

**UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO" DE MANABÍ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA**

**TESIS DE GRADO:**

PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:  
INGENIERO ELÉCTRICO

**TEMA:**

"PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN MÁQUINAS DE CORRIENTE ALTERNA,  
UTILIZANDO EQUIPOS EXISTENTES EN EL LABORATORIO DE LA ESCUELA DE  
INGENIERÍA ELÉCTRICA".

**AUTORES:**

RAMÓN BRAVO QUIJIJE  
PLUTARCO MOREIRA MOREIRA

**DIRECTOR DE TESIS**

**ING. WITHER VELÁSQUEZ**

**Manta – Manabi – Ecuador**

**2011 - 2012**

## **AGRADECIMIENTO:**

Agradezco a Dios por haberme dado la oportunidad de llegar hasta estas instancias de mi vida, como persona y como profesional, a los docentes de la Escuela de Ingeniería Eléctrica y en especial al Ing. Wither Velásquez que gracias a su apoyo incondicional, con sus conocimientos y consejos me supo guiar tanto como catedrático y director de tesis.

**Bravo Quijije Ramón Gregorio.**

## **AGRADECIMIENTOS:**

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por haberme bendecido para alcanzar mi meta propuesta, asimismo agradezco sinceramente a mi director y tutor de Tesis, Ingeniero Wither Velásquez.

Su esfuerzo y dedicación, sus conocimientos, su orientación, su manera de trabajar, su persistencia, su paciencia y su motivación han sido fundamentales para culminar mi carrera.

También mi gratitud a mis maestros que con sus vastos conocimientos supieron llegar a mí y hoy gracias a ellos, me siento capaz para enfrentar un nuevo reto en la vida profesional.

A todas y cada una de las personas que siempre estuvieron conmigo apoyándome y dándome fuerzas para no claudicar y seguir adelante.

**Plutarco Moreira Moreira.**

## **DEDICATORIA:**

Le dedico todo lo que he conseguido en mi vida, a mis padres; pero sobretodo a mi madre **ROSA AMERICA QUIJIJE**, que gracias a sus consejos, apoyo, y valores inculcados han hecho de mí una persona honesta, honrada y sobretodo me ha enseñado a luchar por los sueños, que con esfuerzo y dedicación se hacen realidad.

**Bravo Quijije Ramón Gregorio.**

## **DEDICATORIA:**

Me gustaría dedicar esta Tesis a mis padres y familiares:

En especial a mi madre María Moreira por haberme enseñado a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni debilitar en el intento.

Ellos me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, y todo ello con una gran dosis de amor y sin pedir nunca nada a cambio.

A mi hija Alison que siempre me dio fuerzas y que es la razón de mi existencia.

También a mi gran amor que me dio su apoyo incondicional en todo momento.

A ellos, muchas gracias de todo corazón.

**Plutarco Moreira Moreira.**

## **RESPONSABILIDAD DEL DIRECTOR DE TESIS.**

Certifico que el presente trabajo ha sido exhaustivamente revisado, asesorado y actuado en todo el proceso de construcción sobre la tesis que versa sobre el tema: **“Prácticas de laboratorio en máquinas de corriente alterna, utilizando equipos existentes en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica”**, y ha sido elaborada íntegramente por los egresados, Ramón Bravo Quijije y Plutarco Moreira Moreira, habiendo cumplido con todas las disposiciones reglamentarias establecidas; por lo que, autorizo su presentación y sustentación respectiva.

**Ing. Wither Velásquez**  
**DIRECTOR DE TESIS**

### **RESPONSABILIDAD DEL AUTOR.**

Las responsabilidades de las ideas y doctrinas expuestas en esta tesis corresponden exclusivamente a los autores; y declaramos bajo juramento que este trabajo investigativo es inédito y fiel testimonio de la temática presentada a los Honorables Miembros del Tribunal de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, y el patrimonio intelectual de la tesis de grado corresponderá a la Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí”.

**Ramón Bravo Quijije.**  
Egresado.

**Plutarco Moreira Moreira.**  
Egresado.

## INDICE GENERAL

### CAPITULO I

	<b>Pág.</b>	
1.1.	Introducción.	
1.2.	Justificación.	
1.3.	Objetivos.	
1.3.1.	Objetivo general.	
1.3.2.	Objetivos específicos.	

### CAPITULO II

#### TRANSFORMADORES

<b>2.1.</b>	<b>Introducción.</b>	<b>19</b>
2.2.	Principio defuncionamiento.	19
2.3.	Descripción del transformador monofásico Autoprotegido.	20
<b>2.4.</b>	<b>Módulo de pruebas del banco de transformadores.</b>	
2.4.1.	Generalidades.	21
2.4.2.	Nivel de tensión.	22
2.4.3.	Nivel de corriente.	23
2.4.4.	Medición de resistencias y tensiones.	24
<b>2.5.</b>	<b>Polaridad aditiva.</b>	<b>25</b>
2.5.1.	Procedimientos.	25
2.5.2.	Esquema de conexiones.	26
2.5.3.	Medición y determinación de parámetros.	26

<b>2.6.</b>	<b>Prueba de polaridad en un transformador de distribución.</b>	<b>27</b>
2.6.1.	Medición y determinación de parámetros.	28
<b>2.7.</b>	<b>Polaridad sustractiva.</b>	<b>29</b>
2.7.1.	Procedimientos.	29
2.7.2.	Esquema de conexiones.	30
2.7.3.	Medición y determinación de parámetros.	30
<b>2.8.</b>	<b>Conexión de transformadores monofásicos.</b>	<b>31</b>
2.8.1.	Tipos de conexiones.	32
2.8.2.	Desplazamiento angular o índice horario.	33
<b>2.8.3.</b>	<b>Conexión Delta- Delta.</b>	
2.8.3.1.	Introducción.	37
2.8.3.2.	Procedimientos.	38
2.8.3.3.	Esquema conexiones.	38
2.8.3.4.	Mediciones.	39
<b>2.8.4.</b>	<b>Conexión Delta-Delta (sacando un artificio).</b>	
2.8.4.1.	Introducción.	40
2.8.4.2.	Procedimientos.	40
2.8.4.3.	Conexiones y mediciones.	41
<b>2.8.5.</b>	<b>Conexión Estrella- Delta.</b>	
2.8.5.1.	Introducción.	43
2.8.5.2.	Procedimientos.	44
2.8.5.3.	Esquema de conexiones.	45
2.8.5.4.	Mediciones.	45
<b>2.8.6.</b>	<b>Conexión Estrella- Estrella.</b>	
2.8.6.1.	Introducción.	46

2.8.6.2.	Procedimientos.	47
2.8.6.3.	Esquema de conexiones.	47
2.8.6.4.	Mediciones.	48
2.8.7.	<b>Conexión Delta-Estrella.</b>	
2.8.7.1.	Introducción	49
2.8.7.2.	Procedimientos.	50
2.8.7.3.	Esquema de conexiones.	51
2.8.7.4.	Mediciones.	51
2.9.	<b>Conexión en paralelo.</b>	
2.9.1.	Introducción.	52
2.9.2.	Condiciones de acoplamiento.	52
2.9.3.	Comprobación experimental antes del acoplamiento.	53
2.9.4.	Procedimientos.	54
2.9.5.	Conexiones y mediciones.	55
2.10.	<b>Autotransformador.</b>	
2.10.1.	Introducción.	57
2.10.2.	Recomendación.	57
2.10.3.	<b>Autotransformador elevador.</b>	59
2.10.3.1.	Procedimientos y conexiones.	60
2.10.3.2.	Mediciones.	61
2.10.4.	<b>Autotransformador reductor.</b>	61
2.10.4.1.	Procedimientos y conexiones.	62
2.10.4.2.	Mediciones.	63
2.11.	Pérdidas de transformación.	63

<b>2.12.</b>	<b>Ensayo en vacío.</b>	<b>65</b>
2.12.1.	Procedimientos.	66
2.12.2.	Esquema de conexiones.	66
2.12.3.	Medición y determinación de parámetros.	67
<b>2.13.</b>	<b>Ensayo en cortocircuito.</b>	<b>69</b>
2.13.1.	Procedimientos.	70
2.13.2.	Esquema de conexiones.	70
2.13.3.	Medición y determinación de parámetros.	71

### **CAPITULO III**

#### **EMELENTOS PARA EL ARRANQUE DE MOTORES.**

<b>3.1.</b>	<b>Introducción.</b>	<b>73</b>
<b>3.2.</b>	<b>Aparatos de mando o maniobra.</b>	
3.2.1.	Pulsadores.	73
3.2.2.	Selectores.	74
<b>3.3.</b>	<b>Aparatos de señalización.</b>	
3.3.1.	Luces piloto.	75
<b>3.4.</b>	<b>Aparatos de control.</b>	
3.4.1.	Relés de control.	76
3.4.2.	Contactares.	77
3.4.2.1.	Características de los contactares.	78
3.4.2.2.	Partes principales del contador.	78
3.4.3.	Relés de retardo o temporizados.	80
3.4.4.	Relés de supervisión (supervisores de tensión).	82

<b>3.5.</b>	<b>Aparatos de protección.</b>	
3.5.1.	Interruptor termo - magnético (Breaker).	<b>84</b>
3.5.1.1.	Características de los breakers.	<b>85</b>
<b>3.5.2.</b>	<b>Fusible.</b>	<b>86</b>
<b>3.5.3.</b>	<b>Relé de protección contra sobrecarga.</b>	<b>86</b>
3.5.3.1.	Características de los relés térmicos.	<b>87</b>
<b>3.5.4.</b>	<b>Guardamotores.</b>	<b>88</b>
3.1.4.1.	Características de los guarda motores.	<b>89</b>

## **CAPITULO IV**

### **MÁQUINAS ASÍNCRONAS**

<b>4.1.</b>	<b>Introducción.</b>	<b>90</b>
<b>4.2.</b>	<b>Motor asíncrono trifásico.</b>	<b>91</b>
<b>4.3.</b>	<b>Principio de funcionamiento.</b>	<b>92</b>
<b>4.4.</b>	<b>Placa característica.</b>	<b>92</b>
<b>4.5.</b>	<b>Partes principales del motor asíncrono.</b>	<b>93</b>
<b>4.6.</b>	<b>Caja de bornes.</b>	<b>94</b>
<b>4.7.</b>	<b>Características de los motores asíncronos.</b>	<b>95</b>
<b>4.8.</b>	<b>Arranque de los motores asíncronos.</b>	<b>96</b>
<b>4.8.1.</b>	<b>Arranque directo.</b>	<b>96</b>
4.8.1.1.	Cálculo eléctrico.	<b>97</b>
4.8.1.2.	Selección de materiales.	<b>100</b>
4.8.1.3.	Procedimientos para la conexión.	<b>101</b>
4.8.1.4.	Circuito de fuerza o potencia.	<b>103</b>

4.8.1.5.	Circuito de control o mando.	103
4.8.1.6.	Funcionamiento del circuito de control.	104
4.8.1.7.	Mediciones.	105
4.8.2.	<b>Arranque Estrella Triángulo.</b>	106
4.8.2.1.	Conexión estrella.	107
4.8.2.2.	Conexión triángulo.	107
4.8.2.3.	Conmutación estrella triángulo.	108
4.8.2.4.	Cálculo eléctrico.	109
4.8.2.5.	Selección de materiales.	114
4.8.2.6.	Procedimientos para la conexión.	115
4.8.2.7.	Circuito de fuerza o potencia.	117
4.8.2.8.	Circuito de control o mando.	118
4.8.2.9.	Funcionamiento del circuito de control.	119
4.8.2.10.	Mediciones.	120
4.8.3.	<b>Arranque con inversión de giro.</b>	121
4.8.3.1.	Cálculo eléctrico.	122
4.8.3.2.	Selección de materiales.	124
4.8.3.3.	Procedimientos para la conexión.	125
4.8.3.4.	Circuito de fuerza o potencia.	126
4.8.3.5.	Circuito de control o mando.	127
4.8.3.6.	Funcionamiento del circuito de control.	128
4.8.3.7.	Mediciones.	129
4.9.	<b>Corrección del factor de potencia.</b>	
4.9.1.	Introducción.	130

<b>4.9.2.</b>	Aplicación teórica.	<b>130</b>
<b>4.9.3.</b>	Cálculo de la potencia reactiva a instalar.	<b>134</b>
<b>4.9.4.</b>	Elección del banco de capacitores.	<b>139</b>
<b>4.9.5.</b>	Problemas por bajo factor de potencia.	<b>140</b>
<b>4.9.6.</b>	Beneficios por corregir el factor de potencia.	<b>140</b>
<b>4.10.</b>	<b>Variador de velocidad.</b>	
<b>4.10.1</b>	Introducción.	<b>141</b>
<b>4.10.2.</b>	Selección del un variador de velocidad.	<b>141</b>
<b>4.10.2.1.</b>	Características del motor asíncrono.	<b>144</b>
<b>4.10.2.2.</b>	Características del variador de velocidad.	<b>144</b>
<b>4.10.3.</b>	Panel de operación (BOP).	<b>145</b>
<b>4.10.4.</b>	Botones y sus funciones en el panel (BOP).	<b>145</b>
<b>4.10.5.</b>	Puesta en servicio rápida del motor asíncrono.	<b>147</b>
<b>4.10.6.</b>	Ingreso de parámetros en el variador.	<b>148</b>
<b>4.10.6.1.</b>	Control mediante el panel BOP.	<b>148</b>
<b>4.10.6.2.</b>	Control mediante las entradas digitales del variador.	<b>149</b>
<b>4.10.6.3.</b>	Parametrización de entradas digitales.	<b>150</b>
<b>4.10.7.</b>	Conexión variador/motor.	<b>150</b>
<b>4.10.8.</b>	Copiar parámetros en el BOP.	<b>151</b>

**CAPITULO V**  
**MÁQUINAS SÍNCRONAS**

<b>5.1.</b>	<b>Introducción.</b>	<b>154</b>
<b>5.2.</b>	Motor síncrono trifásico.	<b>155</b>
<b>5.3.</b>	Principio de funcionamiento.	<b>156</b>
<b>5.4.</b>	Arranque del motor síncrono.	<b>157</b>
<b>5.5.</b>	Procedimientos y conexiones	<b>158</b>
<b>5.6.</b>	<b>Corrección del factor de potencia.</b>	
	(Empleando el motor síncrono).	<b>159</b>
<b>5.6.1.</b>	Motor como condensador síncrono.	<b>159</b>
<b>5.6.2.</b>	Procedimientos y conexiones.	<b>160</b>
<b>5.6.3.</b>	Mediciones y determinación de parámetros.	<b>162</b>

**CAPITULO VI**

<b>6.1.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b>	
<b>6.1.1.</b>	Conclusiones.	
<b>6.1.2.</b>	Recomendaciones.	
<b>6.2.</b>	<b>Anexos.</b>	
<b>6.3.</b>	<b>Bibliografía.</b>	

# CAPITULO I

## **1.1. INTRODUCCIÓN**

El Laboratorio Integrado de Máquinas Eléctricas (estáticas y rotativas) es un conjunto de diferentes elementos que pueden ser interconectados para formar un centro completo de enseñanza y aprendizaje. Desde la configuración mínima a la más avanzada, ofrece un medio para aprender las funciones eléctricas y la de sus dispositivos más útiles.

El docente puede elegir el equipo que mejor se adapte a sus necesidades educativas. Los equipos principales constituyen la base para un buen entendimiento de las funciones y equipamiento eléctrico. Los elementos o equipos ayudan a un conocimiento más profundo de la materia, que han sido diseñados como una de las mejores ayudas en la enseñanza.

El presente manual pretende dotar al estudiante de una guía rápida en la selección de configuraciones para la conexión de transformadores de distribución y motores eléctricos, sean estos destinados para aplicaciones industriales, comerciales o residenciales.

Se ha puesto especial énfasis en la diagramación, a fin de facilitar la práctica en la conectividad. Y mediante las fórmulas de cálculo expuestas, se deducirá el dimensionamiento de las unidades monofásicas que conformaran una subestación trifásica.

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

El laboratorio de máquinas eléctricas consta de las diversas máquinas y equipos construidos por los estudiantes de la escuela de ingeniería eléctrica para la enseñanza y aprendizaje con la única finalidad de mantener un nivel académico aceptable que ayude a complementar el conocimiento teórico - técnico con lo práctico, para que el estudiante desarrolle su intelecto. Ante esto el docente se ve en la necesidad de tener una guía para saber que prácticas puede realizarle a una máquina eléctrica, utilizando los equipos e instrumentos que se necesiten para poder realizar tales prácticas y así poder comprender su función operativa y transmitir a los estudiantes con mayor seguridad sus conocimientos.

Para realizar las respectivas mediciones en cada una de las prácticas, se va a emplear el **Analizador De Red LCC**, que es un instrumento que nos va a ayudar a tomar datos de todos los parámetros posibles para un mayor entendimiento de su funcionamiento.

Queremos hacer constancia de que nuestra tesis de grado, no solo va a quedar como un proyecto investigativo; sino que, para su desarrollo práctico nos comprometemos de la manera más comedida a realizar todo su contenido paso a paso en el laboratorio de máquinas eléctricas, mediante pruebas de campo. Y de ésta manera el estudiante, pueda asimilar la realidad en su vida profesional.

### **1.3. OBJETIVOS:**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL.**

- ❖ Análisis práctico del Laboratorio de Máquinas Eléctricas permitiendo al estudiante de Ingeniería Eléctrica consolidar de forma práctica sus conocimientos teóricos sobre las distintas máquinas y equipos analizados durante los ensayos realizados. Logrando así la formación básica para un desempeño profesional satisfactorio, reconociendo los equipos, instrumentos, materiales y accesorios que serán utilizados en el desarrollo de dichas prácticas de laboratorio en Máquinas Eléctricas.

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.**

- ❖ Realizar un diagnóstico de las máquinas existentes.
- ❖ Saber usar los diferentes equipos de medida que se utilizarán en el desarrollo de los diferentes ensayos.
- ❖ Ser capaz de realizar informes técnicos de calidad sobre los ensayos realizados.
- ❖ Conocer y comprender el funcionamiento de las máquinas eléctricas de corriente alterna.
- ❖ Establecer las bases científicas y tecnológicas que permiten definir el comportamiento de estas máquinas en diferentes estados de funcionamiento.
- ❖ Determinar circuitos equivalentes que permitan estudiar analíticamente las máquinas y comprobar en el laboratorio su validez en diferentes estados de funcionamiento.
- ❖ Cuantificar y predecir los valores de las magnitudes eléctricas y mecánicas en distintos regímenes de funcionamiento.
- ❖ Proporcionar el conocimiento técnico operativo de equipos necesarios para el desarrollo de las prácticas.

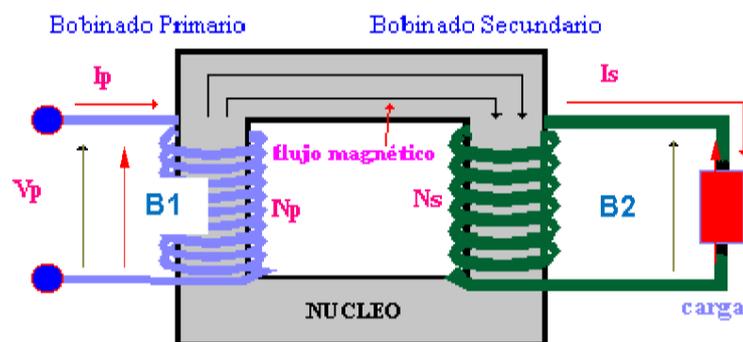
## CAPÍTULO II

### TRANSFORMADORES

#### 2.1. Introducción:

Los transformadores son aquellos dispositivos estáticos; es decir, sin partes móviles, destinados a transferir energía eléctrica de un circuito a otro, bajo el principio de inducción electromagnética, siendo el enlace común entre ambos circuitos, un flujo magnético común.

La transferencia de energía la hace por lo general con cambios en los valores de voltajes y corrientes.



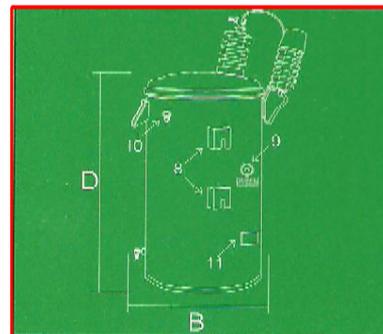
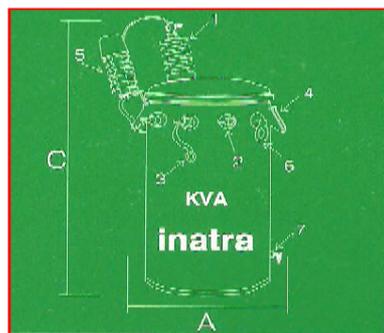
#### 2.2. Principio de funcionamiento.

El transformador es un dispositivo eléctrico constituido con dos bobinas acopladas magnéticamente entre sí, de tal forma que al paso de una corriente eléctrica por la primera bobina (llamada primaria) provoca una inducción electromagnética que implica necesariamente a la segunda bobina (llamada secundaria) y provocando con este principio físico lo que se viene a llamar transferencia de potencia.

Es decir que por inducción mutua, o sea por medio de un flujo magnético una potencia alterna pasa de un circuito eléctrico a otro circuito eléctrico, separado del primero. A la bobina **B1** que actúa como generadora del flujo se le llama arrollamiento primario o, también, devanado primario; la bobina **B2** que actúa como receptora del flujo se denomina arrollamiento secundario o devanado secundario.

Cuando el devanado primario es también el devanado de **Alta Tensión**, se trata de un **Transformador Reductor**, es decir, que reduce la tensión; por el contrario, si el devanado primario es el devanado de **Baja Tensión**, se trata de un **Transformador Elevador** ya que la tensión de utilización en el secundario, es más elevada que la tensión primaria.

### 2.3. Descripción de un transformador monofásico Autoprotegido.



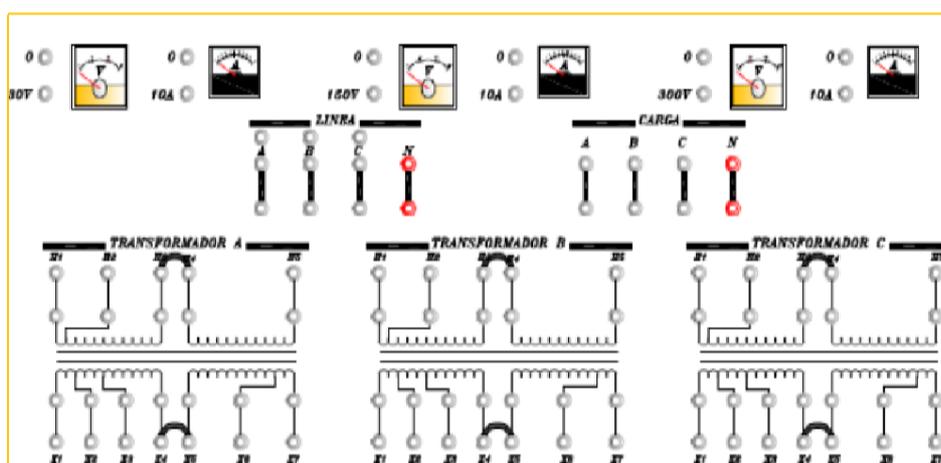
- 1) Bushing de alta tensión (A-T).
- 2) Bushing de baja tensión (B-T).
- 3) Perno de puesta a tierra.
- 4) Oreja de levante.
- 5) Apartarrayo.
- 6) Breaker.
- 7) Brake de suspensión.
- 8) Conmutador de accionamiento exterior.
- 9) Válvula de sobrepresión.
- 10) Placa de características técnicas.

## 2.4. MODULO DE PRUEBA EN UN BANCO DE TRANSFORMADORES.

### 2.4.1. Generalidades:

El módulo de pruebas consta de las siguientes características generales; tres transformadores monofásicos del tipo de núcleo, enfriado por circulación natural del aire de la clase llamados “transformadores secos”, que son el corazón del equipo y en cuyo diseño y construcción se centrará la mayor parte de este estudio.

Con el propósito de efectuar mediciones de intensidad de corriente y tensión, posee instalado en la parte superior del tablero principal, tres amperímetros y tres voltímetros perfectamente identificados por su intensidad máxima y nivel de tensión máxima, con sus respectivos bornes claramente señalados y convenientemente dispuestos de tal modo que sean de fácil lectura.



**Modulo de pruebas con transformadores monofásicos.**

## 2.4.2. Nivel de tensión.

Con el propósito de manejar un margen adecuado de seguridad en las prácticas, el equipo trabajará con bajos niveles de tensión así que:

- **Voltaje primario:**

En el **lado primario** o de alta tensión los transformadores trabajarán a un nivel de tensión nominal de **240 VAC**.

Las bobinas serán devanadas por separado y de cada uno de ellos se sacará derivaciones para obtener diversos valores de tensiones.

En consecuencia en el lado de alta tensión tendremos los siguientes voltajes.

Bornes	Tensión (V)	Porcentaje (%)
$H_1 - H_2$	32.15	13.40
$H_1 - H_3 = H_4$	120.0	50.0
$H_3 = H_4 - H_5$	120.0	50.0
$H_1 - H_5$	240.0	100.0

- **Voltaje secundario:**

En el **lado secundario** de baja tensión los transformadores trabajarán a un nivel de tensión nominal de **120 VAC**.

En estas bobinas se tomarán derivaciones que permiten las diversas conexiones por lo que las tensiones se repartirán de la siguiente manera:

Bornes	Tensión (V)	Porcentaje (%)
$X_1 - X_2$	6.0	5.0
$X_1 - X_3$	22.50	20.6
$X_1 - X_4 = X_5$	60.0	50.0
$X_1 - X_7$	120.0	100.0
$X_5 - X_6$	43.92	36.60
$X_6 - X_7$	16.08	13.40

La relación de transformación será entonces de:

$$R_T = \frac{V_1}{V_2} = \frac{240}{120} = 2$$

### Potencia En Los Transformadores.

Cada uno de los transformadores están diseñados para suplir una potencia de **1000** Voltios Amperios Nominales, esto es **1 KVA** cada uno; es decir, que juntos conforman un banco trifásico de **3000 VA Ó 3KVA**.

#### 2.4.3. Nivel de corriente.

Como consecuencia de lo antes mencionado, tendremos en función de la potencia de los transformadores y de las tensiones nominales primaria y secundaria las intensidades nominales tales como:

- **Corriente primaria:**

$$I_P = \frac{S_N}{V_P} \rightarrow (\text{Amp})$$

$$I_P = \frac{1000VA}{240V} = 4,17 (\text{Amp})$$

- **Corriente secundaria:**

$$I_S = \frac{S_N}{V_S} \rightarrow (\text{Amp})$$

$$I_S = \frac{1000VA}{120} = 8,33 (\text{Amp})$$

#### 2.4.4. Medición de resistencias y tensiones:

Para este ensayo hemos empleado, un multímetro para realizar las respectivas mediciones, tanto de voltajes como de resistencias en sus respectivos devanados.

<b>Bornes de alta tensión</b>			
	<b>240 V</b>	<b>120 V</b>	<b>□</b>
$H_1(\text{Tr}_A) \text{ Y } H_2(\text{Tr}_A)$	<b>25</b>	<b>14</b>	<b>1,3</b>
$H_1(\text{Tr}_A) \text{ Y } H_3(\text{Tr}_A) = H_4(\text{Tr}_A)$	<b>104</b>	<b>59</b>	<b>1,8</b>
$H_1(\text{Tr}_A) \text{ Y } H_5(\text{Tr}_A)$	<b>211</b>	<b>119</b>	<b>2,5</b>
$H_2(\text{Tr}_A) \text{ Y } H_3(\text{Tr}_A) = H_4(\text{Tr}_A)$	<b>77</b>	<b>43</b>	<b>1,6</b>
$H_2(\text{Tr}_A) \text{ Y } H_5(\text{Tr}_A)$	<b>183</b>	<b>103</b>	<b>2,2</b>
$H_3(\text{Tr}_A) = H_4(\text{Tr}_A) \text{ Y } H_5(\text{Tr}_A)$	<b>104</b>	<b>59</b>	<b>1,6</b>
<b>Bornes de baja tensión</b>			
$X_1(\text{Tr}_A) \text{ Y } X_2(\text{Tr}_A)$	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1,1</b>
$X_1(\text{Tr}_A) \text{ Y } X_3(\text{Tr}_A)$	<b>20</b>	<b>11</b>	<b>1,1</b>
$X_1(\text{Tr}_A) \text{ Y } X_4(\text{Tr}_A) = X_5(\text{Tr}_A)$	<b>51</b>	<b>28</b>	<b>1,1</b>
$X_1(\text{Tr}_A) \text{ Y } X_6(\text{Tr}_A)$	<b>90</b>	<b>51</b>	<b>1,4</b>
$X_1(\text{Tr}_A) \text{ Y } X_7(\text{Tr}_A)$	<b>105</b>	<b>59</b>	<b>1,4</b>
$X_2(\text{Tr}_A) \text{ Y } X_3(\text{Tr}_A)$	<b>15</b>	<b>8</b>	<b>1,1</b>
$X_2(\text{Tr}_A) \text{ Y } X_4(\text{Tr}_A) = X_5(\text{Tr}_A)$	<b>45</b>	<b>25</b>	<b>1,1</b>
$X_2(\text{Tr}_A) \text{ Y } X_6(\text{Tr}_A)$	<b>85</b>	<b>48</b>	<b>1,3</b>
$X_2(\text{Tr}_A) \text{ Y } X_7(\text{Tr}_A)$	<b>99</b>	<b>56</b>	<b>1,4</b>
$X_3(\text{Tr}_A) \text{ Y } X_4(\text{Tr}_A) = X_5(\text{Tr}_A)$	<b>29</b>	<b>16</b>	<b>1,3</b>
$X_3(\text{Tr}_A) \text{ Y } X_6(\text{Tr}_A)$	<b>69</b>	<b>38</b>	<b>1,4</b>
$X_3(\text{Tr}_A) \text{ Y } X_7(\text{Tr}_A)$	<b>82</b>	<b>46</b>	<b>1,4</b>
$X_4(\text{Tr}_A) = X_5(\text{Tr}_A) \text{ Y } X_6(\text{Tr}_A)$	<b>38</b>	<b>21</b>	<b>1,0</b>
$X_4(\text{Tr}_A) = X_5(\text{Tr}_A) \text{ Y } X_7(\text{Tr}_A)$	<b>52</b>	<b>29</b>	<b>1,0</b>
$X_6(\text{Tr}_A) \text{ Y } X_7(\text{Tr}_A)$	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>1,0</b>

Sólo se ha utilizado uno de los tres transformadores monofásicos del banco de pruebas, ya que los tres transformadores tienen la misma relación de transformación y los resultados van a ser iguales.

Para tener clara estas lecturas, se pueden realizar mediciones a los transformadores **(B y C)**.

## **2.5. POLARIDAD ADITIVA.**

La **polaridad positiva** se da cuando en un **transformador** el bobinado secundario está arrollado en el mismo sentido que el bobinado primario. Ésto hace que los flujos de los dos bobinados giren en el mismo sentido y se sumen.

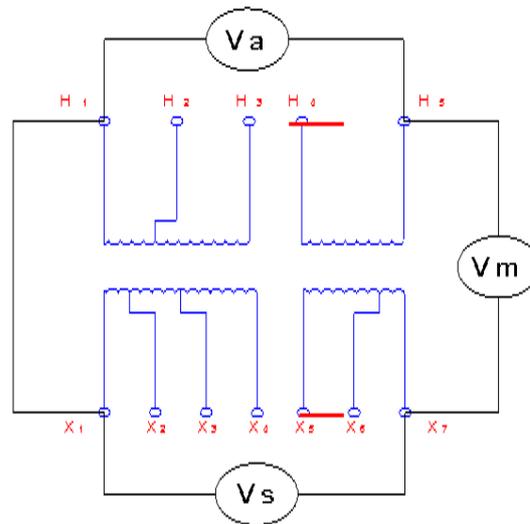
La polaridad es aditiva cuando la lectura del voltímetro es mayor al voltaje aplicado. El terminal de alta tensión “**H1**” está diagonal respecto al terminal de baja tensión “**X1**”.

### **2.5.1. Procedimientos:**

Pasos a seguir para realizar el ensayo de polaridad aditiva:

- 1)** Realizamos dos puentes, uno entre **H3** y **H4** en el devanado de alta tensión y el otro entre **X4** y **X5** en el devanado de baja tensión, para así formar un solo devanado tanto en alta como en baja tensión.
- 2)** Realizamos un puente de conexión, sólo para pruebas entre **H1** y **X1**.
- 3)** Aplicamos un valor de prueba entre **H1** y **H5** de **120 V** (La tensión aplicada tiene que ser un valor inferior al voltaje nominal **240 V**).
- 4)** Ubicamos un voltímetro en los bornes **H5** y **X7**. Y la lectura proporcionada por el voltímetro nos indica un voltaje mayor al aplicado de **180 V**, lo cual nos indica que el transformador tiene polaridad aditiva.

### 2.5.2. Esquema de conexiones:



#### Terminología:

$V_a$ : Voltaje aplicado.

$V_s$ : Voltaje de salida en baja tensión.

$V_m$ : Voltaje medido con el voltímetro.

### 2.5.3. Medición y determinación de parámetros.

Como el transformador tiene una relación de **2/1** y hemos aplicado un voltaje de **120 V**, entonces en los bornes **X1 y X7** nos da un voltaje de **60 V**.

Relación de transformación.

$$r_t = \frac{V_p}{V_s}$$

Voltaje medido en baja tensión, en los bornes **X1 y X7**.

$$V_s = \frac{120 \text{ v}}{2} = 60 \text{ V}$$

La lectura proporcionada por el voltímetro entre **H5 y X7** es **180 V**.

$$180 \text{ V}_V \cong 120 \text{ V}_P + 60 \text{ V}_S$$

**180<sub>v</sub>**: Lectura del voltímetro.

**120 v<sub>p</sub>**: Tensión de prueba aplicada en los bornes **H1** y **H5**.

**60 V**: Tensión resultante en baja tensión en los bornes **X1** y **X7**.

## 2.6. PRUEBA DE POLARIDAD EN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION.

Placa característica del transformador monofásico de distribución.

**Datos técnicos de la placa característica:**

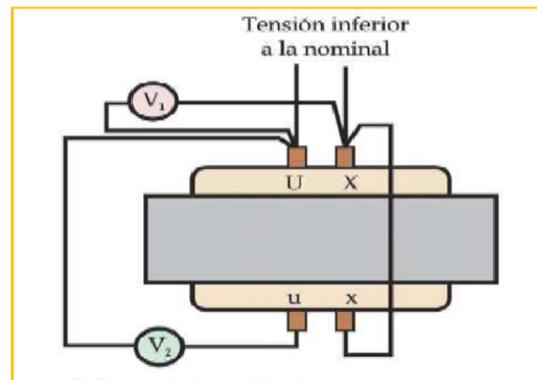
<b>13800 V GRD – Y / 7970 – 120 / 240 V</b>
<b>60 HZ</b>
<b>3 % De impedancia.</b>
<b>CLASE OA</b>
<b>Polaridad aditiva.</b>

La siguiente tabla, muestra las posibles regulaciones que se pueden realizar al devanado de alta tensión, mediante posibles variaciones de tensión que se presenten en el sistema de alimentación.

<b>Posición del tap de derivación.</b>	
<b>1.A</b>	<b>105,0%</b>
<b>2.B</b>	<b>102,5 %</b>
<b>3.C</b>	<b>100,0 %</b>
<b>4.D</b>	<b>97,5 %</b>
<b>5.E</b>	<b>95,0%</b>

En la siguiente prueba se va a determinar la polaridad del transformador.

### 2.6.1. Medición y determinación de parámetros:



Prueba de polaridad.

#### Designación de bornes.

(U-X) = (H2-H1): Bornes de alta tensión.

(u-x) = (X1-X3): Bornes de baja tensión.

Bornes	Lecturas	Denominación
$H_1 - H_2$	114 V	Voltaje de alimentación
$X_3 - X_1$	3 V	Voltaje en baja tensión
$H_2 - X_1$	117 V	Lectura del voltímetro

La relación de transformación es:

$$R_T = \frac{V_P}{V_S} = \frac{7970}{240} = 33,2$$

Si aplicamos un voltaje de prueba en alta tensión de 114 V; entonces en el lado de baja tensión daría:

$$V_S = \frac{V_P}{R_T} = \frac{114}{33,2} = 3,4 \text{ V}$$

Este voltaje es aproximadamente al voltaje medido en baja tensión  $X_3 - X_1$ , durante el ensayo.

La lectura tomada por el voltímetro ( $V_V$ ) es aproximadamente igual a la siguiente relación:

$$V_V = V_P + V_S$$

$$V_V = (114 \text{ V} + 3 \text{ V}) = 117 \text{ V}$$

En conclusión, se ha determinado que el transformador tiene polaridad aditiva.

## **2.7. POLARIDAD SUSTRACTIVA.**

La **polaridad sustractiva** se da cuando en un **transformador** el bobinado secundario esta arrollado en sentido opuesto al bobinado primario. Esto hace que los flujos de los dos bobinados giren en sentidos opuestos y se resten.

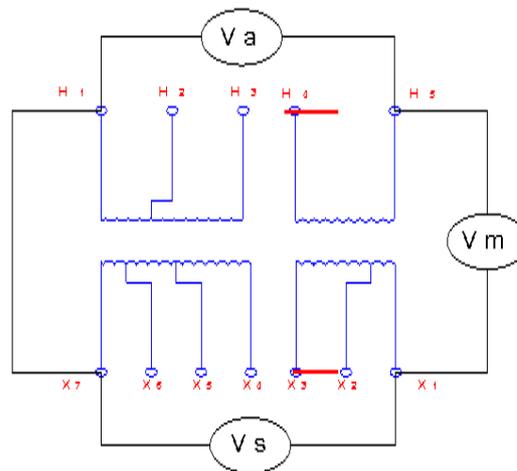
La polaridad es sustractiva cuando la lectura del voltímetro es menor al voltaje aplicado. El terminal de alta tensión "**H1**" está adyacente respecto al terminal de baja tensión "**X1**".

### **2.7.1. Procedimientos:**

Pasos a seguir para realizar el ensayo de polaridad sustractiva:

- 1)** Realizamos dos puentes, uno entre **H3** y **H4** en el devanado de alta tensión y el otro entre **X4** y **X5** en el devanado de baja tensión, para así formar un solo devanado tanto en alta como en baja tensión.
- 2)** Realizamos un puente de conexión, sólo para pruebas entre **H1** y **X7**.
- 3)** Aplicamos un voltaje de prueba entre **H1** y **H7** de **120 V** (La tensión aplicada tiene que ser un valor inferior al voltaje nominal **240 V**).
- 4)** Ubicamos un voltímetro en los bornes **H5** y **X1**. Y la lectura proporcionada por el voltímetro nos indica un voltaje menor al aplicado de **60 V**, lo cual nos indica que el transformador tiene polaridad sustractiva.

### 2.7.2. Esquema de conexiones:



#### Terminología:

$V_a$ : Voltaje aplicado.

$V_s$ : Voltaje de salida en baja tensión.

$V_m$ : Voltaje medido con el voltímetro.

### 2.7.3. Medición y determinación de parámetros:

Como el transformador tiene una relación de **2/1** y hemos aplicado un voltaje de **120 V**, entonces en los bornes **X1 y X7** nos da un voltaje de **60 V**.

Relación de transformación.

$$r_t = \frac{V_p}{V_s}$$

Voltaje medido en baja tensión, en los bornes **X1 y X7**.

$$V_s = \frac{120 \text{ v}}{2} = 60 \text{ V}$$

La lectura proporcionada por el voltímetro entre **H5 y X7** es **60 V**.

$$60 \text{ V}_v \cong 120 \text{ V}_p - 60 \text{ V}_s$$

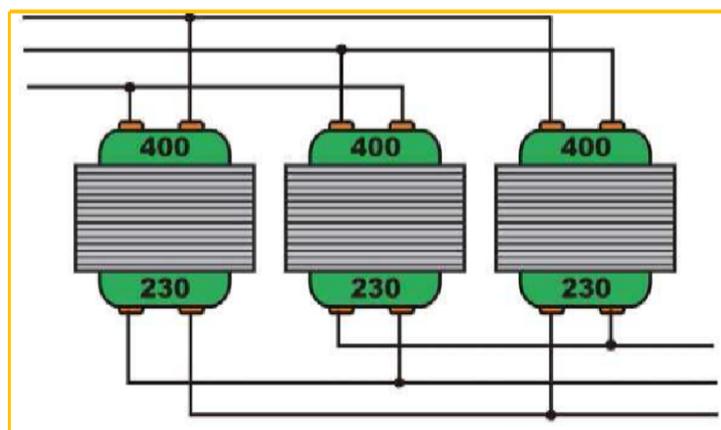
**60 V<sub>v</sub>**: Lectura del voltímetro.

**120 v<sub>p</sub>**: **Tensión** de prueba aplicada en los bornes **H1** y **H5**.

**60 V<sub>s</sub>**: **Tensión** resultante en baja tensión en los bornes **X1** y **X7**.

## 2.8. Conexión de transformadores monofásicos:

Los transformadores son una parte principal en sistemas trifásicos de **(CA)**. Por lo que para su utilización en estos sistemas, se pueden tomar tres transformadores monofásicos y conectarlos en un banco trifásico, es decir, tres transformadores por separados, unidos mediante algún tipo de conexión, esta configuración presenta la desventaja de ser más caro que utilizar un solo transformador trifásico, y tiene como ventaja que cualquier unidad del banco puede ser reemplazada individualmente.



**Banco de transformadores monofásicos.**

Recibe el nombre de **banco trifásico** al conjunto formado por tres transformadores monofásicos exactamente iguales, conectados entre sí de forma tal que sea posible la transformación de un sistema trifásico de tensiones.

En un sistema trifásico las tensiones están desplazadas **120 grados eléctricos**, además la relación de transformación “**R<sub>T</sub>**” de cualquier transformador viene dada por:

$$R_T = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

**V<sub>1</sub>**: Es la tensión del primario.

**V<sub>2</sub>**: Es la tensión en el secundario.

**N<sub>1</sub>**: Es la relación de vueltas del primario.

**N<sub>2</sub>**: Es la relación de vueltas del secundario.

### **2.8.1. Tipos de conexiones.**

Los primarios y secundarios de cualquier transformador trifásico se pueden conectar independientemente en estrella (**Y**) o en delta (**Δ**), de lo cual se obtienen cuatro tipos de conexiones en transformadores trifásicos, las cuales son:

- 1) Delta – Delta (Δ - Δ)**
- 2) Delta – Estrella(Δ - Y)**
- 3) Estrella – Delta (Y -Δ)**
- 4) Estrella – Estrella(Y - Y)**

Antes de realizar cualquier conexión, debemos tener en cuenta algo tan importante; como es, el desplazamiento angular.

### 2.8.2. Desplazamiento angular o índice horario:

Todos los arrollamientos montados sobre una misma columna abrazan en cada instante el mismo flujo común con el fin de precisar el sentido de las f.e.m. suponemos que el sentido de arrollamiento de las bobinas primarias y secundarias es el mismo. Si designamos con la misma letra los terminales homólogos en cuanto a polaridad instantánea de dos cualesquiera de estos arrollamientos montados sobre la misma columna, los vectores representativos de las f.e.m. respectivos se presentaran como se indica a continuación.

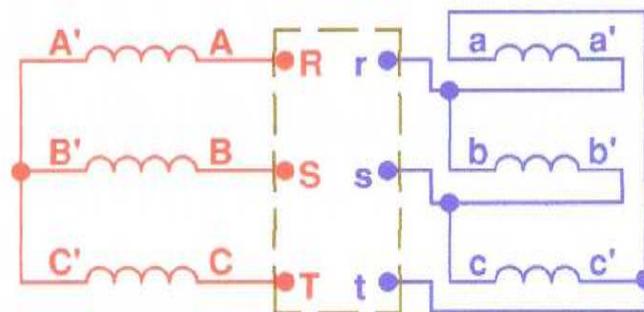


Fig. 2.1.- Esquema de conexiones del transformador.

Recordar que la designación normalizada de los terminales de un banco de transformadores es así:

Se denominan con letras mayúsculas (**A, B, C, A', B', C'**) los terminales del devanado de alta tensión (**A.T**) y con minúsculas (**a, b, c, a', b', c'**) los terminales del devanado de baja tensión (**B.T**).

Los dos extremos de la misma fase están designados con la misma letra, aunque en uno de ellos dicha letra llevará apóstrofe (**a y a', A y A', b y b', B y B', c y c', C y C'**).

Una fase del primario y otra del secundario bobinadas sobre la misma columna del circuito magnético del transformador tienen sus tensiones prácticamente en fase y la designación de sus terminales son con las mismas letras (en mayúsculas en el lado de **A.T**, y minúsculas en el lado de **B.T**). De ésta forma las tensiones  $V_{AA'}$  y  $V_{aa'}$  están en fase y lo mismo sucede con  $V_{BB'}$  y  $v_{bb'}$  y con  $V_{CC'}$  y  $V_{cc'}$ .

En un sistema trifásico las tensiones de línea forman un triángulo equilátero, cuyos vértices se corresponden con las tres fases de la red. El centro de este triángulo representa el neutro. De esta forma las tensiones fase – neutro van desde el centro de este triángulo hasta sus vértices.

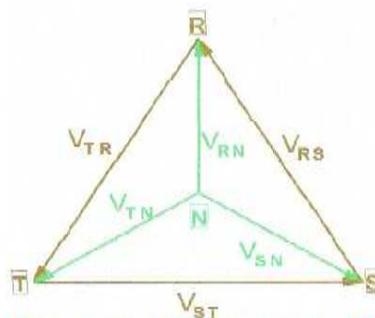


Fig.2.2.- Diagrama fasorial de tensiones de un sistema trifásico equilibrado.

En el caso del transformador que nos ocupa, el devanado de **(A.T)**, está conectado en estrella, por lo que las tensiones de fase son iguales a las tensiones fase – neutro de la red de alimentación a la que está conectado. Tal como están realizadas las conexiones del transformador, se tiene que los terminales **A'**, **B'**, **C'** están a la tensión del neutro de la red de **(A.T)**, y los terminales **A**, **B**, **C** están conectados a las fase de esta red. Por lo tanto, se deduce el diagrama fasorial del bobinado de **(A.T)**, representado en la figura (a).

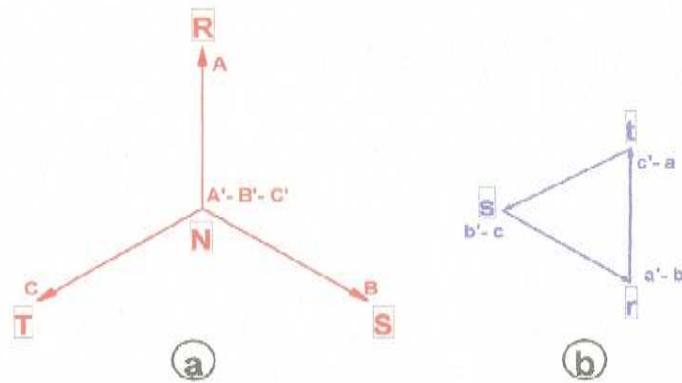


Fig. 2.3.- Diagramas fasoriales de los devanados de A.T (a) y de B.T (b) del transformador.

A continuación se dibuja el diagrama fasorial del arrollamiento de **(B.T)**, teniendo en cuenta que las tensiones  $V_{aa'}$ ,  $V_{bb'}$ ,  $V_{cc'}$  están en fase, respectivamente, con  $V_{AA'}$ ,  $V_{BB'}$ ,  $V_{CC'}$  y que, dada la conexión triángulo de este devanado, estas tensiones son de línea y forman, por lo tanto, un triángulo equilátero. Además, según se aprecia en la figura **(1)**, los terminales **a** y **c'** están a igual tensión y lo mismo sucede con los terminales **b** y **a'** y con **c** y **b'**, también se tiene que, según la figura **(1)**, las fase **r**, **s**, y **t** de la red del lado de **(B.T)** se corresponden, respectivamente, con los terminales **a'**, **b'**, y **c'** del transformador.

Con todo ello se obtiene el diagrama fasorial del bobinado de **(B.T)**, representado en la figura **(b)**.

Si se dibujan los diagramas fasoriales del devanado de **(A.T)**, Fig. **(a)** y del devanado de **(B.T)**, Fig. **(b)** de forma que los centros de ambos diagramas coincidan y se obtiene el siguiente diagrama fasorial.

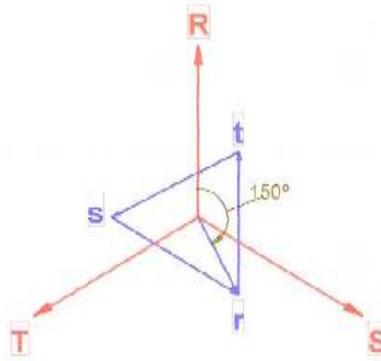


Fig. 2.4.- Diagrama fasorial de ambos devanados del transformador.

Teniendo en cuenta que la tensión fase – neutro  $V_{r_n}$  del lado de **(B.T)**, es igual a la tensión entre el terminal  $a'$  ( a la tensión de la fase  $r$  de la red) y el neutro de la red de **(B.T)**, (centro del triángulo de tensiones de línea del lado de **(B.T)**), se observa en la figura (4) que el desfase entre las tensiones homólogas fase – neutro  $V_{RN}$  del lado de **(A.T)**, y  $V_{r_n}$  del lado de **(B.T)**, (ángulo de desfase medido desde la tensión de **(A.T)**, a la de **(B.T)**, siguiendo el sentido de las agujas del reloj) es de  $150^0$ . Dividiendo este ángulo entre  $30^0$ , se obtiene que el índice horario del transformador es **5**.

#### **Forma de conexión según la nomenclatura normalizada.**

La designación normalizada de la forma de conexión de un transformador se realiza por medio de dos letras y un número (por ejemplo: **Yy0**, **Dy11**, **Dd6**,...) la primera letra es mayúscula e indica la forma de conexión del devanado de **(A.T)**, la segunda letra es minúscula e indica la forma de conexión del bobinado de **(B.T)**, y el número indica el índice horario.

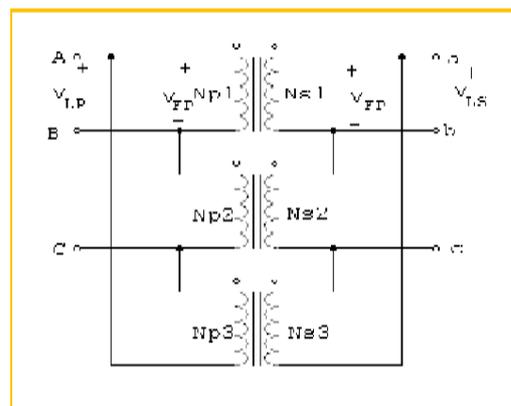
En este caso el devanado de **(A.T)**, está conectado en estrella, el de **(B.T)**, en triángulo y el índice horario es **(5)**. Luego, la designación normalizada de este transformador es **Yd5**.

### 2.8.3. CONEXIÓN DELTA – DELTA ( $\Delta - \Delta$ ).

#### 2.8.3.1. Introducción.

Esta aplicación se emplea para usuarios que requieren servicio trifásico de **240 V**, y el desfase puede ser de **60°**; **120°**; ó **180°**.

La conexión en triángulo es muy apropiada para altos valores de intensidad, pues la corriente de arrollamiento alcanza un valor del **58%** de la de línea.



Conexión delta – delta.

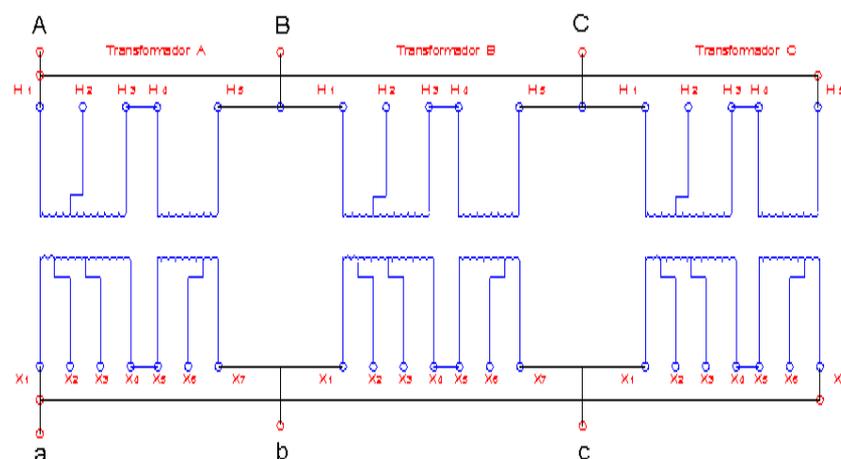
Se utiliza esta conexión cuando se desean mínimas interferencias en el sistema. Además, si se tiene cargas desequilibradas, se compensa dicho equilibrio, ya que las corrientes de la carga se distribuyen uniformemente en cada uno de los devanados. La conexión **delta-delta** de transformadores monofásicos se usa generalmente en sistemas cuyos voltajes no son muy elevados especialmente en aquellos en que se debe mantener la continuidad de unos sistemas. Esta conexión se emplea tanto para elevar la tensión como para reducirla.

Si un transformador cae en fallo, se puede reconectar la subestación en delta abierto, en cuyo caso la capacidad de la subestación será igual al **57,7%** de la capacidad original de la subestación.

### 2.8.3.2. Procedimientos:

- 1) Unimos el borne  $H_5(\text{Tr}_A)$  con  $H_1(\text{Tr}_B)$  y conectamos la fase “B”.
- 2) Unimos el borne  $H_5(\text{Tr}_B)$  con  $H_1(\text{Tr}_C)$  y conectamos la fase “C”.
- 3) Unimos el borne  $H_5(\text{Tr}_C)$  con  $H_1(\text{Tr}_A)$  y conectamos la fase “A”. De ésta forma hemos conectado en delta los devanados primarios de los transformadores (A-B-C).
- 4) Conectamos  $X_7(\text{Tr}_A)$  con  $X_1(\text{Tr}_B)$  y sacamos la fase “b”.
- 5) Conectamos  $X_7(\text{Tr}_B)$  con  $X_1(\text{Tr}_C)$  y sacamos la fase “c”.
- 6) Conectamos  $X_7(\text{Tr}_C)$  con  $X_1(\text{Tr}_A)$  y sacamos la fase “a”. De ésta forma hemos conectado en delta los devanados secundarios de los transformadores (a-b-c).

### 2.8.3.3. Esquema de conexiones:



(

**A-B-C):** Fases de la entrada de alimentación del transformador.

**(a-b-c):** Fases de la salida del transformador.

### 2.8.3.4. Mediciones:

Para este ensayo hemos aplicado un voltaje de **240 V** (es el voltaje que le corresponde a cada bobina). Para mayor seguridad en el momento de realizar las pruebas.

LECTURAS TOMADAS EN LAS MEDICIONES.			
Designación de bornes		Fases	Voltaje
$H_1(\text{Tr}_A)$	Y	$H_5(\text{Tr}_A) = H_1(\text{Tr}_B)$	$V_{AB}$ <b>204 V</b>
$H_5(\text{Tr}_A) = H_1(\text{Tr}_B)$	Y	$H_5(\text{Tr}_B) = H_1(\text{Tr}_C)$	$V_{BC}$ <b>203 V</b>
$H_5(\text{Tr}_B) = H_1(\text{Tr}_C)$	Y	$H_5(\text{Tr}_C) = H_1(\text{Tr}_A)$	$V_{CA}$ <b>200 V</b>
$X_1(\text{Tr}_A)$	Y	$X_7(\text{Tr}_A) = X_1(\text{Tr}_B)$	$V_{ab}$ <b>101 V</b>
$X_7(\text{Tr}_A) = X_1(\text{Tr}_B)$	Y	$X_7(\text{Tr}_B) = X_1(\text{Tr}_C)$	$V_{bc}$ <b>101 V</b>
$X_7(\text{Tr}_B) = X_1(\text{Tr}_C)$	Y	$X_7(\text{Tr}_C) = X_1(\text{Tr}_A)$	$V_{ca}$ <b>100 V</b>

#### Observación:

Hacer las conexiones, sólo cuando esté desenergizado el banco de transformadores. Y emplear el instrumento de medida (voltímetro o multímetro), en el parámetro de voltaje de corriente alterna (**VAC**) con una escala mayor a la tensión que se va a medir.

#### Recomendación:

Las tres unidades deben tener la misma relación de voltaje, y el mismo ajuste de la posición del **TAP** (derivación). De no tomar en cuenta ésta recomendación, se producirán elevadas corrientes circulantes.

## 2.8.4. CONEXIÓN DELTA – DELTA (SACANDO UN ARTIFICIO).

### 2.8.4.1. Introducción:

Para esta práctica hacemos una conexión **delta – delta** sacando un artefacto (neutro) en cualquiera de los tres transformadores, y determinaremos que se va a crear una línea de fuerza o de mayor potencial.

Esta aplicación es válida para usuarios que requieran servicio trifásico a **240 V** y servicio monofásico a **120 / 240 V**. se descartan sobrevoltajes debido a la tercera armónica.

### 2.8.4.2. Procedimientos:

- 1) Unimos el borne  $H_5(\text{Tr}_A)$  con  $H_1(\text{Tr}_B)$  y conectamos la fase “**B**”.
- 2) Unimos el borne  $H_5(\text{Tr}_B)$  con  $H_1(\text{Tr}_C)$  y conectamos la fase “**C**”.
- 3) Unimos el borne  $H_5(\text{Tr}_C)$  con  $H_1(\text{Tr}_A)$  y conectamos la fase “**A**”. De ésta forma hemos conectado en delta los devanados primarios de los transformadores (**A-B-C**).
- 4) Conectamos  $X_7(\text{Tr}_A)$  con  $X_1(\text{Tr}_B)$  y sacamos la fase “**b**”.
- 5) Conectamos  $X_7(\text{Tr}_B)$  con  $X_1(\text{Tr}_C)$  y sacamos la fase “**c**”.
- 6) Conectamos  $X_7(\text{Tr}_C)$  con  $X_1(\text{Tr}_A)$  y sacamos la fase “**a**”. De ésta forma hemos conectado en delta los devanados secundarios de los transformadores (**a-b-c**).
- 7) Y para hacer un artefacto o sacar un neutro, se lo puede hacer en cualquiera de los tres transformadores, en los bornes de baja tensión  $X_4(\text{Tr}_{A-B-C}) = X_5(\text{Tr}_{A-B-C})$ . Pero teniendo presente que se va a crear una línea de mayor potencial en uno de los transformadores.

### 2.8.4.3. Conexiones y mediciones:

Para este ensayo hemos aplicado un voltaje de **240V**. Para mayor seguridad en el momento de realizar las pruebas.

LECTURAS TOMADAS EN LAS MEDICIONES.			
Designación de bornes		Fases	Voltaje
$H_1(\text{Tr}_A)$	Y	$H_5(\text{Tr}_A) = H_1(\text{Tr}_B)$	$V_{AB}$ <b>205 V</b>
$H_5(\text{Tr}_A) = H_1(\text{Tr}_B)$	Y	$H_5(\text{Tr}_B) = H_1(\text{Tr}_C)$	$V_{BC}$ <b>204 V</b>
$H_5(\text{Tr}_B) = H_1(\text{Tr}_C)$	Y	$H_5(\text{Tr}_C) = H_1(\text{Tr}_A)$	$V_{CA}$ <b>201 V</b>
$X_1(\text{Tr}_A)$	Y	$X_7(\text{Tr}_A) = X_1(\text{Tr}_B)$	$V_{ab}$ <b>102 V</b>
$X_7(\text{Tr}_A) = X_1(\text{Tr}_B)$	Y	$X_7(\text{Tr}_B) = X_7(\text{Tr}_C)$	$V_{bc}$ <b>102 V</b>
$X_7(\text{Tr}_B) = X_7(\text{Tr}_C)$	Y	$X_7(\text{Tr}_C) = X_1(\text{Tr}_A)$	$V_{ca}$ <b>101 V</b>

#### Observación:

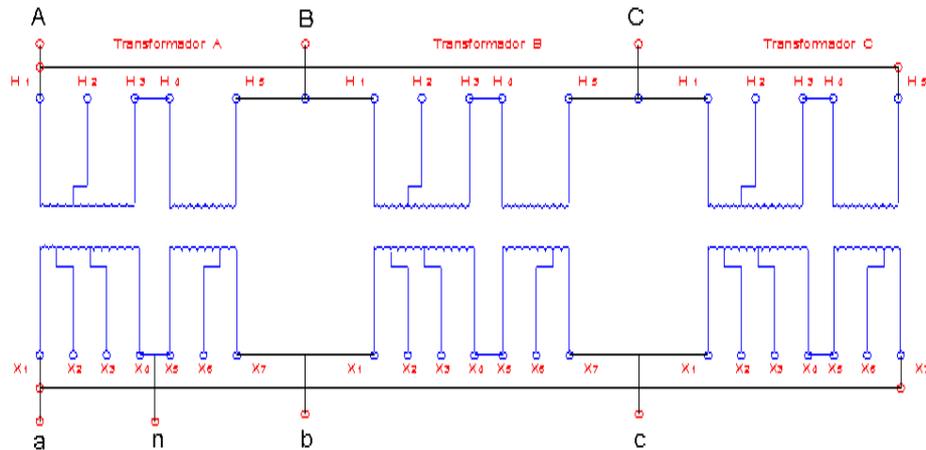
Hacer las conexiones, sólo cuando esté desenergizado el banco de transformadores. Y emplear el instrumento de medida (voltímetro o multímetro).

El transformador con la conexión en el punto medio del bobinado conduce los **2/3** de la carga monofásica a **120/240 V** y **1/3** de la carga trifásica a **240 V**. las otras dos unidades conducen **1/3** de la carga monofásica a **120/240 V** y trifásica **240 V**.

#### Recomendación:

Las tres unidades deben tener la misma relación de voltaje, y el mismo ajuste de la posición del **TAP** (derivación). De no tomar en cuenta esta recomendación, se producirán elevadas corrientes circulantes.

▪ **Artificio En El transformador A.**



**SACANDO EL NEUTRO EN EL TRANSFORMADOR A.**

Designación de bornes	Fases	Voltaje
$X_1(\text{Tr}_A) = X_7(\text{Tr}_C)$ Y $X_3(\text{Tr}_A) = X_4(\text{Tr}_A)$	$V_{an}$	<b>50 V</b>
$X_7(\text{Tr}_A) = X_1(\text{Tr}_B)$ Y $X_3(\text{Tr}_A) = X_4(\text{Tr}_A)$	$V_{bn}$	<b>50 V</b>
$X_7(\text{Tr}_B) = X_1(\text{Tr}_C)$ Y $X_3(\text{Tr}_A) = X_4(\text{Tr}_A)$	$V_{cn}$	<b>86 V</b>
<b>Se ha creado una línea de fuerza en la fase (c).</b>		

**SACANDO EL NEUTRO EN EL TRANSFORMADOR B.**

Designación de bornes	Fases	Voltaje
$X_1(\text{Tr}_A) = X_7(\text{Tr}_C)$ Y $X_3(\text{Tr}_B) = X_4(\text{Tr}_B)$	$V_{an}$	<b>85 V</b>
$X_7(\text{Tr}_A) = X_1(\text{Tr}_B)$ Y $X_3(\text{Tr}_B) = X_4(\text{Tr}_B)$	$V_{bn}$	<b>48 V</b>
$X_7(\text{Tr}_B) = X_1(\text{Tr}_C)$ Y $X_3(\text{Tr}_B) = X_4(\text{Tr}_B)$	$V_{cn}$	<b>50 V</b>
<b>Se ha creado una línea de fuerza en la fase (a).</b>		

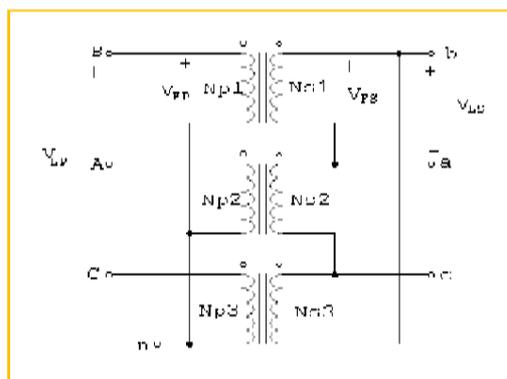
**SACANDO EL NEUTRO EN EL TRANSFORMADOR C.**

Designación de bornes	Fases	Voltaje
$X_1(\text{Tr}_A) = X_7(\text{Tr}_C)$ Y $X_3(\text{Tr}_C) = X_4(\text{Tr}_C)$	$V_{an}$	<b>48 V</b>
$X_7(\text{Tr}_A) = X_1(\text{Tr}_B)$ Y $X_3(\text{Tr}_C) = X_4(\text{Tr}_C)$	$V_{bn}$	<b>87 V</b>
$X_7(\text{Tr}_B) = X_1(\text{Tr}_C)$ Y $X_3(\text{Tr}_C) = X_4(\text{Tr}_C)$	$V_{cn}$	<b>48 V</b>
<b>Se ha creado una línea de fuerza en la fase (b).</b>		

## 2.8.5. CONEXIÓN ESTRELLA – DELTA.

### 2.8.5.1. Introducción:

La conexión estrella-delta es contraria a la conexión delta-estrella; por ejemplo, en sistema de potencia, la conexión delta-estrella se emplea para elevar voltajes y la conexión estrella-delta para reducirlos. En ambos casos, los devanados conectados en estrella se conectan al circuito de más alto voltaje, fundamentalmente por razones de aislamiento. En sistemas de distribución esta conexión es poco usual, salvo en algunas ocasiones para distribución a tres hilos.



Conexión estrella – delta.

La conexión **estrella – delta** o **estrella – triángulo**, se usa generalmente para bajar de un voltaje alto a uno medio o bajo. Una razón de ello es que se tiene un neutro para aterrizar el lado de alto voltaje lo cual es conveniente y tiene grandes ventajas.

Esta conexión se emplea para un servicio de cargas trifásicas a **240 V**, y se descartan sobrevoltajes debido a la tercera armónica, así como corrientes circulantes ante el caso de que los transformadores tengan diferentes impedancias.

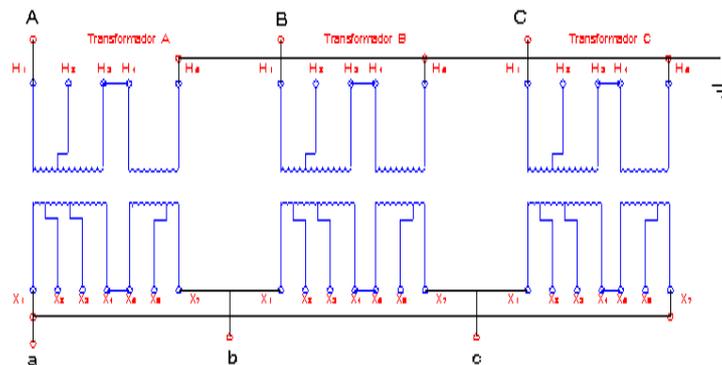
En el caso de emplear transformadores de diferentes capacidades, la máxima capacidad de servicio corresponderá a tres veces la capacidad del transformador menor.

Y si uno de los transformadores cae en fallo, la subestación queda fuera de servicio.

#### **2.8.5.2. Procedimientos:**

- 1) Al borne  $H_1(Tr_A)$  le conectamos la fase "A".
- 2) Al borne  $H_1(Tr_B)$  le conectamos la fase "B".
- 3) Al borne  $H_1(Tr_C)$  le conectamos la fase "C".
- 4) Punteamos los bornes  $H_5(Tr_A)$  con  $H_5(Tr_B)$  y  $H_5(Tr_C)$  y lo conectamos al neutro del sistema. De ésta forma hemos conectado en estrella los devanados primarios de los transformadores (A-B-C).
- 5) Unimos  $X_7(Tr_A)$  con  $X_1(Tr_B)$  y sacamos la fase "b".
- 6) Unimos  $X_7(Tr_B)$  con  $X_1(Tr_C)$  y sacamos la fase "c".
- 7) Unimos  $X_7(Tr_C)$  con  $X_1(Tr_A)$  y sacamos la fase "a". De ésta forma hemos conectado en delta los devanados secundarios de los transformadores (a-b-c).

### 2.8.5.3. Esquema de conexiones:



**(A-B-C):** Fases de la entrada de alimentación del transformador.

**(a-b-c):** Fases de la salida del transformador.

### 2.8.5.4. Mediciones:

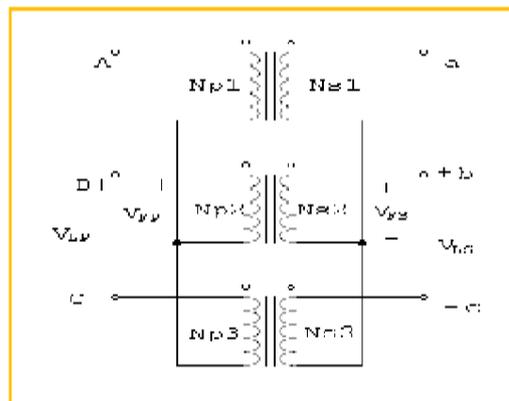
Para este ensayo hemos aplicado un voltaje de **120 V**. Para mayor seguridad en el momento de realizar las pruebas.

LECTURAS TOMADAS EN LAS MEDICIONES.			
Designación de bornes		Fases	Voltaje
$H_1(\text{Tr}_A)$	Y $H_1(\text{Tr}_B)$	$V_{AB}$	<b>211 V</b>
$H_1(\text{Tr}_B)$ Y $H_1(\text{Tr}_C)$		$V_{BC}$	<b>210 V</b>
$H_1(\text{Tr}_C)$	Y $H_1(\text{Tr}_A)$	$V_{CA}$	<b>209 V</b>
$H_1(\text{Tr}_A)$	Y $H_5(\text{Tr}_{ABC})$	$V_{AN}$	<b>119 V</b>
$H_1(\text{Tr}_B)$	Y $H_5(\text{Tr}_{ABC})$	$V_{BN}$	<b>120 V</b>
$H_1(\text{Tr}_C)$	Y $H_5(\text{Tr}_{ABC})$	$V_{CN}$	<b>118 V</b>
$X_1(\text{Tr}_A)$	Y $X_7(\text{Tr}_A) = X_1(\text{Tr}_B)$	$V_{ab}$	<b>59 V</b>
$X_7(\text{Tr}_A) = X_1(\text{Tr}_B)$	Y $X_7(\text{Tr}_B) = X_1(\text{Tr}_C)$	$V_{bc}$	<b>59 V</b>
$X_7(\text{Tr}_B) = X_1(\text{Tr}_C)$	Y $X_7(\text{Tr}_C) = X_1(\text{Tr}_A)$	$V_{ca}$	<b>58 V</b>

## 2.8.6. CONEXIÓN ESTRELLA – ESTRELLA.

### 2.8.6.1. Introducción:

Las corrientes en los devanados en estrella son iguales a las corrientes en la línea. Si las tensiones entre línea y neutro están equilibradas y son sinusoidales, el valor eficaz de las tensiones respecto al neutro es igual al producto de  $1/\sqrt{3}$  por el valor eficaz de las tensiones entre línea y línea y existe un desfase de  $30^\circ$  entre las tensiones de línea a línea y de línea a neutro más próxima.



Conexión estrella – estrella.

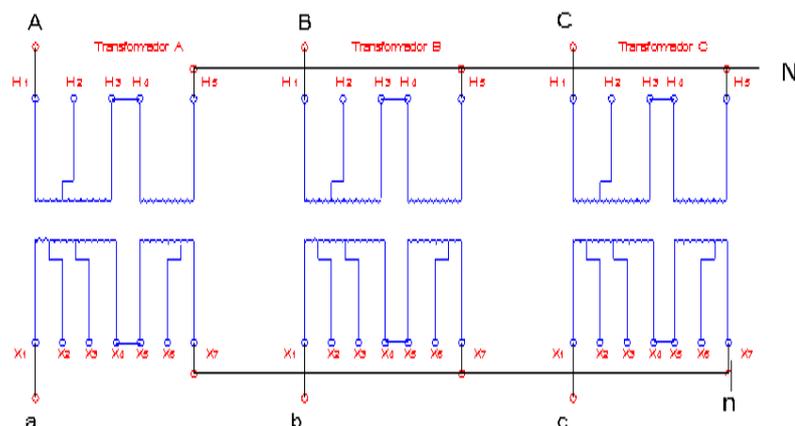
Por tanto, la conexión en estrella será particularmente adecuada para devanados de alta tensión, en los que el aislamiento es el problema principal, ya que para una tensión de línea determinada las tensiones de fase de la estrella sólo serían iguales al producto  $1/\sqrt{3}$  por las tensiones en el triángulo.

Esta aplicación se emplea para servicio de cargas monofásicas a **120 y 208 V** y cargas trifásicas a **208 V** en sistemas multiterrizados.

### 2.8.6.2. Procedimientos:

- 1) Al borne  $H_1(\text{Tr}_A)$  le conectamos la fase “A”.
- 2) Al borne  $H_1(\text{Tr}_B)$  le conectamos la fase “B”.
- 3) Al borne  $H_1(\text{Tr}_C)$  le conectamos la fase “C”.
- 4) Punteamos los bornes  $H_5(\text{Tr}_A)$  con  $H_5(\text{Tr}_B)$  y  $H_5(\text{Tr}_C)$  y lo conectamos al neutro del sistema. De ésta forma hemos conectado en estrella los devanados primarios de los transformadores (A-B-C).
- 5) Al borne  $H_1(\text{Tr}_A)$  le sacamos la fase “a”.
- 6) Al borne  $H_1(\text{Tr}_B)$  le sacamos la fase “b”.
- 7) Al borne  $H_1(\text{Tr}_C)$  le sacamos la fase “c”.
- 8) Punteamos los bornes  $X_7(\text{Tr}_A)$  con  $X_7(\text{Tr}_B)$  y  $X_7(\text{Tr}_C)$  y lo conectamos al neutro del sistema. De ésta forma hemos conectado en estrella los devanados secundarios de los transformadores (a-b-c).

### 2.8.6.3. Esquema de conexiones:



(A-B-C): Fases de la entrada de alimentación del transformador.

(a-b-c): Fases de la salida del transformador.

#### 2.8.6.4. Mediciones:

Para este ensayo hemos aplicado un voltaje de **120 V**. Para mayor seguridad en el momento de realizar las pruebas.

LECTURAS TOMADAS EN LAS MEDICIONES.				
Designación de bornes			Fases	Voltaje
$H_1(\text{Tr}_A)Y$	$H_1(\text{Tr}_B)$		$V_{AB}$	<b>210 V</b>
$H_1(\text{Tr}_B)Y$	$H_1(\text{Tr}_C)$		$V_{BC}$	<b>209 V</b>
$H_1(\text{Tr}_C)Y$	$H_1(\text{Tr}_A)$		$V_{CA}$	<b>208 V</b>
$H_1(\text{Tr}_A)$	Y	$H_5(\text{Tr}_{ABC})$	$V_{AN}$	<b>118 V</b>
$H_1(\text{Tr}_B)$	Y	$H_5(\text{Tr}_{ABC})$	$V_{BN}$	<b>119 V</b>
$H_1(\text{Tr}_C)$	Y	$H_5(\text{Tr}_{ABC})$	$V_{CN}$	<b>117 V</b>
$X_1(\text{Tr}_A)$	Y	$X_1(\text{Tr}_B)$	$V_{ab}$	<b>104 V</b>
$X_1(\text{Tr}_B)$	Y	$X_1(\text{Tr}_C)$	$V_{bc}$	<b>102 V</b>
$X_1(\text{Tr}_C)Y$	$X_1(\text{Tr}_A)$		$V_{ca}$	<b>106 V</b>
$X_1(\text{Tr}_A)$	Y	$X_7(\text{Tr}_{ABC})$	$V_{an}$	<b>58 V</b>
$X_1(\text{Tr}_B)$	Y	$X_7(\text{Tr}_{ABC})$	$V_{bn}$	<b>58 V</b>
$X_1(\text{Tr}_C)$	Y	$X_7(\text{Tr}_{ABC})$	$V_{cn}$	<b>61 V</b>

#### Observación:

Hacer las conexiones, sólo cuando esté desenergizado el banco de transformadores. Y emplear el instrumento de medida (voltímetro o multímetro), en el parámetro de voltaje de corriente alterna (**VAC**) con una escala mayor a la tensión que se va a medir.

#### Recomendación:

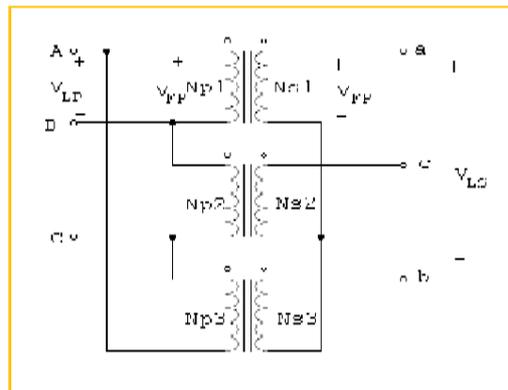
El neutro del primario debe estar sólidamente conectado al neutro del sistema, de lo contrario pueden presentarse voltajes excesivos en el secundario.

## 2.8.7. CONEXIÓN DELTA – ESTRELLA.

### 2.8.7.1. Introducción:

La conexión delta - estrella, de las más empleadas, se utiliza en los sistemas de potencia para elevar voltajes de generación o de transmisión, en los sistemas de distribución (a 4 hilos) para alimentación de fuerza y alumbrado.

Esta conexión no presenta problemas con los componentes en sus voltajes de terceros armónicos, puesto que se consume una corriente circulante en el lado de la delta (triángulo). Esta conexión es estable con respecto a cargas desequilibradas, debido a que la delta redistribuye cualquier desequilibrio que se presente.



Conexión delta – estrella.

Esta aplicación se emplea para servicio de cargas monofásicas a **120 y 208 V** y cargas trifásicas a **208 V**.

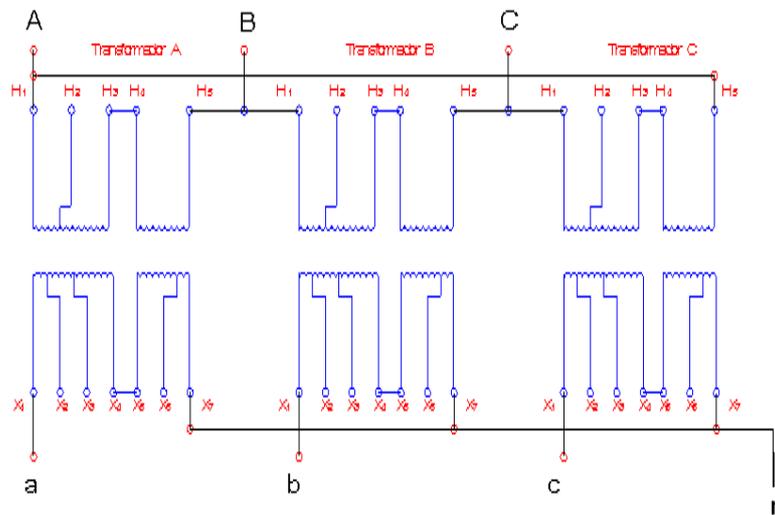
En el caso de emplear transformadores de diferentes capacidades, la máxima capacidad de servicio trifásico corresponderá a tres veces la capacidad del transformador menor.

Ésta conexión tiene como desventaja que el voltaje secundario se desplaza en retraso  $30^{\circ}$  con respecto al voltaje primario del transformador, lo cual ocasiona problemas en los secundarios si se desea conectar en paralelo con otro transformador, siendo uno de los requisitos para conectar en paralelo, que los ángulos de fase de los secundarios del transformador deben ser iguales.

#### **2.8.7.2. Procedimientos:**

- 1) Unimos el borne  $H_5(\text{Tr}_A)$  con  $H_1(\text{Tr}_B)$  y conectamos la fase “**B**”.
- 2) Unimos el borne  $H_5(\text{Tr}_B)$  con  $H_1(\text{Tr}_C)$  y conectamos la fase “**C**”.
- 3) Unimos el borne  $H_5(\text{Tr}_C)$  con  $H_1(\text{Tr}_A)$  y conectamos la fase “**A**”. De ésta forma hemos conectado en delta los devanados primarios de los transformadores **(A-B-C)**.
- 4) Al borne  $H_1(\text{Tr}_A)$  le sacamos la fase “**a**”.
- 5) Al borne  $H_1(\text{Tr}_B)$  le sacamos la fase “**b**”.
- 6) Al borne  $H_1(\text{Tr}_C)$  le sacamos la fase “**c**”.
- 7) Puenteamos los bornes  $X_7(\text{Tr}_A)$  con  $X_7(\text{Tr}_B)$  y  $X_7(\text{Tr}_C)$  y lo conectamos al neutro del sistema. De ésta forma hemos conectado en estrella los devanados secundarios de los transformadores **(a-b-c)**.

### 2.8.7.3. Esquema de conexiones:



**(A-B-C):** Fases de la entrada de alimentación del transformador.

**(a-b-c):** Fases de la salida del transformador.

### 2.8.7.4. Mediciones:

Para este ensayo hemos aplicado un voltaje de **240 V**. Para mayor seguridad en el momento de realizar las pruebas.

LECTURAS TOMADAS EN LAS MEDICIONES.				
Designación de bornes			Fases	Voltaje
$H_1(\text{Tr}_A)$	Y	$H_5(\text{Tr}_A) = H_1(\text{Tr}_B)$	$V_{AB}$	<b>212 V</b>
$H_5(\text{Tr}_A) = H_1(\text{Tr}_B)$	Y	$H_5(\text{Tr}_B) = H_1(\text{Tr}_C)$	$V_{BC}$	<b>211 V</b>
$H_5(\text{Tr}_B) = H_1(\text{Tr}_C)$	Y	$H_5(\text{Tr}_C) = H_1(\text{Tr}_A)$	$V_{CA}$	<b>209 V</b>
$X_1(\text{Tr}_A)$	Y	$X_1(\text{Tr}_B)$	$V_{ab}$	<b>180 V</b>
$X_1(\text{Tr}_B)$	Y	$X_1(\text{Tr}_C)$	$V_{bc}$	<b>178 V</b>
$X_1(\text{Tr}_C)$	Y	$X_1(\text{Tr}_A)$	$V_{ca}$	<b>180 V</b>
$X_1(\text{Tr}_A)$	Y	$X_7(\text{Tr}_{ABC})$	$V_{an}$	<b>105 V</b>
$X_1(\text{Tr}_B)$	Y	$X_7(\text{Tr}_{ABC})$	$V_{bn}$	<b>104 V</b>
$X_1(\text{Tr}_C)$	Y	$X_7(\text{Tr}_{ABC})$	$V_{cn}$	<b>104 V</b>

Si uno de los transformadores cae en fallo, la subestación queda inoperativa.

## **2.9. CONEXIÓN EN PARALELO.**

### **2.9.1. Introducción:**

Los transformadores se pueden conectar en paralelo por distintas razones, las principales están relacionadas con problemas de confiabilidad y de incremento en la demanda. Cuando se excede o se está a punto de exceder la capacidad de un transformador ya en operación.

Los transformadores pueden acoplarse en paralelo por sus secundarios, por los primarios o bien por los primarios y secundarios a la vez, por lo que nos ceñiremos a considerar el acoplamiento de los transformadores realizados simultáneamente por ambos lados de la conexión primario y secundario.

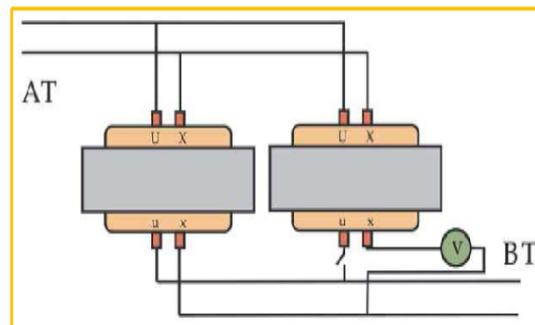
### **2.9.2. Condiciones de acoplamiento:**

Las condiciones que deben cumplir dos o más transformadores monofásicos para ser acoplados en paralelo son:

- 1)** Deben tener los mismos voltajes primarios y secundarios.
- 2)** Los desfases secundarios respecto al primario han de ser iguales para los transformadores que hayan de acoplarse en paralelo.
- 3)** El sentido de rotación de las fases secundarias ha de ser el mismo en todos ellos.
- 4)** Que sean iguales las relaciones de transformación, a fin de que sean iguales los voltajes de salida.
- 5)** Que los valores de las tensiones de cortocircuito sean lo más iguales posibles, a fin de que las caídas de tensiones sean la mismas en todos los transformadores.

### 2.9.3. Comprobación experimental antes del acoplamiento.

Antes de poner en servicio dos o más transformadores monofásicos conectados en paralelo, conviene efectuar el **ensayo de polaridad**. Este ensayo permite tener la seguridad de cuáles son los bornes que deben de conectarse aun mismo conductor, tanto por el lado primario como secundario. Suponiendo que se dispone de dos transformadores **T1** y **T2** que se desea conectar en paralelo.



Comprobación del acoplamiento.

#### Designación de bornes.

(U-X) = (H1-H2): Bornes de alta tensión.

(u-x) = (X1-X3): Bornes de baja tensión.

Comprobar la posibilidad del acoplamiento.

- Se conecta completamente el primer transformador.
- Se conecta solamente el primario del segundo transformador.
- Se une una de los bornes del secundario del **T2** con el borne que se supone le corresponde.
- La condición para que puedan conectarse en paralelo es que las otros dos bornes esté al mismo potencial que el conductor a que van a unirse, es decir, que los voltímetros marquen cero voltios.

- En el supuesto de que los voltímetros marquen tensión se efectuará un segundo ensayo.
- Finalmente si ninguna de las conexiones da valores nulos en las dos fases, se puede afirmar que estos transformadores no pertenecen al mismo grupo de conexiones, y no pueden conectarse en paralelo.

#### 2.9.4. Procedimientos:

Para este ensayo sólo hemos empleado dos transformadores.

Esta conexión es válida para una tensión de **120 V** de línea a neutro en baja tensión **(B-T)**.

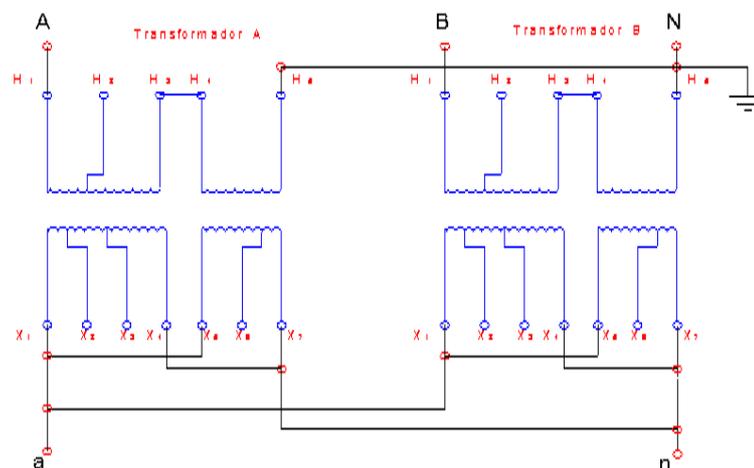
- 1) El borne  $H_1(Tr_A)$  lo conectamos a la fase “**A**”.
- 2) El borne  $H_1(Tr_B)$  lo conectamos a la fase “**B**”.
- 3) Unimos el borne  $H_5(Tr_A)$  con  $H_5(Tr_B)$  y conectamos el neutro “**N**”. De ésta forma hemos conectado en paralelo los devanados primarios de los transformadores **(A-B)**.
- 4) Conectamos  $X_1(Tr_A)$  con  $X_5(Tr_A)$  y también unimos  $X_1(Tr_B)$  con  $X_5(Tr_B)$ .
- 5) Conectamos  $X_4(Tr_A)$  con  $X_7(Tr_A)$  y también unimos  $X_4(Tr_B)$  con  $X_7(Tr_B)$ .
- 6) Conectamos  $X_1(Tr_A)$  con  $X_1(Tr_B)$  y sacamos la fase “**a**”.
- 7) Conectamos  $X_7(Tr_A)$  con  $X_7(Tr_B)$  y sacamos el neutro “**n**”. Y de ésta forma hemos conectado en paralelo los devanados secundarios de los transformadores **(A-B)**.

Esta conexión es válida para una tensión de **240 V** de línea a línea en baja tensión (**B-T**).

- 1) Unimos el borne  $H_1(\text{Tr}_A)$  con  $H_1(\text{Tr}_B)$  y conectamos la fase “**A/B/C**”.
- 2) Unimos el borne  $H_5(\text{Tr}_A)$  con  $H_5(\text{Tr}_B)$  y conectamos el neutro “**N**”. De ésta forma hemos conectado en paralelo los devanados primarios de los transformadores (**A-B**).
- 3) Conectamos el borne  $X_1(\text{Tr}_A)$  con  $X_1(\text{Tr}_B)$  y sacamos la fase “**a**”.
- 4) Conectamos el borne  $X_7(\text{Tr}_A)$  con  $X_7(\text{Tr}_B)$  y sacamos la fase “**b**”.
- 5) Unimos el borne  $X_4(\text{Tr}_A) = X_5(\text{Tr}_A)$  con el borne  $X_4(\text{Tr}_B) = X_5(\text{Tr}_B)$  y sacamos el neutro “**n**”. Y de ésta forma hemos conectado en paralelo los devanados secundarios de los transformadores (**a-b**).

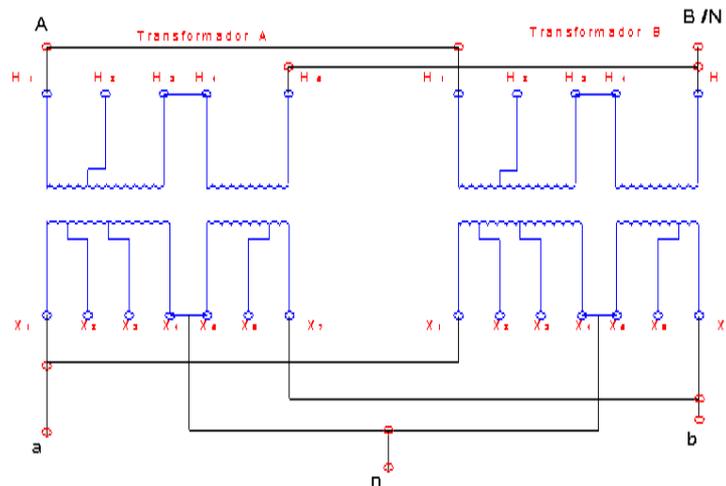
### 2.9.5. Conexiones y mediciones:

Con esta conexión sólo tenemos un voltaje de línea a neutro en el secundario.



La conexión realizada depende mucho de la polaridad del transformador. Ya que si un transformador tiene la misma polaridad la corriente eléctrica va a seguir la misma dirección.

Con esta conexión sólo tenemos un voltaje de línea a línea en el secundario.



LECTURAS TOMADAS EN LAS MEDICIONES.		
Designación de bornes	Fases	Voltaje
$H_1(\text{Tr}_A)$ Y $H_5(\text{Tr}_A)$	$V_{AN}$	113 V
$H_1(\text{Tr}_B)$ Y $H_5(\text{Tr}_B)$	$V_{BN}$	113 V
<b>Para un sistema a 120 V</b>		
$X_1(\text{Tr}_A) = X_1(\text{Tr}_B)$ Y $X_7(\text{Tr}_A) = X_7(\text{Tr}_B)$	$V_{an}$	27 V
<b>Para un sistema a 240 V</b>		
$X_1(\text{Tr}_A) = X_1(\text{Tr}_B)$ Y $X_7(\text{Tr}_A) = X_7(\text{Tr}_B)$	$V_{ab}$	56 V
$X_1(\text{Tr}_A) = X_1(\text{Tr}_B)$ Y $X_4(\text{Tr}_{AB}) = X_5(\text{Tr}_{AB})$	$V_{an}$	27 V
$X_7(\text{Tr}_A) = X_7(\text{Tr}_B)$ Y $X_4(\text{Tr}_{AB}) = X_5(\text{Tr}_{AB})$	$V_{bn}$	27 V

**Observación:**

Hacer las conexiones, sólo cuando esté desenergizado el banco de transformadores. Y emplear el instrumento de medida (voltímetro o multímetro), en el parámetro de voltaje de corriente alterna (**VAC**) con una escala mayor a la tensión que se va a medir.

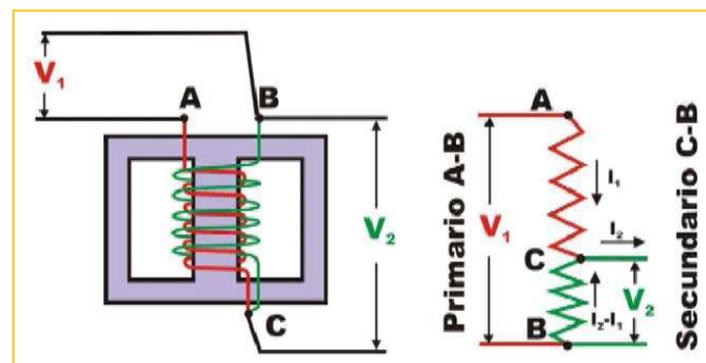
## 2.10. AUTO-TRANSFORMADORES.

### 2.10.1. Introducción:

En algunas ocasiones es recomendable cambiar los niveles de voltaje en una mínima cantidad.

Por ejemplo puede ser necesario incrementar un voltaje de **110 a 120v** o de **13.2 a 13.8 kv**. Estos pequeños aumentos pueden ser necesarios por caídas de voltaje que suelen ocurrir en los sistemas de potencia, a mucha distancia de los generadores. En tales circunstancias sería un desperdicio y sumamente costoso usar un transformador convencional con dos bobinados completos, cada uno con tensión nominal de mas o menos el mismo voltaje.

En lugar de esto se suele utilizar un transformador especial llamado autotransformador.



Autotransformador.

### 2.10.2. Recomendación:

Las conexiones que se van a realizar solo es aplicable como práctica de laboratorio; ya que , en la realidad no podemos emplear un transformador ya sea éste monofásico o trifásico, porque sería incoherente invertir en un transformador para hacerlo trabajar como autotransformador por las siguientes razones:

- ✓ Resulta más económico invertir en un autotransformador que en un transformador.
- ✓ Por lo técnico, sabiendo las características nominales del transformador, no lo podríamos utilizar para instalarle carga sin antes saber cuales serian las nuevas características nominales haciéndolo trabajar como autotransformador ya sea elevador ó reductor.

**Por ejemplo:**

Tenemos un transformador monofásico, tomado del módulo de pruebas, de las siguientes características:

- $S_T = 1000 \text{ VA}$
- $V_P = 240 \text{ V}$
- $V_S = 120 \text{ V}$
- $F = 60 \text{ Hz}$

$$I_P = \frac{1000 \text{ VA}}{240 \text{ V}} = 4,17 \text{ Amp}$$

$$I_S = \frac{1000 \text{ VA}}{120 \text{ V}} = 8,33 \text{ Amp}$$

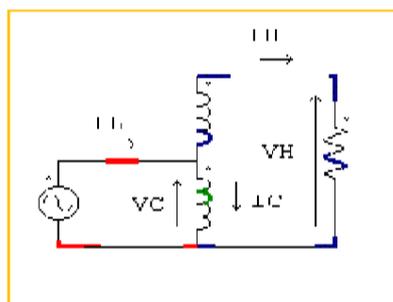
El devanado primario sólo esta en condiciones de soportar **4,17 Amp** y el devanado secundario **8,33 Amp**. Y veamos que sucede si a éste transformador lo conectamos como un autotransformador:

Como se ha formado un solo devanado conectado en serie; ya sea para elevar o reducir el voltaje, la corriente va hacer igual en ambos devanados, teniendo presente que el devanado primario sólo puede soportar **4,17Amp**, y el nivel de tensión nominal es **240 V**.

Con éste análisis observamos que la potencia es la misma, como si fuera un transformador, pero la capacidad de consumo se redujo.

### 2.10.3. AUTOTRANSFORMADOR ELEVADOR.

En el autotransformador elevador, la relación entre los voltajes de la primera y la segunda bobina se establece por la relación de vueltas del transformador. Sin embargo, el voltaje a la salida de todo el transformador es la suma de los voltajes de la primera y la segunda bobina. Aquí la primera bobina se denomina común, por que su voltaje aparece en ambos lados del transformador. La bobina mas pequeña se denomina bobina serie, porque está conectada en serie con la bobina común.



**Autotransformador elevador.**

### 2.10.3.1. Procedimientos y conexiones:

Para ésta práctica hemos empleado el transformador **A**, ya que el transformador **B** y el transformador **C**, tienen la misma relación de transformación y nos daría el mismo resultado.

- 1) Hacemos un puente entre los bornes  $H_5$  de **(A-T)** y  $X_1$  de **(B-T)**.
- 2) Una vez unido los dos devanados “primario y secundario”, energizamos los bornes  $H_1$  y  $H_5$  de **(A-T)**, con un voltaje de prueba de **120 V**.

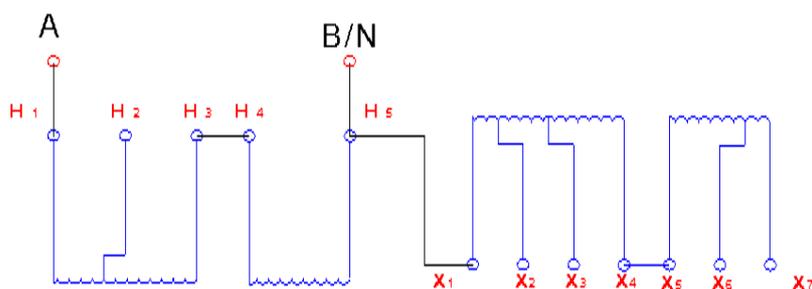
**Bornes de alta tensión:**

$$H1 - H2 - H3 = H4 - H5$$

**Bornes de baja tensión:**

$$X1 - X2 - X3 - X4 = X5 - X6 - X7$$

Tomando como referencia el borne **H1** de alta tensión, y los bornes de baja tensión se va a medir voltajes mayores al aplicado.



### 2.10.3.2. Mediciones:

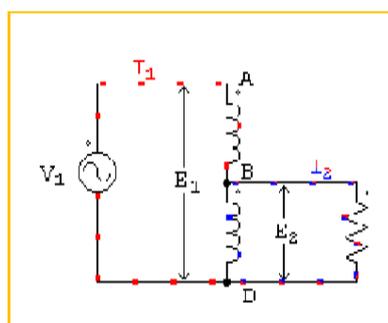
Las siguientes lecturas han sido tomadas en base a prácticas de campo, realizadas en el laboratorio de máquinas de corriente alterna, con sus respectivos instrumentos de medición previamente dimensionados a las características de la máquina a ensayar.

Las lecturas se han realizado tomando como referencia el borne de (A-T) y los bornes

LECTURAS TOMADAS EN LAS MEDICIONES.	
Designación de bornes	Voltaje
	<b>114 V</b>
	<b>117 V</b>
	<b>126 V</b>
	<b>143 V</b>
	<b>164 V</b>
	<b>172 V</b>

### 2.10.4. AUTOTRANSFORMADOR REDUCTOR.

En el transformador reductor el voltaje de alimentación es la suma de los voltajes en las bobinas series y común, mientras que el voltaje de salida es solamente el voltaje en la bobina común.



**Autotransformador reductor.**

El primario del autotransformador (el lado que recibe la corriente) puede ser cualquiera de sus lados, dependiendo de si, el autotransformador actúa como reductor o como elevador.

#### 2.10.4.1. Procedimientos y conexiones:

Para ésta práctica hemos empleado el transformador **A**, ya que el transformador **B** y el transformador **C**, tienen la misma relación de transformación y nos daría el mismo resultado.

- 1) Hacemos un puente entre los bornes  $H_5$  de **(A-T)** y  $X_1$  de **(B-T)**.
- 2) Una vez unido los dos devanados "primario y secundario", energizamos los bornes  $H_1$  de **(A-T)** y  $X_7$  de **(B-T)**, con un voltaje de prueba de **120 V**.

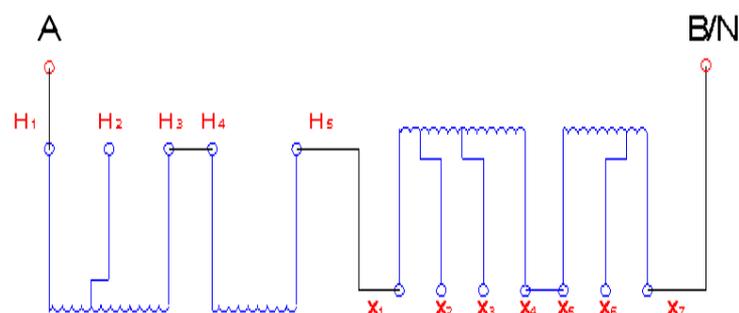
**Bornes de alta tensión:**

**H1 - H2 - H3=H4 - H5**

**Bornes de baja tensión:**

**X1 - X2 - X3 - X4=X5 - X6 - X7**

Tomando como referencia el borne **H1** de alta tensión, y los bornes de baja tensión se va a medir voltajes menores al aplicado.



### 2.10.4.2. Mediciones:

Las siguientes lecturas han sido tomadas en base a prácticas de campo, realizadas en el laboratorio de máquinas de corriente alterna, con sus respectivos instrumentos de medición previamente dimensionados a las características de la máquina a ensayar.

Las lecturas se han realizado tomando como referencia el borne  $H_1$  de (A-T) y los bornes  $X_7$ ;  $X_6$ ;  $X_5 = X_4$ ;  $X_3$ ;  $X_2$ ;  $X_1$ .

LECTURAS TOMADAS EN LAS MEDICIONES.			
Designación de bornes			Voltaje
$H_1(\text{Tr}_A)$	Y	$X_7(\text{Tr}_A)$	<b>114 V</b>
$H_1(\text{Tr}_A)$	Y	$X_6(\text{Tr}_A)$	<b>106 V</b>
$H_1(\text{Tr}_A)$	Y	$X_5(\text{Tr}_A) = X_4(\text{Tr}_A)$	<b>85 V</b>
$H_1(\text{Tr}_A)$	Y	$X_3(\text{Tr}_A)$	<b>68 V</b>
$H_1(\text{Tr}_A)$	Y	$X_2(\text{Tr}_A)$	<b>59 V</b>
$H_1(\text{Tr}_A)$	Y	$X_1(\text{Tr}_A) = H_5(\text{Tr}_A)$	<b>56 V</b>
<b>Instrumento de medida</b>			
Para esta práctica se ha empleado un voltímetro con una escala de <b>(0 - 600 voltios)</b> .			

### 2.11. PÉRDIDAS DE TRANSFORMACIÓN:

Como hemos visto anteriormente, el transformador esta basado en que la energía se puede transportar eficazmente por inducción electromagnética desde una bobina a otra por medio de un flujo variable, con un mismo circuito magnético y a la misma frecuencia.

La potencia nominal o aparente de un transformador es la potencia máxima que puede proporcionar sin que se produzca un calentamiento en régimen de trabajo.

Ninguna máquina trabaja sin producir pérdidas de potencia, ya sea estática o dinámica; ahora bien, las pérdidas en las máquinas estáticas son muy pequeñas, como le sucede a los transformadores.

En un transformador se producen las siguientes pérdidas:

- Pérdidas por corriente de Foucault (**Pf**).
- Pérdidas por histéresis (**Ph**).
- Pérdidas en el cobre del bobinado (**Pcu**).

Las pérdidas por corriente de Foucault (**Pf**) y por histéresis (**Ph**) son las llamadas pérdidas en el hierro (**Pfe**).

Debido a las pérdidas que se producen en los bobinados por el efecto joule y en el hierro por histéresis y por corrientes de Foucault, el transformador deberá soportar todas las pérdidas más la potencia nominal para la que ha sido proyectado.

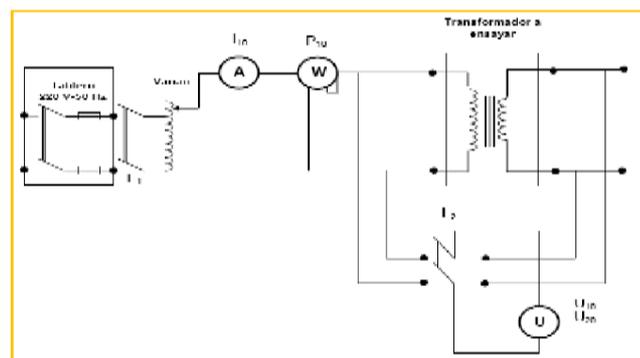
Un transformador podrá entonces trabajar permanentemente y en condiciones nominales de potencia, tensión, corriente y frecuencia, sin peligro de deterioro por sobrecalentamiento o de envejecimiento de conductores y aislantes.

Cuando un transformador está en vacío, la potencia que medimos en un transformador con el circuito abierto se compone de la potencia pérdida en el circuito magnético y la pérdida en el cobre de los bobinados.

Al ser nula la intensidad en el secundario ( $I_2=0$ ), no aparece en él pérdida de potencia; por otra parte, al ser muy pequeña la intensidad del primario en vacío ( $I_0$ ) con respecto a la intensidad en carga  $I_{2n}$ , las pérdidas que se originan en el cobre del bobinado primario resultan prácticamente insignificantes.

## 2.12. ENSAYO EN VACIO:

El ensayo en vacío proporciona, a través de las medidas de la tensión, intensidad y potencia en el bobinado primario, los valores directos de la potencia pérdida en el hierro, y deja abierto el bobinado secundario. Por lo tanto, este bobinado no será recorrido por ninguna intensidad, y no se tendrán en cuenta los ínfimos valores de las pérdidas en el cobre para este ensayo.



Montaje en vacío.

En los transformadores, al igual que en cualquier dispositivo eléctrico, se producen pérdidas de potencia; una parte de éstas se producen ya en vacío y se mantienen constantes e invariables en carga.

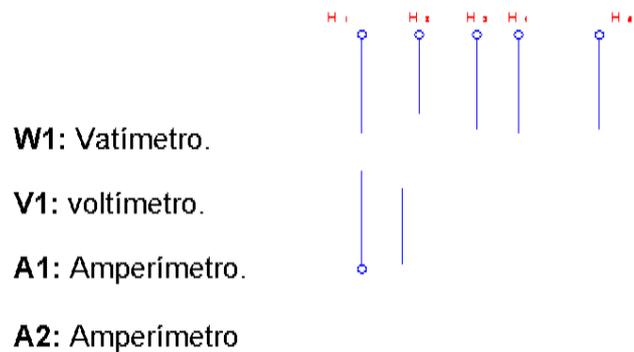
La otra parte de las pérdidas de potencia se producen en los conductores de los bobinados primario y secundario, sometidas a la intensidad nominal. Se denominan pérdidas  $RI^2$  debidas al cobre (**Pcu**).

### 2.12.1. Procedimientos:

Para realizar el ensayo del transformador, deberemos seguir un determinado orden, que puede ser éste:

- 1) Conectamos un amperímetro en serie con el bobinado de alta tensión.
- 2) También ubicaremos un vatímetro en el primario del transformador.
- 3) Emplearemos un autotransformador regulable, para ir aumentando progresivamente la tensión en el devanado primario del transformador, hasta alcanzar la tensión nominal ( $V_{1n}$ ).
- 4) Y en el lado de baja tensión conectamos un voltímetro en paralelo, para medir la tensión en vacío ó la tensión nominal del secundario ( $V_{2n}$ ).

### 2.12.2. Esquema de conexiones:



### 2.12.3. Medición y determinación de parámetros:

Los siguientes datos han sido tomados en el ensayo en vacío realizado al transformador **(A)**, y posteriormente se han calculado los respectivos parámetros.

$P_{FE}$ (W)	$V_{10}$ (V)	$V_{20}$ (V)	M	$I_{10}$ (Amp)	$S_{ap}$ (VA)	$\cos \theta$	$\theta_{10}$
8	240	120	2	0.054	12.96	0.617	57.67°
<b>Observación:</b>							
Hay que tomar en cuenta algunas consideraciones cuando se producen pérdidas en el hierro o en vacío de un transformador; estas pérdidas tienen bastante importancia durante su explotación, ya que produce un consumo de energía incluso cuando el transformador no tiene consumo.							

Una vez determinado los parámetros fundamentales durante el ensayo en vacío, como:

- La potencia pérdida que hemos medido con el vatímetro en el bobinado primario del transformador en vacío corresponde a las pérdidas en el hierro y en el cobre.

$$P_{FE} = P_{10} = 8W$$

La potencia pérdida en el cobre se puede calcular mediante la resistencia del bobinado y el cuadrado de la intensidad del primario ( $I_{10}$ ).

La resistencia del cobre medida con un óhmetro nos da:

Resistencia en los devanados		
Bobinado primario	$H_1 - H_5$	2.5 $\Omega$
Bobinado secundario	$X_1 - X_7$	1.4 $\Omega$

$$P_{\text{CU}} = R_{\text{CU}} * (I_{10})^2$$

$$P_{\text{CU}} = (3.9) * (0.054)^2 = 0.21 \text{ W}$$

Este resultado indica que la potencia que se pierde por el cobre del bobinado se puede despreciar con respecto a las pérdidas en el núcleo por las corrientes de **Foucault** y por el fenómeno de **histéresis**, en cualquier ensayo en vacío.

- La intensidad en vacío del primario a través del amperímetro (**A<sub>1</sub>**).

$$I_{10} = 0.054 \text{ Amp.}$$

- La tensión en vacío o nominal tanto en el primario (**V<sub>1n</sub>**) como el secundario (**V<sub>2n</sub>**) del transformador:

$$V_{1n} = V_{10} = 240\text{V}$$

$$V_{2n} = V_{20} = 120\text{V}$$

- La relación de transformación (**m**).

Al estar abierto el bobinado secundario, no circula ninguna intensidad de corriente, lo que permite que las tensiones primarias y secundarias sean exactas a las previstas en cada bobinado. Por lo tanto:

$$m = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = \frac{240}{120} = 2$$

Ahora procederemos a calcular los siguientes parámetros:

- La impedancia se determinará conociendo la tensión e intensidad del primario en vacío.

$$Z = \frac{V_{1n}}{I_{10}} = \frac{240}{0.054} = 4444 \Omega$$

- La potencia aparente se determinará conociendo la tensión e intensidad del primario.

$$S_{ap} = V_{1n} * I_{10}$$

$$S_{ap} = [(240) * (0.054)] = 12.96 \text{ VA}$$

- El ángulo de desfase o factor de potencia en vacío.

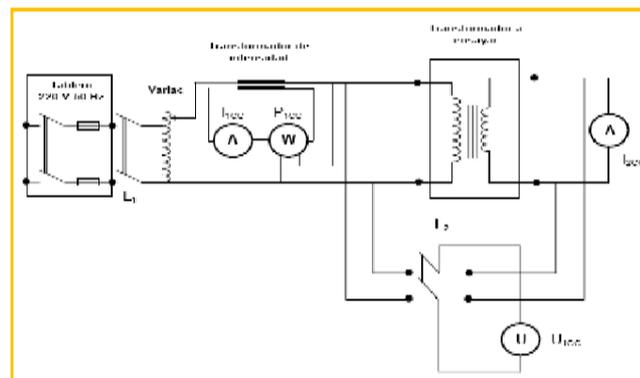
$$\cos \theta = \frac{P_{10}}{S_{ap}} = \frac{8}{12.96} = 0.617$$

- En vacío el ángulo de desfase es:

$$\theta = \cos^{-1}(0.617) = 57.67^{\circ} \text{ en retraso.}$$

### 2.13. ENSAYO EN CORTOCIRCUITO:

Con el ensayo en cortocircuito, conseguimos las intensidades en los dos bobinados, aplicando una pequeña tensión al primario y cortocircuitando el secundario con un amperímetro (el amperímetro tiene una resistencia prácticamente nula), tal como se muestra en la figura.



Montaje en cortocircuito.

En muchos ensayos en vacío, la corriente de cortocircuito supera el **25%** de la intensidad nominal (**I<sub>n</sub>**).

### 2.13.1. Procedimientos:

- 1) Con un autotransformador regulable y comenzando desde cero, aplicamos progresivamente la tensión, que se incrementa voltio a voltio, hasta conseguir las intensidades nominales en los dos bobinados.
- 2) La tensión aplicada, una vez alcanzada la intensidad nominal en el secundario, recibe el nombre de tensión de cortocircuito ( $U_{cc}$ ). Esta tensión supone un valor bajo con respecto a la tensión nominal aplicada al transformador cuando está en carga.
- 3) En el ensayo en cortocircuito, como las intensidades son nominales, se producen pérdidas en el cobre por efecto joule similares a las que se dan cuando el transformador está en carga; se diferencian en el rendimiento cuando el índice de carga es menor que la unidad.

### 2.13.2. Esquema de conexiones:

**W1:** Vatímetro.

**V1:** voltímetro.

**A1:** Amperímetro.

**A2:** Amperímetro.



### 2.13.3. Medición y determinación de parámetros:

Los siguientes datos han sido tomados en el ensayo en cortocircuito realizado al transformador **(A)**, y posteriormente se han calculado los respectivos parámetros.

$P_{cu}$ (W)	$V_{1cc}$ (V)	$I_{1cc}$ (Amp)	$I_{1cc}$ (%)	$I_{2cc}$ (Amp)	$Z_{cc}$ ( $\Omega$ )	$S_{ap}$ (VA)	$\cos \theta$
<b>44.7</b>	<b>11</b>	<b>4.16</b>	<b>4.58</b>	<b>8.32</b>	<b>2 <math>\Omega</math></b>	<b>45.76</b>	<b>0.97</b>

**Observación:**

Hay que tener precaución en el momento que aumentamos la tensión mediante el autotransformador, para conseguir la corriente nominal en el bobinado primario y secundario, porque podríamos sobrecargar el transformador y por consecuencia deteriorar el nivel de aislamiento.

Antes de realizar cualquier ensayo tener presente las características nominales de la máquina a ensayar.

Los principales datos que hay que determinar durante el ensayo en cortocircuito son:

- Las pérdidas en el cobre que es proporcionada por el vatímetro en el bobinado primario.

$$P_{cu} = P_{1cc} = 44.7 \text{ W}$$

- La intensidad de corriente de cortocircuito tanto en el devanado primario como secundario respectivamente son:

$$I_{1cc} = 4.16 \text{ Amp.}$$

$$I_{2cc} = 8.32 \text{ Amp.}$$

- La tensión de cortocircuito:

$$V_{1cc} = 11 \text{ V}$$

En la práctica, la tensión de cortocircuito se da en valores porcentuales el cual oscila entre un **4%** y un **10%** de la tensión nominal de ( $V_{1n}$ ).

$$V_{1CC}\% = V_{1CC} * \frac{100}{V_{1n}}$$

$$V_{1CC}\% = \left[ (11) * \left( \frac{100}{240} \right) \right] = 4.58 \%$$

Ahora procederemos a calcular los siguientes parámetros:

- La impedancia de cortocircuito.

$$Z_{CC} = \sqrt{(R_{CC})^2 + (X_{CC})^2}$$

$$Z = \frac{V_{1CC}}{I_{1n}} = \frac{11}{4.16} = 2\Omega$$

- La potencia aparente de cortocircuito.

$$S_{AP} = V_{1CC} * I_{1n}$$

$$S_{AP} = (11) * (4.16) = 45.76 \text{ VA}$$

- El factor de potencia en cortocircuito.

Una vez obtenidos los datos en el ensayo (la potencia y la tensión de cortocircuito), el  $\cos \theta$  será.

$$\cos \theta_{cc} = \frac{P_{CC}}{S_{ap}} = \frac{44.5}{45.76} = 0.97$$

En la prueba de cortocircuito, debido a que la tensión aplicada es pequeña en comparación con la tensión nominal, las pérdidas en vacío o en el núcleo se pueden considerar como despreciables, de manera que toda la potencia absorbida es debida a las pérdidas por efecto joule en los devanados primario y secundario.

## CAPITULO III

### ELEMENTOS PARA EL ARRANQUE DE MOTORES.

#### 3.1. Introducción:

El hecho de que los motores eléctricos mueven en su mayor parte, la energía que mueve las máquinas de las modernas fábricas e instalaciones industriales, cada motor o grupo de motores ha de realizar, por lo general, varias operaciones y es por ello, que cada unidad o cada sistema se ha de equipar adecuadamente con un circuito de regulación o mando, con los elementos necesarios para proteger todo el sistema, tales como:

#### 3.2. Aparatos de mando o maniobra.

Son aquellos que permiten o interrumpen el paso de corriente de la red a una carga (motor, bobina, etc.)tales como:

##### 3.2.1. PULSADORES:

La actuación de los sistemas eléctricos se inicia generalmente, con dispositivos piloto, el más usual de los cuales es el botón pulsador. Se acciona mecánicamente para que; a su vez, cierre o abra (o realice ambas cosas) circuitos.

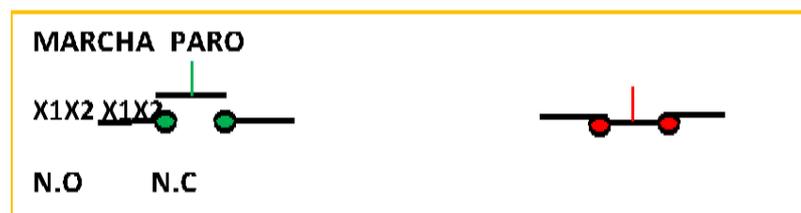


Hay dos clases de botones pulsadores:

**1) El tipo de contacto momentáneo**, que se efectúa cuando se le aplica una presión o empuje exterior, y que vuelve a su posición normal, por la acción de un muelle recuperador, tan pronto como cesa la presión aplicada.

**2) El tipo de contacto sostenido**, que diseñado a base de dos botones, lleva un mecanismo de disparo de ruptura brusca, que mantiene abiertos o cerrados determinados contactos cuando se aprieta uno de los botones, y vuelve a dejar los contactos en su posición primitiva sólo cuando se aprieta el segundo botón.

La forma sencilla con contactos normalmente abiertos (**N.O**) se utiliza, por lo general como pulsador de arranque y generalmente es de color verde. Mientras que la forma sencilla con contactos normalmente cerrados (**N.C**) suele emplearse como pulsador de paro y generalmente es de color rojo.



Esquema de los pulsadores.

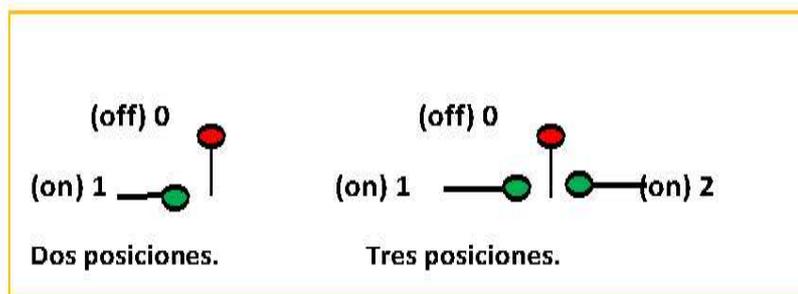
### 3.2.2. SELECTORES:

Conocidos también como interruptores giratorios, se emplean cuando es necesario elegir un determinado tipo de maniobra.

Existe diversidad de modelos: de dos o más posiciones, con retorno manual o retorno automático, de maneta, con muletilla, con llave, etc.



Los selectores se usan mucho en los circuitos diseñados bajo la modalidad manual- automático. Y los hay de dos y/o tres posiciones.



**Esquema de los selectores.**

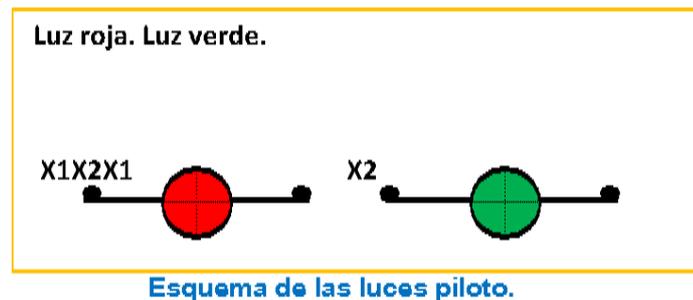
### 3.3. APARATOS DE SEÑALIZACIÓN:

#### 3.3.1. LUCES PILOTO.

Son elementos destinados para indicar si el contactor está o no funcionando, y por consiguiente si la carga está o no en funcionamiento. Y se emplean en controles y automatismos.



Y en el bombillo viene especificada la tensión de alimentación **(24VAC/VDC; 120/240VAC)**.



### 3.4. APARATOS DE CONTROL

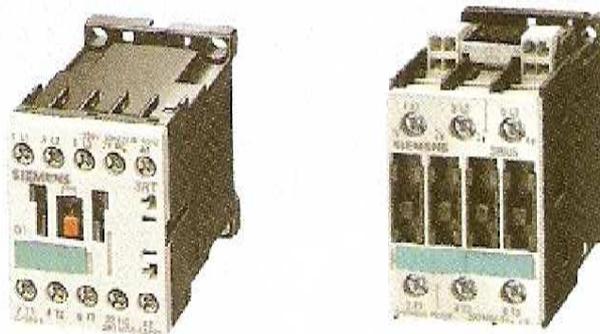
#### 3.4.1. RELÉS DE CONTROL.

Los circuitos de control automático contienen generalmente uno o más relés, principalmente a causa de que el relé confiere flexibilidad a los circuitos de control. El relé es por su propia construcción un amplificador mecánico, lo cual significa aumentar, ampliar, extender o incrementar. Cuando nosotros activamos o excitamos la bobina de un relé con **24 voltios** y los contactos están controlando un circuito de **440 voltios**, estamos amplificando la tensión mediante el uso del relé. Las bobinas del relé solo necesitan una corriente muy pequeña para su funcionamiento y se utilizan para controlar circuitos de corrientes intensas.

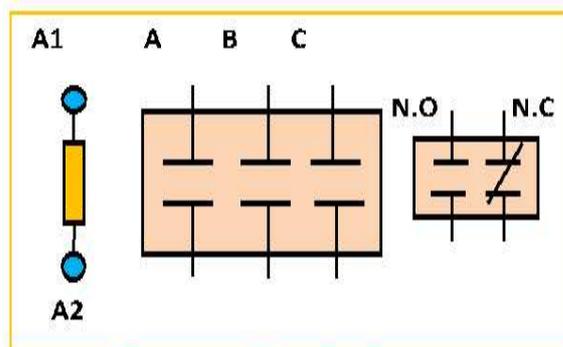
Así pues, también son amplificadores de corriente. El relé es inherentemente un dispositivo de una sola entrada que sólo requiere una sola tensión o corriente para activar su bobina. Sin embargo, utilizando varios contactos, el relé se puede convertir en un dispositivo de varias salidas, por lo que también puede considerarse como amplificador del número de operaciones, siendo controladas por una sola entrada.

### 3.4.2. EL CONTACTOR:

Un contactor es un interruptor de accionamiento electromagnético, se compone de un juego de contactos fijos y un juego de contactos móviles que se cierran por el efecto de tracción de un electroimán. En este contactor los contactos son accionados por el extremo superior del núcleo magnético de un solenoide. Cuando es excitado el solenoide, el núcleo es atraído hacia su interior elevando así verticalmente los contactos hasta encontrar los contactos fijos sujetos al soporte del solenoide.



Todo lo necesario para que funcione un contactor es, aplicar a la bobina del contactor una tensión determinada. Cuando es aplicada la tensión, los contactos se cierran, y cuando deja de ser aplicada la tensión, los contactos se abren.



Esquema del contactor.

### Designación de bornes.

- **A1- A2:** Alimentación de la bobina del contactor; ya sea con una tensión de **(24 VAC/VDC; 120/240VAC)**
- **A-B-C:** Entradas de las líneas de alimentación hacia el contactor.
- **R-S-T:** Salidas de la alimentación del contactor hacia el motor.
- **N.O:** Contacto auxiliar normalmente abierto del contactor.
- **N.C:** Contacto auxiliar normalmente cerrado del contactor.

#### 3.4.2.1. Características de los contactores:

Tensión de bobina	Intensidad (Amp)		Potencia Del Motor (HP)	
	AC1	AC3	220 V	440 V
120/220VAC	18	7	2.0	4.0
120/220VAC	40	9	3.0	6.0
120/220VAC	40	12	4.0	9.0
120/220VAC	40	17	6.0	12.0
120/220VAC	40	25	9.0	18.0
120/220VAC	50	32	12.0	20.0
120/220VAC	60	40	15.0	30.0
120/220VAC	60	50	20.0	40.0

**AC1:** Corriente resistiva.

**AC3:** Corriente inductiva. Ésta es la corriente por la cual se deben seleccionar los contactores por ser los motores máquinas inductivas.

#### 3.4.2.2. Partes principales del contactor.

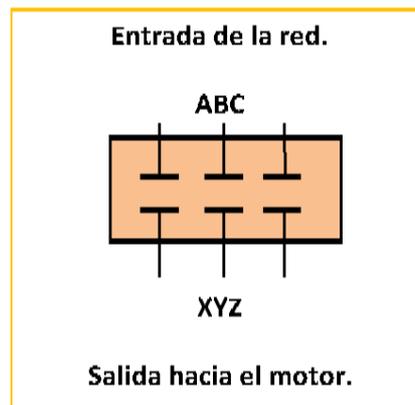
##### **Bobina:**

Es un arrollamiento de alambre de cobre (con características muy especiales) muy delgado y un gran número de espiras, que al aplicársele tensión genera un campo magnético, el cual permite cerrar o abrir contactos, ya sea de fuerza o de control.

### **Contactos principales:**

Su función específica es establecer o interrumpir el circuito principal, permitiendo o no que la corriente se transporte desde la red a la carga.

Los contactos principales son generalmente **(N.A)**. Cuando un contacto bajo carga interrumpe el circuito, se produce una chispa entre el contacto fijo y el contacto móvil, de tal manera que, a pesar de que estos contactos se hayan separado, el circuito no se interrumpe inmediatamente, sino que la corriente sigue pasando por unos milisegundos a través del aire ionizado (aire que al calentarse se vuelve conductor).



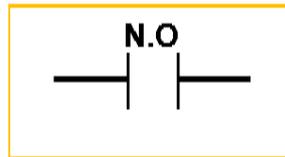
### **Contactos auxiliares:**

Su función específica es permitir o interrumpir el paso de corriente a las bobinas de los contactores o a los elementos de señalización, por lo cual están dimensionados únicamente para intensidades muy pequeñas (miliamperios o a lo más algún amperio).

Existen dos clases de contactos auxiliares:

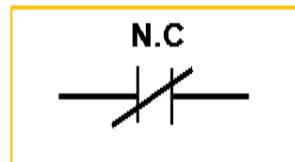
**1. Contacto normalmente abierto (NA Ò NO):**

Llamado también contacto instantáneo de cierre: cuya función es cerrar un circuito, tan pronto se energice la bobina del contactor al cual pertenece. En estado de reposo debe encontrarse abierto.



**2. Contacto normalmente cerrado (NC):**

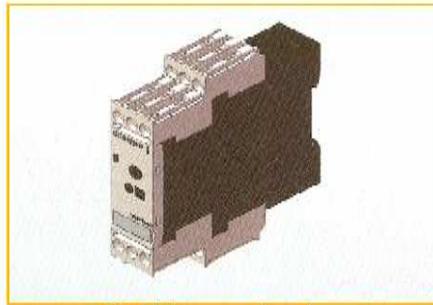
Llamado también contacto instantáneo de apertura: contacto cuya función es abrir un circuito, tan pronto se energice la bobina del contactor al cual pertenece. En estado de reposo debe encontrarse cerrado.



**3.4.3. RELÉS DE RETARDO O TEMPORIZADOS:**

La sucesión de las operaciones puede cronometrarse con gran exactitud, esto se realiza mediante el empleo de relés temporizados de los que existen numerosos tipos y que pueden ajustarse para regular periodos de tiempos cortísimos, como de una fracción de segundo, o mucho más largos, como de varios minutos.

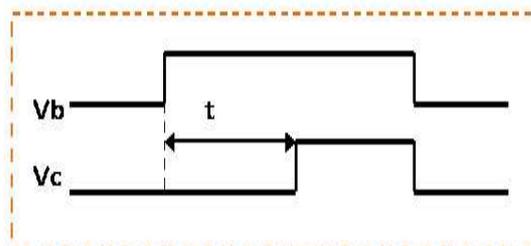
Su uso, sólo es aplicable para controlar bobinas de contactores.



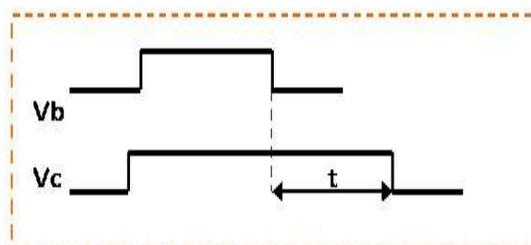
Relé temporizado.

La acción diferida del relé temporizado puede iniciarse de una de estas dos maneras:

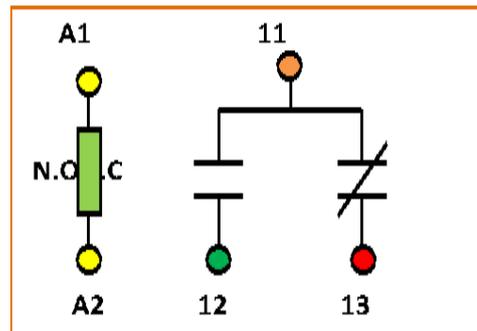
- 1) En el instante en que la bobina del dispositivo es excitada, o sea, después de su activación, y entonces, se llama relé de acción diferida posterior a la excitación (**ON-DELAY**).



- 2) En el instante en que la bobina del dispositivo queda desexcitada; es decir, después de su inactivación, caso en el cual se denomina relé de acción diferida posterior a la desexcitación (**OFF-DELAY**).



Con cualquiera de estos relés se puede hacer un juego de contactos normalmente abierto (**N.O**) y normalmente cerrado (**N.C**)



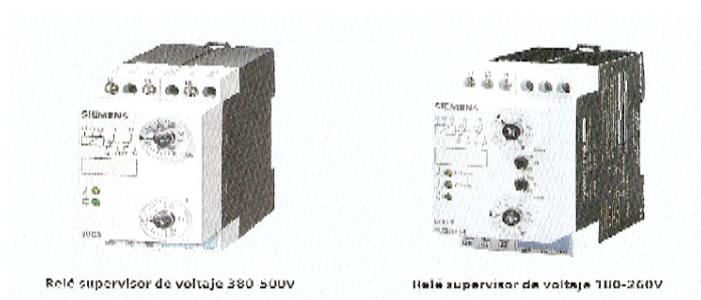
Esquema del temporizador.

### Designación de bornes.

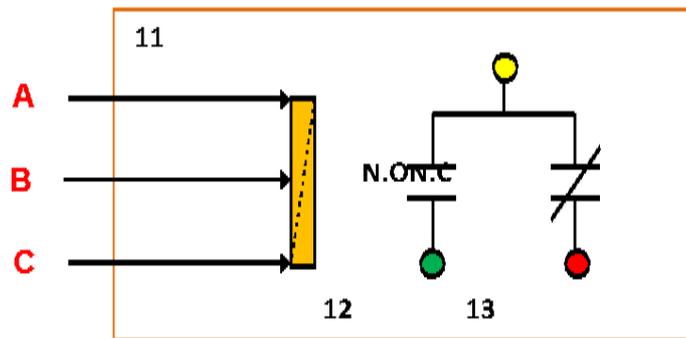
- **A1-A2:** Bobina por la cual alimentamos al temporizador, de acuerdo a la tensión requerida.
  - **N.O (11-12):** Contacto auxiliar normalmente abierto del temporizador.
  - **N.C (11-13):** Contacto auxiliar normalmente cerrado del temporizador.
- El borne # **(11)** es el punto común por donde se alimentan los contactos auxiliares.

### 3.4.4. RELÉS DE SUPERVISIÓN.

El supervisor de tensión dispara cuando el desbalance de fases alcanza el **20%** (por encima o por debajo del ajuste), falta de fase, inversión de secuencia de fases. Los rangos de tensión son ajustables a niveles máximos y mínimos.



Los supervisores de tensión están diseñados para montaje en **RIELDIN**. Puede trabajar a una temperatura ambiente de **0 a + 50°C**. Vida útil: 10 millones de maniobras eléctricas.



Esquema del supervisor de voltaje trifásico.

#### Designación de bornes.

- **(A-B-C)**: Entradas de las líneas hacia la bobina del supervisor de voltaje.
- **N.O (11-12)**: Contacto auxiliar normalmente abierto del supervisor.
- **N.C (11-13)**: Contacto auxiliar normalmente cerrado del supervisor.

El borne # **(11)** es el punto común por donde se alimentan los contactos auxiliares.

Los contactos auxiliares, que para este caso es un supervisor de voltaje trifásico el contacto **N.O** va a cerrarse y el contacto **N.C** va a abrirse, una vez energizada la bobina con las tres líneas **(A-B-C)**, y cuando el voltaje se eleva o se baja por los límites fijados en la regulación los contactos auxiliares **N.O** y **N.C** vuelven a su estado inicial o de reposo.

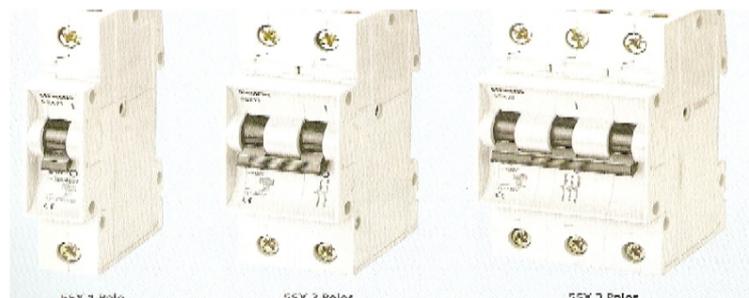
### **3.5. APARATOS DE PROTECCIÓN:**

Son todos aquellos elementos destinados a proteger todo o parte del circuito, separándolo de las líneas de alimentación, cuando se presentan irregularidades en su funcionamiento, particularmente por sobrecargas o sobreintensidades y cortocircuitos.

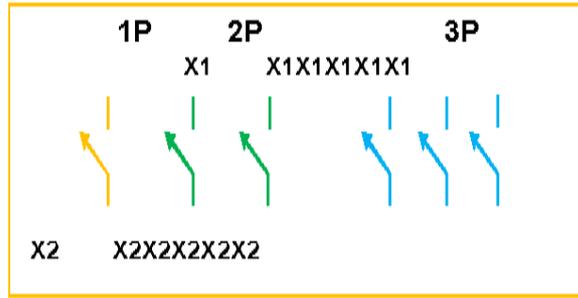
#### **3.5.1. INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS (Breakers):**

Uno de los componentes más utilizados en la conexión y desconexión de motores es el interruptor. Siendo capaz de interrumpir la corriente del motor bajo sobrecargas normales, siendo una de sus características nominales la intensidad o potencia que puede interrumpir o conectar, pudiéndose utilizar como interruptor de arranque de los motores dentro de estos límites.

Los interruptores y los disyuntores pueden realizar las funciones de arranque, parada, protección contra sobrecargas, y protección contra cortocircuitos, dependiendo la aplicación de sus características nominales.



Los hay de diferentes amperajes y números de polos; de un polo, dos polos y tres polos, éste último es el más empleado en la protección de motores trifásicos y se caracterizan por ser muy sensibles a la temperatura.



Breakers termomagnéticos.

### Designación de bornes.

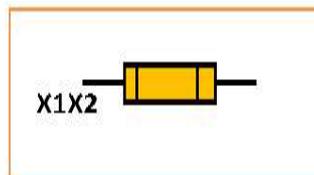
- **1P (X1-X2):** Breaker termomagnético de un polo.
- **2P (X1-X2):** Breaker termomagnético de dos polos.
- **3P (X1-X2):** Breaker termomagnético de tres polos.
- **X1:** Entrada de la línea o líneas.
- **X2:** Salida de las líneas hacia la carga.

#### 3.5.1.1. Características de los breakers:

Número de polos			Corriente térmica (amperios)	Capacidad de ruptura		
				En (KA) a 220 V		
1P	2P		0.5	10	10	
1P	2P		1.0	6	10	
1P	2P	3P	2.0	6	10	10
1P	2P	3P	4.0	4.5	6	
1P	2P	3P	6.0	4.5	6	6
1P	2P	3P	10.0	5	6	6
1P	2P	3P	16.0	5	6	6
1P	2P	3P	20.0	5	6	6
1P	2P	3P	25.0	5	6	6
1P	2P	3P	32.0	4.5	4.5	5
1P	2P	3P	40.0	4.5	4.5	5
1P	2P	3P	50.0	4.5	4.5	5
	2P	3P	63.0		4.5	5
	2P	3P	70.0		4.5	5

### 3.5.2. FUSIBLES:

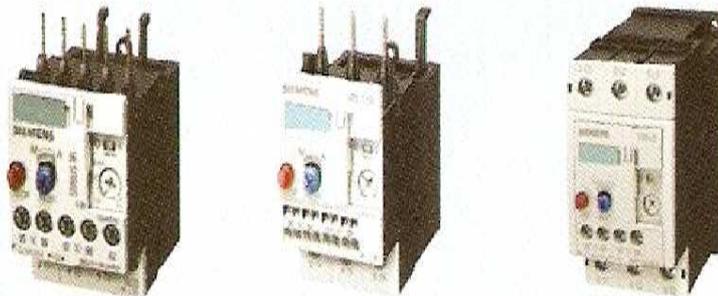
Son conductores calibrados específicamente para el paso de determinadas cantidades de corriente, de manera que al producirse un cortocircuito se fundirán rápidamente, interrumpiendo inmediatamente el circuito y evitando daños mayores en las cargas o en los conductores.



Esquema del fusible.

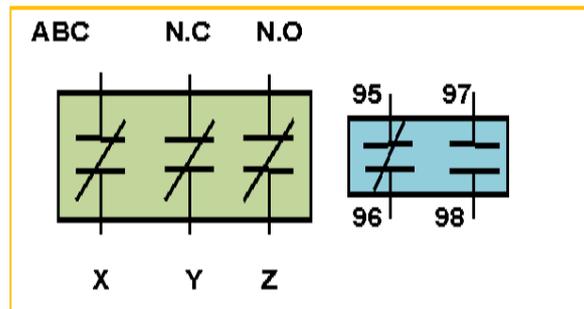
### 3.5.3. RELÉS DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGAS:

Un relé de sobrecarga combina las ventajas del principio térmico para el disparo de tiempo inverso, con el principio electromagnético para el disparo instantáneo. Utilizado sólo para la protección de motores de **C.A.**



El requisito básico para la protección contra las sobrecargas es que el motor pueda trabajar a potencia nominal pero que se impida su funcionamiento al producirse cualquier sobrecarga prolongada o importante.

Cuando un motor está sobrecargado mecánicamente, su corriente aumenta, lo que a su vez hace que aumente la temperatura del propio motor y de sus devanados. Lo cual permite que sus contactos se abran y desconecte al motor, después de pasado un tiempo de enfriamiento sus contactos vuelven a su estado inicial.



Esquema del relé térmico.

#### Designación de bornes.

- **(A-B-C):** Entradas de las líneas de alimentación hacia el relé térmico.
- **(X-Y-Z):** Salida de las líneas de alimentación hacia el motor.
- **N.O (97-98):** Contacto auxiliar normalmente abierto del relé térmico.
- **N.C (95-96):** Contacto auxiliar normalmente cerrado del relé térmico.

Los contactos de fuerza del relé térmico son normalmente cerrados, y su apertura depende de una sobrecarga los cuales se van a cerrar después de un tiempo que se enfríen los contactos, cuyo tiempo de cerrado depende de la magnitud de la sobrecarga.

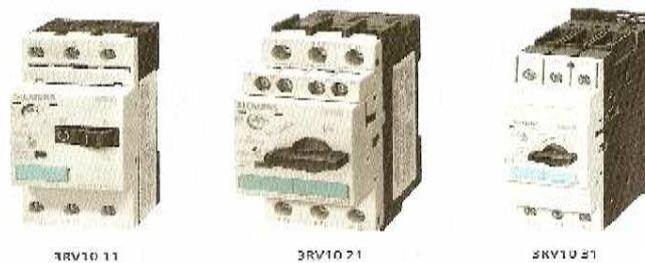
#### 3.5.3.1. Características de los relés térmicos:

REGULACION TERMICA (A)	0.7- 1.0	1.1- 1.6	1.4- 2.0	1.8- 2.5	2.2- 3.2	2.8- 4.0	3.5- 5.0	4.5- 6.3
	1.8- 2.5	5.5- 8.0	7.0- 10.0	9- 12.5	11.0- 16.0	14.0- 20.0	20.- 25.0	18.0- 25.0
	22.0- 32.0	28.0- 40.0	40.0- 50.0	45.0- 63.0	57.0- 75.0	25- 100	50- 200	55- 250

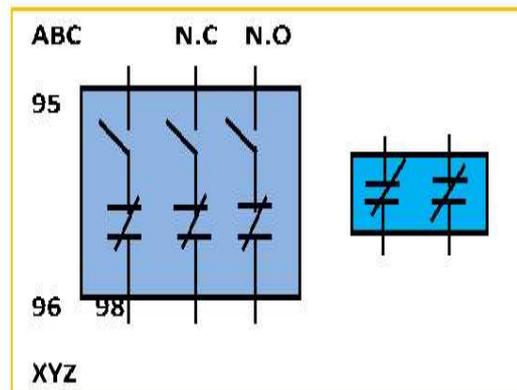
### 3.5.4. GUARDAMOTORES:

Son aparatos de maniobra y protección cuyo accionamiento es manual y su desconexión puede ser manual o automática.

La desconexión automática se produce por acción de un relé termomagnético que lleva incorporado, ya sea por el paso de una alta corriente (cortocircuito) o por una sobrecarga prolongada, para el cual ha sido regulada su corriente térmica.



Los contactos auxiliares se pueden montar frontal o lateralmente.



Esquema del guardamotor.

#### Designación de bornes.

- **(A-B-C):** Entradas de las líneas de alimentación hacia el guardamotor.
- **(X-Y-Z):** Salida de las líneas de alimentación hacia el motor.
- **N.O (97-98):** Contacto auxiliar normalmente abierto del guardamotor.
- **N.C (95-96):** Contacto auxiliar normalmente cerrado del guardamotor.

### 3.5.4.1. Características de los guardamotores:

Estos son algunos rangos, por los cuales se seleccionan los guardamotores (interruptor automático), para proteger al motor.

REGULACION (A)	
TERMICA	MAGNETICA
0.7-1.0	12
1.1-1.6	19
1.4-2.0	24
1.8-2.5	30
2.2-3.2	38
2.8-4.0	48
3.5-5.0	60
4.5-6.3	76
5.5-8.0	96
7.0-10.0	120
9.0-12.0	144
11.0-16.0	192
14.0-20.0	240
20.0-25.0	300

## CAPITULO IV

### **MÁQUINAS ASINCRONAS**

#### **4.1. Introducción.**

La máquina asíncrona es el convertidor electromecánico más usado en la actualidad, especialmente en el funcionamiento como motor, aunque como toda máquina eléctrica es reversible y puede trabajar como generador.

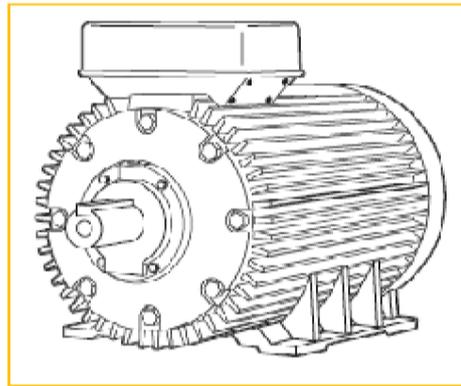
Si mediante una máquina motriz acoplada al eje rotórico se lleva a éste a una velocidad superior a la de sincronismo, la máquina funciona como generador. Éste funcionamiento se basa en los mismos principios que veremos más adelante en motores.

Contrariamente a las máquinas síncronas empleadas normalmente como generadores, las máquinas asíncronas han encontrado su principal aplicación como motores, debido a la sencillez de su construcción. El motor asíncrono trifásico, es hoy en día el motor más empleado en las industrias.

A diferencia de las máquinas síncronas, las máquinas asíncronas siempre absorben potencia reactiva en cualquier estado de funcionamiento, ya que es condición necesaria para crear el campo magnético. Además funcionan a una velocidad que varían con la carga.

## 4.2. Motor Asíncrono Trifásico.

Este capítulo está dedicado esencialmente a los motores asíncronos. En él se describen detalladamente el principio de funcionamiento, las características y la elección del tipo de arranque mediante equipos de contactores o electrónicos y en función de la máquina arrastrada.



**Motor asíncrono trifásico.**

Los motores asíncronos trifásicos de jaula se encuentran entre los más utilizados para el accionamiento de máquinas. El uso de estos motores se impone en la mayoría de las aplicaciones debido a las ventajas que conllevan: robustez, sencillez de mantenimiento, facilidad de instalación, bajo coste.

El motor asíncrono es una máquina rotativa que convierte la energía eléctrica en energía mecánica, o también conocido como motor de inducción.

Las máquinas de inducción no requieren ninguna conexión eléctrica hacia los devanados del rotor. En vez de ella, los devanados del rotor se ponen en cortocircuito.

El flujo magnético que atraviesa el entrehierro acopla estos circuitos cerrados del rotor. Según la Ley de Faraday, al moverse el rotor en relación al flujo del entrehierro, se inducen voltajes en los devanados del rotor puestos en cortocircuito, haciendo fluir corrientes en ellos. El hecho de que la corriente del rotor se origine por inducción, es la base del nombre de esta clase de máquinas.

#### **4.3. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.**

El principio básico de funcionamiento de un motor asíncrono consiste en aplicar una corriente eléctrica en los devanados del estator, que genera un campo magnético el cual atraviesa el entrehierro e induce corriente en el rotor haciéndolo girar.

Cuando se alimenta el estator de un motor asíncrono con un sistema trifásico de tensiones de frecuencia (**F1**) se origina en el entrehierro un campo magnético giratorio de amplitud constante cuya velocidad es  $n_1 = \frac{(60 \cdot F_1)}{P}$ , donde (**P**) es el número de pares de polos del motor. Esta velocidad recibe el nombre de velocidad de sincronismo.

#### **4.4. PLACA CARACTERÍSTICA:**

Las placas de datos o de identificación de los motores suministran una gran cantidad de información útil sobre diseño y mantenimiento. Esta información es valiosa para el personal encargado de la instalación, mantenimiento y reemplazo de los motores existentes.

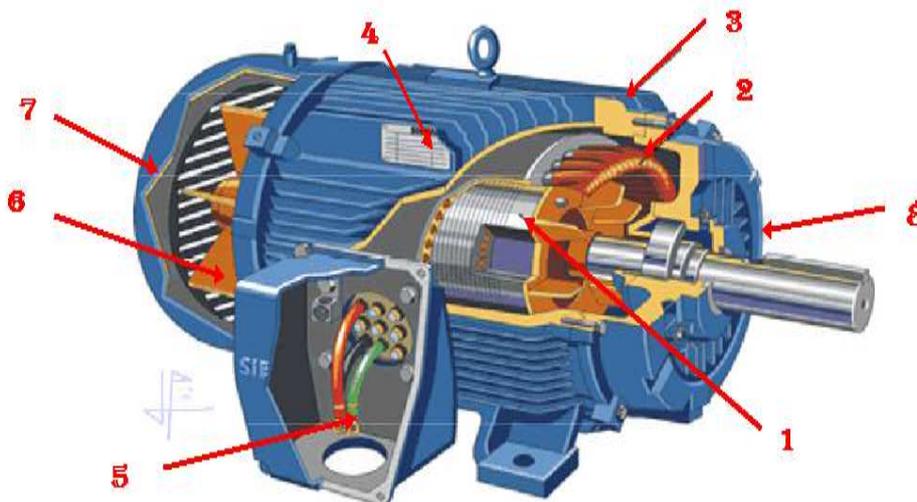
Los parámetros de operación de una máquina designan sus características, es importante determinarlas, ya que con ellas conoceremos los parámetros determinantes para la operación de la máquina.

Las principales características de los motores de **C.A.** son:

- El factor de potencia ( $\cos \theta$ )
- El rendimiento ( $\eta$ )
- La intensidad nominal de la corriente ( $I_{nom}$ )
- La tensión nominal ( $V_{nom}$ )
- La frecuencia de giro (**R.P.M**)
- La potencia nominal ( $P_{nom}$ )
- El factor de servicio(**F.S**)

#### 4.5. PARTES PRINCIPALES DEL MOTOR ASÍNCRONO.

Los motores asíncronos desde el punto de vista constructivo, se componen de las siguientes partes:



#### Denominación.

- |                          |                             |
|--------------------------|-----------------------------|
| 1) Rotor.                | 5) Caja de bornes.          |
| 2) Estator.              | 6) Ventilador               |
| 3) Carcasa.              | 7) Caperuza.                |
| 4) Placa característica. | 8) Platillo o tapa frontal. |

La estructura de una máquina eléctrica tiene tres componentes principales:

- Un inductor, o estator(Parte fija).
- Un inducido, o rotor (Parte fija que gira dentro del estator).
- Entrehierro, (Espacio de aire que separa el estator del rotor y que permite que pueda existir movimiento. Debe ser lo más reducido posible).

#### **4.6. CAJA DE BORNES (CONEXIONES):**

Por lo general, en la mayoría de los casos las máquinas eléctricas cuentan con caja de conexiones. La caja de conexiones es un elemento que protege a los conductores que alimentan al motor, resguardándolos de la operación mecánica del mismo, y contra cualquier elemento que pudiera dañarlos. Y en cuyo interior, se encuentran los bornes para realizar las diversas conexiones.

Las conexiones a los devanados del estator deben hacerse como se indica en el diagrama de conexiones de la placa de identificación o en las instrucciones que se reciben junto con el motor.

La nomenclatura de los bornes del motor no es aleatoria, cumplen con una normativa actual, pero todavía hoy se conservan y se construyen muchos motores con la anterior normativa por tanto sus equivalencias son:

- ❖ **U1**en la norma antigua es **U**.
- ❖ **V1**en la norma antigua es **V**.
- ❖ **W1**en la norma antigua es **W**.
- ❖ **W2**en la norma antigua es **Z**.
- ❖ **U2**en la norma antigua es **X**.
- ❖ **V2**en la norma antigua es **Y**.

Así como las fases, según la actual normativa, son **L1, L2, L3** en la antigua era **R, S, T**, aunque se utilizan mucho ambas nomenclaturas. En otras obras de electrotecnia a las fases las denominan **A, B, C**.

Si somos observadores nos daremos cuenta que la normativa actual deja bien definidas los principios y finales de cada bobina del motor.

**Nota:**

(Sus conexiones se pueden ver en el apartado de Arranque **Estrella –Triángulo**).

**4.7. Características de los motores asincronos.**

POTENCIA		FACTOR DE SERVICIO	CORIENTE (Amp)		# POLOS
(HP)	(KW)		220 V	440 V	
0.5	0.37	1.15	1.9	0.95	4
0.75	0.56	1.15	2.9	1.45	4
1.0	0.75	1.15	3.5	1.75	4
1.5	1.12	1.15	5.0	2.50	4
2.0	1.50	1.15	7.0	3.50	4
3.0	2.20	1.15	9.6	4.80	4
4.0	3.00	1.15	13.0	6.50	4
5.0	3.73	1.15	15.8	7.90	4
7.5	5.60	1.15	23.2	11.60	4
10.0	7.50	1.15	28.8	14.40	4
15.0	11.20	1.15	43.0	21.50	4
20.0	14.90	1.15	56.8	28.40	4

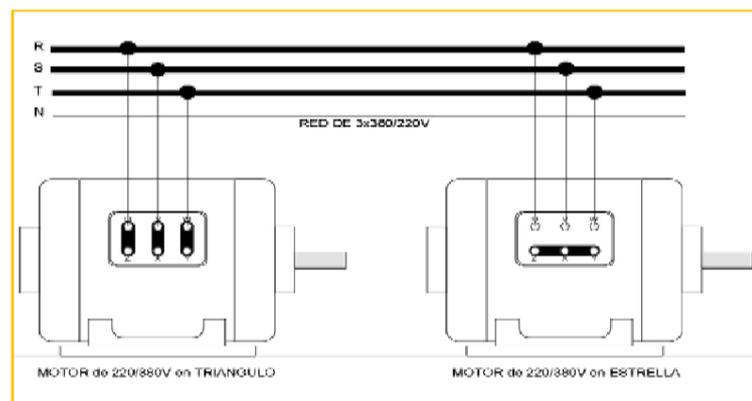
## 4.8. ARRANQUE DE LOS MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS

Durante la puesta en tensión de un motor, la corriente solicitada es considerable y puede provocar una caída de tensión que afecte al funcionamiento de los receptores, especialmente en caso de insuficiencia de la sección de la línea de alimentación. En ocasiones, la caída puede llegar a ser perceptible en los aparatos de alumbrado.

Para poner remedio a estos inconvenientes, ciertos reglamentos sectoriales prohíben el uso de motores de arranque directo que superen cierta potencia. Los motores de jaula son los únicos que pueden acoplarse directamente a la red por medio de un equipo simple.

### 4.8.1. ARRANQUE DIRECTO.

Cuando el motor tiene una potencia inferior a **0,75 Kw** se puede conectar de forma directa a la red, el motor dispone de tres bobinas que se deben conectar a la red para que funcione, estas bobinas pueden conectarse en estrella o en triángulo dependiendo de la tensión que soporten las bobinas y de qué tensión sea la red trifásica.



Arranque directo.

En la placa de características nos encontraremos siempre dos valores de tensión, el valor más pequeño de esos dos valores es la tensión nominal que soporta cada bobina, es decir, si un motor eléctrico nos indica que es **220Δ/380Y v**, nos está indicando que la tensión nominal que aguantan las bobinas es **220 voltios**.

Unos ejemplos nos aclararán las ideas, si la red que tenemos es de **220 V** y el motor es de **220/380 v** debemos conectar el motor en triángulo ya que con esta conexión cada bobina recibirá **220 v**.

Con la red trifásica de **380 v**, y el mismo motor **220/380 v**, deberemos conectar el motor en estrella porque así cada bobinado recibirá  $380/\sqrt{3} = 220$  v; es decir, la tensión que soporta cada bobina.

#### **4.8.1.1. Cálculo eléctrico:**

Los siguientes datos han sido tomados de la placa característica de un motor asíncrono trifásico, para realizar un arranque directo.

##### **DATOS:**

**P = 2.0 HP** (Potencia mecánica del motor)

**F = 60 Hz** (Frecuencia de la red)

**F.S = 1.15** (Factor de seguridad)

**Ta = -15°C – 40°C** (Temperatura ambiente)

**I<sub>arr</sub> = 6.3 I<sub>n</sub>** (Corriente de arranque)

**220Δ / 440Y V** (Voltaje de alimentación)

**5,7 Δ / 3,2 Y Amp.** (Corriente de línea)

**R.P.M = 1710** (Velocidad del motor)

**F.P = 0.8 en retraso.**(Factor de potencia)

- ✓ La potencia mecánica o de salida del motor es:

$$P_{\text{salida}} = 2.00 \text{ HP} * \frac{746 \text{ W}}{1 \text{ HP}} = 1492 \text{ W}$$

- ✓ La potencia que absorbe el motor de la línea es:

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} * V_L * I_L * \cos \theta$$

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} * (220) * (5,7) * (0,8)$$

$$P_{3\phi} = 1737,59 \text{ WR///}$$

Como la corriente nominal de consumo es **5,7 amperios** y multiplicada por un factor de seguridad del **15%** daría:

$$I_{L-\text{máx}} = (5,7) * (1.15) = 6,55 \text{ amperios.}$$

Para ello seleccionamos un conductor calibre **# 12 AWG**, que tiene una capacidad de corriente de **25 Amperios**.

- ✓ Corriente de arranque.

Ésta corriente es de muy corta duración (mili-segundos)

$$I_{\text{arranque}} = 6.3 * I_{\text{nominal}}$$

$$I_{\text{arranque}} = (6.3) * (6.55) \cong 41.26 \text{ Amp.}$$

- ✓ El motor trabajaría con un rendimiento de:

$$\eta = \frac{P_{\text{salida}}}{P_{\text{entrada}}} * 100\%$$

$$\eta = \frac{1492}{1737,59} * 100 \% = 86\%$$

- ✓ Ángulo de la carga.

$$F.P = \cos \theta$$

$$\theta = \cos^{-1}(0.8) = 40,97^{\circ} \text{ en retraso.}$$

- ✓ Potencia reactiva inductiva que consume el motor a plena carga.

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3} * V_L * I_L * \sin \theta$$

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3} * (220) * (5,7) * \sin(40,97)^{\circ}$$

$$Q_{3\phi} = 1303,3 \text{ VAR en retraso.}$$

- ✓ Potencia aparente.

$$S_{3\phi} = \sqrt{P_{3\phi}^2 + Q_{3\phi}^2}$$

$$S_{3\phi} = \sqrt{(1737,59)^2 + (1303,3)^2}$$

$$S_{3\phi} = 2172 \text{ VA R ///}$$

Una vez realizado los respectivos cálculos eléctricos para determinar los parámetros nominales del motor, cuando esté a plena carga el motor, podemos seleccionar los materiales eléctricos que se van a requerir para el arranque respectivo.

Cabe recalcar que estos parámetros son aproximadamente igual, a las mediciones realizadas por un equipo de medición, ya que en la práctica existen variaciones de tensión; lo cual hace que varíen un poco los demás parámetros.

#### 4.8.1.2. Selección de materiales para el arranque directo.

Los conductores, fusibles, contactor y relé térmico se dimensionan o calculan tomando en cuenta el **100%** de la intensidad nominal del motor.

CIRCUITO DE FUERZA			
ITEMS	MATERIAL	ESPECIFICACIÓN	CANTIDAD
1	Breaker termomagnético	3P -16 AMP	1 u
2	Contactor	7 AMP – 220 V	1 u
3	Relé térmico	5,5 – 8 AMP	1 u
4	Conductor eléctrico	# 12 AWG – 25 AMP	X metros
CIRCUITO DE CONTROL			
5	Breaker termomagnético	2P - 1 AMP	1 u
6	Pulsador marcha	Verde (N.O)	1 u
7	Pulsador paro	Rojo (N.C)	1 u
8	Luz piloto	Verde – 220 V	1 u
9	Luz piloto	Roja – 220 V	1 u
10	Conductor eléctrico	# 18 AWG – 7 AMP	X metros

Todos los elementos seleccionados tanto para el circuito de fuerza, como para el circuito de control han sido tomados de acuerdo a las características nominales y de funcionamiento del motor.

#### **Nota:**

La cantidad de elementos seleccionados, depende del modo de elaboración del circuito de fuerza como el de control, y tal esquema se elabora dependiendo de las condiciones de servicio que preste el motor.

#### **4.8.1.3. Procedimientos para la conexión:**

##### **Circuito de fuerza.**

- a)** Tomamos una tensión trifásica de **220 V** de la red de alimentación, y la conectamos al Breaker termomagnético **(QM1)**.
- b)** A la salida del Breaker, conectamos en serie el contactor **(KM1)** para la el arranque directo.
- c)** Una vez realizada la conexión del contactor, le conectamos el relé térmico **(FR1)**, y hacemos la regulación de intensidad de corriente a la de servicio del motor.
- d)** Conectamos el motor **(M1)** con su respectiva conexión, a la salida del relé térmico **(FR1)**.

##### **Circuito de control.**

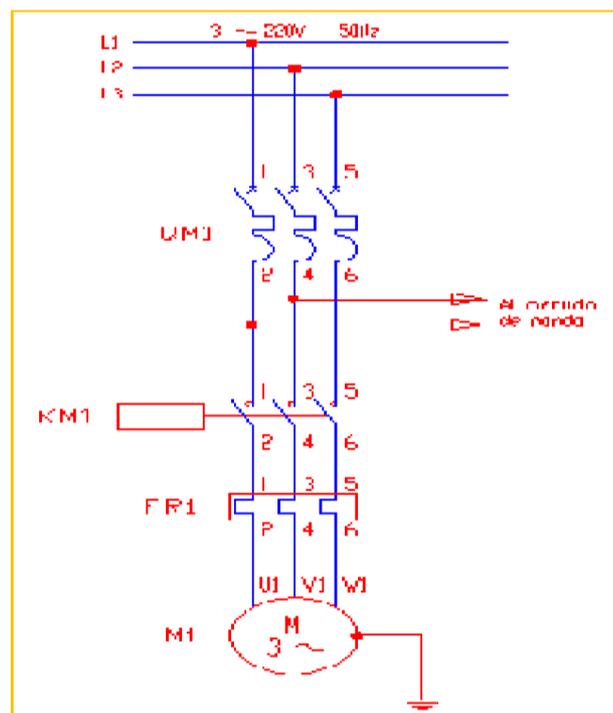
- a)** Tomamos una tensión bifásica de **220 V** de la red trifásica, para el circuito de control, y le conectamos un Breaker termomagnético **(QM2)**.
- b)** A la salida der Breaker, conectamos en paralelo los contactos auxiliares del relé térmico **FR1(95-96)** y **FR1(97-98)**.
- c)** El contacto auxiliar **FR1(97-98)** va conectado a la luz piloto roja **(HL2)**, que va a encender en caso de alguna falla en el motor.
- d)** Y el contacto auxiliar **FR1(95-96)** se conecta con el pulsador de paro **(SB1)**,y estese une en serie con un pulsador de marcha**(SB2)**.
- e)** En paralelo con el pulsador de marcha **(SB2)**, se conecta un contacto auxiliar abierto **KM1(13-14)**.

- f) A la salida del pulsador de marcha (**SB2**) va conectado en paralelo la bobina del contactor (**KM1**) y la luz piloto verde (**HL1**).

#### 4.8.1.4. Circuito de fuerza o potencia.

En el diagrama se detallan las conexiones para un motor en jaula de ardilla que ha de arrancar directamente sobre la red o línea de alimentación.

Arranque directo de un motor trifásico, con protección por relé térmico y mando con pulsadores de marcha/paro.



#### Terminología:

QM1	Breaker termomagnético
KM1	Contactor
FR1	Relé térmico
M1	Motor trifásico



### **Observación:**

Una vez concluida la instalación, pero antes de poner el motor en servicio, debe efectuarse un arranque inicial como sigue:

- Comprobar que todas las conexiones del motor y del equipo de arranque y control concuerden con los diagramas.
- Cerciorarse de que voltaje, fases y frecuencia de la línea de alimentación sean los que aparecen en la placa de identificación del motor.
- Poner en marcha el motor sin carga un tiempo suficiente para determinar que no existen condiciones anormales.
- Comprobar el sentido de rotación; si es incorrecto, intercambiar dos de los conductores de línea para invertir la rotación en el caso de motores trifásicos.

#### **4.8.1.6. Funcionamiento del circuito de control:**

Al presionar el botón de marcha (**SB2**) se energiza la bobina del contactor (**KM1**), el cual cierra un contacto auxiliar normalmente abierto (**KM1**) que se encuentra en paralelo con el pulsador de marcha (**SB2**) y permite el cierre del circuito para que se mantenga energizada la bobina del contactor (**KM1**). Una vez energizada la bobina, el contactor cierra sus contactos de fuerza (**M**), que permiten que el motor arranque a tensión nominal.

Presionando el botón de parada (**SB1**), desenergizamos la bobina del contactor (**KM1**) el cual, abre los contactos de fuerza y desconecta el motor de la red de alimentación.

#### 4.8.1.7. Mediciones:

Para estas mediciones hemos empleado el “**Analizador de Red(LCC)**”, el cual nos ha permitido tomar las siguientes lecturas y poder hacer una comparación con los datos nominales de la placa características y los cálculos eléctricos realizados anteriormente.

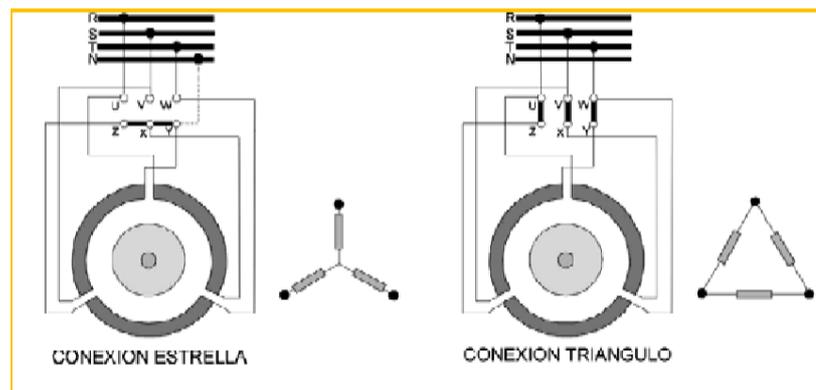
#### NOTA:

Estas lecturas no van a corresponder con los datos nominales del motor porque las mediciones se tomaron arrancando el motor en vacío.

Especificación	Parámetro	Unidad	Medición
Voltaje de línea	$V_{AB}$	(V)	205,1
Voltaje de línea	$V_{BC}$	(V)	206,2
Voltaje de línea	$V_{CA}$	(V)	205,4
Voltaje de fase	$V_{AN}$	(V)	118
Voltaje de fase	$V_{BN}$	(V)	119
Voltaje de fase	$V_{CN}$	(V)	118
Corriente de línea	$I_A$	(A)	3,12
Corriente de línea	$I_B$	(A)	3,12
Corriente de línea	$I_C$	(A)	3,12
Potencia activa	$P_A$	(W)	0.80
Potencia reactiva	$Q_L$	(VAR)	0,69
Potencia aparente	$S_A$	(VA)	1.04
Factor de potencia	F.P		0,75
<b>Observación:</b>			
Antes de conectar el motor a la fuente de alimentación, verificar que cada bobina este conectada en triángulo, ya que esta conexión corresponde a la tensión de excitación de <b>220v</b> .			

#### 4.8.2. ARRANQUE ESTRELLA-TRIÁNGULO

Los motores de poca potencia pueden arrancarse directamente como vimos en el apartado anterior, pero cuando las potencias superan un valor determinado se deben conectar los motores mediante algún sistema de arranque para evitar la sobre intensidad de arranque elevada que puede provocar perturbaciones en la red como por ejemplo: caídas de tensión inadmisibles. Un motor eléctrico en el arranque puede consumir entre **6 y 8** veces la intensidad nominal.



**Arranque estrella - triángulo.**

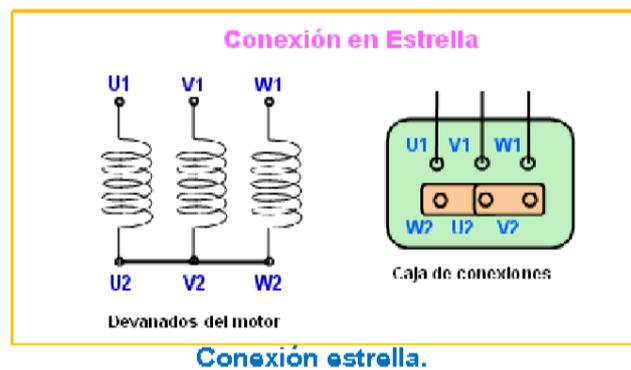
Es muy común la utilización del sistema de arranque **estrella - triángulo**, para que la corriente inicial absorbida en el arranque esté solamente entre **1,3 y 2,6** de la corriente nominal( $I_n$ ).

El sistema consiste en energizar el motor conectándolo inicialmente en estrella, mientras se pone en movimiento, y una vez haya alcanzado

aproximadamente entre el **70% y 80%** de su velocidad de régimen, en unos pocos segundos, se conecta en triángulo.

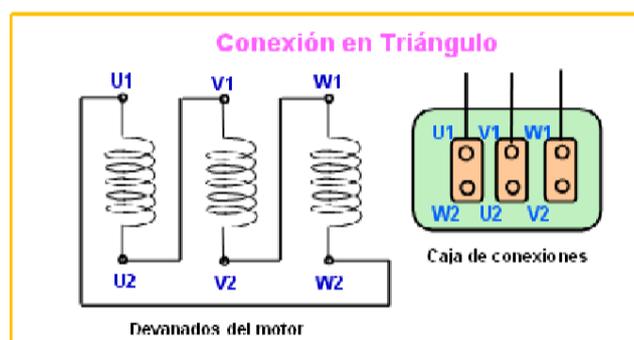
#### 4.8.2.1. Conexión estrella:

Consiste en unir los finales (**U2-V2-W2**) de las tres bobinas del estator, alimentando solamente los principios (**U1-V1-W1**) con las tres fases (**R-S-T**), de manera que cada bobina recibirá una tensión de fase.



#### 4.8.2.2. Conexión triángulo:

Consiste en unir el principio de una bobina con el final de la siguiente (**U1-W2; V1-U2; W1-V2**), energizando con las tres fase (**R-S-T**) los tres puntos de unión que se obtienen, de tal manera que cada uno de las tres bobinas o grupos de bobinas del motor recibirá permanentemente una tensión equivalente a la tensión de línea o tensión entre fases.



### Conexión delta.

Si durante el proceso de arranque se conecta el motor en estrella, la tensión aplicada a cada bobina del estator se reducirá en  $\sqrt{3}$ , equivalente al **58%** de la tensión de línea, por lo cual la intensidad que absorberá el motor será también  $\sqrt{3}$  menor.

Al ser la reducción de  $\sqrt{3}$  en la tensión y  $\sqrt{3}$  en la corriente, tendremos como resultado una disminución total de  $\sqrt{3}$  por  $\sqrt{3}$  ó sea de tres veces el valor de la corriente nominal, equivalente a un **33%** del que tendría en un arranque directo.

Esta característica sirve de base al sistema de arranque **estrella – triángulo**, siendo necesario, para poder efectuar este tipo de conexionado, que las tres bobinas tengan sus extremos separados para que sean conectados en la bornera del motor.

Además es necesario tener presente que la tensión indicada en la placa, corresponde a la tensión triángulo.

#### 4.8.2.3. Conmutación estrella – triángulo.

Es importante recalcar que la conmutación de **estrella – triángulo** debe realizarse tan pronto el motor llegue al **70% u 80%** de su velocidad de régimen, porque si ésta se produce demasiado pronto, la intensidad pico puede alcanzar valores muy altos, y en caso contrario es posible que se detenga el motor, produciéndose un daño en los devanados.

En motores con potencias superiores a **30 ó 40HP**, se presentan tensiones inducidas que permanecen en el motor después que se ha realizado la desconexión estrella, de manera que si se realiza inmediatamente la conexión triángulo, puede generarse una corriente transitoria muy alta, en oposición de fase con la red, capaz de dañar el motor.

Este inconveniente se elimina retardando un poco la conexión triángulo, pero cuidando que la pérdida de velocidad durante este tiempo no sea demasiado sensible. Las combinaciones de contactores para el arranque estrella – triángulo de motores trifásicos pueden provocar cortocircuitos durante la conmutación de **(Y-Δ)**, para evitar esto debe emplearse un relé de tiempo **(Y-Δ)**, con pausa de conmutación para pasar de una etapa a otra.

#### **4.8.2.4. Cálculo eléctrico:**

Los siguientes datos han sido tomados de la placa característica de un motor asíncrono trifásico, para realizar un arranque estrella – triángulo.

##### **DATOS:**

**P = 2.0 HP** (Potencia mecánica del motor)

**F = 60 Hz** (Frecuencia de la red)

**F.S = 1.15** (Factor de seguridad)

**Ta = -15°C – 40°C** (Temperatura ambiente)

**I<sub>arr</sub> = 6.3 I<sub>n</sub>** (Corriente de arranque)

**220Δ / 440Y V** (Voltaje de alimentación)

**5,7 Δ / 3,2 Y Amp.**(Corriente de línea)

**R.P.M = 1710**(Velocidad del motor)

**F.P = 0.8 en retraso.**(Factor de potencia)

- ✓ La potencia mecánica o de salida del motor es:

$$P_{\text{salida}} = 2.00 \text{ HP} * \frac{746 \text{ W}}{1 \text{ HP}} = 1492 \text{ W}$$

- ✓ La potencia que absorbe el motor de la línea es:

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} * V_L * I_L * \cos \theta$$

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} * (220) * (5,7) * (0,8)$$

$$P_{3\phi} = 1737,59 \text{ WR}///$$

Como la corriente nominal de consumo es **5,7 amperios** y multiplicada por un factor de seguridad del **15%** daría:

$$I_{L-\text{máx}} = (5,7) * (1.15) = 6,55 \text{ amperios.}$$

Para ello seleccionamos un conductor calibre **# 12 AWG**, que tiene una capacidad de corriente de **25 Amperios**.

- ✓ El motor trabajaría con un rendimiento de:

$$\eta = \frac{P_{\text{salida}}}{P_{\text{entrada}}} * 100\%$$

$$\eta = \frac{1492}{1737,59} * 100 \% = 86\%$$

✓ Ángulo de la carga.

✓ Potencia reactiva inductiva que consume el motor a plena carga.

—

—

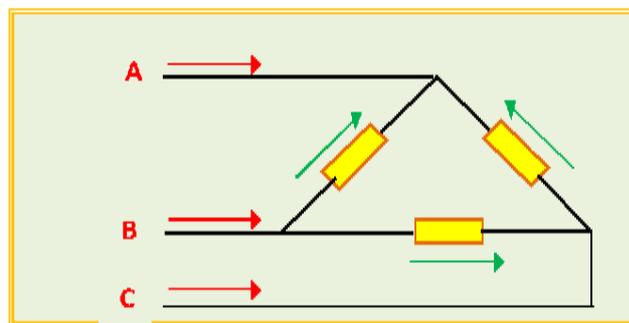
✓ Potencia aparente.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

R ///

✓ Corriente que consume durante el arranque en triángulo( $\Delta$ ):



Conexión en triángulo de las bobinas.

Esta corriente de fase o bobina tendrá un valor de  $\sqrt{3}$  veces menor que la corriente de línea.

$$I_{F-\Delta} = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$$

$$I_{F-\Delta} = \frac{5,7}{\sqrt{3}} = 3,29 \text{ Amp.}$$

Por regla de tres simple daría:

$$I_{F-\Delta(\%)} = \frac{(100\%) * (3,29)}{5,7} = 57,7 \cong 58 \%$$

Se ha determina que la corriente que consume el motor por cada bobina en la conexión en triángulo sería del **58%** de la corriente nominal.

Y la potencia de cada bobina será 3 veces menor que la potencia trifásica del motor.

$$P_{\text{bobina}} = I_F * V_L * \cos \theta$$

$$P_{\text{bobina}} = (3,29) * (220) * \cos(40,97) = 579 \text{ W}$$

$$Q_{\text{bobina}} = I_F * V_L * \sin \theta$$

$$Q_{\text{bobina}} = (3,29) * (220) * \sin 40,97 = 434 \text{ VAR}$$

Y como las tres bobinas tienen la misma impedancia, entonces:

$$P_{3\phi} = 3 * P_{\text{bobina}}$$

$$Q_{3\phi} = 3 * Q_{\text{bobina}}$$

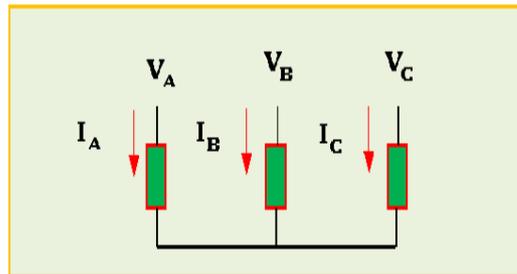
$$P_{3\phi} = 3 * (579) = 1737 \text{ W}$$

$$Q_{3\phi} = 3 * (434) = 1302$$

✓ **Corriente que consume durante el arranque en estrella(Y):**

Cuando los bobinados se conectan en estrella, cada bobinado está alimentado con una tensión de fase o de línea a neutro.

$$V_F = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127 \text{ V}$$



**Conexión en estrella de las bobinas.**

Para determinar la corriente de fase que el motor consume durante el arranque en estrella, calcularemos la impedancia de cada bobina del motor.

$$Z_{\text{motor}} = \frac{V_L}{I_F} = \frac{220}{3,29} = 66,86 \Omega$$

$$Z_{\text{motor}} = 66,86 \angle 40,97^\circ$$

La corriente que va a circular por cada bobina, cuando el motor arranca en estrella será de:

$$I_{L-v} = \frac{V_F}{Z_{\text{motor}}} \qquad I_{L-v} = \frac{127}{66,86} = 1,9 \text{ Amp.}$$

Determinando por regla de tres nos daría:

$$I_{L-v(\%)} = \frac{(100\%) * (1,9)}{5,7} = 33,33 \%$$

Esto quiere decir, que el motor cuando arranca en estrella consume alrededor del **33%** de la corriente nominal.

#### 4.8.2.5. Selección de materiales para el arranque (Y – Δ).

Los siguientes elementos han sido seleccionados en base a los valores nominales del motor, y a las condiciones de servicio de la red de alimentación.

Los contactores deben seleccionarse de manera tal que cumplan con los siguientes valores:

- Contactor de red **KM1**, para el **100%** de la corriente nominal del motor.
- Contactor estrella **KM3**, para el **33%** de la corriente nominal del motor.
- Contactor triángulo **KM2**, para el **58%** de la corriente nominal del motor.

CIRCUITO DE FUERZA			
ITEMS	MATERIAL	ESPECIFICACION	CANTIDAD
1	Breaker termomagnético	3P -16 AMP	1 u
2	Contactor (P)	9 AMP – 220 V	1 u
3	Contactor (Δ)	7 AMP – 220 V	1 u
4	Contactor (Y)	4 AMP – 220 V	1 u
5	Relé térmico	4,5 – 6,3 AMP	1 u
6	Conductor eléctrico	# 12 AWG – 25 AMP	X metros
CIRCUITO DE CONTROL			
7	Breaker termomagnético	2P - 1 AMP	1 u
8	Pulsador marcha	Verde (N.O)	1 u
9	Pulsador paro	Rojo (N.C)	1 u
10	Luz piloto	Verde – 220 V	1 u
11	Luz piloto	Roja – 220 V	1 u
12	Contacto auxiliar (C-P)	1N.O	1 u
13	Contacto auxiliar (C-Y)	1N.O + 1N.C	1 u
14	Contacto auxiliar (C-Δ)	1N.O + 1N.C	1 u
15	Relé de tiempo	1 – 15 seg (220 V)	1 u
16	Conductor eléctrico	# 18 AWG – 7 AMP	X metros

--	--	--	--

#### 4.8.2.6. Procedimientos para la conexión:

##### Circuito de fuerza.

- a) Tomamos una tensión trifásica de **220 V** de la red de alimentación, y la conectamos al Breaker termomagnético **(QM1)**.
- b) A la salida del Breaker, conectamos el contactor principal **(KM1)**.
- c) Una vez realizada la conexión del contactor, le conectamos en serie el relé térmico **(FR1)**, y hacemos la regulación de intensidad de corriente a la de servicio del motor.
- d) Conectamos el motor **(M1)** con su respectiva conexión, a la salida del relé térmico **(FR1)**.
- e) Los bornes o terminales del motor **(X-Y-Z)**, lo unimos mediante el contactor **(KM3)**, y de esta forma el motor arranca en estrella.
- f) Con la salida del contactor principal **(KM1)**, conectamos el contactor **(KM2)**, para unir los terminales **(X-Y-Z)** del motor, y de esta forma el motor queda funcionando en delta o triángulo.

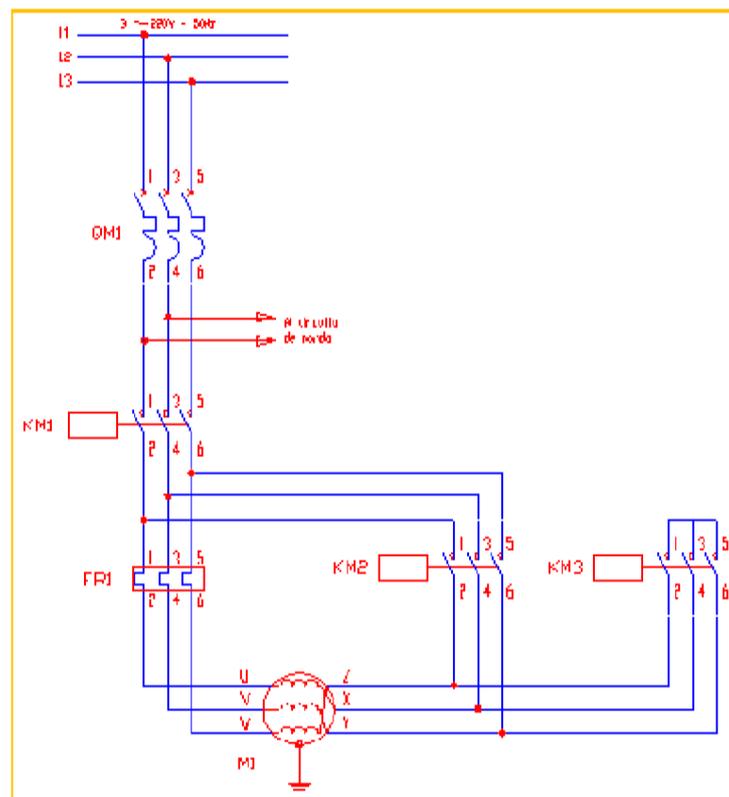
##### Circuito de control.

- a) Tomamos una tensión bifásica de **220 V** de la red trifásica, para el circuito de control, y le conectamos un Breaker termomagnético **(QM2)**.
- b) A la salida del breaker, conectamos en paralelo los contactos auxiliares del relé térmico **FR1(95-96)** y **FR1(97-98)**.

- c) El contacto auxiliar **FR1 (97-98)** va conectado a la luz piloto roja (**HL2**), que va a encender en caso de alguna falla en el motor.
- d) Y el contacto auxiliar **FR1(95-96)** se conecta con el pulsador de paro (**SB1**), y este se une en serie con un pulsador de marcha (**SB2**).
- e) A la salida del pulsador de marcha (**SB2**) van conectados en serie los contactos auxiliares **KM2(21-22)** y **KT1(15-16)** normalmente cerrados.
- f) Conectados en paralelo la bobina del contactor estrella (**KM3**), la luz piloto verde (**HL1**), y la bobina del relé de tiempo (**KT1**), a la salida del contacto cerrado del temporizador **KT1 (15-16)**.
- g) La entrada del pulsador de marcha (**SB2**), se toma una línea conectada con el contacto auxiliar abierto del contactor principal **KM1(13-14)** y un contacto auxiliar cerrado del contactor estrella **KM3 (21-22)**, para energizar la bobina del contactor delta (**KM2**).

#### 4.8.2.7. Circuito de fuerza o potencia.

El circuito de potencia nos indica como se conectan las líneas de alimentación a la carga.

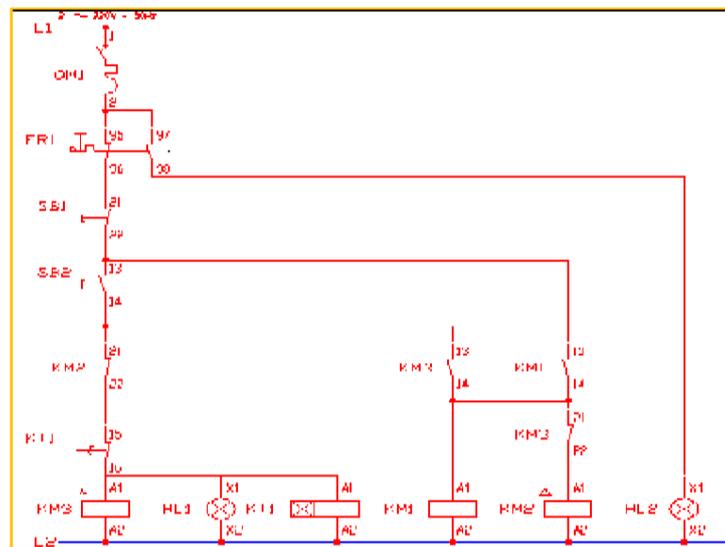


#### Terminología:

QM1	Breaker termomagnético
KM1	Contactador principal
KM2	Contactador para delta( $\Delta$ )
KM3	Contactador para estrella (Y)
FR1	Relé térmico
M1	Motor trifásico

#### 4.8.2.8. Circuito de control o mando.

El circuito de mando nos indica como se controla el cierre o la apertura de los contactos principales del contactor principal para que pueda o no funcionar el motor.



#### Terminología:

QM1 (1 – 2)	Breaker termomagnético
FR1	Contactos auxiliares del relé térmico
FR1 (95 – 96)	Contacto (N.C)
FR1 (97 – 98)	Contacto (N.O)
SB1 (21 – 22)	Pulsador de paro (N.C)
SB2 (13– 14)	Pulsador de marcha (N.O)
KM1 (A1 – A2)	Bobina del contactor principal (P)
KM1 (13 – 14)	Contacto auxiliar (N.O) del contactor (P)
KM2 (A1 – A2)	Bobina del contactor delta (Δ)
KM2 (21 – 22)	Contacto auxiliar (N.C) del contactor (Δ)
KM3 (A1 – A2)	Bobina del contactor estrella (Y)
KM3 (21 – 22)	Contacto auxiliar (N.C) del contactor (Y)
KM3 (13 – 14)	Contacto auxiliar (N.O) del contactor (Y)
KT1 (A1 – A2)	Bobina del temporizador
KT1 (15 – 16)	Contacto auxiliar (N.C) del temporizador

HL1 (X1 – X2)	Luz piloto verde
HL2 (X1 –X2)	Luz piloto roja

#### 4.8.2.9. Funcionamiento del circuito de control:

##### Conexión (arranque):

Al oprimir el botón de arranque **SB2 (13-14)** aplica tensión a la bobina del contactor estrella **KM3** y activa el relé de tiempo **KT1** a través del contacto **(N.O)** con retardo **17/18** del relé de tiempo estrella triángulo. Los contactos de autorretención de los contactores **KM3 (13-14)** y **KM1 (13-14)** se cierran y el motor arranca en conexión estrella.

##### Conmutación:

Después de transcurrir el tiempo de retardo ajustado, el contacto **(N.C)** con retardo del relé de tiempo **KT1 (15-16)** abre y desconecta el contactor estrella **KM3** . Al cerrar el contacto **(N.O)** con retardo **KT1 (15-16)** del relé de tiempo estrella – triángulo después de **50** mili-segundos de pausa en la conmutación, el contacto **(N.C)** de **(K2)** conecta al contactor triángulo **(KM3)** y el motor funciona ahora en conexión triángulo.

Obsérvese que este sistema de conmutación requiere que transcurra un breve intervalo de tiempo entre la apertura de **KM3** y el cierre de **KM2**, cuando el motor esta plenamente desconectado de los conductores de alimentación; por tanto representa una transición con circuito abierto.

##### Desconexión (parada):

Cuando se acciona el pulsador de paro **SB1 (21-22)** se abre el contactor de red **KM1** y el contacto normalmente abierto **KM1 (13-14)**. El contactor triángulo **KM2** y el motor se desconectan.

Los contactos auxiliares de los contactores que no han sido mencionados realizan los enclavamientos entre los contactores estrella y triángulo.

#### 4.8.2.10. Mediciones:

Para estas mediciones hemos empleado el “**Analizador de Red(LCC)**”, el cual nos ha permitido tomar las siguientes lecturas y poder hacer una comparación con los datos nominales de la placa características y los cálculos eléctricos realizados anteriormente.

#### NOTA:

Estas lecturas no van a corresponder con los datos nominales del motor porque las mediciones se tomaron arrancando el motor en vacío.

Especificación	Parámetro	Unidad	Medición
Voltaje de línea	$V_{AB}$	(V)	205.4
Voltaje de línea	$V_{BC}$	(V)	206.4
Voltaje de línea	$V_{CA}$	(V)	205.4
Voltaje de fase	$V_{AN}$	(V)	117.9
Voltaje de fase	$V_{BN}$	(V)	119.4
Voltaje de fase	$V_{CN}$	(V)	118.9
Corriente de línea	$I_A$	(A)	3.04
Corriente de línea	$I_B$	(A)	3.04
Corriente de línea	$I_C$	(A)	3.04
Potencia activa	$P_A$	(kW)	0.90
Potencia reactiva	$Q_L$	(kVAR)	0.69
Potencia aparente	$S_A$	(kVA)	1.04
Factor de potencia	F.P		0.746
Corriente en estrella	$I_{L(a-b-c)Y}$	(A)	0.99
Corriente en triángulo	$I_{L-\Delta}$	(A)	1,76

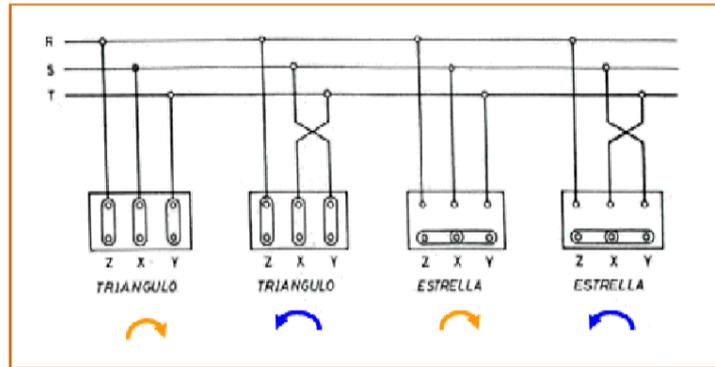
**Observación:**

Antes de conectar el motor a la fuente de alimentación, verificar las conexiones del motor para realizar el arranque estrella triángulo, desconectando los puentes realizados en el arranque directo.

#### **4.8.3. ARRANQUE CON INVERSIÓN DE GIRO.**

Como quiera que el rotor de un motor de inducción polifásico (trifásico) tiende siempre a girar en el mismo sentido que el campo magnético giratorio, y éste depende de la sucesión de fase de las tensiones aplicadas, tal tipo de máquina puede invertir su rotación intercambiando las conexiones de un par cualquiera de los conductores del estator. Esto suele efectuarse haciendo funcionar dos contactores enclavados mecánicamente, en un circuito de regulación que es del todo similar al que se utiliza para los motores de corriente continua. Además, los contactores llevan frecuentemente enclavamiento eléctrico para evitar la excitación de la bobina de una unidad abierta cuando está en posición cerrada su correspondiente pareja. Con un contactor en la posición de desexcitado, o sea, con un amplio entrehierro para su armadura, la intensidad de corriente puede bastar para averiar la bobina si se deja que circule durante un tiempo apreciable.

Mientras gira en un sentido un motor de inducción con arranque directo sobre la red, puede invertirse sus conexiones para que efectúe una rápida inversión de marcha, porque, en tales condiciones, la corriente de entrada no es mucho mayor que cuando arranca partiendo de la posición de reposo.



Intercambiando dos fases cambia el sentido de giro del campo magnético del estator y por lo tanto el sentido de giro del rotor.

#### 4.8.3.1. Cálculo eléctrico:

Esta práctica ha sido realizada con el mismo motor asíncrono trifásico, que se empleó en los ensayos anteriores (arranque directo y arranque estrella – triángulo), por lo cual se han omitido algunos procedimientos en el respectivo cálculo eléctrico, ya que los resultados van a ser los mismos; porque se va a realizar un arranque directo con inversión de giro.

Los siguientes datos han sido tomados de la placa característica de un motor asíncrono trifásico, para realizar un arranque directo con inversión de giro.

#### DATOS:

- P = 2.0 HP** (Potencia del motor)
- F = 60 Hz** (Frecuencia de la red)
- F.S = 1.15** (Factor de seguridad)
- Ta = -15°C – 40°C** (Temperatura ambiente)
- I<sub>arr</sub> = 6.3 In** (Corriente de arranque)

- $\eta = 73.4\%$  (Rendimiento)
- 220 YY/440Y V** (Voltaje de alimentación)
- 6.2/3.1 Amp** (Corriente de consumo)
- R.P.M = 3410** (Velocidad del motor)
- F.P = 0.86 en retraso.**(Factor de potencia)

Al alimentar el motor con una tensión de **220 voltios**, absorbe una potencia de:

$$P_{\text{entrada}} = \frac{P_{\text{salida}}}{\eta}$$

La potencia útil o de salida del motor es:

$$P_{\text{salida}} = 2.00 \text{ HP} * \frac{746 \text{ W}}{1 \text{ HP}} = 1492 \text{ W}$$

Como el motor trabaja con un rendimiento del **73.4%**; consume una potencia activa de:

$$P_{\text{entrada}} = \frac{1492}{0.734} = 2032 \text{ W}$$

- Corriente que circula por cada bobinado.

$$I_L = \frac{2032}{\sqrt{3} * (220) * (0.86)} = 6.2 \text{ Amp } R///$$

- Potencia reactiva que consume el motor a plena carga.

$$Q_{3\phi} = 1205 \text{ VAR en retraso.}$$

- Potencia aparente.

$$S_{3\phi} = 2362 \text{ VA R} ///$$

#### 4.8.3.2. Selección de materiales para la inversión de giro.

Los contactores se han seleccionado de la misma capacidad, ya que cuando se invierte el sentido de giro consume la misma cantidad de corriente.

CIRCUITO DE FUERZA			
ITEMS	MATERIAL	ESPECIFICACION	CANTIDAD
1	Breaker termomagnético	3P -16 AMP	1 u
2	Contactora para marcha	7 AMP – 220 V	1 u
3	Contactora para inversión	7 AMP – 220 V	1 u
4	Relé térmico	4,5 – 6,3 AMP	1 u
5	Conductor eléctrico	# 12 AWG – 25 AMP	X metros
CIRCUITO DE CONTROL			
6	Breaker termomagnético	2P - 1 AMP	1 u
7	Selector de tres posiciones	Negro (I-O-I)→(2N.O)	1 u
8	Luz piloto	Verde – 220 V	2 u
9	Luz piloto	Rojo – 220 V	1 u
10	Conductor eléctrico	# 18 AWG – 7 AMP	X metros
También se podría utilizar pulsadores en vez de un selector de tres posiciones.			
11	Pulsador marcha	Verde (1N.O + 1N.C)	2 u
12	Pulsador paro	Rojo (N.C)	1 u

#### **4.8.3.3. Procedimientos para la conexión:**

##### **Circuito de fuerza.**

- a)** Tomamos una tensión trifásica de **220 V** de la red de alimentación, y la conectamos al Breaker termomagnético **(QM1)**.
- b)** A la salida del Breaker, conectamos en paralelo dos contactores **(KM1)** y **(KM2)** para la inversión de giro.
- c)** Una vez realizada la conexión en paralelo de los contactores, le conectamos el relé térmico **(FR1)**, y hacemos la regulación de corriente para que el motor arranque con su respectiva conexión.

##### **Circuito de control.**

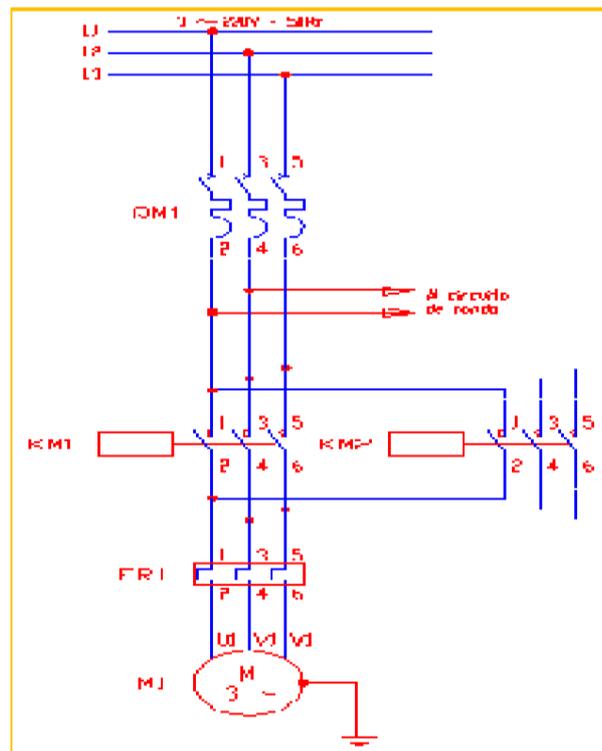
- a)** Tomamos una tensión bifásica de **220 V** de la red trifásica, para el circuito de control, y conectamos un Breaker termomagnético **(QM2)**.
- b)** A la salida del breaker, conectamos en paralelo los contactos auxiliares del relé térmico **FR1(95-96)** y **FR1(97-98)**.
- c)** El contacto auxiliar **FR1(97-98)** va conectado a la luz piloto roja **(HL3)**, que va a encender en caso de alguna falla en el motor.
- d)** Y el contacto auxiliar **FR1(95-96)** se conecta con el selector de mando **(SA1)**.

- e) El selector en la posición uno **SA1(13-14)**, se une en serie con un contacto cerrado **KM2(21-22)**, y este a su vez conecta en paralelo la bobina del contactor (**KM1**) y la luz piloto verde (**HL1**).
- f) Al girar el selector en la posición dos **SA1(13-24)**, se une en serie con un contacto cerrado **KM1(21-22)**, y este a su vez conecta en paralelo la bobina del contactor (**KM2**) y la luz piloto verde (**HL2**).

#### 4.8.3.4. Circuito de fuerza o potencia.

El circuito de potencia nos indica como se conectan las líneas de alimentación a la carga.

Inversión del sentido de giro de un motor trifásico y mando con un conmutador rotativo de tres posiciones, **I-0-I**.

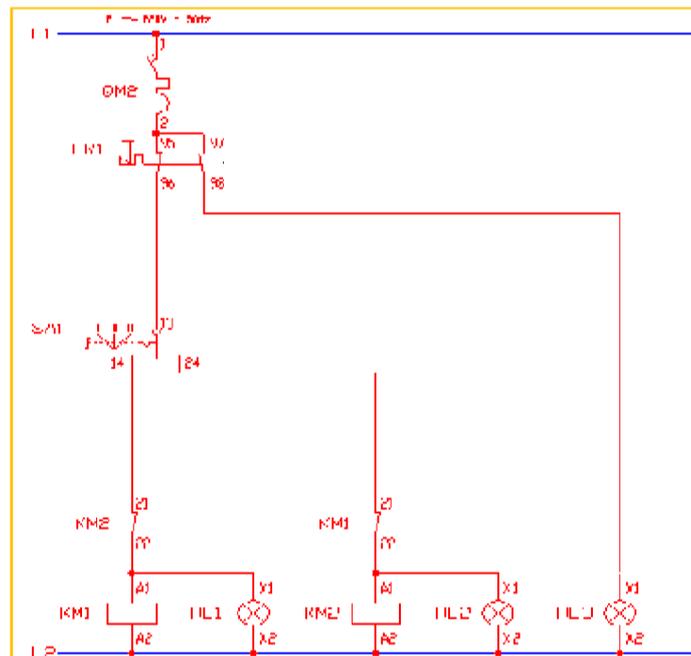


**Terminología:**

QM1	Breaker termomagnético
KM1	Contactador para marcha
KM2	Contactador para inversión
FR1	Relé térmico
M1	Motor trifásico

#### 4.8.3.5. Circuito de control o mando.

El circuito de mando nos indica como se controla el cierre o la apertura de los contactos principales del contactador principal para que pueda o no funcionar el motor.



#### Terminología:

QM2 (1 – 2)	Breaker termomagnético
FR1	Contactos auxiliares del relé térmico
FR1 (95 – 96)	Contacto (N.C)

FR1 (97 – 98)	Contacto (N.O)
SA1	Selector de tres posiciones (I-0-I)
SA1 (13 – 14)	contacto (N.O) del selector (derecha)
SA1 (13 – 24)	contacto (N.O) del selector (izquierda)
KM1 (A1 – A2)	Bobina del contactor principal
KM1 (13 – 14 )	Contacto auxiliar (N.C) del contactor
KM2 (A1 – A2)	Bobina del contactor para la inversión
KM2 (21 – 22)	Contacto auxiliar (N.C)
HL1 (X1 – X2)	Luz piloto verde
HL2 (X1 –X2)	Luz piloto verde
HL3 (X1 –X2)	Luz piloto roja

#### 4.8.3.6. Funcionamiento del circuito de control:

En la figura podemos observar la disposición del circuito que muestra como se conecta un motor en jaula de ardilla, con arranque directo desde la red, a los reguladores de inversión.

#### Operación por medio de interruptor de mando.

Al girar el selector (**SA1**) en la posición (**1**) se energiza la bobina del contactor principal (derecha) **KM1** y desconecta el contactor inversión (izquierda) **KM2** por medio del contacto auxiliar (**N.C**) del contactor (derecha) **KM1 (13-14)** y el motor arranca en el sentido de giro seleccionado. Lo mismo sucede al girar hacia la posición (**2**) del selector, se energiza el contactor (izquierda) **KM2**, que abre un contacto auxiliar **KM2 (21-22)** del circuito para que no se energice la bobina del contactor (derecha) **KM1**, para evitar un posible cortocircuito al seleccionar la posición de inversión del selector; lo cual significa, que la inversión de giro sólo se la puede hacer una vez parado el motor, o sea, cuando se gire el selector en la posición (**0**). Obsérvese que al girar el selector de una posición a otra tiene que pasar por la posición (**0**),

lo cual desenergiza al motor para realizar el cambio de giro. El resto de la operación es análoga a la operación por medio de pulsadores.

#### 4.8.3.7. Mediciones:

Para estas mediciones hemos empleado el “**Analizador de Red(LCC)**”, el cual nos ha permitido tomar las siguientes lecturas y poder hacer una comparación con los datos nominales de la placa características y los cálculos eléctricos realizados anteriormente.

Especificación	Parámetro	Unidad	Medición
Voltaje de línea	$V_{AB}$	(V)	205.4
Voltaje de línea	$V_{BC}$	(V)	206.2
Voltaje de línea	$V_{CA}$	(V)	205.4
Voltaje de fase	$V_{AN}$	(V)	117.9
Voltaje de fase	$V_{BN}$	(V)	119.4
Voltaje de fase	$V_{CN}$	(V)	118.9
Corriente de línea	$I_A$	(A)	3.04
Corriente de línea	$I_B$	(A)	3.04
Corriente de línea	$I_C$	(A)	3.04
Potencia activa	$P_A$	(KW)	0.80
Potencia reactiva	$Q_L$	(KVAR)	0.69
Potencia aparente	$S_A$	(KVA)	1.04
Factor de potencia	F.P		0.75
<b>Observación:</b> Antes de energizar la bobina del contactor, verificar los enclavamientos tanto eléctrico como mecánico para evitar un posible cortocircuito cuando el motor esté girando hacia la derecha o izquierda.			

Estas lecturas no van a corresponder con los datos nominales del motor porque las mediciones se tomaron arrancando el motor en vacío. Y se puede realizar un cálculo para poder comparar los resultados, con los tomados en las mediciones.

## **4.9. CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA DE UN MOTOR ASÍNCRONO.**

### **4.9.1. Introducción.**

En muchos dispositivos eléctricos uno de los parámetros que más interesa es el de la potencia. Por ejemplo, es importante conocer la potencia suministrada por un alternador, la potencia consumida por un motor eléctrico, etc.

El término  $\cos \theta$  se llama factor de potencia (**F.P.**). Y  $\theta$  es el ángulo de la carga que forma la tensión (**V**) y la corriente (**I**), y está siempre comprendido entre  $\pm 90^{\circ}$ .

Sin embargo, para indicar el signo de  $\theta$  diremos que un circuito eléctrico inductivo, es el que la intensidad de corriente está retrasada respecto de la tensión, y tiene un factor de potencia en retraso. Un circuito capacitivo es cuando la corriente esta adelantada con respecto a la tensión, y tiene un factor de potencia en adelanto.

El factor de potencia mínimo de una empresa, debe ser de **0,92**, en el caso de que fuese menor a **0,92**, será sancionada o penalizada por el bajo factor de potencia.

#### **4.9.2. Aplicación teórica.**

En las aplicaciones industriales se suele trabajar con cargas inductivas, por lo que la intensidad de corriente está retrasada con respecto a la tensión aplicada.

La potencia activa (**P**) entregada a la carga es una medida del trabajo útil por unidad de tiempo que realiza la carga.

Esta potencia se transmite normalmente a través de líneas y transformadores. Como un transformador trabaja en general a tensión constante, la potencia aparente en **KVA** da idea de la intensidad máxima permitida.

Teóricamente, si se conectase una carga inductiva o capacitiva pura, el transformador estaría trabajando a plena carga, mientras que la potencia activa suministrada sería cero.

En el caso normal de una carga inductiva es posible corregir el factor de potencia mediante condensadores en paralelo con la carga. Obsérvese que la tensión de la carga es la misma con lo que la potencia útil (**P**) tampoco varía.

Al aumentar el factor de potencia, la intensidad y la potencia aparente disminuyen; y por lo tanto, se consigue una utilización más eficiente de la potencia en el sistema o red de alimentación.

El factor de potencia (**F.P**) es, pues, la relación de la potencia real y la potencia aparente:

$$\cos \theta = \frac{P}{S}$$

Y el factor reactivo es la relación entre la potencia reactiva y los voltamperios o potencia aparente:

$$\sin \theta = \frac{Q}{S}$$

El factor de potencia es un término utilizado para describir la cantidad de energía eléctrica que se ha convertido en trabajo.

El valor ideal del factor de potencia es **1 (F.P = 1)**, esto indica que toda la energía consumida por los aparatos ha sido transformada en trabajo.

Por el contrario, un factor de potencia menor a la unidad (**F.P < 1**) significa un mayor consumo de energía necesaria para producir un trabajo útil.

La potencia efectiva o real es la que en el proceso de transformación de la energía eléctrica se aprovecha como trabajo: es la potencia activa **P**:

- **Sistema monofásico:**

$$P = V_F * I_L * \cos \theta$$

- **Sistema trifásico:**

$$P = \sqrt{3} * V_L * I_L * \cos \theta$$

La potencia reactiva **Q** es la encargada de generar el campo magnético que requieren para su funcionamiento los equipos inductivos como los motores y transformadores:

- **Sistema monofásico:**

$$Q = V_f * I_L * \sin \theta$$

- **Sistema trifásico:**

$$Q = \sqrt{3} * V_L * I_L * \sin \theta$$

La potencia aparente **S** es la suma geométrica de las potencias activa y reactiva, o también:

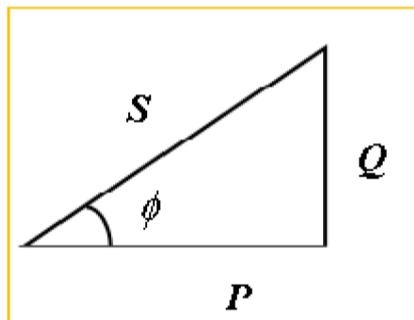
- **Sistema monofásico:**

$$S = V_F * I_L$$

- **Sistema trifásico:**

$$Q = \sqrt{3} * V_L * I_L$$

Gráficamente estas tres expresiones están relacionadas mediante el "triángulo de potencias".



**P:** Potencia activa (**KW**).

**Q:** Potencia reactiva (**KVAR**).

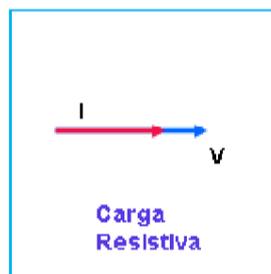
**S:** Potencia aparente (**KVA**).

□: Ángulo de la carga.

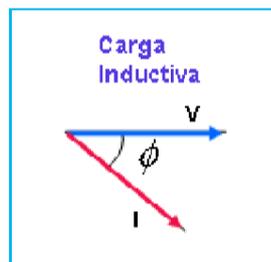
$\cos \theta$ : Factor de potencia.

Dependiendo del tipo de carga, el factor de potencia puede estar adelantado, retrasado ó en fase igual a 1.

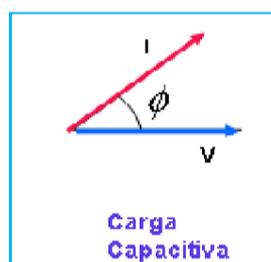
- En las cargas resistivas como las lámparas incandescentes, la tensión y la corriente están en fase en este caso, se tiene un factor de potencia unitario.



- En las cargas inductivas como los motores y transformadores, la intensidad se encuentra retrasada respecto a al tensión. En este caso se tiene un factor de potencia retrasado.



- En las cargas capacitivas como los condensadores, la corriente se encuentra adelantada respecto al voltaje. En este caso se tiene un factor de potencia adelantado.



#### 4.9.3. Cálculo de la potencia reactiva a instalar.

Esta práctica solo es investigativa, ya que no es posible realizar una prueba de campo por la poca capacidad de los motores que tenemos en el laboratorio de máquinas eléctricas, pero todo lo realizado es aplicable en el campo laboral.

Se tiene un motor de inducción trifásico de **2HP, 208V**, conectado a la red de alimentación de **208 (v)**, con un rendimiento del **85%** de la carga nominal y un factor de potencia de **0.7 en retraso**. Calcular las potencias eléctricas, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente y el ángulo de la carga. Luego corregir el factor de potencia al valor de **0.95** en retraso, utilizando condensadores trifásicos en paralelo con la carga.

**Datos:**

**P = 2 HP**(Potencia de salida del motor)

**V<sub>L</sub> = 208 V**(Voltaje de línea)

**F.P = 0.70 en atraso.** (Factor de potencia)

**F = 60 Hz** (Frecuencia).

**η = 85%**(Rendimiento)

✓ Potencia útil o de entrada del motor.

$$P_{m_{ent}} = \frac{P_{m_{sal}}}{\eta} \text{ (W)}$$

$$P_{m_{sal}} = 2 \text{ HP} * \frac{746 \text{ W}}{1 \text{ HP}} = 1492 \text{ W}$$

$$P_{m_{ent}} = \frac{1492}{0.85} = 1755 \text{ (W) R//}$$

✓ Potencia aparente.

$$S_1 = \frac{P}{\cos \theta_1} \text{ (VA)}$$

$$S_1 = \frac{1755}{0.70} = 2507 \text{ (VA) R//}$$

✓ Ángulo de la carga.

$$\theta_1 = \cos^{-1}(F.P_1)$$

$$\theta_1 = \cos^{-1}(0.70) = 45.57^\circ \text{ en retraso R//}$$

✓ Potencia reactiva.

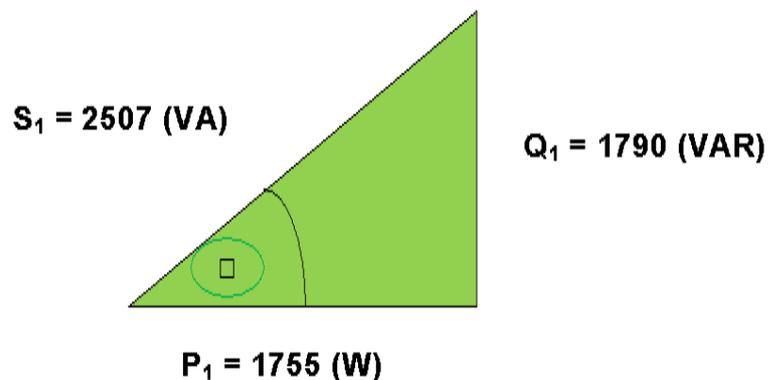
$$Q_1 = S * \sin \theta_1 \text{ (VAR)}$$

$$Q_1 = (2507) * \sin 45.57^\circ$$

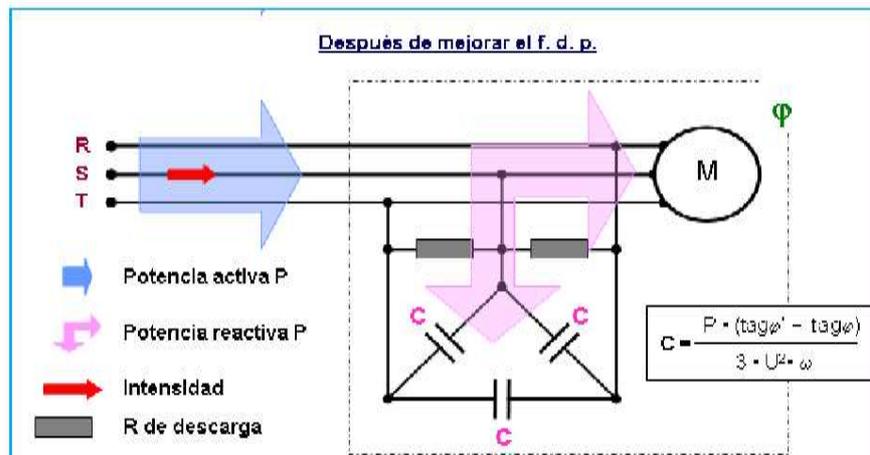
$$Q_1 = (2507) * (0.7141)$$

$$Q_1 = 1790 \text{ (VAR) en retraso R//}$$

**Triángulo de potencias.**



Se desea mejorar el factor de potencia a **0.95 en retraso**, mediante la utilización de condensadores en paralelo con la carga; para ello, necesitamos saber, los **KVAR** que se van a requerir.



La potencia activa del circuito no varía, ya que los capacitores no consumen potencia activa.

$$P_{m_{ent}} = 1755 \text{ (W)}$$

- ✓ Potencia aparente después de la corrección del **(F.P)**.

$$S_2 = \frac{P}{\cos \theta_2} \text{ (VA)}$$

$$S_2 = \frac{1755}{0.95} = 1847 \text{ (VA) R//}$$

- ✓ Ángulo de la carga.

$$\theta_2 = \cos^{-1}(\text{F.P}_2)$$

$$\theta_2 = \cos^{-1}(0.95)$$

$$\theta_2 = 18.19^\circ \text{ en retraso R//}$$

- ✓ Potencia reactiva total del circuito.

$$Q_2 = S_2 * \sin \theta_2 \text{ (VAR)}$$

$$Q_2 = (1847) * \sin 18.19^\circ$$

$$Q_2 = (1847) * (0.3121)$$

$$Q_2 = 576.6 \text{ (VAR) en retraso R//}$$

- ✓ Potencia reactiva de los capacitores a requerir.

$$Q_2 = Q_1 - Q_C \text{ (VAR)}$$

$$Q_C = Q_1 - Q_2 \text{ (VAR)}$$

$$Q_C = (1790 - 576.6) \text{ (VAR)}$$

$$Q_C = 1213.4 \text{ (VAR) en adelanto R//}$$

- ✓ Reactancia capacitiva.

$$X_C = \frac{V^2}{Q_C} \text{ (\Omega)}$$

$$X_C = \frac{(208)^2}{(1213.4)} \text{ (\Omega)}$$

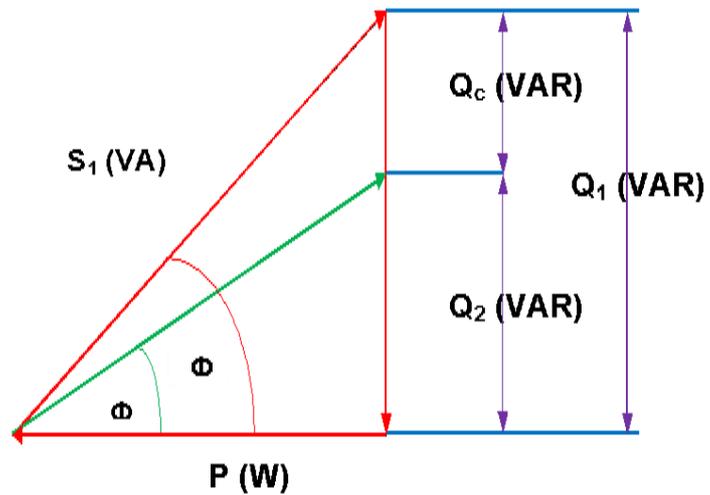
$$X_C = 35.65 \text{ (\Omega)}$$

- ✓ Capacidad del capacitor.

$$C = \frac{1}{2 * \pi * F * X_C} \text{ (F)}$$

R//

**Triángulo de potencias después de la corrección del (F.P).**



#### 4.9.4. Elección del banco de capacitores:

El voltaje de la red y su frecuencia son los factores básicos para dimensionar los condensadores en baja tensión (B.T).

Tabla 1.- Potencias Reactivas correspondientes a los capacitores.

Potencia Reactiva	Corriente	Tensión De Servicio
(KVAR)	(AMP)	(V)
2.7/3.0	7.6	220/230
5.5/6.0	15.1	220/230
10.98/12.0	25.1	220/230
8.3/10.0	13.1	400/440

12.4/15.0	19.7	400/440
15.5/20.0	26.3	400/440
20.7/25	32.8	400/440
8.4/10.0	12.1	440/480

#### 4.9.5. Problemas por bajo factor de potencia.

- Mayor consumo de corriente.
- Aumento de las pérdidas e incremento de las caídas de tensión en los conductores.
- Sobrecarga de transformadores, generadores y líneas de distribución.
- Incremento de la facturación eléctrica por mayor consumo de corriente.
- Mayor consumo de corriente.
- Aumento de las pérdidas e incremento de las caídas de tensión en los conductores.
- Sobrecarga de transformadores, generadores y líneas de distribución.
- Incremento de la facturación eléctrica por mayor consumo de corriente.

#### 4.9.6. Beneficios por corregir el factor de potencia.

- Disminución de las pérdidas en conductores.
- Reducción de las caídas de tensión.
- Aumento de la disponibilidad de potencia de transformadores, líneas y generadores.
- Incremento de la vida útil de las instalaciones
- Reducción de los costos por facturación eléctrica.

#### Recomendación.

Antes de conectar condensadores para corregir el bajo factor de potencia, hay que hacer el cálculo respectivo para determinar cuantos voltios amperios reactivos capacitivos se necesitan para mejorar el servicio.

#### **4.10. VARIADOR DE VELOCIDAD**

##### **4.10.1. Introducción.**

Los variadores de velocidad (**drives**) son dispositivos que permiten variar la velocidad en un motor controlando electrónicamente el voltaje y la frecuencia entregada al motor, manteniendo el torque constante (hasta la velocidad nominal).



**Variador de velocidad.**

**Nota:** La correcta selección dependerá de la corriente y no de la potencia del motor. El variador deberá al menos cumplir con los valores del motor.

##### **4.10.2. SELECCION DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD.**

Para seleccionar un variador de velocidad se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

###### **1) TIPO DE MOTOR.**

Se debe conocer los datos básicos del motor que va a trabajar con el

**MICROMASTER** son:

- ✓ Potencia del motor
- ✓ Voltaje
- ✓ Factor de servicio y especialmente la corriente del motor.

Recordemos que los variadores se los selecciona por la corriente del motor y no por su potencia por las siguientes razones:

- ✓ Tiempo de sobrecarga.
- ✓ Factor de servicio.
- ✓ Tipo de carga.

## **2) CONDICIONES AMBIENTALES.**

Es vital conocer el ambiente de trabajo donde se instalarán los variadores. Se recomienda también siempre instalar los variadores en tableros para protegerlos contra el polvo y la humedad. La protección de los variadores son **IP20**.

Temperatura mínima de funcionamiento = **-10<sup>0</sup>c**

Temperatura máxima de funcionamiento = **+50<sup>0</sup>c**

## **3) CONDICIONES DE LA RED Y CALIDAD DE ENERGIA ELECTRICA.**

Los variadores generan armónicos causando serios problemas a la red como:

- Calentamiento de los transformadores.
- Daños de tarjetas electrónicas tales como **PLC**, tarjetas de generadores, etc.
- Sobrecalentamiento de los conductores.

- Disparos de las protecciones. (Breaker principal, distribución, etc.)
- Daños de los condensadores de corrección de factor de potencia.

#### **4) CONDICIONES AMBIENTALES Y DE TRABAJO**

Es muy importante tener en cuenta algunas condiciones especiales de trabajo de los variadores:

##### **Reducción de potencia por altitud**

Si los variadores van a ser instalados a una altura mayor a **1000 msnm** se debe tener muy en cuenta el derating de los variadores tanto en voltaje como en corriente.

- **Altura.**

Por razones térmicas, a mayor altura de operación, la presión atmosférica disminuye ocasionando una menor capacidad de refrigeración del equipo.

- **Temperatura ambiente.**

A temperaturas mayores a **50°C** ó alturas de trabajo superiores a los **1.000 m.s.n.m.** (metros sobre el nivel del mar), en caso de no tener una muy buena ventilación (ej: forzada) el equipo deberá ser derrateado (desclasificado), es decir la potencia real del variador será menor al que indica su placa, por lo que deberá considerarse variadores de mayor potencia para cubrir/compensar el derrateo.

- **Humedad, vibración y contaminación** (ej: polvo, melaza, etc.), en cuyo caso deberán ser aislados o protegidos adecuadamente (gabinete con grado de protección idóneo).

#### 4.10.2.1. Características del motor asíncrono trifásico.

Unas veces conocidas las consideraciones anteriores para seleccionar un variador debemos también conocer los datos nominales de la placa del motor.

- |  |                           |
|--|---------------------------|
| • $P_M = 0.5 \text{ HP}$                   | • $F.S = 1.15$            |
| • $T_a = -15 / +40^{\circ}\text{C}$        | • $H = 1000 \text{ msnm}$ |
| • $V = 220 \text{ YY} / 440 \text{ Y (V)}$ | • $\eta = 63,6 \%$        |
| • $I_N = 1,9 / 0,95 \text{ (Amp)}$         | • $\text{RPM} = 1590$     |
| • $I_{arr} = 2,7 I_N$                      | • $F = 60 \text{ Hz}$     |
| • $\text{Cos } \Phi = 0,81$                |                           |

Una vez conocido los datos nominales del motor asíncrono, podemos seleccionar el variador de velocidad.

#### 4.10.2.2. Características del variador de velocidad.

Diseñado para trabajar con un motor de **0.55 KW: 0,83 Kg/1.83 Libras**. Y un rango de temperatura de **-10 \_ +50<sup>0</sup>c.**

##### **Input (Entrada):**

- $V = 200 - 240 \text{ V } \pm 10 \% \rightarrow 1\Phi \text{ AC}$

- $I = 7,7$  Amp.
- $F = 47 - 63$  Hz

#### Output (Salida):

- $V = 0 - 230$  V 3 $\Phi$  AC
- $I = 3,2$  Amp
- $F = 0 - 650$  Hz

#### 4.10.3. Panel Bop (MLFB: 6SL3255-0AA00-4BA0).

El panel **BOP** permite ajustes de parámetros personalizados, y los valores y unidades se visualizan en un **DISPLAY** de 5 dígitos.



El panel **BOP** tiene una función para copiar ("clonar") rápidamente parámetros. Para ello se memoriza un juego de parámetros de un convertidor y éste se carga luego en los restantes.

#### 4.10.4. Botones y sus funciones en el panel (BOP).

- **Marcha.**

	<p>Al pulsar este botón se arranca el convertidor. Por defecto esta bloqueado este botón. Para habilitarlo hay que ajustar <b>P0700</b> de la siguiente forma:  <b>P0700 = 1</b></p>
---	--

▪ **Parada.**

	<p>Al presionar este botón puede haber dos clases de parada.</p> <p><b>OFF1.</b> Pulsando este botón se para el motor siguiendo la rampa de deceleración seleccionada. Por defecto esta bloqueado; para habilitarlo (véase el botón de marcha).</p> <p><b>OFF2.</b> Pulsando el botón dos veces (o una vez prolongada) el motor se para de forma natural (por inercia). Esta función siempre esta habilitada.</p>
---	---

▪ **Invertir sentido de giro.**

	<p>Pulsar este botón para cambiar el sentido de giro del motor. El inverso se indica mediante un signo negativo (-) o un punto decimal intermitente. Por defecto esta bloqueado; (véase el botón de marcha).</p>
---	--

▪ **Jog motor.**

	<p>Pulsando este botón en estado "listo" el motor arranca y gira a la frecuencia <b>JOG</b> preseleccionada. El motor se detiene cuando se suelta el botón. Pulsar este botón cuando el motor está funcionando carece de defecto.</p>
---	---

▪ **Funciones.**

	<p>Este botón sirve para visualizar información adicional. Pulsando y manteniendo este botón apretado <b>2</b> segundos durante la marcha, desde cualquier parámetro, muestra lo siguiente:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Tensión del circuito intermedio (indicado mediante d. unidades en <b>V</b>).</li><li>2. Corriente de salida (<b>A</b>).</li><li>3. Frecuencia de salida (<b>Hz</b>).</li><li>4. Tensión de salida (indicada mediante <b>0</b>, unidades en <b>V</b>).</li><li>5. El valor que se seleccione en <b>P0005</b> (si <b>P0005</b> está ajustado para mostrar cualquiera de los valores de arriba <b>(1-4)</b> éste no se muestra de nuevo).</li></ol> <p>Pulsando de nuevo se devuelve al parámetro anterior.</p>
---	---

	Acceder a parámetros	Pulsando este botón es posible acceder a los parámetros.
	Subir valor	Pulsando este botón aumenta el valor visualizado.
	Bajar valor	Pulsando este botón disminuye el valor visualizado.

#### 4.10.5. Puesta de servicio rápido del motor asíncrono.

Tabla de parámetros.

Parámetros.	Especificación.	Datos.
<b>P0010</b>	Puesta en servicio rápida se inicia poniendo <b>P0010=1</b> y se finaliza con <b>P3900≠0</b>	<b>1</b>
<b>P0100</b> 0 = KW/50 Hz 1 = HP/60 Hz 2= KW/60 Hz	Para los ajustes <b>0 y 1</b> , use interruptor <b>DIP 2</b> . Para el ajuste 2 use <b>P0100</b> .	<b>1</b>
<b>P0304</b>	Tensión nominal del motor (V).	<b>220</b>
<b>P0305</b>	Corriente nominal del motor (Amp).	<b>1,9</b>
<b>P0307</b>	Potencia nominal del motor (KW). Si <b>P0100 = 1</b> , los valores deberán ser en (HP).	<b>0.5</b>
<b>P0310</b>	Frecuencia nominal del motor (Hz).	<b>60</b>
<b>P0311</b>	Velocidad nominal del motor (RPM).	<b>1590</b>
<b>P0700</b>	<b>Selección de la fuente de ordenes (on / off / inverso).</b> 1 = BOP. 2 =Bornes / Terminales. 5 = USS interface.	<b>1</b>
<b>P1000</b>	<b>Selección de la consigna de frecuencia.</b> 1 = BOP. 2 = Consigna analógica. 3 =FixedFrequences.(frecuencia fija) 5 = USS interface.	<b>1</b>
<b>P1080</b>	<b>Frecuencia mínima del motor (0-650 Hz).</b> El valor aquí ajustado es válido tanto para giro horario ( <b>derecha</b> ) como antihorario( <b>izquierda</b> ).	<b>10</b>
<b>P1082</b>	<b>Frecuencia máxima del motor (0 – 650 Hz).</b> El valor aquí ajustado es válido tanto para giro horario (derecha) como antihorario (izquierda).	<b>80</b>
<b>P1120</b>	<b>Tiempo de aceleración (Segundos).</b> Tiempo que lleva el motor acelerar de la	<b>10</b>

	parada a la frecuencia máxima ajustada.	
<b>P1121</b>	<b>Tiempo de deceleración (Segundos).</b> Tiempo que lleva el motor decelerar de la frecuencia máxima a la parada.	<b>10</b>
<b>Parámetros.</b>	<b>Especificación.</b>	<b>Datos.</b>
<b>P3900</b>	Finalizar puesta en servicio rápida. <b>0</b> = sin puesta de servicio rápida sin cálculo del motor. <b>1</b> = fin puesta en servicio rápida con cálculo del motor y reajuste de fabrica (recomendado). <b>2</b> = fin de puesta en servicio rápida con cálculo del motor y reajuste de E/S. <b>3</b> = fin de puesta en servicio rápida con cálculo del motor pero sin reajuste de fabrica.	<b>1</b>

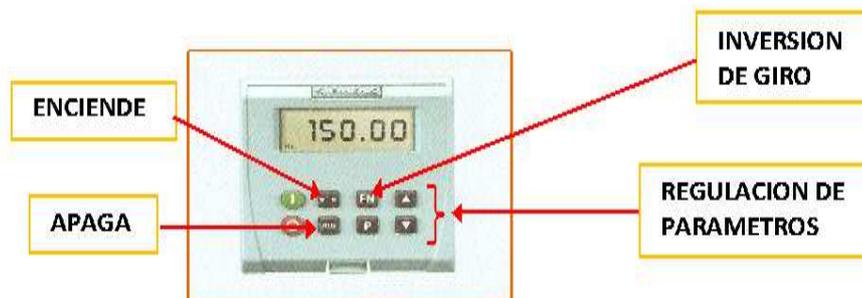
#### 4.10.6. Ingreso de parámetros en el convertidor o variador.

##### 4.10.6.1. Control mediante el panel (BOP).

En este punto donde ya hay una familiarización con los botones del panel y conocidas la función de cada uno; vamos a explicar como programar un parámetro al variador para desarrollar una puesta en servicio rápida.

Para ingresar las características nominales del motor, hay que poner el parámetro **P0010 = 1**, y luego ingresar los parámetros según lo indica la tabla.

- 1) Poniendo el parámetro **P0700= 1**, se esta seleccionando la fuente de ordenes en el panel del variador, el cual se puede encender, apagar, invertir el sentido de giro, regular la frecuencia disminuyendo o aumentando la velocidad.
- 2) Si ponemos el parámetro **P0700=3**, el motor enciende con una frecuencia fija previamente regulada.
- 3) Poniendo el parámetro **P0700 = 1**, se ha seleccionado la fuente de ordenes en el panel **BOP**.
- 4) Poniendo **P1000=1**, se esta seleccionando la consigna de frecuencia; lo cual significa que podemos regular la frecuencia aumentando o disminuyéndola directamente del panel.

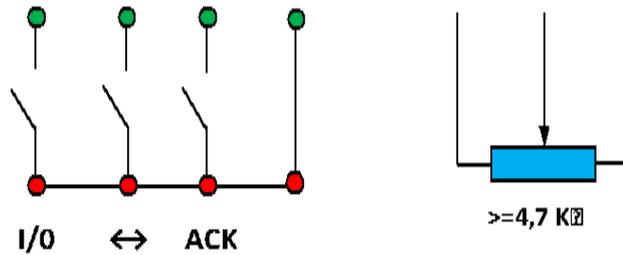


Éstas son unas de las funciones principales que nos ofrece el panel de operación, para poder operar el variador de velocidad y así controlar al motor.

#### 4.10.6.2. Control mediante las entradas digitales del variador.

- 1) Para ingresar las características nominales del motor, hay que poner el parámetro **P0010 = 1**, y luego ingresar los parámetros según lo indica la tabla.
- 2) Poniendo el parámetro **P0700=2**, se esta seleccionando la fuente de ordenes en las entradas digitales del variador, el cual se puede encender, apagar, invertir el sentido de giro, y para esto necesitamos un interruptor o selector de control.
- 3) También podemos regular la frecuencia (disminuyendo o aumentándola mediante un potenciómetro)
- 4) Si ponemos el parámetro **P0700=3**, el motor enciende con una frecuencia fija previamente regulada.
- 5) Poniendo **P1000=2**, se esta seleccionando la consigna de frecuencia; lo cual significa que podemos regular la frecuencia aumentando o disminuyéndola directamente del panel.

- DOUT+ DIN0 DIN1 DIN2 +24V									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10



#### 4.10.6.3. Parametrización de entradas digitales.

Estos parámetros, son adicionales para la operación o manipulación del variador mediante sus entradas digitales.

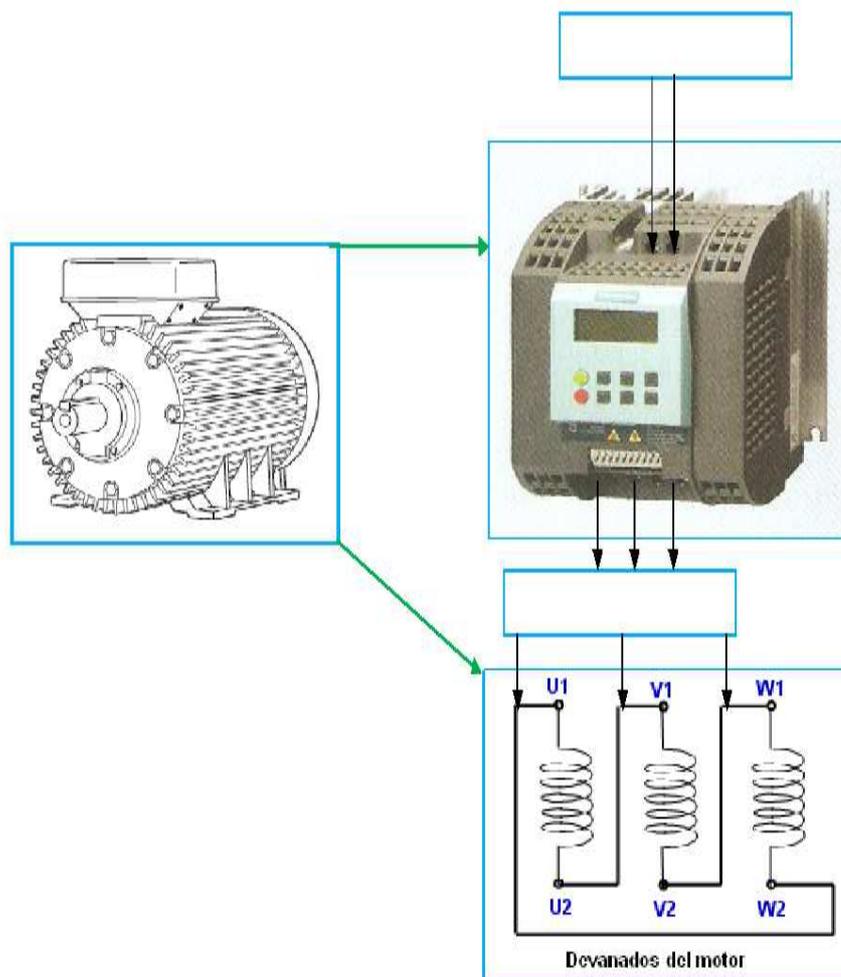
Parámetro	Descripción	Terminales #
P0701=1	Función de la entrada digital cero (DIN0). "1ON/1OFF"	3
P0702=12	Función de la entrada digital uno (DIN1). "INVERSION"	4
P0703=9	Función de la entrada digital dos (DIN2). "ACUSE DE FALLO"	5
	Fuente de alimentación para el control de las entradas (+24V).	6
	Control de la frecuencia, mediante potenciómetro (>= 4,7 kΩ).	8; 9; 10

#### 4.10.7. Conexión variador/motor.

El **SINAMICS G110** (variador de velocidad), se conecta en la entrada con una tensión de alimentación de **220V** monofásico y genera **220 V** trifásico, el cual va conectado al motor cuya conexión depende de la tensión de alimentación.

La conexión de los devanados corresponde a la tensión de alimentación hacia el variador de velocidad (**220 V trifásicos**). No hace falta proteger el motor con algún contactor, relé térmico; sino que basta poner un Breaker aguas arriba (entrada monofásica) del variador para protegerlo contra algún cortocircuito.

La siguiente figura representa una conexión externa del variador – motor, empleando una fuente de alimentación monofásica.



#### 4.10.8. Copiar parámetros en el BOP (panel de operación básica).

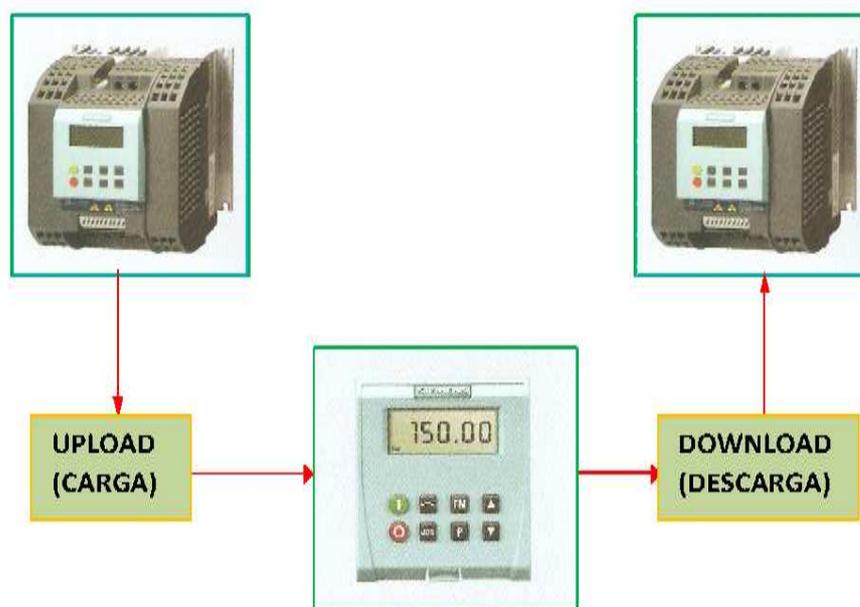
Con la función de copia del **BOP** se puede cargar un juego de parámetros del convertidor al **BOP** (Upload) y copiarlo de nuevo en otro convertidor (Download).

Para ello se requiere hacer lo siguiente:

- 1) Conectar el **BOP** al convertidor del que se quieren copiar los parámetros.
- 2) Cerciorarse que se pueda desconectarse el convertidor.
- 3) Desconectarlo.
- 4) Poner **P0003 =3**.
- 5) Poner **P0010=30** para cambiar el modo de servicio "copiar".
- 6) Poner **P0802=1** para iniciar la copia de parámetros del convertidor al **BOP**.
- 7) Durante este proceso aparece en el **BOP** "**BUSY**".
- 8) El **BOP** y el convertidor no ejecutan ninguna orden mientras dura la copia.
- 9) Una vez efectuada la copia el **BOP** regresa al estado habitual y el convertidor pasa al estado "listo".
- 10) Si fracasa la carga (**F0055-F0058**):
  - a) Intentar hacerla de nuevo.
  - b) Hacer un reajuste a los valores de fábrica.
- 11) El **BOP** se puede retirar del convertidor.
- 12) Conectar el **BOP** al nuevo convertidor.
- 13) Cerciorarse que el nuevo convertidor tenga tensión.
- 14) Poner **P0003=3**.
- 15) Poner **P0010=30** para cambiar al modo de servicio "copiar".

- 16) Poner **P0803=1** para iniciar la carga (Download) del **BOP** al convertidor.
- 17) Durante la carga aparece en el **BOP** “**BUSY**”.
- 18) El **BOP** y el convertidor no ejecutan ninguna orden durante la carga.
- 19) Una vez efectuada la carga el **BOP** regresa al estado habitual y el convertidor pasa al estado “listo”.
- 20) Si fracasa la carga (**F0055-F0058**):
  - a) Intentar hacerla de nuevo.
  - b) Hacer un reajuste de los valores de fábrica.
- 21) El **BOP** se puede retirar del convertidor.

### COPIA DE PARÁMETROS.



Al copiar juegos de parámetros en el **BOP** observe las siguientes restricciones.

- ❖ Sólo se copia el juego de parámetros activo.
- ❖ El proceso de copiado no se puede interrumpir.
- ❖ Se pueden copiar juegos de parámetros de convertidores de diferente potencia y tensión

- ❖ Si durante la carga (**Download**) el convertidor reconoce que los datos no son compatibles, actualizará los parámetros al ajuste de fábrica.
- ❖ Al ejecutar una copia del convertidor al **BOP** se borran todos los valores de parámetro previamente memorizados en el **BOP**.
- ❖ El convertidor no trabajará después de una carga (Upload o Download) errónea.

## CAPITULO V

### **MÁQUINAS SÍNCRONAS**

#### **5.1. Introducción.**

El nombre de máquina síncrona viene como consecuencia del imperativo de funcionar, únicamente, a la velocidad de sincronismo, que como sabemos, viene definida por la frecuencia de la corriente del estator y por el número de pares de polos de la máquina.

La máquina síncrona está compuesta básicamente de una parte activa fija que se conoce como inducido o **ESTATOR** y de una parte giratoria coaxial que se conoce como inductor o **ROTOR**. El espacio comprendido entre el rotor y el estator, es conocido como entrehierro.

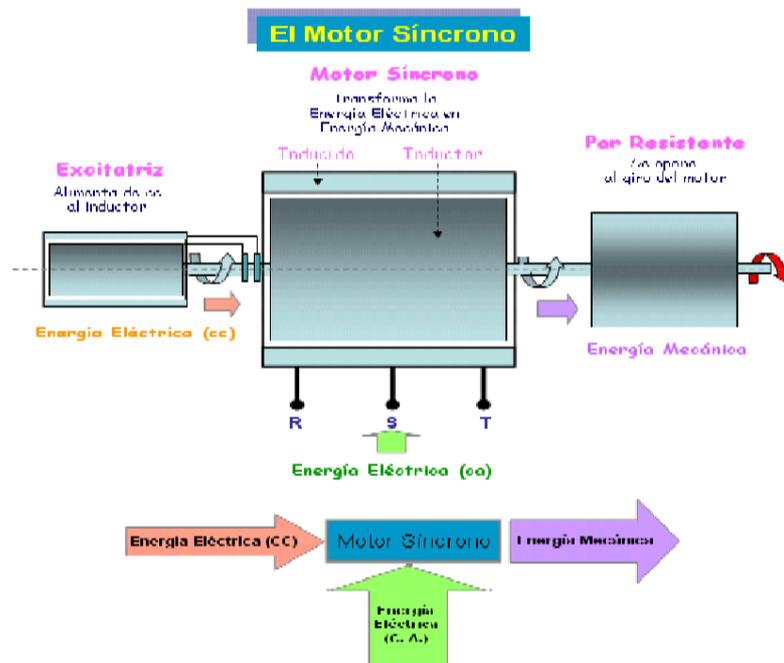
Esta máquina tiene la particularidad de poder operar ya sea como generador o como motor.

Su operación como **alternador** se realiza cuando se aplica un voltaje de c-c en el campo de excitación del rotor y a su vez éste es movido o desplazado por una fuente externa, que da lugar a tener un campo magnético giratorio que atraviesa o corta los conductores del estator, induciéndose con esto un voltaje entre terminales del generador.

Su operación como motor síncrono se realiza cuando el estator es alimentado con un voltaje trifásico de c.-a y consecutivamente el rotor es alimentado con un voltaje de c-c.

## **5.2. Motor síncrono trifásico.**

Los motores síncronos son máquinas síncronas que se utilizan para convertir potencia eléctrica en potencia mecánica de rotación. La característica principal de este tipo de motores es que trabajan a velocidad constante, que depende solo de la frecuencia de la red y de otros aspectos constructivos de la máquina. A diferencia de los motores asíncronos, la puesta en marcha requiere de maniobras especiales a no ser que se cuente con un sistema automático de arranque. Otra particularidad del motor síncrono es que al operar de forma sobreexcitado consume potencia reactiva y mejora el factor de potencia.



El motor síncrono deriva su nombre de velocidad síncrona, que es la velocidad natural del campo magnético giratorio del estator. La velocidad natural de rotación está determinada por el número de pares de polos y la frecuencia de la potencia aplicada.

Al igual que el motor de inducción, el motor síncrono utiliza un campo magnético giratorio, pero a diferencia del motor de inducción, el par desarrollado no depende de las corrientes de inducción del rotor.

### 5.3. Principio de funcionamiento.

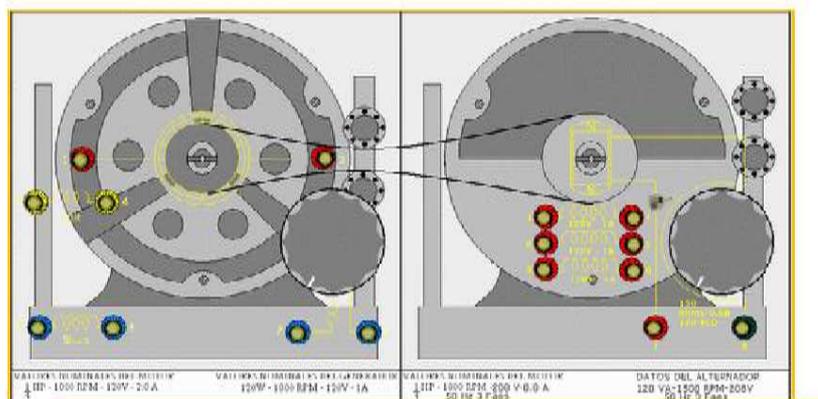
El principio de operación del motor síncrono es el siguiente:

Se aplica una fuente multifásica de corriente alterna a los devanados del estator y se produce un campo magnético rotatorio. Se aplica una corriente directa a los devanados del rotor y se produce un campo magnético fijo. El motor está construido en tal forma que cuando estos dos campos magnéticos reaccionan entre sí, el rotor gira a la misma velocidad que el

campo magnético giratorio. Si se aplica una carga al eje del rotor, éste tendrá un atraso momentáneo con relación al campo giratorio; pero seguirá girando a la misma velocidad síncrona.

Para entender cómo se produce este atraso, imaginemos que el rotor está acoplado a un campo giratorio por medio de una banda elástica. Las cargas pesadas harán que se estire la banda de modo que la posición del rotor tendrá cierto atraso con respecto al campo del estator, pero el rotor seguirá girando a la misma velocidad.

Si la carga es demasiado grande, el rotor se saldrá de sincronismo con el campo giratorio y como resultado, se parará. En este caso, se dice que el motor está sobrecargado.



#### **5.4. Arranque del motor síncrono.**

El motor síncrono trifásico no tiene par de arranque propio. Por eso, en el diseño de estos motores, hay que incluir algún tipo de dispositivo, o sistema, de arranque. El caso de motor síncrono trifásico no se lo puede arrancar manualmente. Por esta razón la forma más sencilla de arrancar un motor síncrono es usar otro motor que lo impulse hasta que el rotor alcance aproximadamente el **90%** de su velocidad síncrona. Entonces el motor de arranque se desconecta, y el rotor entra en acoplamiento con el campo magnético giratorio del estator, y el motor continúa a desarrollar el par de operación, girando a velocidad síncrona.

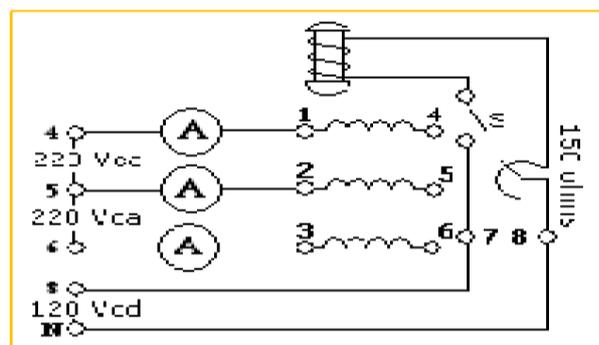
En la práctica, el método de arranque más usado consiste en que el rotor incluya un devanado de inducción de jaula de ardilla. Este devanado de inducción hace que el motor alcance su velocidad próxima a la síncrona, funcionando como en un motor de inducción.

El siguiente módulo donde se van a realizar las prácticas contiene un dispositivo de arranque de jaula de ardilla.

#### **5.5. Procedimientos y conexiones:**

- a)** Conecte el motor como lo indica la siguiente figura. Observe que los tres devanados del estator están conectados en estrella a la salida trifásica fija de **208 V** de la fuente de alimentación, terminales **1, 2 y 3**.

- b) Conecte la fuente de alimentación. Observe que el motor comienza suavemente a funcionar y sigue operando como un motor ordinario de inducción.
- c) Acople el electrodinamómetro por medio de la banda.
- d) El electrodinamómetro se conecta a la salida fija de **120 V** de corriente alterna de la fuente de alimentación, terminales **1 y N**. ajuste la perilla de control del dinamómetro al **40%** aproximadamente de excitación.
- e) El rotor del motor síncrono se conecta a la salida fija de **120V** de corriente directa de la fuente de alimentación **8 y N**. Ajuste el reóstato de campo a una resistencia cero ( la perilla de control debe ponerse en la posición extrema, haciendola girar en el sentido de las manecillas del reloj).
- f) Conecte la fuente de alimentación. A continuación aplique potencia trifásica cerrando el interruptor de sincronización y observe lo que sucede. No aplicar la potencia por mas de **10 segundos**.
- g) El motor no arranca con la carga,vibra y rechina mucho.



## 5.6. CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA, (empleando el motor síncrono).

### 5.6.1. Motor como condensador síncrono.

Es muy común en la práctica conectar un motor síncrono a la línea y operarlo de forma sobreexcitada en vacío para corregir el factor de potencia. Ya que la potencia real suministrada a la máquina es cero (excepto por las pérdidas), con un factor de potencia unitario la corriente es nula. Al incrementar la corriente excitatriz, la corriente en la línea (y la potencia reactiva suministrada por el motor) aumenta de manera lineal hasta llegar hasta el punto de saturación.

Si al rotor de motor síncrono se suministra más corriente directa que la requerida, se dice que el motor está sobreexcitado, y tomará una corriente de fase adelantada de la línea de potencia; como un capacitor conectado a la línea.

Donde se usan muchos transformadores y motores de inducción, por ejemplo en grandes plantas industriales, las corrientes tomadas tienden a atrasar el voltaje aplicado, algo común en los circuitos inductivos. Mientras más grande el atraso, más bajo es el factor de potencia. Podemos mejorar el factor de potencia, reemplazando los motores de inducción, con motores síncronos, los cuales mejoran el factor de potencia, mientras suministran potencia mecánica útil. El motor que se emplea de esta manera se dice que está operando como un capacitor síncrono.

#### **5.6.2. PROCEDIMIENTOS Y CONEXIONES:**

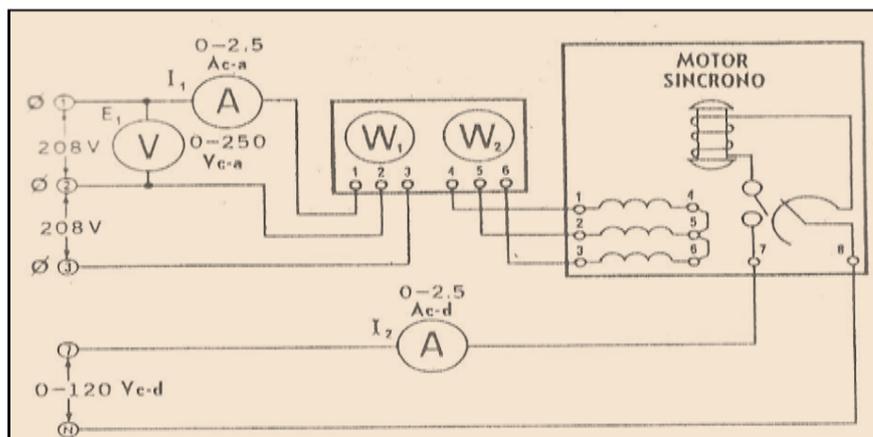
- a)** Observe que los devanados del estator están conectados, a través del vatímetro, a la salida fija de **208 V** trifásica de la fuente de alimentación, terminales **1, 2 y 3**. El devanado del rotor está conectado, a través del amperímetro, a la salida variable de **0 – 120**

**VCD** de la fuente de alimentación, terminales **7 y N**. la perilla de control de voltaje debe estar en cero.

- b)** Ajuste el campo del reóstato para resistencia cero ( haga girar totalmente la perilla en el sentido de las manecillas del reloj).
- c)** Conecte la fuente de alimentación; el motor debe comenzar a funcionar.

Observe el valor de la corriente alterna **I<sub>1</sub>**. El motor toma potencia reactiva positiva de la fuente de alimentación a una excitación de corriente directa igual a cero, y funciona como un inductor.

- d)** Aumente gradualmente la excitación de corriente directa hasta que la corriente alterna **I<sub>1</sub>**, esté en su valor mínimo . Los dos vatímetros deben indicar lecturas positivas idénticas y, en lo que respecta a la fuente de alimentación el motor se comporta como una resistencia.




- e) Aumente la excitación de corriente directa y observe que la corriente alterna **I1** comienza a aumentarnuevamente. El motor toma una potencia reactiva negativa de la fuente de alimentación y se comporta como un capacitor.
- f) Reduzca la excitación de corriente directa a cero, mida y anote **E1, I1, P1=W1, P2=W2**.
- g) Repita esta operación para cada valor de corriente directa indicada en la tabla.

### 5.6.3. Mediciones y determinación de parametros:

I2 (Amp)	E1 (Voltios)	I1 (Amp)	S (VA)	W1	W2	P (Vatios)	F.P
0	208	0,80	288	-47	114	67	0,23
0,1	208	0,62	223	-37	93	56	0,25
0,2	208	0,46	166	-17	70	53	0,32
0,3	208	0,24	86,4	10	40	50	0,58
0,4	208	0,14	50,4	27	23	50	0,99
0,5	208	0,20	72,0	40	10	50	0,70
0,6	208	0,35	126	66	-12	54	0,43
0,7	208	0,52	187	80	-24	56	0,30
0,8	208	0,68	245	100	-35	65	0,27

De acuerdo a los resultados de la tabla, calcular la potencia reactiva, para una corriente del rotor igual a cero.

$$Q_R = \sqrt{(S^2 - P^2)}$$

$$Q_R = \sqrt{((288)^2 - (67)^2)} = 280 \text{ VAR}$$

Calcular la potencia reactiva para la máxima corriente del rotor en corriente directa (**DC**).

$$Q_R = \sqrt{((245)^2 - (65)^2)} = 236 \text{ VAR}$$

Y el factor de potencia está adelantado.

Cálculo la potencia reactiva a la corriente mínima del estator.

$$Q_R = \sqrt{((50,4)^2 - (50)^2)} = 6,32 \text{ VAR}$$

**Advertencia:** En este experimento de laboratorio no haga ninguna conexión cuando la fuente este conectada, la fuente debe desconectarse después de hacer cada medición.

## CAPITULO VI

### 6.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1.1. CONCLUSIONES:

- 1) Las características de prototipo permiten asimilar de forma más eficiente los estudios que se abordan alrededor del control y accionamientos de Motores de Inducción, y también en las diversas conexiones en transformadores.
- 2) Los transformadores y motores por ser máquinas eléctricas de uso muy común en las industrias, es necesario tener presente los conocimientos teóricos para poder asimilarlos con la práctica; y así, familiarizarnos con el comportamiento de los mismos.
- 3) Al disponer de los equipos y materiales necesarios en el laboratorio de máquinas de corriente alterna, el estudiante podrá poner en

práctica sus conocimientos ejecutando las diversas conexiones y comprobando mediante cálculos sus parámetros.

- 4) De esta manera el estudiante adquiere confianza y seguridad para poder resolver cualquier problema que se le presente en su vida profesional.
- 5) Tener siempre presente que los esquemas de funcionamiento no indican la posición física de los diversos elementos o componentes; por lo cual, Antes de iniciar el cableado, hay que ubicarlos, identificarlos u determinarlos claramente, colocándole sus respectivas marcas o terminología.
- 6) Como ya hemos visto, ya debe haber quedado muy claro las múltiples posibilidades que se presentan para realizar el diseño de un determinado proceso, de manera que los esquemas propuestos son simplemente sugerencias y no las únicas formas de diseñarlos, para ello es conveniente tratar de diseñar esquemas diferentes a los propuestos, para que cumplan exactamente las mismas funciones.

#### **6.1.2. RECOMENDACIONES.**

De acuerdo a las conclusiones se realizan las siguientes recomendaciones:

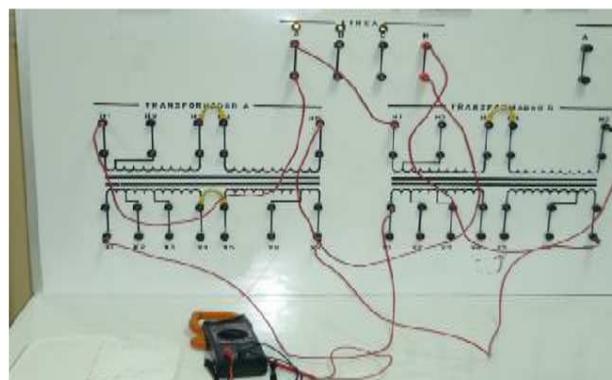
- 1) Antes de energizar cualquier máquina eléctrica revisar la placa característica, para saber con que tensión se va alimentar.
- 2) No realice conexiones sin tener claro el principio de funcionamiento de cada elemento.
- 3) Cerciorarse que la máquina a ensayar esté desenergizada.
- 4) No energice la máquina sin antes haber revisado sus conexiones.

- 5) Tener conectada a tierra cualquier parte metálica que esté en contacto directo con la máquina a ensayar.
- 6) Antes que energice un motor cerciorarse que la conexión del motor corresponda con la tensión de alimentación de la red.
- 7) Verificar que cada ensayo realizado tenga las protecciones correspondientes, para evitar cualquier accidente, tanto a la persona como al equipo conectado.
- 8) Trabajar siempre acompañado.

## 6.2. ANEXOS:

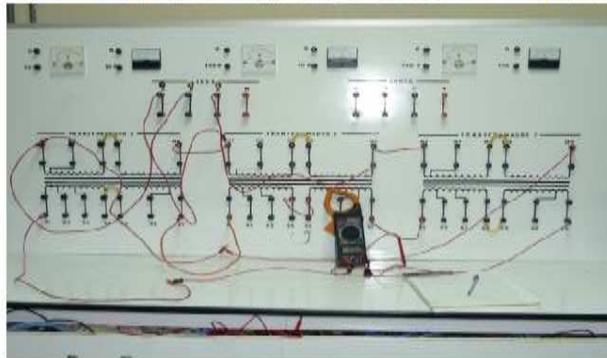


**Banco de transformadores monofásicos.**



**Conexión paralelo.**

**Conexión Delta - Delta.**



**Mediciones.**



**Transformador de distribución.**



**Placa característica.**



**Prueba de polaridad.**



**Tablero para arrancar un motor.**



**Motor asincrono trifásico.**



**Circuito de fuerza.**



**Realización de mediciones.**



**Módulo de prueba del motor síncrono.**



**Fuente de alimentación.**



**Conexión de resistencias.**



**Conexiones.**

### 6.3. BIBLIOGRAFIA.

- ❖ **STEPHEN J. CHAPMAN**, (máquinas eléctricas).
- ❖ **GEORGE MCPHERSON**, (Manual de máquinas eléctricas y transformadores).
- ❖ **DONALD G. FINK/H. WAYNE BEATY**, (Manual de ingeniería eléctrica).
- ❖ **EDWIN, Kosow**. Máquinas Eléctricas y transformadores. Segunda edición.
- ❖ **ENRIQUEZ, HARPER**. El ABC de las Máquinas Eléctricas.
- ❖ **GRAY, ALEXANDER**. Electrotecnia I. Editorial Logos, C.A Venezuela.
- ❖ **J. Fraile**. “**Máquinas Eléctricas**”. Sexta Edición. McGraw-Hill. Madrid. 2008.
- ❖ **R. BERGEN, V. Vittal**. “Power Systems Analysis”. Second Edition. Prentice-Hall. Upper Saddle River. 1999.
- ❖ **J. WOOD, B. F. Wollenberg**. “Power Generation, Operation and Control”. Second Edition. John Wiley & Sons. New York. 1996.
- ❖ **ENRIQUE RAS**. (Transformadores de potencia, de medida y de protección).
- ❖ **MERLIN GERIN, (Telemecanique)**.
- ❖ Electrotecnia general y aplicada/ **Moeller-Werr**.
- ❖ **Fitzgerald, Charles Kingsley, Jr. Stephen D, Umans**. Máquinas Eléctricas.
- ❖ **Karl T. Compton**. Circuitos magnéticos y transformadores. Editorial reverte, S.A. Barcelona, 1965.