



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN**

**MÉTODOS DE ARRANQUE Y CONTROL PARA MÁQUINAS  
MAYORES DE 2HP DE CORRIENTE ALTERNA Y  
CORRIENTE DIRECTA DIDACTA ITALIA**

“PROGRAMA OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE SEÑALES ELÉCTRICAS EN EQUIPOS DE  
MEDICIÓN Y ESQUEMATIZACIÓN DE MÉTODO PARA LA GENERACIÓN DE  
CONTROLADORES DE ARRANQUE SUAVE Y ARRANCADORES POR MEDIO DE FPGA  
PARA EQUIPO DIDACTA ITALIA PARA LIME IV DE INGENIERÍA DEL PIAPI 1861”

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A N:**

**IVÁN SANTILLÁN GUATEMALA  
ERICK DOMINGO NAVARRO FRAGOSO**

**ASESOR: ING. ÁNGEL ISAÍAS LIMA GÓMEZ**

**CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2020**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
SECRETARÍA GENERAL  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

U.N.A.M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN  
**ASUNTO: VOTO APROBATORIO**



**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE**

**ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA  
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales  
de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de Tesis**

**Métodos de arranque y control para máquinas mayores de 2hp de corriente alterna y corriente directa  
DIDACTA ITALIA**

**“Programa obtención y análisis de señales eléctricas en equipos de medición y esquematización de método para la generación de controladores de arranque suave y arrancadores por medio de FPGA para equipo DIDACTA ITALIA para LIME IV de ingeniería del PIAPI 1861”**

Que presenta el pasante: **ERICK DOMINGO NAVARRO FRAGOSO**

Con número de cuenta: **31218766-2** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería Mecánica Eléctrica**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

**ATENTAMENTE**

**“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 06 de febrero de 2020.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	Ing. Víctor Manuel Cuevas Rodríguez	
<b>VOCAL</b>	M. en A. Diana Fabiola Arce Zaragoza	
<b>SECRETARIO</b>	Ing. Ángel Isaías Lima Gómez	
<b>1er. SUPLENTE</b>	Ing. Fernando Fierro Téllez	
<b>2do. SUPLENTE</b>	M. en I. César Sinhue Moreno Varela	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
SECRETARÍA GENERAL  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

U.N.A.M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN  
**ASUNTO: VOTO APROBATORIO**

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE**

**ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA  
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales  
de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de Tesis**

**Métodos de arranque y control para máquinas mayores de 2hp de corriente alterna y corriente directa  
DIDACTA ITALIA**

**“Programa obtención y análisis de señales eléctricas en equipos de medición y esquematización de método  
para la generación de controladores de arranque suave y arrancadores por medio de FPGA para equipo  
DIDACTA ITALIA para LIME IV de ingeniería del PIAPI 1861”**

Que presenta el pasante: **IVAN SANTILLAN GUATEMALA**

Con número de cuenta: **41509217-7** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería Mecánica Eléctrica**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

**ATENTAMENTE**

**“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 06 de febrero de 2020.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	Ing. Víctor Manuel Cuevas Rodríguez	
<b>VOCAL</b>	M. en A. Diana Fabiola Arce Zaragoza	
<b>SECRETARIO</b>	Ing. Ángel Isaías Lima Gómez	
<b>1er. SUPLENTE</b>	Ing. Fernando Fierro Téllez	
<b>2do. SUPLENTE</b>	M. en I. César Sinhue Moreno Varela	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

## **Agradecimientos de Erick Domingo Navarro Fragoso**

Primeramente quiero agradecer a Dios y a la Virgen de Guadalupe por darme salud, esperanza y fuerza para salir adelante a lo largo de mi vida. Agradezco a mis padres (Domingo Navarro Juárez y Ana María Fragoso Alfaro), abuelos (Misaela, Leonardo y Margarita), hermanos (Yareli Adriana, Sergio Luis y Margarita Aide), tíos, primos, sobrinos y demás familia por el apoyo incondicional, económico y moral, que significo una motivación y un impulso para no decaer ante las situaciones difíciles que se suscitaron en este camino.

También quiero agradecer al Ing. Ángel Isaías Lima Gómez por la orientación, dedicación, corrección y asesoramiento que realizó durante el desarrollo de este trabajo. Al igual que a mi compañero de tesis Iván Santillán Guatemala por el desempeño, constancia, dedicación y esfuerzo al trabajo, con lo cual logramos una buena coordinación para todo tipo de ajuste que se realizaba a la tesis.

De igual manera agradezco a todos mis amigos y compañeros de los diferentes niveles educativos, con los cuales conviví y logré formar buenos lazos de amistad, por ese apoyo incondicional que me otorgaron. En especial a un grupo de amigos de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 4, quienes a lo largo de toda la carrera siempre me dieron su amistad, ayuda, solidaridad, confianza y tiempo, con lo cual siempre estaré agradecido.

Por último de igual importancia, agradezco de forma general a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 4 y a los profesores de Ing. Mecánica Eléctrica, por la paciencia, enseñanza, motivación y desarrollo de nuevos Ingenieros Mecánicos Electricistas que tengan las herramientas necesarias para adaptarse en el campo laboral lo mejor posible.

**Agradecimientos: Iván Santillán Guatemala.**

*A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.*

Que por cuatro años y medio fue mi segunda casa, por haberme brindado las herramientas y conocimientos necesarios para mi desarrollo personal y profesional.

*A mis padres. (José German Santillán Domínguez y Lorensa Guatemala Mayo).*

Por su esfuerzo incansable y su apoyo incondicional a lo largo de mi vida, que me han llevado a cumplir una de mis más grandes metas.

*A mi hermana. (Vianey Santillán Guatemala).*

Por siempre apoyarme y aconsejarme cuando lo requería, y alentarme a superarme cada vez más.

*A mi compañero de tesis (Erick Domingo Navarro Fragoso).*

Por sus conocimientos aportados, su esfuerzo y disposición que siempre mostró, siendo parte fundamental en la realización de este trabajo.

*Al Ing. Ángel Isaías Lima Gómez.*

Por su tiempo dedicado, los conocimientos brindados, su valiosa asesoría y el compromiso que siempre mostró desde el inicio hasta el final de este proyecto.

## Índice general.

<b>Resumen</b> .....	<b>1</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>Justificación</b> .....	<b>2</b>
<b>Objetivos</b> .....	<b>2</b>
<b>Hipótesis</b> .....	<b>3</b>
<b>Metodología a emplear</b> .....	<b>3</b>
<b>Capítulo 1</b> .....	<b>4</b>
<b>Los efectos de la corriente de arranque y sus métodos de reducción en motores eléctricos</b> .....	<b>4</b>
1.1 ¿Por qué el empleo de los métodos de arranque eléctrico?.....	4
1.2 Métodos empleados de acuerdo al tipo de motor eléctrico.....	6
<b>Capítulo 2</b> .....	<b>8</b>
<b>Métodos de arranque en máquinas eléctricas Didacta Italia</b> .....	<b>8</b>
2.1 Arranque de motores eléctricos de corriente alterna.....	8
2.2 Motor asíncrono trifásico de anillos D00208.....	9
2.3 Arranque a tensión plena.....	10
2.4 Arranque a tensión reducida.....	15
2.4.1 Arranque estrella - triángulo.....	16
2.4.2 Arranque con resistencias estatóricas.....	21
2.4.3 Arranque con resistencias rotóricas.....	25
2.4.4 Arranque con autotransformador.....	31
2.4.5 Arrancador suave.....	36
2.5 Máquina síncrona trifásica D00206NT.....	40
2.5.1 Arranque de un motor síncrono.....	41
2.5.2 Arranque a tensión plena.....	42
2.5.3 Arrancador suave.....	45
2.6 Arranque de motores de corriente continua.....	49
2.6.1 Máquinas de corriente continua modelo D01236 y D00205NT.....	50
2.6.2 Arranque sin resistencias en la armadura.....	51
2.6.3 Arranque con resistencias en la armadura.....	52

<b>Capítulo 3 .....</b>	<b>57</b>
<b>Control de máquinas eléctricas Didacta Italia. ....</b>	<b>57</b>
3.1    Control en motores de corriente alterna. ....	58
3.1.1    Inversión de giro. ....	58
3.2    Control en máquinas de corriente continua. ....	61
3.2.1    Inversión de giro. ....	61
3.2.2    Control de velocidad por medio de resistencias en el campo. ....	65
<b>Capítulo 4.....</b>	<b>71</b>
<b>Cálculo para la selección de conductores y canalizaciones en los motores eléctricos con base a la NOM-001-SEDE-2012.....</b>	<b>71</b>
4.1    Cálculo de circuitos derivados.....	72
4.1.1    Conductores de alimentación para máquinas de c.a. ....	72
4.1.2    Protecciones para máquinas de c.a. ....	75
4.1.3    Conductor de puesta a tierra. ....	76
4.1.4    Canalización. ....	77
4.1.5    Conductores de alimentación para máquinas de c.c. ....	78
4.1.6    Protecciones para máquinas de c.c. ....	80
4.1.7    Conductor de puesta a tierra. ....	81
4.1.8    Canalización. ....	81
4.2    Cálculo de circuitos principales.....	82
4.2.1    Conductores del alimentador de c.a y c.c.....	82
4.2.2    Protecciones de cortocircuito y fallas a tierra. ....	83
4.2.3    Canalización. ....	83
<b>Conclusiones.....</b>	<b>85</b>
<b>Opinión personal.....</b>	<b>86</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>87</b>
<b>Apéndice A (Archivos de LOGO!SOFT COMFORT). ....</b>	<b>88</b>
<b>Anexo A (Hoja de datos técnicos).....</b>	<b>95</b>
<b>Anexo B (Artículos de la NOM-001-SEDE-2012). ....</b>	<b>103</b>
<b>Anexo C (Tablas de la NOM-001-SEDE-2012).....</b>	<b>107</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS.

FIG. 1.- DEVANADOS DAÑADOS POR SOBRECALENTAMIENTO Y DIFICULTAD AL ARRANQUE, FUENTE WEG .....	4
FIG. 2.- REÓSTATO DE ARRANQUE DE TRES TERMINALES .....	5
FIG. 3.- REÓSTATO DE ARRANQUE DE CUATRO TERMINALES. ....	5
FIG. 4.- EJEMPLO DE ROTOR DE JAULA DE ARDILLA EN MOTOR DE INDUCCIÓN FUENTE ABB..	6
FIG. 5.- CAJA DE BORNES PARA CONEXIÓN ESTRELLA - DELTA. ....	7
FIG. 6.- INSERCIÓN DE RESISTENCIAS O REÓSTATOS EN SERIE CON EL DEVANADO DE ARMADURA, MOTOR DERIVACIÓN Y MOTOR SERIE. ....	7
FIG. 7.- CIRCUITO EQUIVALENTE DE MOTOR DE CORRIENTE ALTERNA. ....	8
FIG. 8.- DEVANADOS DE MOTOR DE ROTOR DEVANADO. ....	9
FIG. 9.- CIRCUITO EQUIVALENTE EN CONEXIÓN ESTRELLA - DELTA. ....	16
FIG. 10.- CIRCUITO EQUIVALENTE EN EL ARRANQUE CON AUTOTRANSFORMADOR.....	31
FIG. 11.- NÚMERO DE FASES CONTROLADAS EN ARRANCADORES SUAVES. ....	40
FIG. 12.- PROCESO DE ARRANQUE EN MOTORES SÍNCRONOS.....	41
FIG. 13.- DEVANADO AMORTIGUADOR EN MÁQUINA SÍNCRONA. ....	44
FIG. 14.- CIRCUITO EQUIVALENTE DE MOTOR EN DERIVACIÓN DE CORRIENTE CONTINUA. ....	49
FIG. 15.- RELEVADOR INTELIGENTE EMPLEADO PARA EL CONTROL DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS. ....	58
FIG. 16.- ELEMENTOS EN LA INSTALACIÓN DE UN MOTOR ELÉCTRICO, NOM-001-SEDE-2012. ....	71
FIG. 17.- DIAGRAMA UNIFILAR DE LA INSTALACIÓN DE MOTORES DIDACTA ITALIA .....	84

## ÍNDICE DE DIAGRAMAS.

DIAGRAMA 1.- ARRANQUE A TENSIÓN PLENA (MANUAL) PARA CONEXIÓN TANTO ESTRELLA COMO DELTA DEL MOTOR DE ROTOR DEVANADO D00208 EN CADE-SIMU.....	11
DIAGRAMA 2.- ARRANQUE A TENSIÓN PLENA AUTOMÁTICO PARA CONEXIÓN TANTO ESTRELLA COMO DELTA DEL MOTOR DE ROTOR DEVANADO D00208 EN CADE-SIMU. ....	12
DIAGRAMA 3.- ARRANQUE ESTRELLA – DELTA DEL MOTOR DE ROTOR DEVANADO D00208 EN CADE-SIMU.....	18

DIAGRAMA 4.- ARRANQUE CON RESISTENCIAS ESTATÓRICAS PARA CONEXIÓN ESTRELLA DEL MOTOR DE ROTOR DEVANADO D00208 EN CADE-SIMU. ....	22
DIAGRAMA 5.- ARRANQUE CON RESISTENCIAS ROTÓRICAS PARA CONEXIÓN TANTO ESTRELLA COMO DELTA DEL MOTOR DE ROTOR DEVANADO D00208 EN CADE-SIMU.....	26
DIAGRAMA 6.- ARRANQUE CON AUTOTRANSFORMADOR PARA CONEXIÓN TANTO ESTRELLA COMO DELTA DEL MOTOR DE ROTOR DEVANADO D00208 EN CADE-SIMU.....	32
DIAGRAMA 7.- ARRANQUE POR ARRANCADOR SUAVE PARA CONEXIÓN DELTA DEL MOTOR DE ROTOR DEVANADO D00208 EN CADE-SIMU.....	37
DIAGRAMA 8.- ARRANQUE A TENSIÓN PLENA PARA CONEXIÓN DELTA DEL MOTOR SÍNCRONO D00206NT EN CADE-SIMU.....	42
DIAGRAMA 9.- ARRANQUE POR ARRANCADOR SUAVE PARA CONEXIÓN DELTA DEL MOTOR SÍNCRONO D00206NT EN CADE-SIMU. ....	45
DIAGRAMA 10.- ARRANQUE A TENSIÓN PLENA PARA CONEXIÓN DERIVACIÓN DE LA MÁQUINA DE CORRIENTE CONTINUA D01236 Y D00205NT EN CADE-SIMU. ....	52
DIAGRAMA 11.- ARRANQUE POR RESISTENCIAS EN LA ARMADURA PARA CONEXIÓN DERIVACIÓN DE LA MÁQUINA DE CORRIENTE CONTINUA D01236 Y D00205NT EN CADE-SIMU.....	53
DIAGRAMA 12.- INVERSIÓN DE GIRO EN CORRIENTE ALTERNA CÍCLICA TANTO CONEXIÓN ESTRELLA COMO DELTA DEL MOTOR DE ROTOR DEVANADO D00208 EN CADE-SIMU. ....	59
DIAGRAMA 13.- INVERSIÓN DE GIRO SELECTIVO EN CORRIENTE ALTERNA TANTO CONEXIÓN ESTRELLA COMO DELTA DEL MOTOR DE ROTOR DEVANADO D00208 EN CADE-SIMU. ....	60
DIAGRAMA 14.- INVERSIÓN DE GIRO PARA CONEXIÓN DERIVACIÓN DE LA MÁQUINA DE CORRIENTE CONTINUA D01236 Y D00205NT EN CADE-SIMU.....	62
DIAGRAMA 15.- INVERSIÓN DE GIRO PARA CONEXIÓN SERIE DE LA MÁQUINA DE CORRIENTE CONTINUA D01236 Y D00205NT EN CADE-SIMU.....	64
DIAGRAMA 16.- VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD POR MEDIO DE RESISTENCIAS EN EL CAMPO PARA CONEXIÓN DERIVACIÓN DE LA MÁQUINA DE CORRIENTE CONTINUA D01236 Y D00205NT EN CADE-SIMU.....	67

## ÍNDICE DE TABLAS.

TABLA 1.- CORRIENTE DE ARRANQUE A TENSIÓN PLENA DE MOTOR DE ROTOR DEVANADO D00208 CONEXIÓN ESTRELLA. ....	13
TABLA 2.- CORRIENTE DE ARRANQUE A TENSIÓN PLENA DE MOTOR DE ROTOR DEVANADO D00208 CONEXIÓN DELTA. ....	14
TABLA 3.- CORRIENTE DE ARRANQUE ESTRELLA - DELTA DE MOTOR DE ROTOR DEVANADO D00208.....	19
TABLA 4.- CORRIENTE DE ARRANQUE CON RESISTENCIAS ESTATÓRICAS DE MOTOR DE ROTOR DEVANADO D00208 CONEXIÓN ESTRELLA. ....	23
TABLA 5.- CORRIENTE DE ARRANQUE CON RESISTENCIAS ROTÓRICAS DE MOTOR DE ROTOR DEVANADO D00208 CONEXIÓN ESTRELLA. ....	27
TABLA 6.- CORRIENTE DE ARRANQUE CON RESISTENCIAS ROTÓRICAS DE MOTOR DE ROTOR DEVANADO D00208 CONEXIÓN DELTA. ....	29
TABLA 7.- PORCENTAJE DE TENSIÓN - CONEXIÓN DELTA .....	33
TABLA 8.- CORRIENTE DE ARRANQUE POR AUTOTRANSFORMADOR DE MOTOR DE ROTOR DEVANADO D00208 CONEXIÓN DELTA. ....	33
TABLA 9.- PORCENTAJE DE TENSIÓN - CONEXIÓN ESTRELLA. ....	35
TABLA 10.- CORRIENTE DE ARRANQUE POR AUTOTRANSFORMADOR DE MOTOR DE ROTOR DEVANADO D00208 CONEXIÓN ESTRELLA. ....	35
TABLA 11.- CORRIENTE DE ARRANQUE CON ARRANCADOR SUAVE DE MOTOR DE ROTOR DEVANADO D00208 CONEXIÓN DELTA. ....	38
TABLA 12.- CORRIENTE DE ARRANQUE A TENSIÓN PLENA DE MOTOR SÍNCRONO D00206NT CONEXIÓN DELTA.....	43
TABLA 13.- CORRIENTE DE ARRANQUE CON ARRANCADOR SUAVE DE MOTOR SÍNCRONO D00206NT CONEXIÓN DELTA. ....	46
TABLA 14.- VELOCIDAD MEDIDA EN LA FLECHA DEL MOTOR SÍNCRONO D00206NT.....	47
TABLA 15.- CORRIENTES DE ARRANQUE EN MÁQUINAS DE CORRIENTE ALTERNA D00208 Y D00206NT.....	48
TABLA 16.- RESISTENCIAS DE ARRANQUE EMPLEADAS EN EL INDUCIDO.....	54
TABLA 17.- AUMENTO PROGRESIVO DE CORRIENTE Y VELOCIDAD EN MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA D01236. ....	55

TABLA 18.- VELOCIDADES EN MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA D01236. ....	68
TABLA 19.- CARACTERÍSTICAS DE MOTORES ELÉCTRICOS DIDACTA ITALIA. ....	72
TABLA 20.- CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES EN LA INSTALACIÓN DE MOTORES DIDACTA ITALIA. ....	84

### ÍNDICE DE GRÁFICAS.

GRÁFICA 1.- CORRIENTE - TIEMPO DE ARRANQUE A TENSIÓN PLENA DE MOTOR DE ROTOR DEVANADO D00208 CONEXIÓN ESTRELLA. ....	13
GRÁFICA 2.- CORRIENTE - TIEMPO DE ARRANQUE A TENSIÓN PLENA DE MOTOR DE ROTOR DEVANADO D00208 CONEXIÓN DELTA. ....	15
GRÁFICA 3.- CORRIENTE - TIEMPO DE ARRANQUE ESTRELLA – DELTA DE MOTOR DE ROTOR DEVANADO D00208. ....	20
GRÁFICA 4.- CORRIENTE - TIEMPO DE ARRANQUE POR RESISTENCIAS ESTATÓRICAS DE MOTOR DE ROTOR DEVANADO D00208 CONEXIÓN ESTRELLA. ....	24
GRÁFICA 5.- CORRIENTE – TIEMPO DE ARRANQUE POR RESISTENCIAS ROTÓRICAS DE MOTOR DE ROTOR DEVANADO D00208 CONEXIÓN ESTRELLA. ....	28
GRÁFICA 6.- CORRIENTE - TIEMPO DE ARRANQUE POR RESISTENCIAS ROTÓRICAS DE MOTOR DE ROTOR DEVANADO D00208 CONEXIÓN DELTA. ....	30
GRÁFICA 7.- CORRIENTE - TIEMPO DE ARRANQUE POR AUTOTRANSFORMADOR DE MOTOR DE ROTOR DEVANADO D00208 CONEXIÓN DELTA. ....	34
GRÁFICA 8.- CORRIENTE - TIEMPO DE ARRANQUE POR AUTOTRANSFORMADOR DE MOTOR DE ROTOR DEVANADO D00208 CONEXIÓN ESTRELLA. ....	36
GRÁFICA 9.- CORRIENTE - TIEMPO DE ARRANCADOR SUAVE MOTOR DE ROTOR DEVANADO D00208 CONEXIÓN DELTA. ....	39
GRÁFICA 10.- CORRIENTE - TIEMPO DE ARRANQUE A TENSIÓN PLENA DE MOTOR SÍNCRONO D00206NT CONEXIÓN DELTA. ....	44
GRÁFICA 11.- CORRIENTE - TIEMPO DE ARRANCADOR SUAVE DE MOTOR SÍNCRONO D00206NT CONEXIÓN DELTA. ....	47

## **Resumen.**

En este presente trabajo se abarcarán temas relacionados al control electromecánico aplicado a máquinas eléctricas rotativas del equipo de laboratorio Didacta Italia, desde la simulación a través del programa CADE-SIMU versión 3.0 donde se pueden observar los elementos a utilizar para un óptimo funcionamiento y sobretodo protección del equipo, hasta la puesta en marcha de dichas máquinas con la implementación de diferentes métodos de arranque que se mencionan dentro del índice. De igual manera se mostrarán las gráficas en base a los datos obtenidos durante cada una de las pruebas (métodos de arranque) utilizadas, con ello se logrará determinar qué tipo de método es más eficiente de acuerdo a su tiempo de respuesta y su curva característica.

## **Introducción.**

Los métodos de arranque en máquinas eléctricas rotativas han sido ampliamente usados en la industria debido a que ayudan a reducir las corrientes de arranque y con ello evitar sobrecalentamientos en los devanados al igual que el uso de protecciones ampliamente dimensionadas (reducción de costos), pero otro punto importante es la automatización que se ha estado llevando en estos procesos como son el uso de relevadores inteligentes como medida para mejorar dichos procesos, es por ello que el control en máquinas eléctricas rotativas ha tomado mucha importancia.

El uso creciente de máquinas eléctricas rotativas de gran potencia en la industria ha llevado al desarrollo de diferentes técnicas para el control de éstos, que constantemente se han estado renovando. Algunas formas de éstas son los métodos de arranque, los cuales le brindan al usuario un control sobre la corriente de arranque evitando con ello los sobrecalentamientos en los devanados, de igual manera un mayor rendimiento de dichas máquinas eléctricas rotativas y una reducción en los costos de operación.

Otra forma de control que ha tenido mucho éxito en la actualidad es la automatización en los procesos, en los cuales el usuario hace uso de los temporizadores y los relevadores inteligentes para poder repetir cíclicamente los procesos con la menor intervención posible del usuario.

Dentro de los métodos de arranque empleados para las máquinas eléctricas rotativas, en el caso de corriente alterna están los siguientes:

- Estrella – delta.

- Por resistencias estáticas.
- Por resistencias rotóricas.
- Autotransformador.
- Arrancador suave.

En el caso de corriente continua, está el siguiente:

- Por resistencias en la armadura.

Todos estos métodos se describen a detalle dentro del capítulo 2.

### **Justificación.**

Las pruebas que se describen a lo largo del presente trabajo, fueron realizadas con el equipo de laboratorio Didacta Italia que se encuentran dentro del Laboratorio de Ingeniería Mecánica Eléctrica IV en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán campo 4, si bien es cierto que este equipo es de una potencia inferior a 5kW que de acuerdo con la literatura no tendrían ningún inconveniente ser puestas en marcha a tensión plena, el fin de llevar a cabo dichas experimentaciones es como a partir de un equipo de laboratorio se puede llevar a cabo estos procedimientos a máquinas de mayor potencia. Además que este trabajo es un complemento del trabajo de tesis “Puesta en marcha de motores Didacta Italia” de un alumno de la carrera de IME y que se busca con esto diseñar material didáctico para la comunidad de ingeniería, de forma que puedan comprobar lo teórico con lo experimental.

### **Objetivos.**

- Implementar métodos de arranque a máquinas eléctricas rotativas de la línea DIDACTA ITALIA que nos permita observar el efecto en sus gráficas corriente – tiempo.
- Realizar técnicas de control a máquinas eléctricas rotativas de la línea DIDACTA ITALIA mediante relevadores inteligentes y contactores, para generar un arranque más eficiente.

### **Hipótesis.**

Los métodos de arranque a tensión reducida de las máquinas eléctricas rotativas tanto de corriente alterna como de corriente directa tienen la finalidad de reducir la corriente de arranque que en ellas se genera al romper el par estático. Si bien es cierto que a lo largo de la historia se han estado desarrollando nuevos métodos de arranque que van desde los manuales, semiautomáticos y automáticos, se considera que la inclusión de la electrónica (potencia) ha permitido la innovación de dispositivos que poco a poco han desplazado los métodos convencionales. Por ello se supone que es mejor un arranque a tensión reducida que uno a tensión plena y en cuanto a los métodos de arranque existe una ligera mejoría por medio de la utilización de un dispositivo electrónico como un arrancador suave o un variador de frecuencia.

### **Metodología a emplear.**

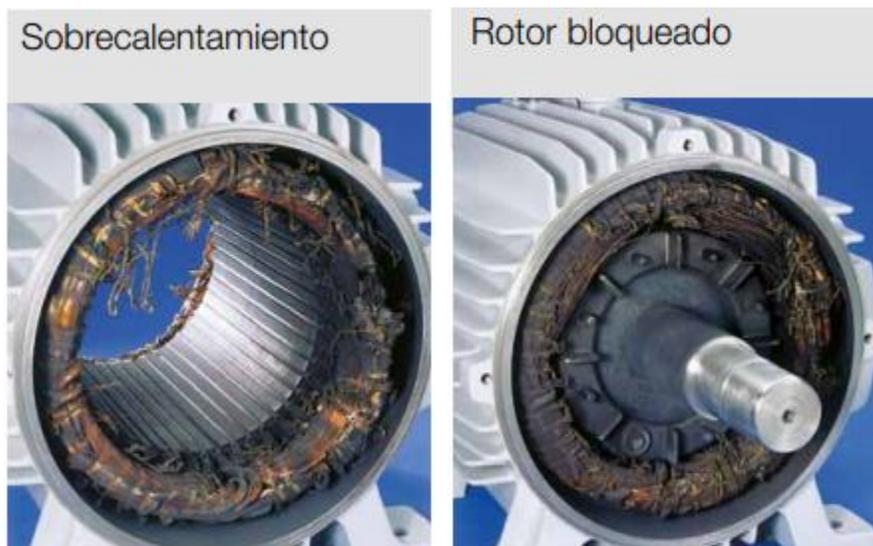
La metodología a emplear será como el método científico como es primeramente observar las características y conexiones de cada una de las máquinas eléctricas rotativas Didacta Italia del Laboratorio de Ingeniería Mecánica Eléctrica IV, luego plantear en base a estas características la corriente al arranque y un aproximado de la disminución de esta misma con los métodos de arranque a tensión reducida. Posteriormente realizar las pruebas tanto en las máquinas de corriente alterna como en las de directa en la forma manual y automática (con el uso de relevadores de tiempo y relevadores inteligentes) para verificar la eficiencia de cada método empleado y el control que se puede tener sobre ellos. Con ello recabar los datos necesarios para graficar el comportamiento al arranque de cada una de ellas y realizar las respectivas conclusiones.

# Capítulo 1

## Los efectos de la corriente de arranque y sus métodos de reducción en motores eléctricos.

### 1.1 ¿Por qué el empleo de los métodos de arranque eléctrico?

Uno de los principales problemas que se tienen en las máquinas eléctricas rotativas es la corriente que demandan durante el proceso de marcha o arranque, pues de acuerdo a las características de cada una de ellas al ser arrancadas de forma directa la corriente de arranque puede dispararse varias veces su corriente nominal con lo cual se tienen efectos en los devanados estáticos en c.a y en la armadura en c.c como son los sobrecalentamientos que deterioran los aislamientos, como se muestran en la figura 1.



**Fig. 1.- Devanados dañados por sobrecalentamiento y dificultad al arranque, fuente WEG.**

Para evitar estos efectos se han estado desarrollando los conocidos métodos de arranque, los cuales nos permiten de cierta forma controlar dos características importantes de las máquinas eléctricas rotativas como son el par y la corriente de arranque. En el caso de c.a primeramente aparecieron aquellos que no contaban con muchos componentes electrónicos y su accionamiento se basaba en interruptores o cuchillas para realizar los cambios de forma manual, tales como el arranque por resistencias estáticas, por resistencias rotóricas, autotransformador y estrella – delta. Posteriormente con la innovación tecnológica que se ha venido dando en la electrónica de potencia aparecieron los métodos



de arranque por arrancador electrónico entre los cuales tenemos el arrancador suave y el variador de velocidad (de frecuencia) en donde sólo es necesario configurar los dispositivos con los parámetros que creamos convenientes para limitar la corriente de arranque.

Para el caso de c.c tenemos el método de arranque por resistencias en la armadura en el cual primeramente se realizaba por medio de un reóstato manual accionado por una palanca, el cual variaba según el tipo de conexión o los elementos empleados en ella; entre los cuales se tenían el reóstato de dos puntos para la conexión serie, el de tres puntos para conexión derivación y compuesta (ver figura 2), y el de cuatro puntos para conexión compuesta con reóstato de campo (ver figura 3).

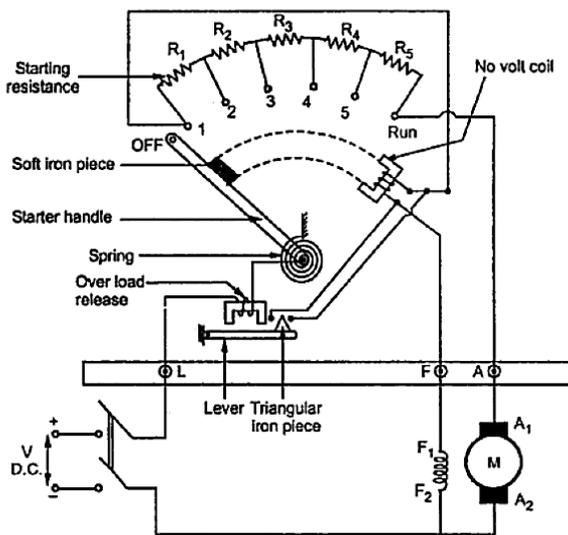


Fig. 2.- Reóstato de arranque de tres terminales.

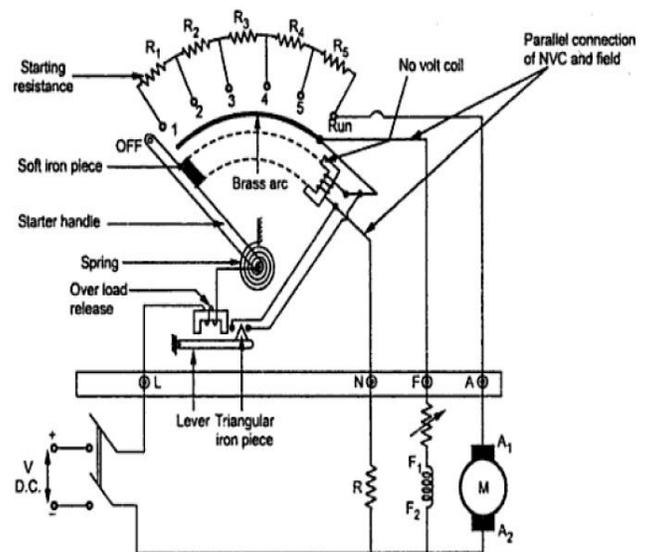


Fig. 3.- Reóstato de arranque de cuatro terminales.

Para las máquinas mayores de 10 hp el empleo del reóstato manual no convenía por el chisporroteo que se generaba por lo cual se implementaron los combinadores de tambor que se activaba por una palanca o manivela donde conectaba o desconectaba grupos de contactos que eliminaban la resistencia, dichos contactos se encontraban dentro de una cámara de arqueo. Posteriormente con la aparición del control electromagnético aparecieron los arrancadores magnéticos los cuales emplean contactores y relevadores de tiempo (timers), de igual manera los arrancadores a límite de intensidad los cuales se ajustaban a las condiciones de la carga. Con los avances generados por la electrónica de potencia se han estado sustituyendo los métodos anteriormente mencionados por los

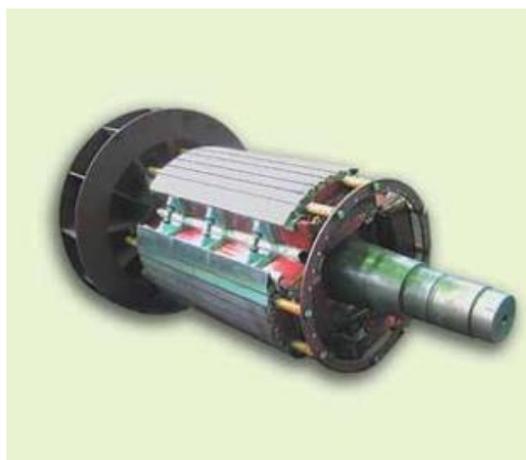
convertidores electrónicos como son el chopper. (1,2)

Otra razón por la cual se emplean los métodos de arranque es para evitar los sobredimensionamientos en calibres de conductores, fusibles y guardamotor en el diseño del circuito de fuerza debido a las altas corrientes de arranque que pueden disparar alguno o varios de los elementos de protección hacia el motor, considerando que cada método de arranque tiene una duración diferente que es primordial para la selección de protecciones.

Por ello cada uno de estos tiene sus ventajas y desventajas con respecto a otros, al igual que sus propias características que le brindan al usuario diversas alternativas de acuerdo a sus necesidades y especificaciones de cada máquina eléctrica rotativa.

## **1.2 Métodos empleados de acuerdo al tipo de motor eléctrico.**

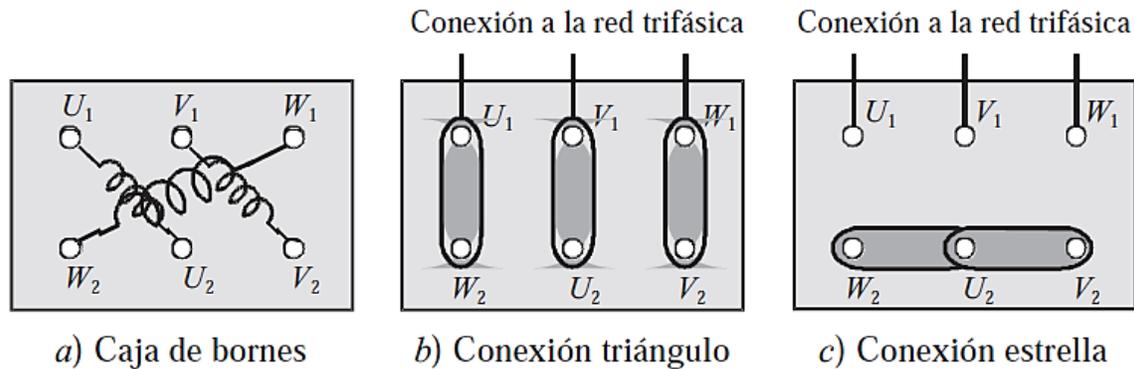
Para saber el tipo de método a emplear es necesario saber la clase de motor con el que se está tratando, en los motores eléctricos existen dos grupos principales que son: de corriente alterna y corriente continua. En motores de corriente alterna se encuentran los motores de jaula de ardilla, como el que muestra la figura 4, donde debido a sus características constructivas el uso de resistencias externas en su rotor no es posible emplearlas ya que su rotor es cilíndrico y no cuenta con terminales dispuestas para introducirlas.



**Fig. 4.- Ejemplo de rotor de jaula de ardilla en motor de inducción, fuente ABB.**

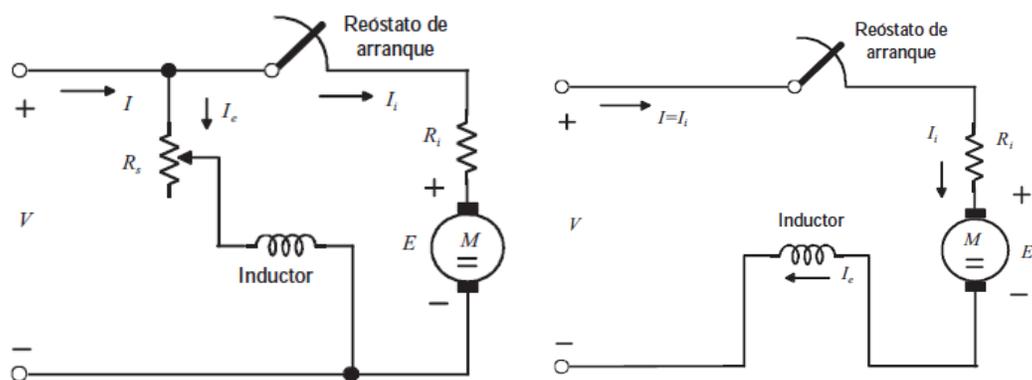
Por lo tanto el método por resistencias rotóricas es únicamente aplicable a motores de rotor devanado mientras que métodos como resistencias estáticas, por autotransformador y electrónico, son aplicables para motores de jaula de ardilla, para motores de rotor devanado y motores síncronos. El arranque estrella-delta es aplicable para las tres máquinas

mencionadas anteriormente siempre y cuando en el estator tengan seis terminales disponibles. Como ejemplo, la figura 5 muestra las características de la placa de bornes que debe tener para considerar este tipo de arranque, para entender mejor sus beneficios (ver tema 2.4.1. Arranque estrella-delta).



**Fig. 5.- Caja de bornes para conexión estrella - delta. (2)**

Para motores de corriente continua independientemente de su conexión (serie, derivación, compuesta) generalmente se utilizan resistencias conectadas en serie en su armadura, tal como se plasma en la siguiente figura, de esta forma se evita que la alta intensidad al arranque dañe a esta misma, o en mejores casos se hace uso de la electrónica de potencia, utilizando variadores para corriente continua.



**Fig. 6.- Inserción de resistencias o reóstatos en serie con el devanado de armadura, motor derivación y motor serie. (2)**

## Capítulo 2

### Métodos de arranque en máquinas eléctricas Didacta Italia.

#### 2.1 Arranque de motores eléctricos de corriente alterna.

Los motores de inducción de corriente alterna son de los más utilizados en aplicaciones industriales donde en muchas de estas tienden a mover cargas de alta inercia que someten a grandes esfuerzos a los motores de inducción, prolongando el tiempo de arranque (3). Para entender mejor el proceso de arranque, considérese el circuito equivalente de un motor de inducción en la siguiente figura.

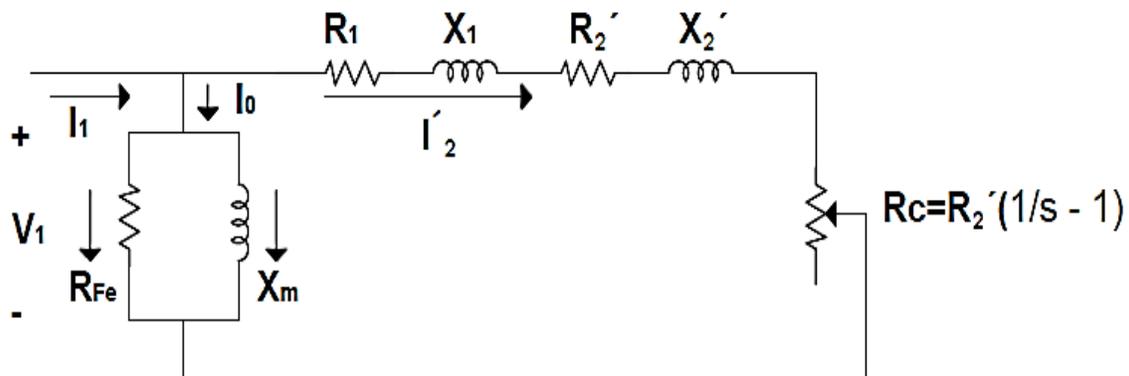


Fig. 7.- Circuito equivalente del motor de corriente alterna.

Donde  $R_1$  y  $X_1$  corresponden al valor de resistencia y reactancia del estator respectivamente y  $R_2'$  y  $X_2'$  corresponden al valor de resistencia y reactancia del rotor respectivamente. Al arranque el deslizamiento es la unidad ( $s=1$ ) es decir el rotor se encuentra en reposo y la resistencia  $R_c$  (de carga) es igual a cero, al energizarse el estator la corriente de arranque puede representarse de la siguiente forma:

$$I_{\text{arranque}} = I_2' = \frac{V_1}{R_1 + R_2' + j(X_1 + X_2')} = \frac{V_1}{Z_{cc} \text{ del motor}}$$

Puesto que la resistencia de carga es cero, la impedancia del motor al arranque es baja, produciéndose una elevada corriente al arranque que puede ser entre 3 y 6 veces su corriente nominal y en algunos casos aún más, en motores de varios caballos de fuerza (Hp) es perjudicial ya que produce un calentamiento en los devanados del motor y una caída de tensión en la línea que alimenta la planta donde se encuentra instalado el motor (3) (no debe ser mayor al 5% del voltaje nominal), afectando el funcionamiento de otras cargas

alimentadas por la misma fuente, ya que debido a la caída de tensión, el voltaje nominal de la instalación cae a un voltaje inferior durante varios segundos. (4)

Además de la corriente de arranque otro factor que se debe tener en cuenta es el par o momento de torsión, puesto que el par de arranque puede ser de un 150% del nominal y desarrollar un par máximo de 200% a 250%, con lo cual si el arranque es muy brusco puede dañar a la carga, por ejemplo en las bandas transportadoras donde un par muy brusco no es el ideal. (3,5)

## 2.2 Motor asíncrono trifásico de anillos D00208.

El motor asíncrono D00208 DIDACTA ITALIA es un motor de inducción de anillos o de rotor devanado, su diagrama se puede representar como en la figura 8, la cual consta de un arrollamiento trifásico que constituye el estator donde es alimentado por una fuente trifásica de corriente alterna, el rotor consta de un arrollamiento similar al del estator, este se conecta por un lado en estrella mientras que sus terminales son enviadas a unos anillos que hacen posible la introducción de reóstatos para limitar la corriente de arranque o bien, reóstatos que ayudan al control de la velocidad, lo cual representa una ventaja comparándolas con las máquinas de jaula de ardilla en las cuales no es posible la introducción de algún tipo de resistencia, debido a que el rotor es constituido por una serie de barras puestas en cortocircuito. (2)

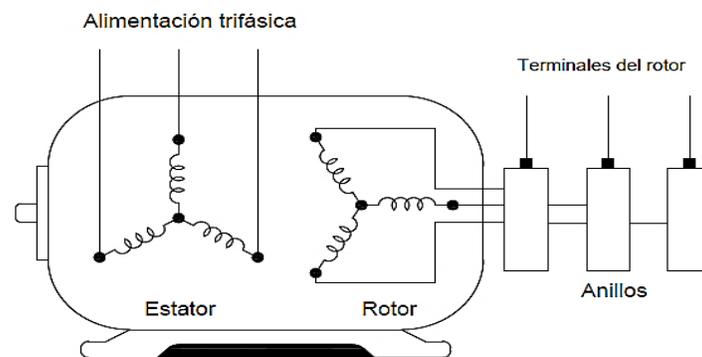


Fig. 8.- Devanados del motor de rotor devanado.

Debido a que en el motor de rotor devanado es posible obtener un alto par de arranque introduciendo resistencias en las terminales del rotor, es de los más utilizados en aplicaciones como:

- Arranque de cargas de alta inercia.
- Impulsores de velocidad variable.
- Convertidor de frecuencia.

### **2.3 Arranque a tensión plena.**

También conocido como arranque directo, es un método sencillo y económico para el arranque de motores eléctricos trifásicos de inducción debido al empleo de muy pocos elementos para su conexión, este se basa en conectar el motor directamente a las líneas de alimentación. Es común emplearlo cuando la corriente que se suministra no produce perturbaciones en el sistema y la carga soporta el par de arranque. Puede ser de dos maneras:

- *Manual:* Sólo es necesario un interruptor tripolar que además de cerrar y abrir el circuito brinda protección contra sobrecargas y cortocircuito.
- *Contactores automáticos:* Se dispone de un circuito de control y otro de fuerza, donde el circuito de control además de abrir y cerrar el circuito por medio de una botonera, está puede ser externa al lugar donde se ubica el motor, mientras que el circuito de fuerza mantiene la protección hacia el motor (sobrecarga y cortocircuito). (1,6)

Cabe señalar que este método es posible realizarlo en motores de poca potencia, por ejemplo en instalaciones urbanas es posible arrancar motores con una potencia inferior a los 5kW mientras que en instalaciones donde a la planta le llega una alimentación en alta tensión es posible arrancar a tensión plena motores de hasta 100 CV, es decir un motor podrá ser arrancado de forma directa siempre y cuando las líneas de alimentación sean de suficiente capacidad. (2)

#### *Ventajas:*

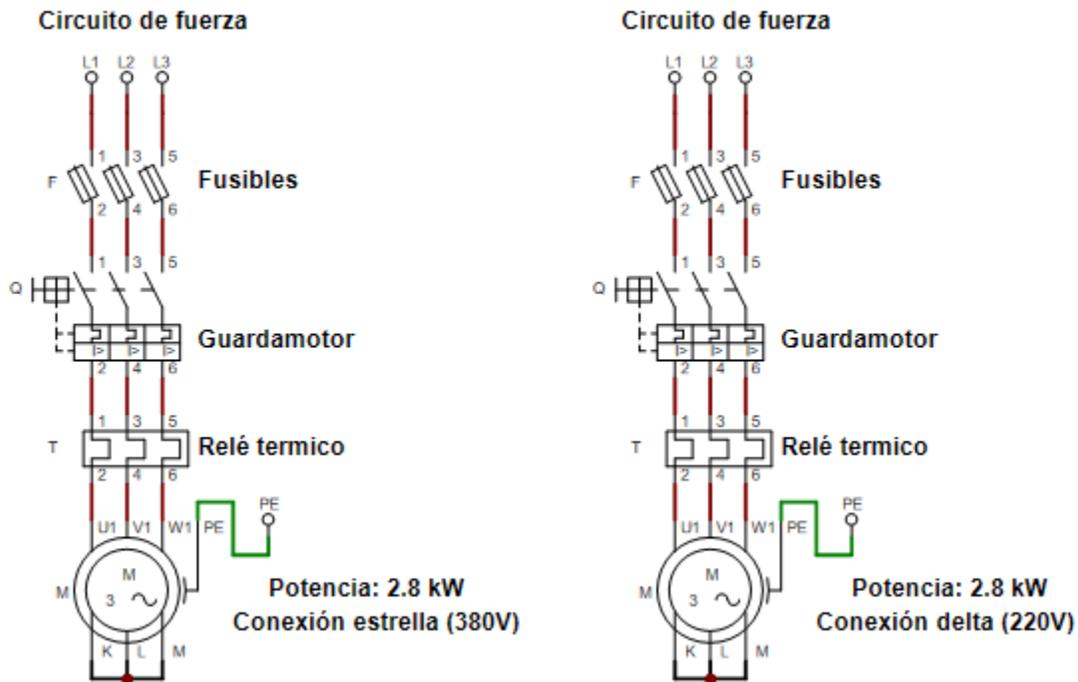
- Uso de un arrancador simple.
- Buen par de arranque.
- Es económico.

#### *Desventajas:*

- La corriente de arranque es muy alta (puede ir de 3 a 6 veces la nominal).
- No se tiene control en el par de arranque. (6)

Para analizar más a detalle todo lo explicado sobre el arranque de los motores de inducción, se realizó la prueba de tensión plena al motor de rotor devanado D00208 del equipo de laboratorio Didacta Italia, así como también más adelante se analizarán sus respectivos métodos para reducir su intensidad al arranque.

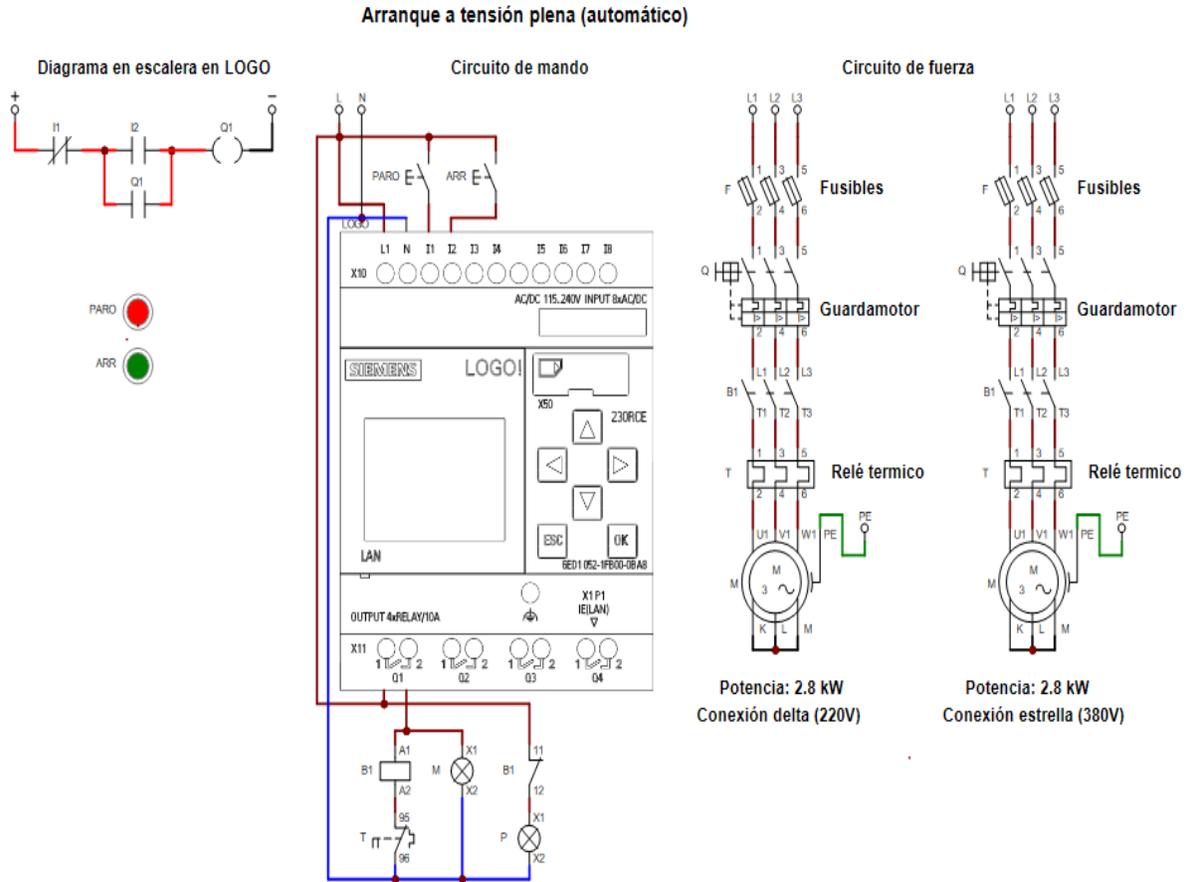
### Arranque a tensión plena (manual)



**Diagrama 1. Arranque a tensión plena (manual) para conexión tanto estrella como delta del motor de rotor devanado D00208 en CADE-SIMU.**

#### Explicación:

Para la puesta en marcha del motor en el diagrama 1 ya sea en su conexión estrella o en su conexión delta basta accionar el interruptor general donde se encuentran los fusibles y el interruptor del guardamotor, de esta forma permitimos la interconexión de las líneas de alimentación con el motor.



**Diagrama 2. Arranque a tensión plena automático para conexión tanto estrella como delta del motor de rotor devanado D00208 en CADE-SIMU.**

***Explicación:***

Su funcionamiento se basa en un paro y arranque, en el cual al accionar el pulsador ARR (I2) activa la salida del relé Q1 junto con su enclavamiento y con ello energizamos la bobina del contactor B1 que permite el cierre de sus contactos de fuerza, el encendido de la lámpara de señalización M y la apertura de su contacto auxiliar NC que permite apagar la lámpara de señalización P, poniendo en marcha el motor que con ayuda del enclave permite que siga funcionando hasta que se presione el pulsador PARO para detenerlo y que se vuelva a encender la lámpara de señalización P, de esta forma se reinicia el proceso.

Para esta prueba, al arranque se utilizó un analizador de energía, el cual permite medir corrientes de arranque en motores eléctricos por medio de pinzas que van conectadas en cada fase del motor, como si fuera un amperímetro de gancho, de esta forma se obtuvieron los valores que se presentan a continuación, expresados en valores rms de corriente y el



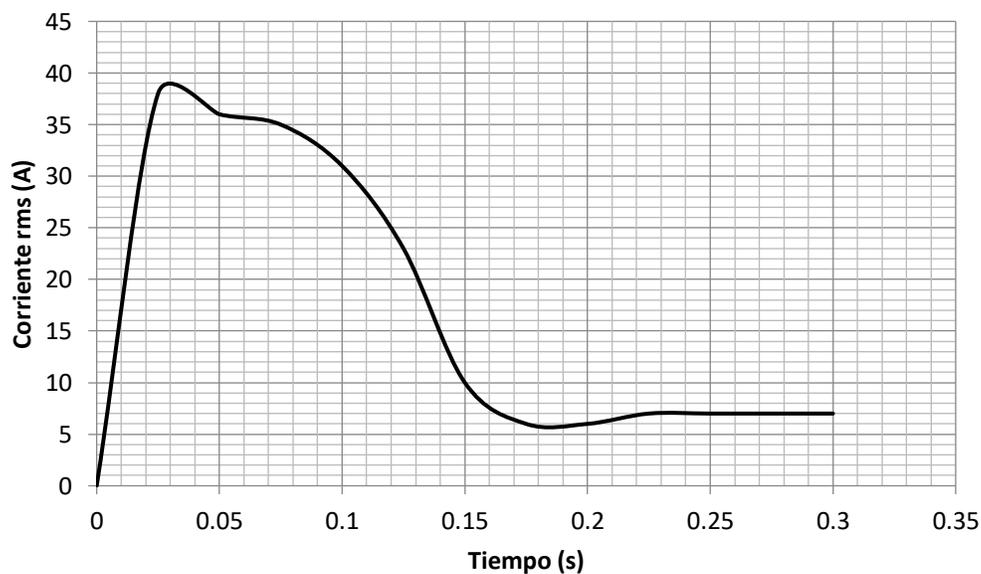
tiempo en segundos.

**Tabla 1.- Corriente de arranque a tensión plena del motor de rotor devanado D00208 conexión estrella.**

<b>Motor asíncrono trifásico D00208 a 380 Volts</b>	
<b>Corriente rms de arranque (Amperes)</b>	<b>Tiempo (segundos)</b>
0	0
<b>*38</b>	0.025
36	0.05
35	0.075
31	0.1
23	0.125
10	0.15
6	0.175
6	0.2
7	0.225
7	0.25
7	0.275
7	0.3

**\*Corriente máxima registrada al arranque.**

Los valores anteriores muestran un comportamiento como la siguiente gráfica.



**Gráfica 1.- Corriente - Tiempo de arranque a tensión plena del motor de rotor devanado D00208 conexión estrella.**

A diferencia de los transformadores, cuando los motores eléctricos funcionan en vacío demandan una alta corriente que no puede ser despreciada, en especial al arranque como lo es este caso. La gráfica anterior muestra el comportamiento del motor de rotor devanado cuya configuración es en estrella, la configuración Y tiene la ventaja que su intensidad es menor a la de la configuración delta pero, el voltaje de alimentación es mayor al de una delta. Al inicio, debido a la baja impedancia del motor, la corriente es mayor a la nominal registrando un pico de 38 amperes, conforme el motor adquiere su velocidad nominal, la corriente disminuye hasta llegar a su corriente nominal de vacío.

$$\frac{I_{arranque}}{I_{nominal}} = \frac{38 A}{7 A} = 5.4285$$

En este caso, la corriente de arranque es aproximadamente 6 veces la corriente nominal como se especificó en 2.1.

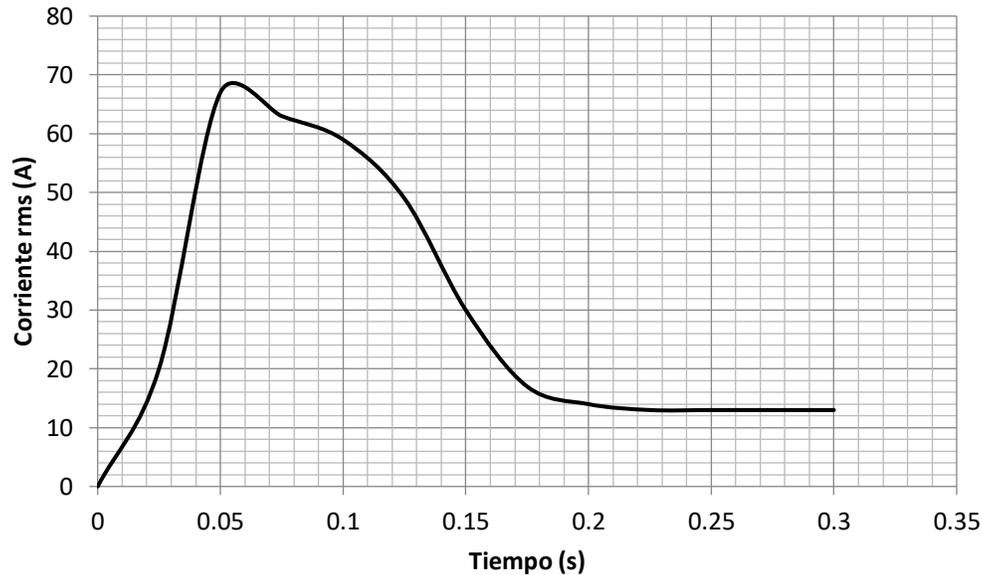
Al igual que en el caso anterior, se midió la corriente, pero ahora en conexión delta, dando los siguientes resultados.

**Tabla 2.- Corriente de arranque a tensión plena del motor de rotor devanado D00208 conexión delta.**

<b>Motor asíncrono trifásico D00208 a 220 Volts</b>	
<b>Corriente rms de arranque (Amperes)</b>	<b>Tiempo (segundos)</b>
0	0
20	0.025
<b>*67</b>	0.05
63	0.075
59	0.1
49	0.125
30	0.15
17	0.175
14	0.2
13	0.225
13	0.25
13	0.275
13	0.3

**\*Corriente máxima registrada al arranque.**

Gráfico de los valores de corriente y tiempo de la tabla 2.



**Gráfica 2.- Corriente - Tiempo de arranque a tensión plena del motor de rotor devanado D00208 conexión delta.**

En la conexión delta, la corriente que circula por los devanados es aproximadamente igual a la de la conexión estrella, sin embargo, en la configuración delta existe una corriente de línea que es  $1.7320 (\sqrt{3})$  veces la de fase. Al arranque se registró un pico de 67 amperes que al igual que en el caso anterior conforme fue aumentando su velocidad su corriente llegó a su valor nominal de 13 amperes en vacío.

$$\frac{I_{arranque}}{I_{nominal}} = \frac{67 A}{13 A} = 5.1538$$

Siendo la corriente de arranque aproximadamente 6 veces la corriente nominal.

#### **2.4 Arranque a tensión reducida.**

Existen varios métodos aplicables a los motores trifásicos con base a que éstos no sean alimentados directamente a su voltaje nominal, sino como el nombre lo indica van paso a paso hasta llegar a su voltaje nominal, esto se debe a dos consideraciones importantes: una de ellas es disminuir la corriente de arranque y la otra acelerar poco a poco la carga.

### 2.4.1 Arranque estrella - triángulo.

Para este método de arranque hay que tener una consideración muy importante que es verificar que el motor a ocupar tenga la posibilidad de la conexión estrella y delta como se establece en 1.2, de lo contrario no se podrá usar éste arranque. Como el nombre lo indica en las terminales (bornes) del estator se conectará en estrella pero suministrando el voltaje nominal de la conexión delta, esto será sólo durante el arranque (aproximadamente unos 5 segundos o hasta alcanzar al menos el 80% de su velocidad nominal) para posteriormente pasar a su conexión delta. El cambio en las conexiones debe realizarse después de que las corrientes disminuyan para no perder la efectividad del método. Por lo cual el tiempo de arranque es aproximadamente 3 veces mayor que en el caso de un arranque directo. (4,6) De esta forma, la figura 9 muestra el proceso de transición para el arranque estrella – delta.

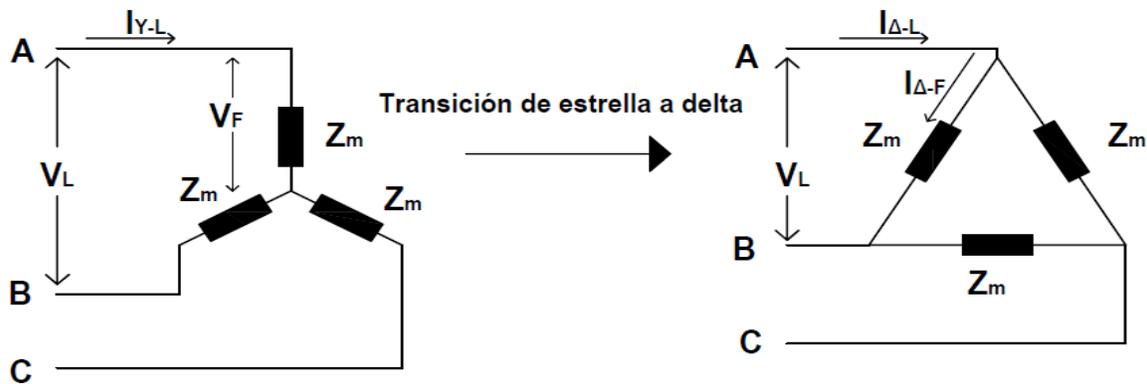


Fig. 9.- Circuito equivalente en conexión estrella - delta.

En un sistema estrella:

$$V_L = \sqrt{3} * V_F$$

$$I_{Y-L} = I_F$$

En un sistema delta.

$$V_{\Delta-L} = V_{F-\Delta}$$

$$I_{\Delta-L} = \sqrt{3} * I_F$$

Cuando arranca el motor en Y, la corriente es:

$$I_{Y-L} = \frac{V_F}{Z_{motor}} = \frac{V_L}{\sqrt{3} * Z_{motor}}$$

Después de 5 segundos pasa a delta y la corriente es:

$$I_{\Delta-F} = \frac{V_L}{Z_{motor}} \rightarrow I_{\Delta-L} = \frac{\sqrt{3} * V_L}{Z_{motor}}$$

Si se despeja el voltaje de línea ( $V_L$ ) de ambas ecuaciones, queda:

$$\frac{\sqrt{3} * I_{Y-L} * Z_{motor}}{1} = \frac{I_{\Delta-L} * Z_{motor}}{\sqrt{3}}$$

$$I_{Y-L} = \frac{I_{\Delta-L}}{3}$$

Así, se concluye que la corriente de línea al arranque en estrella es 3 veces menos que la que se obtiene en un arranque directo en delta y por lo tanto el torque al arranque se reduce una tercera parte, teniéndose en cuenta que este método es posible en aplicaciones tales como; ventiladores, bombas centrífugas donde el motor arranca en vacío y una disminución del torque no afecta.

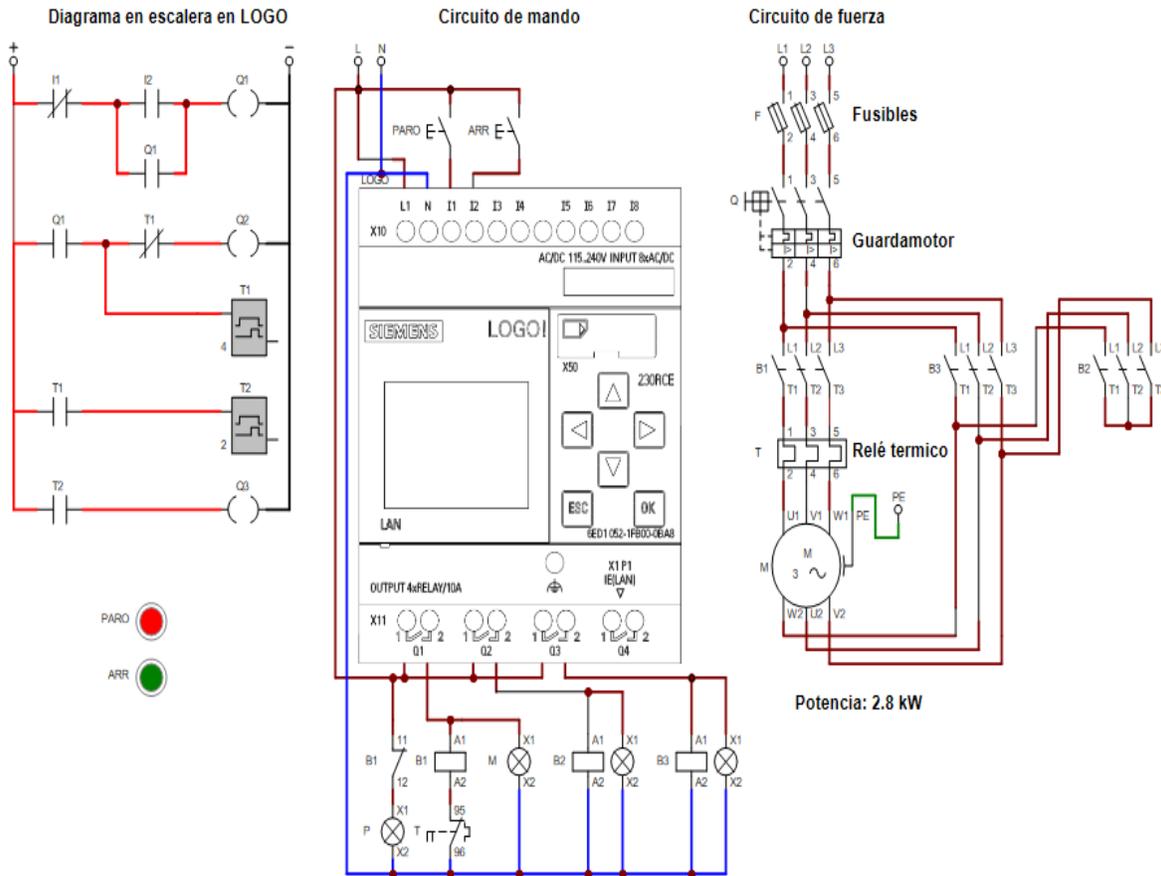
*Ventajas:*

- Empleo de un arrancador más sofisticado.
- Se reduce notablemente la corriente de arranque (aproximadamente 1/3).
- Es relativamente económico.

*Desventajas:*

- Es menor el par de arranque (aproximadamente 1/3 del nominal).
- Sólo tiene un punto de reducción (Tensión).
- Los devanados del motor deben permitir ambas conexiones (Y- $\Delta$ ). (6)

### Arranque estrella - delta



**Diagrama 3. Arranque estrella – delta del motor de rotor devanado D00208 en CADE-SIMU.**

#### Explicación:

Una vez que se presiona el pulsador ARR activa la entrada I2 y también la salida del relé Q1, al mismo tiempo se energiza la bobina del contactor B1 que cierra sus contactos de fuerza, enciende la lámpara de señalización M y apaga la lámpara de señalización P, luego un contacto NA de Q1 es cerrado para activar la salida del relé Q2 y un timer T1 de 4s, paralelamente se energiza la bobina del contactor B2 junto con su lámpara de señalización y se realiza la conexión estrella por medio de sus contactores de fuerza, una vez pasado el tiempo del timer T1 desenergiza al relé Q2 para apagar la lámpara de señalización, desenergizar la bobina del contactor B2, abrir sus contactos de fuerza y cerrar un contacto NA para activar otro timer T2 que dura 2s, esto es para la transición de una conexión a la otra, pasados los 2s un contacto NA del timer T2 se cierra para activar la salida del relé Q3, con ello energizar la lámpara de señalización y la bobina del contactor B3 para cerrar los

contactos de fuerza, así el motor queda con la conexión delta indefinidamente hasta que se apriete el pulsador PARO que activa I1 para detener el motor y volver a encender la lámpara de señalización P, en cualquier momento del proceso es posible activar I1 para detener todo.

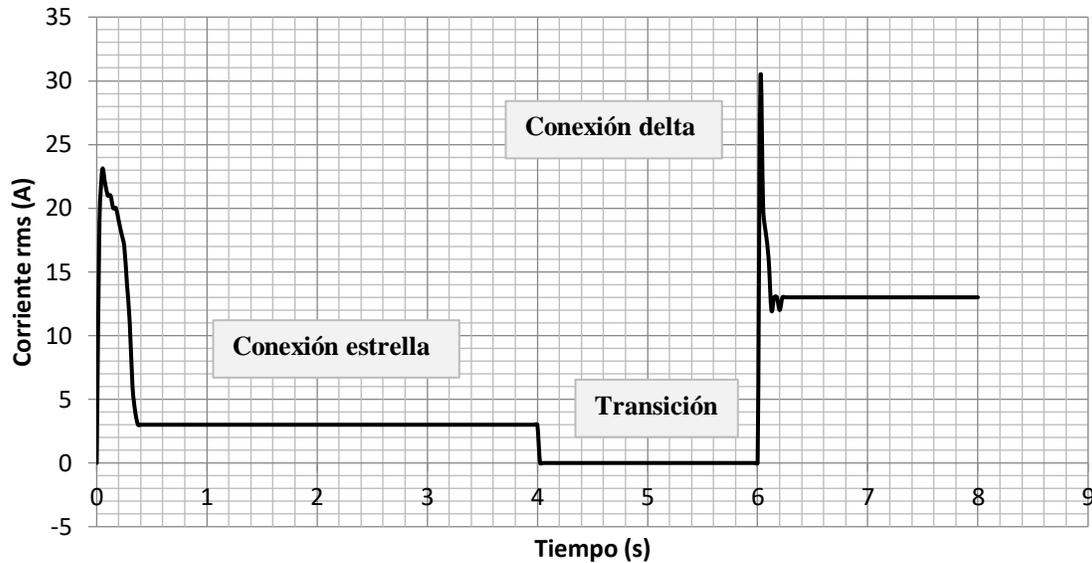
A continuación, se presentan los valores obtenidos de corriente en el circuito del diagrama anterior, especificando la corriente y el tiempo en cada conexión.

**Tabla 3.- Corriente de arranque estrella - delta del motor de rotor devanado D00208.**

<b>Motor de rotor devanado Voltaje a tensión reducida 220 Volts</b>		
<b>Corriente rms de arranque (Amperes)</b>	<b>Tiempo (segundos)</b>	
0	0	Conexión estrella
19	0.025	
*23	0.05	
22	0.075	
21	0.1	
21	0.125	
20	0.15	
20	0.175	
19	0.2	
18	0.225	
17	0.25	
14	0.275	
11	0.3	
6	0.325	
4	0.35	
3	0.375 a 4 segundos	
0	4.025 a 6 segundos	
30	Régimen permanente	Conexión delta
20		
18		
16		
12		
13		
13		
12		
13		

\*Corriente máxima registrada al arranque.

Los valores anteriores muestran un comportamiento como el que muestra el siguiente gráfico, donde se especifica el valor de corriente absorbida en cada conexión y el tiempo que duro dicha corriente.



**Gráfica 3.- Corriente - Tiempo de arranque estrella – delta del motor de rotor devanado D00208.**

En la configuración estrella-triángulo, el motor arranca con el voltaje de una configuración delta, es decir 220 V para el motor D00208.

$$V_{reducido} = \frac{220 V}{\sqrt{3}} \approx 127 \text{ Volts de fase}$$

De acuerdo a la expresión anterior, el voltaje que le llega a cada devanado del motor es de 127 volts, el voltaje se reduce en un 58% del nominal, por lo que no debe durar mucho tiempo con esta tensión debido a que los devanados de los motores son diseñados para trabajar a una tensión determinada, en este caso a 220 V. La transición se efectuó en dos segundos, esto es cuando el contactor de la estrella se desenergiza para dar tiempo a la apertura de sus contactos de fuerza y evitar un corto circuito al entrar el contactor en delta. Después del tiempo de transición el contactor en delta entra para quedar en funcionamiento permanente, o hasta que el usuario decida terminar el proceso.

Según la expresión:

$$I_{Y-L} = \frac{I_{\Delta-L}}{3}$$



La corriente a plena tensión en delta fue de 67 amperes.

$$\therefore I_{Y-L} = \frac{67 A}{3} = 22.33 A$$

De acuerdo a la tabla 3, el pico en la conexión estrella a tensión reducida fue de 23 amperes, lo que es aproximadamente la corriente que se obtuvo teóricamente con la expresión anterior.

#### **2.4.2 Arranque con resistencias estatóricas.**

También conocido como arranque por resistencias primarias, se basa en el uso de un banco de resistencias que van conectadas a las líneas de alimentación para posteriormente llegar al motor, con la intención de provocar una caída de tensión en las resistencias, con ello el motor no será alimentado de forma directa con su voltaje nominal, dichas resistencias deben ser de un valor bajo y también no deben permanecer mucho tiempo en el circuito de fuerza (normalmente cuando el motor alcanza a superar el 70% de su velocidad nominal deben ser desconectadas las resistencias).

En el mercado existen diferentes tipos de arrancadores para resistencias primarias (banco de resistencias); unos son formados por filas de discos de grafito que conforme son comprimidos su valor empieza a disminuir por la acción de una palanca, otros son fabricados con alambre enrollado alrededor de unas bases de porcelana y sumergidas en cemento refractario, también existen los arrancadores magnéticos donde con pulsar un botón realiza todo el procedimiento. (1)

Cálculo del valor de la resistencia

$$R = \%Reducción \frac{U}{I_n}$$

Dónde:

R = Resistencia por fase en  $\Omega$ .

U = Tensión de la red en V.

$I_n$  = Intensidad nominal del motor en A. (6)

*Ventajas:*

- Se pueden regular los valores de arranque (par y corriente).
- Mejora el factor de potencia.



contactos de fuerza B1 para poner en marcha el motor con las resistencias. Ya pasado el tiempo del timer T1 desactiva la salida del relé Q1 para desenergizar la bobina del contactor B1 con su lámpara y desactivar sus contactos de fuerza, al mismo tiempo activa la salida del relé Q2 para energizar la bobina del contactor B2 con su lámpara de señalización S/R (sin resistencias) y activar sus contactos de fuerza, de esa forma el motor funciona con su voltaje nominal. Para detener el motor basta con activar I1 con el pulsador PARO y se enciende la lámpara de señalización P.

Durante la experimentación los valores de corriente obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

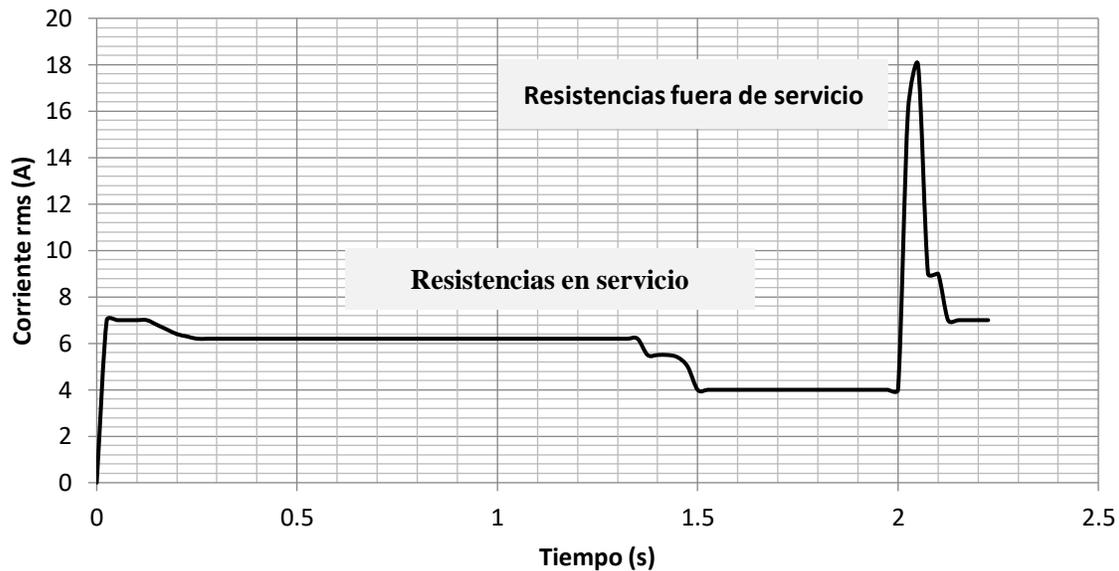
**Tabla 4.- Corriente de arranque con resistencias estáticas del motor de rotor devanado D00208 conexión estrella.**

<b>Motor de rotor devanado 380 Volts</b>	
<b>Corriente rms de arranque (Amperes)</b>	<b>Tiempo (segundos)</b>
0	0
*7	0.025
7	0.05
7	0.075
7	0.1
7	0.125
6.8	0.15
6.6	0.175
6.4	0.2
6.3	0.225
6.2	0.25 - 1.35
5.5	1.375 - 1.425
5.4	1.45
5	1.475
4	1.5 - 2
16	2.025
18	2.05
9	2.075
9	2.1
7	2.125
7	2.15
7	2.175

\*Corriente máxima registrada al arranque.

Para observar de una forma más detallada el comportamiento, se han graficado los valores

anteriores, como se muestra a continuación.



**Gráfica 4.- Corriente - Tiempo de arranque por resistencias estáticas del motor de rotor devanado D00208 conexión estrella.**

En la prueba por resistencias primarias o resistencias estáticas, se conectaron en serie tres resistencias por fase de  $25.86 \Omega$ , al arranque la corriente que circula por cada fase se ve disminuida debido a que la resistencia de cada devanado aumenta con la resistencia en serie, impidiendo que el voltaje nominal llegue por completo a los devanados del estator. Al arranque se registró un pico de 7 amperes, que comparados a los 38 que se obtuvieron en la conexión estrella, disminuye la intensidad de forma significativa, estando solo dos segundos en servicio las tres resistencias, fue un arranque suave debido a que los choques mecánicos se ven disminuidos y sobre todo, este tipo de método proporciona la ventaja que al arranque el factor de potencia es alto por la presencia de las resistencias, pero a su vez sus pérdidas por efecto Joule ( $I^2 * R$ ) aumentan debido a estas mismas. Ya que se cortocircuitaron las resistencias, el voltaje nominal se aplicó por completo al estator, registrando otro pico de 18 amperes, que comparado con el de tensión plena, todavía es menor.

Ahora bien haciendo los cálculos teóricos, considerando que la resistencia primaria por fase es de  $25.86 \Omega$ , la corriente nominal es de 7 amperes y su voltaje en conexión estrella de fase es de 268.7 V para el motor de rotor devanado D00208, despejando el % de reducción

tenemos lo siguiente:

$$\%Reducción = \frac{R * I_n}{U} = \frac{25.86 * 7}{220} = 0.823$$

Considerando la corriente de arranque a tensión plena que es de 38A:

$$I_A = 0.823 * 38 = 31.3 A$$

Como podemos observar las corrientes de arranque después de emplear las resistencias estatóricas tanto teórico como experimental los valores son diferentes, esto sucede porque de forma teórica se maneja como una situación ideal mientras que de forma experimental actúan diversos factores como la resistencia de los cables empleados y su longitud, la regulación del voltaje, entre otros.

*Nota de laboratorio:*

Esta prueba fue realizada para ambas conexiones tanto estrella como delta, pero no obteniendo buenos resultados para esta última debido a que el valor de las resistencias era alto y con ello se tenía mucha caída de tensión en ellas lo que generaba que el motor no lograra arrancar. Que puede ser comprobado con la misma fórmula ocupada en la conexión estrella, pero ahora con corriente nominal de 13 amperes y su voltaje en conexión delta es de 220V para el motor de rotor devanado D00208:

$$\%Reducción = \frac{R * I_n}{U} = \frac{25.86 * 13}{220} = 1.528$$

Con este resultado notamos que realmente todo el voltaje suministrado al motor se quedara en las resistencias estatoricas por lo cual no podrá ponerse en marcha el motor.

### **2.4.3 Arranque con resistencias rotóricas.**

Igual llamado como arranque por resistencias secundarias. Al hablar sobre este método nos referimos al uso de motores de inducción de rotor devanado, debido a la posibilidad de emplear en las terminales (bornes) del rotor un banco de resistencias en las cuales su principal característica es que sin importar el valor de resistencia tienen un punto común para cerrar el circuito. Para el caso de las resistencias se ocupan valores muy pequeños y el método empieza utilizando el mayor valor óhmico de ellas y posteriormente se van sacando gradualmente hasta llegar a cortocircuitarlas.

Por cuestión del calentamiento en las resistencias rotóricas, debe tenerse un tiempo de

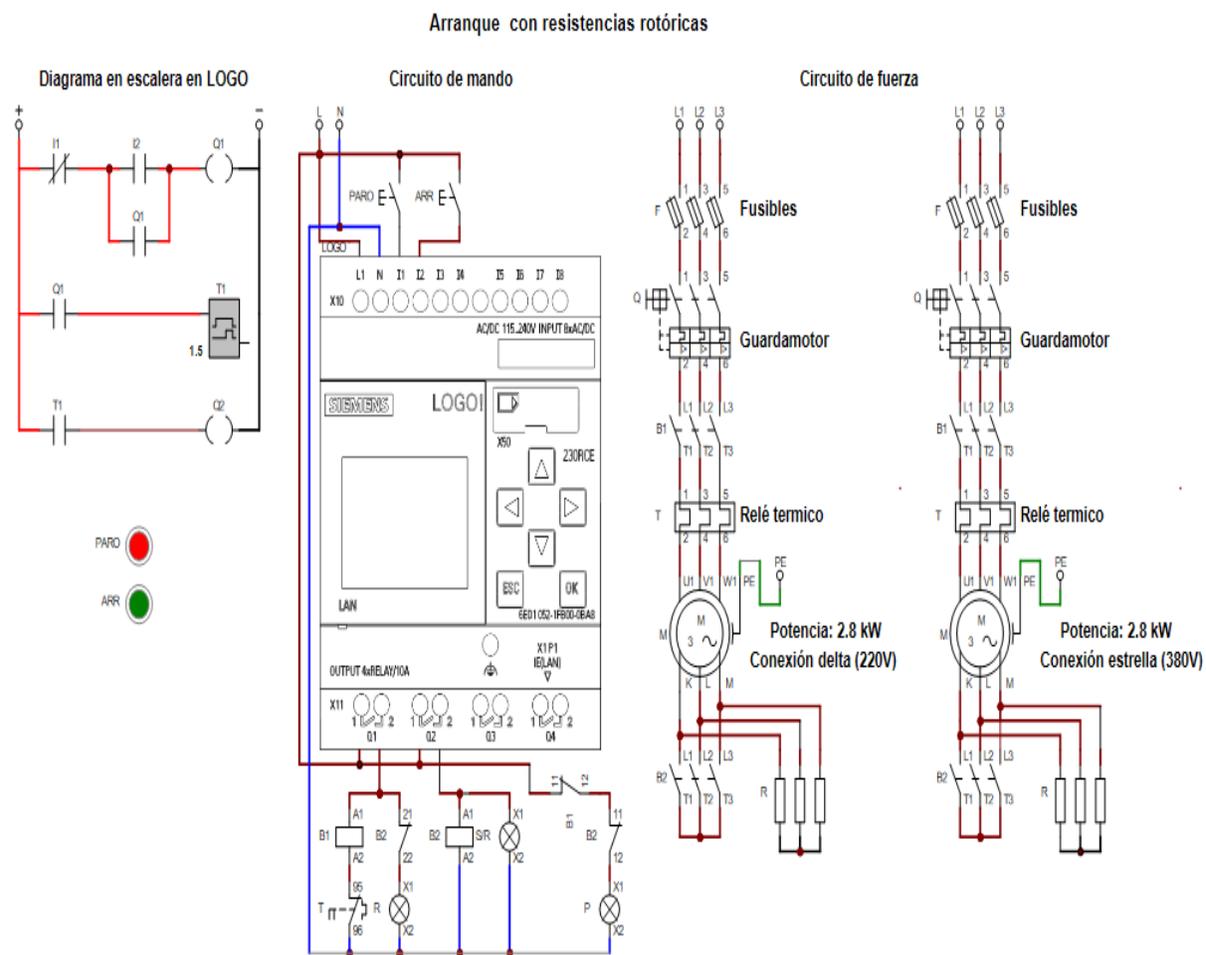
espera entre cada arranque de forma que la temperatura de inicio sea la de ambiente.

*Ventajas.*

- Mejora el factor de potencia.
- Mejora el torque de arranque.

*Desventajas:*

- Su número de arranques de hora depende del diseño del equipo de resistencias. (6)



**Diagrama 5. Arranque con resistencias rotóricas para conexión tanto estrella como delta del motor de rotor devanado D00208 en CADE-SIMU.**

*Explicación:*

El funcionamiento se basa en lo siguiente cuando se oprime el pulsador I2 activa la salida del relé Q1 con su respectivo enclave, que a su vez energiza la bobina del contactor B1

junto con su lámpara de señalización R para cerrar sus contactos de fuerza y poner en marcha el motor con las resistencias, activa el timer T1 de 1.5s y desactiva la lámpara de señalización P. Pasados los 1.5s del timer T1 activa la salida del relé Q2 para energizar la bobina del contactor B2 que permite apagar la lámpara de señalización R y encender la lámpara de señalización S/R, además de cerrar sus contactos de fuerza para sacar las resistencias y con ello el motor llegue a su velocidad nominal debido a que el rotor se queda cortocircuitado. Para detener el motor basta accionar el pulsador PARO y se enciende nuevamente la lámpara de señalización P.

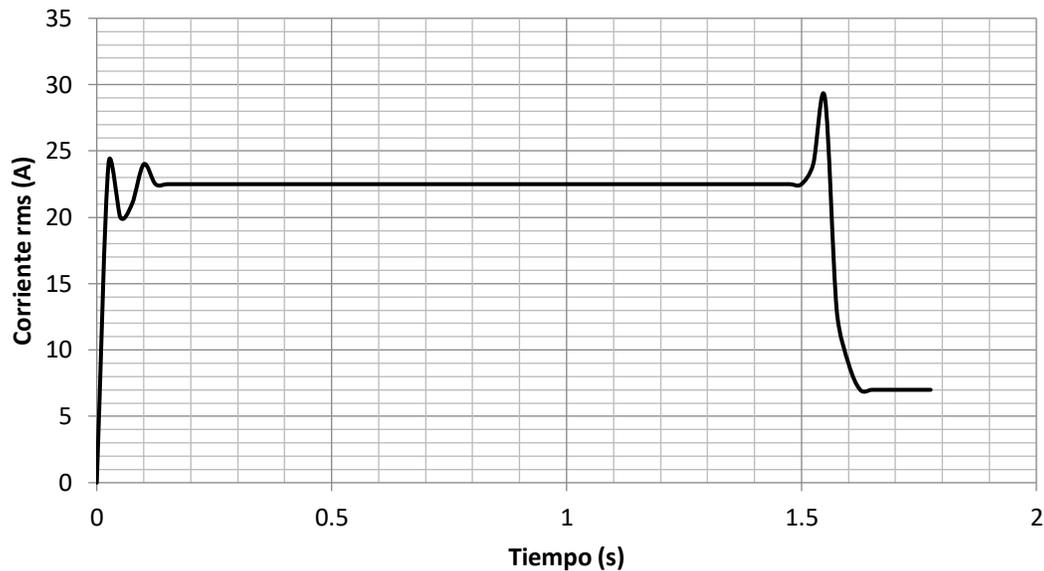
Los valores de corriente correspondientes a esta experimentación se plasman en la siguiente tabla.

**Tabla 5.- Corriente de arranque con resistencias rotóricas del motor de rotor devanado D00208 conexión estrella.**

<b>Motor de rotor devanado conexión estrella 380 Volts</b>	
<b>Corriente rms de arranque (Amperes)</b>	<b>Tiempo (segundos)</b>
0	0
*24	0.025
20	0.05
21	0.075
24	0.1
22.5	0.125 – 1.5
24	1.525
29	1.55
13	1.575
9	1.6
7	1.625
7	1.65
7	1.675
7	1.7
7	1.725
7	1.75
7	1.775

\*Corriente máxima registrada al arranque.

Así, el grafico correspondiente a los valores anteriores es el siguiente.



**Gráfica 5.- Corriente – Tiempo de arranque por resistencias rotóricas del motor de rotor devanado D00208 conexión estrella.**

Durante la prueba se conectó un reóstato de arranque con una resistencia de  $4.65 \Omega$  / fase, como se indica en el diagrama del circuito anterior. Al energizar el estator el motor comenzó a acelerar, pero debido al uso de las resistencias en el rotor, la corriente se vio limitada a 24 amperes, esto porque su impedancia aumenta por la presencia de resistencias en el rotor, similar a lo que sucedió en la prueba por resistencias estáticas.

Al cortocircuitar las resistencias, la corriente tiende a elevarse de nuevo, alcanzando un pico de 29 amperes.

De esta forma, como en el caso anterior, se midió la corriente, con la diferencia que ahora se trata de una conexión delta. Los valores obtenidos se presentan en la tabla siguiente.

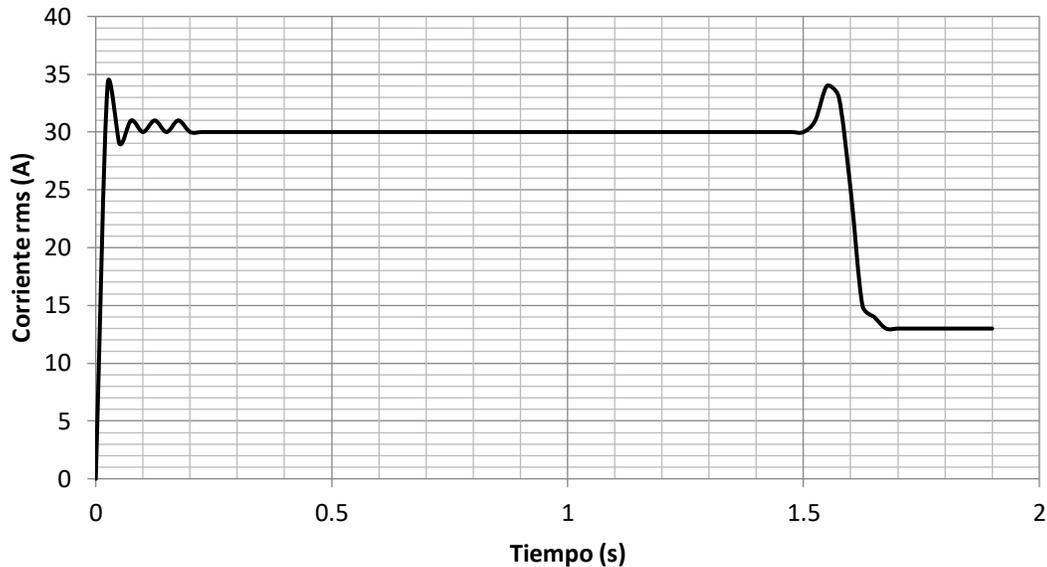


**Tabla 6.- Corriente de arranque con resistencias rotóricas del motor de rotor devanado D00208 conexión delta.**

<b>Motor de rotor devanado a 220 Volts</b>	
<b>Corriente rms de arranque (Amperes)</b>	<b>Tiempo (segundos)</b>
0	0
*34	0.025
29	0.05
31	0.075
30	0.1
31	0.125
30	0.15
31	0.175
30	0.2 – 1.5
31	1.525
34	1.55
33	1.575
25	1.6
15	1.625
14	1.65
13	1.675
13	1.7
13	1.725
13	1.75
13	1.775
13	1.8
13	1.825
13	1.85
13	1.875
13	1.9

**\*Corriente máxima registrada al arranque.**

Los valores de la tabla 6 muestran el comportamiento de la corriente en el tiempo, tal y como lo muestra la gráfica 6.



**Gráfica 6.- Corriente - Tiempo de arranque por resistencias rotóricas del motor de rotor devanado D00208 conexión delta.**

De la misma forma, se realizó la misma prueba de resistencias rotóricas pero conectando el motor en delta, aquí la corriente es mayor que la experimentación anterior. La corriente disminuyó de forma considerable debido a que el pico máximo fue de 34 amperes con las resistencias en servicio.

*Nota de laboratorio:*

Durante esta práctica, se debe tener cuidado en la selección de la resistencia, ya que se realizaron distintas pruebas con resistencias de mayor valor óhmico, el comportamiento no es el deseado ya que al tener una resistencia muy alta la corriente que se induce en el rotor es mínima, así el motor se ve forzado en su arranque produciendo vibraciones y debido a que su tiempo de arranque se ve retardado, las protecciones de la instalación tienden a operar (los fusibles se funden), al igual el aislante del motor puede sufrir daños considerables. Y finalmente el reóstato empleado para el arranque es solo y exclusivamente para el arranque, ya que no puede ser usado para fines de control de velocidad, esto implicaría que el reóstato fuera de servicio continuo, en otras palabras, se requeriría un reóstato con mayor potencia para evitar que sus resistencias se quemen.

### 2.4.4 Arranque con autotransformador.

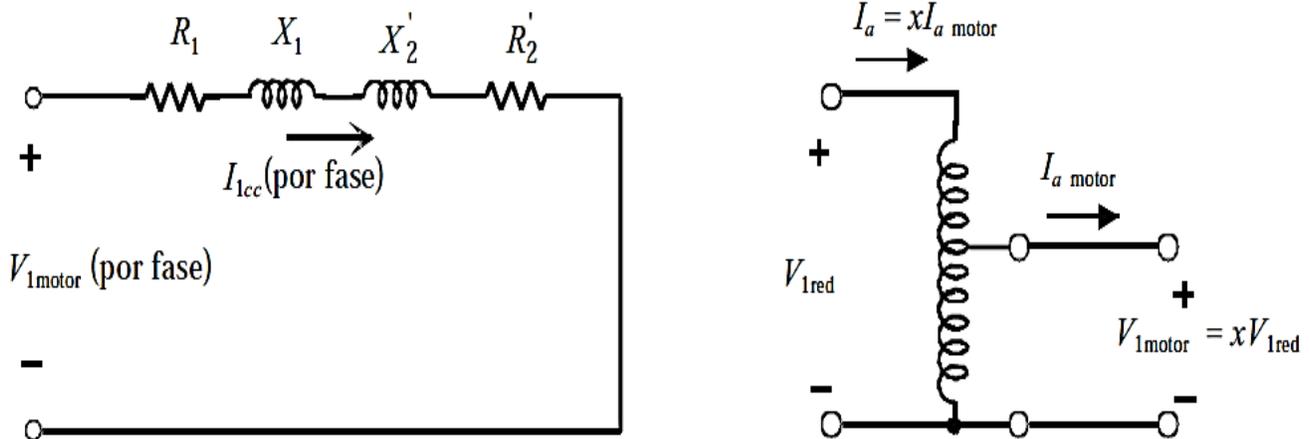
Otro método para el arranque de motores trifásicos es mediante el uso de un autotransformador como se muestra en la siguiente figura, la finalidad de éste aparato es ir alimentando poco a poco con voltaje a las terminales (bornes) del estator. Los valores o porcentajes de cada paso pueden variar de acuerdo al diseño del autotransformador, sin embargo los valores más comunes son de 55%, 65% y 80%. El tiempo entre cada paso deber ser muy corto rondando los 2 segundos aproximadamente.

*Ventajas:*

- Tiene regulación de la corriente de arranque.
- Buena relación de par/intensidad.

*Desventajas:*

- Alto costo. (6)



**Fig. 10.- Circuito equivalente en el arranque con autotransformador. (2)**

En la figura 10 se muestra el circuito equivalente de un autotransformador alimentando a tensión reducida el motor. El voltaje que recibe el motor se puede representar como un porcentaje del voltaje de la tensión de la red (2):

$$V_{reducido} = V_{1motor} = x * V_{red}$$

La corriente que absorbe el motor al arranque es:

$$I_{a\ motor} = \frac{x * V_{red}}{Z_{cc\ del\ motor}}$$

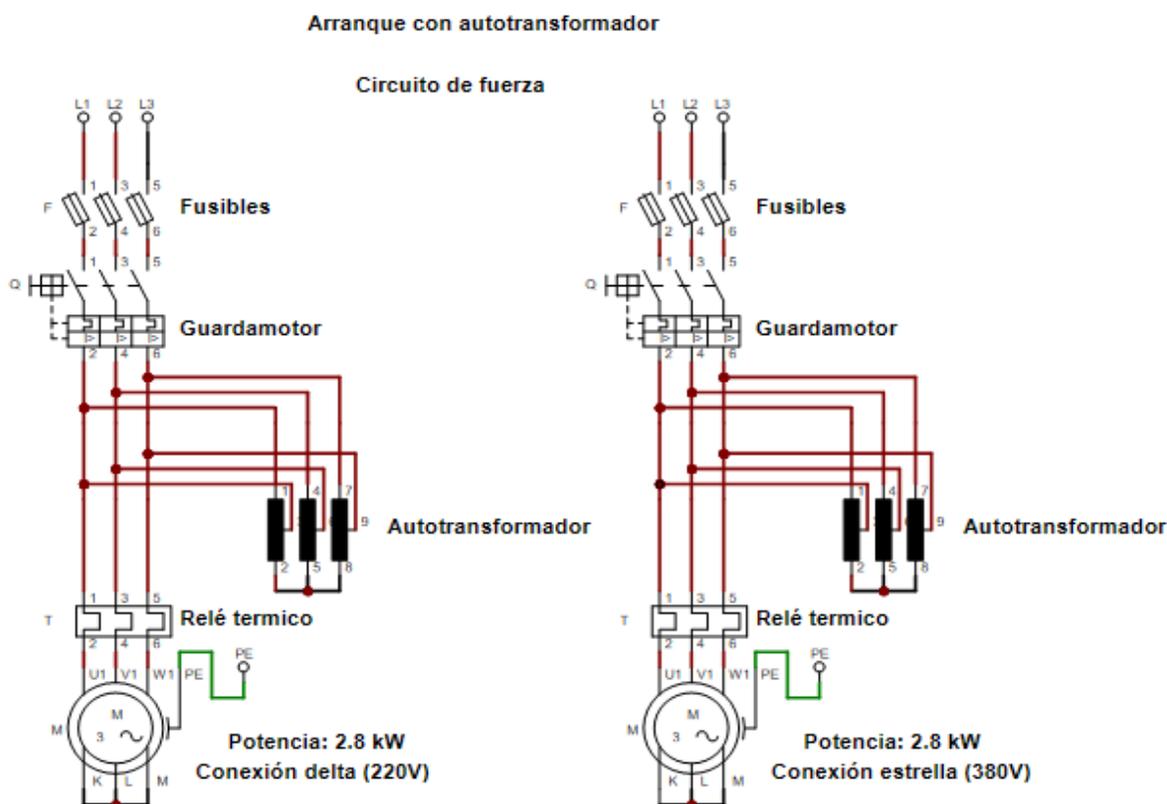
De acuerdo a 2.1

$$I_{arranque} = \frac{V_1}{Z_{cc \text{ del motor}}} = \frac{V_{red}}{Z_{cc \text{ del motor}}} = \text{corriente de arranque a tensión plena}$$

$$\therefore I_{a \text{ motor}} = x * I_{arranque}$$

De esta forma la corriente de línea es:

$$I_a = x * I_{a \text{ motor}}$$



**Diagrama 6. Arranque con autotransformador para conexión tanto estrella como delta del motor de rotor devanado D00208 en CADE-SIMU.**

Explicación:

Para la puesta en marcha debemos cerrar el interruptor general (fusibles) F, luego presionar el interruptor del guardamotor Q para que con ello se interconecten las líneas de alimentación al autotransformador, después se debe ir seleccionando el porcentaje de salida (voltaje) para que de esta forma alimente al motor a tensión reducida.

A continuación se presentan las tablas con los porcentajes de tensiones que se utilizaron y los valores de corriente al arranque.

**Prueba de autotransformador conexión delta.**

**Tabla 7.- Porcentaje de tensión - conexión delta**

<b>Arranque por autotransformador.</b>		
<b>Motor de rotor devanado conexión delta 220 Volts</b>		
<b>Toma 1</b>	121 V	55%
<b>Toma 2</b>	143 V	65%
<b>Toma 3</b>	176 V	80%
<b>Tensión nominal</b>	220 V	100%

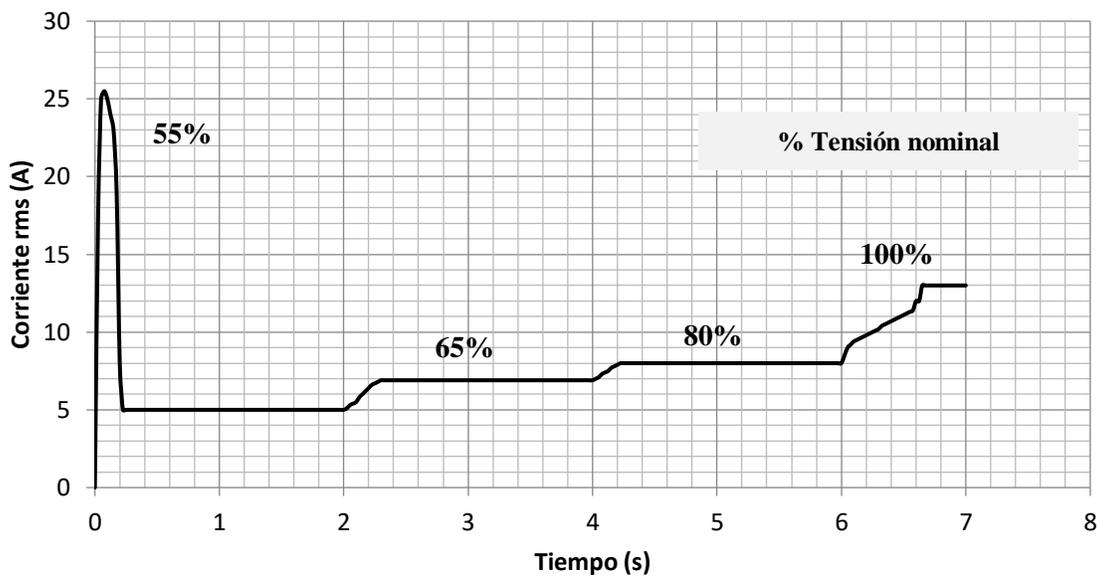
Los valores de corriente obtenidos en la prueba por autotransformador son los siguientes.

**Tabla 8.- Corriente de arranque por autotransformador del motor de rotor devanado D00208 conexión delta.**

<b>Corriente rms de arranque (Amperes)</b>	<b>Tiempo (segundos)</b>	<b>% de tensión reducida</b>
0	0	55%
17	0.025	
25	0.05	
*25.5	0.075	
25	0.1	
24	0.125	
23	0.15	
19	0.175	
8	0.2	
5	0.225 – 2	
5.1	2.025	65%
.		
.		
6.9	2.3 – 4	
7	4.025	80%
.		
.		
8	4.25 – 6	
8.5	6.025	100%
.		
.		
13	6.65	

\*Corriente máxima registrada al arranque.

Gráfico de los valores de corriente de la tabla 8, indicando la intensidad en cada porcentaje de tensión.



**Gráfica 7.- Corriente - Tiempo de arranque por autotransformador del motor de rotor devanado D00208 conexión delta.**

La prueba se realizó, primero conectando el motor en delta. Al arranque se suministró el 55% de la tensión nominal, dando un tiempo de dos segundos entre cada toma para pasar al 65%, al 80% y a su tensión nominal. Como en todos los métodos, se registró un pico al arranque de 25.5 amperes pero no de tal magnitud como el del arranque a tensión plena.

De acuerdo a la expresión de la corriente al arranque del motor se obtiene su intensidad de forma teórica:

$$I_{a \text{ motor}} = (0.55) * 67A = 36.85 A - \text{teórica}$$

$$I_{a \text{ motor}} = 25.5 A - \text{práctica}$$

Así de la misma forma que en la conexión delta, se realizó la prueba por autotransformador en la conexión estrella, indicando los porcentajes de tensión y valores de corriente como se muestran en las siguientes tablas.

**Prueba de autotransformador conexión estrella.**

**Tabla 9.- Porcentaje de tensión - conexión estrella.**

<b>Arranque por autotransformador.</b>		
<b>Motor de rotor devanado conexión estrella 380 Volts</b>		
<b>Toma 1</b>	209 V	55%
<b>Toma 2</b>	247 V	65%
<b>Toma 3</b>	304 V	80%
<b>Tensión nominal</b>	380 V	100%

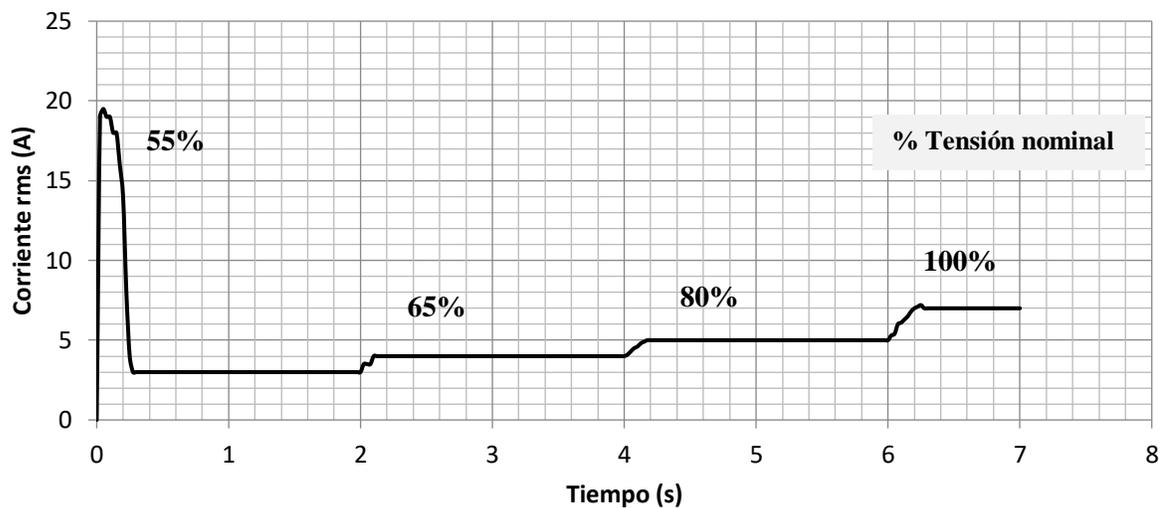
Los valores de corriente obtenidos de acuerdo al porcentaje de tensión de la tabla 9 son los siguientes.

**Tabla 10.- Corriente de arranque por autotransformador del motor de rotor devanado D00208 conexión estrella.**

<b>Corriente rms de arranque (Amperes)</b>	<b>Tiempo (segundos)</b>	<b>% de tensión reducida</b>
0	0	55%
19	0.025	
*19.5	0.05	
19	0.075	
19	0.1	
18	0.125	
18	0.15	
16	0.175	
14	0.2	
8	0.225	
4	0.25	
3	0.275 - 2	
3.5	2.025	
.	.	
.	.	
4	2.1 - 4	80%
4.1	4.025	
.	.	
.	.	100%
5	4.65 - 6	
6.1	6.025	
.	.	
.	.	
7	6.275	

\*Corriente máxima registrada al arranque.

El gráfico que se presenta a continuación representa el comportamiento de acuerdo a la tensión que se le iba dando al motor en la conexión estrella.



**Gráfica 8.- Corriente - Tiempo de arranque por autotransformador del motor de rotor devanado D00208 conexión estrella.**

De la misma forma se probó el método por autotransformador conectando el motor en estrella, la gráfica anterior muestra el comportamiento del motor conforme las tomas de tensión van entrando en servicio, tal como se explicó en la configuración delta, registrando un pico al arranque de 19.5 A.

$$I_{a\ motor} = (0.55) * 38\ A = 20.9\ A - \text{teórica}$$

$$I_{a\ motor} = 19.5\ A - \text{práctica}$$

La ventaja de este método es que ya en aplicaciones, si el motor no arranca con la toma más baja del autotransformador, el usuario puede cambiar la toma de tal forma que el motor pueda acelerarse.

#### **2.4.5 Arrancador suave.**

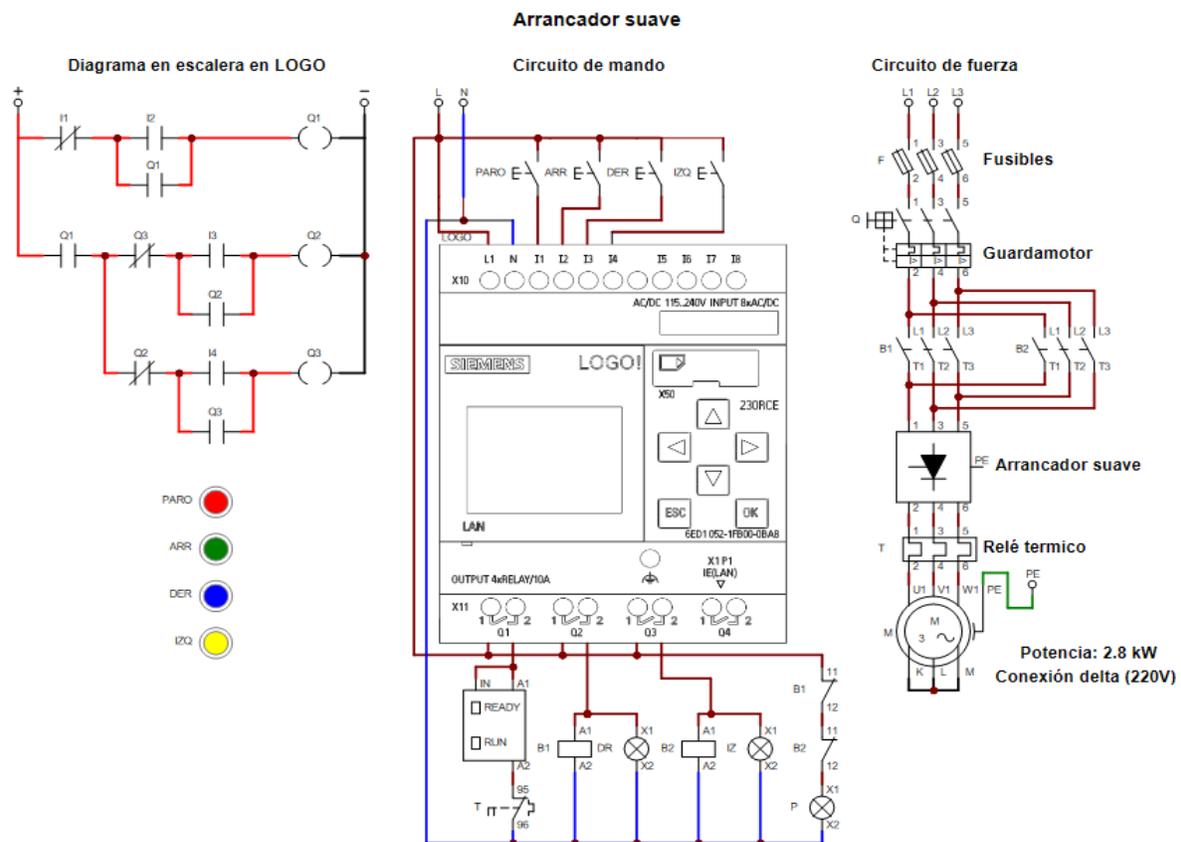
Esto se deriva al uso de un dispositivo del mismo nombre en el cual se realiza una interconexión entre las líneas de alimentación y el motor por medio de éste, su principio de funcionamiento es no permitir que llegue de lleno la tensión nominal de acuerdo a la conexión del motor, para ello ajustando una rampa de arranque el propio arrancador suave se configura para mandar pulsos que gradualmente van incrementando hasta llegar a la



tensión nominal. Además de la rampa conocida como de subida se pueden configurar; la rampa de bajada (frenado) y el par de arranque (torque inicial).

*Ventajas:*

- Su instalación no es complicada.
- El equipo tiene gran duración.
- Buena regulación de la corriente de arranque y el par.
- No tiene limitación de números de arranques por tiempo. (6)



**Diagrama 7. Arranque por arrancador suave para conexión delta del motor de rotor devanado D00208 en CADE-SIMU.**

Explicación:

Al presionar el pulsador I2 activa la salida del relé Q1 que a su vez alimenta la bobina del arrancador suave y queda en posición de Standby (modo espera). Luego si se aprieta el pulsador DER (I3) activa la salida del relé Q2 con su respectivo enclave al igual que un contacto NC para no permitir que sea activado Q3, también energiza la bobina del contactor

B1 junto con su lámpara de señalización de esa forma se apaga la lámpara de señalización P y por último cierra sus contactos de fuerza para que el motor gire a la derecha. Para cambiar de sentido de giro hay que primero apretar el pulsador de PARO para desconectar todo y volver a encender la lámpara de señalización P. Entonces se vuelve a apretar el pulsador ARR (I2) para activar la salida del relé Q1 con ello alimentamos la bobina del arrancador suave. Posteriormente se aprieta el pulsador I4 para activar la salida del relé Q3 activando el contacto NC de éste mismo para no permitir activar la salida Q2, paralelamente energiza la bobina del contactor B2 junto con su lámpara de señalización IZ, también apaga la lámpara de señalización P y activa los contactos de fuerza B2 para que el motor gire en sentido antihorario. Ambos sentidos de giro son puestos en marcha con el arrancador suave y son detenidos con el pulsador PARO.

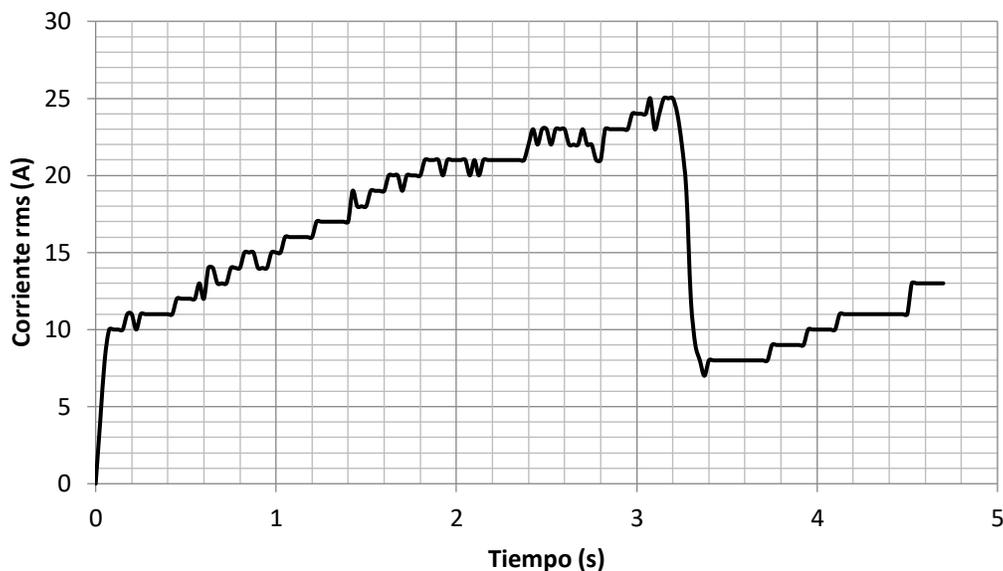
El valor de corriente que se obtuvo en el circuito anterior, se presenta en la tabla 11.

**Tabla 11.- Corriente de arranque con arrancador suave del motor de rotor devanado D00208 conexión delta.**

Corriente rms de arranque (Amperes)	Tiempo (segundos)
0	0
4	0.025
8	0.05
10	0.075 - 0.15
11	0.175 - 0.425
12	0.475 - 0.6
.	
.	
16	1.05 - 1.2
.	
.	
17	1.225 - 1.4
.	
.	
20	1.625 - 1.8
.	
.	
21	1.825 - 2.375
.	
.	
*25	3.15
.	
.	
13	4.525

**\*Corriente máxima registrada al arranque.**

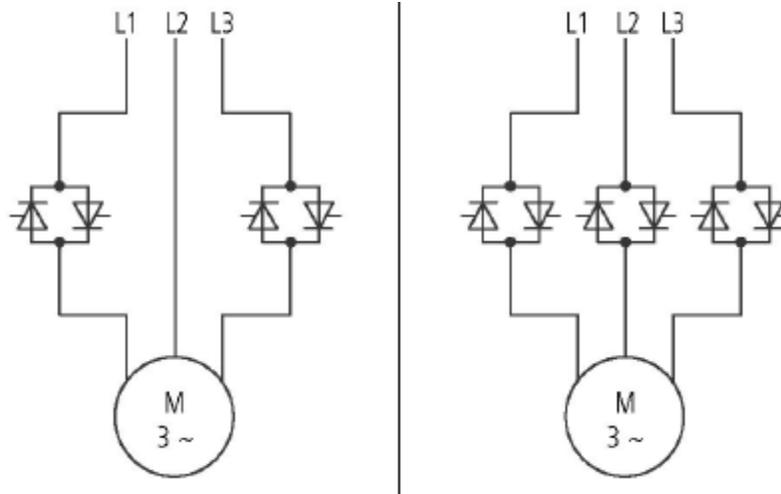
Representación gráfica de los valores de la tabla 11.



**Gráfica 9.- Corriente - Tiempo de arrancador suave del motor de rotor devanado D00208 conexión delta.**

La gráfica anterior nos muestra el arranque progresivo que tuvo durante la experimentación el motor de rotor devanado, este tipo de arranque se logra configurando una rampa de aceleración en el arrancador suave, de esta forma el motor va adquiriendo su voltaje nominal de acuerdo al tiempo de rampa establecido, proporcionando un arranque suave, donde no se produjeron vibraciones en la máquina, por obvias razones la corriente al arranque se ve reducida.

Este tipo de arranque es empleado en aplicaciones donde métodos como el estrella-delta no pueden ser utilizados, la desventaja que presentan estos dispositivos es que su funcionamiento se basa en dos tiristores (SCR) conectados en antiparalelo en las líneas de los motores, en aplicaciones, utilizar este tipo de arrancadores ocasiona la introducción de armónicas, las cuales deforman la señal senoidal del sistema eléctrico, y en las líneas de los motores, la mayoría de arrancadores suaves solo controlan dos fases, como se muestra en la figura siguiente.



**Fig. 11.- Número de fases controladas en arrancadores suaves.**

En motores donde solo se controlan dos fases, originan un desequilibrio en la otra fase que no es controlada, es decir la corriente no se ve reducida en comparación con las otras dos. En la figura anterior del lado derecho, muestra un arrancador que controla las tres fases, el inconveniente es que este tipo de arrancadores por lo general se encuentran disponibles para motores de 7.5 kW en adelante para aplicaciones de mayor exigencia.

*Nota de laboratorio:*

Esta prueba sólo se logró realizar con la conexión delta debido a que el arrancador suave dentro de sus características menciona que el voltaje de salida máximo es de 300V. Para lograr la curva que se menciona anteriormente se ajustaron los parámetros de rampa de subida a 4.7 seg y un torque inicial de 20%.

La configuración de la rampa de aceleración debe ser un tiempo considerable, es decir un tiempo muy corto equivaldría a un arranque directo y la aplicación del arrancador no tendría ningún efecto.

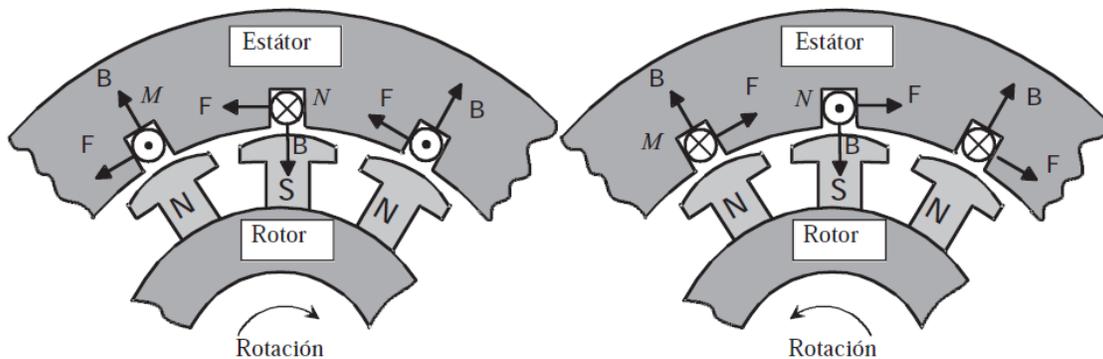
**2.5 Máquina síncrona trifásica D00206NT.**

El modelo D0026NT es un tipo de máquina trifásica síncrona, este tipo de máquina requiere ser alimentada por dos tipos de fuentes; una de corriente alterna y otra de corriente continua. Está constituida por un arrollamiento trifásico llamado inducido o estator donde se alimenta por corriente alterna produciendo un campo magnético alterno, la parte del

inductor o rotor que se alimenta de corriente continua, el cual produce un campo magnético fijo y en algunas máquinas, contiene un devanado amortiguador que protege a la máquina de ciertos fenómenos transitorios y sobre todo, este devanado hace posible que un motor síncrono pueda arrancar por sí mismo. La característica principal de este tipo de máquinas cuando trabaja como motor, es que su velocidad permanece constante con carga o sin carga. (5)

### 2.5.1 Arranque de un motor síncrono.

Los motores síncronos presentan una gran desventaja al arranque, la cual es que carecen de par de arranque. Si consideramos que el rotor está en reposo y se alimenta el inducido, éste producirá un campo giratorio donde se producirán polos alternos, tal y como lo muestra la figura 12.



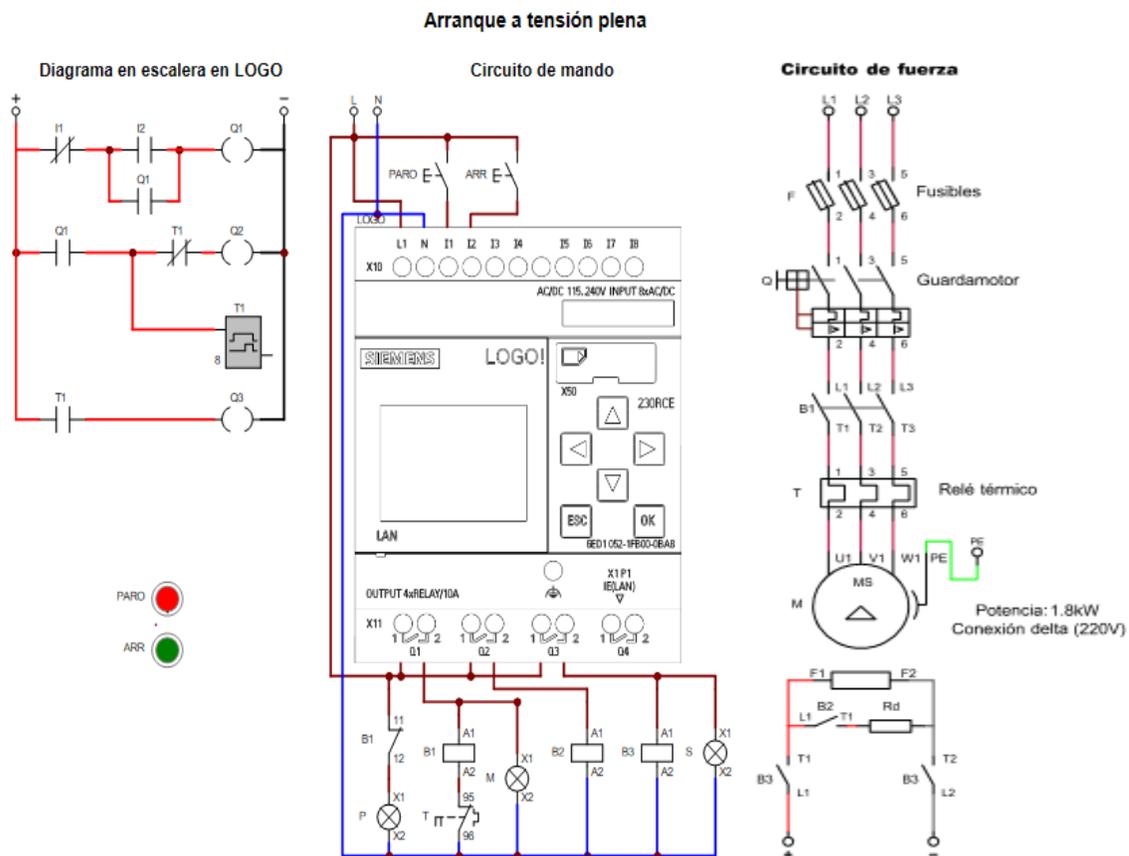
**Fig. 12.- Proceso de arranque en motores síncronos. (2)**

En primera instancia el inducido producirá un polo norte, lo que atraerá un polo sur del rotor haciéndolo girar en sentido de las manecillas del reloj, medio ciclo después la corriente que circula por el inducido cambia de dirección y cambia de polaridad, haciendo que el rotor gire pero ahora en sentido contrario al de las manecillas del reloj, de esta forma el par se anula, por lo que un motor síncrono no puede ser puesto en marcha desde la condición de reposo, (2) para ello se emplean ciertos métodos donde el objetivo es llevar al motor a una velocidad cercana a la de sincronismo, los métodos que regularmente se emplean son:

- Arranque con un motor auxiliar.
- Arranque como motor de inducción.

## 2.5.2 Arranque a tensión plena.

Para la prueba de laboratorio que se realizó con la máquina D0026NT, se utilizó únicamente el “arranque como motor de inducción”, de esta forma en un motor síncrono al arrancar como uno asíncrono es posible limitar su corriente de arranque, este tipo de arranque se vuelve un poco más complejo debido a que no solo se debe tener en cuenta el tiempo de arranque, sino también el tiempo que tarda el motor en alcanzar aproximadamente el 80% de su velocidad síncrona para alimentar el campo con corriente continua.



**Diagrama 8. Arranque a tensión plena para conexión delta del motor síncrono D00206NT en CADE-SIMU.**

### Explicación:

Cuando es accionado el pulsador ARR (I2) se activa la salida del relé Q1 junto con su enclave, Q1 al cerrar su contacto NA activa la salida del relé Q2 y del timer T1, de forma

simultánea se energizan las bobinas de los contactores B1 y B2, con lo cual B1 permite abrir su contacto NC para apagar la lámpara de señalización P al igual que encender la lámpara de señalización M y cerrar sus contactos de fuerza, en el caso de B2 cierra su contacto de fuerza para meter la resistencia de descarga Rd y así el motor empiece a funcionar como asíncrono. Posteriormente de haber transcurrido el tiempo del timer T1 desenergiza la bobina del contactor B2 para sacar la resistencia de descarga Rd al mismo tiempo se activa la salida del relé Q3 para energizar la bobina del contactor B3, encender la lámpara de señalización S y a su vez B3 cierra sus contactos de fuerza que permiten la alimentación de c.d para sincronizar el motor. Apretando el pulsador de PARO en cualquier momento puede detener el motor y enciende nuevamente la lámpara de señalización P. Valores de corriente obtenidos en el motor síncrono de acuerdo a la explicación anterior.

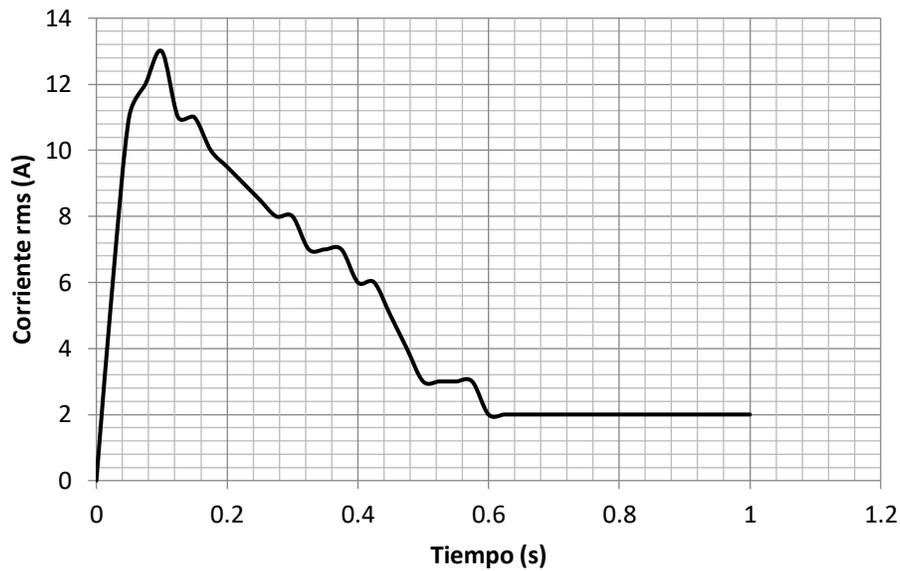
**Tabla 12.- Corriente de arranque a tensión plena del motor síncrono D00206NT conexión delta.**

<b>Motor síncrono D00206NT a 220 Volts</b>	
<b>Corriente rms de arranque (Amperes)</b>	<b>Tiempo (segundos)</b>
0	0
6	0.025
11	0.05
12	0.075
*13	0.1
11	0.125
11	0.15
10	0.175
9.5	0.2
9	0.225
8.5	0.25
8	0.275
8	0.3
7	0.325
7	0.35
7	0.375
6	0.4
6	0.425
5	0.45
4	0.475

3	0.5
3	0.525
3	0.55
3	0.575
2	0.6
2	0.625
2	0.65
2	0.675
2	0.7
2	0.725
2	0.75
2	0.775
2	0.8
2	0.825
2	0.85
2	0.875
2	0.9
2	0.925
2	0.95
2	0.975
2	1

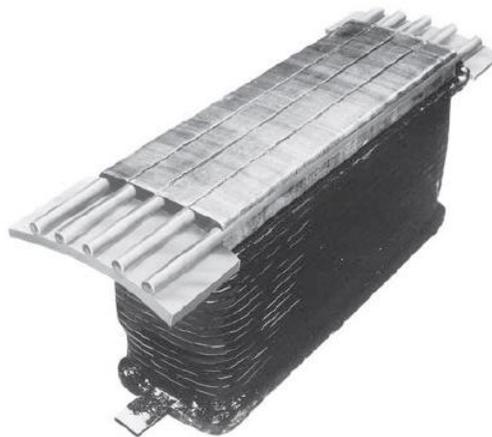
\*Corriente máxima registrada al arranque.

Representación gráfica de los valores de corriente de la tabla 12.



**Gráfica 10.- Corriente - Tiempo de arranque a tensión plena del motor síncrono D00206NT conexión delta.**

Para esta prueba el motor comenzó a funcionar como uno asíncrono gracias a que esta máquina cuenta con un devanado amortiguador, este devanado amortiguador, es parecido al de uno de jaula de ardilla (ver figura 13).



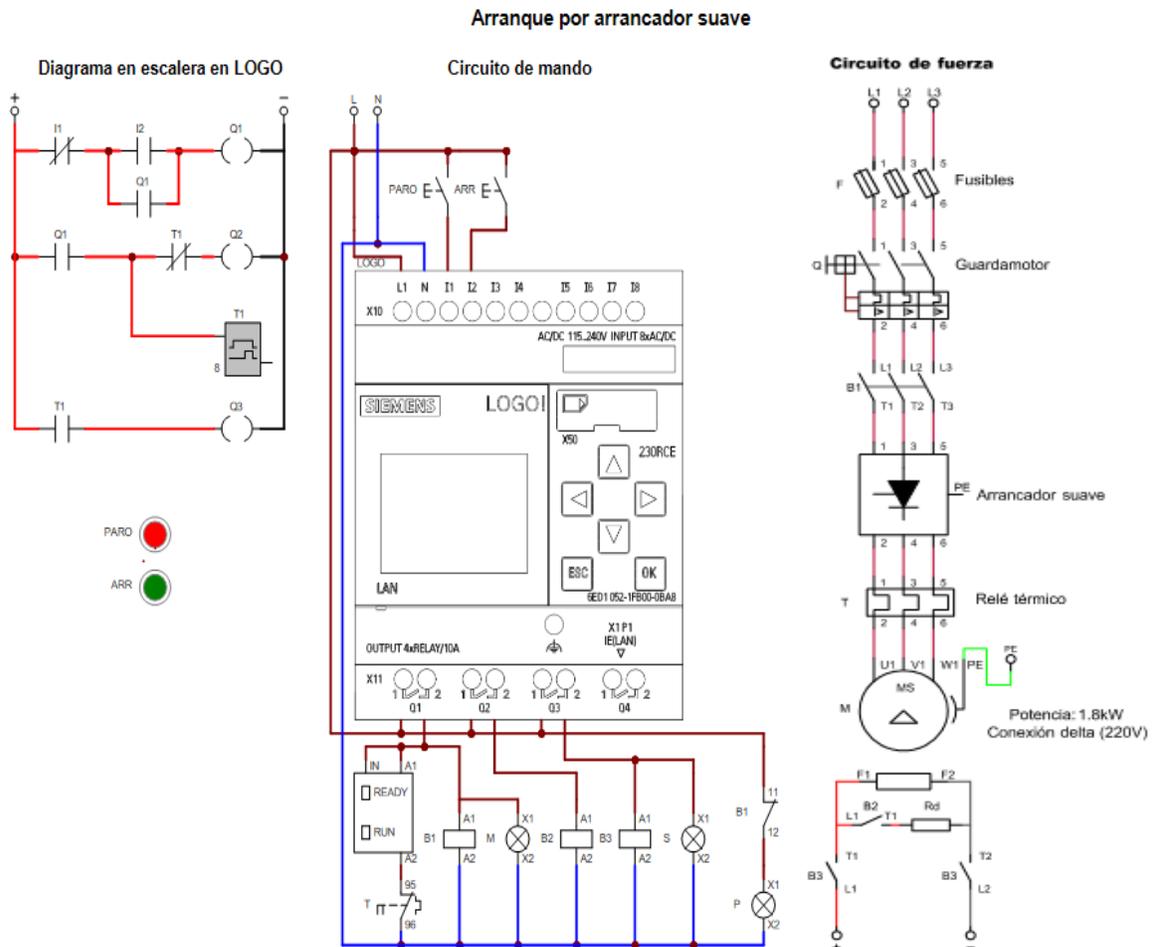
**Fig. 13.- Devanado amortiguador en máquina síncrona. (5)**

Este devanado son una serie de barras que se alojan en las caras de los polos del rotor. De esta forma se inducen corrientes como en uno de jaula de ardilla, haciendo que el motor



gire. Los devanados amortiguadores no son para uso continuo en máquinas síncronas, por lo que solo deben ser empleados al arranque. La gráfica anterior muestra el comportamiento de su corriente al arranque, de la misma forma que en el asíncrono de rotor devanado registró una corriente máxima, la cual fue de 13 amperes.

### 2.5.3 Arrancador suave.



**Diagrama 9. Arranque por arrancador suave para conexión delta del motor síncrono D00206NT en CADE-SIMU.**

Explicación:

Al presionar el pulsador ARR (I2) se activa la salida del relé Q1 al igual que su enclave, Q1 por su parte cierra su contacto NA para activar la salida del relé Q2 y el timer T1. Q1 también energiza la bobina del arrancador suave, la bobina del contactor B1 y la lámpara de

señalización M. Mientras que B1 abre su contacto NC para apagar la lámpara de señalización P y cerrar sus contactos de fuerza para la interconexión de las líneas de alimentación con el arrancador suave y a su vez permita arrancar el motor de forma asíncrona. Simultáneamente Q2 energiza la bobina del contactor B2, para que así B2 cierre su contacto NA y entre la resistencia de descarga. Pasado el tiempo del timer T1 desactiva la salida del relé Q2, con ello se desenergiza la bobina del contactor B2 y saca la resistencia de descarga, al mismo tiempo un contacto NA del timer T1 se cierra y activa la salida del relé Q3 que permite energizar la bobina del contactor B3 y la lámpara de señalización S, por su parte B3 cierra sus contactor de fuerza para alimentar al devanado del campo con c.d y permitir la sincronización del motor. Para detener el motor basta accionar el pulsador PARO en cualquier momento del proceso y con ello encender la lámpara de señalización P. Los valores de corriente obtenidos con arrancador suave en conexión delta se muestran en la siguiente tabla, de acuerdo a la secuencia anterior del diagrama 9.

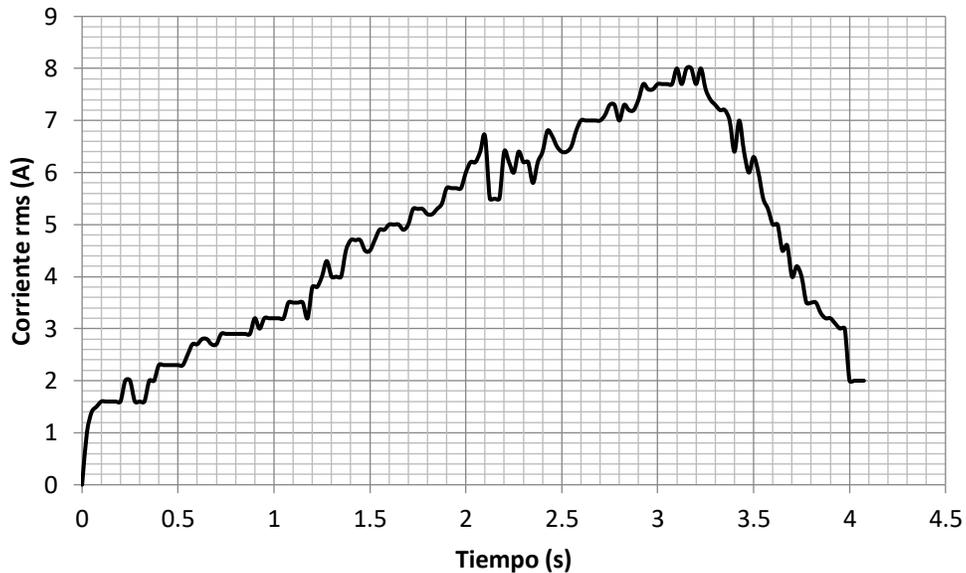
**Tabla 13.- Corriente de arranque con arrancador suave del motor síncrono D00206NT conexión delta.**

<b>Motor síncrono D00206NT conexión delta</b>	
<b>Corriente rms de arranque (Amperes)</b>	<b>Tiempo (segundos)</b>
0	0
1	0.025
1.4	0.05
1.5	0.075
1.6	0.1 - 0.2
2	0.225 - 0.25
1.6	0.275 - 0.325
2	0.35 - 0.375
2.3	0.4 - 0.525
2.5	0.55
2.7	0.575 - 0.6

2.8	0.625 - 0.65
.	
.	
3.2	0.95 - 1.05
.	
.	
*8	3.1
.	
.	
3.5	3.775 - 3.825
.	
.	
2	4

\*Corriente máxima registrada al arranque.

Los valores anteriores, se pueden visualizar más a detalle como se muestra en la gráfica siguiente, en el cual, al igual que en las experimentaciones anteriores se especifica la corriente en función del tiempo.



**Gráfica 11.- Corriente - Tiempo de arrancador suave del motor síncrono D00206NT conexión delta.**

En la prueba con el arrancador suave a la máquina síncrona D00206NT, el funcionamiento del arrancador es el mismo que en el de inducción, se produjo una rampa de aceleración, en primera instancia el motor comenzó a girar como uno asíncrono (sin alimentar el campo). Como un motor de inducción redujo la corriente, en este caso de 13 amperes a 8 amperes. Durante el tiempo que estuvo trabajando como motor de inducción se midió su velocidad en el rotor siendo inferior a la de sincronismo de placa, como se muestra en la tabla 14.

**Tabla 14.- Velocidad medida en la flecha del motor síncrono D00206NT.**

Velocidad asíncrona	Velocidad síncrona de placa
1777 rpm	1800 rpm

Después del proceso de arranque, se dio un tiempo de 6 segundos a que el motor se aproximara a su velocidad de sincronismo, enseguida se alimentó el campo con corriente continua, de igual forma se midió su velocidad, así se determina que el motor se encuentra sincronizado de forma correcta.

*Notas de laboratorio:*

La gráfica 11 se obtuvo con el ajuste de los parámetros de rampa de subida a 3.3 seg y torque inicial de 20%.

Para la sincronización, como se observa en el diagrama se conectó una resistencia de descarga en el devanado de campo, ya que mientras el motor gira como uno de inducción, se inducen altos voltajes en el devanado de campo, por lo que puede ser peligroso para la persona que este manejando el equipo. Al inicio de la experimentación se omitió esta resistencia, al arranque en los contactos abiertos que aislaban las terminales del campo respecto a las de la fuente de corriente continua, se produjo un arco entre los contactos. La función de dicha resistencia es impedir que estos altos voltajes puedan llegar a dañar al equipo y al usuario, de acuerdo a la literatura, la resistencia de descarga debe ser de 10 a 15 veces la resistencia del devanado de campo.

En general, todas las experimentaciones anteriores se pueden comparar como se muestra en la tabla 15, de tal forma que se observa el efecto de cada método en cada motor utilizado.

**Tabla 15.- Corrientes de arranque en máquinas de corriente alterna D00208 y D00206NT.**

Máquina	Conexión	Corriente en métodos de arranque de motores Didacta Italia					
		Tensión plena	Estrella-delta	Resistencias estáticas	Resistencias rotóricas	Autotransformador	Arrancador suave
D00208	Estrella	38 A	23 A	7 A	24 A	19 A	*
	Delta	67 A		#	34 A	25.5 A	25 A
D00206NT	Delta	13 A					8 A
*Arrancador solo a 220V							
# Resistencia muy grande para esta configuración							

Cada método cumplió con el objetivo que se esperaba, la intensidad al arranque demandada se vio reducida comparándola con la obtenida a tensión plena, claro que cada uno la redujo menos que otros y el motor se comportó de manera diferente con cada uno. Decir que método es el mejor es muy arriesgado, debido a que todos cumplen con su función y realmente llevar a cabo alguno de ellos depende más de la clase de máquina con la que se está trabajando como se menciona en el capítulo 1, la aplicación a la cual es destinada la máquina, es decir si es para trabaja pesado, ligero, extra pesado, etc., ya que el torque es una de las características que se ve afectado o beneficiado, por ejemplo; en el estrella-delta

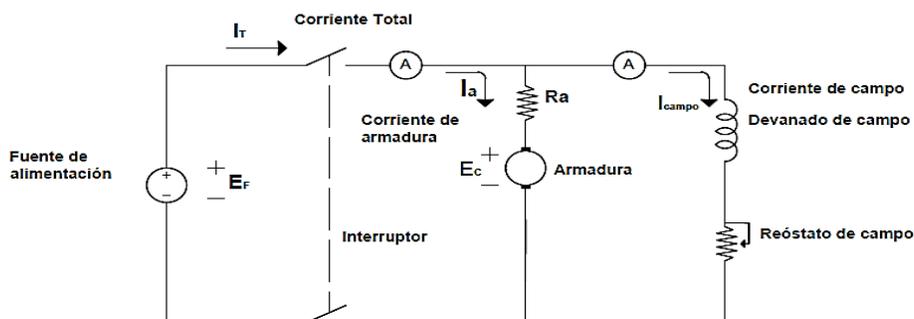
el torque disminuye de una forma importante y sería una mala elección para trabajo pesado, por otra parte en métodos como el de resistencias rotóricas es un método ideal para este tipo de aplicaciones ya que lejos de disminuir, aumenta su par de arranque.

*Nota de laboratorio:*

A cada prueba realizada se representó con su respectivo gráfico, en los cuales se muestran perturbaciones y por lo tanto difieren un poco de las gráficas que se pueden llegar a encontrar en la literatura. El equipo que se utilizó, es un equipo de varios años ya en uso en el laboratorio de ingeniería mecánica eléctrica, por lo que sus devanados, sus terminales y en general toda la máquina durante estos años han estado sometidas a diversas condiciones en las que su funcionamiento se ha visto afectado, siendo estas algunas de las respuestas al porqué de las perturbaciones mostradas. Por último, se presentaron todas las tablas obtenidas con los valores de corriente durante la experimentación, donde se obtuvieron una gran cantidad de datos, debido a esto, solo se presentan el resumen de las lecturas más significativas, como el pico de arranque y algunas donde muestra la rampa de aceleración.

## 2.6 Arranque de motores de corriente continua.

En motores de corriente continua al igual que en motores de corriente alterna, al arranque se produce una alta intensidad la cual produce efectos dañinos en los devanados. Para comprender este efecto se analizará el circuito de la figura 14 de un motor de corriente continua. Los motores de corriente continua están constituidos por dos devanados, un inducido o mejor conocido como la armadura y un devanado del estator donde se encuentra alojado el devanado de campo.



**Fig. 14.- Circuito equivalente del motor en derivación de corriente continua.**

Sobre la armadura se instala el colector que da paso a la corriente continua para que el motor pueda funcionar. Al energizarse, en la armadura se induce una fuerza magnetomotriz que actúa en contra de la polaridad de la fuente de alimentación, de esta forma se le conoce como fuerza contraelectromotriz. Conforme va acelerando, esta fuerza contraelectromotriz va aumentando, por lo que la corriente en la armadura depende del voltaje aplicado y de esta fuerza contraelectromotriz. (5) Aplicando la ley de tensiones de Kirchhoff en la primera malla:

$$\text{Corriente en la armadura } I_a = \frac{E_F - E_C}{R_a}$$

Cuando el motor es puesto en marcha, la armadura no está girando (condición de reposo) por lo que la fuerza contraelectromotriz es cero y siendo la resistencia de armadura muy baja, la corriente al arranque puede dispararse a valores excesivos (de 20 a 30 veces su corriente nominal) (1) donde se puede dañar al inducido.

$$\text{Corriente de arranque } I_{\text{arranque}} = \frac{E_F - 0}{R_a}$$

Por lo tanto en motores de corriente continua la elevada corriente al arranque se debe a la falta de fuerza contraelectromotriz, para compensar la falta de fuerza contraelectromotriz se añade una resistencia en serie con la armadura, así la corriente al arranque se ve reducida. Para motores con potencias menores a ½ Hp pueden ser conectados directos a la red debido a la rapidez con que alcanzan su velocidad nominal. (1)

### **2.6.1 Máquinas de corriente continua modelo D01236 y D00205NT.**

Los modelos D01236 y D00205NT son máquinas de corriente continua, estas máquinas son muy similares en cuanto a su construcción, lo único que las distingue una de otra, es la potencia que tienen en su flecha.

Ambas máquinas cuentan con un devanado de armadura, y su devanado de campo. La máquina D00205NT no puede ser conectada en serie, únicamente puede ser conectada en derivación.

Entre las ventajas de la máquinas de corriente continua con respecto a los motores de corriente alterna, se encuentra un rendimiento superior, es decir, tienen un par de arranque varias veces mayor comparado con uno de la misma potencia y también pueden alcanzar altas velocidades, debido a esto por lo regular las máquinas de corriente continua se

encuentran en aplicaciones como: motores de tracción para locomotoras, trenes subterráneos y tranvías, grúas, troqueladoras y montacargas.

En cuanto a sus desventajas encontramos un mayor costo tanto del motor como de su instalación de convertidores de c.a a c.c. (7)

### **2.6.2 Arranque sin resistencias en la armadura.**

Si no se coloca ningún tipo de resistencias, al igual que en motores de corriente alterna, se origina una alta corriente al arranque, como se explica 2.6 para máquinas de corriente continua.

Se realizó la prueba a la máquina D01236, usando una conexión en derivación autoexcitada (Shunt), en primera instancia el motor se puso en marcha sin ningún tipo de resistencia externa en el devanado de inducido, teniendo solo la resistencia de armadura de  $2 \Omega$  y una fuente de alimentación de 220 Volts de corriente continua, de esta forma se puede calcular la corriente al arranque que circula por la armadura con la siguiente ecuación:

$$I_{arranque} = \frac{220 V}{2 \Omega} = 110 A \text{ teórica}$$

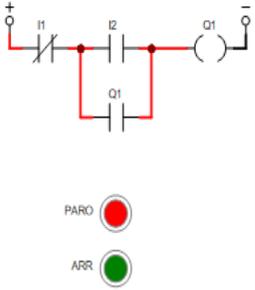
El resultado muestra una intensidad al arranque muy elevada, debido a una nula fuerza contraelectromotriz y una baja resistencia en su armadura, lo que traería como consecuencias daños a los devanados y a la instalación, aunque es una máquina de poca potencia y en vacío, es un buen ejemplo para observar este fenómeno transitorio al arranque.

#### *Nota de laboratorio:*

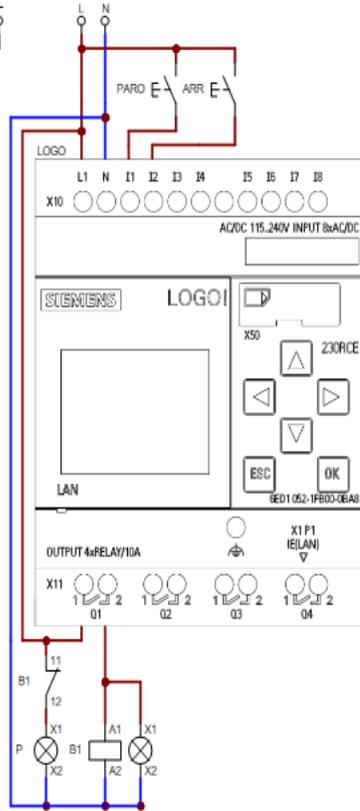
Se colocó un amperímetro a la entrada del paralelo del campo y armadura, midiendo la corriente total. La capacidad máxima de lectura del amperímetro era de 40 amperes. Por lo que para demostrar su corriente de arranque se utilizó la ecuación anterior, debido a que con el amperímetro no fue posible apreciar su valor práctico, ya que la corriente se salía de escala, es decir era más de 40 amperes.

### Arranque a tensión plena c.d

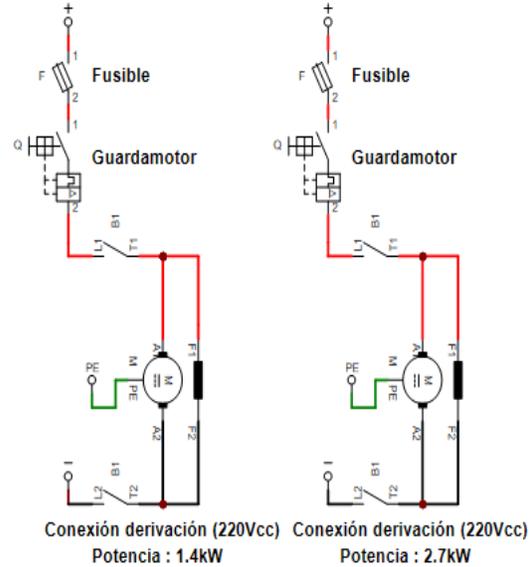
Diagrama en escalera en LOGO



Circuito de mando



Circuito de fuerza



**Diagrama 10. Arranque a tensión plena para conexión derivación de la máquina de corriente continua D01236 y D00205NT en CADE-SIMU.**

#### Explicación:

Al presionar el pulsador ARR (I2) se activa la salida del relé Q1 al igual que su enclave, Q1 permite energizar la bobina del contactor B1 junto con su lámpara de señalización, B1 abre un contacto NC para apagar la lámpara de señalización P y cierra sus contactos de fuerza para poner en marcha la máquina. Con el pulsador PARO se puede detener la máquina en cualquier momento y se enciende la lámpara de señalización P.

### 2.6.3 Arranque con resistencias en la armadura

De una forma similar a los motores trifásicos de inducción lo que se busca es limitar el valor de la corriente al arranque en la armadura de los motores de corriente continua. En este método lo que se emplea es un banco de resistencias las cuales son conectadas en serie



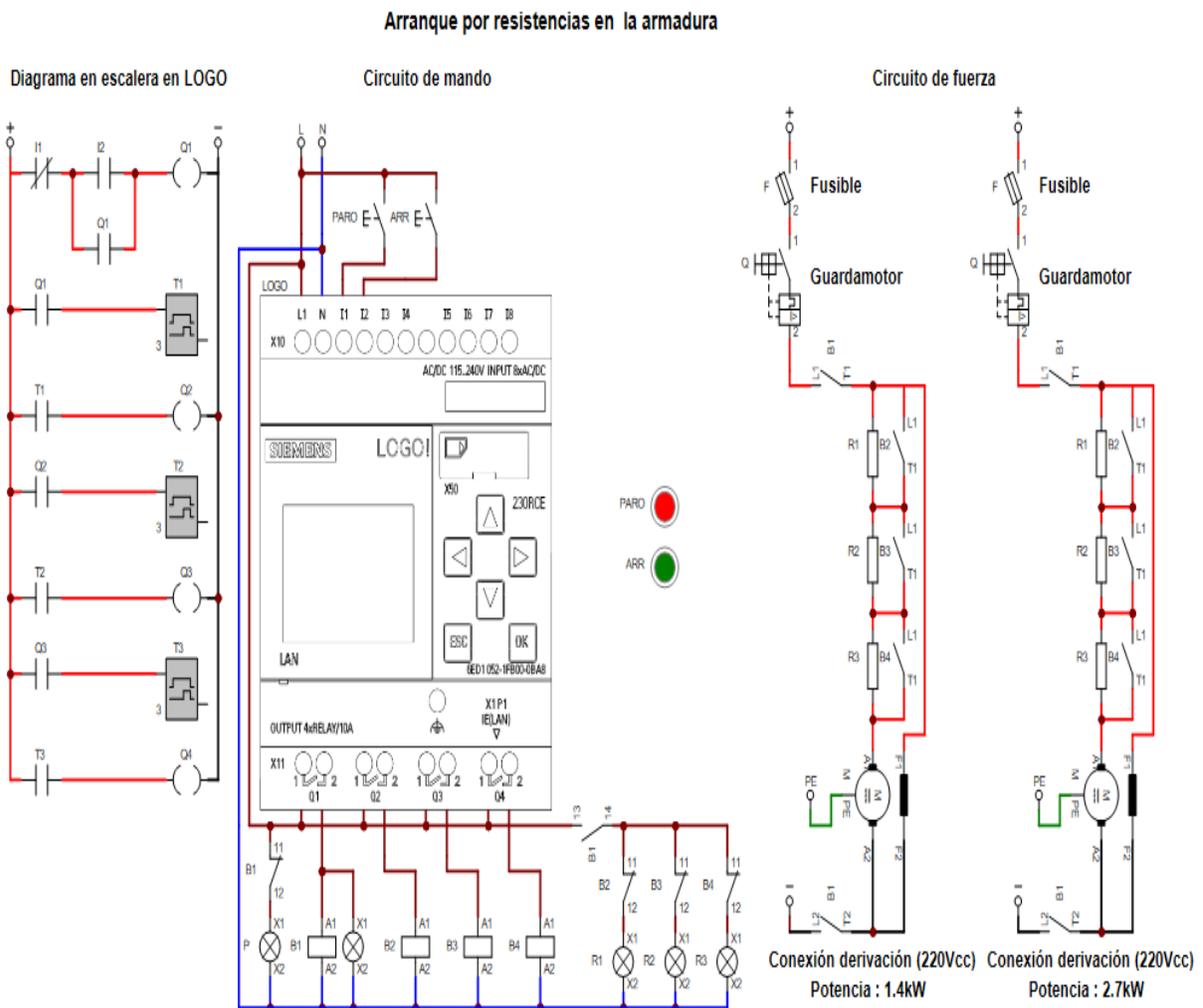
con la armadura en el arranque, para posteriormente con ayuda de un mecanismo o bien por medio de contactores ir eliminando cada una de ellas de forma gradual conforme el motor va acelerando.

*Ventajas:*

- Disminución de la corriente de arranque.
- Ligera variación de la velocidad al momento de arranque.

*Desventajas:*

- Pérdida de potencia por las resistencias.
- Disminución de la eficiencia del motor. (2)



**Diagrama 11. Arranque por resistencias en la armadura para conexión derivación de la máquina de corriente continua D01236 y D00205NT en CADE-SIMU.**

Explicación:

Al accionar el pulsador ARR (I2) se activa la salida del relé Q1 junto con su enclave permitiendo energizar la bobina del contactor B1 junto con su lámpara de señalización para cerrar sus contactos de fuerza, apagar la lámpara de señalización P, encender las lámparas de las resistencias, permitir la puesta en marcha de la máquina de c.c con todas las resistencias y de igual manera empezar el conteo del timer T1. Una vez finalizado el conteo del timer T1 activa la salida del relé Q2 para energizar la bobina del contactor B2 junto con su contacto de fuerza para puentear la resistencia R1 además de apagar la lámpara de señalización R1, al mismo tiempo empieza el conteo del timer T2. Pasados los 3 seg del timer T2 activa la salida del relé Q3 al igual que el conteo del timer T3, se energiza la bobina del contactor B3 para cerrar su contacto de fuerza que permite puentear la resistencia R2 y apagar la lámpara de señalización R2. Al terminar el conteo del timer T3 se activa la salida del relé Q4 que energiza la bobina del contactor B4 para que cierre su contacto de fuerza y se logre puentear la última resistencia R3 y apagar la lámpara de señalización R3. De esta forma la máquina de corriente continua queda trabajando con su tensión nominal y para detenerla sólo basta accionar el pulsador PARO, que a su vez permite encender la lámpara de señalización P.

**Prueba realizada a la máquina D01236.**

Como muestra el diagrama anterior, se insertaron tres resistencias en serie en el devanado de inducido, los valores de dichas resistencias se muestran en la tabla 16, con la finalidad de reducir su intensidad al arranque.

**Tabla 16.- Resistencias de arranque empleadas en el inducido.**

Valor óhmico de las resistencias	
<b>R1</b>	52 ohms
<b>R2</b>	50.8 ohms
<b>R3</b>	52.3 ohms

Al poner en marcha el motor, las tres resistencias entran en servicio por un intervalo de tiempo, cada una es cortocircuitada por un contactor en paralelo, este tiempo es configurado con un relevador inteligente que va poniendo en cortocircuito a cada contacto,

al variar la resistencia, varia la velocidad, tal como viene en la tabla 17 indicando la corriente absorbida de acuerdo al valor óhmico de resistencia.

**Tabla 17.- Aumento progresivo de corriente y velocidad en motor de corriente continua D01236.**

Máquina de corriente continua D01236						
Resistencia		Corriente total (A)				Velocidad (rpm)
		I <sub>R1</sub>	I <sub>R2</sub>	I <sub>R3</sub>	I <sub>RA</sub>	
R1+R2+R3	155.1 ohms	2.1				967
R2+R3	103.1 ohms		1.7			1272
R3	52.3 ohms			1.8		1399
RA	2 ohms				2.8	1592
					1.55	

La tabla nos indica la disminución al arranque con las tres resistencias, al igual el aumento progresivo de la velocidad conforme se va disminuyendo la resistencia en el inducido, si nos referimos a la ecuación de la fuerza contraelectromotriz para un motor de corriente continua.

$$E_c = k * \phi \downarrow * n$$

Donde “n” es la velocidad, se observa que esta fuerza depende de la velocidad, conforme la velocidad aumenta, el valor de la fuerza contraelectromotriz es mayor, esto ayuda a limitar la corriente que circula por el inducido, así cuando el motor alcanza su velocidad nominal, la corriente en el inducido es muy baja y no representa algún peligro para la máquina. (2)

La tabla muestra los valores de corrientes totales en el circuito de derivación, es decir al ser un circuito shunt o en derivación existe una pequeña corriente que circula por el devanado de campo, para conocer la corriente que circula por el devanado de campo basta con aplicar la ley de ohm y dividir el voltaje de alimentación entre la resistencia del devanado de campo, que para este motor es de 191 ohms.

$$I_{\text{devanado de campo}} = \frac{220 V}{191 \Omega} = 1.151 A$$

Es una corriente muy baja y de esta forma para conocer la corriente que circula al arranque por el devanado de armadura solo basta restar la corriente total obtenida en la experimentación con la corriente que consume el devanado de campo:

$$I_{\text{arranque en la armadura}} = 2.1 A - 1.151 A = 0.949 A$$

De forma teórica se obtendría por ley de ohm, dividiendo el voltaje de la fuente entre la suma de la resistencia de armadura con las resistencias externas:

$$I_{\text{arranque en la armadura}} = \frac{220 \text{ V}}{2 \Omega + 155.1 \Omega} = 1.4 \text{ A teórica}$$

Es una corriente muy pequeña comparada a los 110 amperes obtenidos en un arranque directo, pero en aplicaciones es recomendable obtener el valor de la resistencia externa de acuerdo a la siguiente expresión:

$$R_{\text{externa}} = \frac{E_F - E_C - V_{\text{esc}}}{I_a} - R_a$$

Dónde:

- $E_F$  = Voltaje de la fuente en V.
- $E_C$  = Fuerza contraelectromotriz en V.
- $I_a$  = Corriente de arranque en A.
- $R_a$  = Resistencia de armadura en  $\Omega$ .
- $V_{\text{esc}}$  = Caída de tensión en las escobillas en V.

Para la experimentación realizada al motor, no se diseñó la resistencia externa, debido a que el banco de resistencias que se utilizó no se tenía el valor óhmico necesitado, por lo que se utilizó una resistencia de otro valor óhmico con el objetivo de analizar el efecto de reducir la corriente en un motor de corriente continua.

*Nota de laboratorio:*

En el caso de los métodos empleados anteriormente para las máquinas de c.c sólo se lograron obtener los valores pico en la corriente de arranque así como también su corriente nominal en cada uno de ellos, debido a que en el laboratorio no se contaba con algún dispositivo como el que se empleó en los motores de c.a que nos permitiera observar los datos en cada cierto instante de tiempo.

## Capítulo 3

### Control de máquinas eléctricas Didacta Italia.

El creciente uso de las máquinas eléctricas rotativas en la industria ha conllevado al desarrollo de nuevos métodos que se ajusten a diversas aplicaciones. Con el descubrimiento del control electromecánico ha permitido que estas puedan ser trasladadas al campo de la automatización a base de contactores, relevadores de tiempo, relevadores lógicos, entre otros. El control como tal, es un conjunto de dispositivos eléctricos que sirven para gobernar la operación de un motor, además proporcionan algún tipo de protección que aseguran el correcto funcionamiento de la máquina.

La función del control en motores eléctricos, abarca cuatro aspectos principales como son:

- Arranque.
- Parada.
- Inversión de rotación.
- Control de velocidad.

En métodos de control como la inversión de giro o de rotación y variación de velocidad, pueden ser o no acompañados de algún método de arranque como los que se describen en el capítulo 2, según la necesidad de cada aplicación. Todo esto es tanto para máquinas de corriente alterna y corriente continua, dentro del control encontramos tres tipos de control:

#### *Manual:*

Este tipo de control se basa en la intervención humana durante toda la operación, por ejemplo, al arranque de un motor de corriente continua, el usuario es quien pone y deja fuera de servicio el reóstato que va en la armadura. (1)

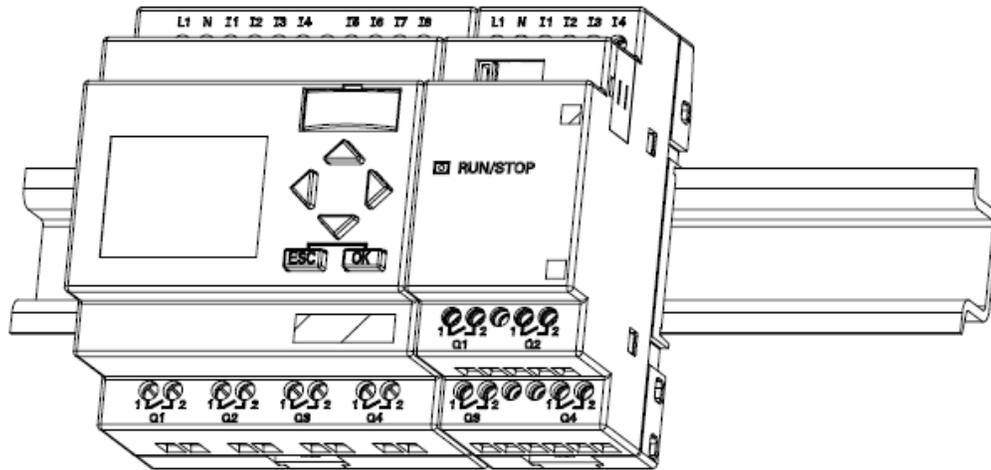
#### *Semiautomático:*

Aquí la intervención humana es mínima, por ejemplo: un sistema de control, donde el operario acciona el pulsador de arranque, este energiza una bobina, que dependiendo de la secuencia del circuito, esta bobina podrá energizar contactores, relevadores, temporizadores, etc. (1)

#### *Automático:*

Este tipo de control prácticamente la intervención humana es nula, los dispositivos que se emplean en la lógica del circuito (ver figura 15) son capaces de determinar la apertura o

cierre de contactos, por ejemplo: cuando algunos sistemas de bombeo, a un determinado nivel de líquido, la bomba puede funcionar o no. Con la implementación de la electrónica y la programación surgieron nuevos dispositivos como relevadores inteligentes, controladores lógicos programables, variadores de frecuencia, entre otros. Todos estos mediante un software el usuario tiene el control remoto de las operaciones a realizar en base a la programación que se efectuara. (1)



**Fig. 15.- Relevador inteligente empleado para el control de máquinas eléctricas rotativas.**

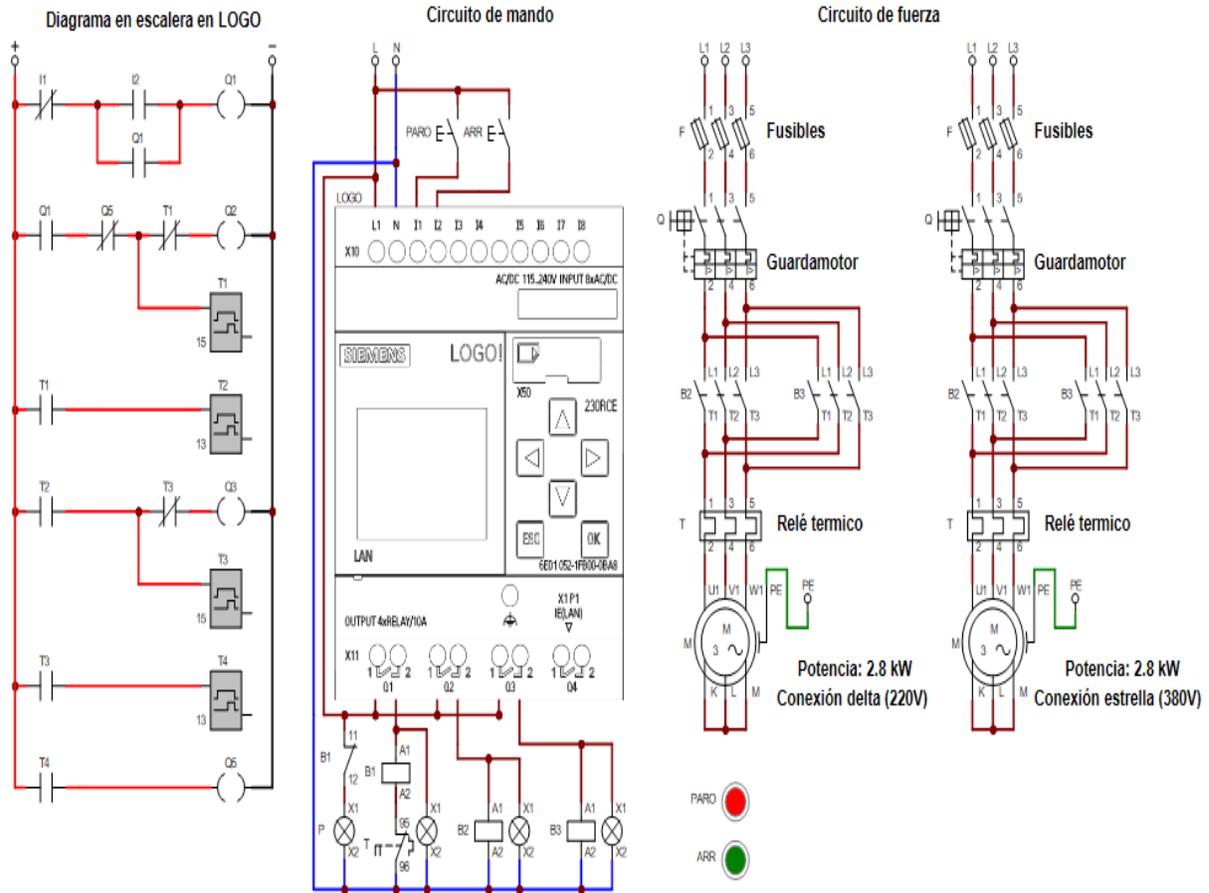
Así como en los métodos de arranque, se utilizaron las máquinas eléctricas rotativas Didacta Italia, de manera que no solo se analizaran los métodos descritos a continuación de forma teórica, sino también se analizaran de forma práctica.

### **3.1 Control en motores de corriente alterna.**

#### **3.1.1 Inversión de giro.**

Este método de control suele ser un complemento en las operaciones que realiza el motor de inducción, para que pueda ser llevado a cabo lo que debe hacerse es una maniobra que permita intercambiar dos de las tres líneas o fases con las que se alimenta a las bobinas estáticas del motor, consiguiendo con esto que el motor cambie su sentido de giro. Entre algunas aplicaciones están el control de elevadores, montacargas y grúas. (1)

### Inversión de giro en corriente alterna cíclico

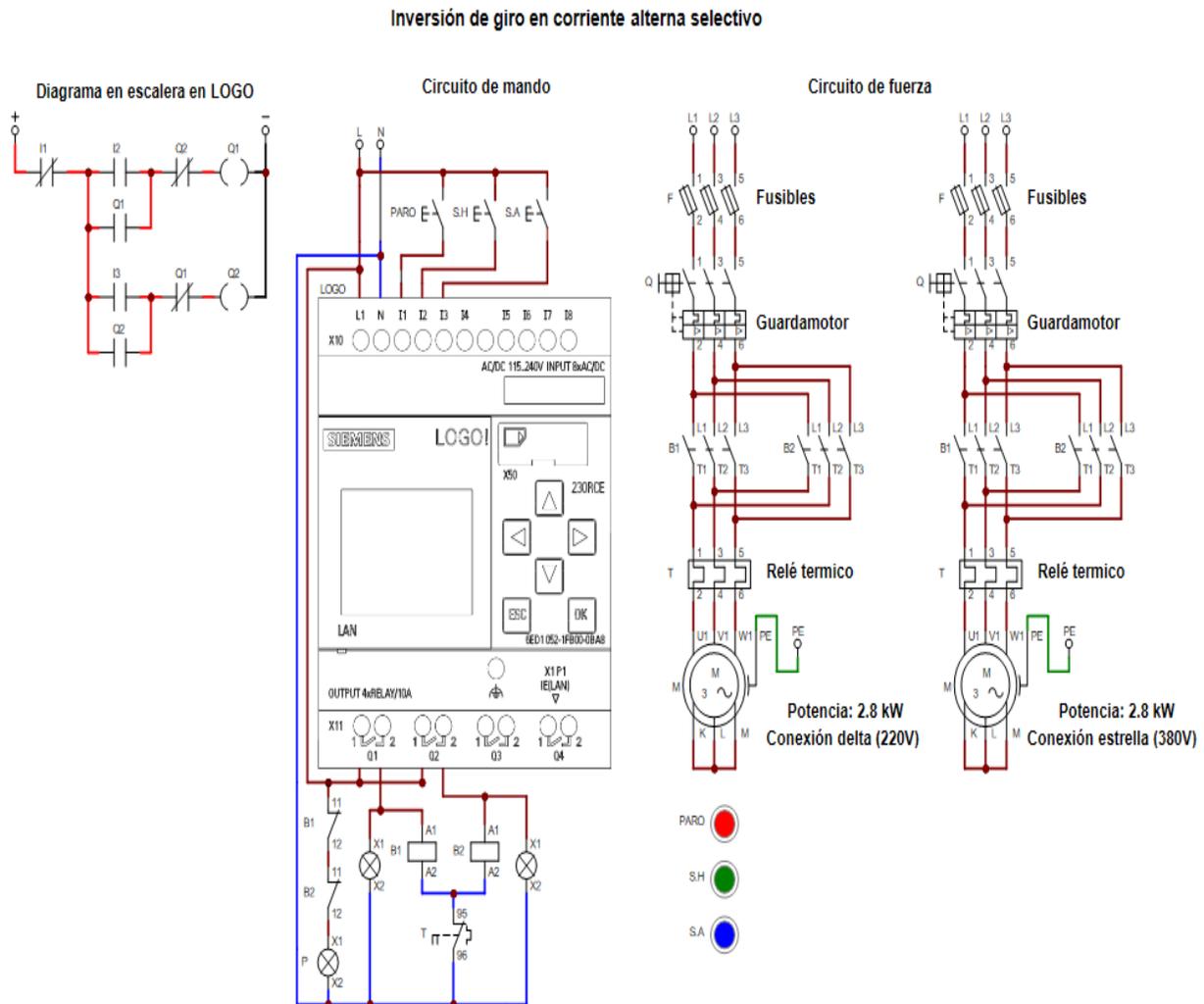


**Diagrama 12. Inversión de giro en corriente alterna cíclica tanto conexión estrella como delta del motor de rotor devanado D00208 en CADE-SIMU.**

#### Explicación:

Al presionar el pulsador de ARR (I2) se activa la salida del relé Q1 junto con su enclave con lo que energiza la bobina del contactor B1 al igual que su lámpara de señalización y apagar la lámpara de señalización P. También se cierra un contacto NA de Q1 que activa tanto el timer T1 como la salida del relé Q2 que permite energizar la bobina del contactor B2 junto con su lámpara de señalización, además cierra sus contactos de fuerza con lo que permite accionar al motor y que su rotación sea en sentido horario. Al terminar el conteo del timer T1 desactiva el relé Q2 con ello se desenergiza la bobina del contactor B2 con su lámpara de señalización al igual que sus contactos de fuerza para detener el motor, paralelamente se activa el timer T2 que lleva el conteo del tiempo que tarda el motor en

detenerse. Al pasar el tiempo del timer T2 activa la salida del relé Q3 al igual que el timer T3, además el relevador permite energizar la bobina del contactor B3 con su lámpara de señalización y cerrar sus contactos de fuerza que permiten al motor arrancar en sentido antihorario. Una vez terminado el tiempo del timer T3 desactiva la salida del relé Q3 para desenergizar la bobina del contactor B3 junto con su lámpara de señalización y un contacto NA de ese timer activa otro timer T4 para el tiempo en que se detiene el motor. Ya terminado el conteo del timer T4 activa una bobina virtual de un relé Q5 que ayuda a que el ciclo se repita. Para detener el ciclo sólo se necesita accionar el pulsador PARO y se enciende la lámpara de señalización P.



**Diagrama 13. Inversión de giro selectivo en corriente alterna tanto conexión estrella como delta del motor de rotor devanado D00208 en CADE-SIMU.**



### Explicación:

Al presionar el pulsador S.H (I2) se activa la salida del relé Q1 junto con su enclave, Q1 permite energizar la bobina del contactor B1 al igual que su lámpara de señalización. B1 abre su contacto NC para apagar la lámpara de señalización P y cierra sus contactos de fuerza con lo que permite que el motor gire en sentido horario. Para cambiar de sentido de giro se presiona el pulsador PARO que desactiva la salida del relé Q1 y con ello se desenergiza la bobina del contactor B1, se enciende nuevamente la lámpara de señalización P. Posteriormente se acciona el pulsador S.A (I3) que activa la salida del relé Q2 junto con su enclave, por su parte Q2 energiza la bobina del contactor B2 al igual que su lámpara de señalización. B2 abre su contacto NC para apagar la lámpara de señalización P y cierra sus contactos de fuerza para poner en marcha al motor en sentido antihorario. Mediante el bloqueo que se tienen por medio de contactos NC de los relés Q1 y Q2 no es posible que se puedan accionar el otro sentido de giro cuando está el motor trabajando.

## **3.2 Control en máquinas de corriente continua.**

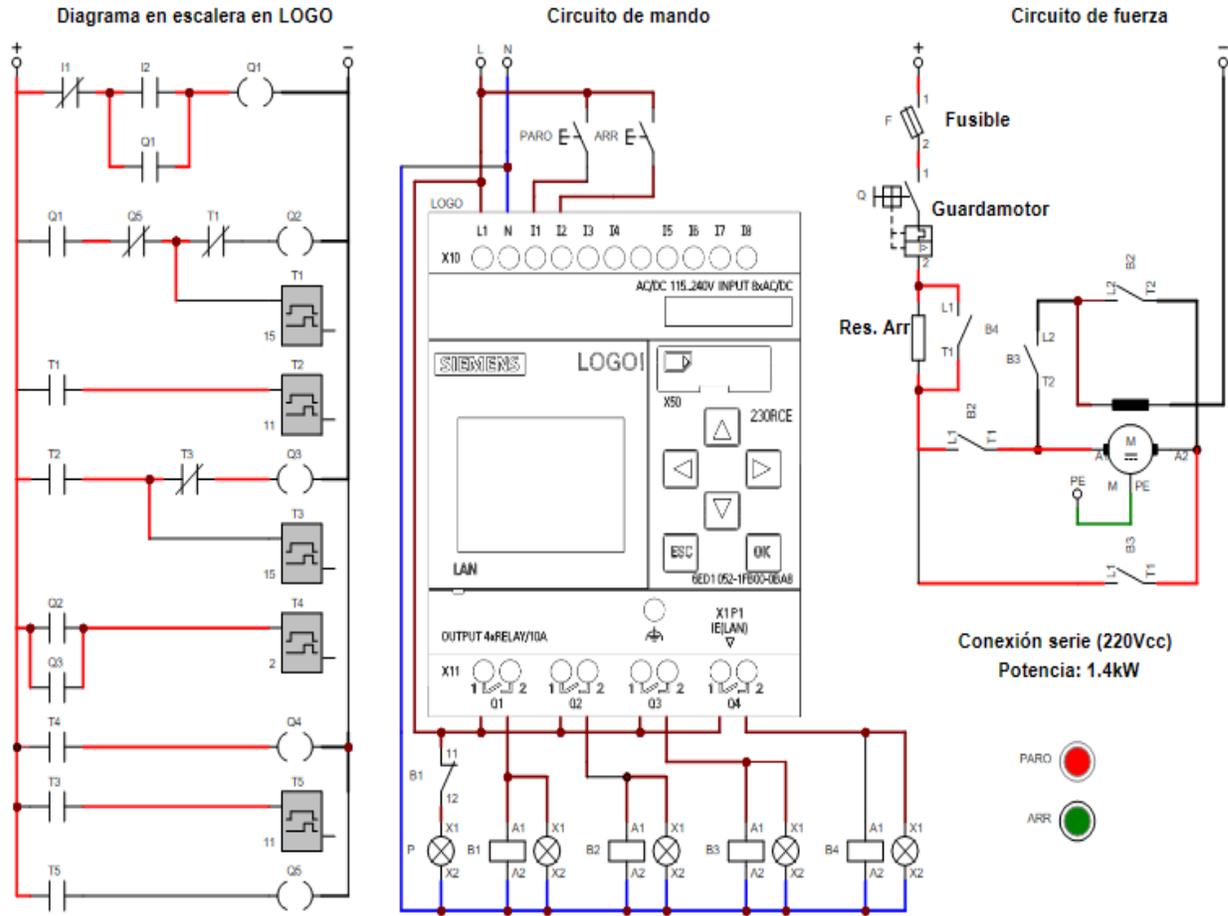
### **3.2.1 Inversión de giro.**

Como se mencionó anteriormente la inversión de giro también es aplicable a los motores de corriente continua, para lograrlo debe invertirse el sentido de la corriente ya sea en el devanado inducido (armadura) o en el devanado inductor (campo), porque en caso de hacerlo con ambos devanados no se logra la inversión de giro. Por lo regular el cambio en el sentido de la corriente se realiza en el devanado inducido (armadura) ya que el devanado de campo es altamente inductivo por lo que si se le realiza la conmutación producirá altas tensiones inductivas que pueden llegar a deteriorar los aislamientos. Es aplicable para los 3 tipos de conexiones: serie, derivación o shunt y compuesto. (1)



señalización, al igual que cierra su contacto de fuerza que saca la resistencia de arranque. Una vez terminado el conteo del timer T1 desactiva la salida del relé Q2 con lo cual desenergiza la bobina del contactor B2 con su lámpara de señalización junto con la apertura de sus contactos de fuerza para detener la máquina de c.c, lo mismo sucede con el timer T4, con la salida del relé Q4 junto con su lámpara de señalización, la bobina del contactor B4 y su contacto de fuerza, simultáneamente activa el timer T2 que da el tiempo para que el motor se detenga completamente. Pasado el conteo del timer T2 activa la salida del relé Q3 al igual que el timer T3, Q3 energiza la bobina del contactor B3 junto con su lámpara de señalización con ello cierra sus contactos de fuerza para la puesta en marcha de la máquina de c.c. en sentido antihorario, paralelamente Q3 activa el timer T4 que realiza el mismo procedimiento antes mencionado para sacar la resistencia de arranque. Terminando el conteo del timer T3 desactiva las salidas de los relés Q3 y Q4, el timer T4, desenergiza las bobinas de los contactores B3 y B4 para detener el motor, pero activa el timer T5 que da el tiempo para que el motor se detenga completamente. Cuando termina el conteo del timer T5 activa una salida de un relé virtual Q5 el cual tiene la finalidad de permitir que el ciclo se repita. En caso de querer detener el ciclo sólo se debe accionar el pulsador PARO y con ello permite nuevamente encender la lámpara de señalización P.

## Inversión de giro en corriente continua cíclico



**Diagrama 15. Inversión de giro para conexión serie de la máquina de corriente continua D01236 y D00205NT en CADE-SIMU.**

### Explicación:

Cuando se aprieta el pulsador ARR (I2) se activa la salida del relé Q1 junto con su enclave para energizar la bobina del contactor B1 al igual que su lámpara de señalización y apagar la lámpara P, simultáneamente cierra su contacto NA para activar la salida del relé Q2 y el timer T1. Q2 permite energizar la bobina del contactor B2 con su respectiva lámpara de señalización para cerrar sus contactos de fuerza de forma que la máquina de c.c empiece a rotar en sentido horario, de forma paralela Q2 activa el timer T4. Pasado el tiempo del timer T4 activa la salida del relé Q4 que a su vez energiza la bobina del contactor B4 junto con su lámpara de señalización para sacar la resistencia de arranque. Luego de terminar el conteo del timer T1 desactiva la salida del relé Q2 que resetea al timer T4 y desenergiza la bobina

del contactor B2, con ello se tiene la apertura de los contactos de fuerza para que el motor empiece a detenerse, de forma paralela un contacto NA del timer T1 activa al timer T2 que da el tiempo que tarda el motor en detenerse. En cuanto el timer T2 termina su conteo cierra su contacto NA para activar tanto la salida del relé Q3 como el timer T3, Q3 energiza la bobina del contactor B3 al igual que su lámpara de señalización y sus contactos de fuerza para poner en marcha a la máquina de c.c. pero ahora en sentido antihorario, de igual manera sucede el mismo procedimiento de la resistencia de arranque por medio de la bobina del contactor B4 que es energizada por Q4 y su duración del timer T4 para posteriormente sacarla. Al termino del timer T3 desenergiza la bobina del contactor B3 con lo cual corta la alimentación sobre la máquina de c.c. y activa el timer T5 para el tiempo en que tarda para detenerse. El proceso se vuelve cíclico por medio de la bobina virtual del relé Q5 y se puede detener en cualquier momento cuando se presione el pulsador PARO para encender la lámpara de señalización P.

### **3.2.2 Control de velocidad por medio de resistencias en el campo.**

Es importante contemplar que independientemente del método que se vaya a ocupar al momento de la puesta en marcha del motor de c.c. se busca que el flujo en el entrehierro sea el máximo para que de esta forma se desarrolle el par de arranque.

#### **Por medio de resistencias en el campo.**

Este método de control se basa en colocar una resistencia variable en serie con la bobina del campo (inductor) como se mencionó anteriormente debe empezar con un valor pequeño para el arranque. Con lo cual al aumentar el valor de la resistencia lo que logramos es una disminución de la corriente de campo, que se puede entender con la siguiente expresión:

$$I_{campo} \downarrow = \frac{E_F}{R_{campo} \uparrow}$$

Como podemos observar con la ecuación anterior a una mayor resistencia obtendremos una menor corriente en el campo que también sucede el mismo caso para el flujo de campo  $\phi$ . Todo esto de igual manera repercute a la fuerza contraelectromotriz  $E_C$  (fcem) que se comprueba con su ecuación:

$$E_C = k * \phi \downarrow * n$$

Como vemos con una disminución del flujo sucede lo mismo con la fuerza contraelectromotriz, lo que lleva a un aumento de la corriente del inducido:

$$I_a \uparrow = \frac{E_F - E_C \downarrow}{R_a}$$

Por lo cual para recuperar el valor nuevamente de la fuerza contraelectromotriz aumenta la velocidad del motor y con ello vuelve a restablecer los valores tanto de  $f_{cem}$  como de la corriente del inducido.

Una de sus características es el hecho de que la corriente que circula por el campo es baja comparada con la corriente que fluye por la armadura, permite que la disipación de potencia por medio de la resistencia externa sea pequeña.

Para el caso de la conexión en serie del motor de c.c. la resistencia externa se agrega en forma paralela al devanado de campo en serie, consiguiendo con esto que la corriente se distribuya entre la resistencia externa y el devanado de campo en serie, así logramos una reducción de la corriente de campo que conlleva a una disminución del flujo magnético y por lo tanto un aumento de la velocidad en el motor. La velocidad mínima a la cual puede llegar el motor va a depender de la corriente máxima que soporta el devanado de campo.

(5)

### **Por variación del voltaje aplicado en el inducido.**

También llamado control de voltaje en la armadura, como vimos anteriormente en el método de arranque por resistencias en la armadura el hecho de disminuir el voltaje aplicado en la armadura permite disminuir su corriente y por ende tanto el flujo magnético como la velocidad. Por lo cual el efecto es el mismo cuando por parte de la fuente de alimentación se reduce o aumenta el voltaje aplicado a la armadura cuidando que el voltaje aplicado al campo no cambie (sea su voltaje nominal), esto es aplicable a motores con excitación independiente. La velocidad máxima que puede alcanzar el motor es referente a su valor máximo permisible de voltaje que puede ser aplicado en la armadura. (2)

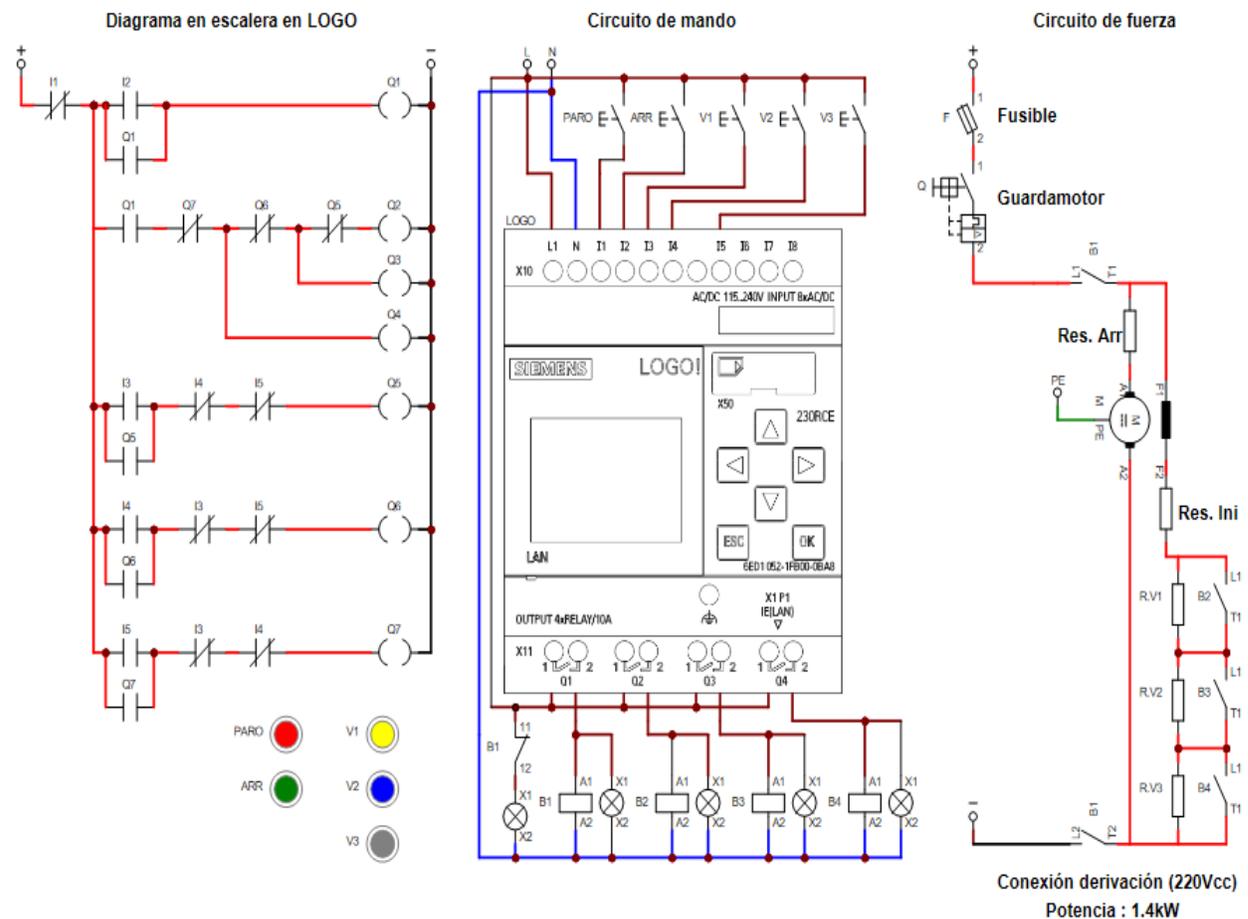
La característica principal implica el hecho de no ocupar una resistencia externa para la variación de la velocidad con lo cual eliminamos la disipación de voltaje en ella, pero su desventaja es el hecho de necesitar dos fuentes independientes para la alimentación de la armadura por una parte y la otra para la alimentación del devanado de campo, un claro

ejemplo de esto es el conocido Sistema Ward-Leonard.

Es común el empleo de estos métodos de control en aquellos casos donde el motor requiere funcionar por encima de su velocidad nominal, es aplicable tanto para la conexión en derivación como para la compuesta. (3)

### Prueba de control de velocidad a la máquina D01236.

#### Variación de la velocidad por medio de resistencias en el campo



**Diagrama 16. Variación de la velocidad por medio de resistencias en el campo para conexión derivación de la máquina de corriente continua D01236 y D00205NT en CADE-SIMU.**

#### Explicación:

Al momento de presionar el pulsador ARR (I2) activa la salida del relé Q1 junto con su enclave para energizar la bobina del contactor B1 con su lámpara de señalización al igual que cierra sus contactos de fuerza y apaga la lámpara de señalización P, mientras Q1

también activa las salidas de los relés Q2, Q3 y Q4 que a su vez energizan las bobinas de los contactores B2, B3 y B4 junto con sus lámparas de señalización al mismo tiempo cierran sus contactos de fuerza para poner en marcha la máquina de c.c. con una velocidad baja dada sólo por la resistencia inicial. En cuanto a los pulsadores V1 (I3), V2 (I4) y V3 (I5) son los que dan los cambios de velocidad. Si se acciona el pulsador V1 activa la salida de un relé virtual Q5 junto con su enclave con lo cual desactiva la salida del relé Q2 por lo tanto desenergiza la bobina del contactor B2 al igual que su lámpara de señalización y abre su contacto de fuerza. Ahora si se aprieta V2 activa la salida del relé virtual Q6 junto con su enclave para desactivar los relés Q2 y Q3 para desenergizar las bobinas de los contactores B2 y B3 al igual que sus lámparas de señalización y abrir sus contactos de fuerza. Si es el caso de apretar el pulsador V3 activa la salida de un relé virtual Q7 junto con su enclave que permite desactivar los relés Q2, Q3 y Q4 con ello se desenergizan las bobinas de los contactores B2, B3 y B4 junto con sus lámparas de señalización y abrir sus contactos de fuerza. Como vemos la resistencia va aumentando al igual que la velocidad de la máquina de c.c., la activación de los pulsadores puede ser aleatoria para poder ajustar la velocidad. Para detener la máquina de c.c. sólo se debe activar el pulsador PARO y enciende la lámpara de señalización P.

El diagrama anterior nos muestra el ejemplo común con el que se regula la velocidad de motores de corriente continua, la inserción de resistencias permite variar el flujo en los motores de c.c., en este caso se utilizó una conexión en derivación.

El programa permite, seleccionar la velocidad presionando un pulsador, en este caso el usuario puede seleccionar la velocidad que desee. La velocidad que se obtiene a determinada resistencia, se muestra en la tabla 18, de acuerdo a lo obtenido en la experimentación.

**Tabla 18.- Velocidades en motor de corriente continua D01236.**

<b>Control de velocidad en motor de corriente continua</b>			
<b>Resistencias</b>		<b>Combinación</b>	<b>Velocidad (rpm)</b>
<b>R1</b>	13 ohms	R1+RF	1607
<b>R2</b>	60 ohms	R1+R2+RF	1686
<b>R3</b>	80 ohms	R1+R2+R3+RF	1810
<b>R4</b>	80 ohms	R1+R2+R3+R4+RF	1933
<b>RF = Resistencia de campo = 191 ohms</b>			



El proceso de control de velocidad en máquinas de corriente continua se puede analizar con la siguiente expresión:

$$n = \frac{E_F - R_a * I_a}{K_E \Phi}$$

Dónde:

- n = Velocidad en rpm.
- $E_F$  = Voltaje de la fuente en V.
- $R_a$  = Resistencia de armadura en  $\Omega$ .
- $I_a$  = Corriente de armadura en A.
- $K_E$  = Constante de construcción.
- $\Phi$  = Flujo magnético en Wb.

De esta forma al incrementar la resistencia en el devanado de campo, la corriente que circula por el devanado de campo disminuye y aumenta la corriente de armadura, así aumentando la velocidad, al reducir la resistencia en el campo, fluye una mayor corriente por dicho devanado ocasionando un incremento del flujo magnético y la velocidad cae a un valor determinado.

Así se consideren tres variables para el control en motores de corriente continua:

**a) Ajustando la tensión aplicada.**

A mayor voltaje aplicado, mayor velocidad, a menor voltaje aplicado, menor velocidad. Aquí el motor de corriente continua tiene una velocidad límite la cual corresponde a la velocidad obtenida al voltaje asignado.

**b) Variación de la resistencia de inducido.**

Debido a que si se conectara una resistencia en serie con el devanado de inducido, la velocidad disminuiría ya que se produciría una caída de tensión en la resistencia en serie y el voltaje aplicado no estaría llegando por completo al inducido.

**c) Variación de la resistencia de campo.**

Este caso es lo contrario al anterior, ya que al incrementar la resistencia en el devanado de campo, se ve afectado el flujo, el cual a mayor resistencia ocasiona un debilitamiento en este mismo y la velocidad aumenta puesto que en la armadura o inducido fluye mayor corriente. (2)

*Nota de laboratorio:*

En esta práctica, se debe tener cuidado con el valor óhmico de la resistencia externa en el devanado de campo ya que una resistencia extremadamente grande se traduciría como un circuito abierto y un devanado de campo abierto implicaría un debilitamiento en el flujo magnético, aumentando la corriente en el devanado de inducido, así al aumentar la corriente se produce un incremento en su velocidad de operación, siendo esto muy peligroso pues un motor en estas condiciones puede llegar a desbocarse, esta condición también se conoce como *embalamiento del motor*.

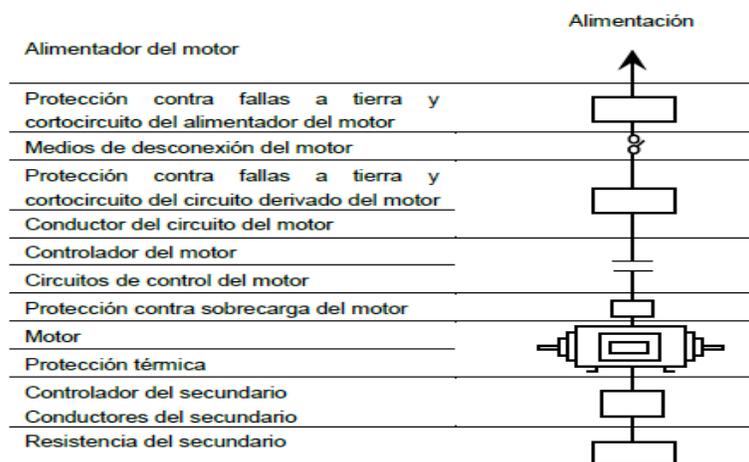
## Capítulo 4

### Cálculo para la selección de conductores y canalizaciones en los motores eléctricos con base a la NOM-001-SEDE-2012.

Como complemento a lo expuesto a lo largo del presente trabajo, se ha propuesto en este último capítulo un tema importante al momento de llevar a cabo la instalación de uno o un grupo de motores, así como en las distintas pruebas realizadas, se utiliza como modelo el grupo de motores del equipo de laboratorio Didacta Italia, haciendo uso de los datos de placa para el diseño de la instalación y empleando la norma Mexicana (NOM-001-SEDE-2012), siendo esta la que establece los lineamientos bajo los cuales debe ser diseñada cualquier instalación eléctrica en México, tal como se muestra en la figura 16.

En los tres capítulos anteriores se pudo analizar los tipos de motores eléctricos que generalmente se utilizan en aplicaciones industriales, la problemática que conlleva el arranque y de manera general, algunos de los procesos de control que se pueden llegar a emplear con este tipo de máquinas, todo esto mediante una instalación.

En la instalación el empleo de conductores que se utilizan para la conexión de los distintos dispositivos de control deben estar suficientemente bien dimensionados, ya que al hacer uso de motores eléctricos estos son sometidos a distintas contingencias como sobrecargas mecánicas, sobrecorrientes, etc., y un buen diseño o una buena elección del conductor permite soportar los arranques y paros que puedan llegar a realizarse. (8)



**Fig. 16.- Elementos en la instalación de un motor eléctrico, NOM-001-SEDE-2012.**

Para lo cual se presenta a continuación una tabla de las características de cada uno de los motores y máquinas:

**Tabla 19.- Características de motores eléctricos Didacta Italia.**

Motor	Potencia	Corriente a plena carga	Voltaje de alimentación	Eficiencia	Factor de potencia
De rotor devanado D00208	2.8 kW	*11.8 A	220 V / 380 V	-	0.8
Síncrono D0026NT	1.8 kW	6 A	220 V	0.8	1
De corriente continua D01236	1.4 kW	*8 A	220 V	-	-
De corriente continua D00205NT	2.7 kW	*14.54 A	220 V	-	-
* Valores de corriente a plena carga obtenidas de acuerdo a las tablas 430-247 y 430-250 de la NOM-001-SEDE-2012					

Para el caso de la corriente a plena carga del motor síncrono, se puede calcular con la siguiente deducción:

En un sistema trifásico.

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

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

$$\therefore I_L = \frac{P_E}{\sqrt{3} * V_L * \cos \theta}$$

Eficiencia.

$$ef = \frac{P_U}{P_E}$$

$$\therefore P_E = \frac{P_U}{ef} = \frac{1.8kW}{0.8} = 2250 W$$

$$I_L = \frac{2250W}{\sqrt{3} * 220V * 1} = 5.9 A \approx 6 A$$

## 4.1 Cálculo de circuitos derivados.

### 4.1.1 Conductores de alimentación para máquinas de c.a.

#### Motor de rotor devanado y motor síncrono.

Desde que el motor se pone en marcha y durante el tiempo de servicio al cual es destinado, se encuentra expuesto a ciertos eventos que afectan la vida y funcionamiento de la máquina como se menciona al inicio de este capítulo, donde se produce una alta intensidad y esto origina un incremento de la temperatura en el conductor que pueda ocasionar algún daño. Es por ello la importancia de una buena elección del conductor, partiendo de la corriente nominal del motor, en la mayoría de los casos se puede consultar en su placa de datos, pero

en caso que no sea proporcionada, se hace uso de las normas, como se muestra a continuación. (8) Para obtener el valor de la corriente a plena carga del motor de rotor devanado se ocupa la **Tabla 430-250.- Corriente a plena carga de motores trifásicos de corriente alterna** (Ver anexo C) donde el valor para nuestra potencia no está por lo cual realizamos una doble interpolación, resultando lo siguiente:

$$P = 2.25 \text{ kW} \rightarrow I_{pc} = 9.6 \text{ A}$$

$$P = 3.75 \text{ kW} \rightarrow I_{pc} = 15.2 \text{ A}$$

$$P = 2.8 \text{ kW} \rightarrow I_{pc} = 11.8 \text{ A}$$

Como se puede observar en las características del motor tenemos dos diferentes voltajes uno de 380V y el otro de 220V, por lo cual se selecciona el de mayor corriente porque de lo contrario los cálculos que se realizaran a continuación tal vez no permitan tener un buen desempeño del motor en su conexión delta como puede ser un error en el dimensionamiento de las protecciones.

Se considerará a estos motores como una carga continua de acuerdo al **art. 100 Definiciones** (Ver anexo B) debido a que se plantea su uso en un futuro para material didáctico. Con lo cual se realiza un ajuste a la corriente de plena carga de ambos motores de acuerdo al **art. 430-22 Un solo motor** (Ver anexo B), con ello la ampacidad mínima que debe tener el conductor es la siguiente:

$$I_{pca1} = 1.25I_{pc1} = 1.25(11.8 \text{ A}) = 14.75 \text{ A} \uparrow = 15 \text{ A}$$

$$I_{pca2} = 1.25I_{pc2} = 1.25(6 \text{ A}) = 7.5 \text{ A} \uparrow = 8 \text{ A}$$

El redondeo se lleva a cabo conforme al **art. 220-5(b) Cálculos** (Ver anexo B). Para la selección de los conductores es conforme al **art. 430-6 Determinación de la ampacidad y del valor nominal de los motores** (Ver anexo B) donde se especifican las tablas que pueden ser ocupadas para los conductores, por lo tanto se hace uso de la **Tabla 310-15(b)(16) Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones hasta 2000 volts y 60°C a 90°C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o directamente enterrados, basados en una temperatura ambiente de 30°C** (Ver anexo C). Para este caso:

$$I_{pca1} = 15 A \rightarrow AWG\#12 THW 75^{\circ}C$$

$$I_{pca2} = 8 A \rightarrow AWG\#12 THW 75^{\circ}C$$

Un factor a tener en cuenta para la selección del conductor es la temperatura ambiente que se tiene en el lugar de la instalación, en este caso la FESC, por lo cual se ocupa la **Tabla 310-15(b)(2)(a).**- **Factores de corrección basados en una temperatura ambiente de 30°C** (Ver anexo C) donde se determina el valor con el cual se ajustara la ampacidad de los conductores. Como la temperatura ambiente de la FESC ronda entre el rango de los 26 a 30°C, entonces el factor de corrección por temperatura es unitario y el calibre de los conductores se mantiene.

Otro factor que se considera para la selección del conductor es la caída de tensión admisible, por lo cual en base al **art. 215-2 (a) Nota 2 Capacidad y tamaño mínimo del conductor** (Ver anexo B) con el cual nos establece que el valor máximo permitido de caída de tensión para cargas de fuerza es del 3%, esto para obtener una eficiencia razonable. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} * Z * L * I}{V_{ff}} x 100\%$$

Dónde:

$\Delta V$  = Caída de tensión en el conductor en %

$Z$  = Impedancia eléctrica del conductor en  $\Omega/km$

$L$  = Longitud del circuito en km

$I$  = Corriente eléctrica que pasa por el conductor en Ampere

$V_{ff}$  = Voltaje entre fases en Volts

Para saber si los conductores seleccionados son los correctos se extrae el valor de impedancia de cada conductor mediante la **Tabla 9. Resistencia y reactancia en corriente alterna para los cables para 600 volts, 3 fases a 60 Hz y 75°C. Tres conductores individuales en un tubo conduit** (Ver anexo C) que para este caso se hablan de

conductores de cobre en tubería de acero y se realiza el siguiente cálculo:

$$\Delta V_1 = \frac{\sqrt{3} * 5.6 \frac{\Omega}{km} * 3 \times 10^{-3} km * 11.8 A}{220 V} * 100\% = 0.16\% \text{ motor de rotor devanado}$$

$$\Delta V_2 = \frac{\sqrt{3} * 5.6 \frac{\Omega}{km} * 3 \times 10^{-3} km * 6 A}{220 V} * 100\% = 0.079\% \text{ motor síncrono}$$

Como podemos observar los valores están en el rango debido a que la distancia es muy pequeña y con ello podemos establecer que los conductores si cumplen con todos los ajustes que se requieren.

#### **4.1.2 Protecciones para máquinas de c.a.**

Las protecciones en circuitos derivados de motores eléctricos, juegan un papel fundamental ya que son las que protegen al motor de sufrir algún daño debido a una sobrecarga o sobrecorriente como las de cortocircuito, abriendo el circuito cuando la corriente alcanza un valor inadmisibles. La importancia de las protecciones en la instalación de motores eléctricos se enfoca en proteger a los componentes aislantes de esfuerzos dieléctricos, mecánicos y térmicos, ya que la vida de un aislante en cierta forma determina la vida útil que pueda tener un motor eléctrico.

Existen dos tipos de protecciones a saber: las de sobrecarga y las de sobrecorriente:

- **Protección contra sobrecarga:** las protecciones de sobrecarga tienen la finalidad de evitar que el motor se sobrecaliente, es decir prevé al motor de daños causados por un aumento de temperatura, es por ello que la ampacidad debe ser del 125%, es decir un 25% más de su valor de corriente a plena carga, como se especificó en el cálculo del conductor.
- **Protección contra sobrecorriente:** este tipo de protecciones tiene como objetivo abrir el circuito si la corriente alcanza un valor muy elevado comparándola con la de plena carga (cortocircuito), pero debe ser dimensionada o ajustada, de tal forma que al arranque permita al motor acelerarse y no abrir cada que el motor arranque. (8)

#### 4.1.2.1 Sobrecarga.

Para la selección de este tipo de protección en los motores se basa su análisis en el **art. 430-32(a)(1) Motores de servicio continuo** (Ver anexo B), con lo cual se emplea la siguiente fórmula:

$$I_{psc1} = 1.25I_{pc1} = 1.25(11.8 A) = 14.75 A \uparrow = 15 A$$

$$I_{psc2} = 1.25I_{pc2} = 1.25(6 A) = 7.5 A \uparrow = 8 A$$

Como bien dice el artículo antes mencionado esta protección deber ser menor o igual a ese valor.

#### 4.1.2.2 Cortocircuito y fallas a tierra.

De acuerdo al **art. 430-52 Capacidad nominal o ajuste para circuitos de un solo motor** (Ver anexo B) menciona las características que debe cumplir el dispositivo que se vaya a emplear contra dichas fallas. Mientras en la **Tabla 430-52 Ajuste máximo de los dispositivos de protección contra cortocircuito y falla a tierra para circuitos derivados de motores** (Ver anexo C) se mencionan los valores máximos de cada dispositivo de acuerdo al motor. Para este caso se seleccionó un fusible de dos elementos (con retardo de tiempo), con lo cual se obtiene su valor nominal con la siguiente ecuación:

$$I_{FDE1} = 1.5I_{pc1} = 1.5(11.8 A) = 17.7 A \uparrow = 18 A$$

$$I_{FDE2} = 1.75I_{pc2} = 1.75(6 A) = 10.5 A \uparrow = 11 A$$

Ese sería el valor máximo del fusible de dos elementos (con retardo de tiempo), pero puede ser ajustado de acuerdo con las excepciones marcadas en el artículo anteriormente mencionado para buscar uno de valor estándar, por lo cual en el **art. 240-6(a) Capacidades estandarizadas de fusibles e interruptores automáticos** (Ver anexo B) se puede seleccionar uno de 20 A para el motor de rotor devanado y uno de 15 A para el motor síncrono. Se ha elegido un fusible con retardo de tiempo, ya que este tipo de protección debido a su punto de fusión elevado, permite el paso de sobrecorrientes por periodos de tiempos, es decir permite el paso de la corriente de arranque. (8)

#### 4.1.3 Conductor de puesta a tierra.

Conforme al **art. 250-122(d) Tamaño de los conductores de puesta a tierra de equipos**



(Ver anexo B) se debe seleccionar el conductor de puesta a tierra para cada motor en función al valor nominal del dispositivo de protección contra cortocircuito y falla a tierra antes calculado, entonces para determinar el calibre del conductor se ocupa la **Tabla 250-122.- Tamaño mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos** (Ver anexo C), el cual es el siguiente:

$$I_{FDE1} = 20 A \rightarrow AWG\#12 THW 75^{\circ}C$$

$$I_{FDE2} = 15 A \rightarrow AWG\#12 THW 75^{\circ}C$$

#### **4.1.4 Canalización.**

El proceso que se lleva a cabo en la selección del tubo conduit depende directamente del número de conductores y de su calibre, el primer paso es sumar las áreas transversales de todos los conductores, como en este caso se tienen 3 conductores para las fases y 1 conductor para la puesta a tierra ya sea en el de rotor devanado o en el síncrono, los cuales son del mismo calibre AWG#12, que de acuerdo a la **Tabla 5. Dimensiones de los conductores aislados y cables para artefactos** (Ver anexo C) dice que su diámetro aproximado es de 3.861 mm. Entonces el área del conductor se calcula de la siguiente manera:

$$AC = \frac{3.1416}{4} (DAC)^2 = \frac{3.1416}{4} (3.861)^2 = 11.7 \text{ mm}^2$$

Por lo tanto el área total de los 4 conductores es el siguiente:

$$ATC = 4(11.7) = 46.8 \text{ mm}^2$$

El siguiente paso es la selección del tipo de material y su tamaño comercial, el cual se puede consultar en la **Tabla 4. Dimensiones y porcentaje disponible para los conductores del área del tubo conduit (basado en la tabla 1)** (Ver anexo C) donde se debe tener cuidado de que el % para más de 2 conductores sea mayor al ATC, por lo que se seleccionó el siguiente para cada motor:

Tubo conduit metálico semipesado  $\emptyset$  1/2"

## Motores de corriente continua

### 4.1.5 Conductores de alimentación para máquinas de c.c.

Para obtener el valor de la corriente a plena carga de cada máquina de corriente continua se ocupa la **Tabla 430-247 Corriente a plena carga para motores de corriente continua** (Ver anexo C) donde el valor para nuestra potencia no está por lo cual realizamos una doble interpolación, resultando lo siguiente:

$$P_1 = 1.12kW \rightarrow I_{pc1} = 6.6 A$$

$$P_1 = 1.5 kW \rightarrow I_{pc1} = 8.5 A$$

$$P_1 = 1.4 kW \rightarrow I_{pc1} = 8 A$$

$$P_2 = 2.25 kW \rightarrow I_{pc2} = 12.2 A$$

$$P_2 = 3.75 kW \rightarrow I_{pc2} = 20 A$$

$$P_2 = 2.7 kW \rightarrow I_{pc2} = 14.54 A$$

La ampacidad que debe tener el conductor para cada una de las máquinas de corriente continua es en base al **art. 430-22(a) Un solo motor** (Ver anexo B) donde dice el valor por el cual se multiplica la corriente a plena carga dependiendo del diseño de la fuente rectificadora, es decir, si realiza una rectificación de media onda o de onda completa. Para este caso la fuente lo realiza de onda completa por lo cual el ajuste a la corriente de plena carga es el siguiente:

$$I_{pca1} = 1.5I_{pc1} = 1.5(8 A) = 12 A$$

$$I_{pca2} = 1.5I_{pc2} = 1.5(14.54 A) = 21.8 A \hat{=} 22 A$$

El redondeo se lleva a cabo conforme al **art. 220-5(b) Cálculos** (Ver anexo B). Para la selección del conductor para cada máquina de c.c. es conforme al **art. 430-6 Determinación de la ampacidad y del valor nominal de los motores** (Ver anexo B) donde se especifican las tablas que pueden ser ocupadas para los conductores, por lo tanto se hace uso de la **Tabla 310-15(b)(16) Ampacidades permisibles en conductores**

**aislados para tensiones hasta 2000 volts y 60°C a 90°C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o directamente enterrados, basados en una temperatura ambiente de 30°C** (Ver anexo C). Para este caso:

$$I_{pca1} = 12 A \rightarrow AWG\#12 THW 75^{\circ}C$$

$$I_{pca2} = 22 A \rightarrow AWG\#12 THW 75^{\circ}C$$

Un factor a tener en cuenta para la selección del conductor en cada máquina de c.c. es la temperatura ambiente que se tiene en el lugar de la instalación, en este caso la FESC, por lo cual se ocupa la **Tabla 310-15(b)(2)(a).- Factores de corrección basados en una temperatura ambiente de 30 °C.** (Ver anexo C) donde se determina el valor con el cual se ajustara la ampacidad del conductor. Como la temperatura ambiente de la FESC ronda entre el rango de los 26 a 30°C, entonces el factor de corrección por temperatura es unitario y el calibre del conductor se mantiene.

Otro factor que se considera para la selección del conductor en cada máquina de c.c. es la caída de tensión admisible, por lo cual en base al **art. 215-2 (a) Nota 2 Capacidad y tamaño mínimo del conductor** (Ver anexo B) con el cual nos establece que el valor máximo permitido de caída de tensión para cargas de fuerza es del 3%, esto para obtener una eficiencia razonable. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$\Delta V = \frac{R * L * I}{V_{c.c}} x 100\%$$

Dónde:

$\Delta V$  = Caída de tensión en el conductor en %

$R$  = Resistencia eléctrica del conductor en  $\Omega/km$

$L$  = Longitud del circuito en km

$I$  = Corriente eléctrica que pasa por el conductor en Ampere

$V_{c.c}$  = Voltaje de corriente continua en Volts

Para saber si el conductor seleccionado es el correcto se extrae el valor de impedancia del

propio conductor mediante la **Tabla 8. Propiedades de los conductores** (Ver anexo C) que para este caso se habla de un conductor de cobre recubierto de 7 hilos y se realiza el siguiente cálculo:

$$\Delta V1 = \frac{6.73 * 3 \times 10^{-3} * 8}{220} \times 100\% = 0.07\%$$

$$\Delta V2 = \frac{6.73 * 3 \times 10^{-3} * 14.54}{220} \times 100\% = 0.13\%$$

Como podemos observar el valor en cada conductor está en el rango debido a que la distancia es muy pequeña y con ello podemos establecer que esos conductores si cumplen con todos los ajustes que se requieren.

#### **4.1.6 Protecciones para máquinas de c.c.**

##### **4.1.6.1 Sobrecarga.**

Para la selección de este tipo de protección en cada máquina de c.c. se basa su análisis en el **art. 430-32(a)(1) Motores de servicio continuo** (Ver anexo B), con lo cual se emplea la siguiente fórmula:

$$I_{psc1} = 1.25I_{pc1} = 1.25(8 A) = 10 A$$

$$I_{psc2} = 1.25I_{pc2} = 1.25(14.54 A) = 18.2 A \downarrow = 18 A$$

Como bien dice el artículo antes mencionado esta protección deber ser menor o igual a ese valor.

##### **4.1.6.2 Cortocircuito y fallas a tierra.**

De acuerdo al **art. 430-52 Capacidad nominal o ajuste para circuitos de un solo motor** (Ver anexo B) menciona las características que debe cumplir el dispositivo que se vaya a emplear contra dichas fallas. Mientras en la **Tabla 430-52 Ajuste máximo de los dispositivos de protección contra cortocircuito y falla a tierra para circuitos derivados de motores** (Ver anexo C) se mencionan los valores máximos de cada dispositivo de acuerdo al motor. Para este caso se seleccionó un fusible de dos elementos (con retardo de tiempo), con lo cual se obtiene su valor nominal con la siguiente ecuación:

$$I_{FDE1} = 1.5I_{pc1} = 1.5(8 A) = 12 A$$

$$I_{FDE2} = 1.5I_{pc2} = 1.5(14.54 A) = 21.81 A \uparrow = 22 A$$

Ese sería el valor máximo de cada fusible de dos elementos (con retardo de tiempo), pero puede ser ajustado de acuerdo con las excepciones marcadas en el artículo anteriormente mencionado para buscar uno de valor estándar, por lo cual en el **art. 240-6(a) Capacidades estandarizadas de fusibles e interruptores automáticos** (Ver anexo B) se puede seleccionar en el caso de la máquina de 1.4 kW uno de 15 A y para la de 2.7 kW uno de 25 A.

#### **4.1.7 Conductor de puesta a tierra.**

Conforme al **art. 250-122(d) Tamaño de los conductores de puesta a tierra de equipos** (Ver anexo B) se deben seleccionar los conductores de puesta a tierra para cada máquina de c.c. en función al valor nominal del dispositivo de protección contra cortocircuito y falla a tierra antes calculado, entonces para determinar el calibre del conductor se ocupa la **Tabla 250-122.- Tamaño mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos** (Ver anexo C), el cual es el siguiente:

$$I_{FDE1} = 15 A \rightarrow AWG\#12 THW 75^{\circ}C$$

$$I_{FDE2} = 20 A \rightarrow AWG\#12 THW 75^{\circ}C$$

#### **4.1.8 Canalización.**

El proceso que se lleva a cabo en la selección del tubo conduit depende directamente del número de conductores y de su calibre, el primer paso es sumar las áreas transversales de todos los conductores en cada máquina de c.c., como en este caso se tiene 1 conductor para la terminal positiva, otro para la negativa y 1 conductor para la puesta a tierra, los cuales son del mismo calibre AWG#12, que de acuerdo a la **Tabla 5. Dimensiones de los conductores aislados y cables para artefactos** (Ver anexo C) dice que su diámetro aproximado es de 3.861 mm. Entonces el área del conductor se calcula de la siguiente manera:

$$AC = \frac{3.1416}{4} (DAC)^2 = \frac{3.1416}{4} (3.861)^2 = 11.7 \text{ mm}^2$$

Por lo tanto el área total de los 3 conductores es el siguiente:

$$ATC1 = 3(11.7) = 46.8 \text{ mm}^2$$

$$ATC2 = 3(11.7) = 46.8 \text{ mm}^2$$

El siguiente paso es la selección del tipo de material y su tamaño comercial, el cual se puede consultar en la **Tabla 4. Dimensiones y porcentaje disponible para los conductores del área del tubo conduit (basado en la tabla 1)** (Ver anexo C) donde se debe tener cuidado de que el % para más de 2 conductores sea mayor al ATC, por lo que se seleccionó el siguiente para cada máquina de c.c.:

Tubo conduit metálico semipesado  $\varnothing$  1/2"

## 4.2 Cálculo de circuitos principales.

### 4.2.1 Conductores del alimentador de c.a. y c.c.

Una vez hecho los cálculos del circuito para el motor, se tienen que hacer los cálculos para el circuito principal o de alimentación, primeramente se define el calibre del conductor de acuerdo con el **art. 430-24. Varios motores o motores y otras cargas.** (Ver anexo B) donde se define como calcular la ampacidad que debe soportar nuestro conductor de acuerdo a las características de los circuitos derivados o de los motores. Por lo tanto la ampacidad del conductor se calcula con la siguiente fórmula:

Motor de rotor devanado y motor síncrono

$$I_{T_{pca1}} = \sum 1.25 I_{pcMMI} + I_{pcDM} = 1.25(11.8 A) + 6 A = 20.75 A \uparrow = 21 A$$

Motores de corriente continua

En el caso del circuito principal o del alimentador para los motores de corriente continua es de acuerdo al **art. 430-22(a) Un solo motor.** (Ver anexo B) donde se especifica el porcentaje por el cual se debe multiplicar la corriente nominal a la entrada del rectificador, la ampacidad del conductor se calcula de la siguiente manera:

$$I_{T_{pca2}} = \sum 1.25 I_{pcT} = 1.25(1.42 A + 1.2 A) = 3.3 A \downarrow = 3 A$$

Con lo cual el conductor seleccionado en ambos casos es el siguiente:

$$I_{T_{pca1}} = 21 A \rightarrow AWG\#12 THW 75^{\circ}C$$

$$I_{T_{pca2}} = 3.3 A \rightarrow AWG\#12 THW 75^{\circ}C$$

#### **4.2.2 Protecciones de cortocircuito y fallas a tierra.**

La protección se selecciona en base a la suma de corrientes de los motores, por un lado los de c.a y por otro los de c.c., con lo cual se obtiene lo siguiente:

$$I_{T1} = 11.8 A + 6 A = 17.8 A \uparrow = 18 A$$

$$I_{T2} = 1.42 A + 1.2 A = 2.62 A \uparrow = 3 A$$

Para el primer caso que es para motores de c.a. de acuerdo al **art. 240-6(a) Capacidades estandarizadas de fusibles e interruptores automáticos.** (Ver anexo B) se puede emplear uno de 25 A y para el caso del rectificador uno de 15 A.

#### **4.2.3 Canalización.**

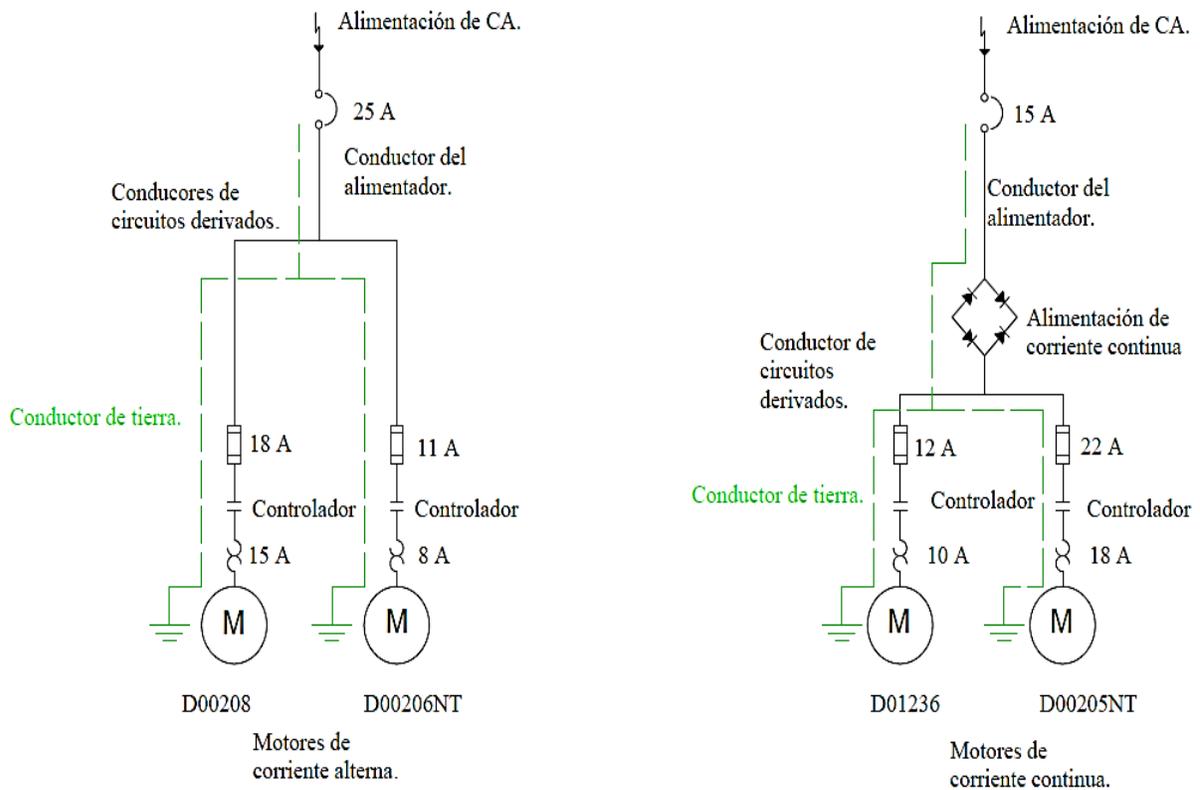
Para ambos casos tenemos la misma situación acerca de 3 conductores del mismo calibre AWG#12, que anteriormente se demostró que para ese número de conductores se puede emplear el siguiente:

Tubo conduit metálico semipesado  $\emptyset$  1/2"

Ya que se ha visto la forma en que deben calcularse la protección, el conductor y las canalizaciones, se presenta el circuito unifilar de la instalación de los motores Didacta Italia, donde se especifica el valor de protección que se calculó y el calibre del conductor que se propone como lo indica la figura 17, y en la tabla 20 se establecen las características de todos sus componentes.

**Tabla 20.- Características de los componentes en la instalación de motores Didacta Italia.**

Motor	Conductor del circuito derivado	Conductor del alimentador	Protecciones del circuito derivado		Protecciones del alimentador
			Protección contra sobrecorriente	Protección contra sobrecarga	
De rotor devanado D00208	AWG #12 THW 75°C	AWG #12 THW 75°C	18 Amperes	15 Amperes	25 Amperes
Síncrono D00206NT	AWG #12 THW 75°C		11 Amperes	8 Amperes	
Corriente continua D01236	AWG #12 THW 75°C	AWG #12 THW 75°C	12 Amperes	10 Amperes	15 Amperes
Corriente continua D00205NT	AWG #12 THW 75°C		22 Amperes	18 Amperes	



**Fig. 17.- Diagrama unifilar de la instalación de motores Didacta Italia**



## **Conclusiones.**

El principal problema de la puesta en marcha de motores eléctricos a nivel industrial es *la corriente de arranque* como se analizó en el presente trabajo, con la implementación de los métodos de arranque y control en las máquinas eléctricas Didacta Italia se logró obtener un manejo sobre variables como: corriente de arranque, tensión aplicada, frecuencia, par de arranque y velocidad, así se determinó que la parte del control y el buen diseño de una protección va ligado a este fenómeno transitorio, debido a que el control hace más eficiente el arranque y la elección correcta de las protecciones, prevé al motor de sufrir daños y a su vez permite acelerarlo. En el caso de la corriente de arranque, se obtuvieron las gráficas corriente-tiempo, donde se visualizó el comportamiento de cada uno, según el tipo de máquina y su conexión, observándose la disminución de la corriente comparada con la que se obtiene en un arranque directo.

Con respecto a la implementación de un relevador inteligente, en este caso LOGO, ayudo a realizar de una forma más automática y eficiente ambos métodos, pues todo era en base a una programación (escalera) que contaba con temporizadores internos, que al durar un tiempo muy corto la corriente de arranque, la utilización del relevador inteligente aportó una mayor precisión en la apertura y cierre de los contactos que se utilizaron en cada método de arranque, que la que se hubiera obtenido de forma manual.

Seleccionar que método es mejor depende de muchos factores como el costo, tamaño, rendimiento, entre otros, pero referirnos únicamente a la corriente de arranque nos demuestra que los dispositivos que emplean electrónica de potencia tienen una ligera mejoría sobre los convencionales. Pero cada método tiene sus características propias por lo cual su selección depende directamente de la aplicación en la que se va a utilizar y del tipo de máquina que se esté empleando. Finalmente, a pesar que el equipo con el que se trabajo es de una potencia menor a la que establece la literatura para poder emplear algún método de arranque, se determina con base a las experimentaciones que las consideraciones y el planteamiento se pueden llevar a máquinas de mayor potencia, siempre y cuando se tomen en cuenta las características de placa de la máquina que se vaya a utilizar, ya que de realizar este tipo de pruebas en las maquinas correspondientes conllevaría una gran cantidad de energía y en algunos casos podrían ser destructivas.

### **Opinión personal.**

El presente trabajo de tesis representó un reto importante en nuestra vida académica, puesto que se empezó a plantear a partir del servicio social realizado dentro de las instalaciones de Campo 4, específicamente en el LIME IV, todo lo recapitulado a lo largo del presente trabajo surge de la necesidad de poner en servicio el equipo de laboratorio Didacta Italia junto con su línea de motores, donde una de las dificultades fue la poca información que se tenía respecto al equipo en general, por lo cual se tuvo que trabajar con mucha precaución para no dañar los motores, reóstato, banco de resistencias, fuentes de alimentación, entre otros, debido al tiempo que llevaban dentro de las instalaciones sin ser ocupados por alumnos o profesores. Dando la oportunidad de poner en práctica lo aprendido en materias como motores de inducción y transformadores al igual que control electromecánico, parte fundamental para tener noción sobre los métodos de arranque y control tanto para motores de c.a. como los de c.c., pero al mismo tiempo, se generó un aprendizaje práctico durante cada experimentación, permitiéndonos realizar un análisis más profundo sobre el tema al que comúnmente se llega durante las clases teóricas y las horas de laboratorio impartidas durante un semestre de clases.

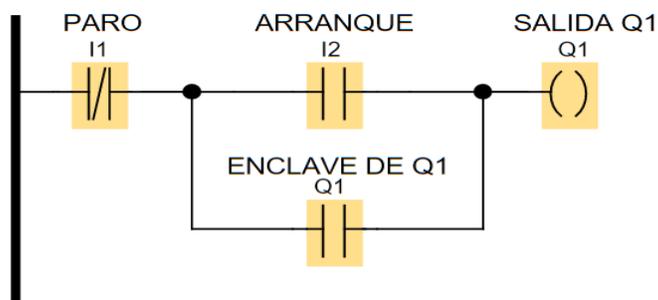
Otra parte importante durante el desarrollo del trabajo de tesis, fue difundir lo que se estaba realizando con la línea Didacta Italia, participando en el Congreso de Ciencia y Tecnología llevado a cabo en las instalaciones de Campo 1, de esta forma nos permitió compartir el conocimiento adquirido e intercambiar ideas sobre nuestro tema con otras ingenierías pertenecientes a la FES Cuautitlán. En general, la parte esencial de nuestro trabajo, a partir de las experimentaciones realizadas, es generar una serie de prácticas que queden al servicio de la comunidad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y de las demás Ingenierías de la FES Cuautitlán que requieran el uso de este equipo didáctico en sus asignaturas de laboratorio, así como también, se puedan impartir cursos a la comunidad estudiantil que se encuentran en la parte media de la carrera, con el objetivo que puedan desarrollar sus habilidades y adquirir mayor seguridad al momento de trabajar con el equipo de laboratorio. Para finalizar, el presente trabajo es la continuación del trabajo de tesis elaborado por el compañero Osvaldo Solís Pérez “Puesta en marcha de motores Didacta Italia”, sin antes destacar el asesoramiento por parte del Ing. Ángel Isaías Lima Gómez durante nuestra estancia en el LIME IV, y a los estudiantes y profesores que se encargaron de darle mantenimiento y rescatar a esta línea de motores.

## **Bibliografía.**

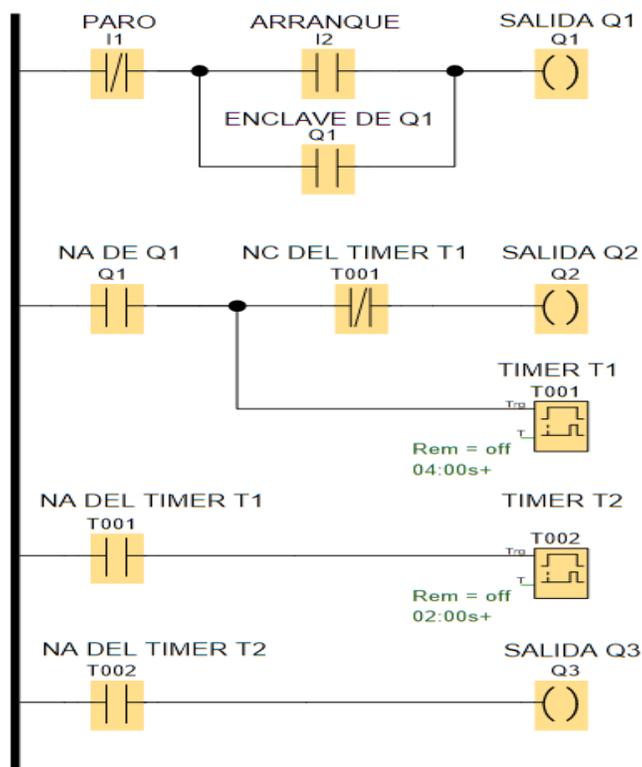
1. Sánchez HB. Operación control y protección de motores eléctricos. 3rd ed. México, México: Hp; 1984.
2. Mora JF. Máquinas eléctricas. 6th ed. Madrid, España: Mc Graw Hill; 2008.
3. Wildi T. Máquinas eléctricas y sistemas de potencia. 6th ed. Rosas PMG, editor. México, México: Pearson Educación; 2007.
4. Allen JM. Máquinas eléctricas rotativas: introducción a la teoría general. Caracas, Venezuela: Equinoccio; 2008.
5. Chapman SJ. Máquinas eléctricas. 3rd ed.: Mc Graw Hill; 2000.
6. Vilorio JR. Motores eléctricos. Accionamientos de máquinas. 30 tipos de motores. 4th ed. Madrid, España: Thomson Paraninfo; 2005.
7. Guru BS. Máquinas eléctricas y transformadores. 3rd ed.: Alfaomega; 2003.
8. Harper GE. Guía práctica para el cálculo de instalaciones eléctricas: Limusa.
9. NOM-001-SEDE-2012, instalaciones eléctricas utilización.
10. U.A.B. Electrical and Electronics Engineering India: Technical Publications Pune; 2009.

## Apéndice A (Archivos de LOGO!SOFT COMFORT).

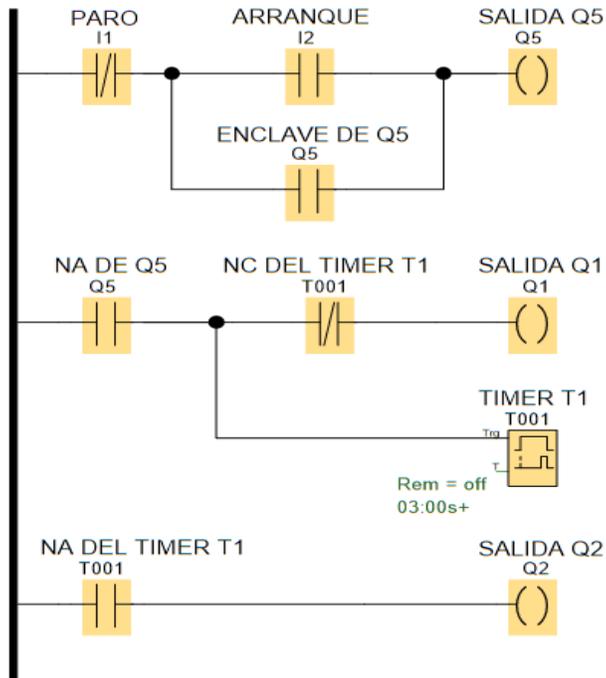
En este apéndice se abarcan los archivos desarrollados mediante el software de LOGO!SOFT COMFORT de SIEMENS V7.0.23 que se muestran en cada uno de los diagramas de los capítulos 2 y 3 del presente trabajo, con la intención de que el lector pueda observarlos e interpretarlos detalladamente.



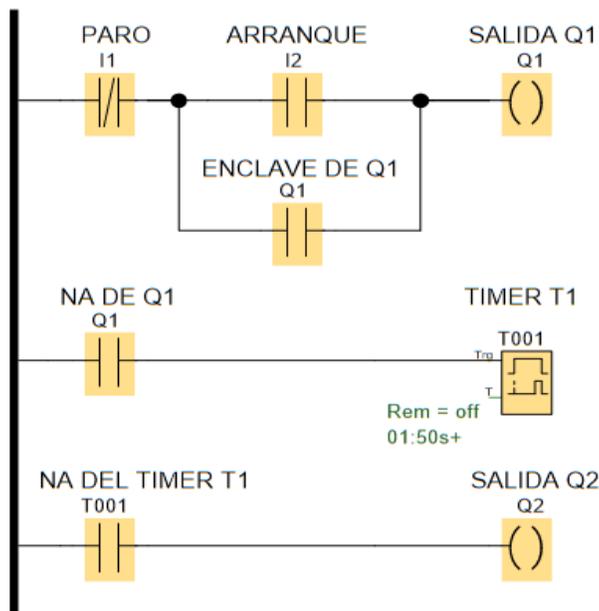
Archivo 1. Arranque a tensión plena automático tanto para c.a. como para c.c.



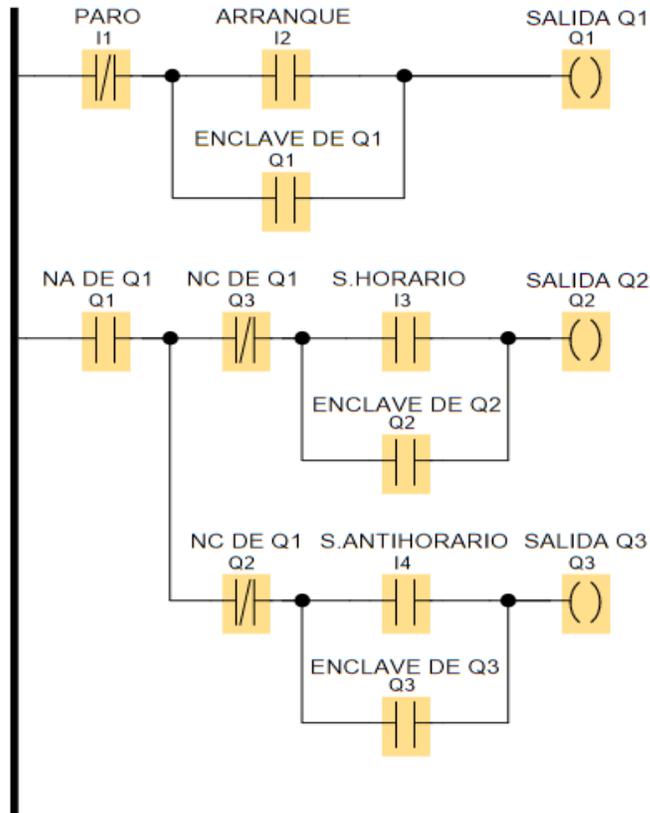
Archivo 2. Arranque estrella – delta.



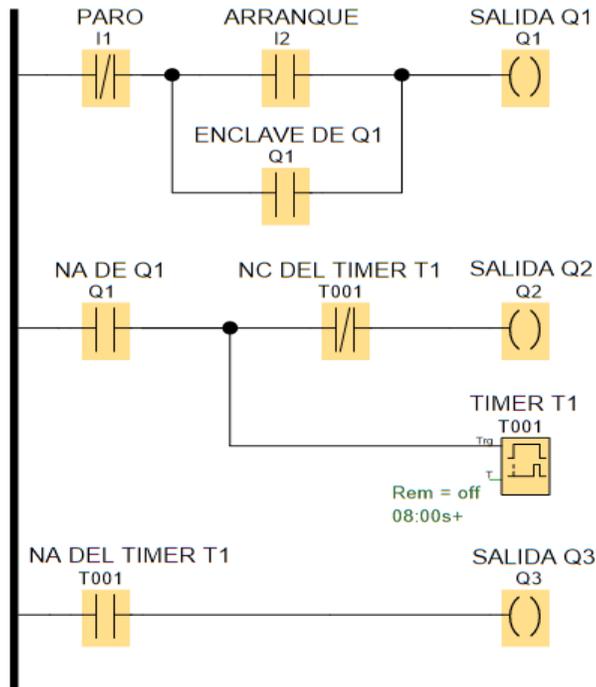
**Archivo 3. Arranque con resistencias estáticas.**



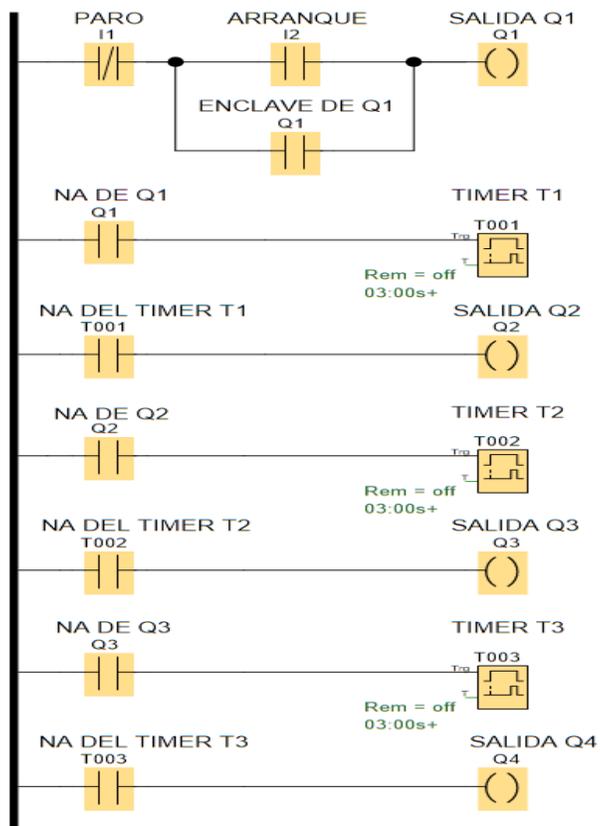
**Archivo 4. Arranque con resistencias rotóricas.**



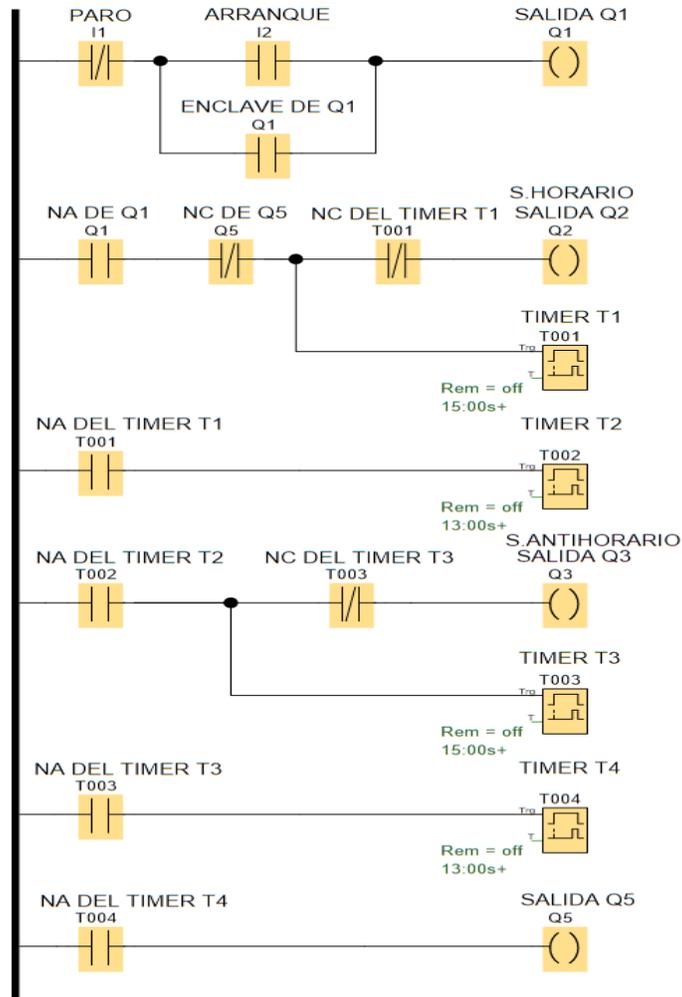
**Archivo 5. Arranque por arrancador suave.**



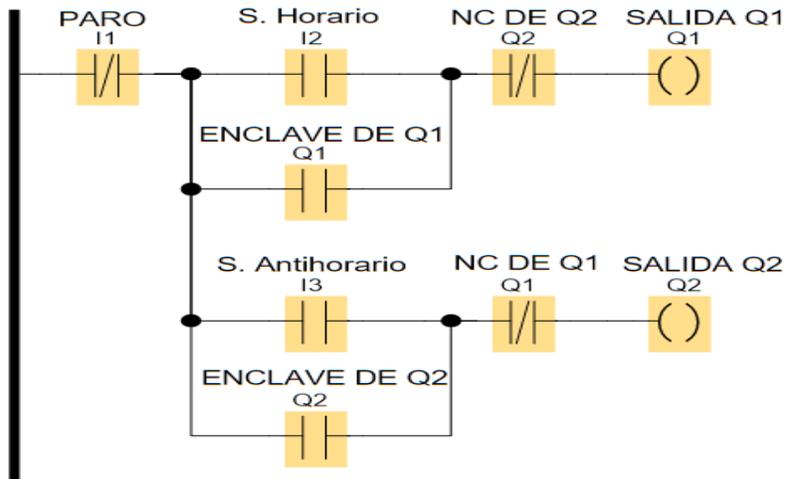
**Archivo 6. Sincronización de la máquina síncrona.**



Archivo 7. Arranque por resistencias en la armadura.

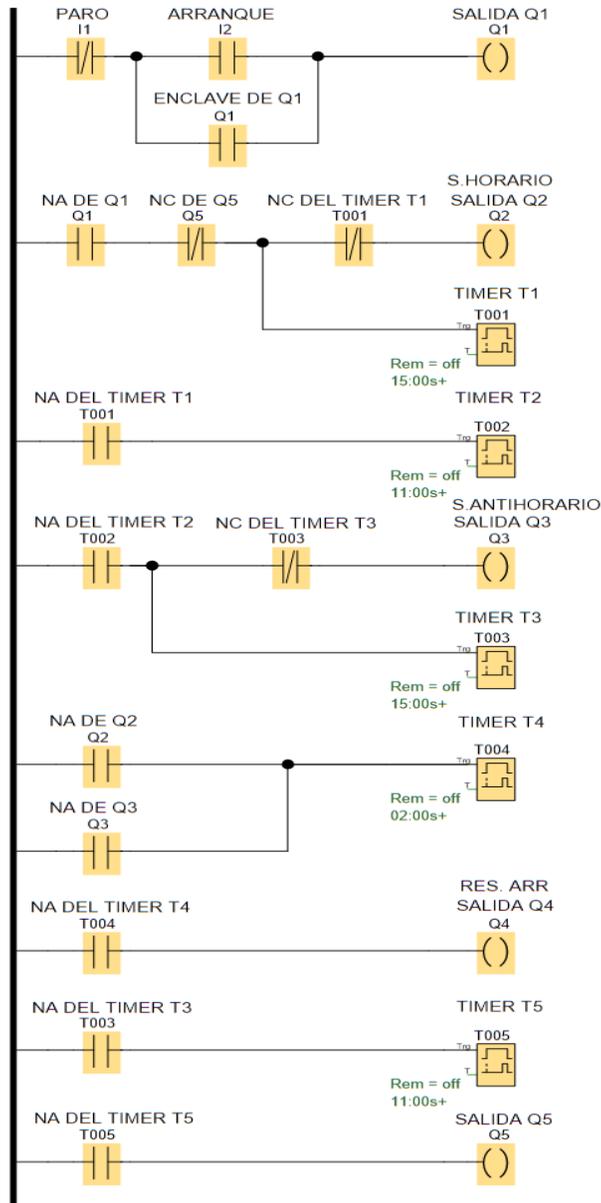


Archivo 8. Inversión de giro en c.a. cíclico.

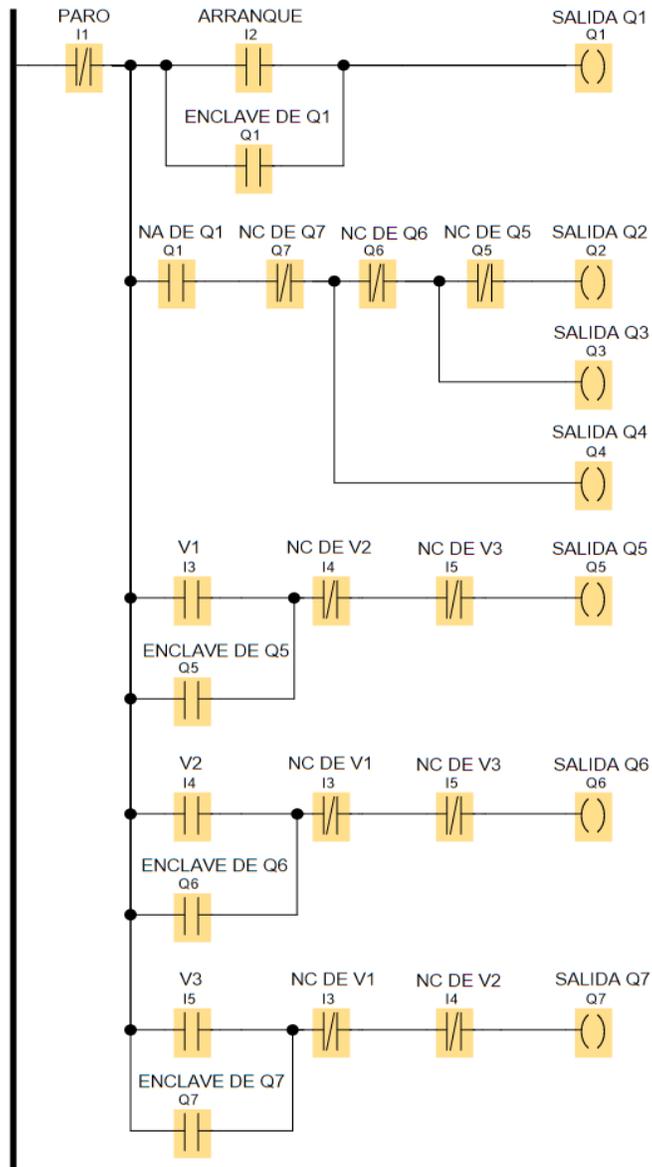


Archivo 9. Inversión de giro en c.a. selectivo.





Archivo 10. Inversión de giro en c.c. cíclico.



**Archivo 11. Variación de la velocidad por medio de resistencias en el campo.**

## Anexo A (Hoja de datos técnicos).

Este apéndice comprende los dispositivos empleados en la elaboración de las pruebas descritas en el presente trabajo, en los contactores, arrancador suave y guardamotores se hace referencia a la corriente y potencia que soporta cada uno, justificando de esta forma la utilización de estos dispositivos con el equipo de laboratorio Didacta Italia de acuerdo a la potencia de cada máquina.

### DATASHEET - PKZM01-4

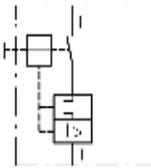


Motor-protective circuit-breaker, 3p, I<sub>r</sub>=2.5-4A

Part no. PKZM01-4  
 Catalog No. 278482  
 Eaton Catalog No. XTPB004BC1  
 EL-Nummer 0004365017  
 (Norway)



### Delivery program

Product range	PKZM01 motor protective circuit-breakers up to 16 A with pushbutton actuation
Basic function	Motor protection
Notes	 <p>Also suitable for motors with efficiency class IE3.              IE3-ready devices are identified by the logo on their packaging.</p>
Connection technique	Screw terminals
Contact sequence	
<b>Max. motor rating</b>	
AC-3	
220 V 230 V 240 V	P kW 0.75
380 V 400 V 415 V	P kW 1.5
440 V	P kW 1.5
500 V	P kW 2.2
660 V 690 V	P kW 3
Rated uninterrupted current	I <sub>u</sub> A 4

### Setting range

Overload releases	$I_r$	A	2.5 - 4
short-circuit release			
max.	$I_{rm}$	A	62
Phase-failure sensitivity			IEC/EN 60947-4-1, VDE 0660 Part 102

**Notes** Overload trigger: tripping class 10 A  
Can be snapped on to IEC/EN 60715 top-hat rail with 7.5 or 15 mm height.

## Ficha técnica del producto **GV2ME08** Características **Guardamotor Magterm 3P 2,5/4A 100Ka**



### Principal

Distancia	TeSys
Nombre del producto	TeSys GV2
Modelo de dispositivo	GV2ME
Aplicación del dispositivo	Motor
Tipo de unidad de control	Térmico-magnético

### Complementario

Número de polos	3P
Tipo de red	CA
Categoría de utilización	AC-3 conforme a IEC 60947-4-1 A conforme a IEC 60947-2
Frecuencia asignada de empleo	50/60 Hz conforme a IEC 60947-4-1
Modo de fijación	Perfil DIN simétrico de 35 mm: cortado Panel: con tornillos (Con placa adaptadora)
Posición de funcionamiento	Cualquier posición
Potencia del motor en kW	1,1 kW a 400/415 V CA 50/60 Hz 1,5 kW a 400/415 V CA 50/60 Hz 1,5 kW a 500 V CA 50/60 Hz 3 kW a 690 V CA 50/60 Hz 2,2 kW a 500 V CA 50/60 Hz 2,2 kW a 690 V CA 50/60 Hz
Poder de corte	100 kA Icu a 230/240 V CA 50/60 Hz conforme a IEC 60947-2 100 kA Icu a 400/415 V CA 50/60 Hz conforme a IEC 60947-2 100 kA Icu a 440 V CA 50/60 Hz conforme a IEC 60947-2 100 kA Icu a 500 V CA 50/60 Hz conforme a IEC 60947-2 3 kA Icu a 690 V CA 50/60 Hz conforme a IEC 60947-2
[Ics] rated service short-circuit breaking capacity	100 % a 500 V CA 50/60 Hz conforme a IEC 60947-2 100 % a 230/240 V CA 50/60 Hz conforme a IEC 60947-2 100 % a 440 V CA 50/60 Hz conforme a IEC 60947-2 100 % a 400/415 V CA 50/60 Hz conforme a IEC 60947-2 75 % a 690 V CA 50/60 Hz conforme a IEC 60947-2
Tipo de control	Pulsador
Corriente nominal	4 A

Thermal protection adjustment range	2.5...4 A
Corriente de disparo magnética	51 A
Tensión asignada de empleo	690 V CA 50/60 Hz conforme a IEC 60947-2
Tensión asignada de aislamiento	690 V CA 50/60 Hz conforme a IEC 60947-2
[Itb] Intensidad térmica convencional	4 A conforme a IEC 60947-4-1
[Uimp] Tensión asignada de resistencia a los choques	6 kV conforme a IEC 60947-2
Potencia total disipada por polo	2,5 W
Endurancia mecánica	100000 ciclos
Endurancia eléctrica	100000 ciclos para AC-3 a 440 V
Maximum operating rate	25 cyc/h
Servicio nominal	Continuo conforme a IEC 60947-4-1
Conexiones - terminales	Conexión tornillo de estribo 2 cable(s) 1...6 mm <sup>2</sup> sólido Conexión tornillo de estribo 2 cable(s) 1,5...6 mm <sup>2</sup> flexible sin extremidad de cable Conexión tornillo de estribo 2 cable(s) 1...4 mm <sup>2</sup> flexible con
Par de apriete	1,7 N.m sobre conexión tornillo de estribo
Idoneidad para el seccionamiento	Sí conforme a IEC 60947-1
Sensibilidad a fallo de fase	Sí conforme a IEC 60947-4-1
Alto	89 mm
Ancho	45 mm
Profundidad	78,5 mm
Peso del producto	0,26 kg

**Lovato**  
electric

POTENCIA  
MOTOR A  
400V



Interruptores con contactores

kW	0,37	0,75	1,5	2,2	5,5	7,5
HP	0,5	1	2	3	7,5	10
A (AC3)	1,1	1,9	3,5	5	11,5	15,2

**Interruptores guardamotore magnetotérmicos con c**

Interruptores guardamotore magnetotérmicos	11 SM1B 20	11 SM1B 24	11 SM1B 28	11 SM1B 32	11 SM1A 40	11 SM1A 44
Campo regulación disparo térmico [A] ▲	1 - 1,6	1,6 - 2,5	2,5 - 4	4 - 6,5	9 - 14	13 - 18
Icu 400V [kA]	100	100	100	100	50	50
Contactores en AC	11 BG06 1A ⊕	11 BG06 0A ⊕	11 BG06 0A ⊕	11 BG06 1A ⊕	11 BF12 1 ⊕	11 BF16 1 ⊕
Contactores en DC	11 BG06 1D ⊕	11 BG06 0D ⊕	11 BG06 0D ⊕	11 BG06 1D ⊕	11 BF12C 1 ⊕	11 BF16C 1 ⊕
Conexión rígida (guardamotor - contactor)	11 SMX90 03	11 SMX90 03	11 SMX90 03	11 SMX90 03	11 SMX90 04	11 SMX90 04



Contactores con relés térmicos

**Contactores con relé térmico**

Fusibles aM [A]	2	4	6	8	16	20
Contactores en AC ■	11 BG06 1A ⊕	11 BG06 0A ⊕	11 BG06 0A ⊕	11 BG06 1A ⊕	11 BF12 1 ⊕	11 BF16 1 ⊕
Contactores en DC ■	11 BG06 1D ⊕	11 BG06 0D ⊕	11 BG06 0D ⊕	11 BG06 1D ⊕	11 BF12C 1 ⊕	11 BF16C 1 ⊕
Relés térmicos con rearme manual	11 RF9 1V5	11 RF9 2V3	11 RF9 5	11 RF9 75	11 RF25 15	11 RF25 23
Terminales para montaje directo en contactor	-	-	-	-	-	-
Campo de regulación relés [A] ◊	0,9 - 1,5	1,4 - 2,3	3 - 5	4,5 - 7,5	9 - 15	14 - 23

**Arrancadores estrella-triángulo completos**

Fusibles aM [A]	-	-	-	-	16	20
Arrancadores estrella-triángulo	-	-	-	-	21 DYF9 E75 ⊕	21 DYF9 E10 ⊕

## Instruction Leaflet for S701 Soft Starters

### Description

The S701 device is a reduced voltage soft start series controller designed to control acceleration and deceleration of three-phase motors. The S701 provides the user the ability to adjust initial torque, ramp up and down time, and also select kick start for high inertia loads.

### Approvals

CAN. CSA-C22.2 / UL Std. No. 508

IEC 947-4-2, IEC 158-2,

EN 60947-4-2, HD 419.2-S1

CE Marked

### Mounting Guidelines

**Important** — The S701\_15, and S701\_25 controllers are designed for vertical mounting in free air. If these controllers are mounted horizontally, the load current must be reduced to 50% of rated current.

### WARNING

**DO NOT INSTALL OR PERFORM MAINTENANCE ON THIS DEVICE WHILE EQUIPMENT IS ENERGIZED. DEATH OR SEVERE PERSONAL INJURY CAN RESULT FROM CONTACT WITH ENERGIZED EQUIPMENT. VERIFY THAT NO VOLTAGE IS PRESENT BEFORE PROCEEDING WITH INSTALLATION OR MAINTENANCE.**

Only qualified persons, as defined in the National Electric Code, who are familiar with the installation, maintenance and operation of this device and the equipment onto which it is to be installed, as well as applicable local, state and national regulations and industry standards and accepted practices regarding safety of personnel and the equipment safety should be permitted to install, maintain or operate this device. These instructions are provided only as a general guide to such qualified persons and are not all-inclusive. They do not cover every application or circumstance which may arise in the installation, maintenance or operation of this equipment. Users are advised to comply with all local, state and national regulations and industry standards and accepted practices regarding safety of personnel and equipment.

### CAUTION

**REMOVE ALL POWER FROM THE INSTALLATION BEFORE ATTEMPTING TO INSTALL OR REMOVE THIS DEVICE. THIS INCLUDES L1, L2, L3 AS WELL AS A1, A2, 11 AND 12.**

### Dimensions, mm [inches]

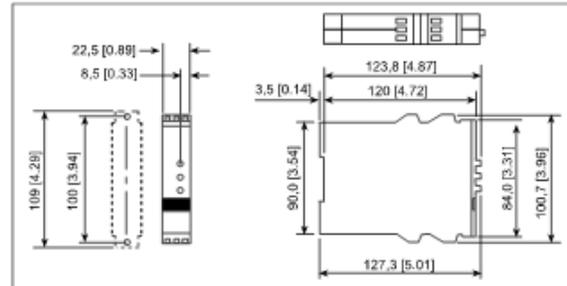


Figure 1. Approx. Dimensions in mm [inches] — S701\_03

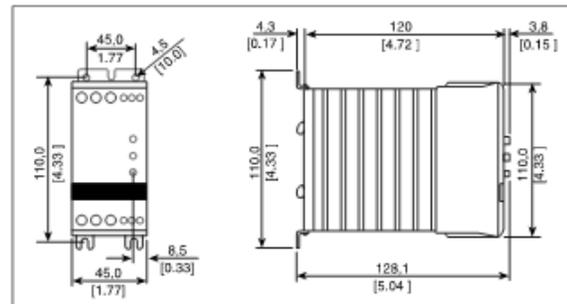


Figure 2. Approx. Dimensions in mm [inches] — S701\_15

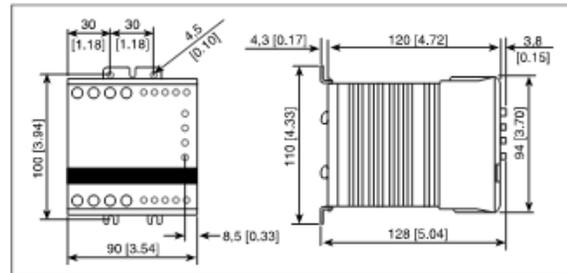


Figure 3. Approx. Dimensions in mm [inches] — S701\_25

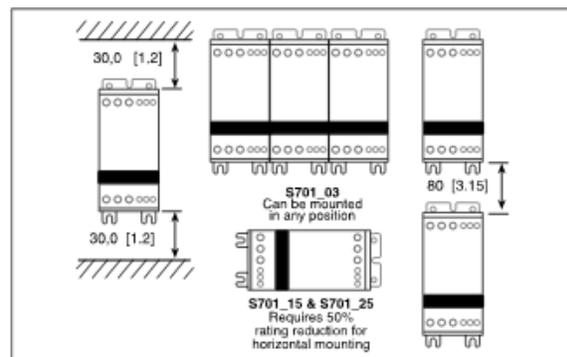


Figure 4. Approx. Dimensions in mm [inches] — Mounting

**Specifications**

**Table 1. Thermal and Mounting Specifications**

Specification	S701_03	S701_15, S701_25
Power dissipation (max.) continuous operation	4 Watts	2 Watts per Amp
Power dissipation (max.) intermittent operation	4 Watts x duty cycle	2 Watts per Amp x duty cycle
Cooling method	Natural convection	Natural convection
Operating temperature range, (see Table 6)	-5° to 40°C [23° to 104°F]	-5° to 40°C* [23° to 104°F]
Storage temperature	-20° to 80°C [-4° to 176°F]	-20° to 80°C [-4° to 176°F]
Mounting	Arbitrary	Vertical ±30° Horizontal derate 50%

\* UL Tested.

**Table 2. Insulation Specifications**

Description	Specification
Rated insulation voltage	Ui 660 Volt
Rated impulse withstand voltage	Uimp 4 kVolt
Installation category	III

**Environment Specifications**

EMC

Protection Degree: IP20

Pollution Degree: 3

**Table 3. Output Specifications**

Specification	S701_03	S701_15	S701_25
Operational Current (max.)	3.5A AC-53a, AC-3	15A AC-53a, AC-3	25A AC-53a, AC-3
Leakage Current	5 mA AC max.	4 mA AC max.	5 mA AC max.
Operational Current (min.)	50 mA	50 mA	50 mA
Max. Motor Size 208 – 230V AC	0.75 hp (0.1 – 0.55 kW)	5-1/2 hp (0.1 – 4.0 kW)	10 hp (0.1 – 7.5 kW)
Max. Motor Size 380 – 415V AC	1.5 hp (0.1 – 1.1 kW)	10 hp (0.1 – 7.5 kW)	15 hp (0.1 – 11.0 kW)
Max. Motor Size 400 – 480V AC	2 hp (0.1 – 1.5 kW)	10 hp (0.1 – 7.5 kW)	15 hp (0.1 – 11.0 kW)
Max. Motor Size 400 – 600V AC	2 hp (0.1 – 1.5 kW)	10 hp (0.1 – 7.5 kW)	25 hp (0.1 – 18.0 kW)

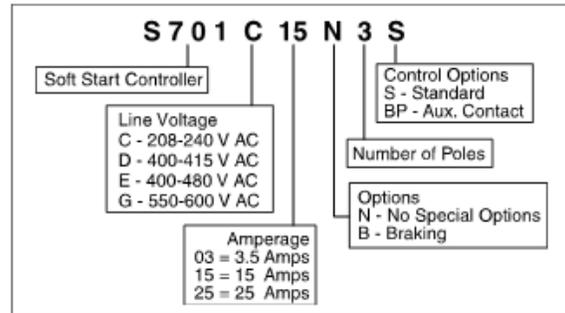
**Table 4. Control Specifications**

Control Voltage	S701_03	S701_15	S701_25
C	24 – 240	24 – 240	24 – 240
D	24 – 300	—	—
E	24 – 300	24 – 480	24 – 300
G	24 – 300	24 – 480	24 – 300
Pickup Voltage (max.)	20.4V AC/DC		
Dropout Voltage (min.)	5V AC/DC		
Control Current without operating	1 mA		
Response Time (max.)	70 ms		
Control Current / Power (max.)	15 mA / 2 VA		

**Product Selection**

**Table 5. Product Description and Item Selection**

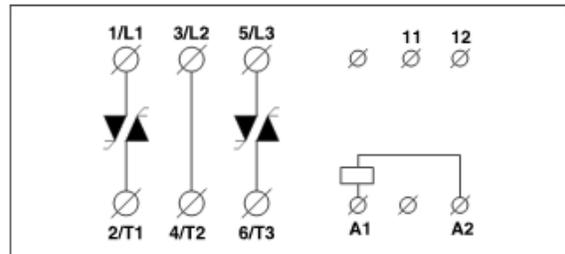
Line Voltage (V AC)	Item No. (3.5 Amp)	Item No. (15 Amp)	Item No. (25 Amp)
208 – 240	S701C03N3S	S701C15N3S	S701C25N3S
400 – 415	S701D03N3S	S701E15N3S	S701E25N3S
440 – 480	S701E03N3S	S701E15N3S	S701E25N3S
550 – 600	S701G03N3S	S701G15N3S	S701G25N3S
Ramp Up Time	Adjustable from 0.5 - 10 seconds		
Ramp Down Time	Adjustable from 0.5 - 10 seconds		
Initial Torque with Optional Kick Start	Adjustable from 0 – 85% of nominal torque		



**Maintenance**

Cooling fins must be kept clean and free from dust. The airflow must not be blocked.

**Wiring Diagram**



**Figure 5. Wiring Diagram**

Terminals 11 and 12 have no connection with the internal circuit. They are to be used in conjunction with a thermal overload protection or for other wiring purposes.

**NOTE: Use thermal overload protection as required by the National Electric Code (NEC).**

Símbolo	Designación	Alimentación	Entradas	Salidas	Características
	LOGO! 12/24RC	12/24 V CC	8 digitales <sup>(1)</sup>	4 relés de 10A	
	LOGO! 24	24 V c.c.	8 digitales <sup>(1)</sup>	4 transistores 24V / 0,3A	Sin reloj
	LOGO! 24RC <sup>(3)</sup>	24 V AC / 24 V DC	8 digitales	4 relés de 10A	
	LOGO! 230RC <sup>(2)</sup>	115...240 V CA/CC	8 digitales	4 relés de 10A	
	LOGO! 12/24RCo	12/24 V CC	8 digitales <sup>(1)</sup>	4 relés de 10A	Sin display Sin teclado
	LOGO! 24o	24 V DC	8 digitales <sup>(1)</sup>	4 transistores 24V / 0,3A	Sin display Sin teclado Sin reloj
	LOGO! 24RCo <sup>(3)</sup>	24 V AC / 24 V DC	8 digitales	4 relés de 10A	Sin display Sin teclado
	LOGO! 230RCo <sup>(2)</sup>	115...240 V CA/CC	8 digitales	4 relés de 10A	Sin display Sin teclado

- (1): De ellos pueden utilizarse alternativamente:  
2 entradas analógicas (0 ... 10V) y 2 entradas rápidas.
- (2): Variantes de 230 V: entradas en dos grupos de 4.  
Dentro del grupo sólo puede haber una misma fase,  
entre grupos puede haber fases distintas.
- (3): Las entradas digitales pueden utilizarse alternativamente  
con conexión P o conexión N.

LOGO! dispone del certificado CE, cumple las normas VDE 0631 y IEC 61131-2 y es antiparásito según EN 55011, categoría de valor límite B.

La homologación para construcción naval ha sido solicitada.

- ABS (American Bureau of Shipping)
- BV (Bureau Veritas)
- DNV (Det Norske Veritas)
- GL (Germanischer Lloyd)
- LRS (Lloyds Register of Shipping)
- Class NK (Nippon Kaiji Kyokai)

LOGO! se puede utilizar tanto en el ámbito industrial como en el doméstico.



## A.2 Datos técnicos: LOGO! 230... y LOGO! DM8 230R

	LOGO! 230RC LOGO! 230RCo	LOGO! DM8 230R
<b>Fuente de alimentación</b>		
Tensión de entrada	115...240 V CA/CC	115...240 V CA/CC
Margen admisible	85 ... 265 V CA 100 ... 253 V CC	85 ... 253 V CA 85 ... 253 V CC
Frecuencia de red admisible	47 ... 63 Hz	47 ... 63 Hz
Consumo de corriente		
• 115 V c.a.	10 ... 40 mA	10 ... 30 mA
• 240 V CA	10 ... 25 mA	10 ... 20 mA
• 115 V CC	5 ... 25 mA	5 ... 15 mA
• 240 V CC	5 ... 15 mA	5 ... 10 mA
Compensación de fallos de tensión		
• 115 V CA/CC	tip. 10 ms	tip. 10 ms
• 240 V CA/CC	tip. 20 ms	tip. 20 ms
Potencia disipada en caso de		
• 115 V c.a.	1,1 ... 4,6 W	1,1 ... 3,5 W
• 240 V CA	2,4 ... 6,0 W	2,4 ... 4,8 W
• 115 V CC	0,5 ... 2,9 W	0,5 ... 1,8 W
• 240 V CC	1,2 ... 3,6 W	1,2 ... 2,4 W
Respaldo del reloj a 25 °C	tip. 80 h	
Precisión del reloj de tiempo real	máx. 2s / día	
<b>Entradas digitales</b>		
Cantidad	8	4
Separación galvánica	no	no

	LOGO! 230RC LOGO! 230RCo	LOGO! DM8 230R
Tensión de entrada L1		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• señal 0</li> <li>• señal 1</li> <li>• señal 0</li> <li>• señal 1</li> </ul>	<40 V c.a. >79 V c.a. < 30 V CC > 79 V CC	<40 V c.a. >79 V c.a. < 30 V CC > 79 V CC
Intensidad de entrada para		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• señal 0</li> <li>• señal 1</li> </ul>	<0,03 mA >0,08 mA	<0,03 mA >0,08 mA
Tiempo de retardo para		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• cambio de 0 a 1</li> <li>• cambio de 1 a 0</li> </ul>	tip. 50 ms tip. 50 ms	tip. 50 ms tip. 50 ms
Longitud del conductor (sin blindaje)	100 m	100 m
<b>Salidas digitales</b>		
Cantidad	4	4
Tipo de las salidas	Salidas a relé	Salidas a relé
Separación galvánica	sí	sí
En grupos de	1	1
Activación de una entrada digital	sí	sí
Corriente constante $I_{th}$	máx. 10 A por relé	máx. 5 A por relé
Carga de lámparas incandescentes (25.000 maniobras) en caso de		
230/240 V CA	1.000 W	1.000 W
115/120 V CA	500 W	500 W
Tubos fluorescentes con dispositivo previo electr. (25.000 histérisis)	10 x 58 W (para 230/240 V c.a.)	10 x 58 W (para 230/240 V c.a.)
Resistencia a cortocircuitos cos 1	Contactora potencia B16 600 A	Contactora potencia B16 600 A
Resistencia a cortocircuitos cos 0,5 a 0,7	Contactora potencia B16 900 A	Contactora potencia B16 900 A
Derating	Ninguno; en todo el margen de temperatura	Ninguno; en todo el margen de temperatura
Conexión de las salidas en paralelo para aumentar la potencia	no admisible	no admisible
Protección de un relé de salida (si se desea)	máx. 16 A, característica B16	máx. 16 A, característica B16

## **Anexo B (Artículos de la NOM-001-SEDE-2012).**

Los anexos que se muestran a continuación son parte de la NOM-001-SEDE-2012 que ayudan a dar validez a los cálculos realizados en el capítulo 4 del presente trabajo de una forma muy específica, en caso de querer profundizar en esta norma se puede consultar completa en la página del Diario Oficial de la Federación.

### **100. Definiciones.**

**Carga continua:** Carga cuya corriente máxima circula durante tres horas o más.

### **215-2. Capacidad y tamaños mínimos del conductor.**

#### **a) Alimentadores hasta de 600 volts.**

**Nota 2:** Los conductores de los alimentadores tal como están definidos en el Artículo 100, con un tamaño que evite una caída de tensión superior al 3 por ciento en la salida más lejana para cargas de fuerza, calefacción, alumbrado o cualquier combinación de ellas y en los que la caída máxima de tensión de los circuitos, alimentadores y derivados hasta la salida más lejana no supere el 5 por ciento, ofrecerán una eficiencia de funcionamiento razonable.

### **220-5. Cálculos.**

**b) Fracciones de un ampere.** Cuando los cálculos den como resultado una fracción decimal se permitirá redondear al ampere entero más cercano. Cuando la fracción decimal es menor que 0.5 se redondeará hacia abajo.

### **240-6. Capacidades estandarizadas de fusibles e interruptores automáticos.**

**a) Fusibles e interruptores automáticos de disparo fijo.** Los valores de corriente normalizados para los fusibles e interruptores automáticos de circuito de tiempo inverso, son: 15, 16, 20, 25, 30, 32, 35, 40, 45, 50, 60, 63, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 1000, 1200, 1600, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000 y 6000 amperes. Los valores en amperes estandarizados adicionales para fusibles deben ser de 1, 3, 6, 10 y 601. Se permitirá el uso de fusibles e interruptores automáticos de tiempo inverso con valores en amperes no estandarizados.

## **250-122. Tamaño de los conductores de puesta a tierra de equipos.**

a) **General.** Los conductores de puesta a tierra de equipos, de cobre, aluminio, o aluminio recubierto de cobre, del tipo alambre, no deben ser de tamaño menor a los mostrados en la Tabla 250-122, pero en ningún caso se exigirá que sean mayores que los conductores de los circuitos que alimentan el equipo.

d) **Circuitos de motores.** Los conductores de puesta a tierra de equipos para circuitos de motores se deben dimensionar según (1) o (2) siguientes:

1) **General.** El tamaño del conductor de puesta a tierra de equipos no debe ser menor al determinado en 250-122(a), con base en el valor nominal del dispositivo de protección contra cortocircuito y fallas a tierra del circuito derivado.

2) **Interruptor automático de disparo instantáneo y protector contra cortocircuito del motor.** Cuando el dispositivo de protección contra sobrecorrientes es un interruptor automático de disparo instantáneo o un protector contra cortocircuito del motor, el tamaño del conductor de puesta a tierra de equipos no debe ser menor al determinado en 250-122(a) usando el valor nominal máximo permitido del fusible de doble elemento con retardo de tiempo, seleccionado para la protección del circuito derivado contra falla a tierra y cortocircuito, de acuerdo con 430-52(c)(1), Excepción 1.

**430-6. Determinación de la ampacidad y del valor nominal de los motores.** El tamaño de los conductores que alimentan los equipos de los que trata el Artículo 430 se debe seleccionar de las Tablas de ampacidad permisible de acuerdo con 310-15(b) o se debe calcular de acuerdo con 310-15(c). Cuando se use cordón flexible, el tamaño del conductor se debe seleccionar de acuerdo con 400-5. La capacidad de conducción de corriente de los circuitos y la corriente nominal de los motores, se deben determinar cómo se especifica a continuación.

**430-22. Un solo motor.** Los conductores que alimenten un solo motor usado en una aplicación de servicio continuo, deben tener ampacidad no menor al 125 por ciento del valor nominal de corriente de plena carga del motor, como se determina en 430-6(a)(1), o no menos a la especificada a continuación.

a) **Rectificador de motor de corriente continua.** Para motores de corriente continua que operan desde una fuente de alimentación rectificadora, la ampacidad del conductor en la entrada del rectificador no debe ser menor al 125 por ciento de la corriente

nominal de entrada al rectificador. Para motores de corriente continua que operan desde una fuente de alimentación monofásica rectificada, los conductores entre las terminales de alambrado del campo del rectificador y el motor, deben tener una ampacidad no menor al siguiente porcentaje del valor nominal de corriente de plena carga del motor:

- (1) El 190 por ciento, cuando se use un puente rectificador monofásico de media onda.
- (2) El 150 por ciento, cuando se use un puente rectificador monofásico de onda completa.

**430-24. Varios motores o motores y otras cargas.** Los conductores que alimentan varios motores o motores y otras cargas deben tener una ampacidad no menor a la suma de cada uno de los siguientes:

- (1) 125 por ciento de la corriente nominal de plena carga del motor con el valor nominal más alto, tal como se determina en 430-6(a).
- (2) La suma de las corrientes nominales de plena carga de todos los otros motores del grupo, tal como se determina en 430-6(a).
- (3) 100 por ciento de las cargas no continuas que no son motores.
- (4) 125 por ciento de las cargas continuas que no son motores.

**430-32. Motores de servicio continuo.**

**a) Demás de 746 watts (1 hp).** Todos los motores de servicio continuo de más de 746 watts (1 hp nominal) deben estar protegidos contra sobrecargas por uno de los medios indicados en (1) hasta (4) siguientes:

(1) **Dispositivo separado de protección contra sobrecarga.** Un dispositivo separado de protección contra sobrecarga que sea sensible a la corriente del motor. Este dispositivo se debe seleccionar para que se dispare o debe tener valor nominal no mayor al siguiente porcentaje del valor nominal de corriente de plena carga, de la placa de características del motor:

Motores con un factor de servicio marcado de 1.15 o más	125 por ciento
Motores con un aumento de temperatura marcado de 40 °C o menos	125 por ciento
Todos los demás motores	115 por ciento

**430-52. Capacidad nominal o ajuste para circuitos de un solo motor.**

a) **Generalidades.** Los dispositivos de protección contra cortocircuito y fallas a tierra de los circuitos derivados de motores deben cumplir lo establecido en (b) y (c) o (d) siguientes, según sea aplicable.

b) **Todos los motores.** El dispositivo de protección contra cortocircuito y fallas a tierra del circuito derivado del motor, debe ser capaz de soportar la corriente de arranque del motor.

**c) Capacidad nominal o ajuste.**

(1) **De acuerdo con la Tabla 430 -52.** Se debe emplear un dispositivo de protección con valor nominal o un ajuste que no exceda el valor calculado de acuerdo con los valores dados en la Tabla 430-52.

**Excepción 1:** Cuando los valores de los dispositivos de protección contra cortocircuito y fallas a tierra de los circuitos derivados determinados según la Tabla 430-52, no corresponden a los tamaños o valores nominales estándar de los fusibles, interruptores automáticos y dispositivos térmicos de protección no ajustables

**Anexo C (Tablas de la NOM-001-SEDE-2012).**

**Tabla 250-122.- Tamaño mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos.**

Capacidad o ajuste del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, canalizaciones, etc., sin exceder de: (amperes)	Tamaño			
	Cobre		Cable de aluminio o aluminio con cobre	
	$mm^2$	AWG o kcmil	$mm^2$	AWG o kcmil
15	2.08	14	-	-
20	3.31	12	-	-
60	5.26	10	-	-
100	8.37	8	-	-
200	13.3	6	21.2	4
300	21.2	4	33.6	2
400	33.6	2	42.4	1
500	33.6	2	53.5	1/0
600	42.4	1	67.4	2/0
800	53.5	1/0	85	3/0
1000	67.4	2/0	107	4/0
1200	85	3/0	127	250
1600	107	4/0	177	350
2000	127	250	203	400
2500	177	350	304	600
3000	203	400	304	600
4000	253	500	380	750
5000	355	700	608	1200
6000	405	800	608	1200

**Tabla 310-15(b)(2)(a).- Factores de corrección basados en una temperatura ambiente de 30 °C.**

Para temperaturas ambiente distintas de 30 °C, multiplique las anteriores ampacidades permisibles por el factor correspondiente de los que se indican a continuación:			
Temperatura ambiente (°C)	Rango de temperatura del conductor		
	60 °C	75 °C	90 °C
10 o menos	1.29	1.20	1.15
11-15	1.22	1.15	1.12
16-20	1.15	1.11	1.08
21-25	1.08	1.05	1.04
26-30	1.00	1.00	1.00
31-35	0.91	0.94	0.96
36-40	0.82	0.88	0.91
41-45	0.71	0.82	0.87
46-50	0.58	0.75	0.82
51-55	0.41	0.67	0.76
56-60	-	0.58	0.71
61-65	-	0.47	0.65
66-70	-	0.33	0.58
71-75	-	-	0.50
76-80	-	-	0.41
81-85	-	-	0.29



**Tabla 310-15(b)(16) Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones hasta 2000 volts y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o directamente enterrados, basados en una temperatura ambiente de 30 °C.**

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor [Véase la tabla 310-104(a)]					
		60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C
mm <sup>2</sup>	AWG o kcmil	TIPOS TW, UF	TIPOS RHW, THHW, THHW-LS, THW, THW-LS, THWN, XHHW, USE, ZW	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THHW-LS, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	TIPOS UF	TIPOS RHW, XHHW, USE	TIPOS SA, SIS, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2
0.824	18	--	--	14	--	--	--
1.31	16	--	--	18	--	--	--
2.08	14	15	20	25	--	--	--
3.31	12	20	25	30	--	--	--
5.26	10	30	35	40	--	--	--
8.37	8	40	50	55	--	--	--
13.3	6	55	65	75	40	50	55
21.2	4	70	85	95	55	65	75
26.7	3	85	100	115	65	75	85
33.6	2	95	115	130	75	90	100
42.4	1	110	130	145	85	100	115
53.49	1/0	125	150	170	100	120	135
67.43	2/0	145	175	195	115	135	150
85.01	3/0	165	200	225	130	155	175
107.2	4/0	195	230	260	150	180	205
127	250	215	255	290	170	205	230
152	300	240	285	320	195	230	260
177	350	260	310	350	210	250	280
203	400	280	335	380	225	270	305
253	500	320	380	430	260	310	350

304	600	350	420	475	285	340	385
355	700	385	460	520	315	375	425
380	750	400	475	535	320	385	435
405	800	410	490	555	330	395	445
456	900	435	520	585	355	425	480
507	1000	455	545	615	375	445	500
633	1250	495	590	665	405	485	545
760	1500	525	625	705	435	520	585
887	1750	545	650	735	455	545	615
1013	2000	555	665	750	470	560	630

**Tabla 430-52 Ajuste máximo de los dispositivos de protección contra cortocircuito y falla a tierra para circuitos derivados de motores.**

Tipo de motor	En porcentaje de la corriente a plena carga			
	Fusible sin retardo de tiempo	Fusible de dos elementos (con retardo de tiempo)	Interruptor automático de disparo instantáneo	Interruptor automático de tiempo inverso
Motores monofásicos	300	175	800	250
Motores polifásicos de corriente alterna distintos a los de rotor devanado	300	175	800	250
De jaula de ardilla: Diferentes de los de diseño B energéticamente eficientes	300	175	800	250
De diseño B energéticamente eficientes	300	175	1100	250
Sincrónicos	300	175	800	250
Con rotor devanado	150	150	800	150
De corriente continua (tensión constante)	150	150	250	150

**Tabla 430-247. Corriente a plena carga para motores de corriente continua.**

Los siguientes valores de corriente a plena carga son para motores que funcionan a su velocidad básica.

Valor nominal en		Tensión nominal de armadura		
kW	hp	120 volts	240 volts	500 volts
		Amperes		
0.19	1/4	3.1	1.6	-
0.25	1/3	4.1	2	-
0.37	1/2	5.4	2.7	-
0.56	3/4	7.6	3.8	-
0.75	1	9.5	4.7	-
1.12	1 1/2	13.2	6.6	-
1.5	2	17	8.5	-
2.25	3	25	12.2	-
3.75	5	40	20	-
5.6	7 1/2	58	29	13.6
7.5	10	76	38	18
11.2	15	-	55	27
14.9	20	-	72	34
18.7	25	-	89	43
22.4	30	-	106	51
29.8	40	-	140	67
37.3	50	-	173	83
44.8	60	-	206	99
56	75	-	255	123
75	100	-	341	164
93	125	-	425	205
112	150	-	506	346
149	200	-	675	330

**Tabla 430-250. Corriente a plena carga de motores trifásicos de corriente alterna.**

Los siguientes valores de corriente de plena carga son típicos para motores que funcionan a las velocidades usuales de motores con bandas y motores con características normales de par.

Las tensiones enumeradas son las nominales de los motores. Las corrientes enumeradas se permitirán para sistemas con intervalos de tensión de 110 a 220 volts, 220 a 240 volts, 440 a 480 volts y 550 a 600 volts.

kW	hp	Tipo de inducción de jaula de ardilla y de rotor devanado. (amperes)							Tipo sincrónico de factor de potencia unitario (amperes)			
		115 volts	200 volts	208 volts	230 volts	460 volts	575 volts	2300 volts	230 volts	460 volts	575 volts	2300 volts
0.37	1/2	4.4	2.5	2.4	2.2	1.1	0.9	-	-	-	-	-
0.56	3/4	6.4	3.7	3.5	3.2	1.6	1.3	-	-	-	-	-
0.75	1	8.4	4.8	4.6	4.2	2.1	1.7	-	-	-	-	-
1.12	1 1/2	12	6.9	6.6	6	3	2.4	-	-	-	-	-
1.5	2	13.6	7.8	7.5	6.8	3.4	2.7	-	-	-	-	-
2.25	3		11	10.6	9.6	4.8	3.9	-	-	-	-	-
3.75	5	-	17.5	16.7	15.2	7.6	6.1	-	-	-	-	-
5.6	7 1/2	-	25.3	24.2	22	11	9	-	-	-	-	-
7.5	10	-	32.3	30.8	28	14	44	-	-	-	-	-
11.2	15	-	48.3	46.2	42	21	17	-	-	-	-	-
14.9	20	-	62.1	59.4	54	27	22	-	-	-	-	-
18.7	25	-	78.2	74.8	68	34	27	-	53	26	21	-
22.4	30	-	92	88	80	40	32	-	63	32	26	-
29.8	40	-	120	114	104	52	41	-	93	41	33	-
37.3	50	-	150	143	130	65	52	-	104	52	42	-
44.8	60	-	177	169	154	77	62	16	123	61	49	12
56	75	-	221	211	192	96	77	20	155	78	62	15
75	100	-	285	273	248	124	99	26	202	101	81	20
93	125	-	359	343	312	156	125	31	253	126	101	25
112	150	-	414	396	360	180	144	37	302	151	121	30
150	200	-	552	528	480	240	192	49	400	201	161	40
187	250	-	-	-	-	302	242	60	-	-	-	-
224	300	-	-	-	-	361	289	72	-	-	-	-
261	350	-	-	-	-	414	336	83	-	-	-	-
298	400	-	-	-	-	477	382	95	-	-	-	-
336	450	-	-	-	-	515	412	103	-	-	-	-
373	500	-	-	-	-	590	472	118	-	-	-	-

**Tabla 4. Dimensiones y porcentaje disponible para los conductores del área del tubo conduit (basado en la Tabla 1, de este Capítulo).**

Artículo 342-- Tubo conduit metálico semipesado (IMC)							
Designación métrica	Tamaño comercial	Diámetro interno	100% del área total	60% del área total	Un conductor fr = 53%	Dos conductores fr = 31%	Más de 2 conductores fr = 40%
		mm	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>
12	3/8	--	--	--	--	--	--
16	1/2	16.80	222	133	117	69	89
21	3/4	21.90	377	226	200	117	151
27	1	28.10	620	372	329	192	248
35	1 1/4	36.80	1064	638	564	330	425
41	1 1/2	42.70	1432	859	759	444	573
53	2	54.60	2341	1405	1241	726	937
63	2 1/2	64.90	3308	1985	1753	1026	1323
78	3	80.70	5115	3069	2711	1586	2046
91	3 1/2	93.20	6822	4093	3616	2115	2729
103	4	105.40	8725	5235	4624	2705	3490

**Tabla 5. Dimensiones de los conductores aislados y cables para artefactos.**

Tipo	Tamaño		Diámetro aproximado	Área aproximada
	mm <sup>2</sup>	AWG o kcmil	mm	mm <sup>2</sup>
Tipo: FFH-2, RFH-1, RFH-2, RHH, RHW, RHW-2, RHH, RHW, RHW-2, SF-1, SF-2, SFF-1, SFF-2, TF, TFF, THHW, THW, THW-2, TW, XF, XFF				
RFH-2, FFH-2	0.824	18	3.454	9.355
	1.31	16	3.759	11.10
RHH, RHW, RHW-2	2.08	14	4.902	18.9
	3.31	12	5.385	22.77
	5.26	10	5.994	28.19
	6.63	8	8.28	53.87
	8.37	6	9.246	67.16
	21.2	4	10.46	86
	26.7	3	11.18	98.13
	33.6	2	11.99	112.9
	42.4	1	14.78	171.6
	53.5	1/0	15.8	196.1
	67.4	2/0	16.97	226.1
	85.0	3/0	18.29	262.7
	107	4/0	19.76	306.7
	127	250	22.73	405.9
	152	300	24.13	457.3
	177	350	25.43	507.7
	203	400	26.62	556.5
	253	500	28.78	650.5
	304	600	31.57	782.9
	355	700	33.38	874.9
	380	750	34.24	920.8
	405	800	35.05	965
	456	900	36.68	1057
	507	1000	38.15	1143
633	1250	43.92	1515	
760	1500	47.04	1738	
887	1750	49.94	1959	
1013	2000	52.63	2175	
SF-2, SFF-2	0.824	18	3.073	7.419
	1.31	16	3.378	8.968
	2.08	14	3.759	11.10
SF-1, SFF-1	0.824	18	2.311	4.194
RFH-1, XF, XFF	0.824	18	2.692	5.161
TF, TFF, XF, XFF	1.31	16	2.997	7.032
TW, XF, XFF, THHW, THW, THW-2	2.08	14	3.378	8.968
TW, THHW, THW, THW-2	3.31	12	3.861	11.68
	5.26	10	4.470	55.68
	6.63	8	5.994	28.19

RHH, RHW, RHW-2	2.08	14	4.140	13.48
RHH, RHW, RHW-2, XF, XFF	3.31	12	4.623	16.67

**Tabla 8. Propiedades de los conductores.**

Tamaño (AWG o kcmil)	Área		Conductores				Resistencia en corriente continua a 75 °C		
			Trenzado		Total		Cobre		Aluminio
			Cantidad de hilos	Diámetro	Diámetro	Área	No Cubierto	Recubierto	Aluminio
				mm	mm	mm <sup>2</sup>	Ω/km	Ω/km	Ω/km
18	0.823	1620	1	--	1.02	0.823	25.5	26.5	--
18	0.823	1620	7	0.39	1.16	1.06	26.1	27.7	--
16	1.31	2580	1	--	1.29	1.31	16	16.7	--
16	1.31	2580	7	0.49	1.46	1.68	16.4	17.3	--
14	2.08	4110	1	--	1.63	2.08	10.1	10.4	--
14	2.08	4110	7	0.62	1.85	2.68	10.3	10.7	--
12	3.31	6530	1	--	2.05	3.31	6.34	6.57	--
12	3.31	6530	7	0.78	2.32	4.25	6.5	6.73	--
10	5.261	10380	1	--	2.588	5.26	3.984	4.148	--
10	5.261	10380	7	0.98	2.95	6.76	4.07	4.226	--
8	8.367	16510	1	--	3.264	8.37	2.506	2.579	--
8	8.367	16510	7	1.23	3.71	10.76	2.551	2.653	--

**Tabla 9. Resistencia y reactancia en corriente alterna para los cables para 600 volts, 3 fases a 60 Hz y 75 °C. Tres conductores individuales en un tubo conduit.**

Área mm <sup>2</sup>	Tamaño (AWG o kcmil)	Ohms al neutro por kilómetro							
		X <sub>L</sub> (Reactancia) para todos los conductores		Resistencia en corriente alterna para conductores de cobre sin recubrimiento			Z eficaz a FP= 0.85 para conductores de cobre sin recubrimiento		
		Conduit de PVC o Aluminio	Conduit de acero	Conduit de PVC	Conduit de Aluminio	Conduit de acero	Conduit de PVC	Conduit de Aluminio	Conduit de acero
2.08	14	0.190	0.240	10.2	10.2	10.2	8.9	8.9	8.9
3.31	12	0.177	0.223	6.6	6.6	6.6	5.6	5.6	5.6
5.26	10	0.164	0.207	3.9	3.9	3.9	3.6	3.6	3.6
8.36	8	0.171	0.213	2.56	2.56	2.56	2.26	2.26	2.30
13.30	6	0.167	0.210	1.61	1.61	1.61	1.44	1.48	1.48
21.15	4	0.157	0.197	1.02	1.02	1.02	0.95	0.95	0.98
26.67	3	0.154	0.194	0.82	0.82	0.82	0.75	0.79	0.79
33.62	2	0.148	0.187	0.62	0.66	0.66	0.62	0.62	0.66