



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

“REPOTENCIACIÓN DEL TABLERO ROCKWELL  
AUTOMATION PARA CONTROL DE NIVEL DE UNA  
PLANTA DE AGUA Y EL ARRANQUE SUAVE DE UN  
MOTOR DE INDUCCION”

**INFORME DE MATERIA INTEGRADORA**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN  
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

TYRONE MAURO ZAMBRANO CABRERA

ÁNGEL ADRIÁN AYALA LÓPEZ

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2018

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios en primer lugar por bendecirme día a día y por permitirme cumplir esta gran meta. Este trabajo va dedicado en memoria de mi padre Angel Bolivar Zambrano Jara, a mi mamá Andina Cabrera Vasquez y a mi hermano incondicional Blusby Alexander Zambrano Cabrera quienes siempre me apoyaron en todo este proceso. A los Wichis, quienes son mis amigos incondicionales y fueron parte del apoyo hacia mi para poder seguir adelante, a Angel quien también con su esfuerzo y dedicación pudimos culminar juntos esta meta.

Tyrone Mauro Zambrano Cabrera

Agradezco primeramente a Dios por bendecirme y por permitirme cumplir esta meta que me ha costado mucho esfuerzo. A mis padres que con su sacrificio me han apoyado día a día para llegar hasta el final y cumplir este sueño tan anhelado.

Ángel Adrián Ayala López.

## DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi familia a mis amigos y compañeros que fueron parte de todo este proceso.

Tyrone Mauro Zambrano Cabrera

Dedico este proyecto a mis amados padres, amigos y demás personas que creyeron en mí.

Ángel Adrián Ayala López.

## TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

---

**Msc. Janeth Carolina Godoy Ortega**

PROFESOR DE MATERIA  
INTEGRADORA

---

**Msc. Carlos Alberto Salazar López**

TUTOR ACADÉMICO

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

.....

**Tyrone Mauro Zambrano Cabrera**

.....

**Ángel Adrián Ayala López**

## RESUMEN

En el siguiente proyecto se tiene como meta la repotenciación del tablero ROCKWELL AUTOMATION y adicional a este la implementación de un tablero COMPLEMENTARIO, permitiendo realizar el diseño de un control de llenado en una planta de agua y a su vez el arranque suave de un motor de inducción para varias aplicaciones.

Por motivos de seguridad se inicia con la habilitación de disyuntores y térmicos para realizar la protección de equipos y posteriormente la correcta energización y parametrización de los equipos más importantes del tablero repotenciado que son el SMC-FLEX y POWER-FLEX.

Para las prácticas a implementarse en este proyecto se instaló el PLC-MICRO-810 en el tablero complementario el cual es el encargado de controlar el accionamiento del motor de inducción, todo esto mediante la programación adecuada cargada a su controlador. La práctica sugerida para realizar el control de nivel de la planta de agua se ve comprendida entre la comunicación del POWER-FLEX y el sensor de nivel ultrasónico que se ha dimensionado, mediante los rangos de nivel establecidos por la planta y los enviados por el sensor de manera análoga.

Una vez realizada las respectivas habilitaciones de los equipos y la comunicación correcta entre dispositivos de control, fuerza y eléctricos, se obtiene como resultado el control del arranque del motor de inducción, cambio de giro, conexión dentro de la delta o en serie con la línea y finalmente un arranque en cascada de manera automática, todo esto mediante la activación del SMC-FLEX, la programación cargada al PLC-MICRO-810 y las conexiones externas de control y fuerza realizadas entre los tableros eléctrico y el motor.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN .....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA .....	v
RESUMEN .....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	viii
CAPÍTULO 1 .....	1
1. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA. ....	1
1.1. Descripción del Problema. ....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.2.1 Objetivo general. ....	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3. Justificación.....	3
1.4. Alcance. ....	4
CAPÍTULO 2.....	5
2. ESTADO DEL ARTE. ....	5
2.1 Antecedentes.....	5
2.2 Marco Teórico.....	6
2.2.1 Tablero eléctrico.....	6
• PLC (Controlador Lógico Programable) .....	7
• Arrancador suave .....	9
• Variador de frecuencia .....	11
2.2.2 Comunicación. ....	12
• Software de programación .....	12
2.2.3 Aplicaciones.....	14
• Arranque, cambio de giro y paro de un motor .....	14
• Control de nivel de planta de agua.....	18

CAPÍTULO 3.....	21
3. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	21
3.1 Marco Teórico.....	21
3.1.1 Tablero eléctrico.....	21
3.1.2 Tablero complementario .....	25
3.2 Implementación de prácticas con motor de inducción .....	27
3.2.1 Arranque suave de un motor de inducción y cambio de giro ..	27
• Conexiones eléctricas .....	27
• Programación y comunicación del PLC con la PC .....	31
• Parametrización del arrancador .....	32
• Funcionamiento.....	37
3.2.2 Selección de la conexión “dentro de la delta” o “en serie con la línea”	40
• Conexiones eléctricas .....	40
• Programación y comunicación del PLC con la PC .....	43
• Parametrización del arrancador .....	43
• Funcionamiento.....	45
3.2.3 Arranque en cascada.....	46
• Conexiones eléctricas.....	46
• Programación y comunicación del PLC con la PC.....	50
• Parametrización del arrancador .....	50
• Funcionamiento.....	51
3.2.4 Arranque del motor empleando carga mecánica.....	52
3.2.5 Implementación de los diferentes tipos de frenado disponibles 53	
3.3 Diseño de control PI .....	53
3.3.1 Planta de control de nivel.....	53
• Componentes .....	53
• Descripción de la planta .....	53
• Funcionamiento.....	55



CAPÍTULO 4.....	56
4. RESULTADOS.....	56
4.1 Comparación de prácticas.....	56
4.1.1 Arranque de un motor y cambio de giro.....	56
4.1.2 Conexión dentro de la delta o en serie con la línea.....	59
4.1.3 Arranque en cascada.....	60
4.1.4 Control de nivel de planta de agua.....	61
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	63
BIBLIOGRAFÍA.....	65
ANEXOS.....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Distribución del PLC .....	8
Figura 2. 2 Voltaje porcentual vs tiempo.....	10
Figura 2. 3 Terminales de control del SMC-FLEX.....	11
Figura 2. 4 Velocidad vs posición .....	17
Figura 2. 5 Velocidad vs posición .....	18
Figura 3. 1. Diagrama de tablero Rockwell Automation .....	22
Figura 3. 2 Alimentación trifásica .....	23
Figura 3. 3. Luz piloto y contacto enclavado.....	24
Figura 3. 4 HMI energizadas del Tablero.....	24
Figura 3. 5 Diagrama de tablero complementario .....	25
Figura 3. 6 Tablero complementario .....	26
Figura 3. 7 Diagrama de control.....	28
Figura 3. 8 Conexiones físicas de control .....	29
Figura 3. 9 Conexiones físicas de fuerza.....	30
Figura 3. 10 HMI parámetros .....	32
Figura 3. 11 HMI configuración básica.....	33
Figura 3. 12 Placa del motor .....	33
Figura 3. 13 Placa del motor .....	34
Figura 3. 14 HMI Tensión de línea.....	35
Figura 3. 15 HMI arranque .....	35
Figura 3. 16 HMI Tiempo de rampa .....	35
Figura 3. 17 Modo de frenado.....	36
Figura 3. 18 HMI Corriente máxima .....	36
Figura 3. 19 HMI Contacto auxiliar 4.....	37
Figura 3. 20. Diagrama de control.....	40
Figura 3. 21. Conexiones físicas de control .....	41
Figura 3. 22. Conexiones físicas de fuerza.....	42

Figura 3. 23. HMI Conexión del motor .....	44
Figura 3. 24. HMI Conexión línea .....	44
Figura 3. 25. HMI Conexión delta .....	44
Figura 3. 26. Diagrama de control.....	47
Figura 3. 27. Diagrama físico de control .....	48
Figura 3. 28. Diagrama físico de fuerza .....	49
Figura 3. 29. HMI Modo de frenado .....	53
Figura 3. 30. Reservorios.....	54
Figura 3. 31. Bomba de agua .....	55
Figura 4. 1 Tableros para prácticas con motor de inducción .....	57
Figura 4. 2. Práctica con motor de inducción.....	58
Figura 4. 3. Diseño de control de planta de agua .....	61

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos de placa del motor.....	34
Tabla 2. Asignación de entradas y salidas para cambio de giro .....	38
Tabla 3. Asignación de entradas y salidas para conexión en delta o en serie .....	45
Tabla 4. Asignación de entradas y salidas para arranque en cascada .....	51
Tabla 5. Características del sensor ultrasónico de nivel .....	54

# CAPÍTULO 1

## 1. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.

### 1.1. Planteamiento del Problema

En la actualidad se ha vuelto evidente la necesidad de los estudiantes de adquirir conocimientos que estén encaminados a la práctica, permitiendo así desarrollar sus habilidades y destrezas durante su ciclo académico. La educación hoy en día no se basa únicamente a una enseñanza teórica y de observación, sino que está orientada a un modelo que invita a ser más activos y participativos.

El problema académico existente a la hora de impartir los conocimientos prácticos radica básicamente en la mala utilización de equipos, instrumentos, máquinas y demás materiales didácticos que son mal distribuidos por parte de las correspondientes áreas académicas, haciendo uso incorrecto de los recursos de la universidad y por ende del Estado.

Teniendo en cuenta la problemática existente en la educación al momento de impartir los conocimientos prácticos se puede observar que en ESPOL se cuenta con equipos e instrumentos que no están siendo utilizados dentro del Laboratorio de Electrónica de Potencia, tales como el tablero eléctrico, mismo que no se encuentra en funcionamiento ya que tiene elementos en los cuales debe efectuarse una revisión en sus conexiones eléctricas y parametrización de los equipos Rockwell con los que este cuenta.

Si bien es cierto los elementos del tablero tales como el POWER-FLEX y SMC-FLEX que son equipos de control se encuentran en buenas condiciones, no se les está dando el uso adecuado, puesto que no están

siendo empleados en ninguna de las prácticas del laboratorio, desaprovechando así las aplicaciones que estos pueden permitir.

El tablero eléctrico también se lo puede utilizar en una planta de agua, realizando un control de encendido y apagado de una bomba la cual no opera desde algún tiempo ya que no se le ha dado el mantenimiento adecuado. Esta planta de agua carece de componentes de control, válvulas de paso, mangueras, sensores de nivel y demás dispositivos eléctricos y electrónicos que le permita ser habilitada para usos prácticos.

Uno de los problemas más importantes a resolver es la comunicación entre los componentes eléctricos, electrónicos y de control, mediante la repotenciación del tablero ROCKWELL AUTOMATION para realizar prácticas encaminadas a cautivar el interés del estudiante, lo que dará como resultado un mejor aprendizaje, alcanzando un nivel satisfactorio de preparación que se exige al momento de incursionar en el ámbito laboral.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general.**

Repotenciar el tablero ROCKWELL AUTOMATION para el control de nivel de la planta de agua haciendo uso del variador POWERFLEX 70 y realizar la puesta en marcha de un motor de inducción mediante el arrancador suave SMC-FLEX ubicado en el laboratorio de electrónica de potencia de la FIEC.

### **1.2.2 Objetivos específicos.**

- Parametrizar al variador POWERFLEX 70 para la implementación de un control PI mediante la utilización de un sensor de nivel ubicado en la planta de agua.

- Instalar y programar el PLC MICRO-810 para realizar la puesta en marcha y cambio de giro de un motor de inducción, utilizando el arrancador suave SMC-FLEX.
- Implementar de manera automática la conexión de un motor de inducción, ya sea en delta o en serie con la línea de alimentación mediante la programación del PLC MICRO-810 para su respectiva puesta en marcha.

### **1.3. Justificación.**

Teniendo en cuenta los problemas establecidos en el ítem 1.1, se estableció la necesidad de repotenciar el tablero ROCKWELL AUTOMATION permitiendo hacer uso de los equipos de control POWER-FLEX y SMC-FLEX. La idea principal del proyecto es incorporar estos equipos en prácticas necesarias en el aprendizaje de todo estudiante que tome como materia el Laboratorio de Electrónica de Potencia, logrando relacionar así los conocimientos teóricos con los prácticos.

Con la incorporación del PLC-MICRO-810 al tablero eléctrico se logrará un control total sobre los equipos ROCKWELL, dispositivos eléctricos e instrumentos electrónicos existentes en la implementación del proyecto. Esto permitirá que el funcionamiento del tablero no esté limitado a ciertas actividades básicas, y pueda de esta manera entrar en funcionamiento la planta de agua mediante la incorporación de un sensor de nivel, permitiendo diseñar un lazo cerrado PI que permita controlar de manera automática el llenado de un tanque facilitando la realización de la práctica al profesor y a los estudiantes.

La implementación de las prácticas tiene como objetivo mejorar el uso de los recursos con los que cuenta el laboratorio en mención, con la finalidad de que los estudiantes interactúen directamente con los equipos

debidamente habilitados y seguros para su funcionamiento, proporcionando así conocimientos sólidos que desarrollen sus habilidades técnicas durante su ciclo académico.

#### **1.4. Alcance.**

Poner en funcionamiento el tablero eléctrico ROCKWELL AUTOMATION mediante la instalación del PLC micro-810, variador de frecuencia POWERFLEX 70, arrancador suave SMC-FLEX y realizar la instalación de botoneras, selectores, luces piloto, contactores, borneras y relés. Además de realizar el diagrama eléctrico del tablero con su respectiva descripción haciendo uso del programa computacional AUTOCAD.

Programar el PLC-MICRO-810 de tal manera que se realice un arranque del motor con carga y cambio de giro de este, mediante el uso del arrancador suave SMC-FLEX. Implementar un arranque en cascada de dos motores de inducción para poder realizar las distintas pruebas de frenado. El motor será conectado de manera automática en delta o en serie con la línea de alimentación mediante la programación del PLC-MICRO-810 y la implementación de contactores y borneras en el tablero eléctrico.

Por último, se realizará la energización del variador de frecuencia POWERFLEX 70 y se parametrizará mediante los datos de placa del motor de la bomba para implementar un control PI a la planta de nivel de agua. Esto se logrará al realizar la conexión adecuada entre el tablero eléctrico, el sensor de nivel, y motor de la bomba.



## CAPÍTULO 2

### 2. ESTADO DEL ARTE.

#### 2.1 Antecedentes

El crecimiento tecnológico en el Ecuador se desarrolla dentro de un ambiente muy competitivo conforme a la demanda que requiere la sociedad. Hoy en día la necesidad de adquirir conocimientos y desarrollar nuevos proyectos con respecto a ramas técnicas, despierta el interés de investigar procesos que lleven a satisfacer las necesidades al momento de realizar una actividad ya sea en industrias, instituciones, hogares o en el ámbito laboral.

En el caso particular de ESPOL, universidad de grandes avances técnicos que día a día y de manera acelerada está incursionando en la investigación, se plantea forjar una tecnología que tiene como finalidad ser estable, competitiva, pero sobre todo dar la pauta a un desarrollo que tiene un carácter de interés regional y nacional. El nivel de investigación y conocimientos que se imparta en una institución juegan un papel importante en el desarrollo de la sociedad y por ende el país.

Los estudiantes de la universidad además de interesarse en el desarrollo tecnológico del país se preocupan por aportar con material técnico y didáctico como es el caso del tablero eléctrico ROCKWELL AUTOMATION que se encuentra en el Laboratorio de Electrónica de Potencia. Este tablero se encuentra un tanto deteriorado con una planta de agua la cual no cuenta con los dispositivos adecuados para su funcionamiento, todo esto desde mediados del año 2011 y que se empleaba únicamente para realizar arranques de motores sin ningún tipo de control y protección, parametrizando los equipos con los datos de placa limitando la funcionalidad de los equipos de control instalados ya

que en términos generales, los tableros eléctricos son gabinetes en los que se concentran los dispositivos de conexión, control, maniobra, protección, medida, señalización y distribución, todos estos dispositivos permiten que una instalación eléctrica funcione adecuadamente.

Para fabricar los tableros eléctricos se debe cumplir con una serie de normas que permitan su funcionamiento de forma adecuada al momento de suministrarle la energía eléctrica. El cumplimiento de estas normas ha permitido a lo largo de los años garantizar la seguridad de las instalaciones y de los operarios las cuales se pueden cumplir con la repotenciación adecuada del tablero.

## **2.2 Marco Teórico**

Una vez que se ha detectado la metodología para la solución del problema es necesario realizar un análisis de los conceptos relacionados con el tema y sus componentes, para lo cual es fundamental una revisión conceptual.

### **2.2.1 Tablero eléctrico**

El tablero eléctrico es donde se encuentran localizados los equipos de control y maniobra del proyecto tales como el variador de frecuencia POWER-FLEX, arrancador suave SMC-FLEX, PLC-MICRO-810, luces pilotos y selectores todos estos elementos son los que permiten realizar el accionamiento de motores de inducción y realizar el control de lazo cerrado PI en una planta de agua de acuerdo a su funcionalidad y aplicación.

Los equipos a mencionar al ser parte de tablero eléctrico son de gran importancia en la elaboración del presente proyecto, motivo por el cual se realizará la explicación de su funcionamiento.

- **PLC (Controlador Lógico Programable)**

El PLC permitirá tener el control sobre el arrancador suave para el accionamiento del motor de inducción, y así mismo para el variador de frecuencia cuando se realice la implementación del control PI. Todo este control se establece con la asignación que se le dé a las entradas y salidas del PLC por medio de la programación, por lo que es necesario conocer su funcionamiento.

El PLC es un dispositivo electrónico que se emplea siempre que se necesite controlar un proceso secuencial de cualquier tipo y volumen dentro de la industria. Las extensas ventajas que nos ofrece la lógica cableada convierten al PLC en un elemento de gran importancia en el campo de la automatización industrial, ya que es seguro, fácil de manejar, reduce costos y tiempo que son los factores fundamentales que han determinado finalmente su aceptación.

La utilización del PLC como elemento dentro de un proceso industrial se debe a su extenso campo de aplicación, para lo cual se debe conocer sus distintas especialidades como son la electricidad, electrotécnica, mecánica y en cualquier aplicación de sistemas que necesiten ser controlado y automatizado [1].

Permite realizar operaciones lógicas las cuales me generan una respuesta que es consecuencia de cómo se establezcan sus valores iniciales también conocidas como entradas, pudiendo

ser estas selectores, contactores, señales analógicas o digitales.

Los controladores Micro810 de 12 puntos son un tipo de relés inteligentes con modelos de salidas de relés que poseen alta corriente y pueden ser configurados a través de la pantalla de incorporada sin la necesidad del software de programación. También funciona como un micro PLC con las mismas capacidades de programación que los demás controladores Micro800.

Micro810 no admiten Micro800módulos adaptables, pero sí admiten un adaptador USB para comunicación y un módulo de pantalla para visualizar los parámetros a cambiar, que se puede usar como módulo de memoria de copia de respaldo.

Los controladores de 24 VCC admiten cualquier fuente de alimentación eléctrica que tengan salida de 24 VCC que satisfaga las especificaciones mínimas, como las de la fuente de alimentación opcional Micro800 (2080-LC10-12QWB) en la Figura 2.1 se observara su distribución [2].

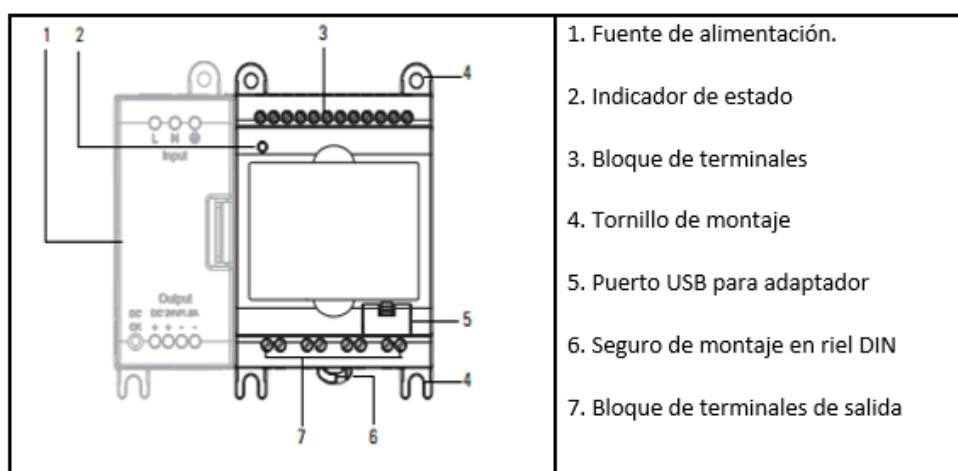


Figura 2.1 Distribución del PLC [2]

- **Arrancador suave**

El arrancador suave permitirá controlar el accionamiento del motor protegiéndolo de malas maniobras por parte del estudiante. Esta protección se realiza validando mediante programación del PLC todos los casos de error que puedan presentarse durante la práctica.

Un arrancador suave es un equipo electrónico de control que permite la puesta en marcha y frenada de los motores de inducción, obteniendo una protección de este y a la vez reduce el gasto de energía.

Los arrancadores suaves limitan la corriente y el par de arranque, permitiéndonos regular el voltaje de modo que el motor recibe en primera instancia una mínima tensión, que va a ir incrementando progresivamente hasta llegar al voltaje nominal, evitando de esta manera el desgaste de los componentes eléctricos.

Mediante el control progresivo de la tensión de alimentación, se logra la adaptación del motor al comportamiento de la carga de la máquina accionada. El arranque y parada suave cuida de los dispositivos y máquinas acopladas y proporciona un proceso productivo sin incidencias [3].

### **SMC-flex**

El controlador SMC-Flex es el que se usara en el proyecto mencionado ya que puede operar motores de inducción estándar con una capacidad nominal de 1...1250 A o motores tipo estrella-triángulo con capacidad nominal que van de 1.8...1600 A; hasta 690 VCA, 50/60 Hz. Todo depende del tipo

de controlador pedido, la entrada de potencia de control puede ser de 100...240 VCA a 24 VCA/CC [4].

Se asigna al motor un valor de par inicial que es ajustable por el usuario de 0...90% de par de rotor fijo. A partir del nivel del par que se puso inicialmente se va aumentando progresivamente el voltaje de salida al motor durante el tiempo de rampa de aceleración.

La rampa de aceleración puede ser ajustada por el estudiante de 0...30 segundos. Si el controlador SMC-Flex detecta que el motor ha logrado alcanzar una velocidad nominal durante la operación de rampa de voltaje, se activa el contactor de bypass interno y el voltaje del motor tendrá un comportamiento tal como se aprecia en la figura 2.2

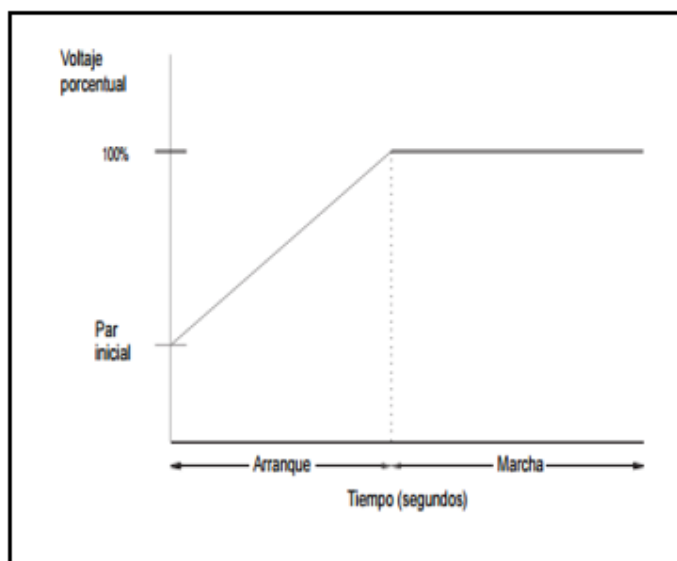


Figura 2.2 Voltaje porcentual vs tiempo [3]

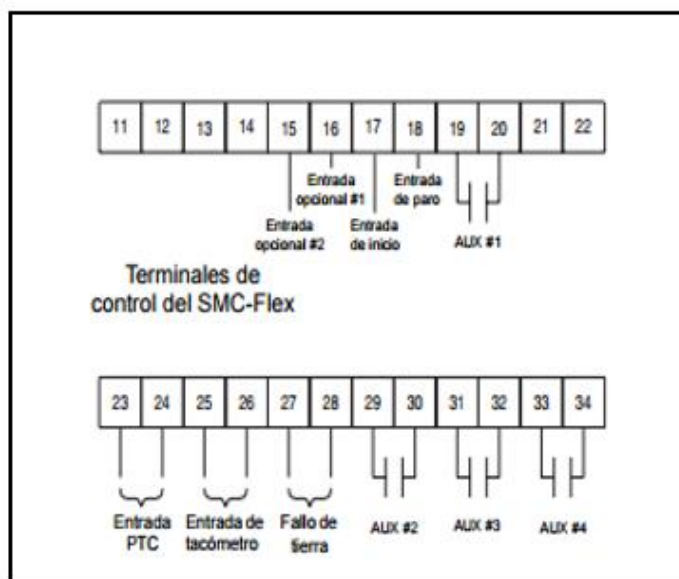


Figura 2. 3 Terminales de control del SMC-FLEX [4]

- **Variador de frecuencia**

El variador de frecuencia al igual que el arrancador será controlado por el PLC y permitirá realizar el control de lazo cerrado PI para la planta de agua en el proyecto permitiendo tomar los valores de referencia y los del sensor de nivel y de acuerdo a eso tener el control de la bomba para el llenado de agua automático.

En términos generales un Variador de Frecuencia es un dispositivo de alta eficiencia que provee el ajuste continuo de la velocidad en las aplicaciones que se realicen con motores eléctricos en baja y media tensión. Los dos elementos básicos que lo componen son el controlador de frecuencia ajustable, y la estación de control para la entrada de parámetros por parte del operador [5]. Permittiéndonos así hacer un control de

velocidad durante el tiempo que esté en marcha la bomba de la planta de agua.

### **LCD HMI (módulo de interfaz humano)**

El LCD HMI muestra parámetros del variador y del arrancador en un grupo de archivos o lista numerada que nos permiten visualizar todos los cambios que se pueden realizar para que funcione de acuerdo a la aplicación que se desea implementar y bajo las condiciones que se requiere que estos estén operando. Comúnmente son utilizados los parámetros de diagnóstico u opciones de control siempre y cuando se introduzcan los valores correctos de placa de los equipos eléctricos que se desea controlar [5].

#### **2.2.2 Comunicación.**

- **Software de programación**

El software de programación permite realizar las validaciones en cada una de las prácticas, para luego cargar al controlador del PLC el programa creado. Para cada práctica la programación va a ser distinta, siendo esta la que permita realizar la comunicación con el equipo de control, enviando así a ejecutar ya sea el accionamiento del motor de inducción o a su vez realice el control de la planta de agua mediante el uso de botoneras y selectores.

A continuación, se detalla el software a utilizar en el presente proyecto.



### **Connected Components Workbench**

Es un conjunto de herramientas que ayuda a comunicar la PC con los controladores Micro800. Estas herramientas están basadas en la tecnología Rockwell Automation y Microsoft Visual Studio, y logran que la programación de los controladores sea más amigable, así como la correcta configuración e integración de los dispositivos con el uso del editor de HMI.

Se usa este software para programar los controladores, y configurar los distintitos dispositivos encaminados a diseñar aplicaciones de interface del operador. Connected Components Workbench ofrece una variación a seleccionar de lenguajes de programación que son los siguientes: IEC 61131-3 (diagrama de lógica de escalera, diagrama de bloques de funciones, texto estructurado) compatibles con bloques de funciones definidos por el usuario que permiten optimizar el control de las máquinas y se debe tener en cuenta que todos estos cumplen la misma funcionalidad y se utiliza de acuerdo a las comodidades del programador [2].

### **Adaptador USB MICRO-810**

Este módulo (2080-USBADAPTER) proporciona un puerto USB al controlador Micro810, que permite utilizar un cable USB estándar A macho a B macho para programar el controlador en otras palabras se logra la comunicación entre la PC y el PLC para cargar la programación al controlador y poder realizar cualquier tipo de control ya sea con el SMC-FLEX o el POWER-FLEX [2].

### 2.2.3 Aplicaciones.

Las aplicaciones en las que se utilice motores de inducción serán implementadas con el arrancador suave SMC-FLEX controlado por el PLC-MICRO-810, garantizando la protección del motor mediante su accionamiento.

El control de la planta de nivel de agua se realizará con el POWER-FLEX y al igual que el SMC-FLEX, este también es controlado por el PLC para leer los parámetros que definirán las entradas y salidas durante el diseño del control PI.

Para lograr un buen funcionamiento de los equipos de control y que las aplicaciones estén correctas es necesario que se conozcan los equipos eléctricos con los cuales se va a operar al igual que los procesos a implementar, debido a que poseen una amplia utilización en la industria, pero para el presente proyecto se realizara las siguientes aplicaciones:

- **Arranque, cambio de giro y paro de un motor**

Para realizar estas aplicaciones se hará uso de un arrancador suave y un motor de inducción, los motores asíncronos o de inducción son un tipo de motor de corriente alterna en el que la corriente eléctrica del rotor necesaria para producir torsión es inducida por inducción electromagnética del campo magnético de la bobina del estator y para su inversión solo se invierte la polaridad.

Su estructura es la siguiente:

Están formados por dos armaduras con campos giratorios y coaxiales: una que es fija, y la otra móvil. También se les llama, de manera técnica y respectivamente, estator y rotor. Con esto se determina que un motor de inducción no requiere una conmutación mecánica aparte de su misma excitación, todo parte de la energía transferida del estator al rotor [9].

El motor trifásico asíncrono es las más utilizadas y común en las distintas instalaciones industriales además de grandes edificios. Todo esto se debe simplemente a que el motor de inducción en términos de diseño y manejo, es flexible en diversos campos de aplicación y con un funcionamiento de bajo costo económico, dando la solución más factible respecto a la calidad y precio.

### **Conexión de un motor trifásico**

Al momento de alimentar un motor trifásico hay que tener en cuenta el tipo de conexión a realizar, las conexiones implementadas en las bobinas del motor se las realiza verificando la tensión y la frecuencia de alimentación a la que están sometidas. La misma esta implementada a través de los tornillos puestos en el cajetín de conexiones y se debe hacer una distinción entre los tipos de conexión, ya sea en estrella o en triángulo [9].

### **Arranque directo de un motor**

El arranque de motor directo es la manera más simple para realizar la puesta en marcha de un motor trifásico asíncrono, de inducción o también llamado jaula de ardilla. Los devanados del

estator se conectan de manera directa a la red de alimentación eléctrica con una conmutación simple, como consecuencia de esto se produce una elevada corriente de arranque o llamada corriente de sobrecarga, la cual causa inconvenientes por las caídas de tensión en la red, debido a los armónicos que se generan en las líneas de alimentación [8].

Realizando la parametrización básica del arrancador suave SMC-FLEX mencionado en el apartado 2.2.1.2 nos permite la ejecución correcta la aplicación implementada con el motor de inducción e inclusive la configuración de rampas de aceleración.

### **Cambio de giro de un motor**

Para realizar el cambio de giro de un motor solo se necesita cambiar la fase y ocurrirá lo mismo que en el arranque de un motor, pero con polaridad inversa.

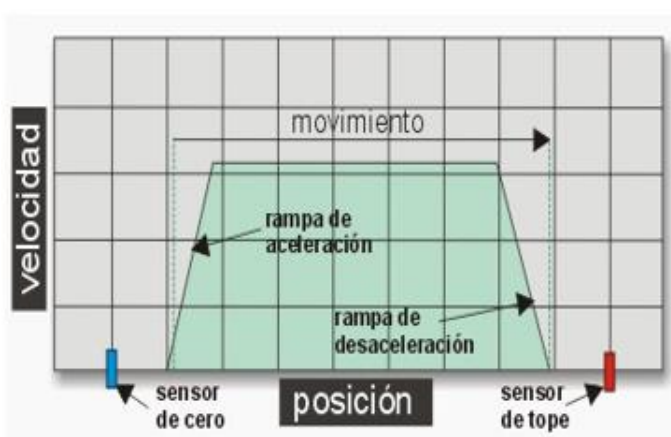
### **Paro de un motor**

Esto se produce cuando se deja de alimentar las líneas que están conectadas a las bobinas del motor trifásico privándolo de la alimentación eléctrica.

### **Rampas de aceleración y desaceleración**

Para reducir las sugerencias mecánicas de cualquier sistema de movimiento motorizado, es necesario poder introducir rampas de aceleración y desaceleración del movimiento. En el caso de tener un sistema con motor paso a paso esto sería indispensable porque un arranque de gran velocidad de este

tipo de motor provocaría sin duda alguna la pérdida de pasos tal como se indica en la gráfica de la figura 2.6 [9].



**Figura 2. 4 Velocidad vs posición [9]**

Las rampas pueden ser generadas de manera directa por el microprocesador introduciendo ciertos retardos, variables en los impulsos del motor en cada fase de arranque y detención. La duración de la rampa depende de muchos factores como por ejemplo la velocidad deseada de la plataforma y el esfuerzo que el motor debe hacer para moverla. Un sistema de alta gama varía la duración de la rampa únicamente en base a la magnitud del movimiento [9].

### **Rampa en fase de inicialización del sistema**

Cuando el sistema se proyecta para su funcionamiento con rampas, el procedimiento de inicialización (o de cero) necesita una secuencia de acción más elaborada respecto a la descrita anteriormente. Esto es debido a que la unidad de control no sabe cuándo se activará el sensor de cero, por lo tanto, no

puede anticipar la respectiva rampa de desaceleración. La solución más simple consiste en generar la rampa ni bien el sensor de cero se activa como se observa en la figura 2.5 [2].

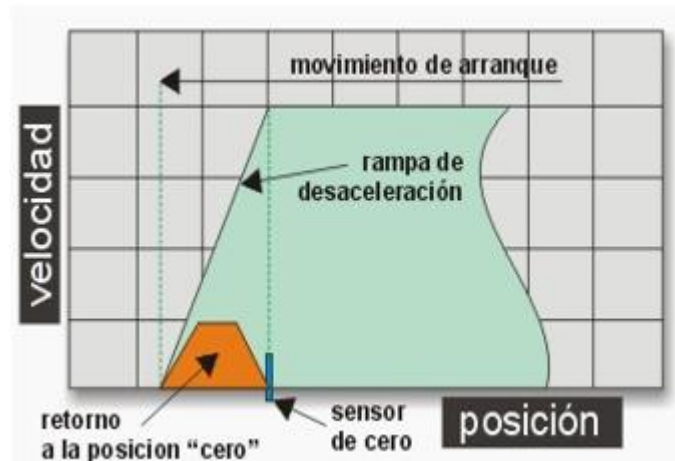


Figura 2. 5 Velocidad vs posición [9]

- **Control de nivel de planta de agua**

Otra de las aplicaciones del proyecto es el control de nivel el cual es posible realizando las conexiones correctas entre el tablero eléctrico, el sensor de nivel, motor de la bomba y tarjeta electrónica de aislamiento eléctrico y ajustando el controlador para modificar la velocidad de llenado.

### **Control de lazo cerrado PI**

El valor de salida del controlador proporcional varía en razón proporcional al tiempo en que ha permanecido el error y la magnitud de este, su función de transferencia es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_N \cdot s} \right) \quad (2.1)$$

Donde KP es la ganancia proporcional y TN se denomina tiempo de acción integral. Ambos valores son ajustables. El tiempo integral regula la velocidad de acción de control, mientras que una modificación en KP afecta tanto a la parte integral como a la parte proporcional de la acción de control [6].

Variables a considerar:

### **Caudal**

Se denomina caudal al volumen del agua que circula o es decir atraviesa por un conducto en un lugar y tiempo determinado, lo cual nos ayudara a determinar la cantidad de agua en el reservorio y enviar como dato al PLC para el accionamiento de la bomba controlada por el variador de frecuencia.

### **Aforo de caudal**

La medición del caudal de agua que pasa por la sección transversal de un conducto (río, riachuelo, canal, tubería) de agua, se conoce como aforo de caudales. Este caudal depende directamente del área de la sección transversal a la corriente y la velocidad media establecida en el agua [7].

$$Q = V.A \quad (2.2)$$

Q: Caudal.

V: Velocidad del líquido.

A: Área transversal por donde atraviesa el fluido.

La forma más sencilla de calcular caudales pequeños es la medición directa del tiempo que tarda en llenar un recipiente de un volumen conocido. El flujo de líquido es depositado en un recipiente por medio de un canal y la corriente se puede desviar hacia una cañería de manera que sea descargada por medio de presión, el cálculo de la caudal se realiza por medio de mediciones de chorro [7].

Es posible efectuar estimaciones del caudal a partir de mediciones de la trayectoria desde tuberías horizontales o en pendiente y desde tuberías parcialmente llenas, pero los resultados son en este caso menos confiables.

Para que líquido fluya entre los dos puntos debe existir una diferencia en la energía. Esto se da por medio de pérdidas por rozamiento (caudal, estructura de los materiales, rugosidad y viscosidad), el cálculo de caudales se fundamenta en el Principio de Bernoulli.

### **Nivel de agua**

El nivel de agua esta medido por el sensor que compara el valor leído mediante el llenado de agua con el de referencia. Esto permitirá que el sensor pueda enviar esos datos como entrada del controlador y permita cambiar la velocidad de llenado de agua de acuerdo a los parámetros requeridos por el POWER-FLEX.



## **CAPÍTULO 3**

### **3. METODOLOGÍA DE TRABAJO.**

En el siguiente capítulo se dará a conocer paso a paso el desarrollo del proyecto, analizando de manera clara y detallada el procedimiento para la correcta repotenciación del tablero ROCKWEL AUTOMATION, la implementación del tablero complementario que permitirá la instalación y posteriormente la programación del PLC-MICRO-810 además del diseño del control PI de la planta de agua. La metodología a ejecutarse se encamina a la mejora de las prácticas mencionadas en el apartado 3.2 y 3.3 mediante la implementación física de nuevos componentes de control, fuerza, diseño de diagramas de conexiones y la programación correcta mediante software que permite tener una mejor protección de los equipos que se utilizan en las respectivas prácticas a desarrollarse. La parametrización de los equipos de control será el factor clave para realizar las pruebas experimentales que logren el accionamiento adecuado y protección del motor de inducción e inclusive el diseño del control PI mediante el variador de frecuencia

#### **3.1 Marco Teórico**

##### **3.1.1 Tablero eléctrico**

El tablero eléctrico constituye la parte fundamental del proyecto y se lo debe adecuar de manera correcta debido a que permite ubicar elementos que pertenecen tanto a la parte de control como a la de fuerza permitiendo así la alimentación de los equipos.

##### **a. Componentes**

- SMC-FLEX

- POWER-FLEX
- Disyuntores
- Transformador
- Módulos de comunicación internos, módulos HIM.
- Componentes eléctricos (Botoneras, selectores, luces, Contactores).

### b. Rediseño físico y diagrama eléctrico del tablero

Implica revisión de protecciones, ubicación de borneras con acceso a terminales de drives y adición de contactores para Implementar el proyecto, visto en la figura 3.1.

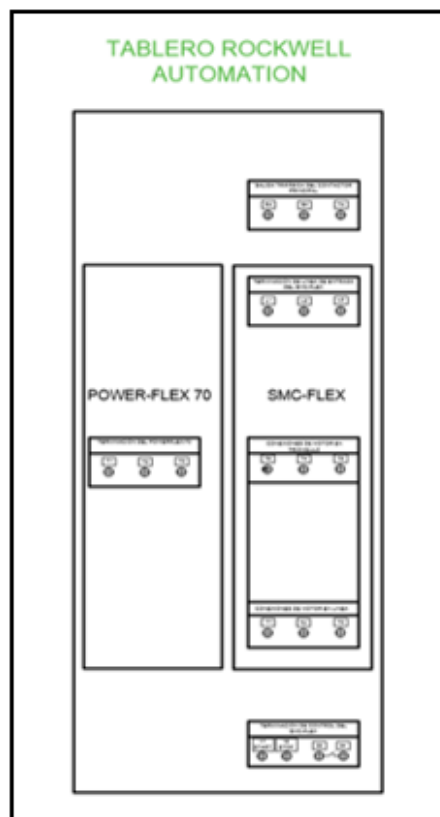


Figura 3. 1. Diagrama de tablero Rockwell Automation

### c. Funcionamiento

El tablero eléctrico se alimenta por medio de la red trifásica tal como se indica en la figura 3.2, esto permite el paso de voltaje mediante el accionamiento de su disyuntor principal, pero aun sin energizar ningún equipo debido a que se debe accionar los disyuntores secundarios.

El voltaje bifásico llega al transformador para convertirlo a voltaje de línea que permite usar las botoneras de marcha, paro y luz piloto. Al momento de presionar el botón verde de marcha indicado en la figura 3.3, se enclava el contactor e inmediatamente enciende la luz piloto indicando que el tablero está siendo alimentado.



**Figura 3. 2 Alimentación trifásica**



Figura 3. 3. Luz piloto y contacto enclavado

El voltaje de línea será aplicado mediante el accionamiento de los disyuntores secundarios para la alimentación respectiva e independiente de los equipos de control como POWER\_FLEX y SMC\_FLEX.

Este proceso de energización garantiza que las terminales de cada uno de los equipos de control y demás elementos ubicados en el tablero eléctrico presente en la figura 3.4 pueden ser utilizados para los fines pertinentes.



Figura 3. 4 HMI energizadas del Tablero

### 3.1.2 Tablero complementario

#### a. Componentes

PLC-MICRO-810

Componentes eléctricos (Botoneras, selectores, Luces piloto, Contactores, relé).

Fuente DC (24 Voltios)

Disyuntores

#### b. Diseño físico y diagrama eléctrico del tablero

Implica ubicación de borneras con acceso a terminales de PLC y adición de contactores y relé para la implementación del proyecto, así como se presenta en el diagrama de la figura 3.5.

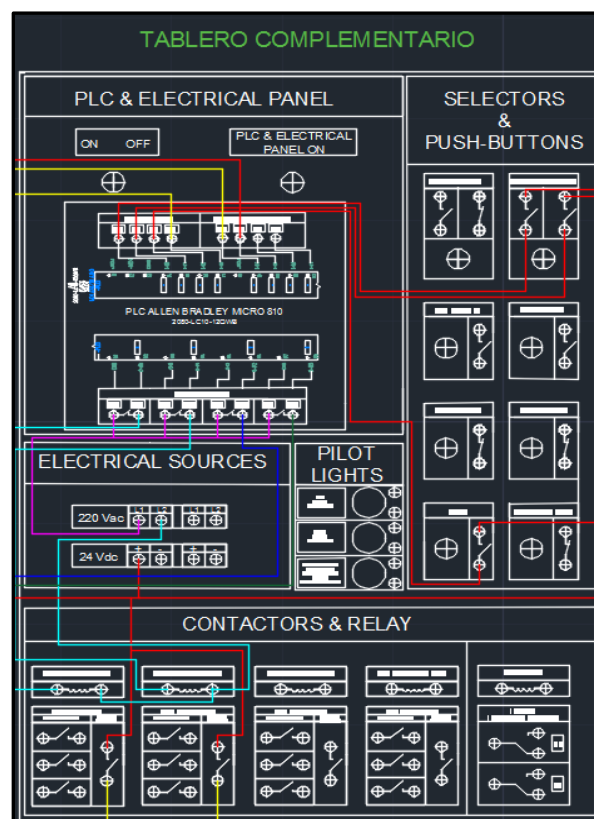


Figura 3. 5 Diagrama de tablero complementario

### c. Funcionamiento

El tablero complementario permite la instalación del PLC-MICRO-810 el cual será alimentado con el accionamiento del disyuntor, obteniendo un voltaje de 24 Voltios proveniente de la fuente DC. El accionamiento de un segundo disyuntor permite el paso del voltaje de línea necesario para que queden habilitadas las salidas del PLC al igual que los elementos de fuerza como los contactores y relé presentes en la figura 3.6.



**Figura 3. 6 Tablero complementario**

En general una vez energizados los tableros eléctricos el funcionamiento de cada uno de sus elementos ya sea de control, fuerza, accionamiento o simplemente de indicación como lo son las luces pilotos dependerá únicamente de la práctica implementada de acuerdo con los parámetros previamente establecidos.

### **3.2 Implementación de prácticas con motor de inducción**

El tablero Estas aplicaciones que se realizan con los equipos mencionados en el apartado 3.2, están encaminadas a realizar un tipo de control y de protección al momento de poner en marcha el motor de inducción, para lo cual se establecen las siguientes prácticas:

- a. Arranque suave de un motor de inducción y cambio de giro
- b. Selección de la conexión “dentro de la delta” o en “serie con la línea” del arrancador suave SMC-FLEX.
- c. Arranque en cascada
- d. Arranque del motor empleando carga mecánica.
- e. Implementación de los diferentes tipos de frenado disponibles en el arrancador

#### **Energización del SMC-FLEX y el PLC-MICRO- 810**

El SMC-FLEX se energiza con voltaje de línea a línea (220 V) proveniente de la red trifásica siempre y cuando se haya habilitado el disyuntor secundario que le permite el paso del voltaje.

El PLC-MICRO-810 se energiza con la fuente de voltaje DC de 24 voltios, una vez que se ha accionado el respectivo disyuntor de protección los terminales de entrada y salida del PLC están listos para usar.

#### **3.2.1 Arranque suave de un motor de inducción y cambio de giro**

- **Conexiones eléctricas**

Las conexiones a realizarse son tanto eléctricas como de control, así como se muestran en la figura 3.7, 3.8 y 3.9.

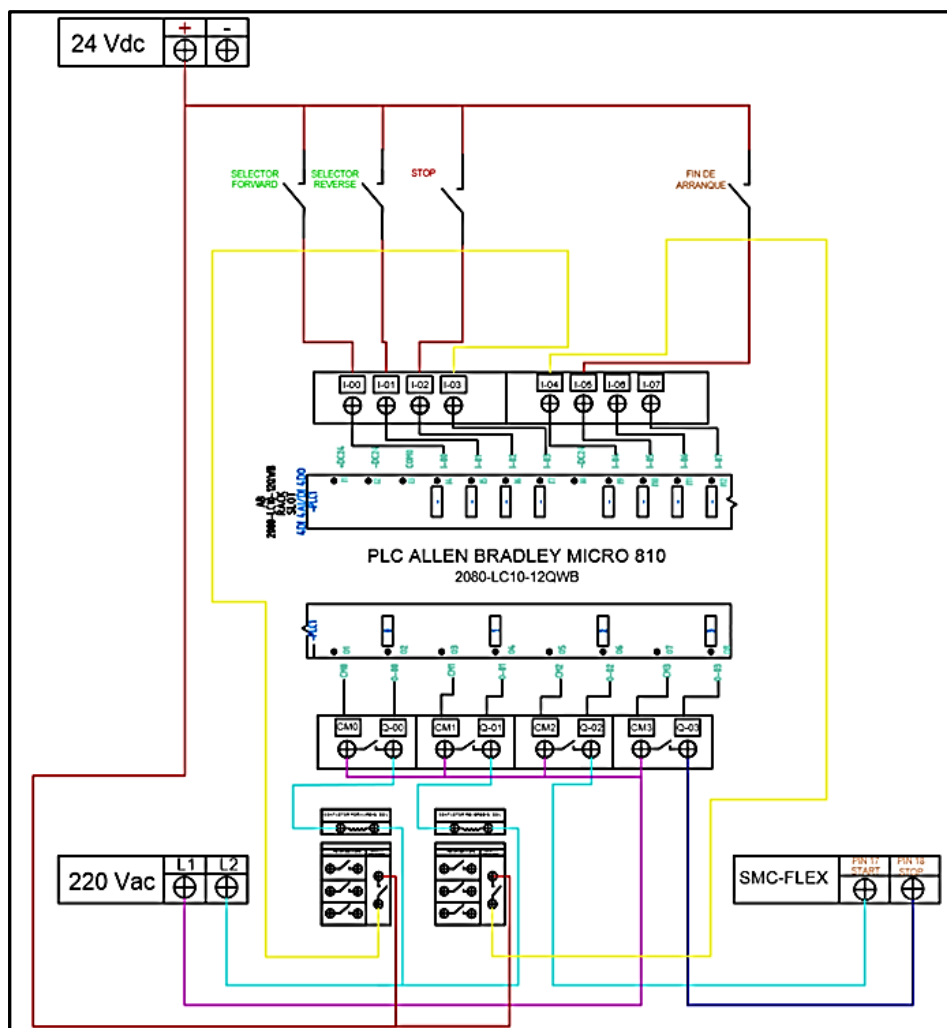


Figura 3. 7 Diagrama de control



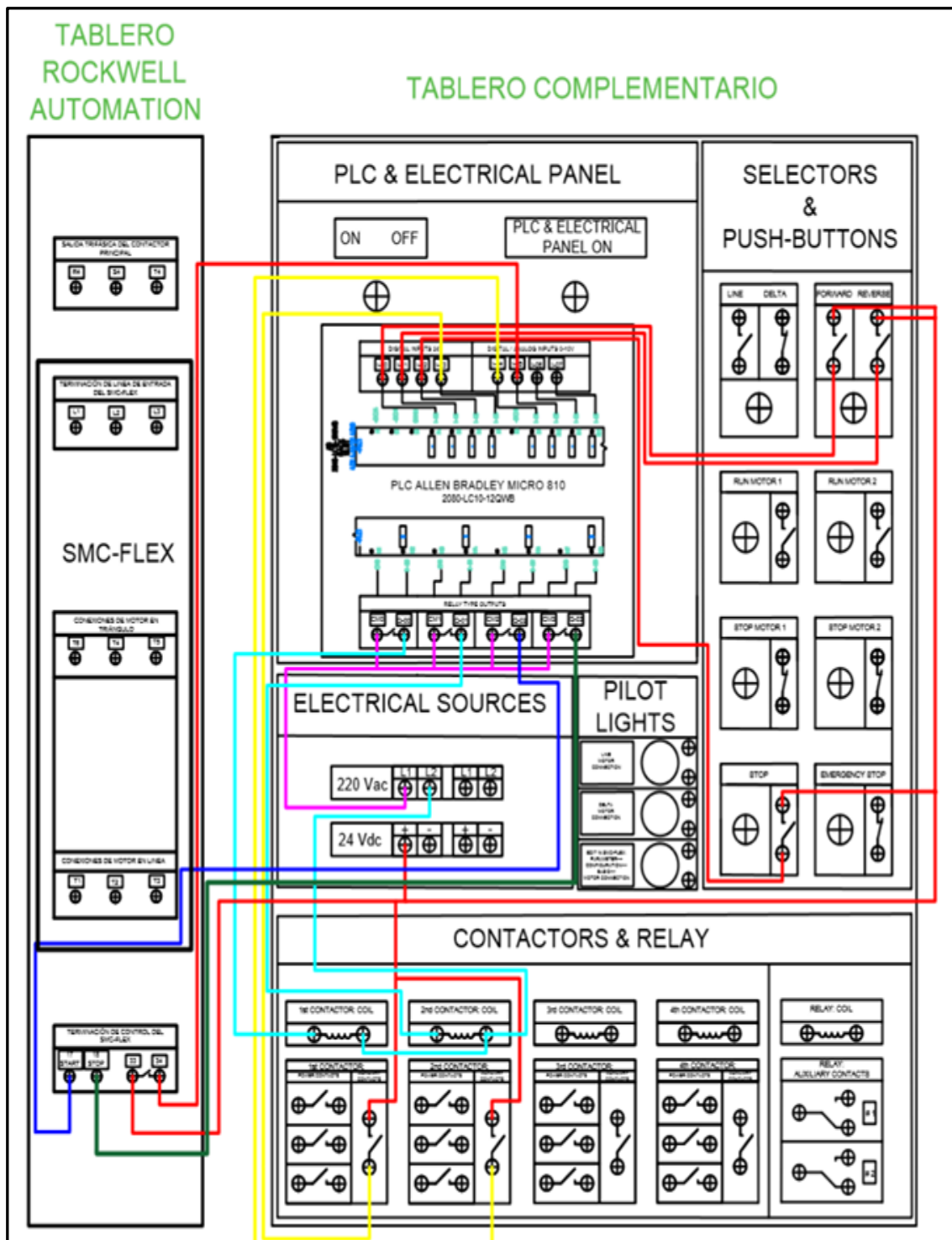


Figura 3. 8 Conexiones físicas de control

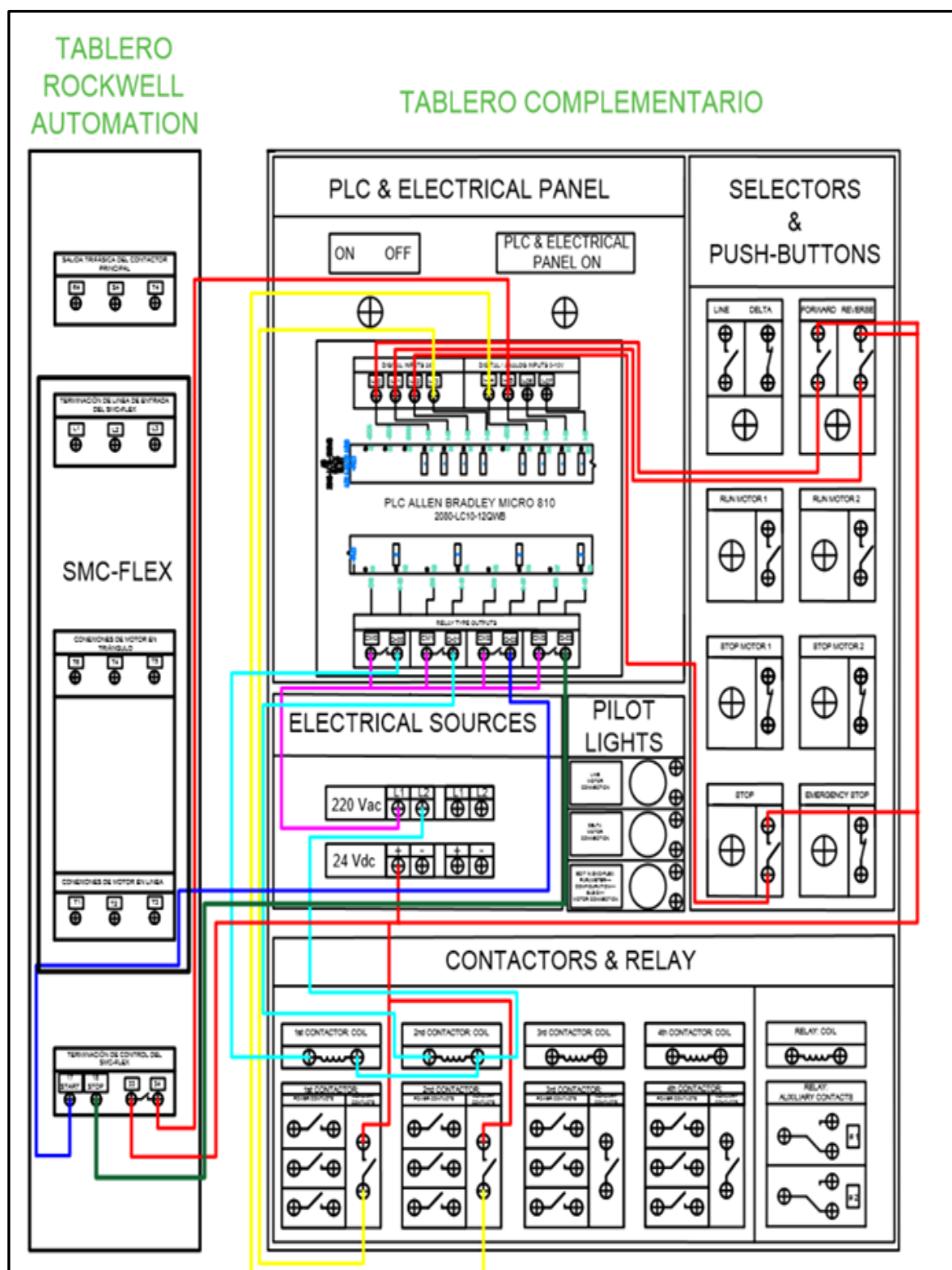


Figura 3. 9 Conexiones físicas de fuerza

- **Programación y comunicación del PLC con la PC**

Para realizar la programación de arranque de un motor de inducción se utilizó el software **Connected Components Workbench** el cual permite realizar las validaciones necesarias para proteger el motor al momento de la puesta en marcha.

Las validaciones a considerar son las siguientes para cada caso:

**Giro de un motor**

- a. Mientras el contacto auxiliar del contactor de puesta en marcha no esté habilitado no puede arrancar el motor.
- b. El fin de arranque es condición necesaria para poder presionar el botón de paro del motor.

**Cambio de giro de un motor**

- a. El contacto auxiliar de marcha no debe estar activado al mismo tiempo que está activado el contacto auxiliar de reversa.
- b. El contacto auxiliar de reversa no debe estar activado al mismo tiempo que está activado el contacto auxiliar de marcha.
- c. Si está activado el botón de paro no debe estar activado ningún contacto auxiliar ya sea de marcha o reversa.
- d. Mientras el contacto auxiliar del contactor de puesta en marcha no esté habilitado no puede arrancar el motor.
- e. Mientras el contacto auxiliar de reversa no esté habilitado no puede arrancar el motor.

- f. El fin de arranque es condición necesaria para poder presionar el botón de paro del motor ya sea que este en modo marcha o reversa.
- g. Si el motor está girando se debe garantizar que ha parado para proceder al cambio de sentido en el giro.
- h. El motor puede realizar el cambio de giro ya sea que se inicie en marcha o en reversa es bidireccional.

Para cambiar de giro debe tener como condición haber llegado al fin de arranque.

- **Parametrización del arrancador**

Para realizar La parametrización del SMC-FLEX es un complemento en la práctica debido a que permite proteger el motor de acuerdo con sus datos de placa. Los parámetros son introducidos mediante el uso del LCD (HMI) de acuerdo con el motor que se utilice.



Figura 3. 10 HMI parámetros



Figura 3. 11 HMI configuración básica

Una vez que se ha llegado a la configuración básica, aparecerán los parámetros que se pueden variar y se procede a cambiar los valores de fábrica por los datos de placa del motor ubicados a un costado de él, así como se muestra en la figura 3.12 y la tabla 3.1.



Figura 3. 12 Placa del motor

TIPO				MOT3 M 90 L4			
IP	44	ICL	8	S	1	PROD	M89
Hz	Hp	Kw	V	A		Cos $\phi$	min-1
50	2	1.5	$\Delta Y$ 220/380	6.95/4		0.79	1400
50	2	1.5	$\Delta Y$ 240/415	6.43/3.72		0	1400
60	2.1	1.8	$\Delta Y$ 255/440	5.77/3.34		0	1690

Tabla 1. Datos de placa del motor.



Figura 3. 13 Placa del motor

Los parámetros por cambiar se realizan con el motor conectado en delta tal como se presenta en la figura 3.14 y esto son: Frecuencia a 60Hz, Caballos de fuerza 2Hp, Tensión 208 Volt, Corriente 6.95 Amp y Velocidad 1690rpm indicados claramente en las figuras 3.14, 3.15, 3.16, 3.17, 3.18 mediante el uso del HMI.



Figura 3. 14 HMI Tensión de línea



Figura 3. 15 HMI arranque



Figura 3. 16 HMI Tiempo de rampa



Figura 3. 17 Modo de frenado

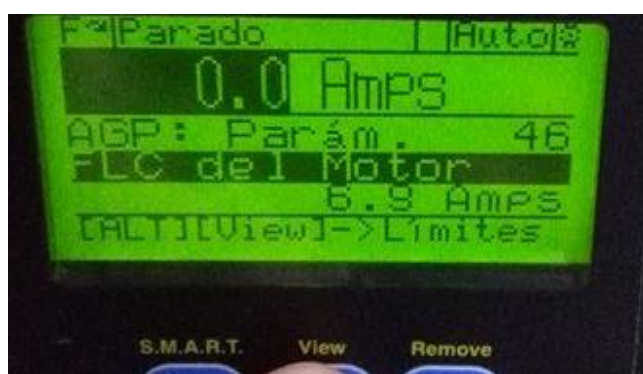


Figura 3. 18 HMI Corriente máxima

Es importante destinar a los terminales 33 y 34 del SMC-FLEX el contacto auxiliar 4 mostrado en la figura 3.20 y configurarlo a velocidad para denominarlo fin de arranque, se lo localiza en la configuración básica y nos garantiza protección al motor.





Figura 3. 19 HMI Contacto auxiliar 4

- **Funcionamiento**

- **Giro de un motor**

Una vez realizada todas las conexiones eléctricas tanto de fuerza como de control se carga el programa en el PLC mediante la PC, luego se procede a alimentar el tablero eléctrico y se está listo para realizar el arranque.

Al poner en marcha el motor mediante el uso de un selector se envía una señal a la entrada I-00, esta señal envía a cerrar el contactor normalmente abierto dentro del programa, como consecuencia de esto se activa la salida Q-00 del PLC que hace que se enclave el contactor asignado a giro de motor. Una vez enclavado el contactor de giro de motor se activa el contacto auxiliar de giro de motor que envía una señal a la entrada a I-01, siendo la que permitirá finalmente activar la salida Q-01 que está dirigida al pin 17 que es el START del SMC-FLEX para que el motor conectado en delta proceda a girar.

Mientras el motor se encuentre girando será posible detenerlo mediante el botón de paro, este botón envía una señal a la

entrada I-02 para abrir el contactor de giro, inmediatamente el programa verifica que se haya llegado al fin de arranque, de no ser así se debe esperar a que se active el contacto de fin de arranque asignado a los terminales auxiliares 33 y 34 del SMC-FLEX, el cual envía una señal a la entrada I-03 que permite cerrar la línea de código dentro del programa. Una vez que el programa verifique estas dos condiciones envía a activar la salida Q-02 que se encuentra dirigida al pin de control número 18 que es el STOP del SMC-FLEX para finalmente detener el motor.

### **Cambio de giro de un motor**

Para el cambio de giro del motor se le asignó los siguientes nombres a las entradas y salidas del PLC-MICRO-810:

ENTRADAS:
I-00: FORWARD
I-01: REVERSA
I-02: PARO
I-03: CONTACTO AUXILIAR FORWARD
I-04: CONTACTO AUXILIAR REVERSA
I-05: FIN DE ARRANQUE.
SALIDAS:
Q-00: FORWARD_Q
Q-01: REVERSA_Q
Q-02: MARCHA_SMC FLEX
Q-03: PARO_SMC FLEX.

**Tabla 2. Asignación de entradas y salidas para cambio de giro**

Se inicia ubicando el selector de 2 posiciones en FORWARD el cual envía una señal a la entrada I-00 para que el programa internamente cierre el contactor de FORWARD y active la salida

Q-00 que enclava el contactor. Al enclavarse el contactor de FORWARD se activa el contacto auxiliar de FORWARD que envía una señal a I-03 para activar la salida Q-02, esta salida esta conecta al pin 17 correspondiente al START del SMC-FLEX permitiendo pasar la tensión necesaria para que inicie la puesta en marcha del motor.

Una vez girando el motor se presiona REVERSA asignado a I-01, en ese momento el programa internamente verifica si se ha llegado al fin de arranque, de no ser así espera que se cierre el contactor asignado a los pines 33 y 34 que corresponden al fin de arranque, el cual envía una señal a la entrada I-05, esta acción activa un temporizador que garantiza que el motor se ha detenido desenclavando el contactor de FORWARD mediante el pin 18 que corresponde al STOP del SMC-FLEX. Este proceso permite que se active el contacto auxiliar de REVERSA dirigido a la entrada I-04, esta señal en la entrada permite activar la salida Q-01, la cual activa el START del SMC-FLEX situado en el pin 17 para finalmente dejar pasar la tensión de línea, pero desfasada para que se produzca el cambio de giro.

Es importante resaltar que este procedimiento es bidireccional es decir se puede iniciar por REVERSA y terminar en FORWARD. Además, se debe tener presente que si el motor está operando en FORWARD o REVERSA este puede detenerse en cualquier momento siempre y cuando se haya alcanzado el fin de arranque.

### 3.2.2 Selección de la conexión “dentro de la delta” o “en serie con la línea”

- **Conexiones eléctricas**

Las conexiones eléctricas son tanto de fuerza como de control y se las realiza por medio del tablero eléctrico tal como se indica en las figuras 3.20, 3.21, 3.22.

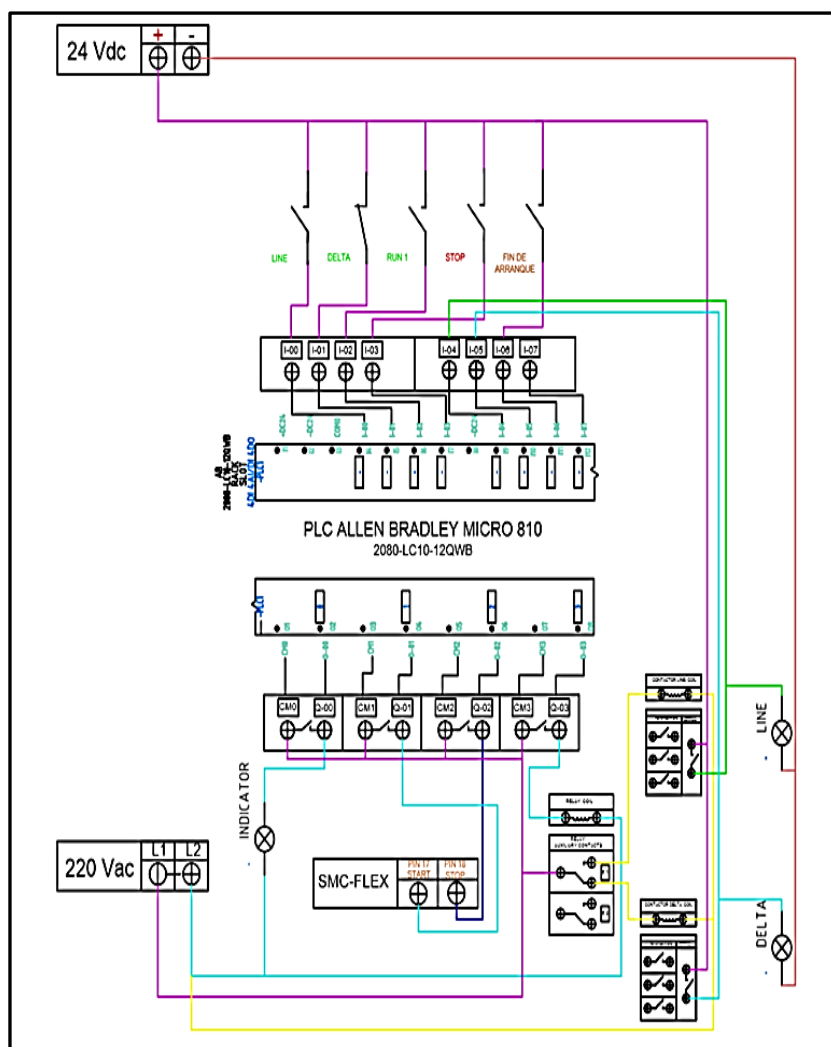


Figura 3. 20. Diagrama de control.

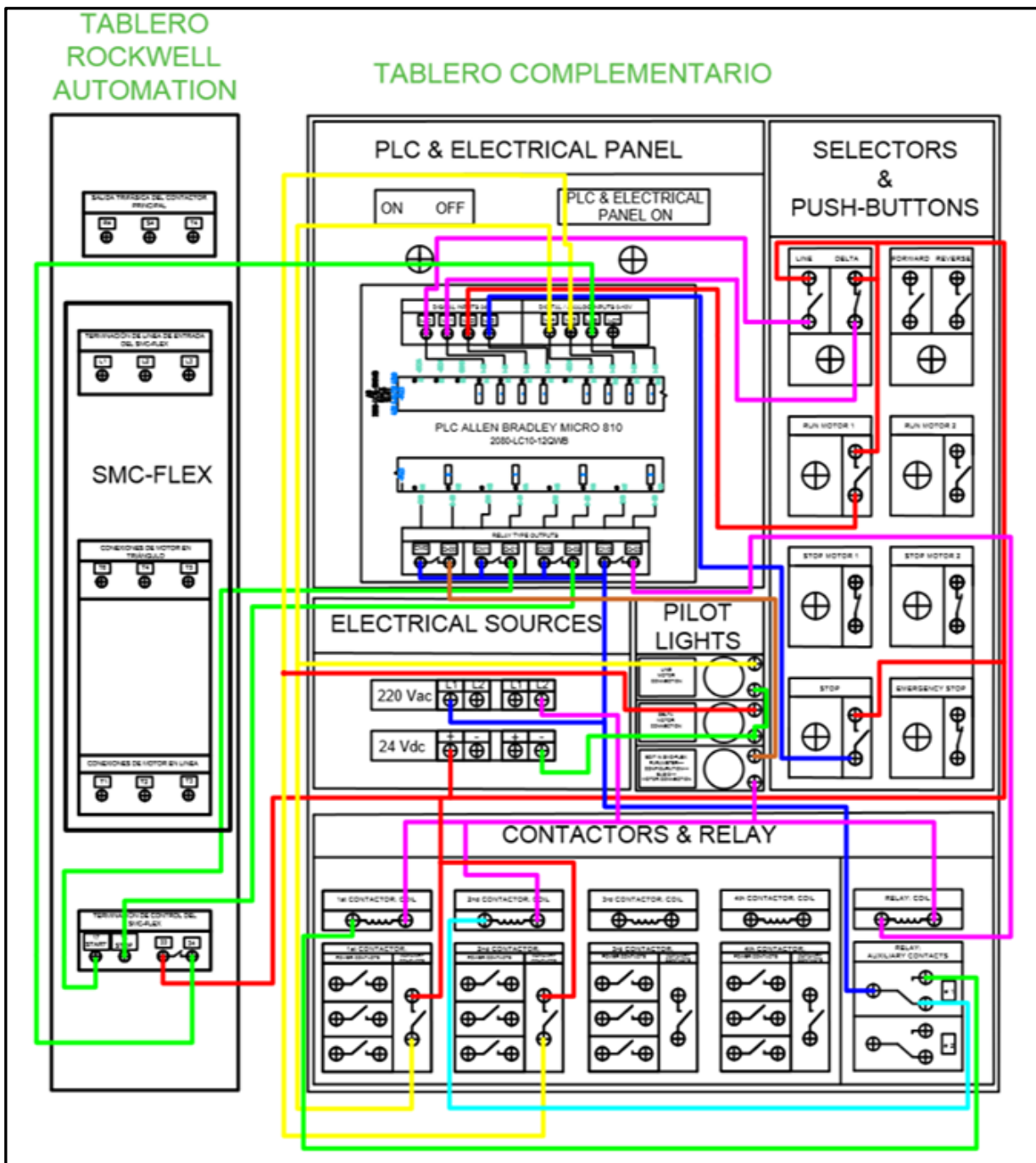


Figura 3. 21. Conexiones físicas de control

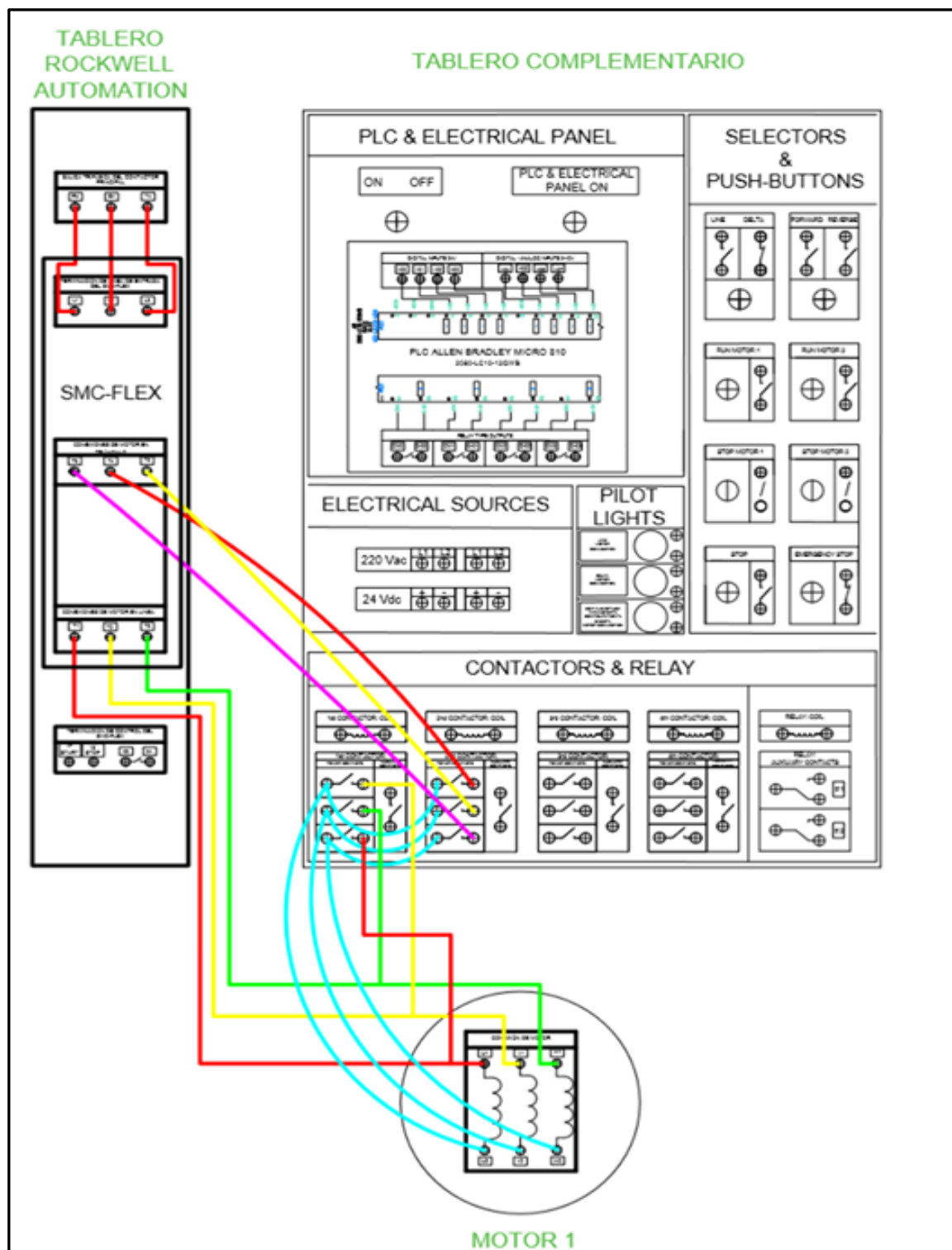


Figura 3. 22. Conexiones físicas de fuerza

- **Programación y comunicación del PLC con la PC**

Para realizar la programación de la conexión dentro de la delta o en serie con la línea con el arrancador se utilizó el software **Connected Components Workbench** el cual permite realizar las validaciones necesarias para proteger el motor al momento de la puesta en marcha.

**Las validaciones a considerar son las siguientes:**

- a. El motor no puede estar conectado a línea y a delta simultáneamente.
- b. El programa debe permitir el cambio de línea a delta y viceversa siempre y cuando el motor esté detenido.
- c. El motor en marcha ya sea con la línea o en delta debe mantener su estado mientras se varíe el selector de línea a delta y viceversa.
- d. El motor una vez arrancado ya sea en línea o en delta no deberá detenerse hasta que haya llegado al fin de arranque.
- e. Se debe indicar la parametrización.

- **Parametrización del arrancador**

Al igual que en la práctica de la puesta en marcha de un motor se debe parametrizar el SMC-FLEX con los datos de placa del motor, la diferencia es que para esta práctica es necesario realizar un cambio con respecto al modo de conexión al motor así como se indica en las figuras 3.24 y 3.25 ya sea dentro de la delta o en serie con la línea del arrancador.

Este cambio se lo realiza dentro de la configuración básica tal como se muestra en la figura 3.23.



Figura 3. 23. HMI Conexión del motor



Figura 3. 24. HMI Conexión línea



Figura 3. 25. HMI Conexión delta



- **Funcionamiento**

Al igual que en la Para la presente práctica se le han asignado los siguientes nombres a las entradas y salidas del PLC-MICRO-810:

ENTRADAS:
I-00: LINEA
I-01: DELTA
I-02: MARCHA
I-03: PARO
I-04: CONTACTO AUXILIAR LINEA
I-05: CONTACTO AUXILIAR DELTA
I-06 FIN DE ARRANQUE
SALIDAS:
Q-00: LUZ PILOTO
Q-01: START_SMCFLEX
Q-02: STOP_SMCFLEX
Q-03: RELÉ

**Tabla 3. Asignación de entradas y salidas para conexión en delta o en serie**

Una vez conectado el motor en delta listo para ser arrancado, cargado el programa al PLC, y energizado los elementos de control se procede a ver que inicialmente el selector en la práctica está en delta, es decir que está enviando una señal a la entrada I-02 que hace que se enclave el contactor DELTA y se active el contacto auxiliar DELTA.

Las luces piloto indicarán en qué posición se encuentra el selector para determinar si es necesario parametrizar el tipo de conexión ya sea dentro de la delta o en línea con el arrancador para proceder con el arranque.

El programa espera por el botón de MARCHA para enviar una señal a la entrada I-02, esto permite activar la salida Q-03 que

activa el relé encargado de enclavar en contactor de MARCHA y el contacto auxiliar de MARCHA que es el que activara el SMC\_FLEX por medio de la conexión directa de la salida Q-01 al pin 17 para proceder a la puesta en marcha el motor.

La programación realizada no permite que el motor cambie de delta a línea y viceversa mientras no se halla detenido el motor, por protección del motor este solo se puede detenerse mientras se llegue al fin de arranque como condición necesaria, seguido de eso se debe presionar el botón de PARO que envía una señal a la entrada I-03 que permitirá activar la salida Q-01 que se conecta directamente al pin 18 para desactivar el SMC-FLEX.

Luego de detener el motor se debe verificar en qué posición quedo el selector si en delta o línea lo cual permitirá revisar la parametrización del SMC-FLEX para preceder nuevamente al arranque del motor. Este proceso se lo puede realizar las veces que el estudiante o el profesor considere necesario para verificar todas las validaciones de la práctica, ya que el proceso es bidireccional es decir se puede iniciar en delta o en serie con el arrancador y debe funcionar correctamente.

### **3.2.3 Arranque en cascada.**

- **Conexiones eléctricas.**

Las conexiones eléctricas son tanto de fuerza como de control y se las realiza por medio del tablero eléctrico tal como se indica en las figuras 3.26, 3.27, 3.28.

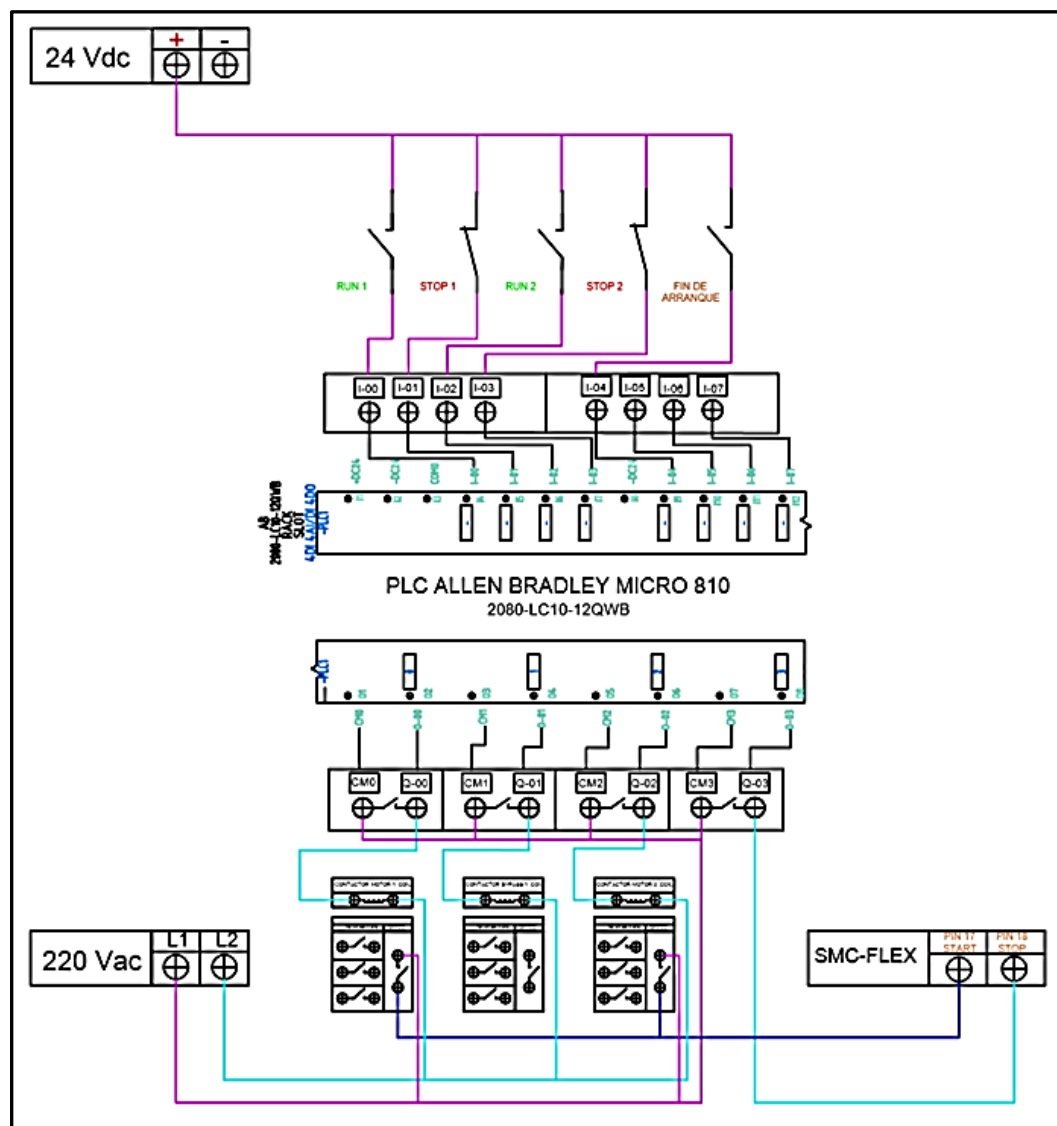


Figura 3. 26. Diagrama de control

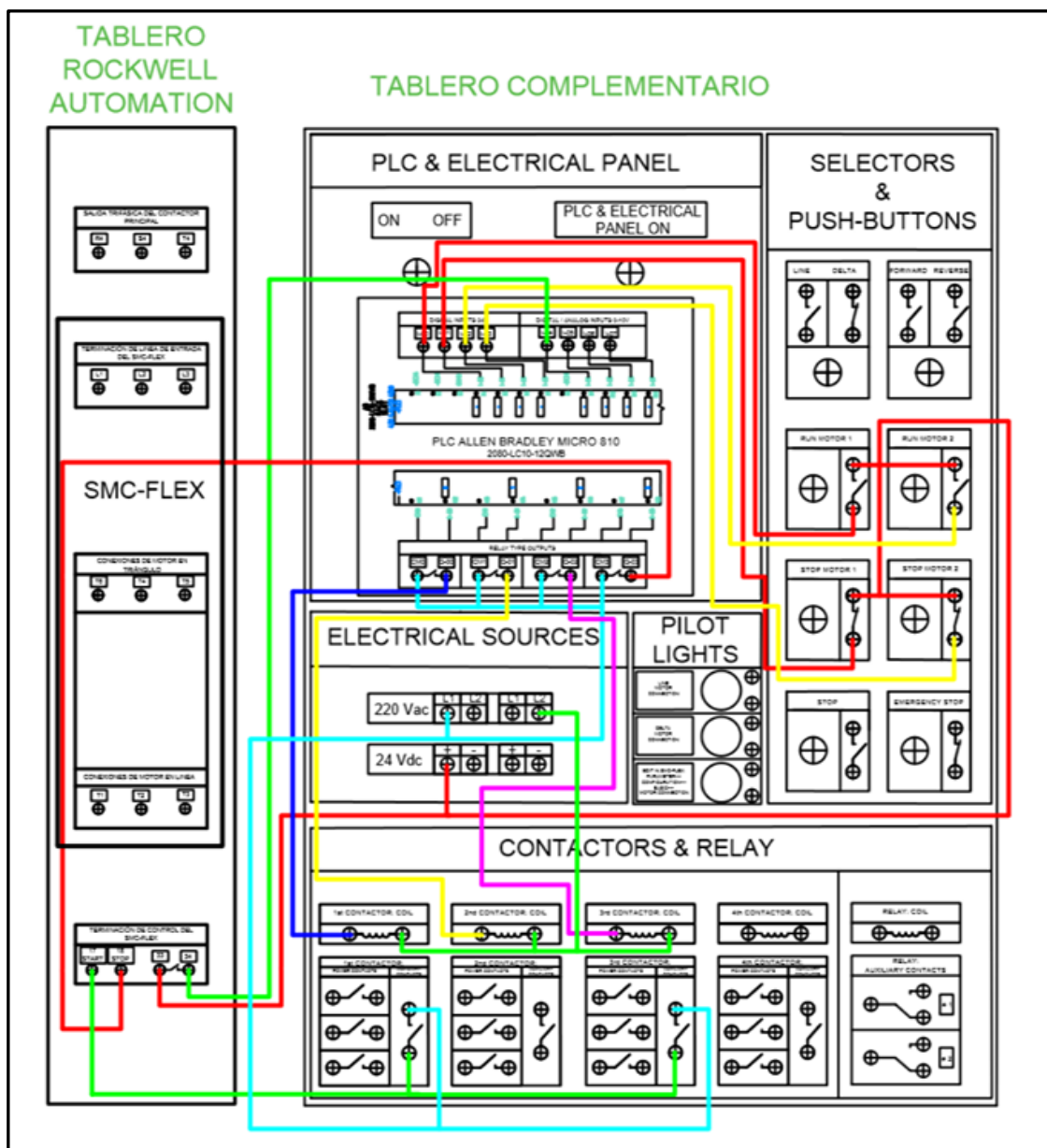


Figura 3. 27. Diagrama físico de control

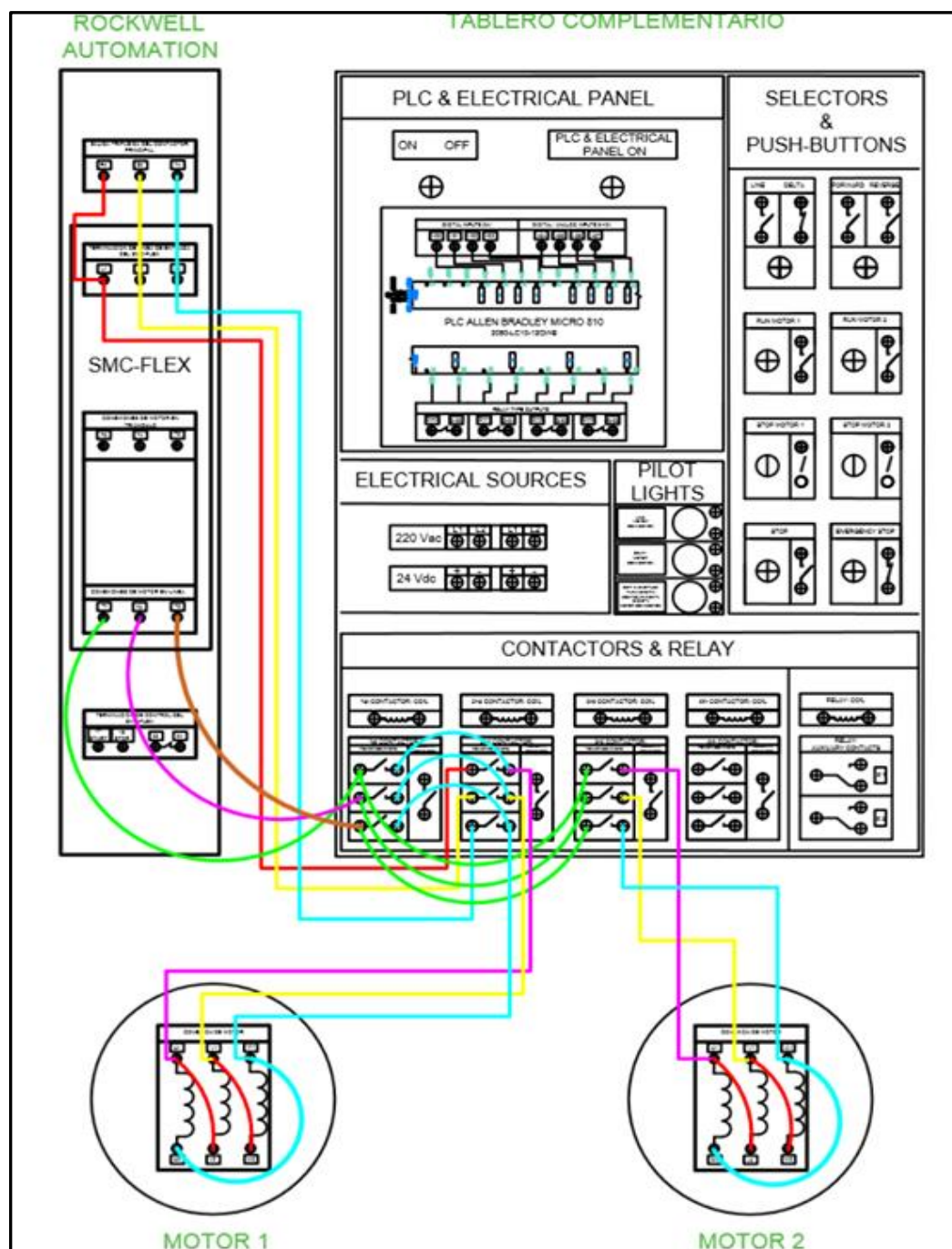


Figura 3. 28. Diagrama físico de fuerza

- **Programación y comunicación del PLC con la PC.**

Para realizar la programación de un arranque en cascada se utilizó el software **Connected Components Workbench** el cual permite realizar las validaciones necesarias para proteger el motor al momento de la puesta en marcha.

**Las validaciones a considerar son las siguientes:**

- a. Puede estar girando un motor1 mientras motor2 está detenido
- b. Se Puede arrancar motor1 y detenerlo inmediatamente sin necesidad de completar el arranque en cascada.
- c. Para arrancar motor2 se debe arrancar motor1 inicialmente así es el orden del arranque en cascada.
- d. Estando en marcha los 2 motores y se para motor1 no se lo puedo volver a arrancar hasta que haya parado el motor2.
- e. Estando en marcha los 2 motores y se para motor2 se puede volver a arrancar motor2 sin necesidad de apagar los 2 motores.
- f. Para cualquier condición de paro se establece como condición necesaria el fin de arranque.
- g. El paro tiene prioridad sobre la marcha.
- h. El paro del motor1 es independiente del motor2.

- **Parametrización del arrancador**

La parametrización del arrancador en la misma que se determinó en el apartado correspondiente al de cambio de giro

debido a que se utilizaran 2 motores con los mismos datos de placa

- **Funcionamiento**

Para la presente práctica se le han asignado los siguientes nombres a las entradas y salidas del PLC-MICRO-810:

ENTRADAS:
I-00: MARCHA1
I-01: PARO1
I-02: MARCHA2
I-03: PARO2, I-04: FIN DE ARRANQUE.
SALIDAS:
Q-00: CONTACTORMOTRO1
Q-01: CONTACTO BYPASS1
Q-02: CONTACTO MOTOR2
Q-03: STOP_SMC FLEX

**Tabla 4. Asignación de entradas y salidas para arranque en cascada**

Una vez realizada las respectivas conexiones, cargado el programa a el PLC y energizados los dispositivos de control se procede al accionamiento de la botonera de MARCHA1, la cual envía una señal a la entrada I-00, esta señal permite que internamente en el programa cierre un contactor y active la salida Q-00 que enclava el contactor de MOTOR1, simultáneamente se activa el contacto auxiliar de MARCHA1 el cual se encuentra conectado directamente al pin 17 que pertenece al START del SMC-FLEX permitiendo así el paso de la tensión necesaria para poner en marcha MOTOR1.

Ya girando el motor 1 y alcanzado el fin de arranque este se bypasea mediante el contactor de BYPASS1 es decir queda girando conectado a la alimentación directa. El contacto auxiliar de BYPASS1 hace que se desactive el SMC-FLEX mediante el pin 18 de STOP del SMC-FLEX y quede libre para arrancar el motor 2.

Mientras motor 1 gira conectado a la alimentación directa, se arranca el motor 2 mediante el accionamiento del pulsador MARCHA2 que envía una señal I-02, internamente el programa cerrará un contacto que permitirá la activación de la salida Q-02 para realizar la puesta en marcha del motor 2 mediante su contacto auxiliar conectado al pin 17 del SMC-FLEX y finalizando así el arranque en cascada de los 2 motores de inducción.

Para detener los motores se emplean paros independientes para motor 1 y motor 2 los cuales se pueden accionar mediante botoneras en cualquier momento siempre y cuando que se haya llegado al fin de arranque y dado el caso bypaseado el motor de acuerdo a las validaciones del programa cargado al PLC.

#### **3.2.4 Arranque del motor empleando carga mecánica**

Esta práctica se la puede implementar acoplando al eje de motor carga mecánica y lo único que se deberá cambiar es la parametrización del arrancador para que proteja el motor, de ahí se utiliza la misma programación del arranque suave de un motor.



### 3.2.5 Implementación de los diferentes tipos de frenado disponibles

Los diferentes tipos de frenado son configurados mediante los parámetros del arrancador de acuerdo a la aplicación que se le desee dar al motor de inducción y se realizan desde el HMI del SMC-FLEX, así como se indica en la figura 3.29.



Figura 3. 29. HMI Modo de frenado

## 3.3 Diseño de control PI

### 3.3.1 Planta de control de nivel

- **Componentes**

- i. Reservorios
- ii. Motor y bomba
- iii. Controlador de nivel de flujo.

- **Descripción de la planta**

#### **Reservorios**

La planta de agua consta de 2 etapas la parte inferior que contiene la reserva de agua y la superior que es el depósito donde se almacenará el agua así como se indica en la figura 3.30, el agua será elevada por la bomba de agua que se

encuentra acoplada a un motor SIEMENS de 0.5Hp visto en la figura 3.31.

### Sensor

Se dimensiono un sensor ultrasónico que se deberá incorporarlo en la planta de agua para el diseño del control de llenado automático el cual debe cumplir con las siguientes características:

Rango	1.25 m
Salida	0 a 10 V(DC)
Alimentación	24 V(DC)
Zona muerta	5 cm
Potencia	0.5 W
Junta de Montaje	FKM
Costo	274 dólares

**Tabla 5. Características del sensor ultrasónico de nivel**



**Figura 3. 30. Reservorios.**



**Figura 3. 31. Bomba de agua**

- **Funcionamiento**

El control PI será manejado por el sensor ultrasónico que se deberá ubicar en la parte superior del tanque, una vez que inicie el llenado el sensor va a emitir una señal continua que va de 0 a 10 voltios, esta señal será la entrada del POWER-FLEX la cual permitirá variar la frecuencia del motor de acuerdo a los parámetros establecidos, de esta manera el motor reduce su velocidad y consigo el caudal a la salida de la bomba disminuyendo a cero en el momento de llegar al voltaje de referencia impidiendo se rebose el tanque de agua de almacenamiento.

## **CAPÍTULO 4**

### **4. RESULTADOS.**

En el siguiente capítulo se darán a conocer los resultados de las prácticas obtenidas mediante el desarrollo del proyecto, de acuerdo a los métodos escogidos y las soluciones encontradas para resolver la problemática establecida inicialmente. El análisis de estos resultados es basado en la comparación de la ejecución de las prácticas mediante el proceso antiguo y el actual.

#### **4.1 Comparación de prácticas**

##### **4.1.1 Arranque de un motor y cambio de giro.**

###### **Arranque de un motor**

###### **Antes**

La puesta en marcha del motor de inducción se realizaba de manera directa conectando las bobinas a la red de alimentación trifásica mediante el accionamiento de un disyuntor principal. Posteriormente se estableció conectarlo a un arrancador suave instalado en el tablero ROCKWELL AUTOMATION para realizar el arranque considerando únicamente los datos de placa del motor, es decir el arrancador era el encargado de dejar pasar el voltaje de alimentación para la puesta en marcha del motor una vez que se haya parametrizado el equipo de control SMMC-FLEX. Todo este proceso era controlado por el estudiante mediante el accionamiento de botón de marcha y el de paro siempre y cuando el encargado de la práctica se lo sugiera.

###### **Ahora**

Con la implementación del tablero complementario donde se instaló el PLC-micro-810 y la repotenciación del tablero ROCKWELL AUTOMATION se modificó la práctica de tal manera que se garantice la protección total del motor al momento de su puesta en marcha. La protección se debe ahora a la programación cargada al controlador del PLC-MICRO-810 que establece un nuevo parámetro que se lo determinó como fin de arranque que es una condición necesaria para detener el motor mediante el uso de un temporizador. En términos generales el SMC-FLEX ahora será controlado por el PLC-MICRO\_810.



**Figura 4. 1** Tableros para prácticas con motor de inducción

## Cambio de giro de un motor

### Antes

Una vez que el motor estaba en marcha tal como se explicó en la sección de Antes del apartado 4.1.2.1, la única manera de cambiar el sentido de giro del motor era interrumpir la energización del tablero ROCKWELL AUTOMATION y esperar que el motor se detenga totalmente, luego de esto de manera manual intercambiar 2 de las líneas para así cambiar la fase y se produzca la inversión de giro mediante el accionamiento del botón de marcha.

### Ahora



Figura 4. 2. Práctica con motor de inducción.

La incorporación del PLC-MICRO-810 a la parte de control y de 2 contactores a la parte de fuerza dio como resultado que el cambio de giro se efectuó de manera automática, así como se explica en el apartado 3.2.1.4, es decir a la vez que se protege el motor mediante la programación, también es posible controlar el accionamiento de contactores para cambiar la fase de las líneas

conectadas al motor sin necesidad de intervención por parte del estudiante.

#### **4.1.2 Conexión dentro de la delta o en serie con la línea.**

##### **Antes**

Esta práctica no se realizaba con el tablero ROCKWELL AUTOMATION debido a que no existía un control que permita identificar cuando era necesario variar el parámetro de conexión dentro de la delta o en serie con la línea, al menos que sea indicado por el profesor o instructor de la práctica.

##### **Ahora**

Al igual que en el cambio de giro, la incorporación del PLC-MICRO-810 a la parte de control y de 2 contactores a la parte de fuerza del tablero complementario, permiten que el cambio de conexión sea Automático siempre y cuando adicionalmente a esto se parametrize el SMC-FLEX así como se indica en las figuras 3.24 y 3.25. Esta parametrización será realizada de manera manual antes de arrancar el motor lo cual estará indicado visualmente mediante luces pilotos en señales de alerta.

La implementación de esta práctica es importante ya que permite conocer uno de los parámetros del arrancador suave SMC-FLEX que están sujetos a cambios de acuerdo a la aplicación que se le desee dar.

### **4.1.3 Arranque en cascada**

#### **Antes**

Sin la repotenciación del tablero no era posible la realización del arranque en cascada debido a que el SMC-FLEX solo arranca de manera directa un motor a la vez lo que implicaría tener 2 arrancadores.

#### **Ahora**

El control realizado a 3 contactores del tablero complementario mediante la programación cargada al controlador del PLC-MICRO-810, permite efectuar la práctica del arranque en cascada sin necesidad de tener otro arrancador tal como se indica en el apartado 3.2.3.5.

En esta práctica se desarrolló un sistema de bypass que es muy útil para optimizar equipos ya sea de fuerza o de control garantizando el funcionamiento de los equipos y protegiéndolos mediante programación.

#### **Importante**

Como resultado de todas las prácticas en las que interviene el motor de inducción se pueden realizar adicionalmente el acoplamiento de carga mecánica y realizar los diferentes tipos de frenado con los que cuenta el arrancador suave SMC-FLEX.



#### 4.1.4 Control de nivel de planta de agua.

##### Antes

La planta de agua operaba únicamente mediante una bomba acoplada a un motor que se alimentaba de la red trifásica, su llenado era controlado de manera manual mediante el accionamiento del motor.

##### Ahora



Figura 4. 3. Diseño de control de planta de agua

Se diseñó un control PI que sugiere la incorporación del POWER-FLEX y un sensor de nivel que sea lineal para incorporarlo a la planta de agua. El Sensor de nivel tiene como salida una variación de voltaje que va a la entrada del variador de frecuencia POWER-

FLEX que una vez parametrizado correctamente controla el motor y como tal el caudal de la bomba de agua. Este diseño de control PI tiene como finalidad que se realice el llenado de agua del tanque de reservorio al tanque de llenado mediante la bomba de agua sin que pase de su nivel de referencia.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se ha mejorado el proceso de cambio de giro y puesta en marcha de un motor de inducción mediante la programación cargada al controlador del PLC-MICRO-810 instalado en el tablero complementario, permitiendo controlar el funcionamiento del arrancador suave SMC-FLEX por medio de sus pines de control 17 y 18, además con la implementación del contacto Auxiliar 4 del SMC-FLEX denominado fin de arranque se garantiza la protección del motor de inducción en cada una de las prácticas logrando estabilizar cada arranque ya sea en vacío o con carga mecánica aplicada. La parametrización del SMC-FLEX en el tipo de conexión con el arrancador ya sea dentro de la delta o en serie con la línea establece que tan rápido se logre alcanzar el fin de arranque y permita la protección del motor para que no exista cambios bruscos de torque. En términos generales la comunicación para realizar las prácticas con el motor de inducción depende directamente de la comunicación entre el PLC-MICRO-810 y el arrancador suave, teniendo en cuenta la programación, conexión eléctrica y conexión de control que varía de acuerdo a la aplicación que se le dé al motor

La programación realizada y cargada al controlador del PLC es la que permite controlar los equipos y además proteger el motor de inducción, esta programación está sujeta a cambios de acuerdo lo considere el estudiante o profesor guía, siempre y cuando se validen las condiciones necesarias para proteger los equipos en cada una de las prácticas implementadas. La comunicación entre el PLC y la PC se realiza mediante el software y el adaptador, esto se realiza únicamente para cargar el programa al controlador, una vez cargado el programa se puede desconectar de la PC.

Es importante tener en cuenta que para observar mediante el monitor como se va ejecutando el programa desarrollado se debe mantener la comunicación entre los dispositivos de control y el software Connected Components Workbench. Se cuenta con los diagramas diseñados en el software computacional Autocad que permite realizar las conexiones externas de manera adecuada, ya sean de control o de fuerza para cada una de las prácticas implementadas. Esto permite que se entienda el funcionamiento y se realice el acoplamiento correcto de los equipos y elementos presentes en las respectivas prácticas logrando que estas sean más didácticas y cautiven el interés del estudiante.

El diseño del circuito donde se hace uso de un bypass permite realizar un arranque en cascada con un mismo arrancador optimizando el uso de equipos de control y de fuerza lo que es muy importante en el diseño e implementación de prácticas encaminadas a resolver problemas donde no se cuenta con mucho presupuesto. El diseño del control de llenado automático de la planta de agua sugiere que el funcionamiento esté sujeto al variador de frecuencia POWER-FLEX y la incorporación de un sensor de nivel ultrasónico a la planta de agua, logrando un llenado automático que dependerá de los rangos que se determinen en la referencia del variador de frecuencia, permitiendo ser un gran aporte al momento de controlar niveles de líquidos en cualquier proceso de la industria.

En cada una de las prácticas se debe realizar la parametrización adecuada de los equipos de control de acuerdo a los datos de placa del motor, Además implementar de manera adecuada las conexiones de control y de fuerza para poder garantizar el funcionamiento de los equipos de control y demás elementos de los tableros. Se sugiere realizar las prácticas manteniendo la comunicación entre el PLC y la PC para poder observar la ejecución de lo programado, permitiendo comprender el funcionamiento de los equipos.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] W. Massieu, Controlador Lógico Programable, Quito: Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Electrónico y Eléctrico, 2008, p. cvbx
- [2] R. Automation, «Controladores Programables Micro810,» Septiembre 2012. [En línea]. Available: [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/2080-um001\\_-es-e.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/2080-um001_-es-e.pdf). [Último acceso: 2 Diciembre 2016].
- [3] C. A. Bolaños López y A. J. Portilla Estevez , Arrancador Suave Para Motores Trifásicos de Inducción, Quito: Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, 2002
- [4] A. Bradley y Dodge, «SMC-FLEX;Boletín 150,» de *Manual del Usuario de la Serie B*, Rockwell Automation.
- [5] H. A. Vélez, Estudio de Causas de Falla en Variadores de Frecuencia Bajo Ambientes Industriales, Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas; Facultad de Ingeniería Proyecto Curricular de Ingeniería Eléctrica, 2016.
- [6] F. I. Electrónica, «Controladores tipo P,PI y PID,» Sistemas de Control Automático. Guía 6.
- [7] R. Cabrera, «(LECCIONES TEORICAS DE BIOFÍSICA DEL CBC),» Octubre 2007. [En línea]. Available: [https://ricuti.com.ar/no\\_me\\_salén/hidrodinamica/FT\\_caudal.html](https://ricuti.com.ar/no_me_salén/hidrodinamica/FT_caudal.html). [Último acceso: 1 Diciembre 2016].
- [8] G. Enríquez Harper, Curso de transformadores y motores de inducción, México: Limusa Noriega Editores, 2005.

[9] E. Romanelli, «Máquinas Eléctricas: Motores Monofásicos,» 26 Noviembre 2014. [En línea]. Available: [http://electromaquinasac.blogspot.com/2014\\_11\\_01\\_archive.html](http://electromaquinasac.blogspot.com/2014_11_01_archive.html). [Último acceso: 1 Diciembre 2016].

## ANEXOS

### Anexo 1



## ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

### PRÁCTICA 1

#### ARRANQUE SUAVE Y CANBIO DE GIRO DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN.

TÉCNICO DOCENTE: \_\_\_\_\_

La siguiente práctica tiene como fin mostrar el empleo del tablero Rockwell Automation y la parametrización básica y avanzada de un arrancador suave SMC-Flex. Se revisa el panel eléctrico Rockwell, Se observa el circuito de control del SMC-Flex y se establece la comunicación con el software Connected Components Workbench (CCW) y el PLC-MICRO-810 mediante la PC.

#### 1.- OBJETIVOS

Analizar el programa cargado al PLC-MICRO-810 para realizar la puesta en marcha y cambio de giro de un motor de inducción.

Verificar como el PLC-MICRO-810 controla el arrancador suave SMC-FLEX

El listado de equipos a emplearse en esta práctica se indican a continuación:

## 2.- EQUIPOS A EMPLEARSE

- Tablero Rockwell Automation
  - Arrancador suave SMC-FLEX
- Tablero complementario:
  - PLC-MICRO-810
- Motor de inducción jaula de ardilla MV1009
- Cables tipo banana

Nota: Adicional a los equipos antes mencionados se hace uso de componentes eléctricos (Botoneras, selectores, Luces piloto, Contactores, relé), Fuente Dc 24 Voltios, Disyuntores y Térmicos.



**Tablero Rockwell Automation y Complementario (elementos internos)**



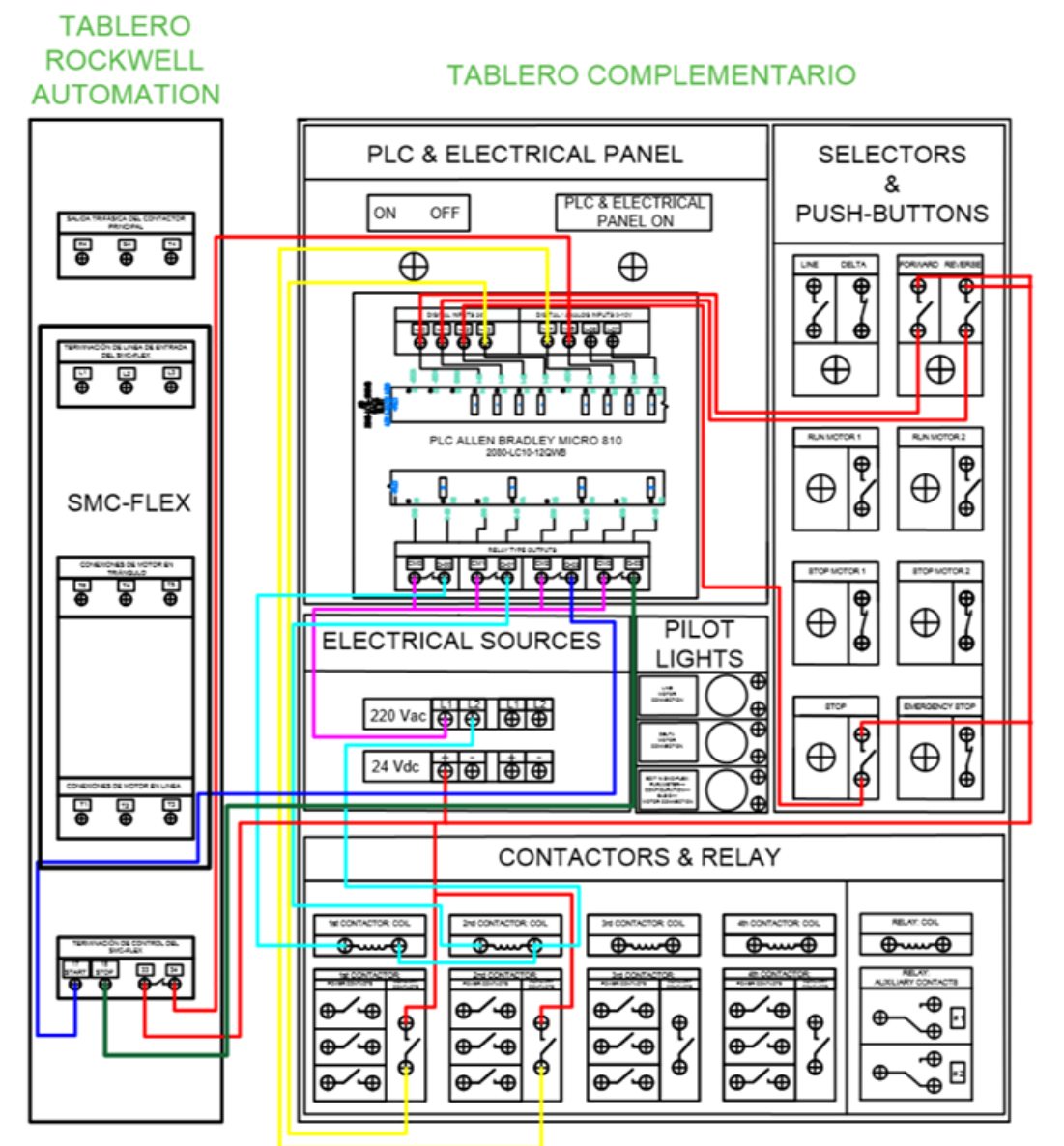


**Tablero Rockwell Automation y Complementario (elementos externos)**

### **3.- CONEXIONES**

#### **Conexiones de control**

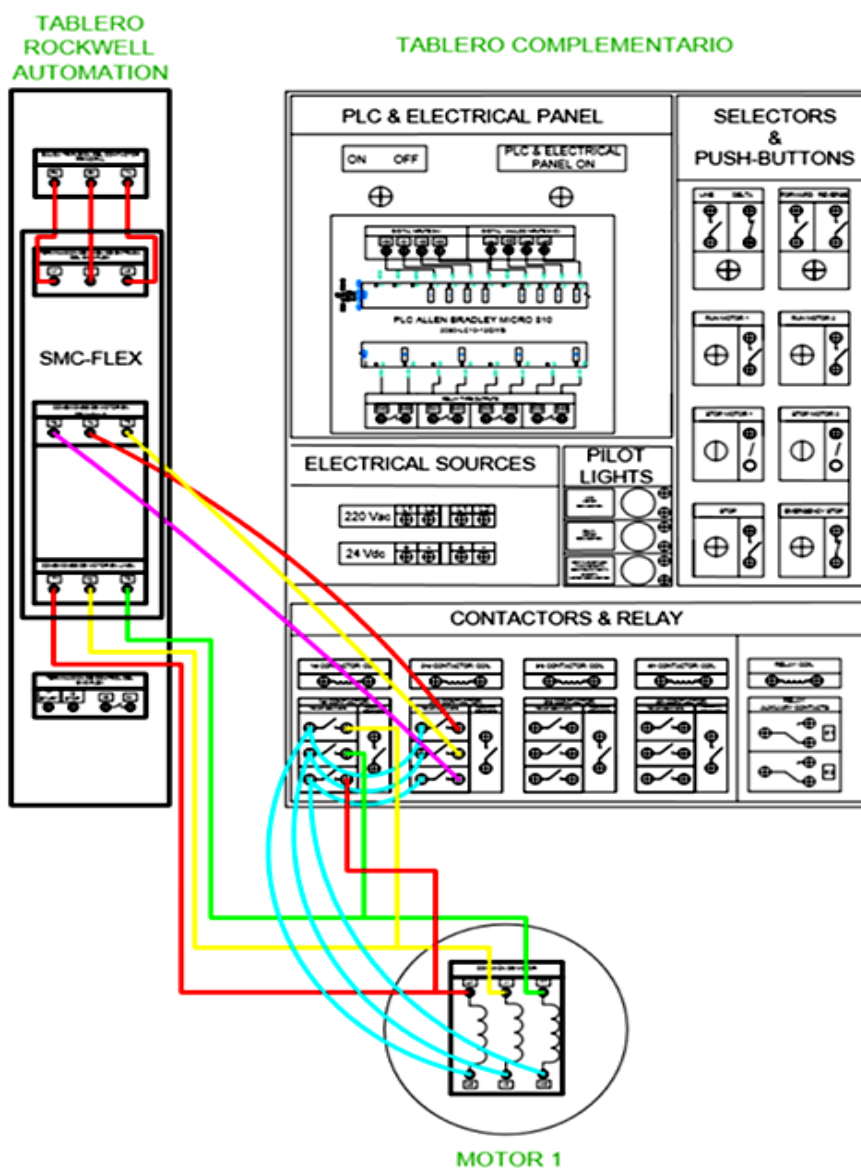
Las conexiones de control me permitirán realizar la comunicación entre el PLC y elementos como selectores, botoneras y señales de otros equipos (Señal de fin de Arranque) asociadas a sus entradas. Así mismo se obtendrá una respuesta a las salidas del PLC permitiendo el accionando de elementos como luces pilotos, contactores auxiliares y señales para activar o desactivar equipos (Start y Stop del SMC-FLEX).



**Diagrama de Conexiones de Control**

### Conexiones de fuerza.

Las conexiones de fuerza nos permiten el accionamiento del motor para sus respectivas pruebas de marcha, paro y cambio de giro de un motor de inducción de acuerdo a la aplicación requerida.



**Diagrama de Conexiones de Fuerza**

Nota: Ubicar el selector de Forward y Reversa en la posición central antes de energizar los equipos ubicados en los tableros.

### **Puesta en marcha de un motor de Inducción**

## 4.- ENERGIZACIÓN

### Tablero Rockwell Automation

- Accionar disyuntor principal.
- Accionar disyuntor de fuerza del SMC-FLEX.
- Accionar disyuntor de 2 polos: Alimentación del transformador.
- Accionar 2 disyuntores de 1 polo: Energización de bobina de contactor y del ventilador.
- Presionar el botón verde de marcha del tablero.

### Tablero Complementario

- Accionar disyuntor principal.
- Accionar disyuntor del PLC-MICRO-810.
- Ubicar el selector en ON y verificar el encendido de la luz piloto garantizando el encendido del PLC.

## 5.- COMUNICACIÓN

Descargar del programa predeterminado al controlador del PLC MICRO-810 mediante la comunicación de la PC y cable auxiliar, para lo cual se debe usar el software computacional Connected Components Workbench (CCW).

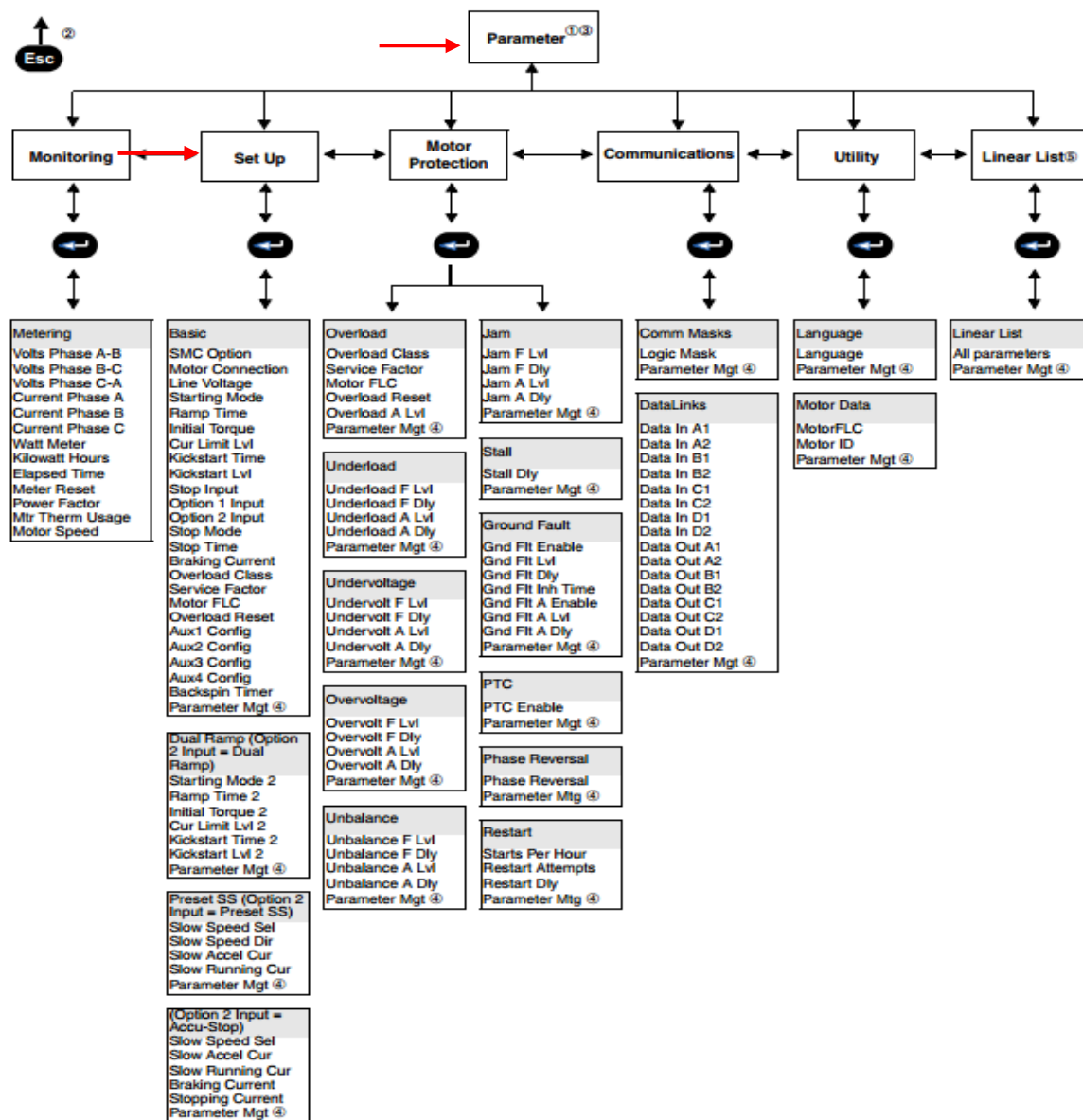
Tipo	MOT 3 M 90 L4					
IP 44	ICL 8	S 1	PROD M89			
Hz	HP	KW	V	A	cos $\phi$	min <sup>-1</sup>
50	2	1.5	$\Delta Y$ 220/380	6.95/4	0.79	1400
50	2	1.5	$\Delta Y$ 240/415	6.43/3.72	0	1400
60	2.4	1.8	$\Delta Y$ 255/440	5.77/3.34	0	1690

**Datos de placa de Motores de inducción**

## **6.- PARAMETRIZACIÓN**

Realizar la protección del motor parametrizando los equipos con los datos de placa del motor.

Además de los datos de placa se debe identificar el parámetro Aux4 config y configurarlo a velocidad para hacer uso del término de fin de arranque que se le asignara al contacto auxiliar ubicado entre los pines 33 y 34 para lo cual se sugiere guiarse del menú estructural de parámetros.



- ① Depending upon SMC option selected, some parameters may not appear in product display.
- ② Steps back one level.
- ③ For further information on parameters, see Appendix B.
- ④ For further information on parameter management, see page 4-6.
- ⑤ See page 4-4 for all SMC-Flex parameters available by the Linear List.

### Menú Estructural de Parámetros

## **7.- PROCEDIMIENTO IDEAL**

### **Arranque suave de un motor de Inducción**

- c. Ubicar el selector en forward y observe la puesta en marcha del motor.
- d. Presionar el botón de paro y esperar que el motor de detenga totalmente.
- e. Ubicar el selector en reversa y observe la puesta en marcha del motor.
- f. Presionar el botón de paro y esperar que el motor de detenga totalmente.
- g. Ubicar el selector en forward y observe la puesta en marcha del motor.
- h. Ubicar el selector en reversa y observe el cambio de giro del motor.
- i. Presionar el botón de paro y esperar que el motor de detenga totalmente.
- j. Ubicar el selector en reversa y observe la puesta en marcha del motor.
- k. Ubicar el selector en forward y observe el cambio de giro del motor.
- l. Presionar el botón de paro y esperar que el motor de detenga totalmente.

### **Cambio de Giro de un motor de Inducción**

- m. El fin de arranque asignado al contacto auxiliar entre los pines (33 y 34) es condición necesaria para poder presionar el botón de paro del motor ya sea que este en modo marcha o reversa.
- n. Si el motor está girando se debe garantizar que ha parado para proceder al cambio de sentido en el giro.
- o. El motor puede realizar el cambio de giro ya sea que se inicie en forward o reversa en términos generales se cumple su funcionamiento de manera bidireccional.
- p. El paro tiene prioridad sobre forward o reversa.

## Anexo 2



# ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

## PRÁCTICA 2

### CONEXIÓN DENTRO DE LA DELTA O ENSERIE CON LA LÍNEA.

TÉCNICO DOCENTE: \_\_\_\_\_

La siguiente práctica tiene como fin mostrar el empleo del tablero Rockwell Automation y la parametrización avanzada de un arrancador suave SMC-Flex para que un motor de inducción pueda arrancar en conexión dentro de la delta o en serie con la línea. Se revisa el panel eléctrico Rockwell, se observa el circuito de control del SMC-Flex y se establece la comunicación con el software Connected Components Workbench (CCW) y el PLC-MICRO-810 mediante la PC.

### 1.- OBJETIVOS

Analizar el programa cargado al PLC-MICRO-810 para realizar la conexión dentro de la delta o en serie con la línea del arrancador.

Verificar como el PLC-MICRO-810 controla la puesta en marcha del motor de inducción mediante la parametrización del arrancador.

El listado de equipos a emplearse en esta práctica se indican a continuación:



## 2.- EQUIPOS A EMPLEARSE

- Tablero Rockwell Automation
  - Arrancador suave SMC-FLEX
- Tablero complementario:
  - PLC-MICRO-810
- Motor de inducción jaula de ardilla MV1009
- Cables tipo banana

Nota: Adicional a los equipos antes mencionados se hace uso de componentes eléctricos (Botoneras, selectores, Luces piloto, Contactores), Fuente Dc de 24 Voltios, Disyuntores y Térmicos.



**Tablero Rockwell Automation y Complementario (elementos internos)**



**Tablero Rockwell Automation y Complementario (elementos externos)**

### **3.- CONEXIONES**

#### **Conexiones de control**

Las conexiones de control me permitirán realizar la comunicación entre el PLC y elementos como selectores, botoneras y señales de otros equipos (Señal de fin de Arranque, conexión delta y serie) asociadas a sus entradas. Así mismo se obtendrá una respuesta a las salidas del PLC permitiendo el accionando de elementos como luces pilotos, contactores auxiliares, rele y señales para activar o desactivar equipos (Start y Stop del SMC-FLEX).

TABLERO  
ROCKWELL  
AUTOMATION

TABLERO COMPLEMENTARIO

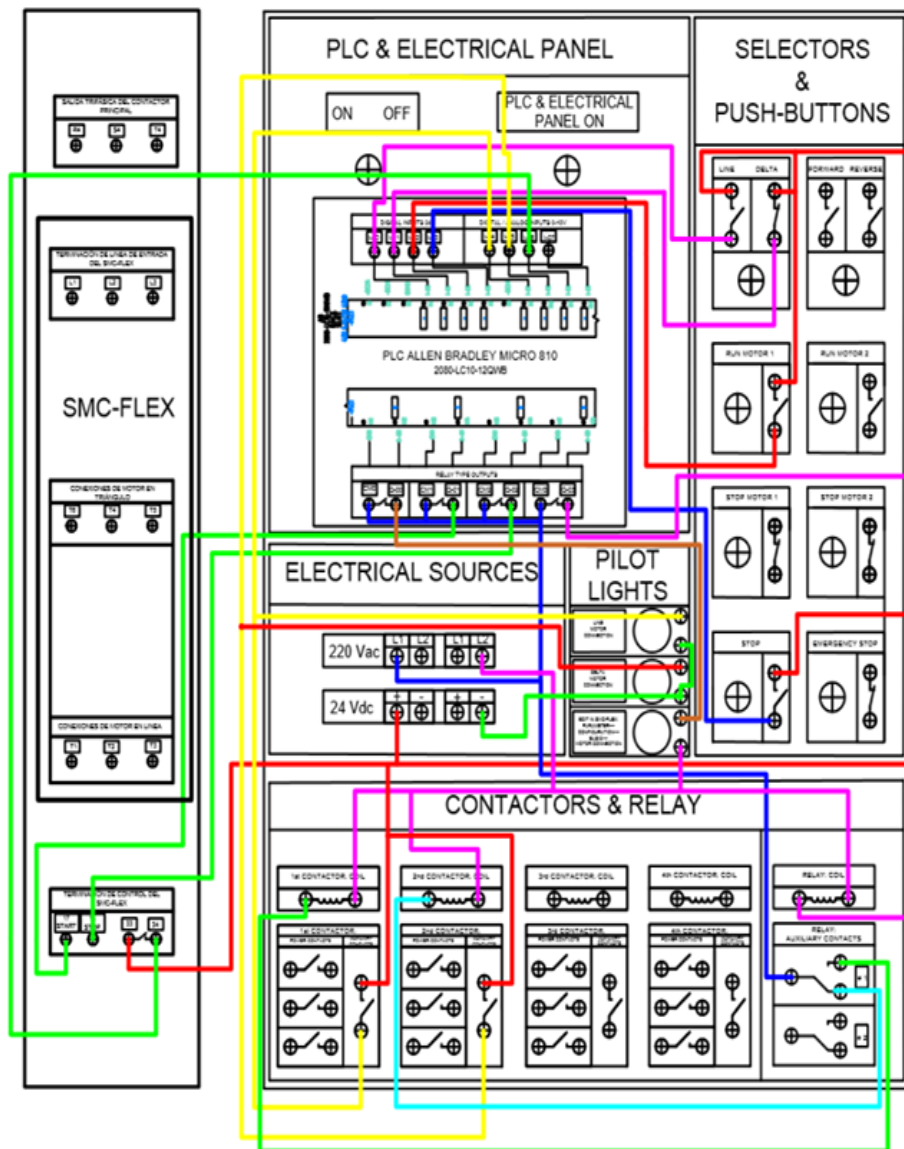


Diagrama de Conexiones de Control

## Conexiones de fuerza.

Las conexiones de fuerza nos permiten el accionamiento del motor para sus respectivas pruebas de marcha, paro y cambio de giro de un motor de inducción de acuerdo a la aplicación requerida.

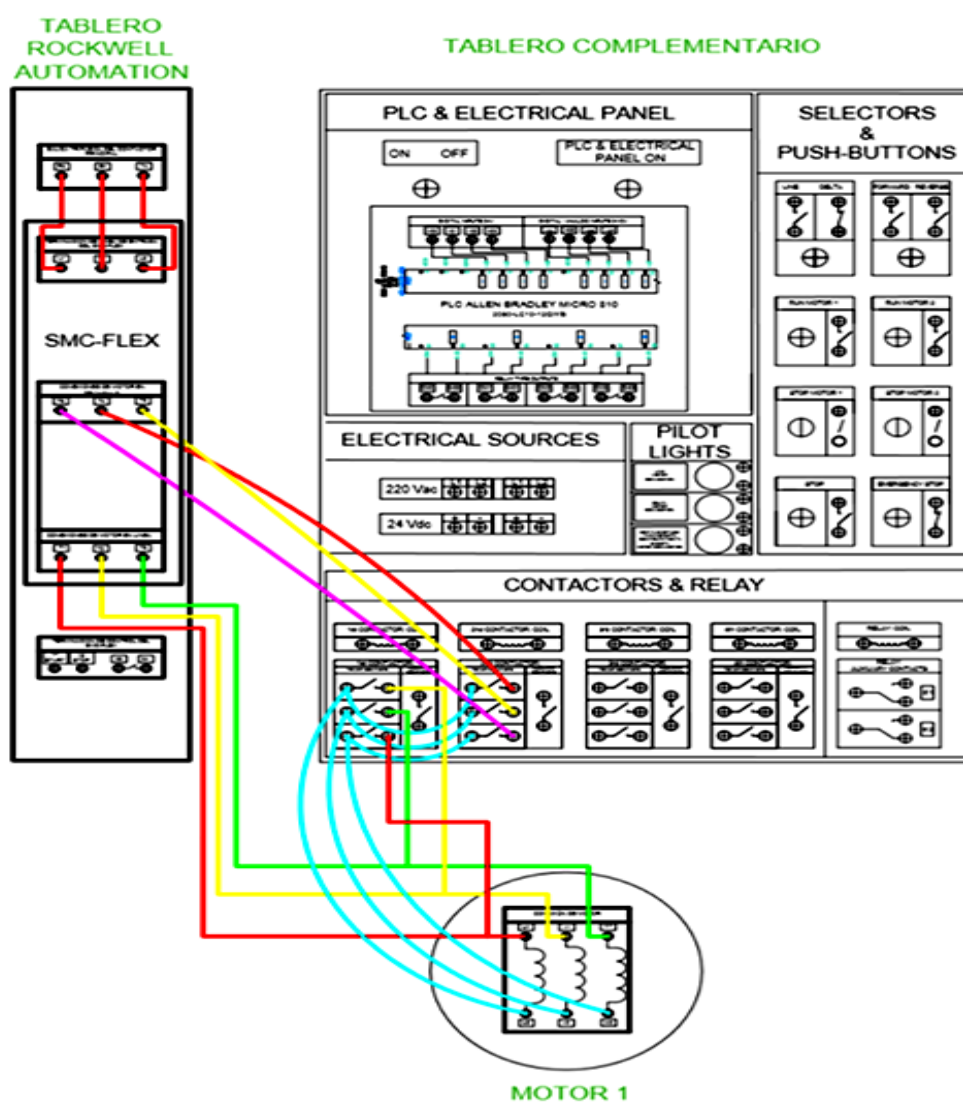


Diagrama de Conexiones de Fuerza

Nota: El selector puede estar en delta o línea al inicio de la práctica pero debe indicarlo la luz piloto, para cambiar así el parámetro de modo de arranque del SMC-FLEX a delta o línea según corresponda.

### **Puesta en marcha de un motor de Inducción dentro de la delta o en serie con el arrancador**

#### **4.- ENERGIZACIÓN**

##### **Tablero Rockwell Automation**

- Accionar disyuntor principal.
- Accionar disyuntor de fuerza del SMC-FLEX.
- Accionar disyuntor de 2 polos: Alimentación del transformador.
- Accionar 2 disyuntores de 1 polo: Energización de bobina de contactor y del ventilador.
- Presionar el botón verde de marcha del tablero.

##### **Tablero Complementario**

- Accionar disyuntor principal.
- Accionar disyuntor del PLC-MICRO-810.
- Ubicar el selector en ON y verificar el encendido de la luz piloto garantizando el encendido del PLC.
- Verificar la luz piloto que indica si se debe reparametrizar.

#### **5.- COMUNICACIÓN**

Descargar del programa predeterminado al controlador del PLC MICRO-810 mediante la comunicación de la PC y cable auxiliar, para lo cual se debe usar el software computacional Connected Components Workbench (CCW).

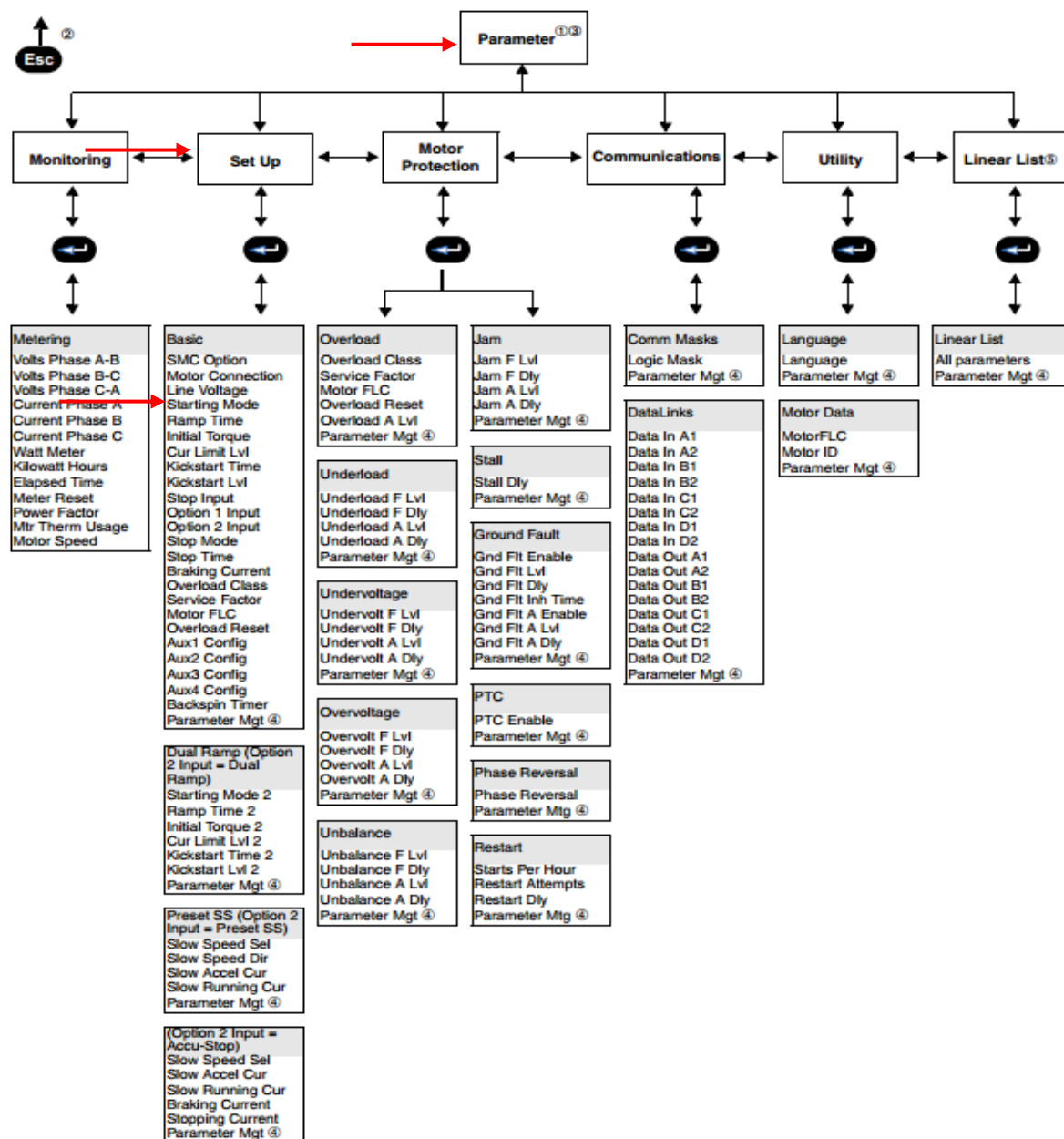
## 6.- PARAMETRIZACIÓN

Tipo	MOT 3 M 90 L4					
IP 44	ICL 8	S 1	PROD M89			
Hz	HP	KW	V	A	cos $\phi$	min <sup>-1</sup>
50	2	1.5	$\Delta Y$ 220/380	6.95/4	0.79	1400
50	2	1.5	$\Delta Y$ 240/415	6.43/3.72	0	1400
60	2.4	1.8	$\Delta Y$ 255/440	5.77/3.34	0	1690

Realizar la protección del motor parametrizando los equipos con los datos de placa del motor.

### Datos de placa de Motores de inducción

Además de la parametrización con los datos de placa del motor y el parámetro Aux4 config para hacer uso del término de fin de arranque entre los pines 33 y 34, se añade el parámetro que define el tipo de conexión ya sea dentro de la delta o en serie con la línea del arrancador.



- ① Depending upon SMC option selected, some parameters may not appear in product display.
- ② Steps back one level.
- ③ For further information on parameters, see Appendix B.
- ④ For further information on parameter management, see page 4-6.
- ⑤ See page 4-4 for all SMC-Flex parameters available by the Linear List.

### Menú Estructural de Parámetros

## **7.- PROCEDIMIENTO IDEAL**

### **Arranque suave de un motor de Inducción**

- a. El motor no puede estar conectado en línea y en delta simultáneamente.
- b. El programa debe permitir el cambio de línea a delta y viceversa siempre y cuando el motor esté detenido.
- c. El motor en marcha ya sea con la línea o en delta debe mantener su estado mientras se varíe el selector de línea a delta y viceversa.
- d. El motor una vez arrancado ya sea en línea o en delta no deberá detenerse hasta que haya llegado al fin de arranque.
- e. Se debe indicar la parametrización.



## Anexo 3



# ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

## PRÁCTICA 2

### ARRANQUE EN CASCADA.

TÉCNICO DOCENTE: \_\_\_\_\_

La siguiente práctica tiene como fin mostrar el empleo del tablero Rockwell Automation y la implementación de un bypass para poder realizar un arranque en cascada de 2 motores de inducción haciendo uso de un solo arrancador SMC-FLEX para que ambos motores tengan un arranque suave. Se revisa el panel eléctrico Rockwell, se observa el circuito de control del SMC-Flex y se establece la comunicación con el software Connected Components Workbench (CCW) y el PLC-MICRO-810 mediante la PC.

### 1.- OBJETIVOS

Analizar el programa cargado al PLC-MICRO-810 el cual me permite realizar la puesta en marcha de dos motores de inducción mediante la implementación de un bypass que permita usar un solo arrancador suave.

Verificar como el PLC-MICRO-810 controla la puesta en marcha de 2 motores de inducción en cascada.

El listado de equipos a emplearse en esta práctica se indican a continuación

## 2.- EQUIPOS A EMPLEARSE

- Tablero Rockwell Automation
  - Arrancador suave SMC-FLEX
- Tablero complementario:
  - PLC-MICRO-810
- Motor de inducción jaula de ardilla MV1009
- Cables tipo banana

Nota: Adicional a los equipos antes mencionados se hace uso de componentes eléctricos (Botoneras, selectores, Luces piloto, Contactores, relé), Fuente Dc de 24 Voltios, Disyuntores y Térmicos.



**Tablero Rockwell Automation y Complementario (elementos internos)**



**Tablero Rockwell Automation y Complementario (elementos externos)**

### **3.- CONEXIONES**

#### **Conexiones de control**

Las conexiones de control me permitirán realizar la comunicación entre el PLC y elementos como selectores, botoneras, y señales de otros equipos (Señal de fin de Arranque,) asociadas a sus entradas. Así mismo se obtendrá una respuesta a las salidas del PLC permitiendo el accionando de elementos como luces pilotos, contactores auxiliares, rele(elemento necesario para realizar el bypass) y señales para activar o desactivar equipos (Start y Stop del SMC-FLEX).

TABLERO  
ROCKWELL  
AUTOMATION

TABLERO COMPLEMENTARIO

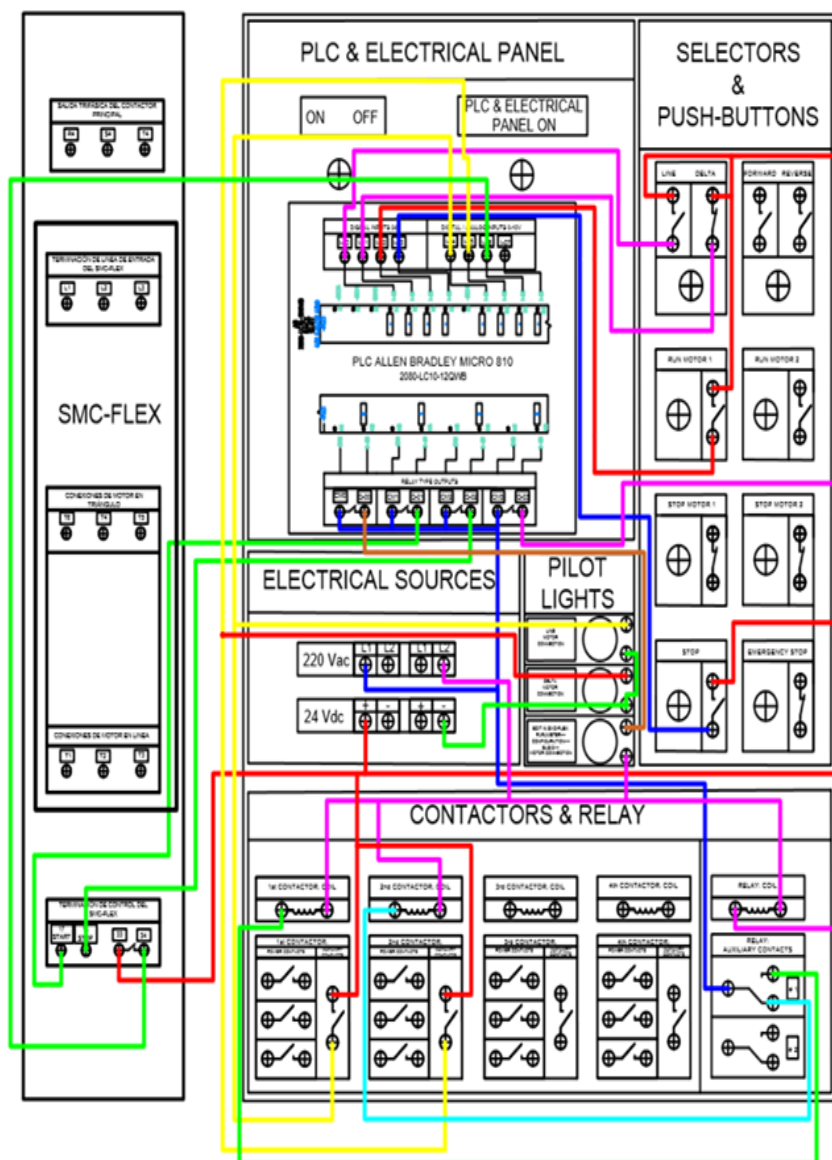


Diagrama de Conexiones de Control

## Conexiones de fuerza.

Las conexiones de fuerza nos permiten el accionamiento de los dos motores de inducción mediante la implementación del Bypass para sus respectivas pruebas de marcha, paro y arranque en cascada de acuerdo a la aplicación requerida.

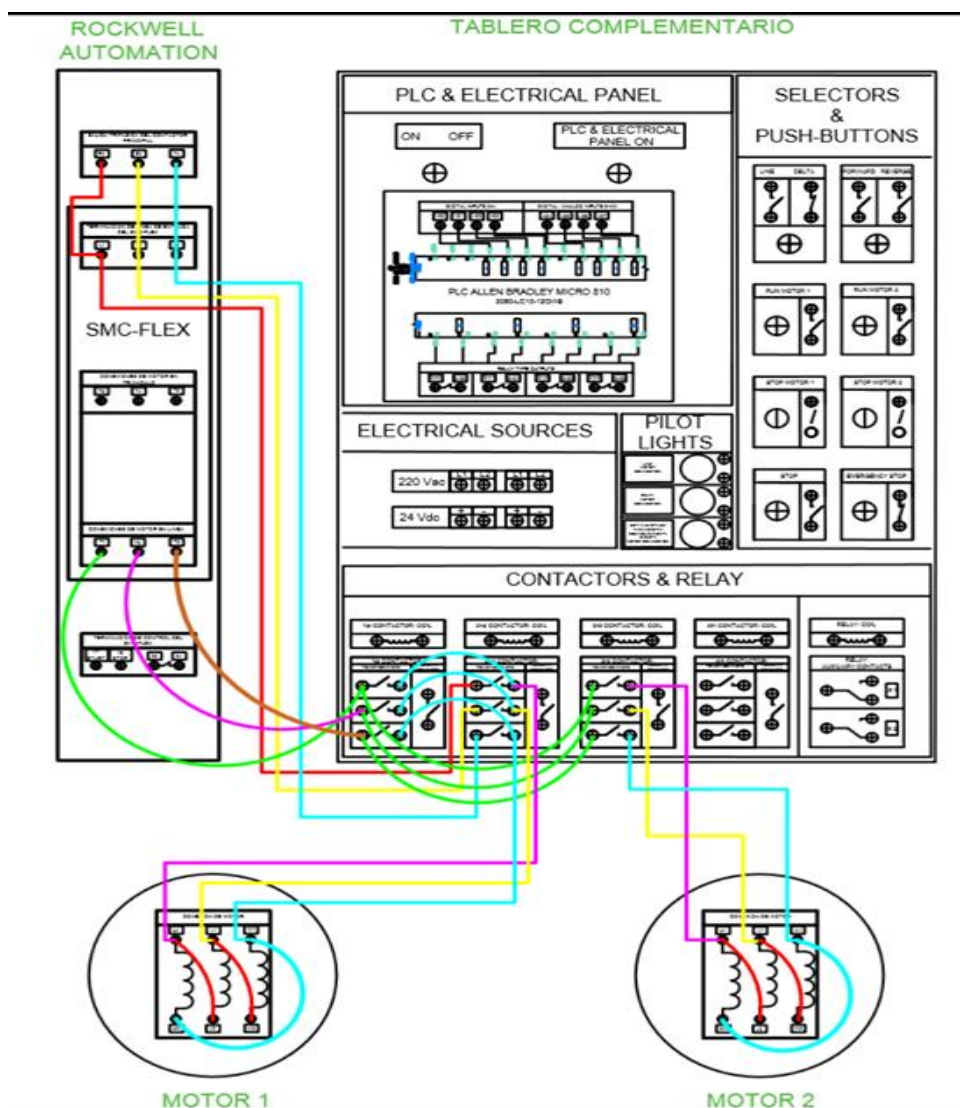


Diagrama de Conexiones de Fuerza

## **Puesta en marcha de un motor de Inducción dentro de la delta o en serie con el arrancador**

### **4.- ENERGIZACIÓN**

#### **Tablero Rockwell Automation**

- Accionar disyuntor principal.
- Accionar disyuntor de fuerza del SMC-FLEX.
- Accionar disyuntor de 2 polos: Alimentación del transformador.
- Accionar 2 disyuntores de 1 polo: Energización de bobina de contactor y del ventilador.
- Presionar el botón verde de marcha del tablero.

#### **Tablero Complementario**

- Accionar disyuntor principal.
- Accionar disyuntor del PLC-MICRO-810.
- Ubicar el selector en ON y verificar el encendido de la luz piloto garantizando el encendido del PLC.

### **5.- COMUNICACIÓN**

Descargar del programa predeterminado al controlador del PLC MICRO-810 mediante la comunicación de la PC y cable auxiliar, para lo cual se debe usar el software computacional Connected Components Workbench (CCW).

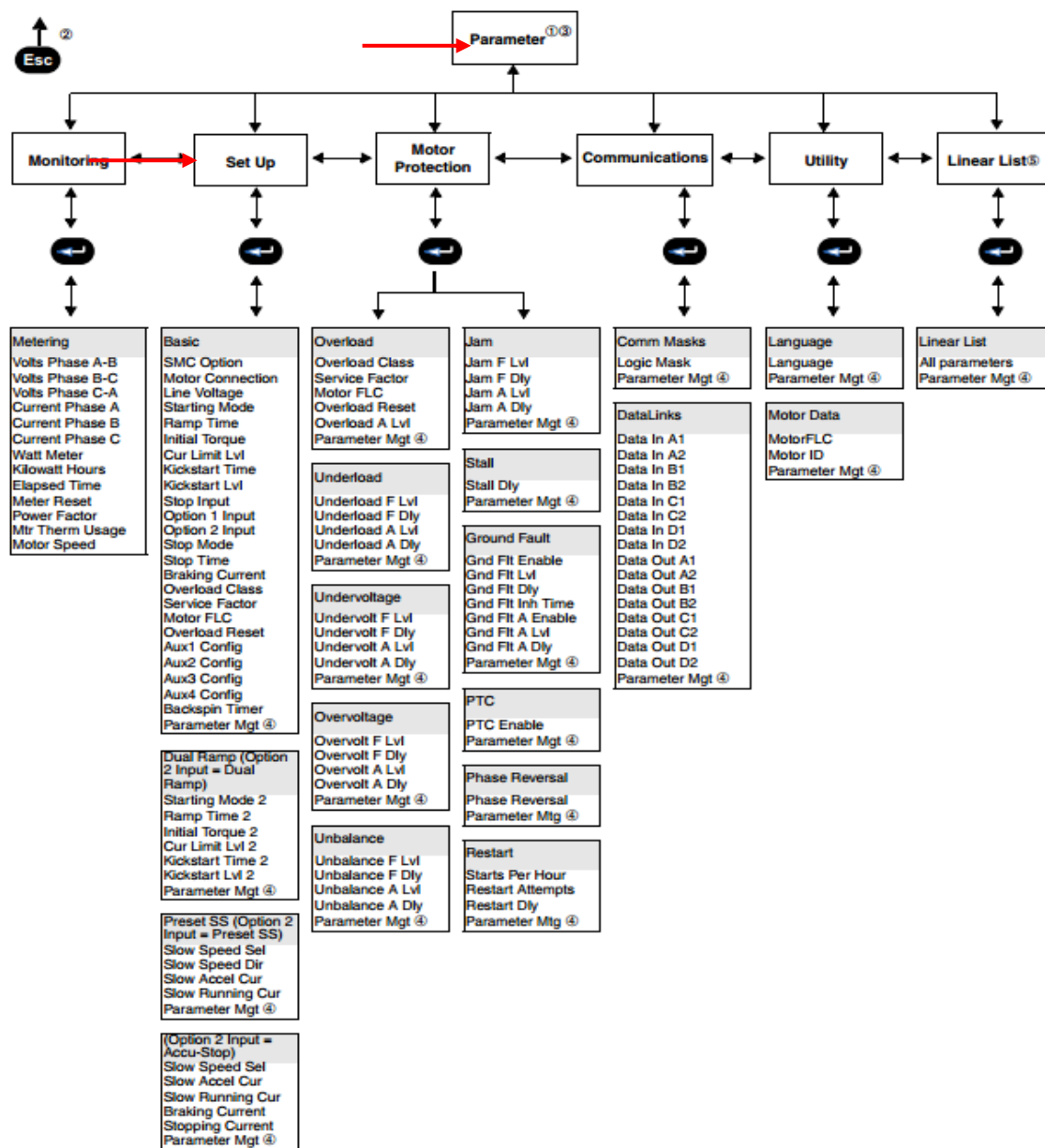
## 6.- PARAMETRIZACIÓN

Realizar la protección del motor parametrizando los equipos con los datos de placa del motor.

MOT 3 M 90 L4							
Tipo	IP 44	ICL 8	S 1	PROD M89			
	Hz	HP	KW	V	A	cos $\phi$	
	50	2	1.5	$\Delta Y$ 220/380	6.95/4	0.79	1400
	50	2	1.5	$\Delta Y$ 240/415	6.43/3.72	0	1400
	60	2.4	1.8	$\Delta Y$ 255/440	5.77/3.34	0	1690

### Datos de placa de Motores de inducción

Además de los datos de placa se debe identificar el parámetro Aux4 config y configurarlo a velocidad para hacer uso del término de fin de arranque que se le asignara al contacto auxiliar ubicado entre los pines 33 y 34 para lo cual se sugiere guiarse del menú estructural de parámetros.



- ① Depending upon SMC option selected, some parameters may not appear in product display.
- ② Steps back one level.
- ③ For further information on parameters, see Appendix B.
- ④ For further information on parameter management, see page 4-6.
- ⑤ See page 4-4 for all SMC-Flex parameters available by the Linear List.



## **7.- PROCEDIMIENTO IDEAL**

### **Arranque suave de un motor de Inducción**

- i. Puede estar girando un motor1 mientras motor2 está detenido
- j. Se Puede arrancar motor1 y detenerlo inmediatamente sin necesidad de completar el arranque en cascada.
- k. Para arrancar motor2 se debe arrancar motor1 inicialmente así es el orden del arranque en cascada.
- l. Estando en marcha los 2 motores y se para motor1 no se lo puedo volver a arrancar hasta que haya parado el motor2.
- m. Estando en marcha los 2 motores y se para motor2 se puedo volver a arrancar motor2 sin necesidad de apagar los 2 motores.
- n. Para cualquier condición de paro se establece como condición necesaria el fin de arranque.
- o. El paro tiene prioridad sobre la marcha.
- p. El paro del motor1 es independiente del motor2.