancialmente desde el último siglo, lo cual ha generado que se desarrollen nuevas formas de control y protección para las maquinarias industriales, y control de procesos. Para evitar tener controles distantes y separados, se optó por centralizar los diferentes sistemas y así facilitar la operación, control y protección de las grandes y costosas maquinarias. Para ellos se desarrollo el concepto del tablero eléctrico el mismo que ha evolucionado en material, diseño y dimensiones. Las diferentes normas y códigos eléctricos internacionales le dedican un espacio exclusivo en sus capítulos con la finalidad de normalizarlo y garantizar que sean seguros y eficientes para el uso industrial.

Un tablero eléctrico se refiere a la estructura metálica que es generalmente de forma rectangular donde se encuentran los dispositivos de fuerza, protección, control y señalización de un sistema eléctrico.

Los tableros eléctricos son considerados la parte principal de una construcción o desarrollo de un nuevo proyecto, por tal razón para su construcción se requiere cumplir diversas normas de seguridad y técnicas que garanticen la integridad tanto de los operarios, maquinarias e instalaciones en general.

### 3.2.1 Tipos de Tableros

Los tableros eléctricos se clasifican de acuerdo a su ubicación en la instalación eléctrica, en:

- **Tablero principal de fuerza:** Este tablero está conectado a la línea eléctrica principal, de él se derivan los circuitos secundarios. Este tablero contiene las protecciones principales del sistema eléctrico.
- **Tableros secundarios de distribución de fuerza:** Su fuente de alimentación es directamente el tablero principal. En él se encuentran las protecciones secundarias y derivadas.
- **Tableros de iluminación:** Este es alimentado por los tableros secundarios y en él se encuentran las protecciones de baja potencia para el sistema de iluminación
- **Tablero de control y medición:** En esta sección se encuentran los diferentes dispositivos de mando como los contactores, plc, fuentes DC y también los de medición de energía y señalizaciones. Este tablero se energiza de los tableros de distribución.
- **Tableros de comando o mcc:** Contienen dispositivos de seguridad, protección y maniobra para cargas motorizadas y están agrupados en un solo tablero, una mcc puede contralar desde uno a varios motores eléctricos.
- **Tableros de prueba:** Son considerados tableros completos donde se incorporan tanto la protección, control y mando para realizar las simulaciones necesarias para los elementos de campo.

### **3.3 Arquitectura Del Tablero De Prueba**

El tablero de pruebas para la maquina asíncrona fue diseñado pensando en la modularidad para facilitar las maniobras o pruebas y en la movilidad para asegurar que se pueda desplazar a cualquier sitio dentro del laboratorio y aun fuera de este.

El diseño o modelo elegido fue el tipo modular rodante, el cual tiene un grado de protección IP00 debido a su uso exclusivamente en aéreas cerradas y ventiladas.

Debido a la carga de materiales que se instalarían en este tablero se optó por realizar una base robusta y sólida hecha de tubería de hierro cuadrado de 1,5 mm de espesor aprox. También se decidió utilizar una lata de 3mm de espesor para el soporte de los equipos de medición y control para garantizar la durabilidad del tablero y evitar que se deforme durante la construcción o durante el montaje de los equipos.

Para facilitar la movilidad del tablero se incorporó al diseño, un juego de cuatro ruedas de acero que pueden soportar hasta 150lbs cada una dando un total de unas cuatrocientas libras o su equivalente de seis quintales.

Para dar una mayor durabilidad a la pintura y a las leyendas incorporadas en el tablero se incorporó una capa de pintura de barniz acrílico lo cual le dio brillo y mayor durabilidad a la pintura. ( **medidas y detalles en anexos 1**).

#### **3.3.1 Materiales Utilizados**

Para la construcción del tablero se utilizaron materiales de buena calidad y de fabricación local. Los materiales usados son:

- Plancha de acero de 3 mm de espesor de 300X300X200
- Tubería de cuadrada de acero de 1,5mm (tres tuberías de 6m)
- Perfil de aluminio
- Varilla cuadrada de 1 ½ pulgada
- Tabla de madera de 12mm (curada y secada)
- Perfiles de acero de 2mm para soporte de ángulo
- Tres metros de varilla de cobre de 20X1,5 mm
- Juego de cuatro ruedas de acero reforzadas para 200 lbs c/u
- Dos metros de tapete aislante

- Pintura esmalte color beige un litro
- Pintura transparente o barniz acrílica un litro
- Pintura esmalte negra medio litro
- Soldadura tipo 6011
- Pernos cabeza plana acero inox. de 1 ½ x ¾ pulgada dos docenas

Los aceros utilizados fueron tratados con un proceso fosfatizante que permite reducir el efecto de la corrosión y permite una mejor adhesión de la pintura al metal.

La estructura soporte fue elaborada con varillas cuadradas y tubería, también cuadradas que permiten una mejor apariencia al acabado final de la base soporte. Adicionalmente se colocaron un juego de barras en forma de pie de amigo con lo cual le damos estabilidad.

En la base de la estructura se colocó una curva metálica que semeja la de un puente para equilibrar las fuerzas del peso que va a soportar el tablero y unas placas perforadas en forma de pie de amigo, con lo cual le damos absoluta estabilidad, también; atendiendo el concepto de desplazamiento, tiene rodamientos en las cuatro puntas de la base.

Este tablero tiene el objetivo de parecer una pizarra con lo cual tenemos una altura ideal de 1847 mm hasta nivel del piso con un peso aproximado sin equipos de 153 kg. (**Medidas y detalles en anexos 1**).

### **3.3.2 Diseño de la Arquitectura del tablero**

En esta arquitectura podemos apreciar la disposición de los equipos, los puntos de alimentación y su aplicación.

Para el diseño consideramos algunas variables como flexibilidad, simetría, modularidad, movilidad, señalética y seguridad. Dado que el tablero de prueba será usado para laboratorio de futuros profesionales debíamos considerar estas variables.

El diseño desarrollado es flexible porque permite realizar conexiones diferentes para varias aplicaciones que el estudiante dese poner en práctica.

El sistema es simétrico por que se ha considerado los espacios entre equipos para que presenten armonía y sea agradable a la vista, dando al estudiante una herramienta que lo mantendrá enfocado en su práctica.

El diseño es modular porque se ha seccionado cada aplicación en bloques lo cual permite identificar qué equipo se está utilizando, se puede utilizar por partes o completamente el tablero, siendo de gran ayuda en coste y tiempo para el estudiante.

El diseño incluye un juego de clavijas para toma de energía desde cualquier punto, así como un medio de transporte que le permite desplazar al tablero a cualquier parte incluso fuera del laboratorio para ser utilizado.

Para fácil y rápido entendimiento de las propiedades del tablero hemos colocado simbología y textos cortos en la parte frontal de tablero lo cual servirá de guía y orientación para el ó los estudiantes que deseen utilizar este tablero de pruebas.

En el capítulo IV, se han contemplado varias indicaciones a seguir para evitar accidentes así como también se han incorporado protecciones eléctricas y puestas a tierra del tablero para minimizar posibles accidentes por shock eléctrico.

**( Medidas y detalles en anexos 1).**

## **3.4 Diseño Freno Eléctrico**

### **3.4.1 Introducción**

La necesidad de poder controlar el frenado rápido o repentino de un motor eléctrico creó la necesidad de desarrollar aplicaciones confiables y eficientes que permitan conseguir este objetivo, para ello se utilizaron algunas técnicas o métodos los cuales dieron resultados no satisfactorios, con el avance de desarrollo de materiales se ha podido desarrollar nuevos sistemas de frenado más eficientes. El sistema de frenado elegido para este tablero es el del tipo electromecánico, el mismo que consta de partes eléctricas y mecánicas que al combinarlas producen el efecto deseado en el motor eléctrico. Las mismas que serán explicadas a continuación:

### **3.4.2 Concepto de freno**

El freno electromecánico se basa en el principio del electroimán, el cual consta de una bobina eléctrica que al hacerle circular corriente genera un campo magnético, para cumplir su objetivo consta adicionalmente de un conjunto de piezas móviles y fijas así como partes mecánicas y eléctricas que al combinarse conforman el freno electromecánico o electro-freno, la función principal de este dispositivo es la de generar el suficiente contra torque para detener un eje en movimiento y mantenerlo así durante el tiempo que sea necesario.

### **3.4.3 Principio Generales de los Frenados**

La necesidad de frenado empieza por la mecánica. Normalmente se tiene que frenar el sistema mecánico en un tiempo establecido.

Los dispositivos empleados en el frenado eléctrico se dimensionan en función de la potencia mecánica del motor que depende del par y la velocidad nominal. Cuando mayor sea la velocidad, mayor será la potencia de frenado. Entre los métodos de Frenados de un Motor de Inducción Jaula de Ardilla asíncronos tenemos: <sup>6</sup>

- Frenado por electro-freno.
- Frenado a contracorriente.
- Frenado por inyección de corriente continua.

#### **3.4.4 Frenado de un motor de inducción por electro-freno.**

En este tipo de motores, el rotor que es de cortocircuito, es ligeramente troncocónico y está desplazado un poco con respecto al núcleo del estator, por medio de un resorte. En el extremo del eje, contrario al de acoplamiento, se coloca un plato, también de forma ligeramente troncocónica, que al ser desplazado por el resorte del rotor presiona contra una banda de frenado que lleva interiormente la carcasa del rotor.

Cuando el motor no está conectado a la línea de alimentación siempre está frenado, debido al empuje del resorte que presiona el plato contra la banda de frenado; por el contrario, al energizar el motor se da lugar a un pequeño desplazamiento del rotor que girará libremente, como consecuencia de la liberación del freno.<sup>6</sup>

#### **3.4.5 Frenado de un motor de inducción por Contracorriente.**

El sentido de giro del rotor de un motor trifásico asíncrono, se determina por el sentido del campo magnético giratorio. Cuando el motor está funcionando en un sentido de giro determinado a velocidad de régimen, si se invierten las conexiones de los conductores de fase del estator, el sentido de campo giratorio es opuesto al sentido de giro del rotor y el deslizamiento resulta superior a la unidad.

Esta circunstancia provoca un enérgico par de frenado, ya que el campo giratorio tiende a arrastrar al rotor en sentido contrario al de su marcha.

Como el frenado a contracorriente se opone a la inercia de la carga, este sistema puede emplearse eficazmente para conseguir rápidas deceleraciones de motores que arrastran cargas de inercia.

En cambio, este sistema de frenado no puede utilizarse en máquinas elevadoras (grúas, montacargas, ascensores, etc.).

En el frenado a contracorriente, la intensidad de corriente es muy elevada y la energía que la carga suministra al motor no se comunica a la línea sino que constituye una pérdida que debe disipar el propio motor por lo que en los motores en que deba aplicarse este sistema de frenado deberán tenerse en cuenta estas circunstancias.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Fuente: <http://www.instrumentacionycontrol.net/cursos-libres/automatizacion/control-motores-electr/item/641-frenado-por-contracorriente-y-por-inyeccion-de-corriente-continua.html#sthash.tC5rJsDR.dpuf>

### **3.4.6 Frenado de un Motor de Inducción por inyección de corriente continua.**

Este sistema de frenado consiste en desconectar el motor de la línea de alimentación y conectar inmediatamente dos bornes del estator a una fuente de corriente continua; en estas condiciones, el rotor gira con relación a un campo magnético fijo y su deslizamiento crea un par de frenado. Una vez que el rotor del motor está frenado, se deja de suministrar la tensión continua al estator.

La tensión continua de alimentación ha de ser siempre de valor bajo y se determina únicamente con la resistencia de los devanados estatórico. Generalmente, la fuente de alimentación es la propia línea de corriente alterna, a través de un transformador reductor y de un equipo rectificador de baja tensión.

El sistema de frenado resulta muy eficaz, ya que es de acción suave y rápida al mismo tiempo. Sobre el sistema de frenado por corriente continua tiene la ventaja de que no se debe tomar la precaución de impedir la inversión de marcha de la máquina accionada. Su principal inconveniente es que se precisa un mayor gasto en los componentes que constituyen el equipo.

El valor de la corriente de frenado está generalmente comprendido entre 1,3 y 1,8 veces la corriente nominal del motor.

### **3.4.7 Cálculos**

#### **Cálculo mecánico**

El desarrollo mecánico del freno se realiza en primer lugar determinando el contra torque que se desea aplicar para el frenado de la carga giratoria, para ello podemos apoyarnos en la siguiente formula

$$PAR = \frac{5252 * HP}{RPM}$$

PAR: en lbs-pie

HP: potencia del motor

RPM: Velocidad del motor

Con los datos obtenidos del motor podremos determinar el cálculo del circuito eléctrico de la bobina del electro-freno

## Cálculo eléctrico

Con los valores del par o contra-torque podemos determinar la potencia en watts que se requiere para realizar el par mecánico. Para ello nos apoyamos de la siguiente fórmula:

$$Pot = PAR * RPM * 0.011832$$

*Pot* = potencia en watts

*RPM* = velocidad del motor

Constante = 0.011832

Con los datos de potencia y par mecánico podemos definir el tipo de bobina eléctrica y los discos de fricción mecánica para poder realizar el ensamble del conjunto electro freno. Adicional se requiere tomar las mediciones del eje del motor, altura de la base y dimensiones de los soportes requeridos para construir el freno (**más detalles en anexos 2**)

## CAPÍTULO IV

### PRÁCTICAS TUTORIALES

#### **4. Instructivo para prácticas del banco de pruebas.**

El presente capítulo tiene como objetivo de servir de guía para el estudiante de laboratorio de maquinarias eléctricas de la Universidad Politécnica Salesiana y también para el técnico que quiera experimentar los fenómenos electromecánicos que se presentan en las maquinas asíncronas especialmente la del motor HAMPDEN WRM 300, que ha sido el motor seleccionado para este tipo de prácticas.

Dado que los equipos a utilizar son de tecnología actual y de un coste considerable, su utilización debe ser bajo autorización de los responsables de taller, y seguir las instrucciones que se expondrán en este capítulo.

Los instructivos tienen la intención de dirigir y orientar en las acciones correctas para evitar el daño o accidente de los usuarios del laboratorio de motores y generadores, ya que se trabaja con un voltaje de red trifásico de 220V. Siendo este nivel de voltaje peligroso en manos de personal no cualificado e inexperto. Por ello insistimos en seguir las respectivas instrucciones con la supervisión de un instructor o profesor guía.

En los instructivos a desarrollar se busca orientar en los procedimientos para cada una de las diez prácticas desarrolladas la misma que será de manera detallada, clara y precisa para la ejecución de las actividades propuestas.

Las prácticas están divididas en dos grupos, el primero con el uso de autotransformadores, medidores digitales y analógicos, en el segundo grupo con el uso del regulador de frecuencia que se puede combinar con los medidores de redes y el freno electromagnético. Esto permitirá al estudiante comparar los datos y lecturas obtenidas durante el desarrollo de las prácticas y analizar las ventajas y desventajas de cada método.

## 4.1 PRÁCTICA # 1

### 1. DATOS INFORMATIVOS

- a. **MATERIA:** MAQUINARIAS ELÉCTRICAS II
- b. **PRÁCTICA N° 1**
- c. **NÚMERO DE ESTUDIANTES:** 20
- d. **NOMBRE DE DOCENTE:** Ing. Otto Astudillo
- e. **TIEMPO ESTIMADO:** 2 horas

### 2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- a. **TEMA:** Normas de seguridad y procedimiento de trabajo para el manejo del tablero de pruebas.
  
- b. **OBJETIVO GENERAL:**

Guiar al estudiante de laboratorio de maquinarias eléctricas de la UPS en el manejo seguro para el uso experimental de los fenómenos electromecánicos que se presentan en las maquinas asíncronas utilizando el motor HAMPDEN WRM-300.
  
- c. **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**
  - 1. Determinar las normas de seguridad básicas para evitar accidentes por shock.
  - 2. Conocer las normas de seguridad básica para la manipulación del tablero de pruebas.
  
- d. **MARCO TEÓRICO**
  - 1. Concepto de descargas eléctricas por contacto directo, efectos y consecuencias.
  - 2. Uso de equipos de seguridad personal para evitar shock eléctricos.
  
- e. **MARCO PROCEDIMENTAL**
  - i. No manipular la parte posterior del tablero cuando este encendido, debido a que existe una fuente de voltajes trifásicos, que puede ocasionar un shock eléctrico de graves consecuencias.

- ii.** Asegúrese de desconectar la fuente principal de alimentación del tablero (desconectando los breakers), antes de realizar modificaciones o ajustes en la parte posterior del tablero.
- iii.** Realizar la inspección de los materiales que se utilizan en la práctica, así como los cables de conexión que deben estar en perfecto estado antes de iniciar cualquier otra acción.
- iv.** Revisar los medidores externos (voltímetros, amperímetros etc.), los mismos que deben estar en la selección y escala adecuadas antes de utilizarlos.
- v.** Se debe conectar el terminal de tierra del tablero antes de realizar cualquier maniobra, este se encuentra en la parte posterior del tablero, junto a la clavija de toma de energía.
- vi.** Revise el estado de las fuentes de voltajes de 220VAC y de 120VAC. El voltaje debe estar dentro del rango deseado para realizar las prácticas. En caso de no ser el correcto solicitar la respectiva revisión por parte del encargado del laboratorio.
- vii.** Revise el estado de los interruptores y seccionadores del tablero de prueba, todos deben de estar en posición de OFF antes de iniciar las prácticas y libres de cables.
- viii.** Revise que los breakers del tablero de distribución del laboratorio estén en posición ON. En caso de estar en posición de TRIP, revisar la causa que lo ocasionó, luego de despejada la falla, habilítelos a la posición de ON.
- ix.** Asegurarse de que el breaker del motor HAMPDEN WRM-300, esté en posición apagado *OFF*, antes de que inicie cualquier maniobra.

- x. Garantizar que el área esté despejada de cables, herramientas o cualquier objeto que pueda interferir con el paso o movimiento libre durante la ejecución de la práctica.

**f. RECURSOS UTILIZADOS:**

**Materiales y Equipos**

1. Tablero de Prueba didáctico
2. Motor HAMPDEN WRM-300 y máquina DYN-400

**g. REGISTRO DE RESULTADOS:**

1. Tablas de PRUEBA No aplica
2. Cálculos realizados. No aplica
3. Cuestionario de preguntas.
4. Observaciones, comentarios y conclusiones

**3. CUESTIONARIO DE PREGUNTAS**

- a. ¿Qué entiende usted por seguridad industrial?, explique y dé ejemplos.
- b. ¿Que son los equipos de protección personal y cuáles son los más utilizados?
- c. ¿Qué es el shock eléctrico y cuáles son sus consecuencias?
- d. ¿Qué tipo de protecciones se debe tomar para evitar shock eléctrico cuando se manipulan equipos eléctricos en un laboratorio?
- e. ¿Qué tipo de primeros auxilios se debe de brindar en caso de un accidentado por shock o descarga eléctrica?
- f. ¿Qué es un procedimiento de RCP y cuándo se aplica?

**Observaciones y conclusiones**

Al realizar las prácticas se debe tomar en cuenta de no MANIPULAR el tablero por la parte posterior debido a que existen equipos que tienen voltaje a 220vac. De ser necesaria la manipulación se debe cortar la alimentación de energía.

## 4.2 PRÁCTICA # 2

### 1. DATOS INFORMATIVOS

- a. **MATERIA:** MAQUINARIAS ELÉCTRICAS II
- b. **PRÁCTICA N° 2**
- c. **NÚMERO DE ESTUDIANTES:** 20
- d. **NOMBRE DE DOCENTE:** Ing. Otto Astudillo
- e. **TIEMPO ESTIMADO:** 2 horas

### 2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- a. **TEMA:** Identificación de partes y procedimiento de conexiones de equipos.

- b. **OBJETIVO GENERAL:**

Guiar al estudiante del laboratorio de maquinarias eléctricas de la universidad politécnica salesiana en el manejo seguro para realizar las conexiones e identificar las partes del tablero de prueba antes de su uso con el motor HAMPDEN WRM-300.

- c. **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- 1. Determinar las partes de conexiones y fuentes disponibles en el tablero.
- 2. Conocer como conectar el motor HAMPDEN WRM 300 y utilizar la máquina DYN-400 (máquina DC) antes de ser energizado para las pruebas.
- 3. Conocer la manera correcta de energizar el tablero de pruebas.
- 4. Conocer la manera correcta de energizar los dispositivos de medición.

- d. **MARCO TEÓRICO**

- 1. Concepto de sistemas trifásicos tipo en Estrella y en Delta Abierto.
- 2. Conocimiento de conexiones eléctricas de motores trifásicos.
- 3. Fundamentos de máquinas DC, usos y conexiones.
- 4. Fundamentos de circuitos eléctricos I y II.

## e. MARCO PROCEDIMENTAL

### 4.2.1 Procedimiento conexión del Motor Hampden

- i. Ubicarse frente al motor tipo HAMPDEN, MODELO: WRM – 300 y distinguir sus puntos de conexiones. Este motor cuenta con nueve (9) terminales de los cuales seis (6) son del estator y tres (3) del rotor.
- ii. Proceder a conectar los bornes del motor MIJA – HAMPDEN WRM-300, los terminales del rotor deben cortocircuitarse y los terminales del estator se conectarán en “Y”. Se debe de utilizar el breaker que está incorporado en la caja de conexiones.



Figura 6A

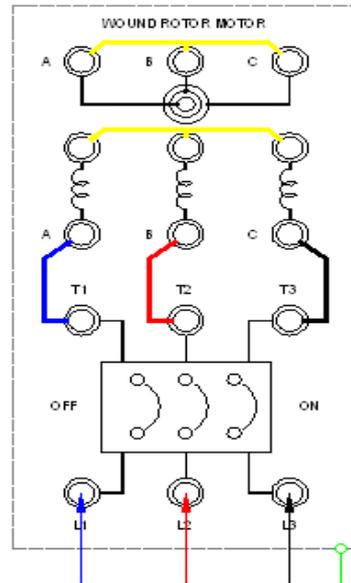


Figura 6B

Figura 6: A) caja de conexiones; B) conexión motor HAMPDEN WRM-300  
Fuente: Los autores

- iii. Los terminales del motor HAMPDEN 300 deben de estar despejados antes de iniciar la conexión para su puesta en marcha, en la parte frontal fácilmente se puede visualizar el breaker del motor, como medida de seguridad este debe de estar en posición OFF, para evitar eventos no deseados antes de la marcha.

#### 4.2.2 Partes del tablero de prueba

1. Variac 3F -220VAC -Delta Abierto
2. Variac 1F 120VAC
3. Variac 3F- 220VAC Y + N
4. Selector ON-OFF para seccionamiento de líneas
5. Barra BX RST+N para tomas de energía.
6. Barra BZ RST+N para tomas de energía.
7. Barra BY RST para tomas de energía regulable
8. SIMEAS P medidor #1
9. PAC 4200 medidor #2
10. SIMEAS P medidor #3
11. Variador ABB -220VAC – 10amp
12. Bornes de entrada y salida del variador ABB
13. Bloque de protecciones (fusibles, relé térmico, guardamotor, mini breaker)
14. Bloque de amperímetros DC, conexión directa y de TC 30/5
15. Relé varimétrico para control de FP.
16. Bloque para arranque directo
17. Tacómetro digital
18. Fuente DC – 50AMP-120VDC
19. Fuente DC – 5AMP-120VDC

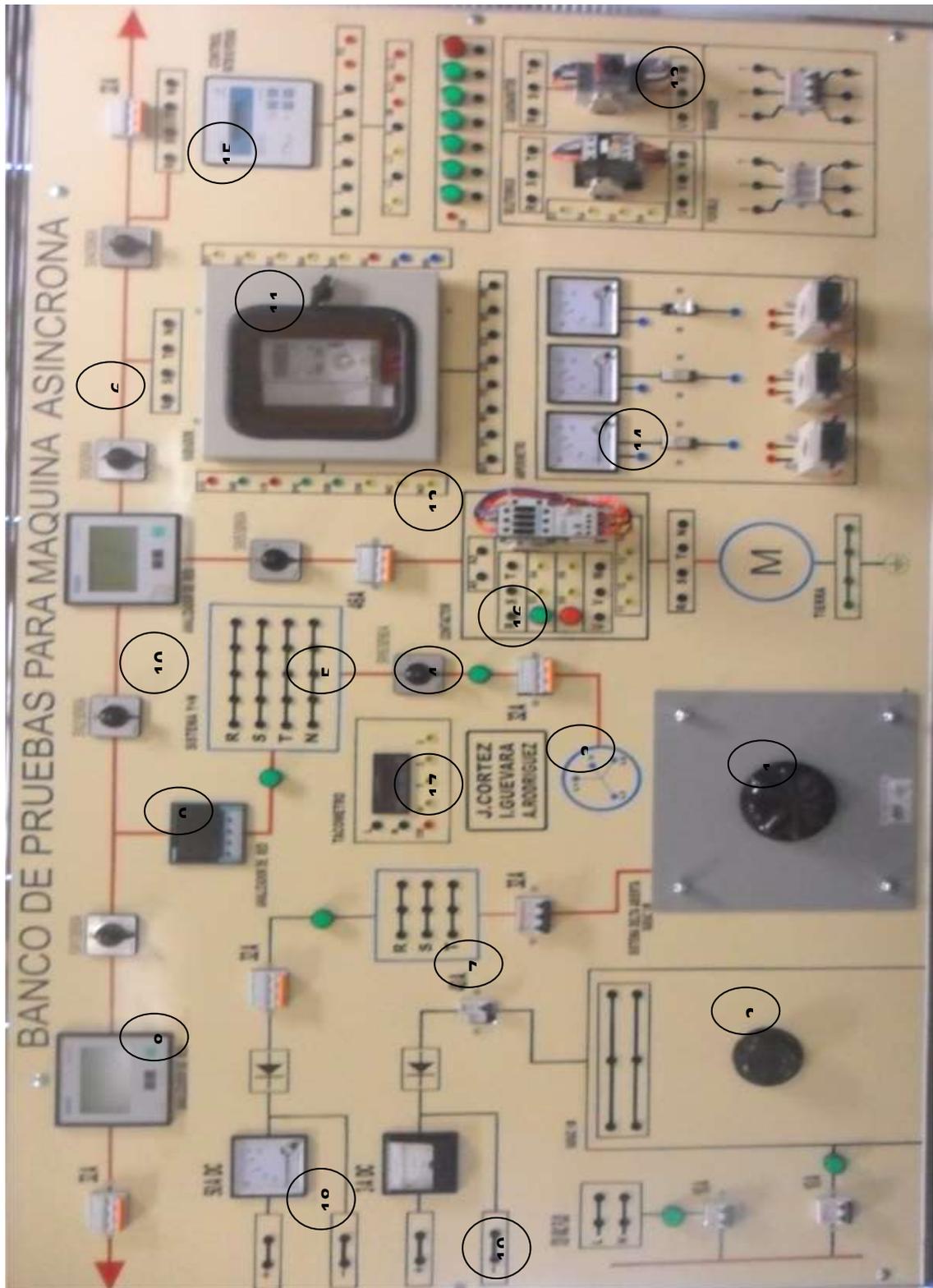


Figura 7. Tablero de Pruebas señalización de partes  
Fuente: Los autores

### 4.2.3 Procedimiento para energizar el tablero

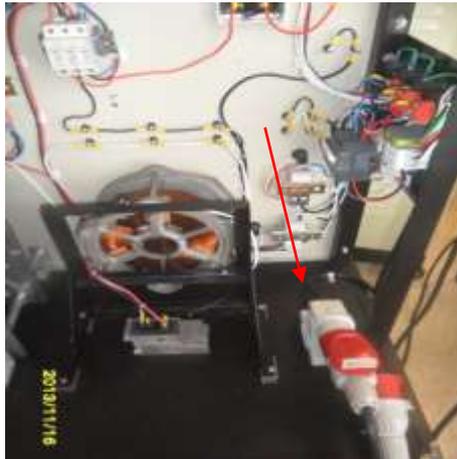
- i. El tablero debe ser alimentado con una tensión fija de 220VAC. El punto de conexión se encuentra ubicado en la parte posterior del tablero de prueba marcado con la leyenda “VOLTAJE DELTA 220VAC REG”. En este sitio existe una clavija de conexión donde se introducirá el conector macho para abastecer de voltaje al tablero.
- ii. Este voltaje es obtenido a través de la toma próxima al tablero, la misma que cuenta con un mini breaker seccionador para protección del tablero. Adicional a ello, se debe de conectar el cable de puesta a tierra del tablero el cual debe ser conectado antes de energizar el tablero. Esto lo podemos apreciar en la siguiente foto, la flecha indica la posición precisa del punto de alimentación. Ver fig.



**Figura 8:** Alimentación principal 220VAC con voltaje fijo

**Fuente:** Los autores

- iii. El siguiente paso es suministrar la fuente de alimentación para los equipos de medición y fuentes de voltaje de corriente continua. El punto de conexión se encuentra ubicado en la parte posterior del tablero de prueba marcado con la leyenda “VOLTAJE YE 220VAC FIJA”. Esto lo podemos apreciar en la siguiente foto, la flecha indica la posición precisa del punto de alimentación.



**Figura 9:** Alimentación regulada 220VAC delta abierto

**Fuente:** Los autores

- iv. Procederemos a encender los analizadores 1 y 2 (PAC-4200 Y SIMEAS-P), con los interruptores que se encuentran del lado izquierdo del tablero (visto de frente). El tacómetro digital del tablero se puede alimentar de la toma de 120VAC que se encuentra también del lado izquierdo del tablero, para poder monitorear la velocidad de motor en tiempo real.

#### **4.2.4 Procedimiento para conexión del freno, display y sensor**

- i. Antes de energizar, asegurarse de que el motor este desconectado y sin movimiento, para evitar daños en las piezas mecánicas del electro freno, ya que no está diseñado para frenados al vuelo o para paradas bruscas.
- ii. La fuente de alimentación debe ser de máx. 19 Vdc, para evitar daños en la bobina eléctrica, se puede utilizar la fuente de 50Amp-24Vdc que se encuentra ubicada en la parte izquierda del tablero. Usar un medidor externo para regular el voltaje del variac que alimenta esta fuente. (ver 4.3.2 tablero de pruebas).

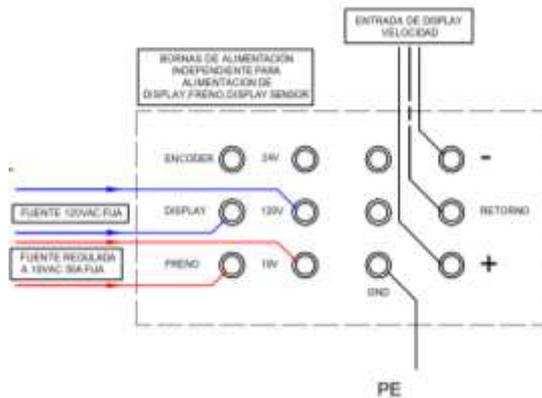


Figura: 10A

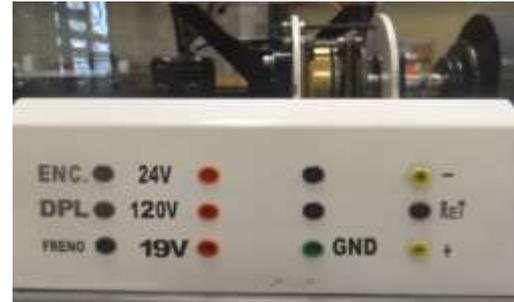


Figura: 10B

Figura 10: A) esquema de conexión; B) conexión física de resistencias

Fuente: Los autores

- iii. Para conectar el sensor se requiere de una fuente de máximo 24Vdc que puede ser obtenida del tablero o directamente del tacómetro digital, el mismo que se alimenta de una fuente de 120VAC (ver 4.3.2 tablero de prueba). Y que genera en sus bornes externos un voltaje de alimentación de 24Vdc, suficiente para alimentar el sensor y tomar la señal para el tacómetro digital.

#### 4.2.5 Procedimiento para Energizar Banco de Resistencias.

- i. Primero se debe de realizar la combinación serie paralelo o conexión mixta, para ello se utilizarán dos resistencias conectadas en paralelo en combinación con una en serie.

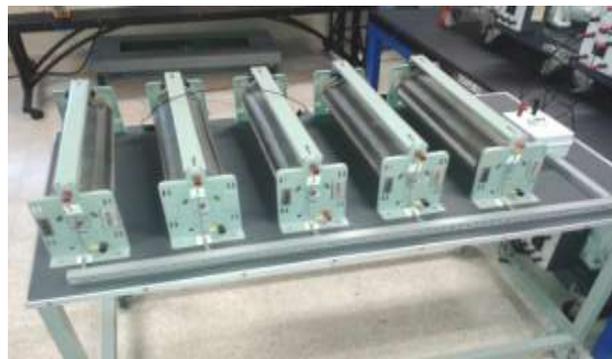
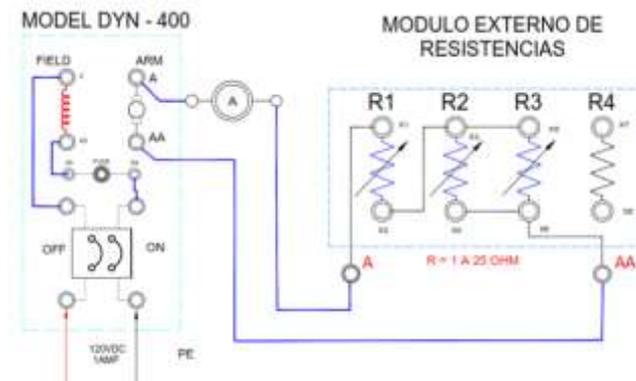


Figura 11: vista del banco de resistencia de potencia:

Fuente: Los autores



**Figura 12:** Esquema d conexión de banco de resistencia

**Fuente:** Los autores

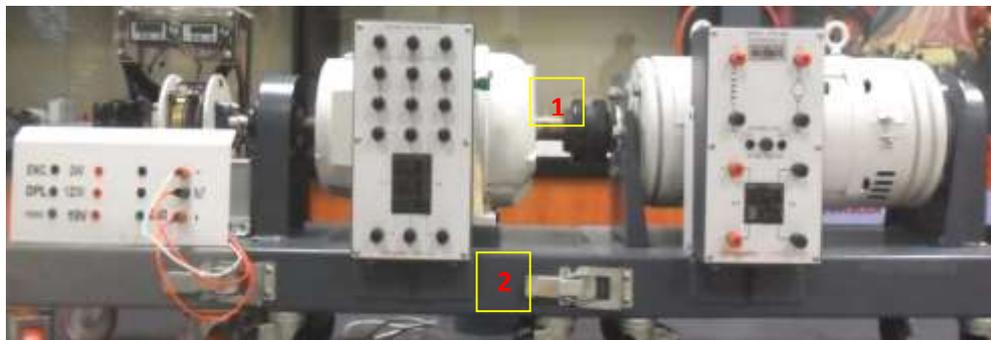
- ii. Se procede a probar continuidad en el conjunto de resistencias armado, para confirmar que los valores oscilen entre 1 a 25 Ohm.
- iii. Los terminales del circuito mixto de resistencias se conectarán en los bornes de la armadura de la maquina DC. Esto se realizará sin existir voltaje en dichos terminales. El banco de resistencias se conectará a la salida de la armadura del dinamómetro o máquina DC, iniciando con un valor superior a 20 Ohm.
- iv. Asegurarse que los terminales y cables estén en buen estado y ajustado para evitar falsos contactos o pérdida de carga durante las pruebas.
- v. Retirar los terminales del tablero de prueba junto con los del motor, dejando los equipos del laboratorio en sus respectivos lugares y dejar el área despejada.

#### 4.2.6 Procedimiento para acoplar motor - dinamómetro.

- i. El conjunto motor HAMPDEN WRM 300 y la máquina DC DYN -400 se deben de acoplar por medio de los matrimonios o acoples mecánicos que están incorporados en cada máquina. (Ver punto 1 en dibujo)

- ii. Colocar el acople mecánico que está hecho de caucho y hacer que encaje los dientes del acople en cada ranura de las junas que están incorporadas en el eje de cada máquina. (Ver punto 2 en dibujo)
- iii. Proceder a ajustar los acoples con las bridas que se encuentran en la parte baja de la maquina y acoplar al motor de inducción MIJA con la maquina DC. La máquina DC nos servirá para generar la carga mecánica y a la vez como dinamómetro.

En la siguiente figura se podrá visualizar el equipo físicamente.



**Figura 13:** Máquina DC –acoplada a motor HAMPDEN  
**Fuente:** El autor

#### **f. RECURSOS UTILIZADOS**

- 1) Tablero de pruebas didáctico
- 2) Motor HAMPDEN WRM-300
- 3) Dinamómetro analógico HAMPDEN DYN 400
- 4) Terminales varios

#### **g. REGISTROS DE RESULTADOS**

1. Tabla de Prueba N°1 - Prueba N°2
2. Cálculos realizados.
3. Cuestionario de preguntas.
4. Observaciones, comentarios y conclusiones

### PROTOCOLOS DE PRUEBA EN ANEXOS 4

**PRUEBA N°1: Levantamiento de Variac 3F – DELTA ABIERTO 220VAC**

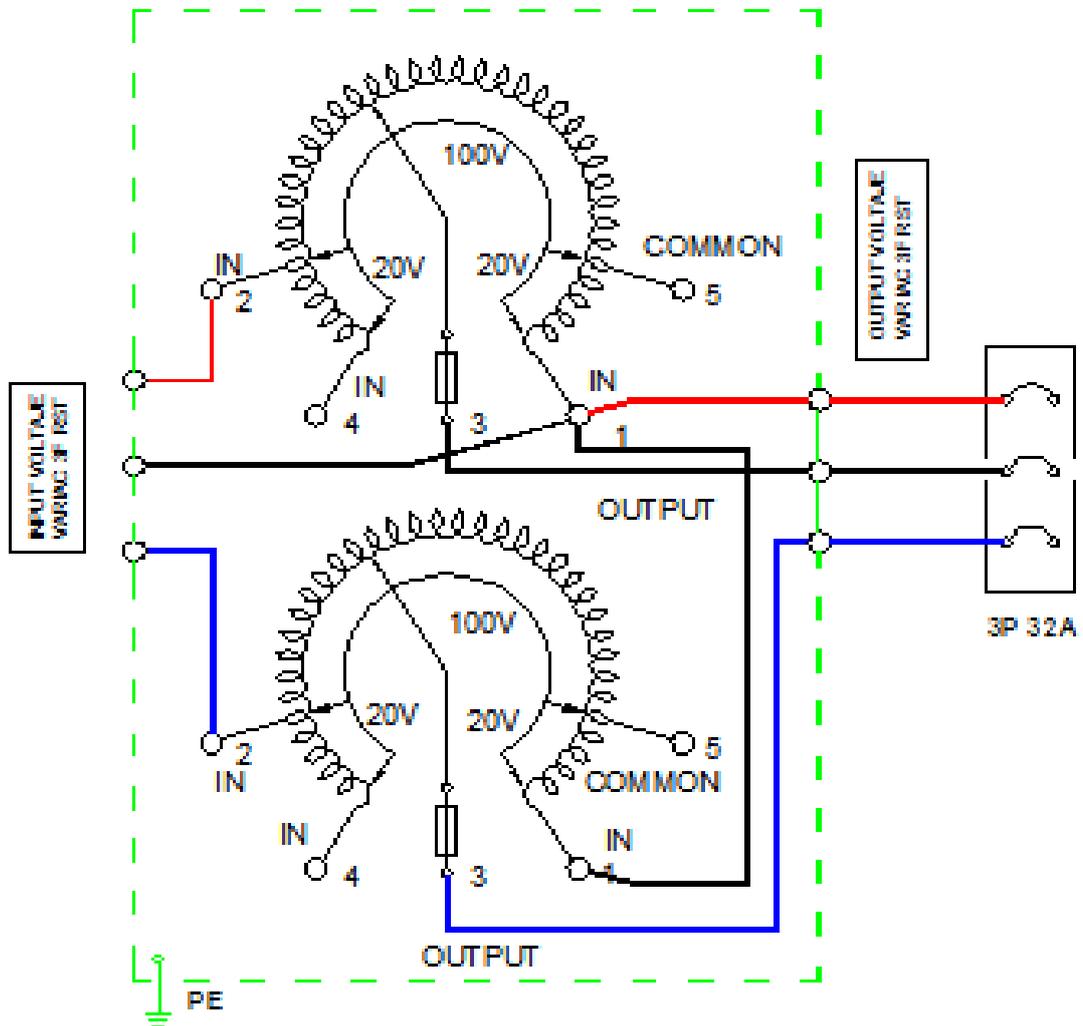


TABLA DE VOLTAJES				
PORCENTAJE REGULADO	VL1	VL2	VL3	VLN
25%				
50%				
75%				
100%				

**PRUEBA N°2: Levantamiento de Datos Variac 3F Y + N – 220VAC**

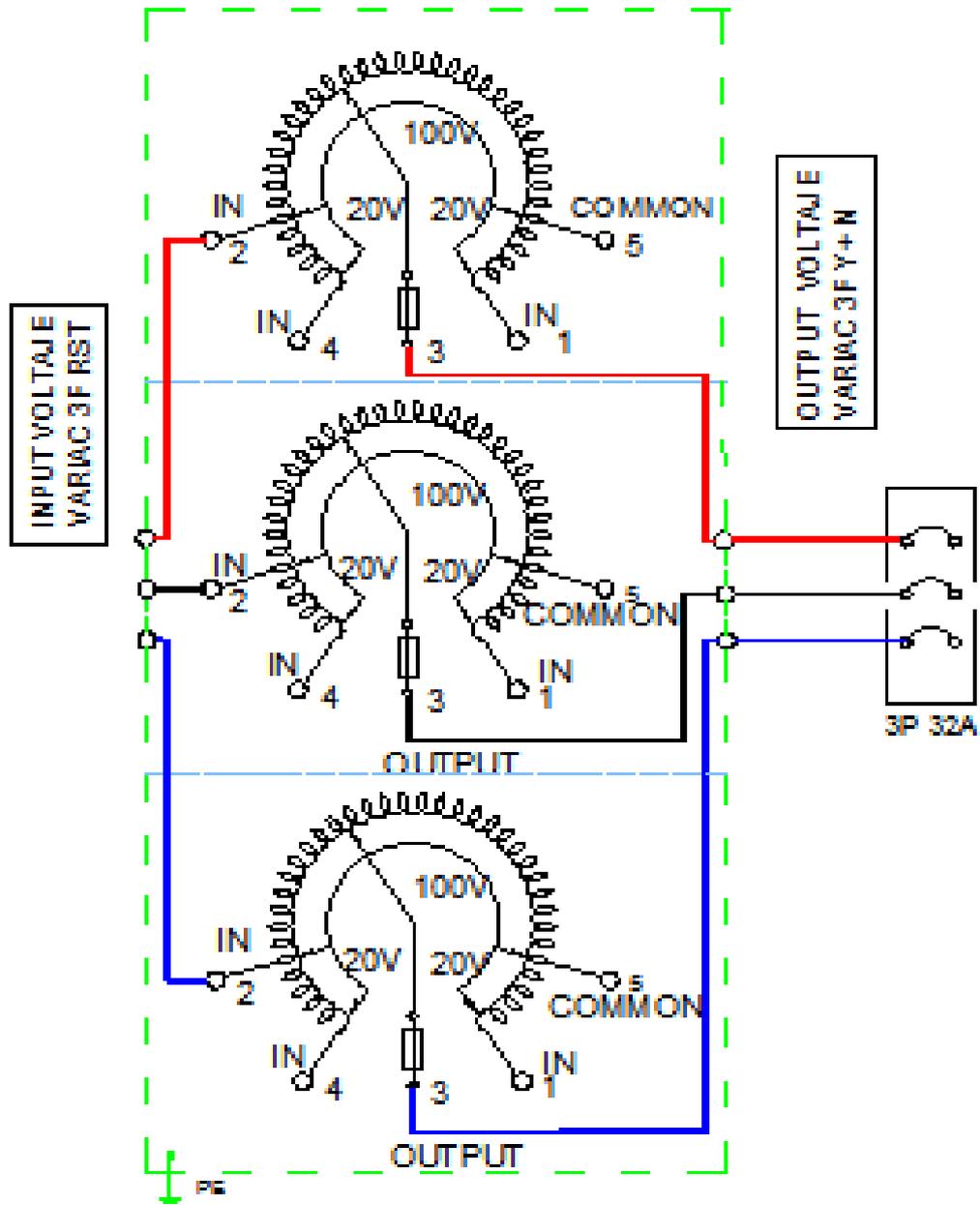


TABLA DE VOLTAJES				
PORCENTAJE REGULADO	VL1	VL2	VL3	VLN
25%				
50%				
75%				
100%				

## **CUESTIONARIO DE PREGUNTAS.**

1. ¿Qué entiende usted por Campo Magnético Giratorio?
2. ¿Qué entiende usted por Voltaje Inducido en un Devanado Trifásico?
3. ¿Qué entiende por máquina DC y qué tipo de aplicaciones conoce?
4. ¿Qué son los frenos electromecánicos y cuántos tipos conoce?

## **OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES**

Se debe de tener en cuenta cada procedimiento antes de realizar las respectivas prácticas, con el objetivo de evitar lesiones personales o daños en los equipos de laboratorios

### **i. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA**

- 1.- Texto CHAPMAN STEPHEN J. MÁQUINAS ELÉCTRICAS, MC GRAW HILL, 1997.
- 2.- IRVING KOSOW -MÁQUINAS ELÉCTRICAS Segunda edición, PRENTICE HALL, 1993

### **j. CRONOGRAMA/CALENDARIO**

De acuerdo a la planificación de cada docente.

## **3. ACTIVIDADES ANEXAS**

- 1.- **Tipo de tableros didácticos para motores jaula de ardilla**
  - a.- Construcción
  - b.- Ensamblajes, modelos
  - c.- Arranques
- 2.- **Tipos de aplicaciones para los tableros didácticos de los MIJA**
  - a.- Para universidades
  - b.- Para aplicaciones en empresas
- 3.- **Fabricantes de tableros didácticos para motores MIJA**
  - a.- Fabricantes europeos
  - b.- Fabricantes asiáticos
  - c.- Fabricantes americanos

#### 4.- Proyecto:

Diseñe un arrancador directo para motores de 10 a 15 hp /440vac/  
2 y 4 polos, utilizando coordinación de protección 2 y 3

#### ADVERTENCIA



Durante las pruebas, evitar manipular los equipos por la parte posterior, para evitar riesgos de shock eléctrico debido a que están expuestos los terminales del transformador, barras y bornes de conexión de los diferentes equipos. De existir o requerir realizar algún ajuste o revisión, es necesario cortar el suministro de energía eléctrica antes de actuar o manipular los equipos.

### 4.3 PRÁCTICA # 3

#### 1. DATOS INFORMATIVOS

- a. **MATERIA:** MAQUINARIAS ELÉCTRICAS II
- b. **PRÁCTICA N°** 3
- c. **NÚMERO DE ESTUDIANTES:** 20
- d. **NOMBRE DE DOCENTE:** Ing. Otto Astudillo
- e. **TIEMPO ESTIMADO:** 2 horas

#### 2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- a. **TEMA:** Arranque en vacío del motor asíncrono a tensión nominal.
- b. **OBJETIVO GENERAL:**

Conocer los valores de los parámetros eléctricos del motor de inducción de jaula de ardilla sin carga en el eje, es decir funcionamiento en vacío.

- c. **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- 1. Visualizar y registrar los parámetros eléctricos del motor de inducción sin carga por medio de los diferentes dispositivos colocados dentro y fuera del tablero de prueba.
- 2. Determinar la reactancia estatórica por fase más reactancia de magnetización del núcleo.

- d. **MARCO TEÓRICO**

- 1. Principio de funcionamiento del motor asíncrono.
- 2. Fundamentos de circuitos trifásicos.
- 3. Tipos de arranques para motores de inducción.

**e. MARCO PROCEDIMENTAL**

1. Revisar procedimiento sección 4.2.1 /4.2.2 /4.2.3
2. Revisar diagrama de conexiones anexas.
3. Utilizar el tablero de prueba para controlar el motor MIJA.
4. Tomar las mediciones indicadas.

**f. RECURSOS UTILIZADOS**

**Materiales y Equipos**

1. Tablero de pruebas didáctico
2. Motor HAMPDEN WRM-300
3. Amperímetro 0-10 Amp; Voltímetro 0-500VAC
4. Dinamómetro analógico HAMPDEN DYN 400
5. Terminales varios.

**g. REGISTRO DE RESULTADOS**

- Tabla de Prueba N°1
- Cálculos realizados.
- Cuestionario de preguntas.
- Observaciones, comentarios y conclusiones.



## **CUESTIONARIO DE PREGUNTAS**

- 1.- ¿Qué es un arranque directo y cuántos otros tipos conoce?
- 2.- Explique el principio de la Ley de Biott-Savart (Principio Motor).
- 3.- Explique el comportamiento de una máquina eléctrica giratoria trabajando como motor.
- 4.- ¿Qué es torque de arranque, torque nominal?, complete con ejemplos.
- 5.- ¿Qué desventajas tiene un arranque directo sin métodos avanzados?
- 6.- La prueba de rotor bloqueado ¿para qué se utiliza?
- 7.- Explique el fenómeno que se presenta en esta práctica.
- 8.- ¿Cuál es el porcentaje de deslizamiento en esta prueba y por qué?

### **OBSERVACIONES:**

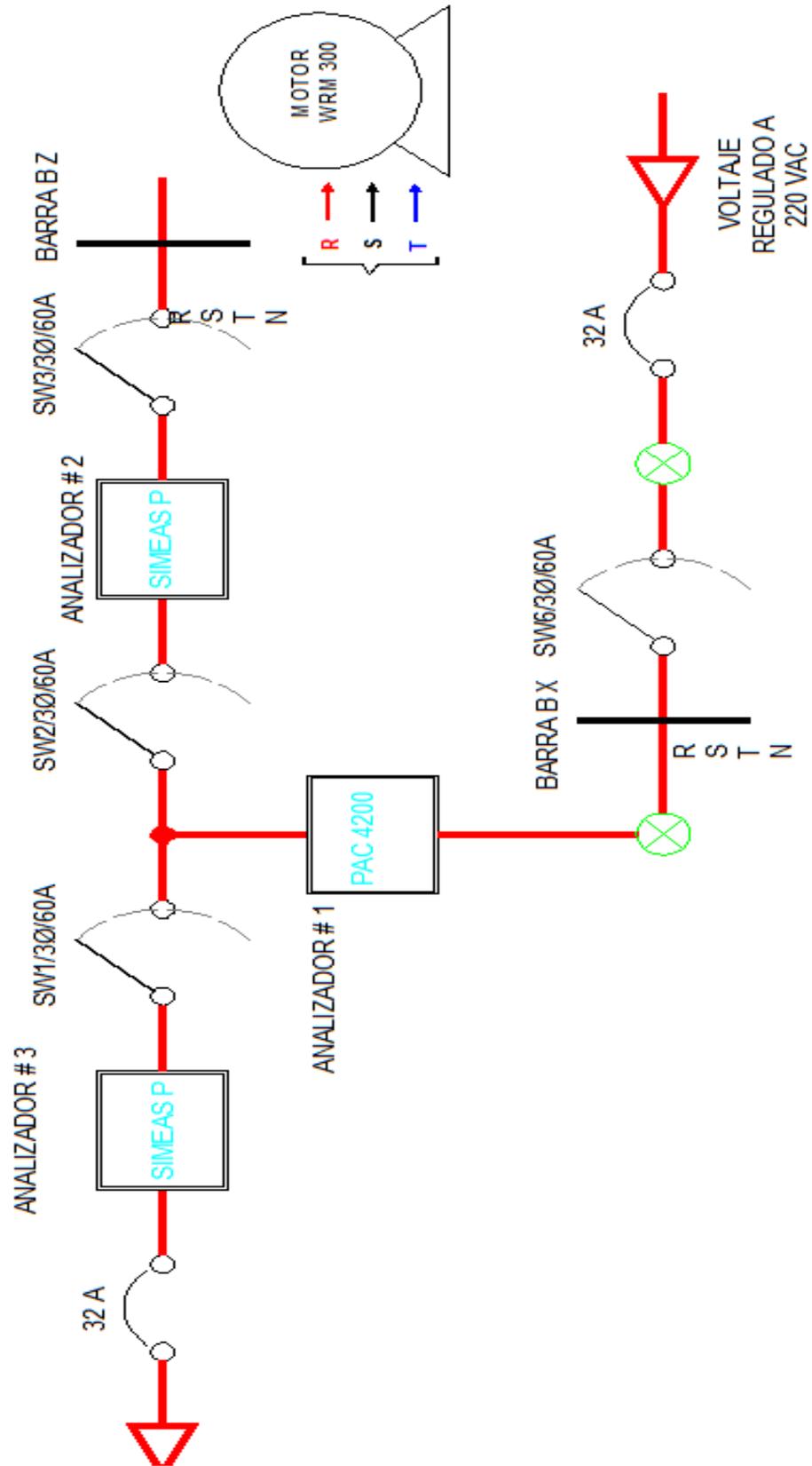
Al realizar esta práctica se debe de tener cuidado que el motor no esté acoplado mecánicamente a ningún equipo para garantizar las lecturas obtenidas sean reales.

Adicional se deben de seguir las normas de seguridad sugeridas en el capítulo 2 y se recomienda revisar las conexiones, antes energizar el motor.

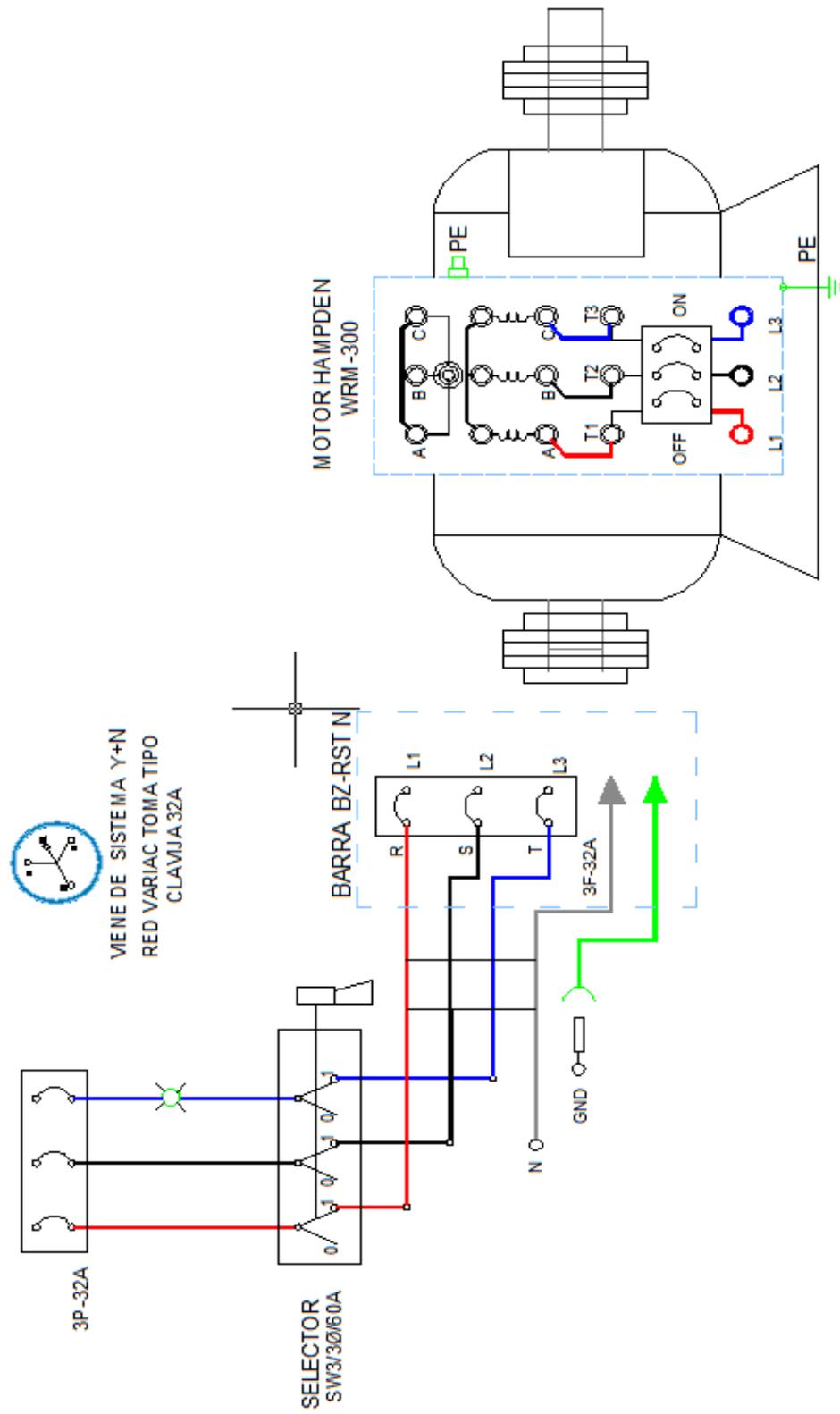
### **h. ANEXOS**

- 1.- Diagrama Eléctrico unifilar
- 2.- Diagrama De Conexiones multifilar
- 3.- Tabla Para Mediciones

# Diagrama Eléctrico unifilar



## Diagrama conexión multifilar



+

## TABLA DE RESULTADOS

VLLca	ILca.	Pca(w)	Qca(var)	Sca(va)	TORQUE	VELOC
220	5,3	570	1910	2010	0,5	1785

Motor diseño tipo B:  $X1=40\%X_{EQ}$  ;  $X2= 60\%X_{EQ}$  ;  $\zeta$

De practica # 4 el valor de  $X_{eq} = j3,492$

### CÁLCULOS:

**Zca:** Impedancia en Circuito Abierto

**XM:** reactancia de magnetización;

**Ica:** corriente en circuito abierto

#### Impedancia en circuito abierto

$$Z_{CA}: V_{fase} / I_{LCA}$$

$$Z_{CA}: V_{LLCA} / (\sqrt{3} \times I_{LCA})$$

$$Z_{CA}: 220 / (1.732 \times 5,15)$$

$$Z_{CA}: 24,66\zeta$$

#### Corriente promedio ca

$$I_{LCA} = (I_R + I_S + I_T) / 3$$

$$I_{LCA} = (4,95 + 5,3 + 5,2) / 3$$

$$I_{LCA} = 5,15 \text{ A}$$

#### Reactancia De Magnetización Del Núcleo

$$Z_{CA}: j(X1 + XM)\zeta$$

$$XM = Z_{CA} - jX1$$

$$XM = 24,66 - (0,4 * j3,492)$$

$$XM = 23,263\zeta$$

### i. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA

1.- Texto CHAPMAN STEPHEN J. MÁQUINAS ELÉCTRICAS, MC GRAW HILL, 1997.

2.- IRVING KOSOW -MÁQUINAS ELÉCTRICAS Segunda edición, PRENTICE HALL, 1993

**j. CRONOGRAMA/CALENDARIO**

De acuerdo a la planificación de cada docente.

**3. ACTIVIDADES ANEXAS**

**1.- Tipo de motores jaula de ardilla**

a.- Construcción

b.- Ensamblajes, modelos

c.- Arranques

**2.- Tipos de protecciones eléctricas de los MIJA**

a.- Por sobrecarga

b.- Por sobre tensión

c.- Por temperatura

**3.- Fabricantes de motores**

a.- Fabricantes europeos

b.- Fabricantes asiáticos

c.- Fabricantes americanos

**4.- Proyecto:**

Diseñe un sistema de arranque directo con protecciones para un motor de 100hp /440vac/4 polos/fp 0.92/. Presente los cálculos y conclusiones.

## 4.4 PRÁCTICA # 4

### 1. DATOS INFORMATIVOS

- a. **MATERIA:** MAQUINARIAS ELÉCTRICAS II
- b. **PRÁCTICA** N° 4
- c. **NÚMERO DE ESTUDIANTES:** 20
- d. **NOMBRE DE DOCENTE:** Ing. Otto Astudillo
- e. **TIEMPO ESTIMADO:** 2 horas

### 2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- a. **TEMA:** Prueba de rotor bloqueado del motor tipo MIJA.
- b. **OBJETIVO GENERAL:**

Conocer los valores de los parámetros eléctricos del motor de inducción de jaula de ardilla simulando un transformador.
- c. **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**
  - 1. Visualizar y registrar los parámetros eléctricos del motor de inducción con voltaje de corriente VLL, IL, Fp. P –Q -S
  - 2. Determinar la reactancia equivalente del estator.
  - 3. Presentar conclusiones.
- d. **MARCO TEÓRICO**
  - 1. Principio de funcionamiento del motor asíncrono
  - 2. Fundamentos de circuitos trifásicos.
  - 3. Fundamentos de tipos de arranques.
  - 4. Equivalente Thevenin de un motor asíncrono
- e. **MARCO PROCEDIMENTAL**
  - 1. Revisar procedimiento sección 4.2.1 /4.2.2 /4.2.3 /4.2.4
  - 2. Revisar diagrama de conexiones anexas.
  - 3. Utilizar el tablero de prueba para controlar el motor MIJA.
  - 4. Tomar las mediciones indicadas.

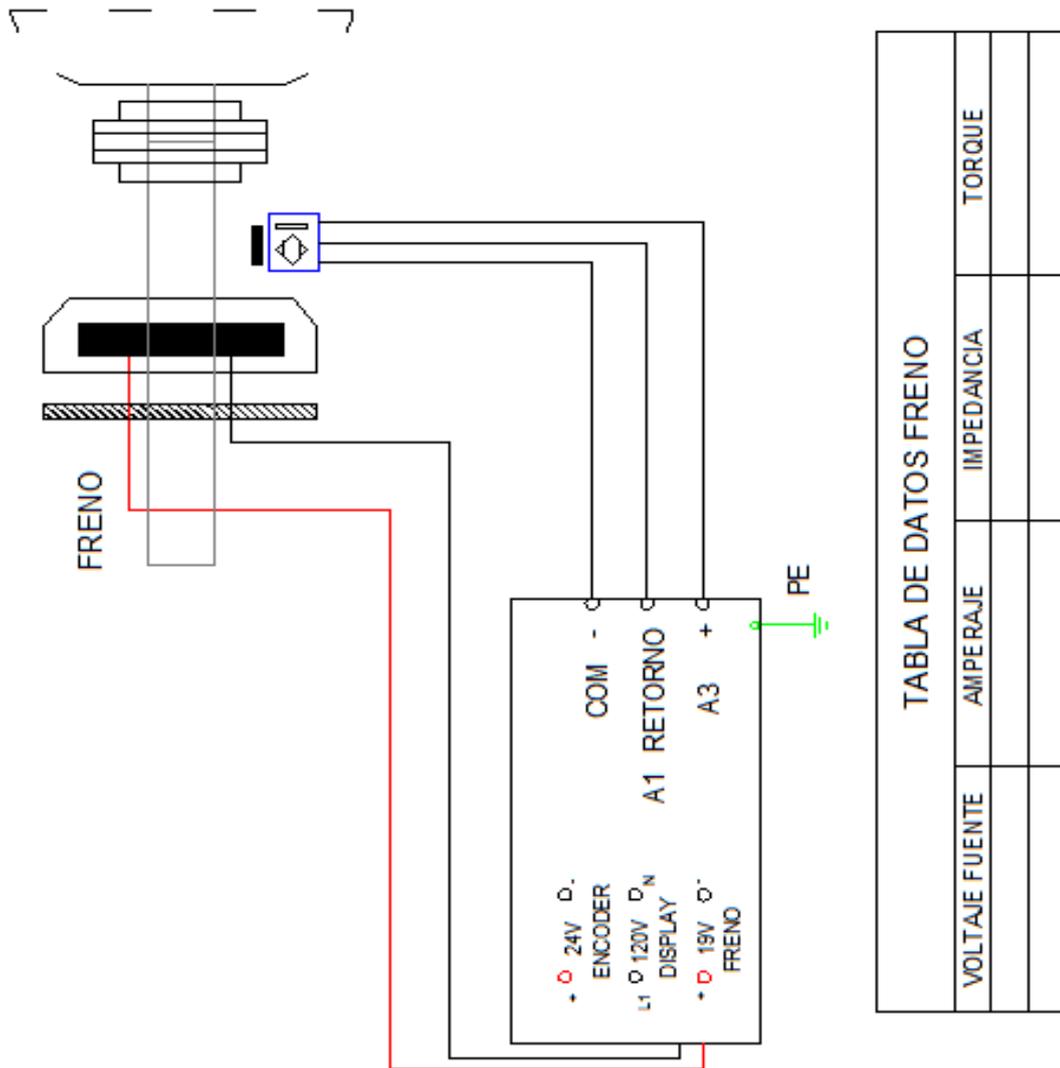
**f. RECURSOS UTILIZADOS**

1. Tablero de pruebas didáctico
2. Fuente de voltaje de 24 VDC – 50AMP
3. Amperímetro 0-10amp y voltímetro 0-500V AC
4. Motor MIJA HAMPDEN WRM-300
5. Freno electromecánico DC

**g. REGISTRO DE RESULTADOS**

1. Tabla Prueba N°1
2. Cálculos realizados.
3. Cuestionario de preguntas.
4. Observaciones, comentarios y conclusiones.

**PRUEBA 1:** Levantar datos de placas de Freno electromecánico



## **CUESTIONARIO DE PREGUNTAS**

- 1.- ¿Qué es arranque a rotor bloqueado?
- 2.- Explique los pasos a seguir para realizar la prueba a rotor bloqueado.
- 3.- ¿Cuál es la frecuencia del rotor y del estator durante la ejecución de esta prueba y por qué?
- 4.- Explique que es el equivalente Thevenin
- 5.- ¿Cuál es el contra torque que debe ejercer el freno para bloquear el motor y por qué?
- 6.- ¿Qué efectos puede visualizar usted al momento de energizar el motor en esta práctica con el rotor bloqueado?

## **OBSERVACIONES:**

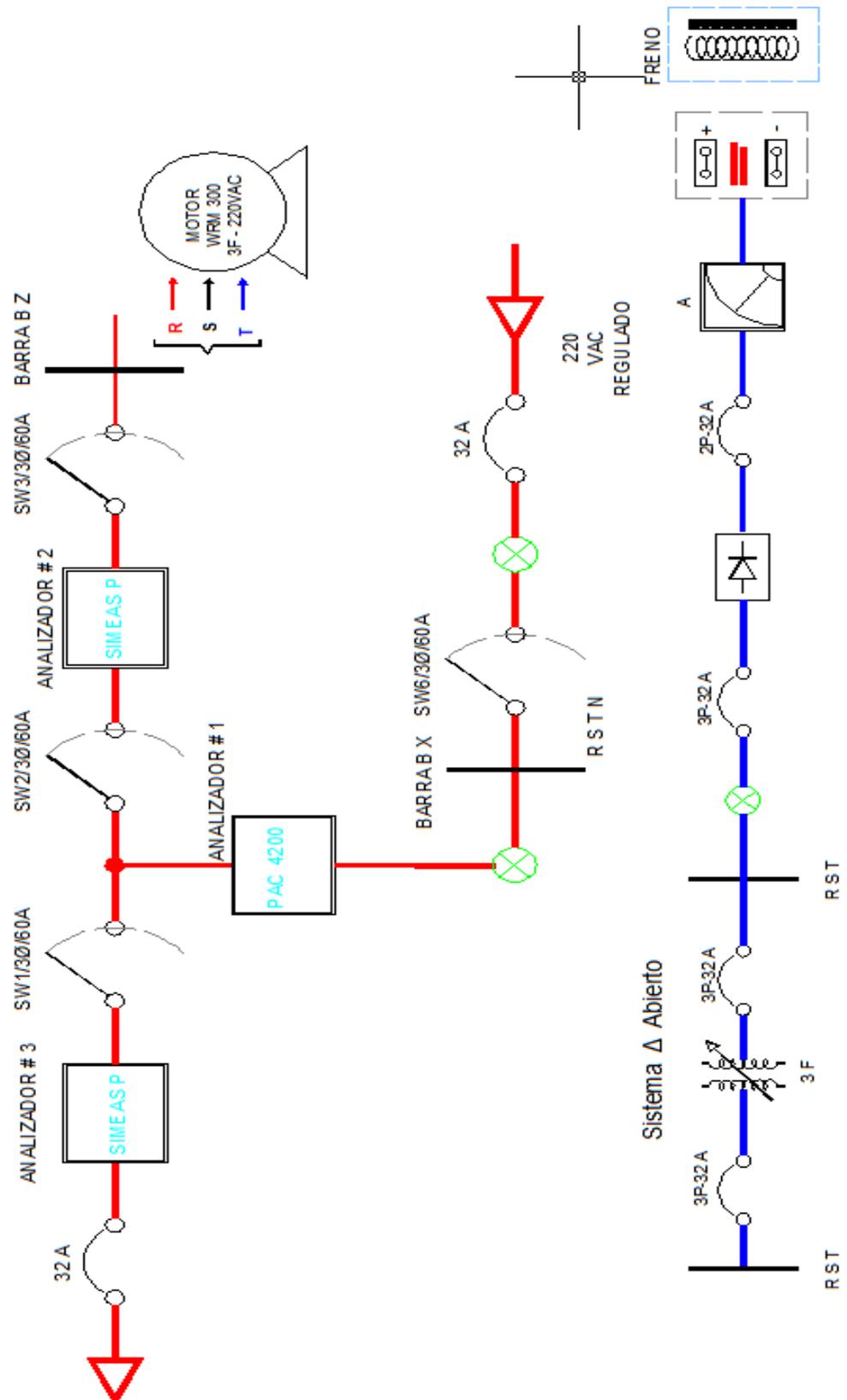
Al realizar esta práctica se debe de tener cuidado de no exceder el valor de la carga máxima que pueden soportar los conductores utilizados, ya que de sobrepasar los 10amp el aislamiento tiende a deformarse por la temperatura que se genera con este valor de corriente.

Para el freno no se debe de exceder a máximo 19VDC y para el motor WRM-300, el voltaje máximo aplicado será cuando el motor alcance la corriente nominal.

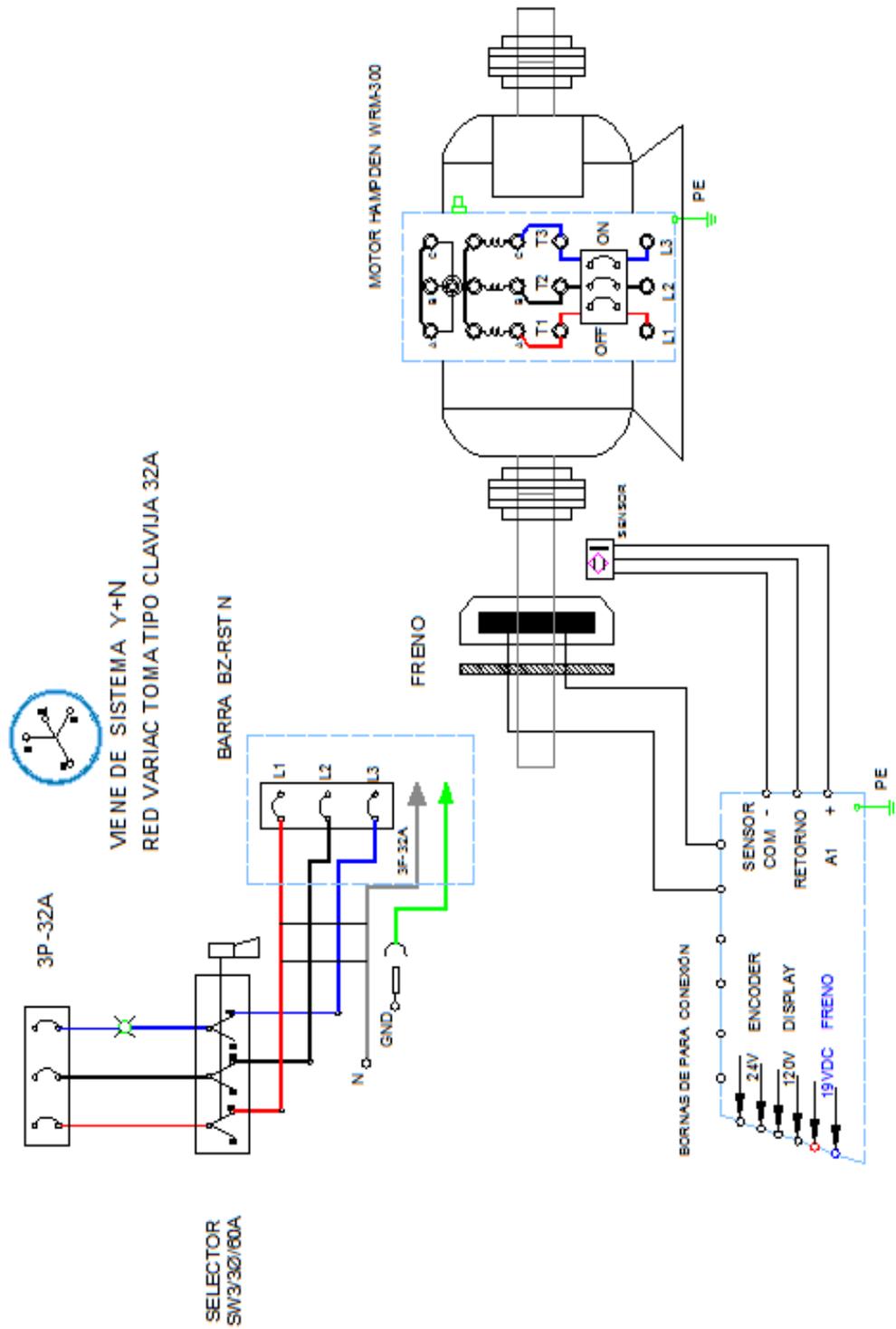
## **h. ANEXOS**

- 1.- Diagrama Eléctrico unifilar
- 2.- Diagrama De Conexiones multifilar
- 3.- Tabla Para Mediciones

# Diagrama Eléctrico unifilar



## Diagrama De Conexiones multifilar



## TABLA DE RESULTADOS

MOTOR HAMPDEN WRM 300							FRENO		CÁLCULOS	
VLL (V)	IL1(A)	IL2(A)	IL3(A)	P (kw)	Q (kvar)	S (kva)	Vfreno	Ifreno	%S	Tq
70	11,7	11,47	11,2	0,43	1,93	2,01	7	12		

### CÁLCULOS REALIZADOS.

<p><b>Corriente de corto circuito:</b></p> $I_{cc} = (I_{L1} + I_{L2} + I_{L3}) / 3$ $I_{cc} = (11,7 + 11,47 + 11,2) / 3$ <p><u><math>I_{cc} = 11,44 \text{ Amp}</math></u></p>	<p><b>Impedancia corto circuito</b></p> $Z_{cc} = (V_{cc} / \text{fase}) / I_{cc} / \_ \text{arc.cos}$ $(P_{cc} / (1,732 \times V_{cc} \times I_{cc}))$ $Z_{cc} = (70 / 1,732) / 11,44 / \_ \text{arc.cos}$ $430 / (1,732 \times 70 \times 11,44)$ <p><u><math>Z_{cc} = 3,532 / 71,93^\circ \zeta</math></u></p>
<p>Resistencia estator R1 y resistencia rotor R 2; impedancia equivalente Xeq.            Datos de la práctica # 5: <math>R1 = 0,627 \zeta</math></p>	
<p>Si <math>Z_{cc} = Z_{rb} = R_{cc} + jX_{cc}</math> impedancia a corto circuito (cc)</p>	
<p><math>R_{cc} = Z_{cc} \times \text{Cos } \theta_{cc} = 3,53 \times 0,31 = 1,094 \zeta</math></p>	
<p><math>R_{cc} = R1 + R2 = 1,094 \zeta</math></p>	<p>Resistencia equivalente a cc.</p>
<p><math>R2 = R_{cc} - R1 = 1,094 - 0,627 = 0,467 \zeta</math></p>	<p>Resistencia rotorica a cc.</p>
<p><b>Cálculo de reactancia equivalente a cc</b></p> <p>Para rotor bloqueado <math>f_{rotor} = f_{estator} = 1</math></p>	
<p><math>X_{cc} = Z_{cc} \times \text{Sen } \theta_{cc} = j 3,35 \zeta</math></p> <p><math>X_{eq} = X_{cc} \cdot (f_{estator} / f_{rotor})</math></p> <p><math>X_{eq} = j3,492 \zeta</math></p>	

**i. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA**

1.- Texto CHAPMAN STEPHEN J. MÁQUINAS ELÉCTRICAS, MC GRAW HILL, 1997.

2.- IRVING KOSOW -MÁQUINAS ELÉCTRICAS Segunda edición, PRENTICE HALL, 1993

**j. CRONOGRAMA/CALENDARIO**

De acuerdo a la planificación de cada docente.

**3. ACTIVIDADES ANEXAS**

**1.- Tipo de frenos electromecánicos para motores jaula de ardilla**

a.- Construcción

b.- Ensamblajes, modelos

**2.- Tipos de aplicaciones de los frenos en los MIJA**

a.- Para motores de inducción de baja inercia de frenado

b.-Para motores de alta inercia de frenado

**3.- Fabricantes de frenos electromecánicos para motores**

a.- Fabricantes europeos

b.- Fabricantes asiáticos

c.- Fabricantes americanos

**4.- Proyecto:**

Desarrolle los cálculos para un sistema de frenado de un motor de baja inercia de frenado 50hp /440vac/4 polos/fp 0.92/

## 4.5 PRÁCTICA # 5

### 1. DATOS INFORMATIVOS

- a. **MATERIA:** MAQUINARIAS ELÉCTRICAS II
- b. **PRÁCTICA N° 5**
- c. **NÚMERO DE ESTUDIANTES:** 20
- d. **NOMBRE DE DOCENTE:** Ing. Otto Astudillo
- e. **TIEMPO ESTIMADO:** 2 horas

### 2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- a. **TEMA:** Prueba Con Corriente Directa Al Bobinado Del motor MIJA
- b. **OBJETIVO GENERAL:**

Calcular la resistencia por fase del devanado estático del motor HAMPDEN WRM-300 para definir el equivalente Thevenin. En conjunto con los datos de la práctica # 3 y # 4

- c. **OBJETIVO ESPECÍFICOS:**

- 1. Visualizar y registrar los parámetros VDC e IDC por fase.
- 2. Determinar la resistencia por fase del devanado estático.
- 3. Calcular las componentes de las reactancias del estator, rotor y de magnetización.
- 4. Presentar conclusiones

- d. **MARCO TEÓRICO:**

- 1. Principio de funcionamiento del motor asíncrono.
- 2. Fundamentos de circuitos trifásicos.
- 3. Fundamentos de tipos de arranques.
- 4. Equivalente Thévenin y sus aplicaciones

- e. **MARCO PROCEDIMENTAL**

- 1. Revisar procedimiento sección 4.2.1 /4.2.2
- 2. Revisar diagrama de conexiones anexas.
- 3. Utilizar el tablero de prueba para controlar el motor MIJA

4. Seleccionar las bobinas A y B que se conectaran en serie, los bornes libres de esta conexión servirán para conectar los terminales de la fuente de voltaje de 24VDC.
5. Tomar las mediciones indicadas.

**f. RECURSOS UTILIZADOS:**

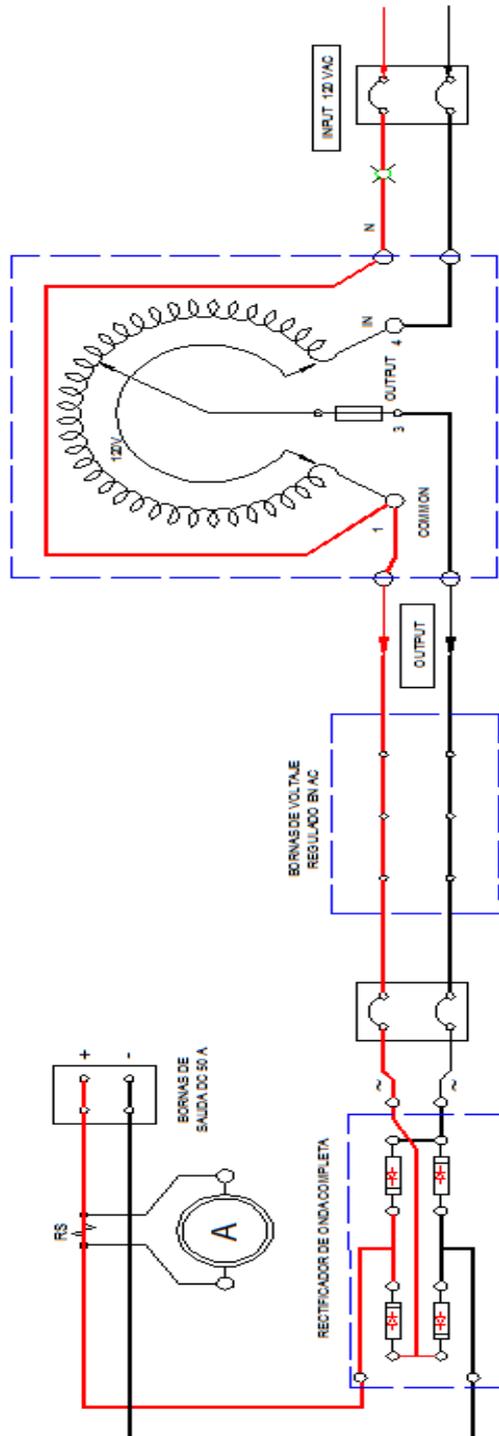
**Materiales y Equipos**

1. Tablero de pruebas didáctico
2. Fuente de voltaje de 24 VDC – 50AMP.
3. Amperímetro 0-10 Amp. Voltímetro 0-500V AC
4. Motor MIJA HAMPDEN WR-300.

**g. REGISTRO DE RESULTADOS:**

1. Tabla de prueba N° 1.
2. Cálculos realizados.
3. Cuestionario de preguntas.
4. Observaciones, comentarios y conclusiones.

**PRUEBA 1:** Funcionamiento de la fuente DC-50AMP -24 DC



PRÁCTICA # 5  
TABLA DE PRUEBAS # 1

VDC	IDC	R

## **CUESTIONARIO DE PREGUNTAS**

- 1.- ¿Qué es resistencia estática de un motor MIJA? de ejemplos.
- 2.- Explique los pasos a seguir para realizar la prueba a DC.
- 3.- ¿Cuál es la frecuencia del rotor y del estator durante la ejecución de esta prueba y por qué?
- 4.- Explique que es el equivalente Thévenin.
- 5.- Mencione las ventajas de desarrollar el modelo matemático del motor.
- 6.- ¿Qué efectos produce el voltaje DC en el motor asíncrono? Explique.

## **OBSERVACIONES:**

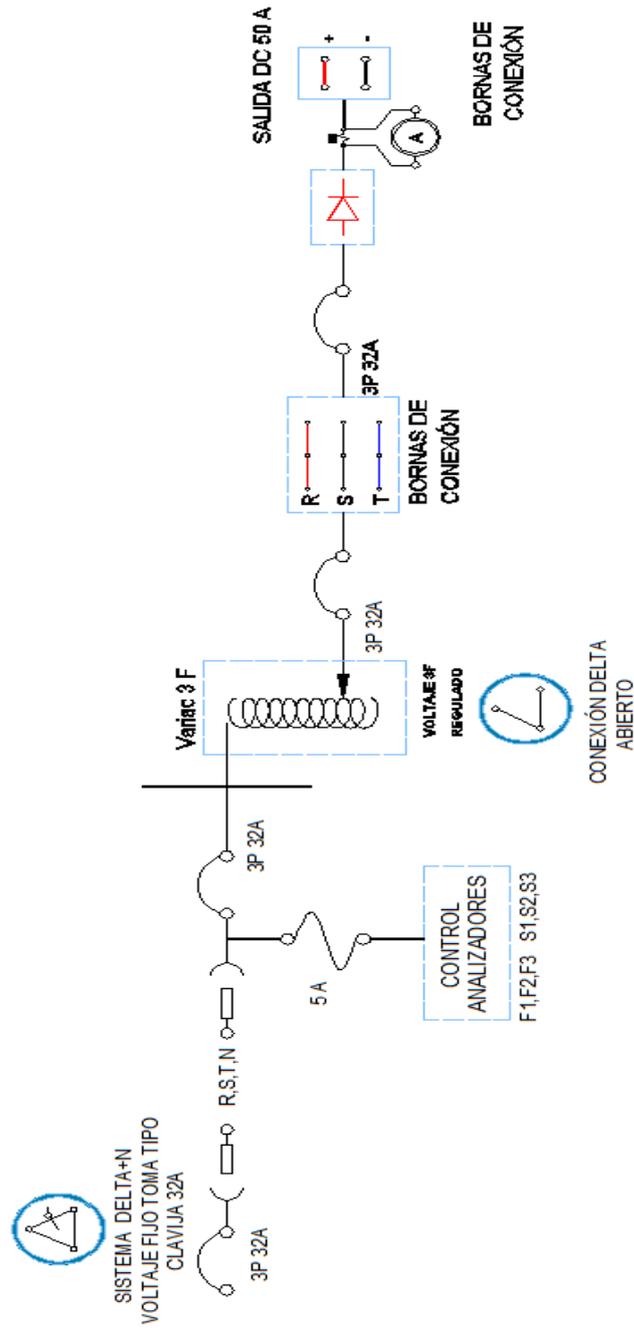
Al realizar esta práctica se debe de tener cuidado de no exceder el valor de la carga máxima que pueden soportar los conductores utilizados, ya que de sobrepasar los 10amp el aislamiento tiende a deformarse por la temperatura que se genera con este valor de corriente.

Para esta prueba Aplicar  $V_{CD} < = 10\% V_{nominal}$  como máximo ya que a este valor se obtiene aproximadamente la  $I_{nominal}$  del motor.

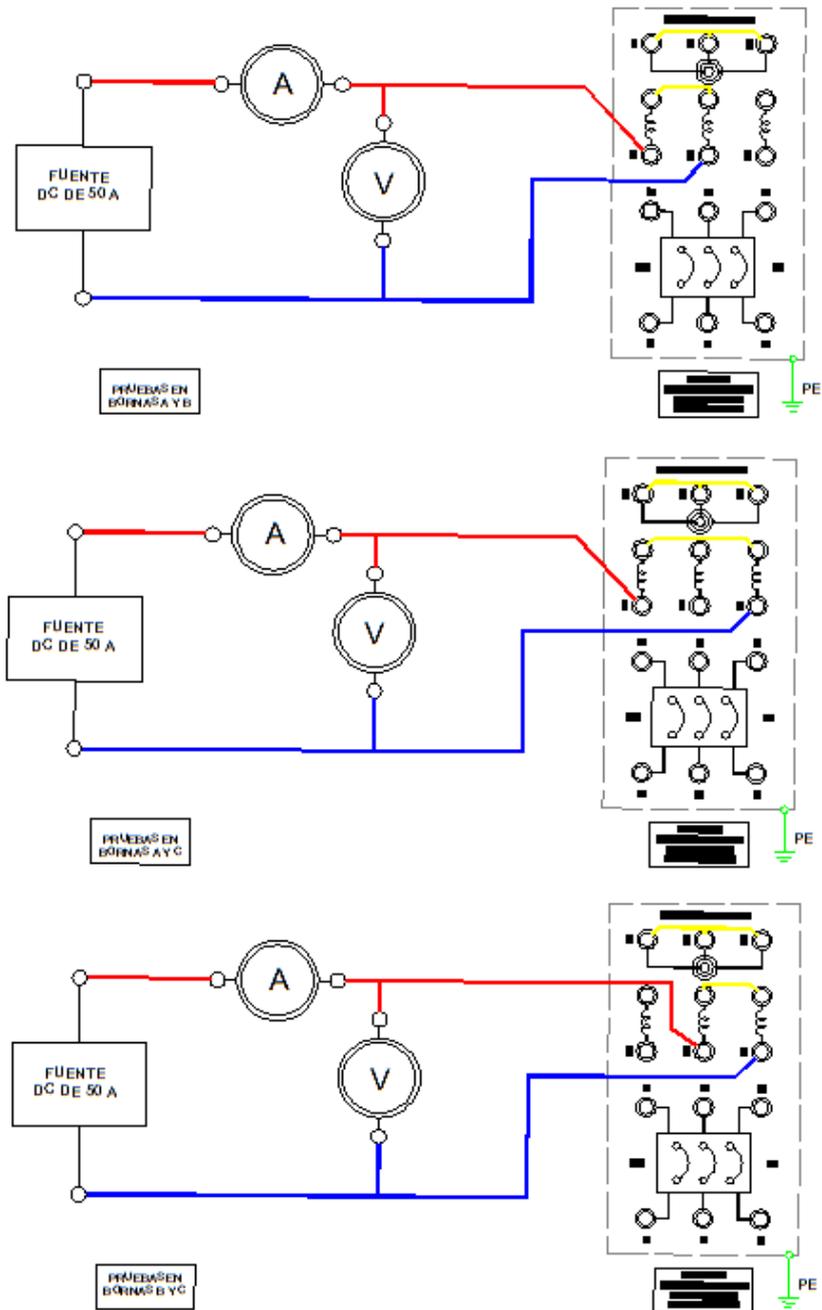
## **h. ANEXOS**

- 1.- Diagrama Eléctrico unifilar
- 2.- Diagrama De Conexiones multifilar
- 3.- Tabla Para Mediciones

# Diagrama Eléctrico unifilar



## Diagrama conexión multifilar.



## TABLA DE RESULTADOS

DATO	VOLTAJE	CORRIENTE
FASE A-B	11	8,77
DATO	VOLTAJE	CORRIENTE
FASE B-C	11	8,79
DATO	VOLTAJE	CORRIENTE
FASE C-A	11	8,84

### CÁLCULOS:

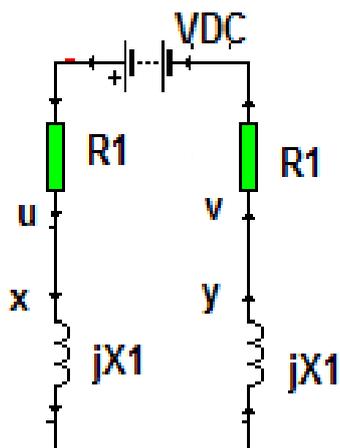
#### Resistencia por fase del devanado estático ( $R_1$ )

Aplicar  $V_{CD} \leq 10\% V$  nominal

Reactancia = 0; por efecto de voltaje C.C.

Dato prueba 2:  $X_{eq} = j3,123\Omega$

#### Esquema de conexión eléctrica:



#### Calculo $R_1$

$$V_{CD} = 2R_1 \cdot I_{CD}$$

**Resistencia estator**

$$R_1 = V_{CD} / (2 \times I_{CD})$$

$$R_1 = 11 / (2 \times 8,77)$$

$$R_1 = 0,627 \Omega$$

Figura 14: Conexión eléctrica prueba en DC

Fuente: El autor

## Modelo real por fase de un motor de inducción

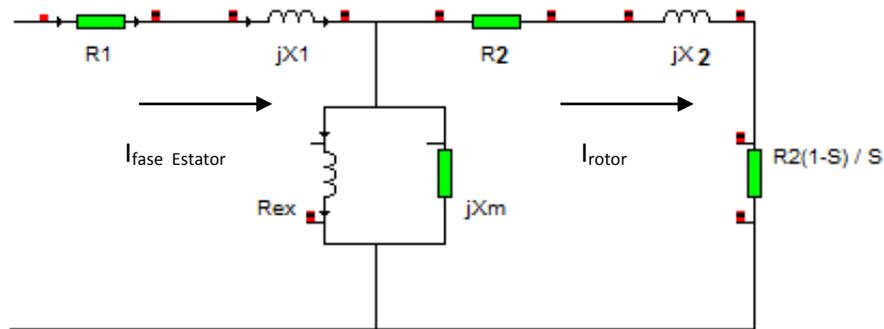


Figura 15: Modelo eléctrico del motor de inducción

Fuente: El autor

### Datos finales:

$$R_1 = 0,627 \, \Omega$$

$$R_2 = 0,467 \, \Omega$$

Con los valores de  $R_1$  y  $R_2$  podemos definir los valores del modelo eléctrico.

Dado que las máquinas de inducción cumplen con la siguiente aproximación

$jX_1 = 40\% X_{EQ}$  y  $jX_2 = 60\% X_{EQ}$ . Podemos calcular las componentes:

#### Reactancias del estator

$$jX_1 = 40\% X_{EQ}$$

$$jX_1 = (0,40 \times 3,492)$$

$$jX_1 = 1,396 \, \Omega$$

#### Reactancias del motor

$$jX_2 = 60\% X_{EQ}$$

$$jX_2 = (0,60 \times 3,492)$$

$$jX_2 = 2,095 \, \Omega$$

#### Reactancias del núcleo

$$Z_{CA} = j(X_1 + X_M) \, \Omega$$

$$X_M = Z_{CA} - jX_1$$

$$X_M = 23,41 - (0,4 \times 3,123)$$

$$jX_M = 22,014 \, \Omega$$

#### Reactancias equivalente $f_r = f_s$

$$X_{eq} = X_{cc} \cdot (f_{estator} / f_{rotor})$$

$$X_{eq} = j3,492 \, \Omega$$

**i. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA**

1.- Texto CHAPMAN STEPHEN J. MÁQUINAS ELÉCTRICAS, MC GRAW HILL, 1997.

2.- IRVING KOSOW -MÁQUINAS ELÉCTRICAS Segunda edición, PRENTICE HALL, 1993

**j. CRONOGRAMA/CALENDARIO**

De acuerdo a la planificación de cada docente.

**3. ACTIVIDADES ANEXAS**

**1.- Tipos de bobinados motores jaula de ardilla**

a.- Construcción

b.- Características y aplicaciones

c.- Ensamblajes, modelos

**2.- Efectos del paso de bobina en estatores MIJA**

a.- El ancho de bobina en los motores de dos polos y cuatro polos

b.- Voltaje inducido en una bobina de paso fraccionario.

**3.- Proyecto:**

Desarrollar los cálculos para un bobinado distribuido de paso fraccionario de una sola capa para un motor de 50hp /440vac/ 4 polos

## 4.6 PRÁCTICA # 6

### 1. DATOS INFORMATIVOS

- a. **MATERIA:** MAQUINARIAS ELÉCTRICAS II
- b. **PRÁCTICA N° 6**
- c. **NÚMERO DE ESTUDIANTES:** 20
- d. **NOMBRE DE DOCENTE:** Ing. Otto Astudillo
- e. **TIEMPO ESTIMADO:** 2 horas

### 2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- a. **TEMA:** Arranque del motor asíncrono a tensión regulada
- b. **OBJETIVO GENERAL:**  
Experimentar el fenómeno de arranque de un motor a tensión reducida y analizar sus beneficios.
- c. **OBJETIVO ESPECÍFICOS:**
  - 1. Medir la corriente de arranque con este método y compararla con el método de arranque directo.
  - 2. Realizar pruebas en vacío registrar valores
  - 3. Realizar pruebas con carga y registrar valores
  - 4. Graficar voltaje vs velocidad, Corriente vs voltaje. Con carga
  - 5. Graficar voltaje vs velocidad, Corriente vs voltaje. Sin carga
- d. **MARCO TEÓRICO:**
  - 1.- Fundamento de máquina asíncrona, torque, velocidad
  - 2.- Tipos de arranques, conexiones y aplicaciones
  - 3.- Fundamentos de sistemas trifásicos
- e. **MARCO PROCEDIMENTAL**
  - 1. Conectar el motor según lo indicado en el 4.1.2 de este documento
  - 2. Proceder a conectar los bornes del motor MIJA – HAMPDEN WRM-300 desde la barra BZ-RSTN. A 220VAC. (Ver figura )
  - 3. Por medio del variac -3F empezamos a regular el voltaje que suministra de energía al motor HAMPDEN. La regulación se debe

hacer en 4 pasos de 25% del voltaje nominal. Usando los analizadores se puede controlar la lectura.

**f. RECURSOS UTILIZADOS:**

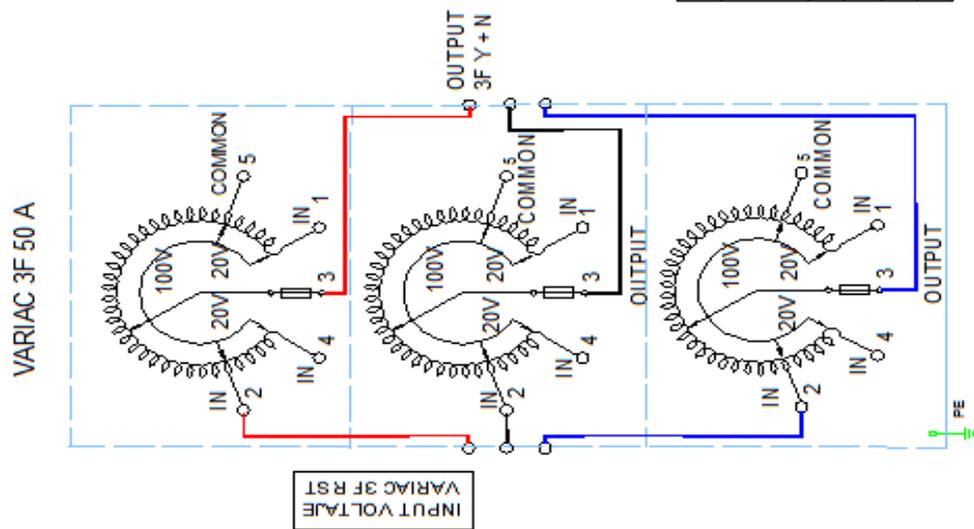
**Materiales y Equipos**

1. Tablero de Prueba didáctico
2. Motor HAMPDEN WR-300
3. Amperímetro 0-10 Amp; Voltímetro 0-500V AC
4. Dinamómetro analógico HAMPDEN
5. Terminales varios

**g. REGISTRO DE RESULTADOS:**

1. Tabla de prueba N° 1.
2. Cálculos realizados.
3. Cuestionario de preguntas.
4. Observaciones, comentarios y conclusiones.

**PRUEBA 1: Funcionamiento del Variac 3F- 220VAC- Y+N**



**TABLA DE VOLTAJES**

PORCENTAJE REGULADO	VL1	VL2	VL3	VLN	LOAD	I amp
25%					10	
50%					10	
75%					10	
100%					10	

## **CUESTIONARIO DE PREGUNTAS**

- 1.- ¿Qué es resistencia estática de un motor MIJA? de ejemplos.
- 2.- Explique los pasos a seguir para realizar la prueba a DC.
- 3.- ¿Cuál es la frecuencia del rotor y del estator durante ejecución de esta prueba y por qué?
- 4.- Explique que es el equivalente Thévenin.
- 5.- Mencione las ventajas de desarrollar el modelo matemático del motor.
- 6.- ¿Qué efectos produce el voltaje DC en el motor? Explique.

## **OBSERVACIONES:**

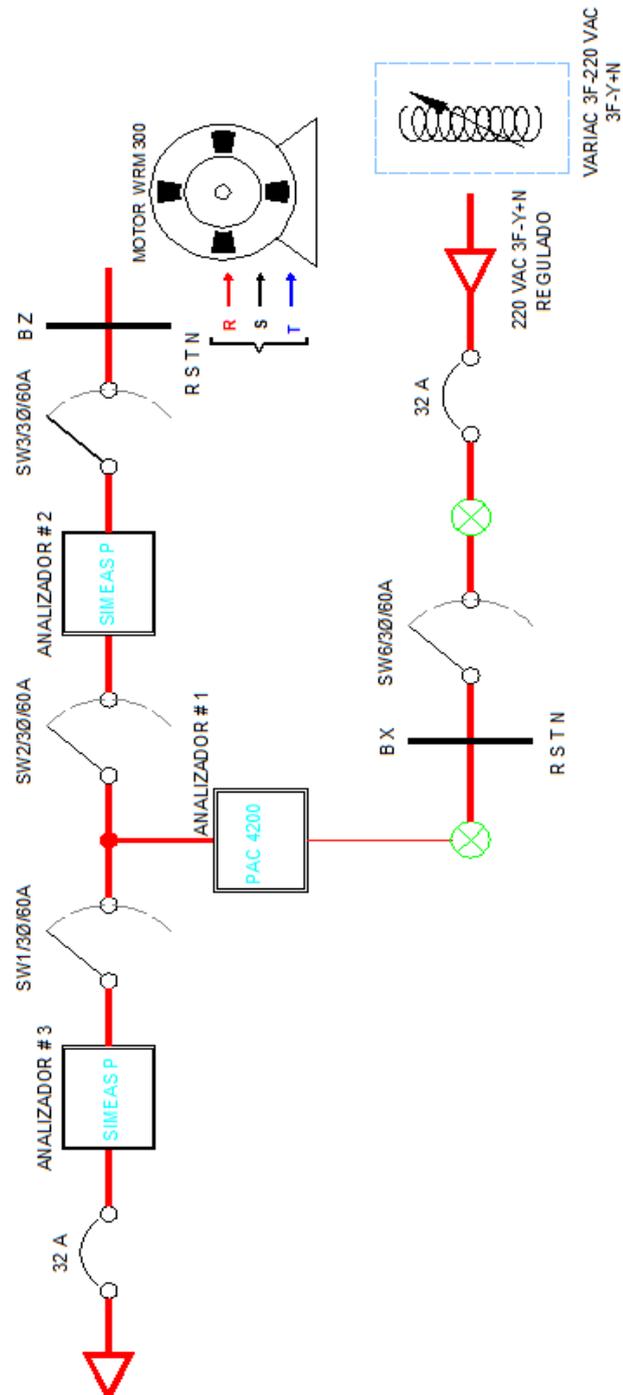
Al realizar esta práctica se debe de tener cuidado de no exceder el valor de la carga máxima que puede soportar los conductores utilizados, ya que de sobrepasar los 10amp. el aislamiento tiende a deformarse por la temperatura que se genera con este valor de corriente.

Para esta prueba Aplicar  $V_{CD} < = 10\% V_{nominal}$  como máximo ya que a este valor se obtiene aproximadamente la  $I_{nominal}$  del motor.

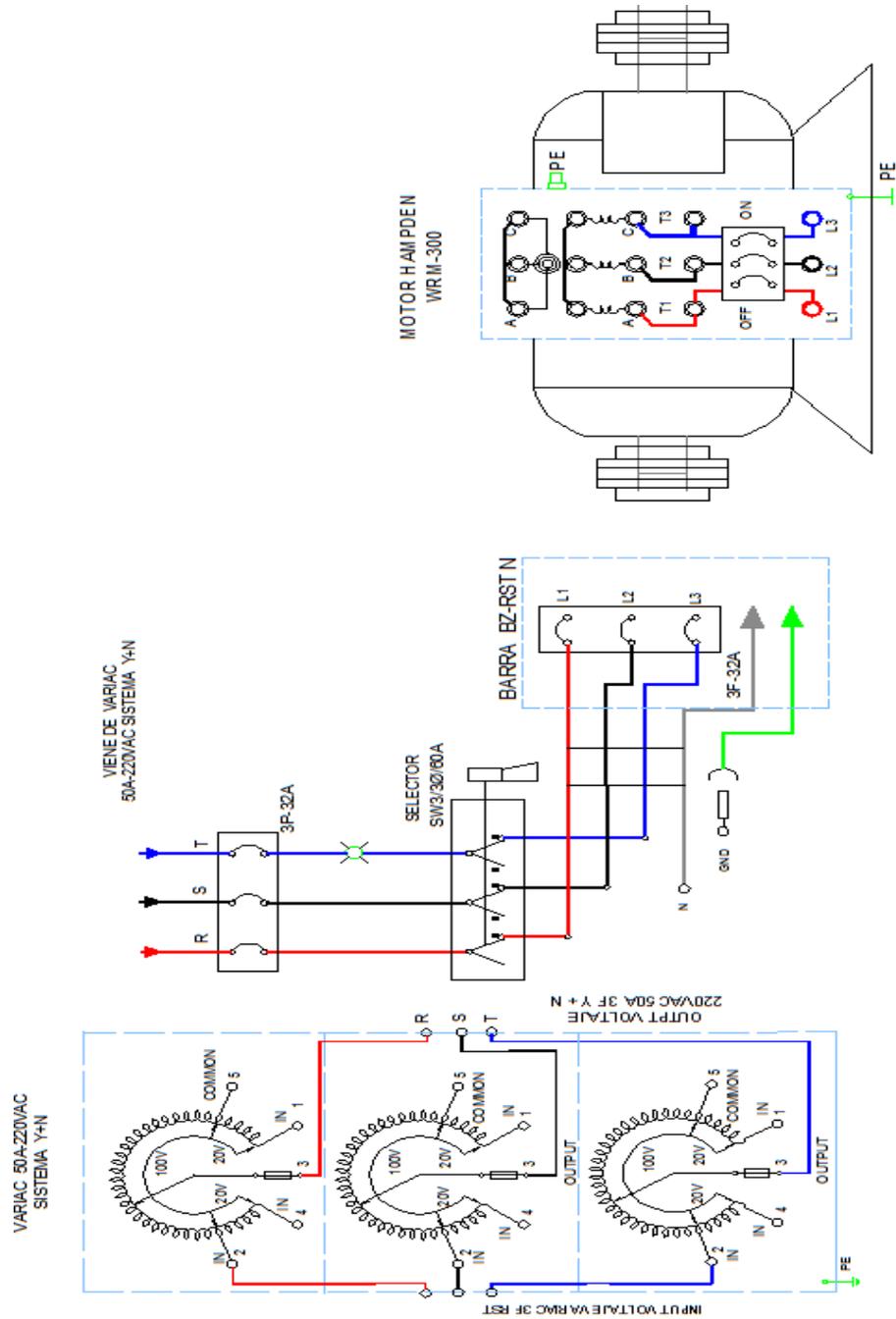
## **h. ANEXOS**

- 1.- Diagrama Eléctrico unifilar
- 2.- Diagrama De Conexiones multifilar
- 3.- Tabla Para Mediciones

# Diagrama Eléctrico unifilar



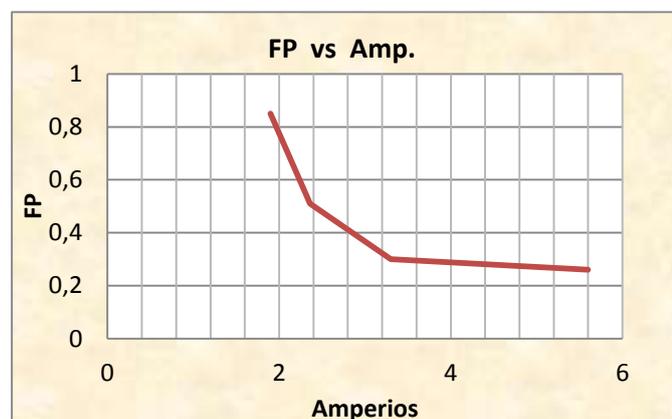
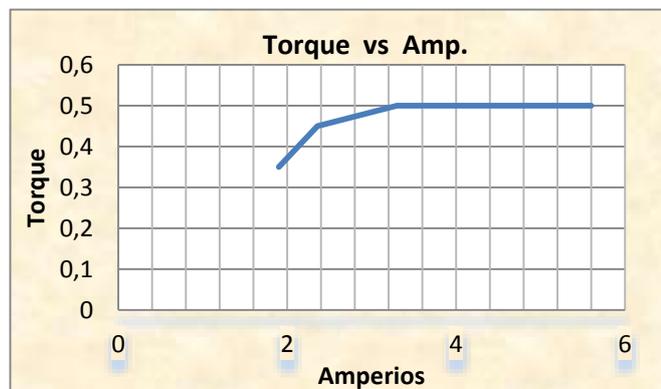
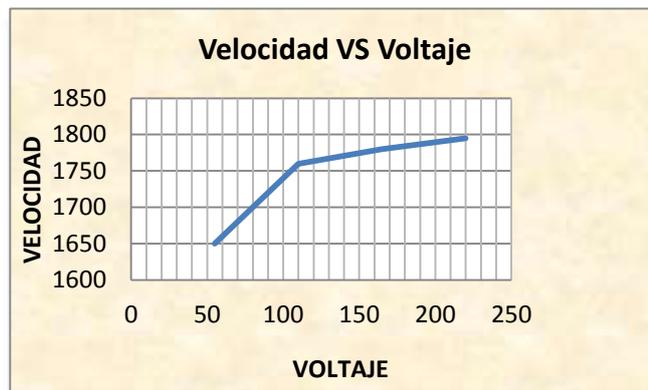
## Diagrama conexión multifilar



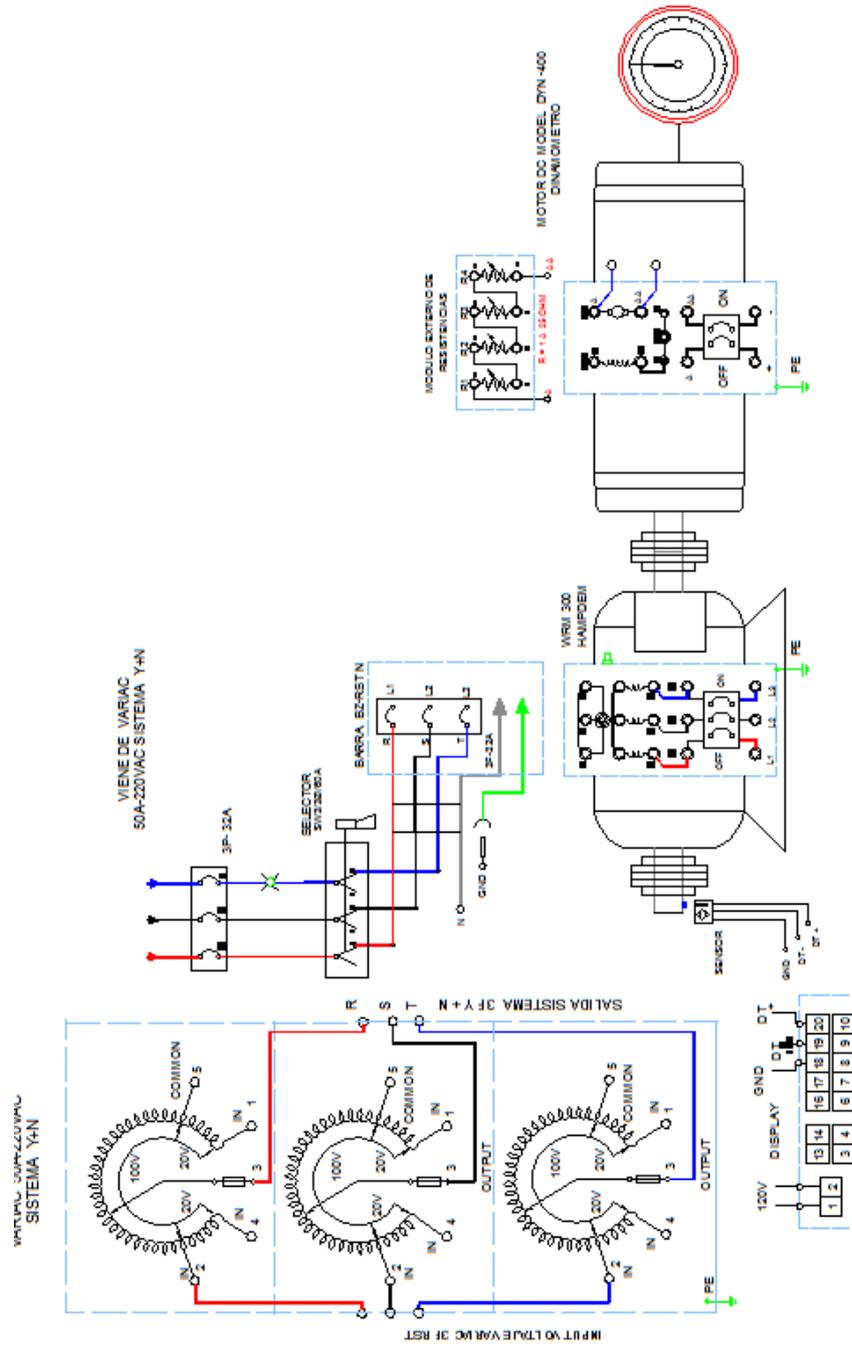
## TABLA DE RESULTADOS

### Medición sin Carga

MOTOR HAMPDEN WRM 300						CARGA	
VLL (V)	I(A)	FP	P (kw)	Q (kvar)	S (kva)	$T_n$ (Nm)	$n_s$ (rpm)
55	1,9	0,85	0,16	0,09	0,18	0,35	1650
110	2,36	0,51	0,22	0,35	0,43	0,45	1760
165	3,3	0,3	0,32	0,85	0,93	0,5	1780
220	5,6	0,26	0,57	1,91	1,97	0,5	1795

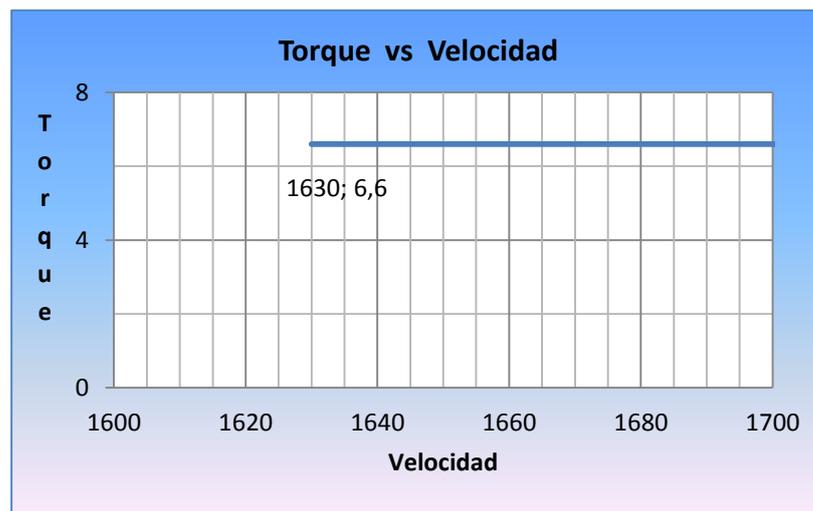
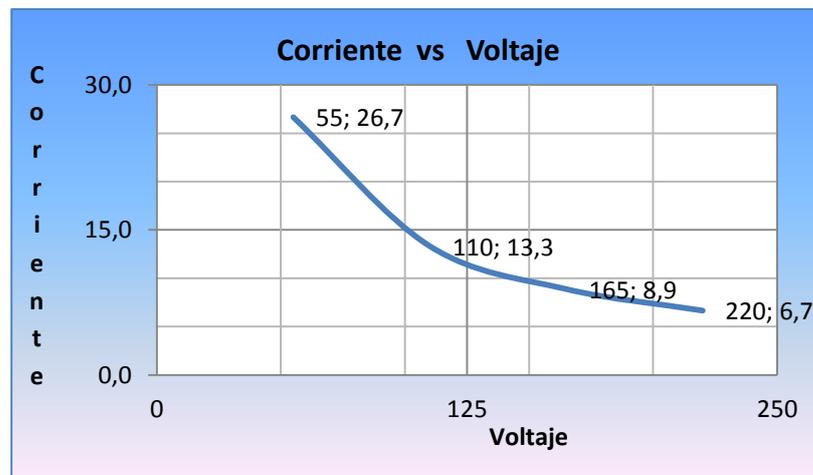


# Diagrama conexión multifilar



## PRUEBA CON VOLTAJE VARIABLE CON CARGA

MOTOR HAMPDEN WRM 300						MOTOR DYN 400			CARGA		
VLL (V)	I(A)	FP	P (kw)	Q (kvar)	S (kva)	Vcamp. (VDC)	Icamp. (Amp)	Iarm. (Amp)	Tn (Nm)	ns (rpm)	S%
55	26,7	0,72	1,75	1,9	2,45	100	0,6	10	6,6	1630	
110	13,3	0,72	1,75	1,9	2,45	100	0,6	10	6,6	1710	
165	8,9	0,72	1,75	1,9	2,45	100	0,6	10	6,6	1710	
220	6,7	0,72	1,75	1,9	2,45	100	0,6	10	6,6	1710	



**i. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA**

1.- Texto CHAPMAN STEPHEN J. MÁQUINAS ELÉCTRICAS, MC GRAW HILL, 1997.

2.- IRVING KOSOW -MÁQUINAS ELÉCTRICAS Segunda edición, PRENTICE HALL, 1993

**j. CRONOGRAMA/CALENDARIO**

De acuerdo a la planificación de cada docente.

**3. ACTIVIDADES ANEXAS**

**1.- Tipos de bobinados motores jaula de ardilla**

a.- Construcción

b.- Características y aplicaciones

c.- Ensamblajes, modelos

**2.- Efectos del paso de bobina en estatores MIJA**

a.- El ancho de bobina en los motores de dos polos y cuatro polos

b.- Voltaje inducido en una bobina de paso fraccionario

**3.- Proyecto:**

Desarrollar los cálculos para un bobinado distribuido de paso fraccionario de una sola capa para un motor de 50hp /440vac/ 4 polos

## 4.7 PRÁCTICA # 7

### 1. DATOS INFORMATIVOS

- a. **MATERIA:** MAQUINARIAS ELÉCTRICAS II
- b. **PRÁCTICA:** N° 7
- c. **NÚMERO DE ESTUDIANTES:** 20
- d. **NOMBRE DE DOCENTE:** Ing. Otto Astudillo
- e. **TIEMPO ESTIMADO:** 2 horas

### 2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- a. **TEMA:** Arranque con carga nominal

- b. **OBJETIVO GENERAL:**

Conocer el comportamiento del motor con carga fija, cuando arranca sin ningún dispositivo de control.

- c. **OBJETIVO ESPECÍFICOS:**

- 1.- Realizar las mediciones de voltaje, torque, corriente, velocidad, FP
- 2.- Realizar la gráficas de torque vs velocidad y torque vs corriente
- 3.- Experimentar los efectos de un arranque directo a plena carga

- d. **MARCO TEÓRICO:**

- 1.- Fundamento de máquina asíncrona, torque, velocidad
- 2.- Tipos de arranques, conexiones y aplicaciones
- 3.- Fundamentos de sistemas trifásicos

- e. **MARCO PROCEDIMENTAL**

- 1.- Revisar procedimiento sección 4.2.1 /4.2.2 /4.2.3 /4.2.5 /4.2.6
- 2.- Revisar diagrama de conexiones anexas
- 3.- Utilizar el tablero de prueba para controlar el motor MIJA
- 4.- Tomar las mediciones indicadas

**f. RECURSOS UTILIZADOS:**

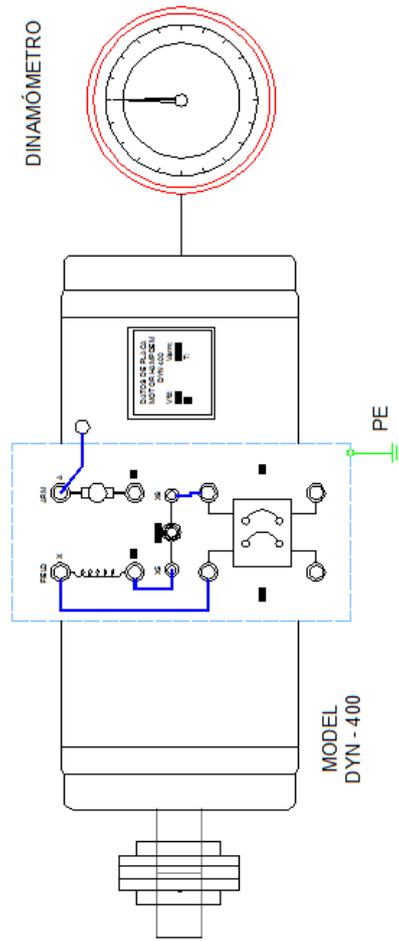
**Materiales y Equipos**

- 1.- Tablero de Prueba didáctico
- 2.- Banco de resistencias variables
- 3.- Motor HAMPDEN WRM-300 y máquina DYN-400
- 4.- Amperímetro 0-10 Amp; Voltímetro 0-500V AC
- 5.- Terminales varios

**g. REGISTRO DE RESULTADOS:**

- 1.- Tabla Prueba N°1
- 2.- Cálculos realizados (ver en las tablas)
- 3.- Cuestionario de preguntas
- 4.- Observaciones-conclusiones

**PRUEBA 1: Levantar datos de placas de motor DYN-400**



**TABLA PRUEBA N°1 DATOS MOTOR WYN - 400**

V fd (V)	I fd (A)	V arm	I arm	P(kw)	n(rpm)	F.S

## **CUESTIONARIO DE PREGUNTAS**

- 1.- ¿Cuál es la diferencia entre arranque en vacío y arranque a plena carga?
- 2.- Explique que es contra torque y aplique con un ejemplo
- 3.- ¿Cuál es la diferencia entre velocidad síncrona y velocidad asíncrona?
- 4.- Explique qué es un motor jaula de ardilla
- 5.- ¿Qué fenómeno se visualiza cuando al motor se le aplica la máxima carga?
- 6.- ¿Qué porcentaje de la velocidad varió a máxima carga?

## **OBSERVACIONES:**

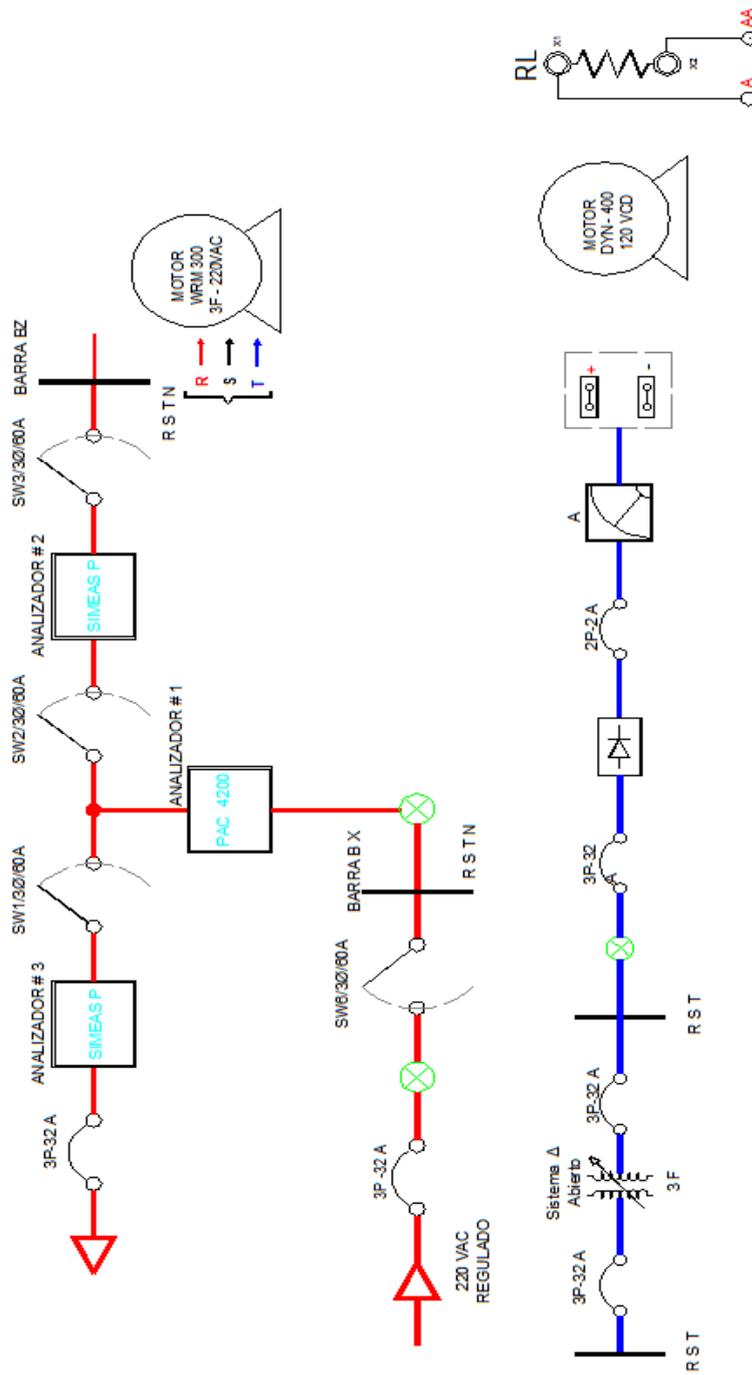
Al realizar esta práctica se debe de tener cuidado de no exceder el valor de la carga máxima que puede soportar los conductores utilizados, ya que de sobrepasar los 10amperios el aislamiento tiende a deformarse por la temperatura que se genera con este valor de corriente.

Adicional se debe de controlar el voltaje del campo del dinamómetro el cual no debe de exceder de 100 Vdc y 0,9 amperios para evitar daños en el equipo.

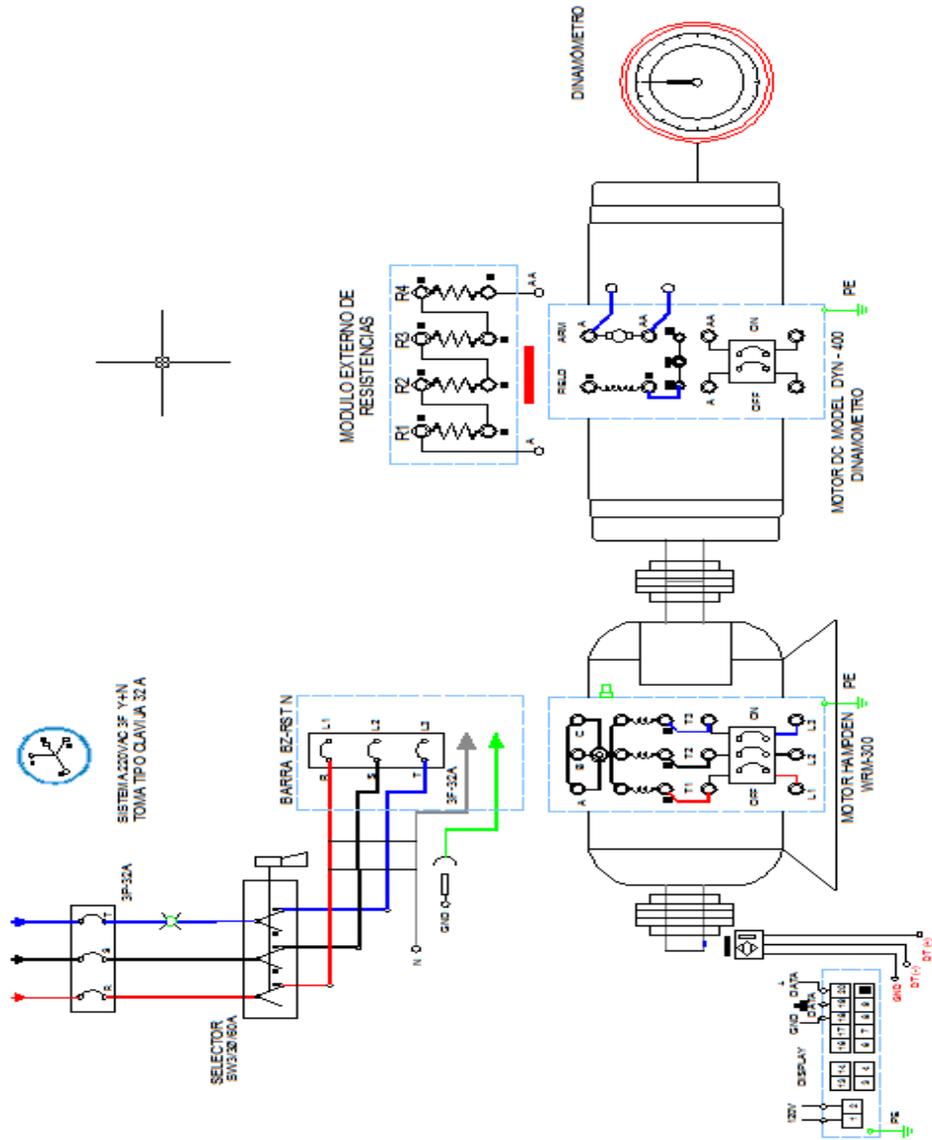
## **h. ANEXOS**

- 1.- Diagrama Eléctrico unifilar
- 2.- Diagrama De Conexiones multifilar
- 3.- Tabla Para Mediciones

# Diagrama Eléctrico Unifilar

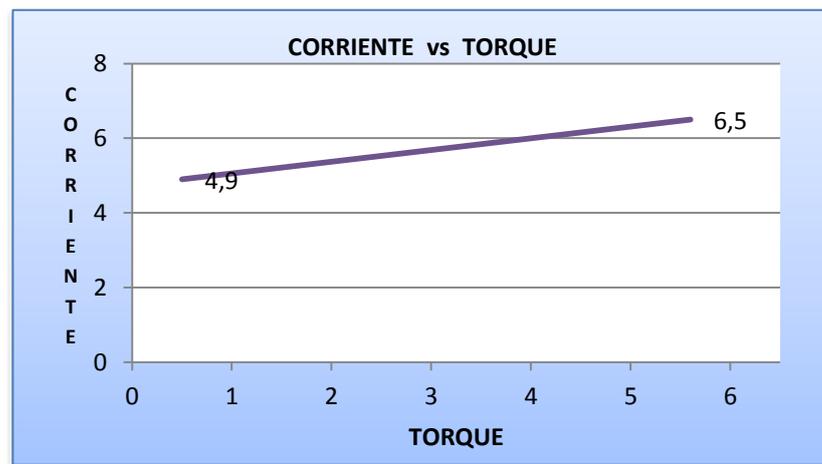


# Diagrama Eléctrico Multifilar



## TABLA DE RESULTADOS

MOTOR HAMPDEN WRM 300						MOTOR DYN 400			CARGA		
VLL (V)	I(A)	FP	P (kw)	Q (kvar)	S (kva)	Vcamp. (VDC)	Icamp. (Amp)	Iarm. (Amp)	Tn (Nm)	ns (rpm)	S%
219	4,9	0,31	0,64	1,85	2,05	10	0,2	0,5	0,5	1780	
219	6,5	0,69	1,75	1,9	2,45	120	0,65	10	5,6	1727	



**i. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA**

1.- Texto CHAPMAN STEPHEN J. MÁQUINAS ELÉCTRICAS, MC  
GRAW HILL, 1997.

2.- IRVING KOSOW -MÁQUINAS ELÉCTRICAS Segunda edición,  
PRENTICE HALL, 1993

**j. CRONOGRAMA/CALENDARIO**

De acuerdo a la planificación de cada docente.

**3. ACTIVIDADES ANEXAS**

**1.- Tipo de motores jaula de ardilla**

a.- Construcción

b.- Ensamblajes, modelos

c.- Arranques

**2.- Tipos de protecciones eléctricas de los MIJA**

a.- Por sobrecarga

b.-Por sobre tensión

c.- Por temperatura

**3.- Fabricantes de motores**

a.- Fabricantes europeos

b.- Fabricantes asiáticos

c.- Fabricantes americanos

**4.- Proyecto:**

Diseñe un sistema de arranque directo con protecciones para un  
motor de 100hp /440vac/4 polos/fp 0.92/

## 4.8 PRÁCTICA # 8

### 1. DATOS INFORMATIVOS

- a. **MATERIA:** MAQUINARIAS ELÉCTRICAS II
- b. **PRÁCTICA:** N° 8
- c. **NÚMERO DE ESTUDIANTES:** 20
- d. **NOMBRE DE DOCENTE:** Ing. Otto Astudillo
- e. **TIEMPO ESTIMADO:** 2 horas

### 2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- a. **TEMA:** Prueba con carga variable motor asíncrono
- b. **OBJETIVO GENERAL:**

Conocer el comportamiento del motor asíncrono con carga variable a medida que se incrementa la carga por medios manuales.
- c. **OBJETIVO ESPECÍFICOS:**
  - 1.- Realizar las mediciones de las variables voltaje, torque, corriente, velocidad a diferentes valores de carga
  - 2.- Realizar la gráficas de torque vs velocidad y corriente vs torque
  - 3.- Presentar los comentarios de estos fenómenos.
- d. **MARCO TEÓRICO:**
  - 1.- Fundamento de máquina asíncrona, torque, velocidad
  - 2.- Fundamento de máquinas DC, conexiones y aplicaciones
  - 3.- Fundamentos de sistemas trifásicos
- e. **MARCO PROCEDIMENTAL**
  - 1.- Revisar procedimiento sección 4.2.1 /4.2.2 /4.2.3 /4.2.5 /4.2.6
  - 2.- Revisar diagrama de conexiones anexas
  - 3.- Utilizar el tablero de prueba para controlar el motor MIJA
  - 4.- Tomar las mediciones indicadas

**f. RECURSOS UTILIZADOS:**

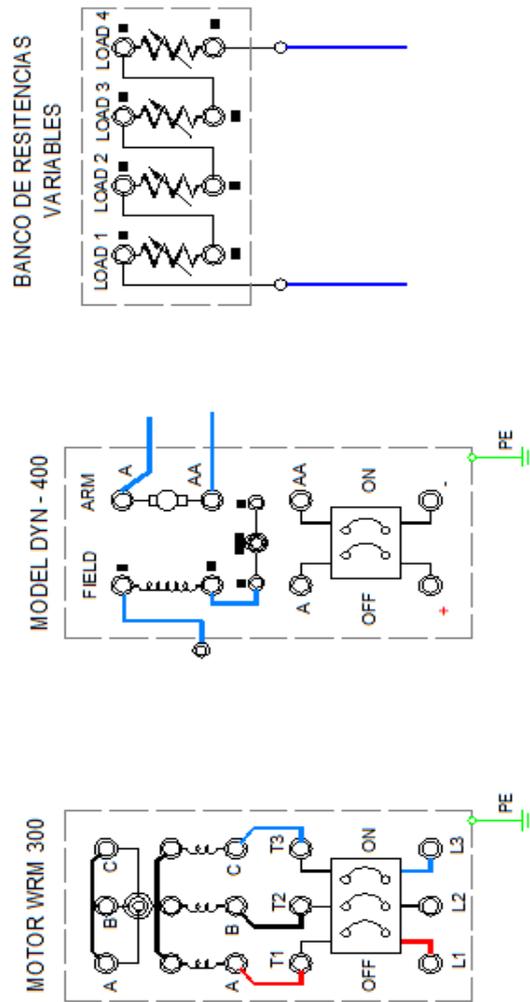
**Materiales y Equipos**

- 1.- Tablero de Prueba didáctico
- 2.- Banco de resistencias variables
- 3.- Motor HAMPDEN WRM-300 y máquina DYN-400
- 4.- Amperímetro 0-10 Amp; Voltímetro 0-500V AC
- 5.- Terminales varios

**g. REGISTRO DE RESULTADOS:**

- 1.- Tabla Prueba N°1
- 2.- Cálculos realizados (ver en las tablas)
- 3.- Cuestionario de preguntas
- 4.- Observaciones-conclusiones

**PRUEBA 1:** Medición de aislamiento de equipos WRM-300 DY-N400 y banco de resistencias.



**TABLA #1**

**MEDICION DE AISLAMIENTO EN MOTOR HAMPDEM WRM-300 Y DYN-400 Y BANCO DE RESISTENCIAS**

MOTOR HAMPDEM WRM 300		MOTOR HAMPDEM DYN-400		BANCO DE RESISTENCIAS	
FAB		FIELD		R1	
FBC		ARM		R2	
FCA				R3	

## **CUESTIONARIO DE PREGUNTAS**

- 1.- ¿Cuál es la diferencia entre arranque a plena carga y carga variable?
- 2.- ¿Cuándo se presenta el contra torque? , explique con un ejemplo
- 3.- ¿Cuál es la diferencia entre velocidad en vacío y velocidad con carga?
- 4.- Explique cómo se comporta campo el magnético del rotor con carga y sin carga
- 5.- ¿Qué fenómeno se visualiza cuando al motor se le aplica la máxima carga?
- 6.- Con la carga máxima, determine el deslizamiento en porcentaje.

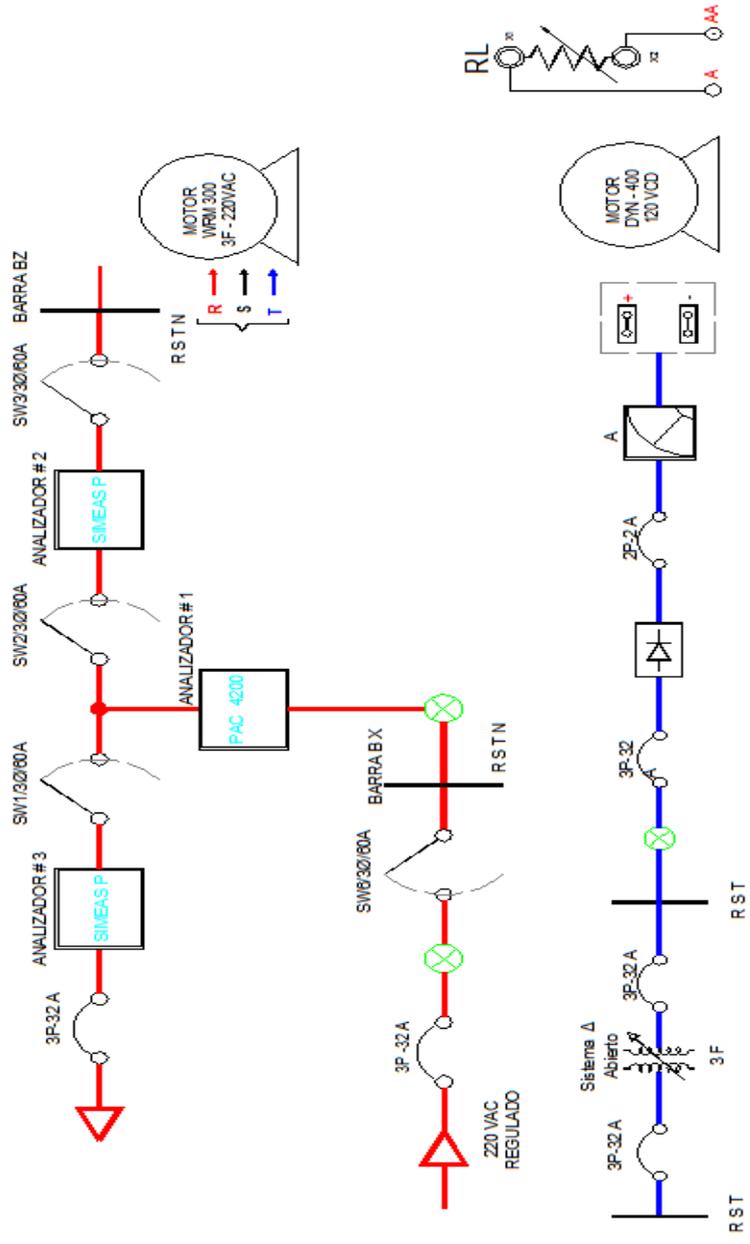
### **OBSERVACIONES:**

Al realizar esta práctica se debe de tener cuidado de no exceder el valor de la carga máxima que puede soportar los conductores utilizados, ya que de sobrepasar los 10amp. el aislamiento tiende a deformarse por la temperatura que se genera con este valor de corriente.

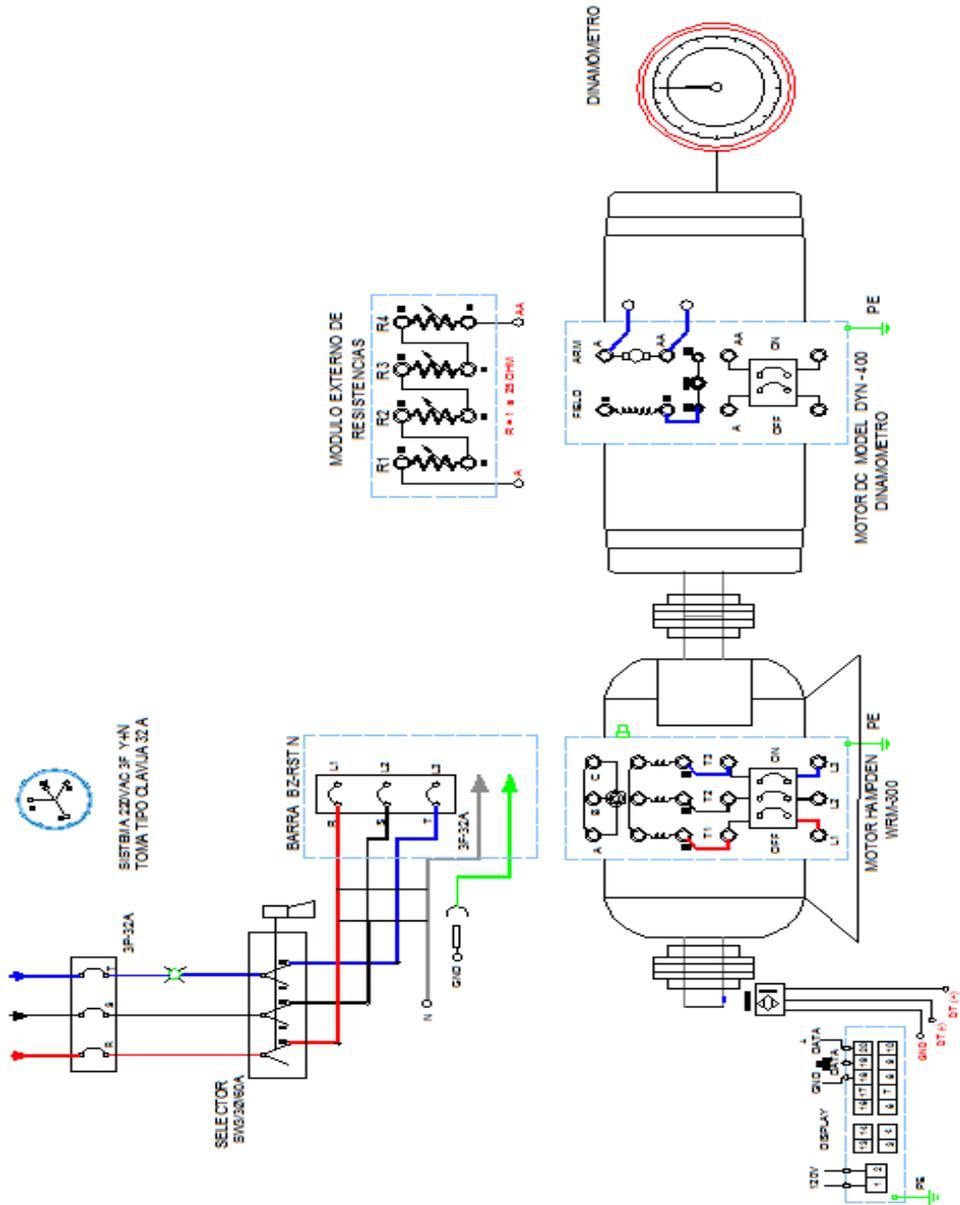
### **h. ANEXOS**

- 1.- Diagrama Eléctrico unifilar
- 2.- Diagrama De Conexiones multifilar
- 3.- Tabla Para Mediciones

# Diagrama Eléctrico Unifilar



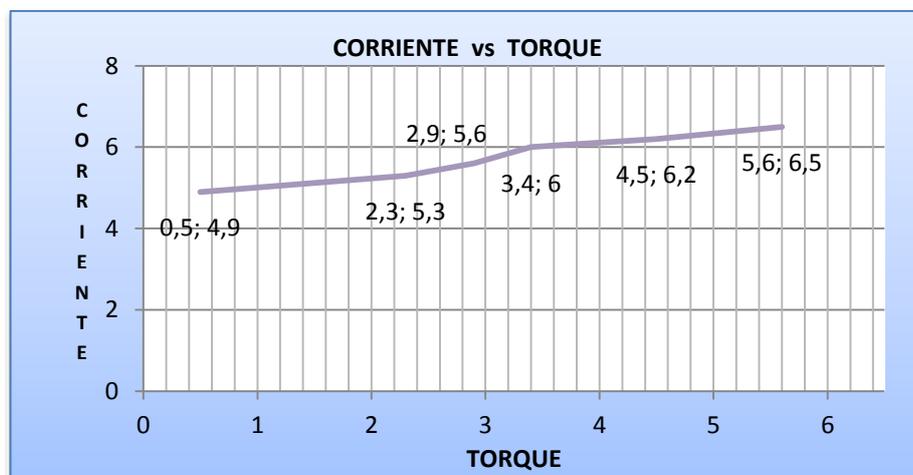
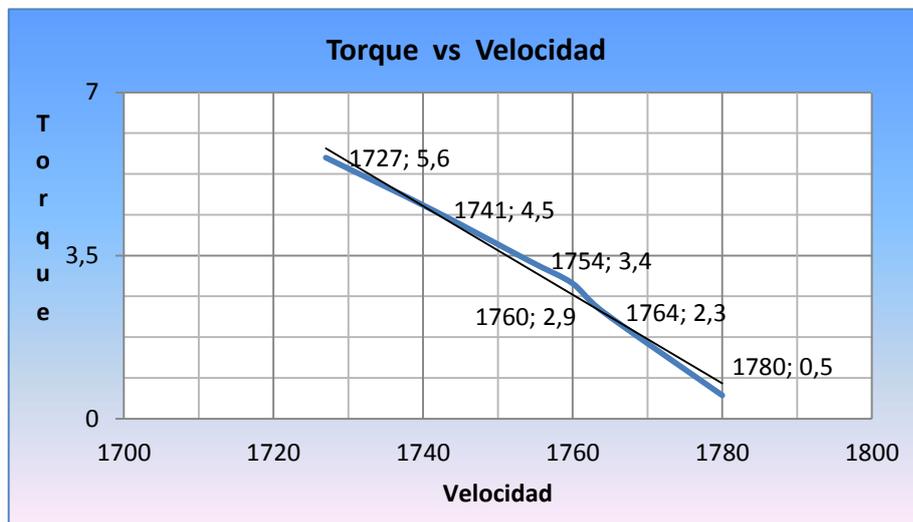
# Diagrama De Conexiones Multifilar



## TABLA PARA MEDICIONES Y RESULTADOS

Valores tomados con carga progresiva

MOTOR HAMPDEN WRM 300						MOTOR DYN 400			CARGA		
VLL (V)	I(A)	FP	P (kw)	Q (kvar)	S (kva)	Vcamp. (VDC)	Icamp. (Amp)	Iarm. (Amp)	Th (Nm)	ns (rpm)	S%
219	4,9	0,31	0,64	1,85	2,05	10	0,2	0,5	0,5	1780	
219	5,3	0,45	0,94	1,87	2,1	63,6	0,35	1	2,3	1764	
219	5,6	0,49	1,01	1,87	2,12	63,6	0,35	2,5	2,9	1760	
219	6	0,52	1,11	1,87	2,12	63,6	0,35	5	3,4	1754	
219	6,2	0,58	1,34	1,87	2,27	63,6	0,35	7,5	4,5	1741	
219	6,5	0,69	1,75	1,9	2,45	120	0,65	10	5,6	1727	



**i. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA**

1.- Texto CHAPMAN STEPHEN J. MÁQUINAS ELÉCTRICAS, MC GRAW HILL, 1997.

2.- IRVING KOSOW -MÁQUINAS ELÉCTRICAS Segunda edición, PRENTICE HALL, 1993

**j. CRONOGRAMA/CALENDARIO**

De acuerdo a la planificación de cada docente.

**3. ACTIVIDADES ANEXAS**

**1.- Tipo de motores jaula de ardilla**

- a.- Construcción
- b.- Ensamblajes, modelos
- c.- Arranques

**2.- Tipos de protecciones eléctricas de los MIJA**

- a.- Por sobrecarga
- b.- Por sobre tensión
- c.- Por temperatura

**3.- Fabricantes de motores**

- a.- Fabricantes europeos
- b.- Fabricantes asiáticos
- c.- Fabricantes americanos

**4.- Proyecto:**

Diseñe un sistema de arranque directo con protecciones para un motor de 200hp /440vac/4 polos/fp 0.92/

## 4.9 PRÁCTICA # 9

### 1. DATOS INFORMATIVOS

- a. **MATERIA:** MAQUINARIAS ELÉCTRICAS II
- b. **PRÁCTICA:** N° 9
- c. **NÚMERO DE ESTUDIANTES:** 20
- d. **NOMBRE DE DOCENTE:** Ing. Otto Astudillo
- e. **TIEMPO ESTIMADO:** 2 horas

### 2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- a. **TEMA:** Arranque con carga variable y FP compensado
- b. **OBJETIVO GENERAL:**  
Conocer el comportamiento del motor a medida que se incrementa la carga por medios manuales y se va compensando el factor de potencia.
- c. **OBJETIVO ESPECÍFICOS:**
  - 1.- Realizar las mediciones de las variables voltaje, torque, corriente, velocidad y de factor de potencia a medida que varía la carga.
  - 2.- Graficar la curva factor de potencia vs corriente
  - 3.- Graficar la curva potencias vs factor de potencia
- d. **MARCO TEÓRICO:**
  - 1.- Fundamento de máquina asíncrona, torque, velocidad
  - 2.- Fundamento de máquinas DC, conexiones y aplicaciones
  - 3.- Fundamentos de sistemas trifásicos y corrección factor de potencia
- e. **MARCO PROCEDIMENTAL:**
  - 1.- Revisar procedimiento sección 4.2.1 /4.2.2 /4.2.3 /4.2.5 /4.2.6
  - 2.- Revisar diagrama de conexiones anexas
  - 3.- Utilizar el tablero de prueba para controlar el motor MIJA
  - 4.- Tomar las mediciones indicadas

**f. RECURSOS UTILIZADOS:**

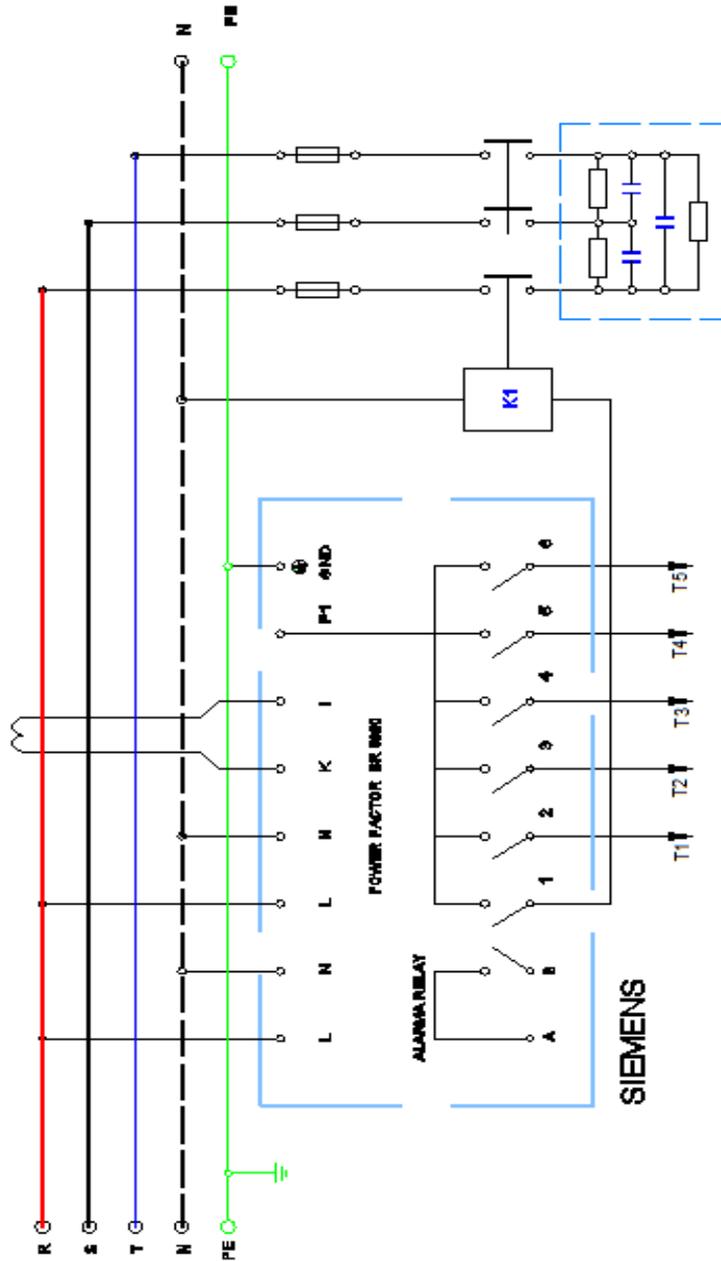
**Materiales y Equipos**

- 1.- Tablero de Prueba didáctico
- 2.-Banco de resistencias variables
- 3.-Motor HAMPDEN WR-300
- 4.-Amperímetro 0-10 Amp; Voltímetro 0-500V AC
- 5.-Dinamómetro analógico HAMPDEN
- 6.-Banco de capacitores

**g. REGISTRO DE RESULTADOS:**

- 1.- Tabla Prueba N°1
- 2.- Cálculos realizados (ver en las tablas)
- 3.- Cuestionario de preguntas
- 4.- Observaciones-conclusiones

**PRUEBA N°1. Funcionamiento del relé vari métrico**



PRUEBA # 1 RELE VARIMETRICO					
VLL	Isec	T1	T2	T3	T5

## **CUESTIONARIO DE PREGUNTAS**

- 1.- ¿Cuál es la diferencia entre arranque a plena carga y carga variable?
- 2.- ¿Cuándo se presenta el contra torque? y explique con un ejemplo
- 3.- ¿Qué es el factor de potencia y cómo afecta al motor?
- 4.- ¿Cuál es su conclusión de la curva potencias vs factor de potencia?
- 5.- ¿Qué fenómeno se visualiza cuando al motor se le aplica la máxima carga?
- 6.- Con la carga máxima, determine el deslizamiento en porcentaje

## **OBSERVACIONES:**

Al realizar esta práctica se debe de tener cuidado de no exceder el valor de la carga máxima que puede soportar los conductores utilizados, ya que de sobrepasar los 10amp. el aislamiento tiende a deformarse por la temperatura que se genera con este valor de corriente.

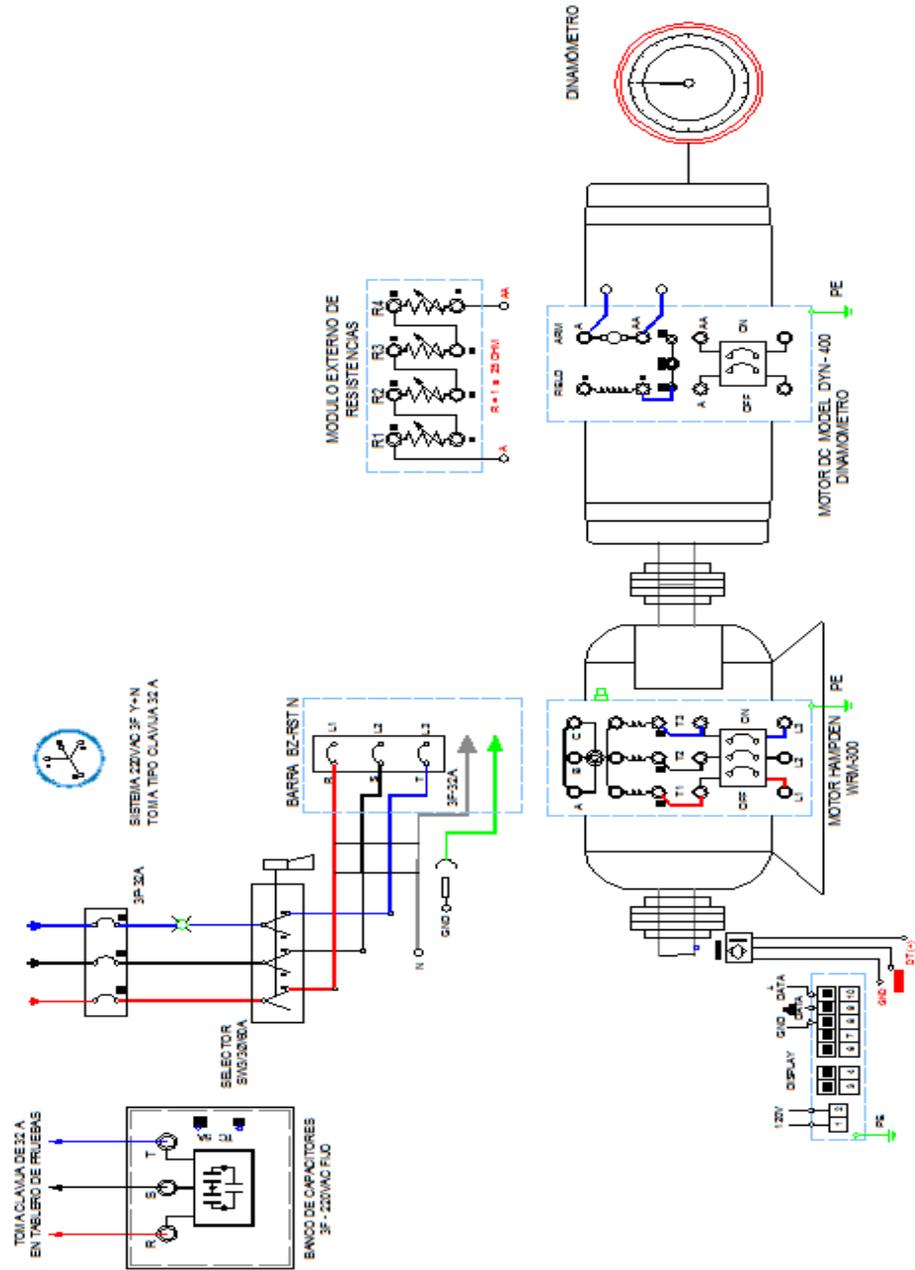
Se recomienda usar un banco de capacitores con regulación manual de preferencia, para evidenciar los cambios paso a paso.

## **h. ANEXOS**

- 1.- Diagrama Eléctrico unifilar
- 2.- Diagrama De Conexiones multifilar
- 3.- Tabla Para Mediciones

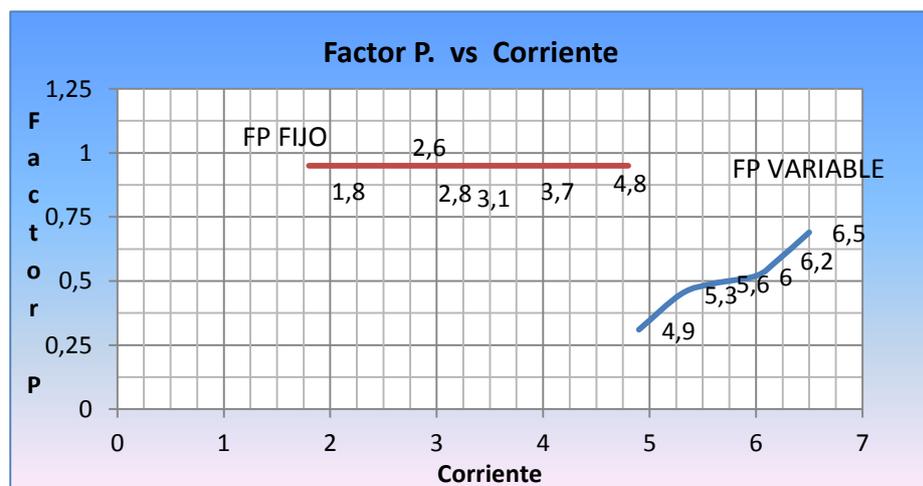
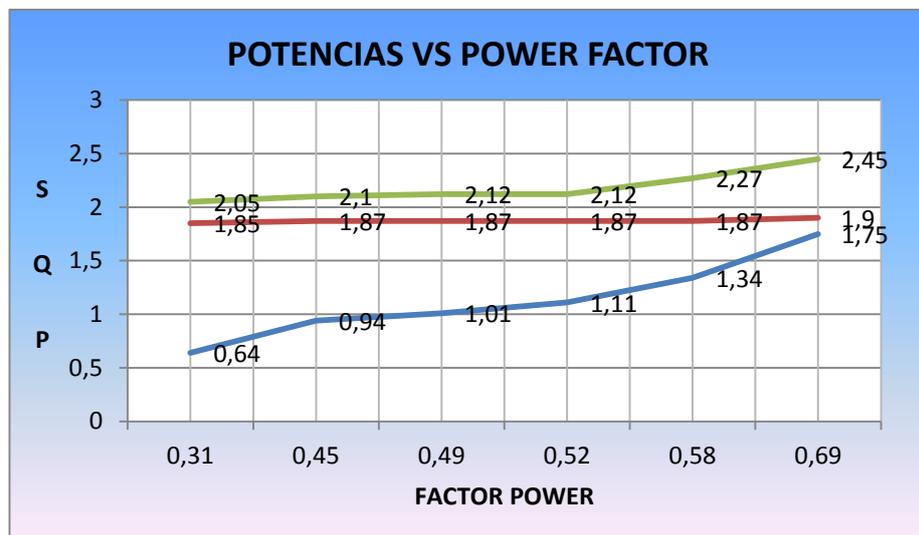


## 2.- Diagrama de conexiones multifilar



### 3.- TABLA DE RESULTADOS

MOTOR HAMPDEN WRM 300 FP VARIABLE						CARGA		MOTOR HAMPDEN WRM 300 FP FIJO						CÁLCULOS	
VLL (V)	I(A)	FP (variable)	P (kw)	Q (kvar)	S (kva)	Tn (Nm)	ns (rpm)	VLL (V)	I(A)	FP final 0,95	P (kw)	Q (kvar)	S (kva)	% I (compe nsada)	QC (kvar)
219	4,9	0,31	0,64	1,85	2,05	0,5	1780	219	1,8	0,95	0,64	1,85	2,05		
219	5,3	0,45	0,94	1,87	2,1	2,3	1764	219	2,6	0,95	0,94	1,87	2,1		
219	5,6	0,49	1,01	1,87	2,12	2,9	1760	219	2,8	0,95	1,01	1,87	2,12		
219	6	0,52	1,11	1,87	2,12	3,4	1754	219	3,1	0,95	1,11	1,87	2,12		
219	6,2	0,58	1,34	1,87	2,27	4,5	1741	219	3,7	0,95	1,34	1,87	2,27		
219	6,5	0,69	1,75	1,9	2,45	5,6	1727	219	4,8	0,95	1,75	1,9	2,45		



**i. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA**

1.- Texto CHAPMAN STEPHEN J. MÁQUINAS ELÉCTRICAS, MC GRAW HILL, 1997.

2.- IRVING KOSOW -MÁQUINAS ELÉCTRICAS Segunda edición, PRENTICE HALL, 1993

**j. CRONOGRAMA/CALENDARIO**

De acuerdo a la planificación de cada docente

**3. ACTIVIDADES ANEXAS**

**1.- Banco de compensaciones de factor de potencia**

- a.- Construcción
- b.- Ensamblajes, modelos
- c.- Protecciones

**2.- Métodos de compensación de factor potencia MIJA**

- a.- Características
- b.- Aplicaciones
- c.- Beneficios

**3.- Fabricantes de banco de capacitores**

- a.- Fabricantes europeos
- b.- Fabricantes asiáticos
- c.- Fabricantes americanos

**4.- Proyecto:**

Diseñe un sistema de compensación del factor de potencia para un motor de 250hp /440vac/4 polos/ fp 0.85 a 0.95

## 4.10 PRÁCTICA # 10

### 1. DATOS INFORMATIVOS

- a. **MATERIA:** MAQUINARIAS ELÉCTRICAS II
- b. **PRÁCTICA:** N° 10
- c. **NÚMERO DE ESTUDIANTES:** 20
- d. **NOMBRE DE DOCENTE:** Ing. Otto Astudillo
- e. **TIEMPO ESTIMADO:** 2 horas

### 2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- a. **TEMA:** Prueba de rotor bloqueado con VFD ACS150

- b. **OBJETIVO GENERAL:**

Analizar los parámetros eléctricos del motor de inducción cuando el rotor es bloqueado por medios mecánicos, siendo su comportamiento similar a la de un transformador.

- c. **OBJETIVO ESPECÍFICOS:**

- 1.- Programación rápida de un VFD tipo ACS150.
- 2.- Registrar los parámetros eléctricos del motor VLL, IL, Hz, Rpm, Fp potencia P, Q, S.
- 3.- Determinar la reactancia equivalente del estator.
- 4.- Determinar la impedancia del motor.
- 5.- Presentar conclusiones.

- d. **MARCO TEÓRICO:**

- 1.- Fundamento de máquina asíncrona, torque, velocidad, etc.
- 2.- Fundamento de variadores de velocidad, conexiones y aplicaciones
- 3.- Fundamentos de sistemas trifásicos.
- 4.- Equivalente Thévenin de un motor asíncrono

**e. MARCO PROCEDIMENTAL**

- 1.- Revisar procedimiento sección 4.2.1 /4.2.2 /4.2.3 /4.2.4
- 2.- Revisar diagrama de conexiones anexas
- 3.- Utilizar el tablero de prueba para controlar el motor MIJA
- 4.- Revisar manual de programación ACS150 en anexos 5
- 5.- Tomar las mediciones indicadas

**f. RECURSOS UTILIZADOS:**

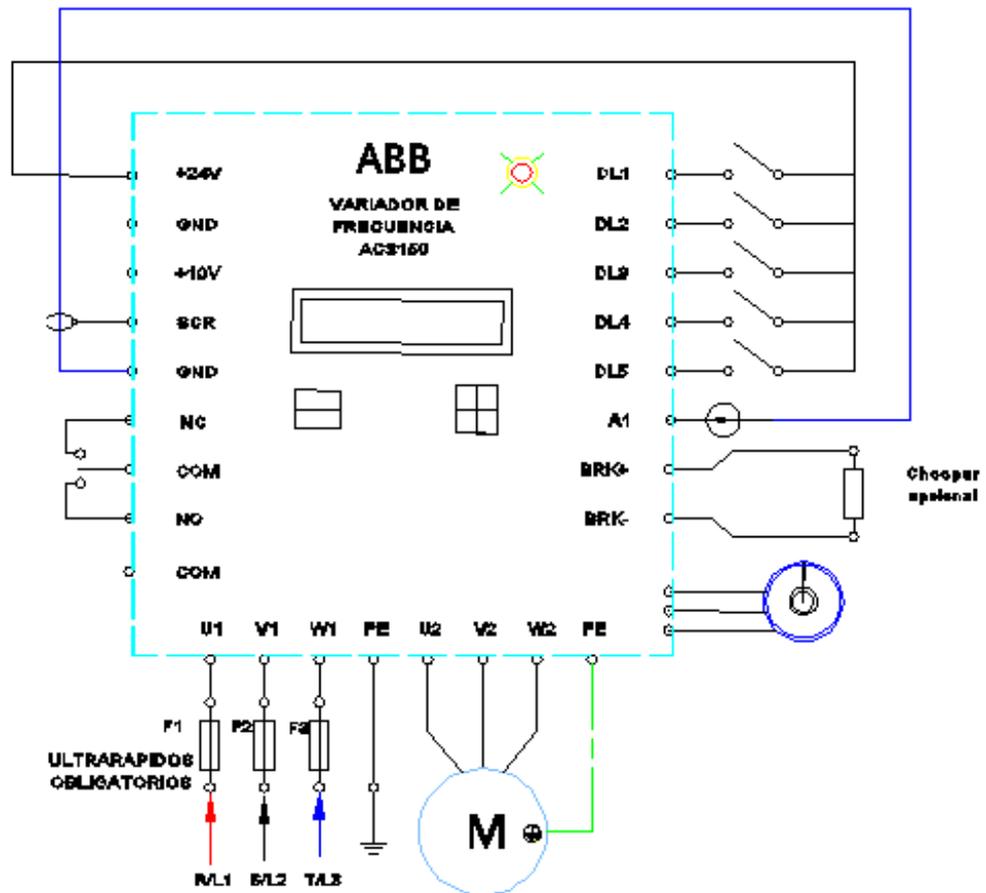
**Materiales y Equipos**

- 1.- Tablero de Prueba didáctico
- 2.- Motor HAMPDEN WR-300
- 3.- Freno electromecánico y fuente DC del tablero de pruebas
- 4.- Amperímetro 0-10 Amp; Voltímetro 0-500V AC
- 5.- Variador ACS150 a 220VAC y terminales varios

**g. REGISTRO DE RESULTADOS:**

- 1.- Tabla Prueba N°1-
- 2.- Cálculos realizados (ver en las tablas)
- 3.- Cuestionario de preguntas
- 4.- Observaciones-conclusiones

**PRUEBA N°1. Funcionamiento del variador ASC150**



**TABLA 1: PRUEBA DE VARIADOR ASC 150**

VOLTAJE DE ENTRADA			VOLTAJE DE SALIDA		
U1	V1	W1	U2	V2	W2

## **CUESTIONARIO DE PREGUNTAS**

- 1.- ¿Cuál es la diferencia entre arranque directo y arranque electrónico?
- 2.- ¿Qué beneficios otorga un arranque por medios electrónicos?
- 3.- ¿Qué desventajas presenta un arranque por medios electrónicos?
- 4.- La prueba de rotor bloqueado ¿para que se utiliza?
- 5.- Explique el fenómeno que se presenta en esta práctica
- 6.- ¿Cuál es el porcentaje de deslizamiento en esta prueba y porque?

## **OBSERVACIONES:**

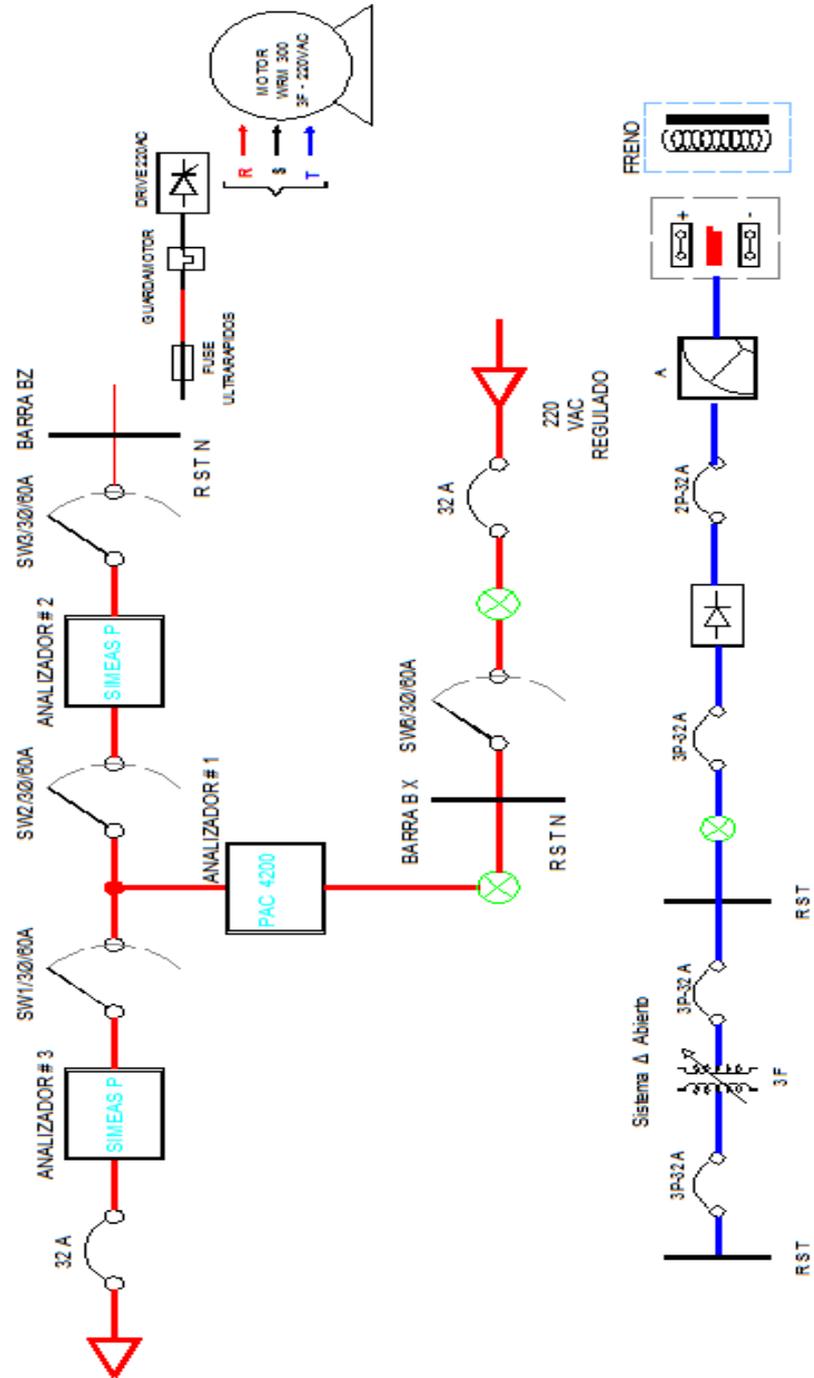
Al realizar esta práctica se debe de tener cuidado de no exceder el valor de la carga máxima que puede soportar los conductores utilizados, ya que de sobrepasar los 10amp. el aislamiento tiende a deformarse por la temperatura que se genera con este valor de corriente.

Para el freno no se debe de exceder a máximo 19VDC y para el motor WRM-300, el voltaje máximo aplicado será cuando el motor alcance la corriente nominal.

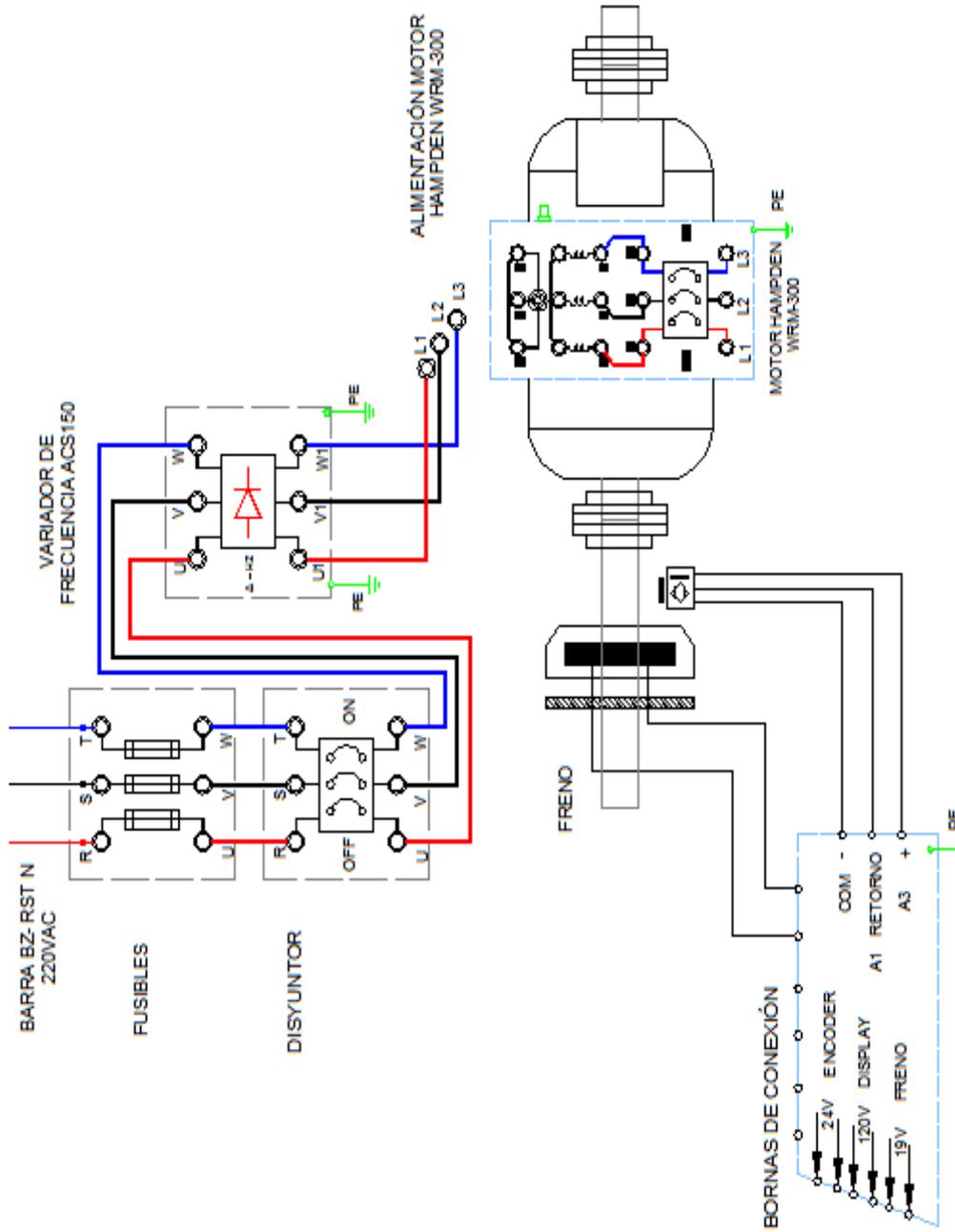
## **h. ANEXOS**

- 1.- Diagrama eléctrico unifilar
- 2.- Diagrama de conexiones multifilar.
- 3.- Tabla de resultados.

# Diagrama Eléctrico Unifilar



## Diagrama de conexiones multifilar



## TABLA DE RESULTADOS

**Tabla de prueba en vacío con drive**

MOTOR HAMPDEN WRM 300						
VLL (V)	IL1(A)	IL2(A)	IL3(A)	P (kw)	Q (kvar)	S (kva)
220	5,6	5,8	5,8	1,75	1,9	2,45

**Tabla de prueba a rotor bloqueado con drive**

MOTOR HAMPDEN WRM 300							FRENO		CÁLCULOS	
VLL (V)	IL1(A)	IL2(A)	IL3(A)	Pcc (kw)	Qcc (kvar)	Sc (kva)	Vfreno	Ifreno	%S	Tq
54	9,2	9,15	9,0	0,29	0,3	0,32	7	12		

### CÁLCULOS REALIZADOS.

**Corriente de corto circuito:**

$$I_{cc} = (IL1 + IL2 + IL3) / 3$$

$$I_{cc} = (9,2 + 9,15 + 9,0) / 3$$

$$I_{cc} = 9,11 \text{ Amp}$$

**Impedancia corto circuito**

$$Z_{cc} = (V_{cc} / \text{fase}) / I_{cc} / \cos \phi$$

$$(P_{cc} / (1,732 \times V_{cc} \times I_{cc}))$$

$$Z_{cc} = (54 / 1,732) / 9,11 / \cos \phi$$

$$290 / (1,732 \times 54 \times 9,11)$$

$$Z_{cc} = 3,26 / 70,29^\circ \angle$$

Resistencia estator R1 y resistencia rotor R 2; impedancia equivalente Xeq.

Datos de la practica # 5: R1= 0,627  $\Omega$

Si  $Z_{cc} = Z_{rb} = R_{cc} + jX_{cc}$  impedancia a corto circuito (cc)

$$R_{cc} = Z_{cc} \times \cos \phi_{cc} = 3,26 \times 0,33 = 1,099 \Omega$$

$$R_{cc} = R1 + R2 = 1,099 \Omega$$

Resistencia equivalente a cc.

$$R2 = R_{cc} - R1 = 1,099 - 0,627 = 0,472 \Omega$$

Resistencia rotorica a cc.

**Cálculo de reactancia equivalente a cc**

Para rotor bloqueado  $f_{rotor} = f_{estator} = 1$

$$X_{cc} = Z_{cc} \times \sin \phi_{cc} = j 3,069 \Omega$$

$$X_{eq} = X_{cc} \cdot (f_{estator} / f_{rotor})$$

$$X_{eq} = j3,069 \Omega$$

**i. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA**

- 1.- Texto CHAPMAN STEPHEN J. MÁQUINAS ELÉCTRICAS, MC GRAW HILL, 1997.
- 2.- IRVING KOSOW -MÁQUINAS ELÉCTRICAS Segunda edición, PRENTICE HALL, 1993

**j. CRONOGRAMA/CALENDARIO**

De acuerdo a la planificación de cada docente

**3. ACTIVIDADES ANEXAS**

- 1.- **Los variadores de frecuencia para motores tipo MIJA**
  - a.- Construcción
  - b.- Ensamblajes, modelos, Protecciones
- 2.- **Aplicación de los VFD en los motores MIJA**
  - a.- Según la Carga
  - b.- Aplicaciones especiales, beneficios, etc.
- 3.- **Fabricantes de variadores de velocidad**
  - a.- Fabricantes europeos
  - b.- Fabricantes americanos
- 4.- **Proyecto:**

Desarrolle una programación con el variador ACS150 con lazo de control PID .

## 4.11 PRÁCTICA # 11

### 1. DATOS INFORMATIVOS

- a. **MATERIA:** MAQUINARIAS ELÉCTRICAS II
- b. **PRÁCTICA:** N° 11
- c. **NÚMERO DE ESTUDIANTES:** 20
- d. **NOMBRE DE DOCENTE:** Ing. Otto Astudillo
- e. **TIEMPO ESTIMADO:** 2 horas

### 2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- a. **TEMA:** Arranque de motor MIJA con carga fija y VFD

- b. **OBJETIVO GENERAL:**

Conocer el comportamiento del motor a medida que se regula la frecuencia de red por medio de un dispositivo electrónico colocando una carga fija en el eje del motor.

- c. **OBJETIVO ESPECÍFICOS:**

- 1.- Realizar las mediciones de las variables voltaje, torque, corriente, velocidad y de factor de potencia a medida que varía la carga.
- 2.- Graficar la curva torque vs velocidad
- 3.- Graficar la curva factor de potencia vs torque

- d. **MARCO TEÓRICO:**

- 1.- Fundamento de máquina asíncrona, torque, velocidad
- 2.- Principio de los variadores de frecuencia y aplicaciones
- 3.- Fundamentos de sistemas trifásicos

- e. **MARCO PROCEDIMENTAL**

- 1.- Revisar procedimiento sección 4.2.1 /4.2.2 /4.2.3 /4.2.5 /4.2.6
- 2.- Revisar diagrama de conexiones anexas
- 3.- Revisar manual de programación ACS150 en anexos 5
- 4.- Tomar las mediciones indicadas

**f. RECURSOS UTILIZADOS:**

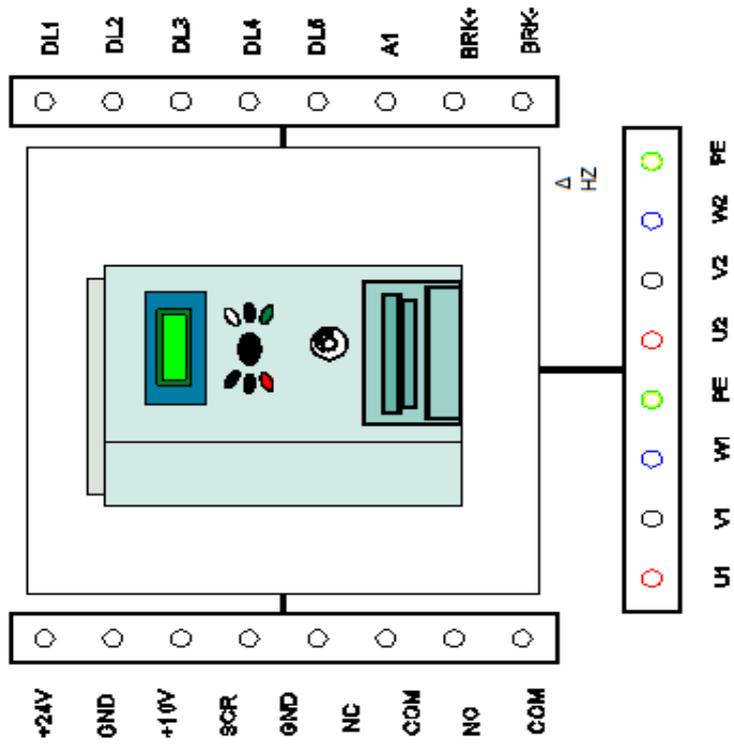
**Materiales y Equipos**

- 1.- Tablero de Prueba didáctico
- 2.- Motor HAMPDEN WRM-300 y DYN-400
- 3.- Freno electromecánico y fuente 50A DC del tablero de pruebas
- 4.- Amperímetro 0-10 Amp; Voltímetro 0-500V AC
- 5.- Variador ACS-150 a 220VAC y terminales varios

**g. REGISTRO DE RESULTADOS:**

- 1.- Tabla Prueba N°1
- 2.- Cálculos realizados (ver en las tablas)
- 3.- Cuestionario de preguntas
- 4.- Observaciones-conclusiones

**PRUEBA N°1.** Revisión de parámetros del variador ASC150



**TABLA DE PARAMETROS**

P9902	P9905	P9906	P9907	P1105	P1202	P1202	P1203	P1204	P1301	P2003
P2005	P2206	P2007	P2008	P2020	P2101	P2202	P2202	P2203	P2604	P2605

## **CUESTIONARIO DE PREGUNTAS**

- 1.- ¿Cuál es la diferencia entre arranque suave y arranque electrónico?
- 2.- ¿Qué tipos de control de velocidad existen en la actualidad?
- 3.- ¿Qué métodos existen para controlar la velocidad, no electrónicos?
- 4.- Describa el tipo de pérdidas de energía que puede presentar un motor.
- 5.- Explique el fenómeno que se presenta en esta práctica con carga fija.
- 6.- ¿Cuál es el porcentaje de deslizamiento en esta prueba y porque?

## **OBSERVACIONES:**

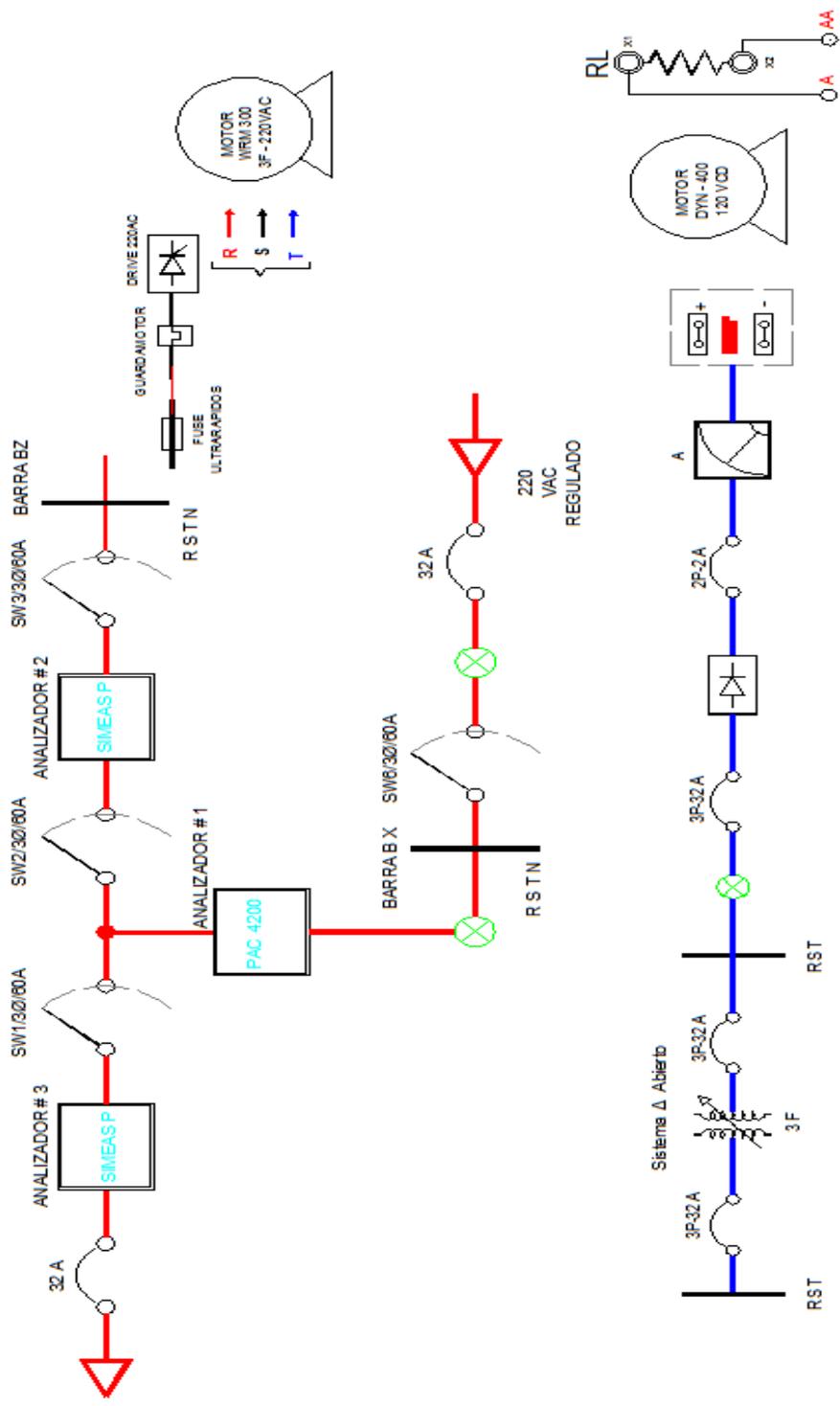
Al realizar esta práctica se debe de tener cuidado de no exceder el valor de la carga máxima que puede soportar los conductores utilizados, ya que de sobrepasar los 10amp. el aislamiento tiende a deformarse por la temperatura que se genera con este valor de corriente.

Utilizar los dispositivos de protección para la alimentación de tensión del variador ACS150, para evitar daños no deseados en la electrónica del quipo.

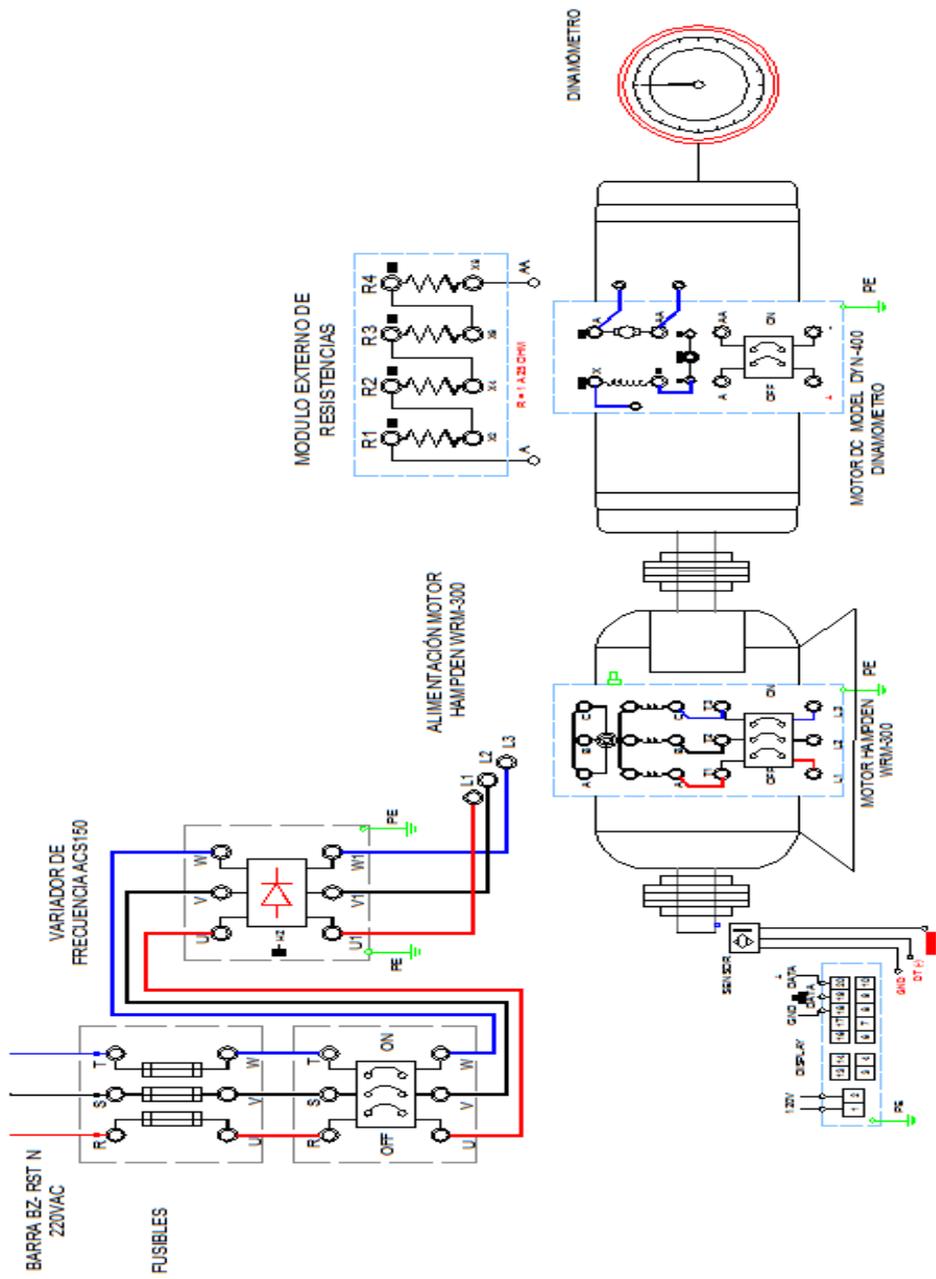
## **h. ANEXOS**

- 1.- Diagrama Eléctrico unifilar
- 2.- Diagrama De Conexiones multifilar
- 3.- Tabla Para Mediciones

# Diagrama eléctrico unifilar

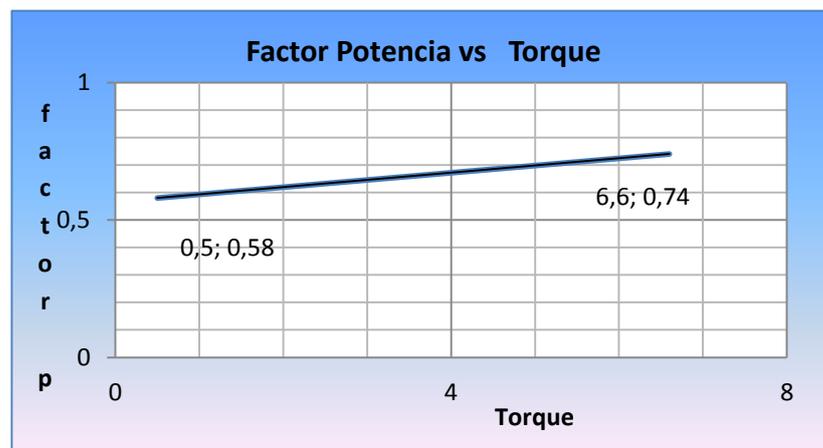
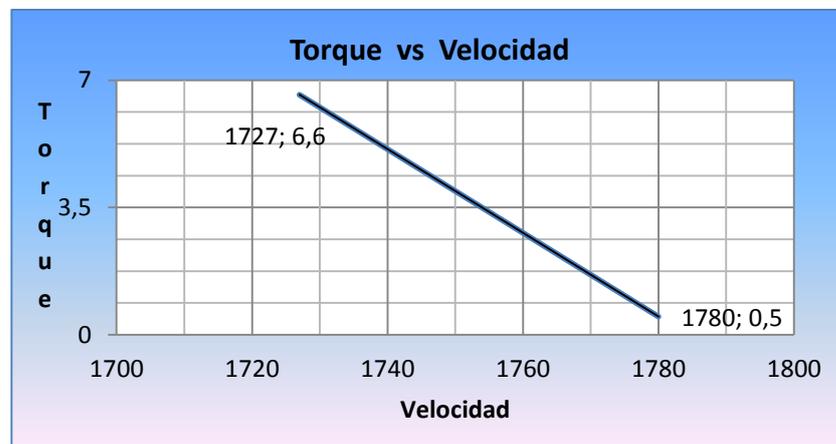


# Diagrama Eléctrico multifilar



## TABLA PARA MEDICIONES

MOTOR HAMPDEN WRM 300						MOTOR DYN 400			CARGA		
VLL (V)	I(A)	FP	P (kw)	Q (kvar)	S (kva)	Vcamp. (VDC)	Icamp. (Amp)	Iarm. (Amp)	Tn (Nm)	ns (rpm)	S%
219	1,4	0,58	0,105	0,11	1,1	10	0,2	0,5	0,5	1780	
219	6,5	0,74	1,49	0,16	2,02	100	0,55	10	6,6	1727	



**i. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA**

1.- Texto CHAPMAN STEPHEN J. MÁQUINAS ELÉCTRICAS, MC GRAW HILL, 1997.

2.- IRVING KOSOW -MÁQUINAS ELÉCTRICAS Segunda edición, PRENTICE HALL, 1993

**j. CRONOGRAMA/CALENDARIO**

De acuerdo a la planificación de cada docente

**3. ACTIVIDADES ANEXAS**

**1.- Los variadores de frecuencia para motores tipo MIJA**

a.- Construcción

b.- Ensamblajes, modelos

c.- Protecciones

**2.- Aplicación de los VFD en los motores MIJA**

a.- Según la Carga

b.- Aplicaciones especiales

c.- Beneficios

**3.- Fabricantes de variadores de velocidad**

a.- Fabricantes europeos

b.- Fabricantes asiáticos

c.- Fabricantes americanos

**4.- Proyecto:**

Desarrolle una programación con el variador ACS150 controlando la velocidad en tres valores diferentes utilizando un micro plc.

## 4.12 PRÁCTICA # 12

### 1. DATOS INFORMATIVOS

- a. **MATERIA:** MAQUINARIAS ELÉCTRICAS II
- b. **PRÁCTICA:** N° 12
- c. **NÚMERO DE ESTUDIANTES:** 20
- d. **NOMBRE DE DOCENTE:** Ing. Otto Astudillo
- e. **TIEMPO ESTIMADO:** 2 horas

### 2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- a. **TEMA:** Prueba con carga variable motor MIJA con VFD ACS150
- b. **OBJETIVO GENERAL:**

Conocer el comportamiento del motor asíncrono con carga variable a medida que se incrementa la carga por medios manuales.
- c. **OBJETIVO ESPECÍFICOS:**
  - 1.- Realizar las mediciones de las variables voltaje, torque, corriente, velocidad a diferentes valores de carga
  - 2.- Realizar la graficas de torque vs velocidad.
  - 3.- Realizar la graficas de potencia vs factor de potencia
  - 4.- Presentar los comentarios de estos fenómenos.
- d. **MARCO TEÓRICO:**
  - 1.- Fundamento de maquina asíncrona, torque, velocidad
  - 2.- Fundamento de máquinas DC, conexiones y aplicaciones
  - 3.- Fundamentos de sistemas trifásicos
- e. **MARCO PROCEDIMENTAL**
  - 1.- Revisar procedimiento sección 4.2.1 /4.2.2 /4.2.3 /4.2.5 /4.2.6
  - 2.- Revisar diagrama de conexiones anexas
  - 3.- Utilizar el tablero de prueba para controlar el motor MIJA
  - 4.- Tomar las mediciones indicadas

**f. RECURSOS UTILIZADOS:**

**Materiales y Equipos**

- 1.- Tablero de Prueba didáctico
- 2.- Banco de resistencias variables
- 3.- Motor HAMPDEN WRM-300 y máquina DYN-400
- 4.- Variador de frecuencia ACS150

**g. REGISTRO DE RESULTADOS:**

- 1.- Tabla Prueba N°1 N.A.
- 2.- Cálculos realizados (ver en las tablas)
- 3.- Cuestionario de preguntas
- 4.- Observaciones-conclusiones

## **CUESTIONARIO DE PREGUNTAS**

- 1.- ¿Cuál es el efecto de las ondas EMI en los equipos electrónico?
- 2.- ¿Qué beneficio otorga la puesta a tierra de los equipos electrónicos?
- 3.- ¿Qué ventajas presenta usar protecciones para lo arrancadores?
- 4.- Explique qué ventajas presentan usar las reactancias de entrada
- 5.- Explique el fenómeno que se presenta en esta práctica
- 6.- ¿Cuál es el porcentaje de armónicos que se presenta en esta prueba?

## **OBSERVACIONES:**

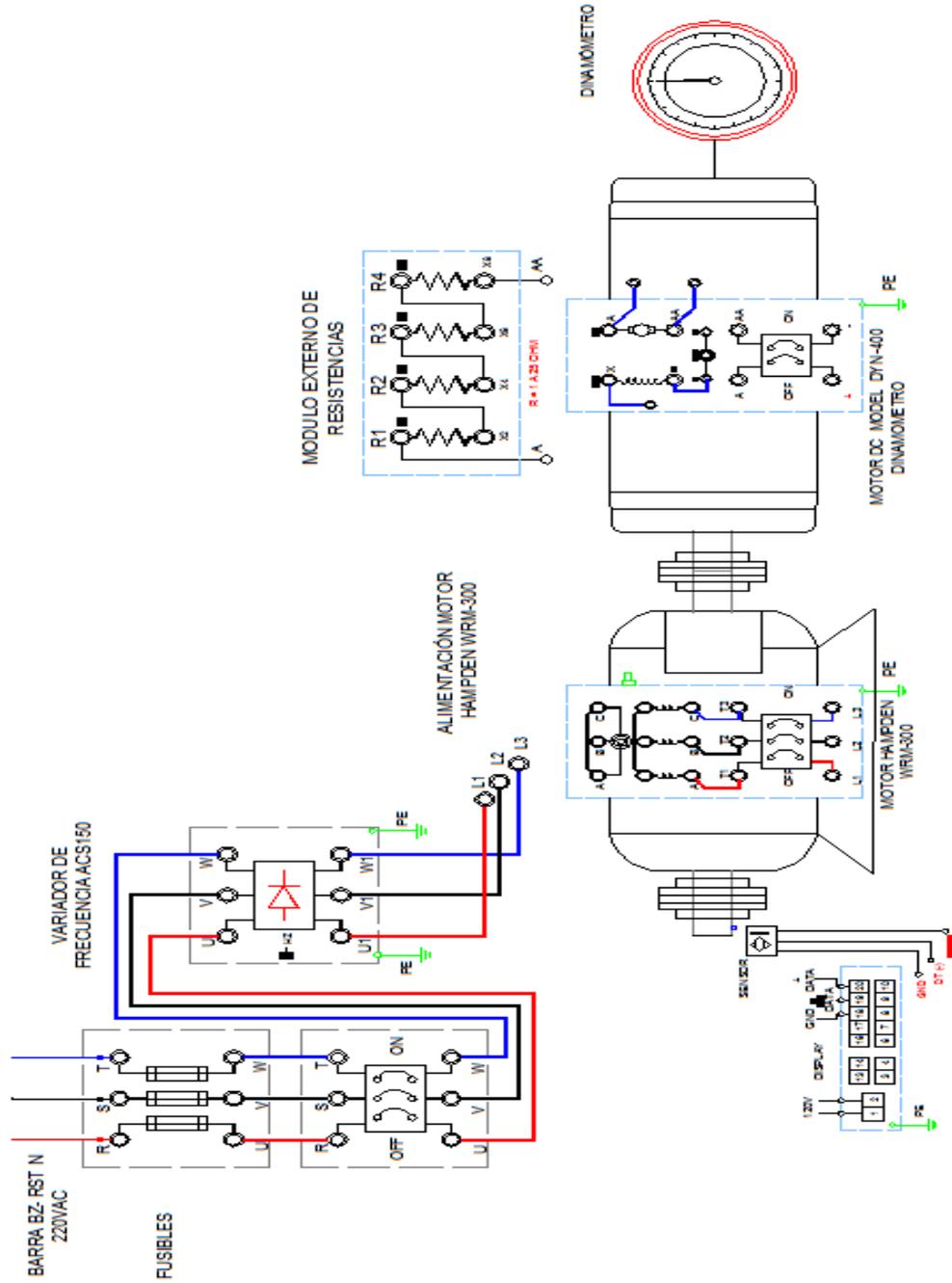
Utilizar los dispositivos de protección para la alimentación de tensión del variador ACS150, para evitar daños no deseados en la electrónica del equipo.

Adicional evitar poner en marcha al variador de frecuencia sin tener conectado el motor a la salida del este, ya que se puede presentar falla por ausencia de carga.

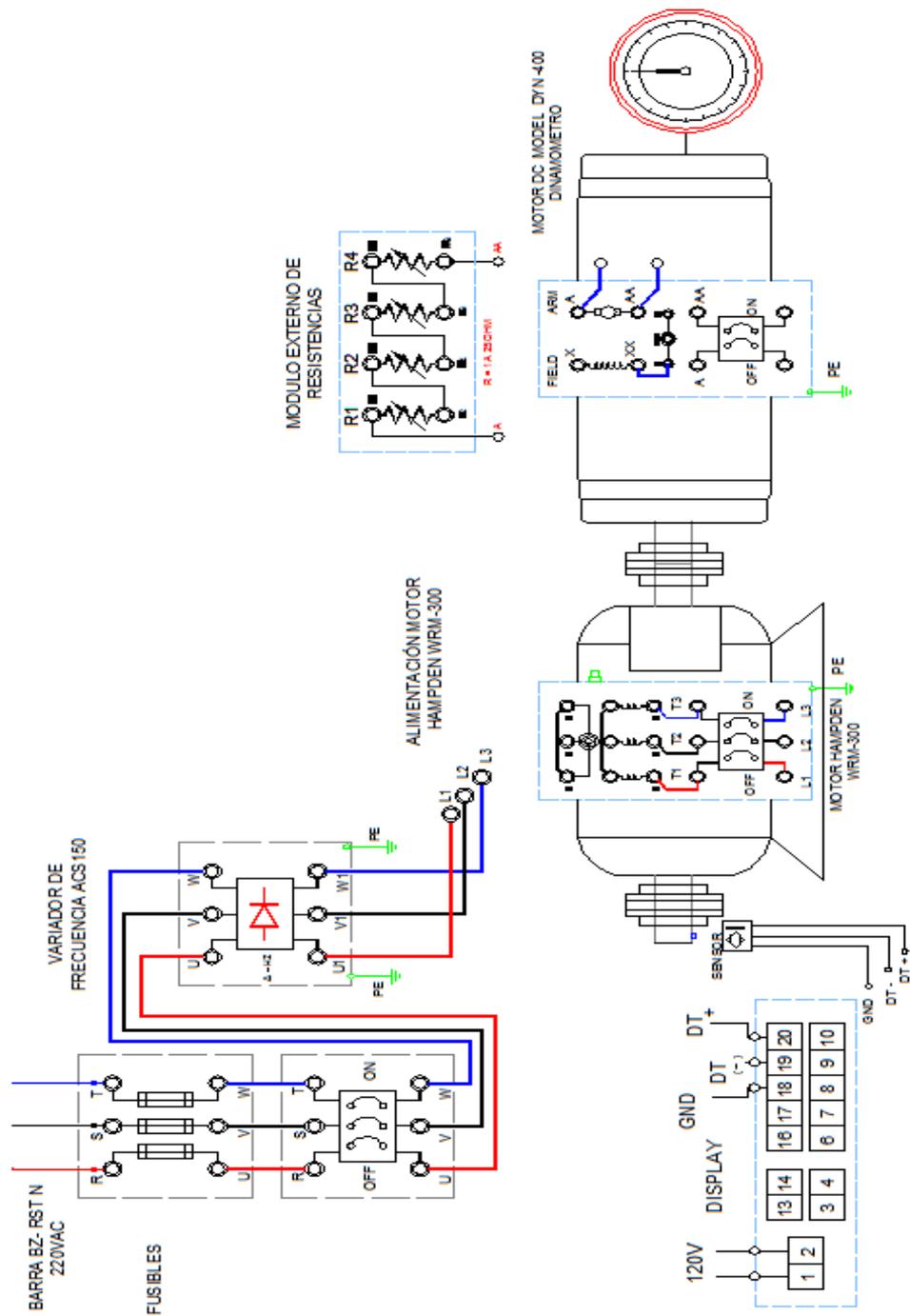
## **h. ANEXOS**

- 1.- Diagrama Eléctrico unifilar
- 2.- Diagrama De Conexiones multifilar
- 3.- Tabla Para Mediciones

# Diagrama Eléctrico unifilar



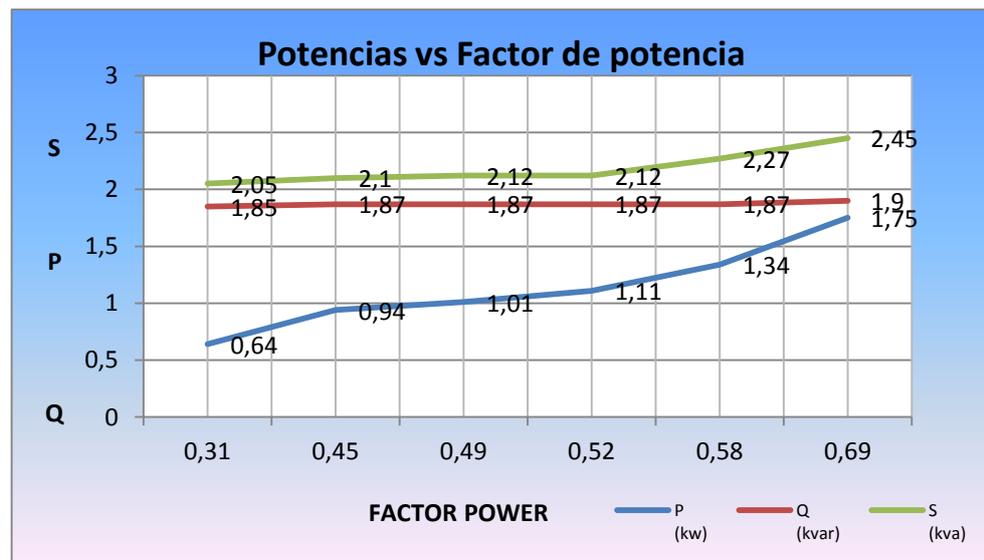
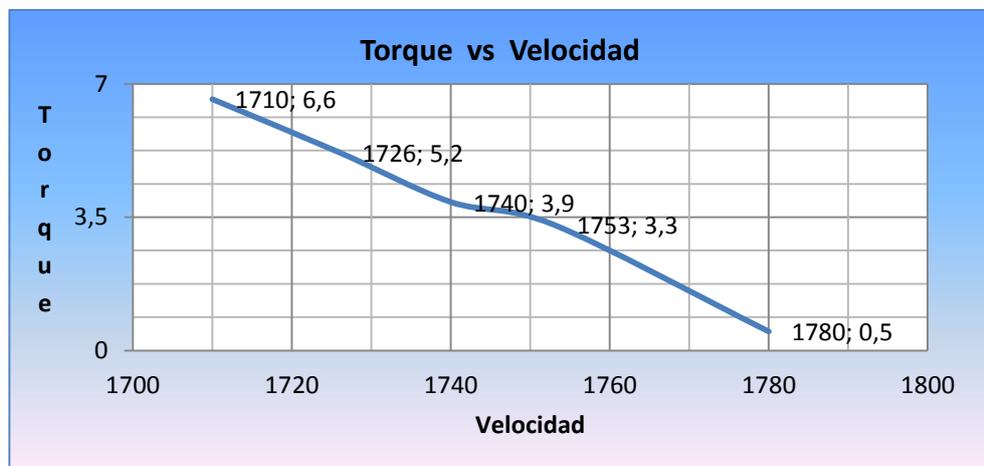
## Diagrama de conexiones multifilar



## TABLA PARA MEDICIONES

### TABLA RESULTADOS CON DRIVE Y CON CARGA

MOTOR HAMPDEN WRM 300						MOTOR DYN 400			CARGA		
VLL (V)	I(A)	FP	P (kw)	Q (kvar)	S (kva)	Vcamp. (VDC)	Icamp. (Amp)	Iarm. (Amp)	Tn (Nm)	ns (rpm)	S%
219	1,4	0,58	0,105	0,11	1,1	10	0,2	0,5	0,5	1780	
219	3,1	0,7	0,87	0,11	1,28	100	0,6	2,5	3,3	1753	
219	3,5	0,71	1,04	0,12	1,4	100	0,6	5	3,9	1740	
219	4,3	0,72	1,25	0,14	1,75	100	6	7,5	5,2	1726	
219	5,1	0,74	1,49	0,16	2,02	100	0,6	10	6,6	1710	



**i. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA**

1.- Texto CHAPMAN STEPHEN J. MÁQUINAS ELÉCTRICAS, MC GRAW HILL, 1997.

2.- IRVING KOSOW -MÁQUINAS ELÉCTRICAS Segunda edición, PRENTICE HALL, 1993

**j. CRONOGRAMA/CALENDARIO**

De acuerdo a la planificación de cada docente

**3. ACTIVIDADES ANEXAS**

**1.- Los variadores de frecuencia para motores tipo MIJA**

a.- Construcción

b.- Ensamblajes, modelos

c.- Protecciones

**2.- Aplicación de los VFD en los motores MIJA**

a.- según la Carga

b.- Aplicaciones especiales

c.- Beneficios

**3.- Fabricantes de variadores de velocidad**

a.- Fabricantes europeos

b.- Fabricantes asiáticos

c.- Fabricantes americanos

**4.- Proyecto:**

Desarrolle una programación con el variador ACS150 con control asistido por un mini plc con escalamiento de velocidad automático y control de frenado por corriente DC

**ANEXO 1**  
**CONSTRUCCIÓN DEL TABLERO DE PRUEBA**

## Desarrollo del tablero en el taller Trabajo en la plancha de acero



Impresión del layout completo y su impresión en la lata antes de ser tratada



Proceso de pintado de la lata luego de ser tratada. Se prepara para la serigrafía



Momentos en que se terminaba de realizar la serigrafía y se inicia la colocación de marcas

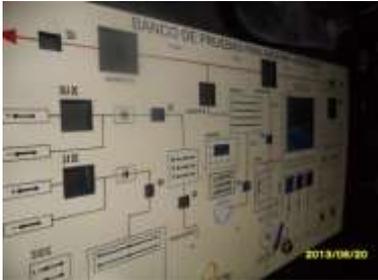


Momentos en que se realizaba la limpieza del tablero eliminando suciedades y corrigiendo fallas



Momentos en que se realizaba la colocación de las señalizaciones y nemónicos

## Ensamble del tablero en el laboratorio de la UPS-GYE



Momentos en que termino de colocar la pintura acrílica transparente y finalizada el tablero.



Imágenes del armazón terminado listo para el ensamble de la lata frontal y mesa soporte



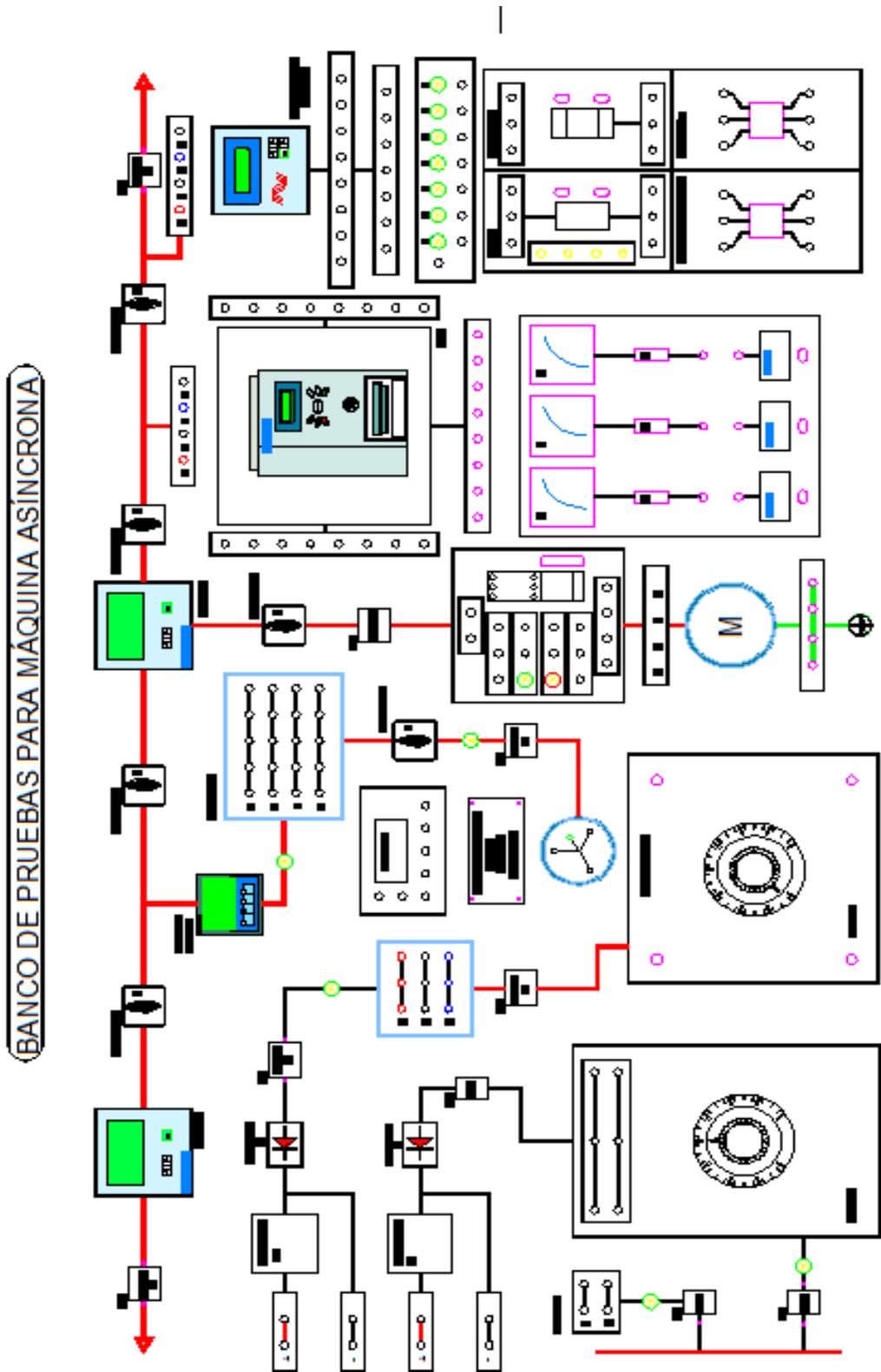
Imágenes del montaje de los diferentes equipos de medición, control, fuerza etc.



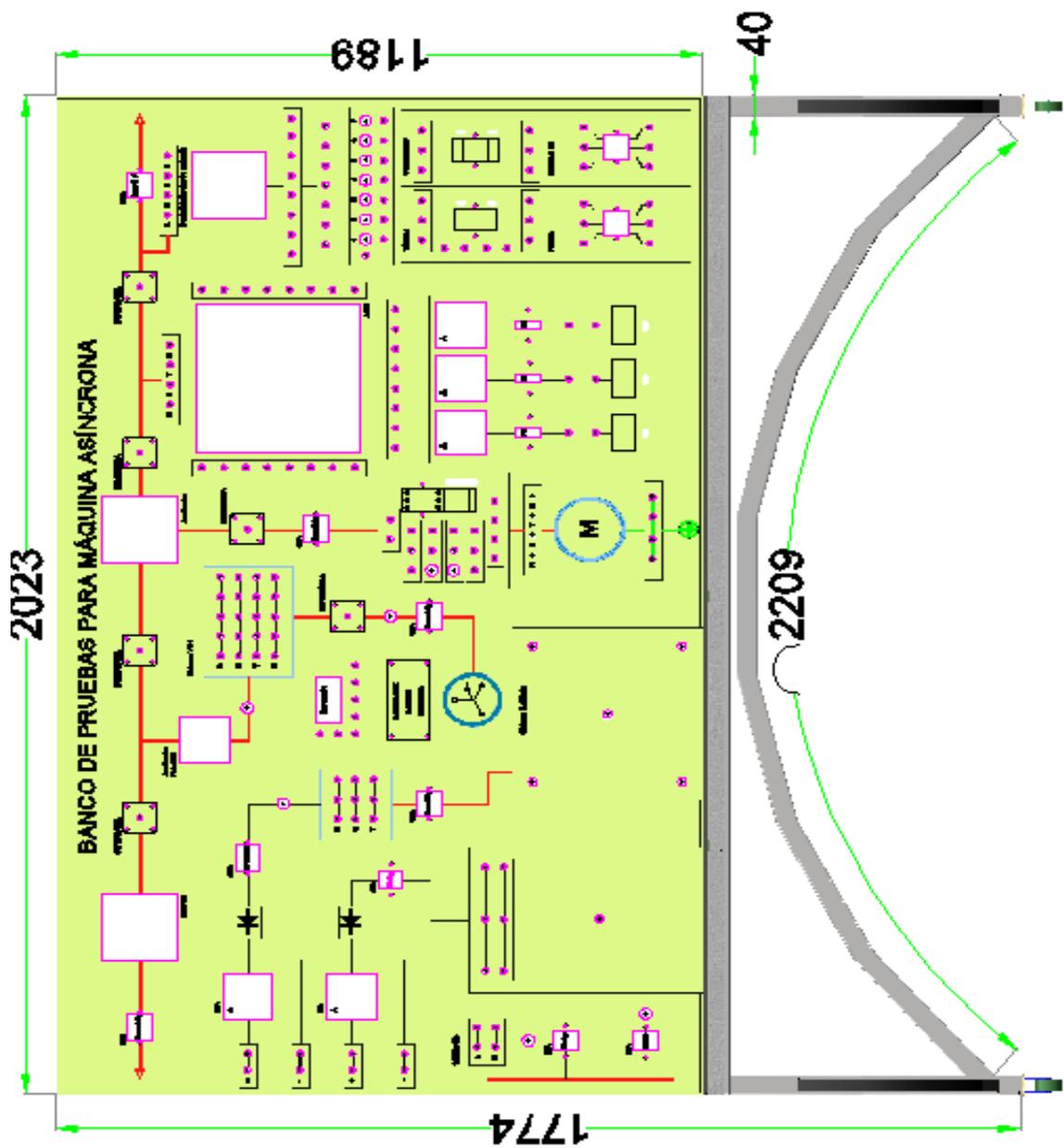
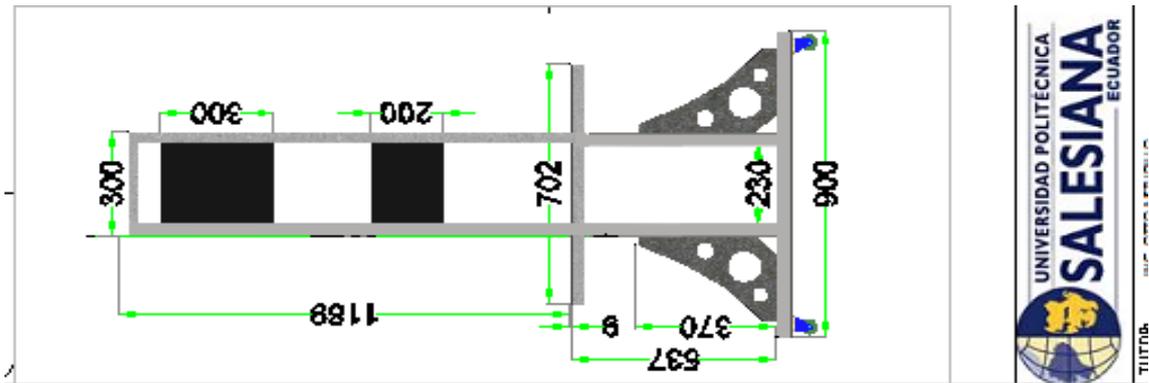
Montaje de las piezas frontales y dando el acabado al tablero



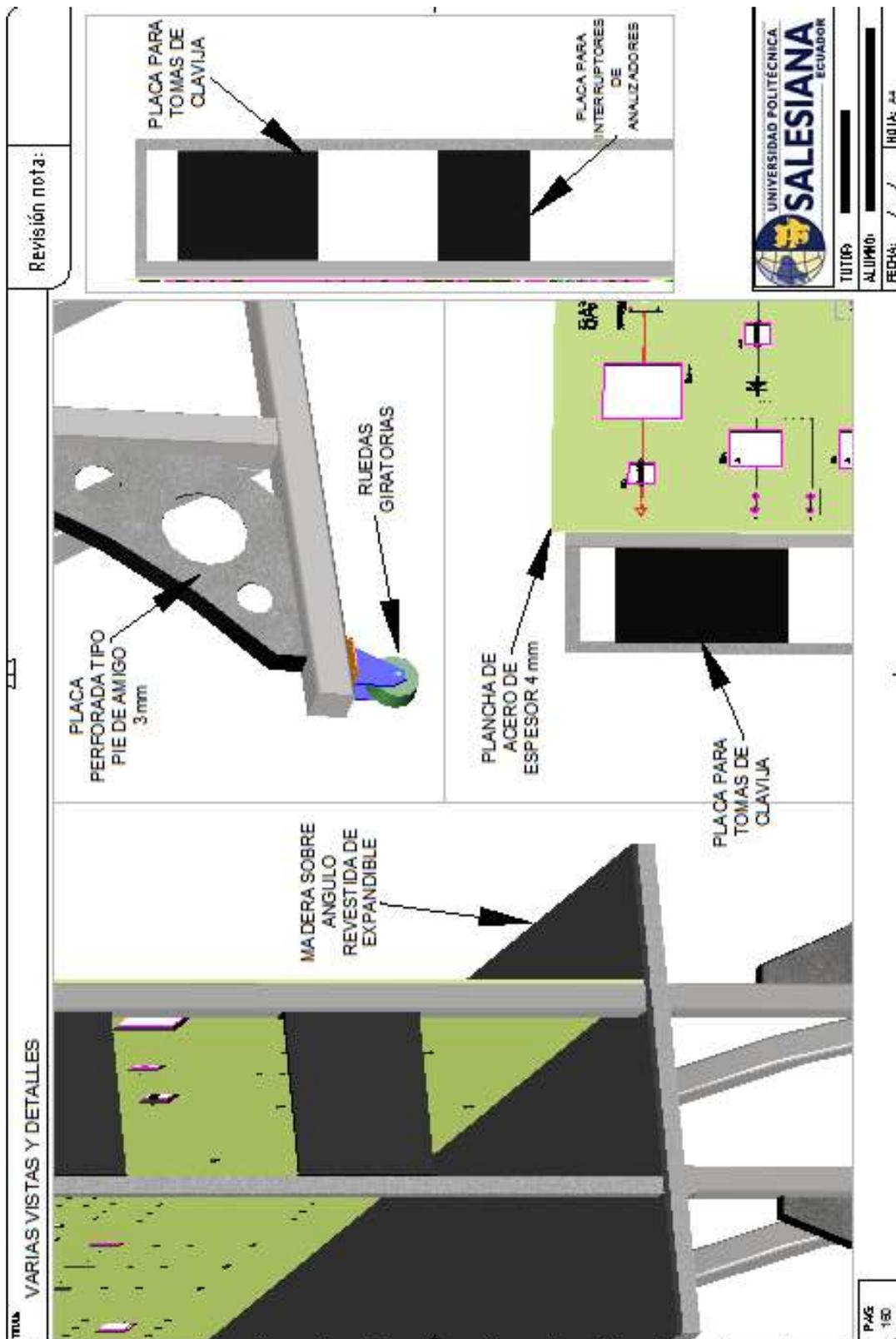
Ubicación de equipos



Cotas de vista frontal



Varias vistas y detalles



**ANEXO 2**  
**DISEÑO DEL FRENO ELECTRO-MECÁNICO**

## Pasos ejecutados para la construcción del freno-electromecánico

### Mediciones mecánicas



Para la construcción del electrofreno hicimos la toma de datos mecánicos como lo son:

a.- Altura del equipo tomado desde la base hasta el centro del eje del motor



b.-El diámetro del eje del motor para realizar el acople mecánico.

Como lo muestra las figuras anexas



Realizando el corte de la base para el conjunto freno electromagnético.

Preparando la base para el tratamiento con solventes antes de realizar el pintado





Despiece de las partes mecánicas del conjunto freno, se puede evidenciar las diferentes partes como pernos de acople, soportes laterales, chumaceras y las bases laterales.



Podemos visualizar el corte de los soportes para las chumaceras



También se observa las diferentes partes del sistema de frenado para dar los acabados finales.



Se puede evidenciar el detalle de las piezas en general antes de realizar el ensamble final



Podemos visualizar el armado del sistema freno pintado y terminado antes de ser montado al conjunto



También se observa las diferentes partes del sistema de frenado para dar los acabados finales.



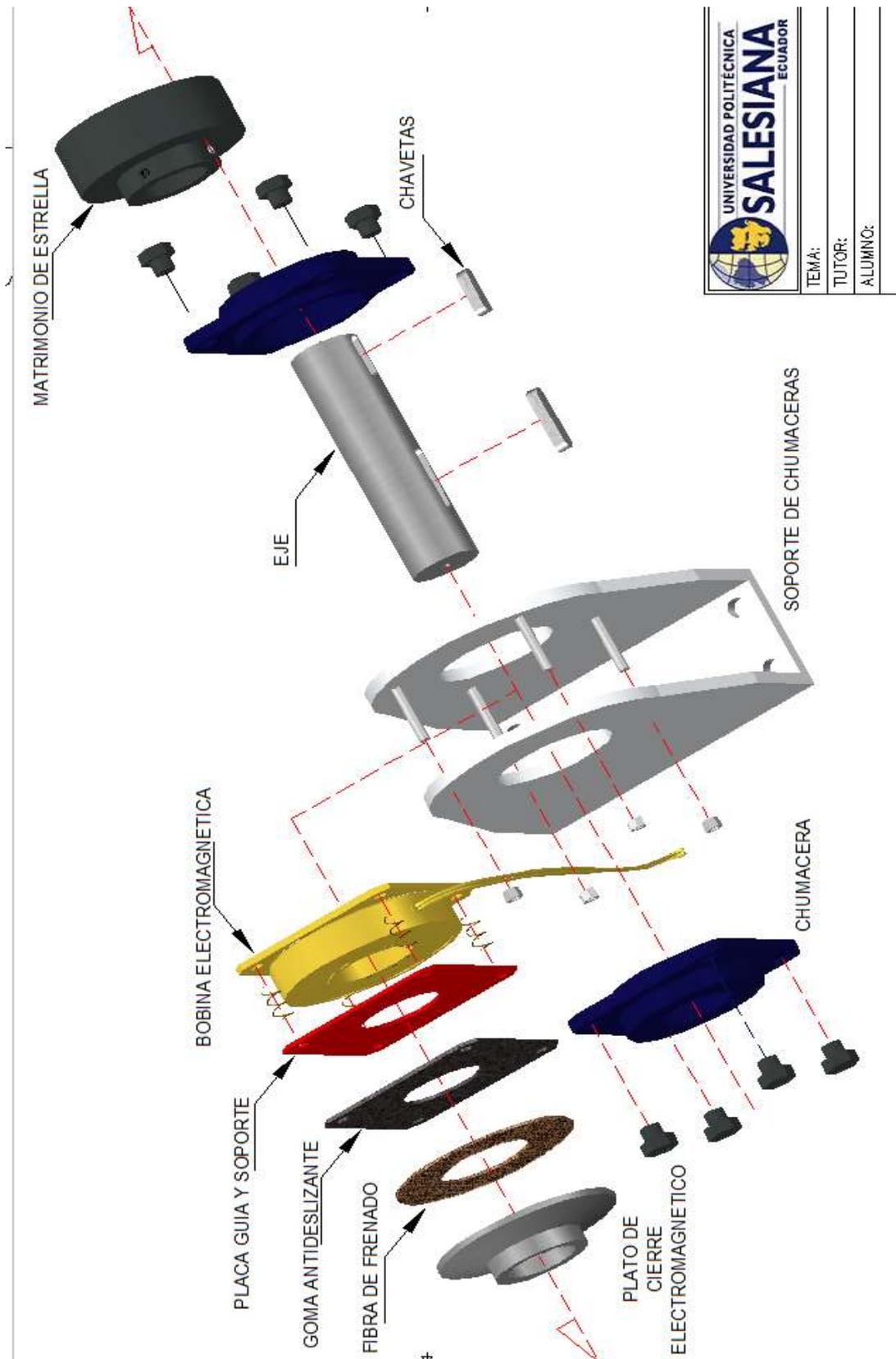
Se puede evidenciar el detalle de las piezas en general antes de realizar el ensamble final

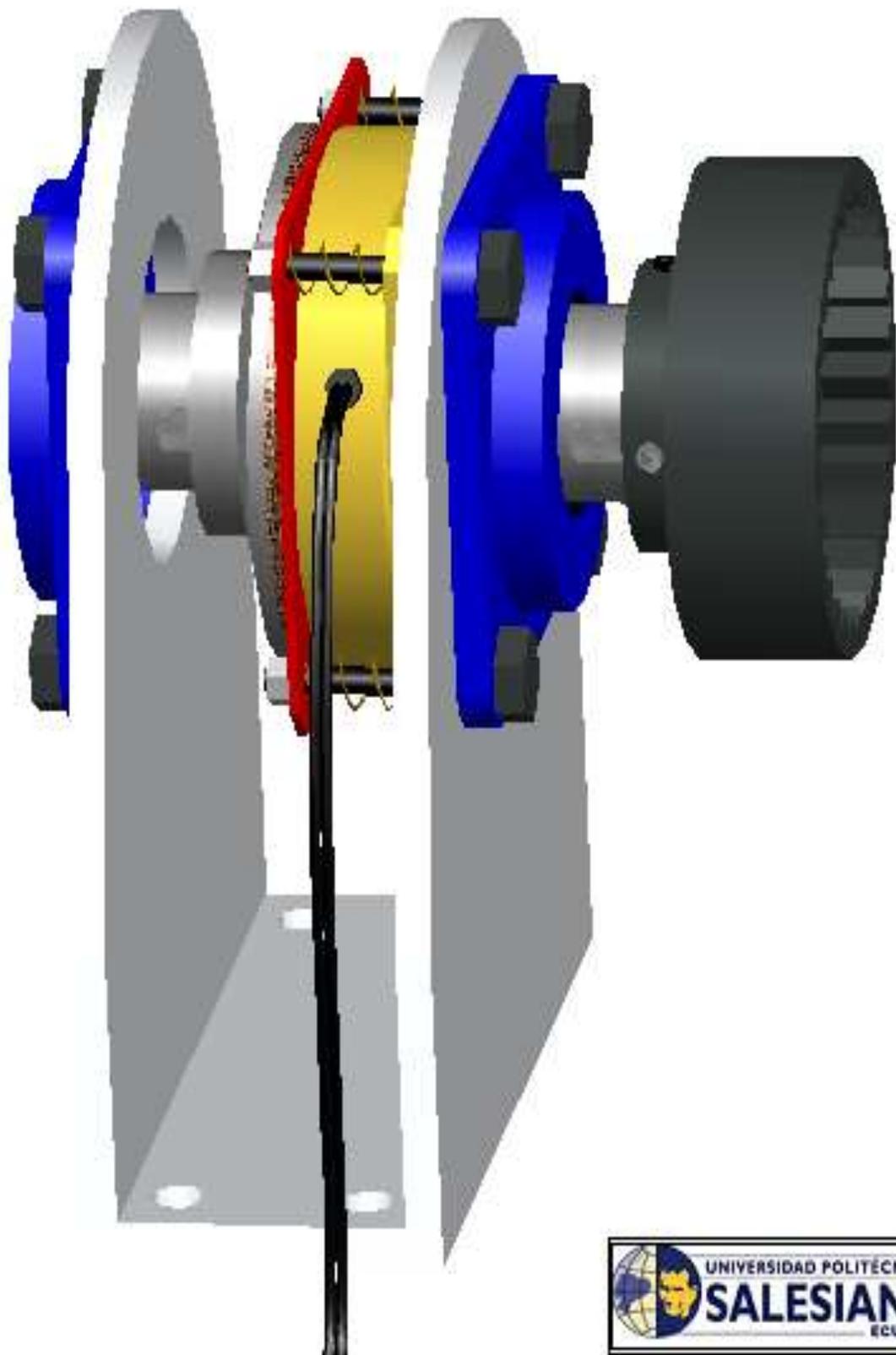


Se realiza la presentación del freno ya ensamblado para ajustar la altura de la base y guías previo al acople con el eje del motor



La imagen muestra el acople exitoso del freno con el motor listo para operar y realizar la pruebas de funcionamiento.

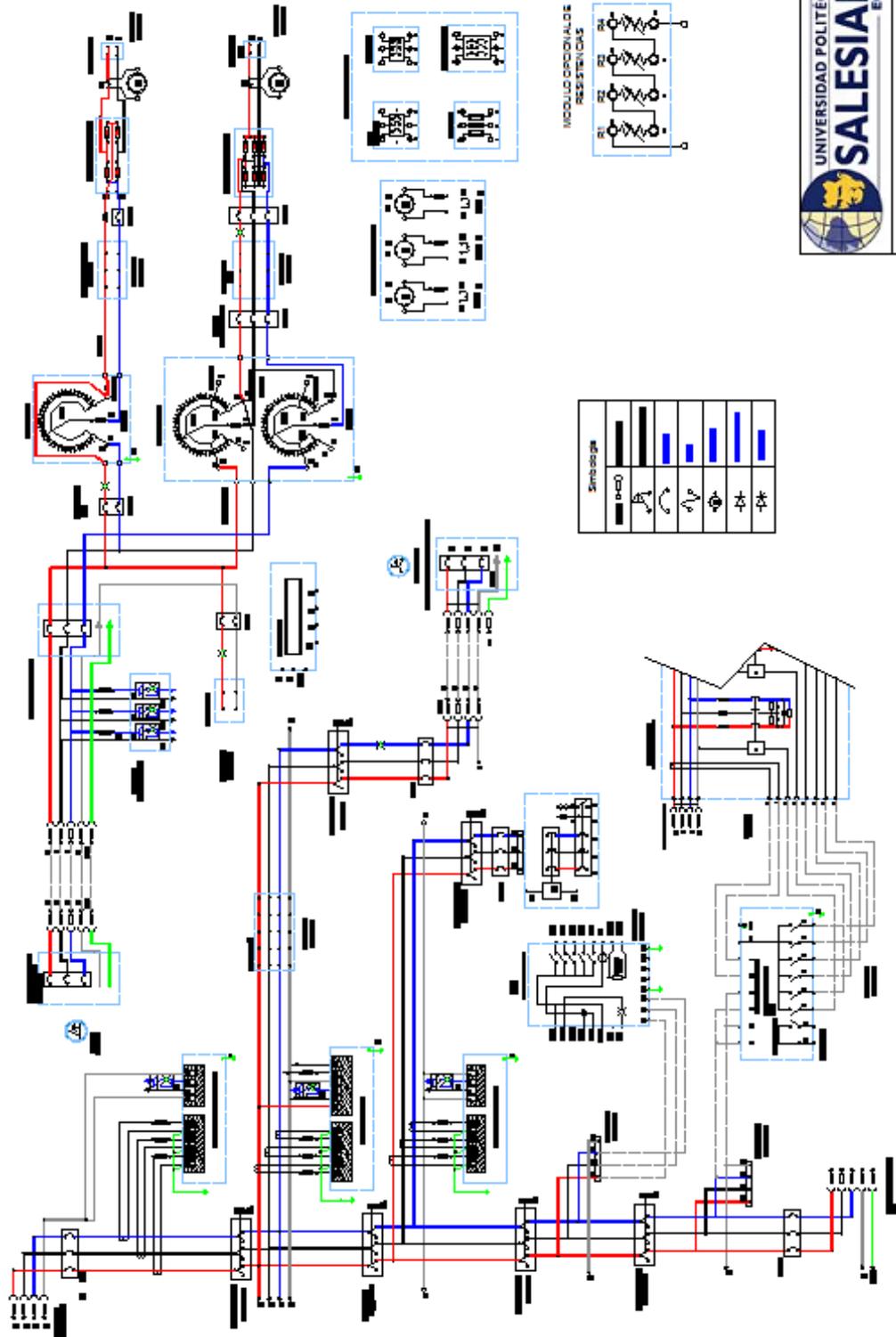




**ANEXO 3**  
**DIAGRAMAS ELÉCTRICOS GENERALES DEL TABLERO DE PRUEBA**



# DIAGRAMA MULTIFILAR



**ANEXOS 4**  
**PROTOCOLOS DE PRUEBA PARA TABLERO**

**ANEXO 5**  
**MANUALES DE PROGRAMACIÓN EQUIPOS**