



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA DE REGENERACIÓN,
FILTRACIÓN Y DESGASIFICACIÓN DE ACEITE DIELECTRICO UTILIZADO
EN TRANSFORMADORES MEDIANTE EL MÉTODO DE PERCOLACIÓN
DE TIERRA FULLER Y TERMOVACÍO”

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

DAVID ADRIÁN APOLINARIO POZO

ISAAC WLADIMIR MIGUEZ VALLE

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2015

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por estar siempre conmigo, a mi familia y amigos por su apoyo incondicional, y a los profesores de la institución por sus conocimientos impartidos para crecer profesionalmente.

David e Isaac

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres y a mis hermanos que siempre han estado conmigo, juntos hemos compartido grandes momentos de felicidad, y juntos hemos logrado superar cualquier prueba. A mis amigos que han estado siempre presentes a lo largo de mi carrera, por las risas y preocupaciones compartidas. A todas aquellas personas que hicieron posible el desarrollo y culminación de este proyecto.

David Apolinario Pozo

Dedico el presente trabajo de todo corazón a mis padres los cuales fueron mi apoyo, ánimo y compañía en los momentos más. De igual manera quisiera dedicarlo a todas esas personas que han formado parte de mi vida en especial a mi querida Ericka, la que me encantaría agradecer su amistad, apoyo, ánimo, diversión y compañía en cada paso de mi vida.

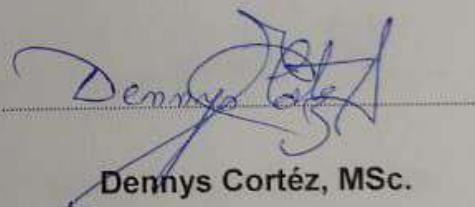
Isaac Míguez Valle

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Wilton Agila, Ph.D.

PROFESOR EVALUADOR




Dennys Cortéz, MSc.

PROFESOR EVALUADOR

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"



David Adrián Apolinario Pozo



Isaac Wladimir Miguez Valle

RESUMEN

En la actualidad los transformadores en aceite forman parte importante en los sistemas de transmisión y distribución eléctrica en el Ecuador; su utilización permite convertir un nivel de tensión, de acuerdo a las necesidades de los usuarios al momento de abastecerlos de energía eléctrica; por esta razón deben poseer un buen funcionamiento y estar en perfecto estado, pero debido al paso del tiempo y su actividad continua, los elementos que lo conforman se deterioran.

Si el transformador presenta problemas debido a su mal estado, puede ocasionar paradas no programadas las cuales, generan grandes pérdidas monetarias no solo por la falta de servicio, sino por el costo que se produce en la reparación de los daños del mismo.

El principal problema que se debe controlar en un transformador; es el deterioro de su aceite dieléctrico; el cual es una sustancia mineral que tiene como función refrigerar los componentes internos, ser un medio aislante eléctrico y proteger de elementos que degeneran el estado de los bobinados del transformador, como la humedad y la presencia de oxígeno; su degradación permite determinar las condiciones de operación y establecer la vida útil del transformador; razón por la cual es de vital importancia llevar un control sobre el estado del aceite y cumplir periódicamente con mantenimientos preventivos de manera adecuada.

A su vez si el aceite dieléctrico del transformador se encuentra en mal estado, se crea la necesidad de sustituirlo; el costo de esta operación dependerá de la cantidad de aceite que contenga el transformador, que para el caso de un transformador de potencia sería muy elevado con relación a su precio original y a su vez todo el material desechado será contaminante para el medio ambiente.

Por lo expuesto, se propone como alternativa más económica el proceso de regeneración y de reacondicionamiento del aceite, el mismo que cumple con el objetivo de recuperar su calidad y garantizar el correcto funcionamiento del transformador.

Para su regeneración se utilizará el filtrado con tierra Fuller, el cual remueve elementos de oxidación, ácidos y coloides, siendo estos absorbidos por medios químicos.

Por otra parte, si el aceite dieléctrico contiene humedad y gases volátiles se realizará un proceso de reacondicionamiento utilizando una cámara de termovacío, que permite separar el aceite de sustancias más volátiles a una temperatura adecuada por medio de la succión.

El presente informe describe una propuesta para la automatización del proceso de regeneración y reacondicionamiento de aceite dieléctrico en transformadores utilizando los procesos descritos anteriormente, reduciendo con ello los riesgos y recursos necesarios para su implementación y ser una base para la automatización de máquinas ya obsoletas.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA.....	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	viii
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Conceptualización del problema.....	1
1.3 Justificación del proyecto.....	2
1.4 Solución propuesta.....	2
1.5 Objetivos.....	3
1.5.1 Objetivos Generales.....	3
1.5.2 Objetivos Específicos.....	3
CAPÍTULO 2.....	4
2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN LA MÁQUINA DE TRATAMIENTO DE ACEITE DIELECTRICO.....	4
2.1 Introducción del proceso.....	4
2.1.1 Entrada del aceite dieléctrico.....	5
2.1.2 Resistencias de calentamiento.....	6
2.1.3 Proceso de percolación con tierra Fuller.....	7
2.1.4 Filtros.....	9
2.1.5 Proceso de termovacío.....	10

2.1.6	Adición del inhibidor	11
2.1.7	Selector 1 y 2	13
2.2	Dimensionamiento del filtro de tierra Fuller	14
2.3	Dimensionamiento de las bombas.....	15
2.3.1	Bomba de succión de entrada.....	15
2.3.2	Bomba de vacío	16
2.3.3	Bomba de succión de salida.....	18
2.4	Dimensionamiento del tanque de vacío	18
2.5	Selección de instrumentos de medición.....	19
2.5.1	Selección de resistencia de calentamiento	19
2.5.2	Válvulas impulsadas	20
2.5.3	Válvulas de control de flujo proporcional.....	21
2.5.4	Sensor de temperatura.....	21
2.5.5	Sensor de presión diferencial SITRANS P250	22
2.5.6	Sensor de nivel LG-250	23
2.5.7	Caudalímetro SITRANS FC430	24
2.5.8	Detector de nivel SITRANS LVL100	24
2.6	Selección del controlador.....	25
2.7	Selección de la interfaz	26
2.8	Selección de protecciones eléctricas	27
CAPITULO 3		32
3.	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DEL ACEITE DIELECTRICO.....	32
3.1	Arquitectura del sistema de control.....	32
3.2	Diseño del HMI	33
3.2.1	Pantalla de inicio	33

3.2.2	Configuración inicial de la planta	33
3.2.3	Vista general de la planta	34
3.2.4	Estado general de la Planta.....	35
3.3	Diseño del programa PLC.....	36
3.3.1	Bloque de programación principal	36
3.3.2	AI_Scale	37
3.3.3	Alarmas.....	38
3.3.4	Prueba de motores	40
3.3.5	Modo manual.....	40
3.3.6	Tanques de tierra Fuller.....	42
3.3.7	CTRL_TEMP	43
3.3.8	Control de nivel.....	44
3.3.9	Modo automático	51
3.4	Manual de funcionamiento del sistema.	53
3.5	Costos de inversión	58
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		61
BIBLIOGRAFÍA		63
ANEXOS		66

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La CNEL EP en la ciudad de Guayaquil cuenta con aproximadamente 60 transformadores de potencia ubicados en 37 subestaciones; además con dos máquinas de regeneración de aceite dieléctrico [1]; Sumando los transformadores de potencia ubicados en las diferentes subestaciones con las que cuentan varias industrias en la ciudad, obtenemos una cantidad considerable de transformadores, cuya paradas no programadas por daños y reparaciones representan una cantidad notable de dinero.

En contraste, las máquinas de regeneración, filtración y degasificación de aceites dieléctricos en transformadores no son muy comunes en nuestro país. De hecho la empresa Britransformadores S.A., empresa especializada en mantenimiento y reparación de transformadores ubicada vía Durán - Tambo, tiene a su disposición máquinas de regeneración de aceite dieléctricos en transformadores, que son solicitadas para este servicio, no solo por empresas de la provincia del Guayas, sino también por empresas de otras provincias.

Por último, no todas las máquinas disponibles están automatizadas, por lo tanto no existe un correcto aprovechamiento de tiempo, recursos y personal, y se ve reducida la confiabilidad y seguridad del proceso de tratamiento del aceite dieléctrico.

1.2 Conceptualización del problema

Existe entonces un escaso número de máquinas disponibles para el tratamiento del aceite en comparación al número de transformadores existentes en el país, entre las cuales no todas están optimizadas en cuanto a instrumentación, control y accionamiento.

Una máquina no automatizada requiere de un operador presente durante su funcionamiento para realizar un control visual de variables como nivel y

temperatura, así como también regular el proceso de forma manual mediante accionamientos de válvulas y botoneras.

El manejo incorrecto del proceso, pueden ocasionar daños en el equipo, pueden existir aumentos de presión en puntos delicados de la máquina, filtraciones o fugas de aceite y además de un acelerado desgaste de los elementos de accionamiento que componen la máquina. También se debe tomar en cuenta los riesgos presentes para el operador encargado del funcionamiento de la máquina.

1.3 Justificación del proyecto

Al existir una gran cantidad de transformadores de potencia en el Ecuador con muchos años de funcionamiento y teniendo en cuenta el crecimiento energético del país, es importante mantener un control periódico del aceite y de ser necesario realizar el mantenimiento correctivo correspondiente.

En cuanto al aceite se podrían presentar dos opciones, la regeneración o la sustitución. El tratamiento del aceite se presenta como una alternativa más económica en comparación a su completa sustitución, sobre todo en transformadores de gran potencia.

Por estas razones se ve la necesidad de incrementar el número de máquinas disponibles para el tratamiento de aceite dieléctrico tanto para su utilización en planta como en campo, así como también poder automatizar e inclusive rediseñar máquinas un tanto obsoletas con el fin de optimizar el proceso y disminuir los riesgos y recursos (tiempo, dinero y mano de obra) necesarios para su utilización.

1.4 Solución propuesta

Con el propósito de disminuir el mal uso de recursos, el presente informe tiene como finalidad presentar una propuesta para la automatización del proceso de regeneración y reacondicionamiento de aceite dieléctrico en transformadores con tierra Fuller y Termovacío.

Para esto como una etapa previa al diseño del sistema, se seleccionara información referente a la tecnología y procedimientos utilizados en el proceso de regeneración y reacondicionamiento; posteriormente se realizara un análisis del proceso del sistema y se determinará las variables que se deben controlar y las

señales que se deben de adquirir, realizando una selección de componentes que se utilizarán.

Por último, se concluirá con la etapa de diseño utilizando un controlador lógico programable (PLC) para la automatización del sistema y un touch panel el cual servirá de interfaz entre el operador y la máquina.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivos Generales

- Mejorar el funcionamiento de una planta de regeneración, filtración y desgasificación de aceite dieléctrico en transformadores, a través de su respectivo diseño de control y automatización.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Descripción de los procesos de regeneración y reacondicionamiento del aceite dieléctrico y los elementos necesarios para su funcionamiento.
- Selección de los elementos de instrumentación, control y accionamiento para la automatización del proceso y el respectivo diseño de control utilizando los programas STEP 7 y Wincc
- Elaborar el presupuesto económico del proyecto y determinar si es viable su implementación.

CAPÍTULO 2

2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN LA MÁQUINA DE TRATAMIENTO DE ACEITE DIELECTRICO

2.1 Introducción del proceso

Se procederá a describir el proceso de tratamiento del aceite a través de los métodos de percolación con tierra Fuller y el tratamiento por termovacío sin tener en consideración la automatización del sistema ya que eso se tratará en una sección posterior; para esto a continuación describiremos el sistema a través de un diagrama de flujo para tener una visión más clara del proceso. En Anexo A contiene información sobre las pruebas físico – químicas más importantes que debe tener el aceite dieléctrico para determinar su estado.

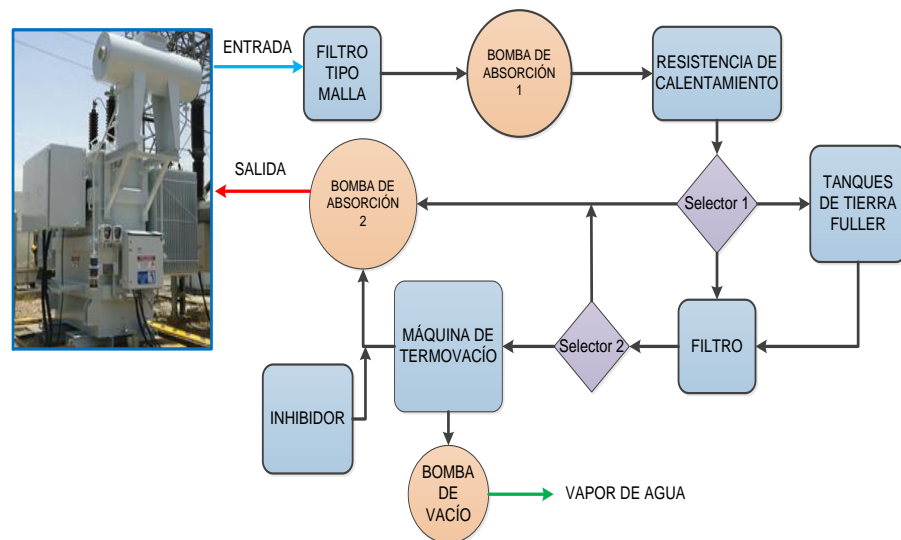


Figura 2.1: Diagrama del Proceso del Tratamiento de Aceite.

2.1.1 Entrada del aceite dieléctrico

Como se observa en la figura 2.1, el proceso inicia a través del acople del sistema al reservorio de aceite a tratar, el cual puede ser un tanque de aceite o un transformador en sitio.

La cantidad de aceite que el sistema puede tratar será descrito en sección posterior, lo cual limitará la utilización de la máquina de acuerdo a la selección de las bombas de alimentación, descarga y de vacío.

A continuación el aceite fluye a través de las tuberías del sistema por medio de la succión de la bomba de entrada, el cual tendrá una capacidad de 9600 Litros/horas; siguiendo el flujo pasa por un filtro de malla tipo Y, el cual atrapa partículas de tamaño mayor que las aberturas de la red interior.

Las válvulas de entrada y salida deben de estar abiertas completamente para que el sistema se llene de aceite y no exista contaminación de aire dentro de las tuberías. El sistema posee un domino el cual transmite la temperatura y humedad de entrada al controlador del sistema.

Además los bloques selector 1 y selector 2 son un sistema de válvulas, donde selector 1 deberá estar seleccionado para ir directamente a la salida del sistema sin pasar por la tierra Fuller o la maquina termovacío y selector 2 deberá de seleccionar el sistema de tierra Fuller para que no haya retornos innecesarios. En la figura 2.2 se muestra un sistema conformado por el filtro de malla, domino (control de temperatura y humedad) y la bomba de succión de entrada.

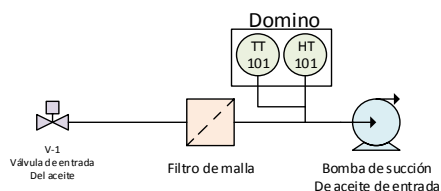


Figura 2.2: Elementos que conforman la entrada del Aceite dieléctrico.

2.1.2 Resistencias de calentamiento

A continuación el flujo de aceite pasara a través de dos calentadores resistivos en serie, los cuales deberán elevar la temperatura entre 70°C y 80°C si se realiza la regeneración con tierra Fuller, ya que esta es la temperatura de punto de anilina de aproximadamente la mayoría de aceites, y en esta temperatura el aceite dieléctrico presenta mayor poder solvente de los productos de oxidación.

Si se realiza el proceso de termovació las resistencias no deberán superar la temperatura de 60°C, debido a que el aceite dieléctrico a temperaturas superiores en unión con el vacío de la cámara de desgasificación puede producir evaporación del mismo o del inhibidor.

Así mismo se tendrá un interruptor de flujo el cual impedirá la activación de los calentadores cuando no exista fluido en su interior, ya que si un medio circulante las resistencias se funden al no tener donde transferir el calor.

Para estas mediciones se utilizará un sensor de temperatura instalado al final de las resistencias, el cual trasmitirá la información al PLC.

En la figura 2.3 se presentan las dos resistencias de calentamiento, una bomba de succión de entrada, un transmisor de temperatura (TT101) y un switch de flujo (FST101).

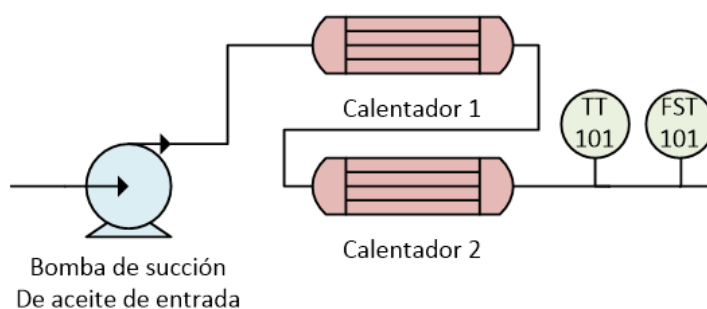


Figura 2.3: Diagrama del bloque de resistencia después del sistema de entrada.

2.1.3 Proceso de percolación con tierra Fuller

Solo si el aceite dieléctrico necesita ser filtrado, se utilizará el sistema con tierra Fuller, caso contrario no será necesario. Para esto, antes de iniciar el proceso se realizará las pruebas al aceite dieléctrico.

Para el proceso utilizaremos tres tanques los cuales tendrán una capacidad de 23 Kilogramos cada uno, entonces si es necesario el proceso, se necesitará rellenarlos con tierra Fuller de acuerdo a la cantidad de aceite que se requiera filtrar antes de iniciar, por lo tanto se utilizará una libra por galón de aceite.

Para facilitar el filtrado se utilizará el método de percolación el cual, el aceite fluye a través de una masa de tierra Fuller por fuerza de gravedad y la presión de la bomba de salida del sistema.

Entonces el aceite deberá fluir por la capa de tierra Fuller a una temperatura entre 70°C y 80°C para mejorar su absorción, además el tamaño del grano deberá de ser entre 40 y 50 micrones para facilitar el flujo y la absorción de contaminantes. [2]

El sistema de tanques que se muestra en la figura 2.4, puede ser operado en paralelo, solo si el aceite no tiene demasiada contaminación y en serie cuando el aceite presenta excesiva degradación por agentes contaminantes y se requiera una máxima utilización de la tierra Fuller. Para esto el operador deberá seleccionar el modo de uso de los tanques de tierra Fuller, lo cual realiza automáticamente el PLC al impulsar la apertura y cierre de las válvulas conectadas al subproceso.

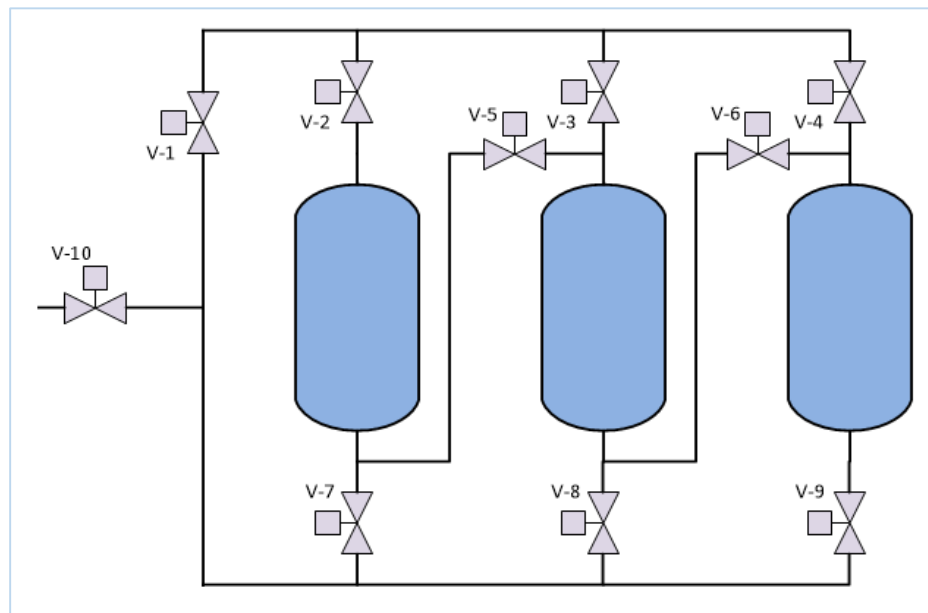


Figura 2.4: Elementos que conforman el proceso por tratamiento con tierra Fuller.

Al observar la figura 3.4 se determina que al momento de seleccionar la operación en paralelo de los tanques de tierra Fuller las válvulas V-2, V-3, V-4, V-8, V-9 y V-7 deberán abrirse, mientras las válvulas V-5 y V-6 deberán permanecer cerradas. Además se debe recordar que si la cantidad de aceite a filtrar amerita se utilizará todos los tanques.

Al estar más de un tanque en contacto con el flujo principal de aceite, tienden a saturarse por igual lo que conlleva al cambio directo de tierra Fuller de cada uno de los tanques.

En cambio si determina selección la operación en serie de los tanques de tierra Fuller, solo V-2, V-5, V-6 y V-9 deberán abrirse para dejar pasar el flujo de aceite y las demás válvulas deberán de cerrarse.

Por estar el primer tanque en contacto directo con el aceite más contaminado, siempre quedara saturado antes que los demás tanques.

Por esta razón el controlador (PLC) deberá cerrar las válvulas del primer tanque y dejar fluir el aceite por los otros dos, los cuales estarán menos contaminados y así poder mejorar la calidad del aceite.

Además el operador deberá cambiar la Tierra Fuller del primer tanque, e indicar al sistema para que nuevamente pueda volver a utilizarlo cuando el segundo tanque quede saturado, ya que el último tanque no podrá trabajar solo.

Para establecer la saturación de la tierra Fuller se debe tomar muestras a la entrada del flujo principal y a la salida del último tanque; si la tensión interfacial es igual, se deberá cambiar la tierra del primero ya que es el más afectado.

También se tiene una válvula de alivio V-10 si en algún momento la presión de las tuberías sobrepasa los 10 BAR.

Por último el tratamiento con tierra Fuller deberá terminar cuando la tensión interfacial sea mayor a 35 din/cm, el cual es un valor aceptable de acuerdo a la norma ASTM D-1971 [3]. (Para más información véase Anexo A).

Al final los tanques de tierra Fuller absorberán un 5 % del contenido total del aceite en el reservorio, por lo que será necesario completarlo.

La velocidad de tratamiento con tierra Fuller deberá ser menor a la de la máquina de termovacío, ya que si existe un flujo muy elevado el aceite pasa muy rápido por los tanques y no se conseguirá la absorción de los elementos degenerativos en el aceite. Por esta razón en las condiciones necesarios de ambos tratamientos se reducirá a 4600 litros/ hora la capacidad del sistema disminuyendo la apertura de la válvula de entrada controlada por el PLC.

2.1.4 Filtros

El paso del flujo de aceite por los filtros se deberá realizarlo después del tratamiento con tierra Fuller o antes de pasar por la cámara de vacío ya

que debe de eliminar las impurezas y absorber la humedad inicial que pueda poseer el aceite.

Para esto se utilizará un filtro de 0,5 micrones y los calentadores del bloque anterior para establecer mejores propiedades del aceite.

Además el sistema contará con dos filtros en paralelo, pero solo uno de ellos trabajara en conjunto con el flujo de aceite hasta que se sature. Para determinar esta situación se instalara un trasmisor de presión diferencial entra la entrada y salida de los filtros; la diferencia de presión no deberá superar los 15 PSI, caso contrario se abrirán las válvulas del segundo filtro y después de que baje la presión diferencial a menos de 5 PSI se procederá a cerrar las válvulas del primer filtro para su cambio. En la figura 2.5 se presentan los elementos que conforman el sistema de filtro, donde PDT102 representa al sensor de presión diferencial y V11, V12, V13, V14, V18 representan a las válvulas de cambio de flujo.

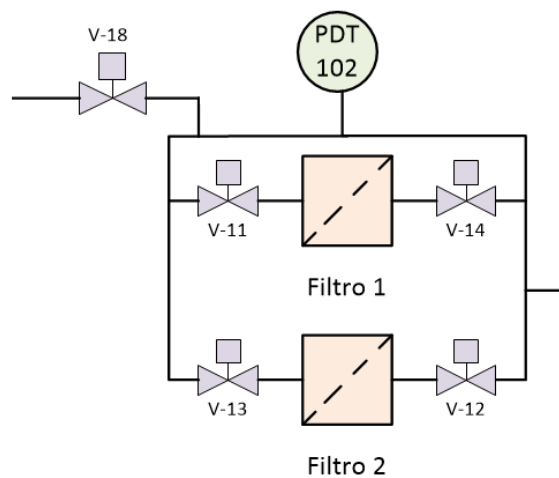


Figura 2.5: Elementos que conforman el Sistema de filtro.

2.1.5 Proceso de termovacío

El proceso de termovacío mejora la rigidez dieléctrica disminuyendo la humedad a través de la cámara de vacío. Aunque este valor sea normal, se debe realizar el proceso para desgasificar y filtrar el aceite dieléctrico.

Una vez el flujo de aceite salga por el filtro, ingresa por cuatro aberturas las cuales sirven para pulverizar el aceite, con el fin de facilitar el proceso de desgasificación a través de la succión de la bomba de vacío; una vez dentro el aceite pulverizado cae a una bandeja que homogeniza el aceite tratado, en esta primera etapa aún no se enciende la bomba de vacío, hasta que el aceite alcance un nivel de 30 cm con la bomba de salida encendida.

Una vez pase esto se activara la bomba de vacío para que comience el proceso de desgasificación del aceite, procurando que el nivel superior no sobrepase un metro, ya que puede crearse demasiada espuma y absorberla la bomba.

Para esto el controlador (PLC) deberá regular las válvulas de entrada y salida de la cámara con el fin de mantener un nivel adecuado de aceite dentro de ella, para esto se utilizará válvulas de apertura regulables, un sensor de nivel, sensor de presión y un control PI a fin de mantener dicho nivel, el cual será tratado posteriormente.

Para esto si el nivel de aceite sube se deberá abrir cierto grado la válvula de salida, y si el nivel baja se debe cerrar cierto grado la válvula de salida

Es necesario que la bomba de descarga tenga la capacidad suficiente para romper el vacío dentro de la cámara, ya que caso contrario todo el aceite será absorbido por la bomba de vacío.

Por último se medirá la temperatura de salida para comprobar si existe una disminución de ella, así aumentar el tiempo de encendido de los calentadores. [4]

2.1.6 Adición del inhibidor

La inyección del inhibidor deberá ser realizado en el último proceso del tratamiento, ya que puede ser absorbido por los diferentes filtros que se utiliza.

Para nuestro caso se instalara un tanque de 17 galones que tendrá acoplado una válvula impulsada la cual solo abrirá una vez los parámetros del aceite sean los recomendados.

La ecuación 2.1 permite calcular la cantidad de inhibidor que debe ser inyectado.

$$\text{Peso de inhibidor Kg} = \text{peso total del aceite Kg} \times \frac{0,3}{100} \quad (2.1)$$

En el caso de que solo se necesite el tratamiento por termovació, sin la necesidad de tierra Fuller la cantidad que debe de incluir el aceite estará dada por la ecuación 2.2:

$$\text{Peso de inhibidor Kg} = \text{peso total del aceite Kg} \times \frac{0,15}{100} \quad (2.2)$$

La relación establece que la cantidad de inhibidor debe ser el 0,15% del volumen total de aceite del transformador más lo que se encuentra en la cámara.

El inhibidor debe ser mezclado con aceite para poder ser inyectado dentro del flujo principal, ya que su presentación es en polvo, para esto es necesario que la temperatura del aceite sea aproximadamente cincuenta y cinco grados centígrados.

Una vez ingresado el inhibidor se debe apagar la bomba de vacío y dejar veinte centímetros de aceite dentro de la cámara ya que nos facilitara su uso para un nuevo tratamiento.

A continuación se apaga los calentadores para que la temperatura del aceite alcance los 40°C y sea purgado de la máquina, apagando las bombas y cerrando la válvula de entrada y salida.

Una vez terminado el tratamiento se debe reposar el aceite dentro del transformador y purgarlo si tiene algún accesorio.

Por último se debe efectuar las pruebas finales para considerar satisfactorio el tratamiento realizado al aceite dieléctrico.

En la figura 2.6 se muestra el sistema de termovacío y la aplicación del inhibidor.

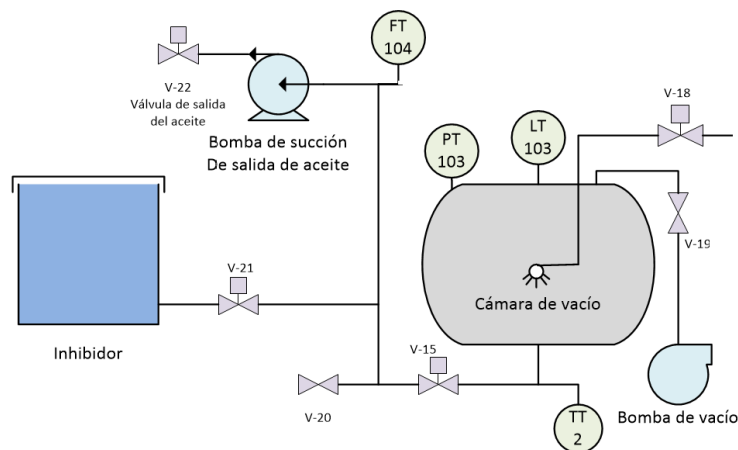


Figura 2.6: Sistema de Termovacío.

Donde:

PT103: Representa al sensor de presión

LT103: Representa al transmisor de nivel

TT2: Transmisor de presión

FT104: Transmisor de flujo

2.1.7 Selector 1 y 2

Los selectores son un conjunto de válvulas que escogen el camino del flujo de aceite dentro del sistema.

Selector 1, comprende las válvulas de entrada y salida del proceso de tierra Fuller, las cuales evitan que pase a través de este; también la válvula V-1 la cual es un camino directo a la salida del sistema, que solo se abrirá cuando este en proceso de calentamiento el aceite dieléctrico, sin pasar por el tratamiento de tierra Fuller; y por ultimo las dos válvulas antes del filtro la cual es el medio de entrada al tratamiento por termovacío.

Selector 2, determina el camino después de pasar por el filtro; por lo tanto si el flujo de aceite sale del proceso con tierra Fuller sin pasar por la cámara

de termovació la válvula V-10 se abrirá y la V-17 deberá permanecer cerrada para que haya flujo a la salida del sistema. En cambio sí se requiere el tratamiento a través de la cámara de vacío, se cerrara la válvula V-10 y se abrirá la V-17.

2.2 Dimensionamiento del filtro de tierra Fuller

Se debe tener en cuenta que la tierra Fuller se clasifica en: 50/80 MESH, 36/60 MESH y 15/30 MESH en gránulos y 100/200 MESH en polvo; por lo tanto para la elección de la tierra Fuller, se deberá definir el tamaño de la partícula que se debe utilizar.

Estos productos se pueden conseguir en fundas de más de 50 libras con aislante de humedad, ya que si se expone a la tierra Fuller al ambiente, esta absorberá un 26% de su peso en agua. Por otra parte, para secar la tierra Fuller se necesitan temperaturas muy altas.

En Ecuador la empresa PETROEQUIPOS S.A. ofrece sus servicios en la venta de filtros de tierra Fuller de la marca ULTRACLEAR; la cual ofrece las siguientes propuestas de tierra Fuller (Ver tabla 1):

PROPIEDADES TÍPICAS			
PROPIEDADES	8/16	16/30	30/60
Densidad Lbs/ ft³	31	32	32
Perdida en ignición wt%	4,6	4,6	4,6
Ph	6,7	6,7	6,7
Dureza	76,0	71,7	78,2
Partículas millón/Lbs	0,4	1,6	8,8

Tabla 1: Propiedades Típicas de Tierra Fuller según La marca Ultraclear. [5]

La marca ULTRACLEAR ofrece un producto de calidad, con un amplio medio absorbente que elimina toda clase de compuestos polares, compuestos solubles, compuestos organometálicos y partículas que podrían en peligro el estado del aceite, así asegurar la limpieza del aceite y su calidad utilizando arcilla atapulgita, la cual es la mejor tierra en el proceso de filtrado para aceites dieléctricos [5].

Para nuestro caso utilizaremos una tierra de 30/60 MESH la cual es la más fina que las demás y por consecuencia la que mayor absorción presenta. Además se la puede conseguir en filtros tipo cartucho para un cambio rápido y libre de complicaciones.

2.3 Dimensionamiento de las bombas

El Sistema presenta una bomba de succión en la entrada, una bomba en la salida y por último la bomba de vacío, las cuales deben tener la potencia necesaria para dejar fluir 9600 Litros/horas.

Para esto analizaremos el dimensionamiento de cada una de ellas, a fin de identificar los parámetros adecuados a utilizar en nuestro sistema.

2.3.1 Bomba de succión de entrada

La bomba de entrada deberá presentar las siguientes características:

- Presión máxima: 10 BAR
- Caudal : 9600 L/Horas
- Alimentación: 230 V

Para determinar la potencia que debe de tener la bomba se utilizará la ecuación de Bernoulli (ver ecuación 2.3) para determinar la presión que se ejerce en el flujo del aceite dentro del sistema, por lo cual se tiene la siguiente ecuación:

$$Presión_{Bomba} = g * densidad \text{ Fluido} * variación \text{ de altura} \quad (2.3)$$

Donde la densidad del aceite será de 853 Kg/m³, también estableceremos la altura desde la válvula del contenedor de aceite hasta la boquilla del sistema es de 0,5m que por lo general se encontrara en su utilización; por lo tanto tenemos que:

$$Presión/Bomba = 9,8 * 853 * 0,5$$

$$Presión/Bomba = 4179,7 Pa$$

Para determinar la potencia que debe de tener la bomba se determinara con la ecuación 2.4:

$$Potencia/Bomba = Presión/Bomba * Caudal \quad (2.4)$$

Donde tenemos que

$$Potencia/Bomba = 4179,7 * 853$$

$$Potencia/Bomba = 1095,91 W$$

Por lo tanto necesitaremos una bomba con potencia de 1,4 HP, pero como existe bomba con dicha potencia se escogerá la de 1,5 HP. Para esto seleccionaremos una bomba centrífuga de superficie de monoetapa, distribuido por la empresa ACERO COMERCIAL ECUATORIANO S.A, la cual ofrece las siguientes características, ver tabla 2.


	Velocidad de giro [RPM]	700
	Caudal de desplazamiento [L/hora]	9600
	Factor de servicio	1,15
	Alimentación [V]	220/440
	Potencia del motor [HP]	1,5

Tabla 2: Características de la Bomba de Vacío. [6]

2.3.2 Bomba de vacío

Para determinar la capacidad de la bomba que se utilizará en el Sistema, se debe considerar la siguiente información:

- Volumen de desplazamiento mayor o igual a 5654,867 cm³
- Numero de válvulas: 2 válvulas
- Presión de vacío mínima exigida por el sistema: 3 BAR
- Presión máxima en la cámara de vacío: 10 BAR

La presión mínima y máxima la cual deberá tener la cámara se debe convertir a valores absolutos de pulg. Hg.:

$$P1 = (-29.93 + 88,59)\text{pulgHg} * \left(\frac{760 \text{ Torr}}{29,93 \text{ pulgHg}}\right)$$

$$P1 = 6738,43 \text{ pulgHg}$$

$$P2 = (-29.93 + 295,3)\text{pulgHg} * \left(\frac{760 \text{ Torr}}{29,93 \text{ pulgHg}}\right)$$

$$P2 = 1489,52 \text{ pulgHg}$$

Se asumirá la presión del tanque constante cada dos segundos, para esto se utilizará la ecuación 2.5, para determinar la capacidad de la bomba:

$$\text{Cap. bomba} = \frac{V}{T} \ln\left(\frac{P_m}{P_t}\right) \quad (2.5)$$

Donde:

Cap. bomba = Capacidad de la bomba [CFM]

V= Volumen desplazado [pies³]

Pm= Presión máxima de vacío [pulg.Hg]

Pt= Presión de trabajo dentro de la cámara [pulg.Hg]

T = tiempo de vacío constante [minutos]

Entonces:

$$\text{Cap bomba} = \frac{0,199}{0,0334} \ln\left(\frac{6738,43}{1489,52}\right)$$

$$\text{Cap bomba} = 9,024 \text{ CFM}$$

Ya que son dos válvulas conectadas a la cámara tenemos que

$$\text{Cap bomba} = 18,049 \text{ CFM}$$

Para nuestro proyecto utilizaremos una DuoSeal 1397 de la marca WELCH la cual tiene las siguientes características:

	Velocidad de giro [RPM]	400
	Caudal de desplazamiento [CFM]	17,7
	Presión máxima [Torr]	0,00013
	Alimentación [V]	230
	Potencia del motor [HP]	1

Tabla 3: Características de la bomba de vacío DuoSeal 1397. [7]

Esta bomba de vacío posee un gran depósito de aceite para diluir los contaminantes. Además con la velocidad baja reduce la fricción y el desgaste de sus rodamientos y así evitar elevar la temperatura del motor con el uso continuo.

2.3.3 Bomba de succión de salida

La bomba de salida puede tener la misma característica que la bomba de succión de entrada de la máquina, ya que tiene la propiedad de poseer mayor capacidad de succión comparada con la bomba de vacío seleccionada. Por esta razón utilizaremos una bomba de 1,5 HP de la misma marca que la bomba de entrada.

2.4 Dimensionamiento del tanque de vacío

El tanque de vacío tendrá forma cilíndrica con 1,41 metros de altura y 0,6 metros de diámetro, el cual estará construido con acero de cinco milímetros de espesor, utilizando dos mirillas, una en la parte inferior y la otra en la parte superior para que el operador pueda visualizar el nivel del aceite dentro de la cámara.

La entrada del aceite está conectada a una tubería en la parte central del tanque para la inyección del aceite dentro de él, además cuenta con una válvula de control de flujo.

La salida se encuentra en la parte inferior conectado a una válvula de control de flujo proporcional la cual regulará la salida del aceite.

Por último la bomba de vacío se conectará por la parte superior del tanque la cual tendrá una válvula de control de flujo.

2.5 Selección de instrumentos de medición

Los componentes a seleccionar en nuestro diseño serán aquellos que se puedan controlar de forma automática y que reúnan los siguientes parámetros:

- Diámetro de las válvulas: 1 pul.
- Rango de Presión máxima a operar: 145 PSI
- Rango de temperatura: -20 a +150 °C
- Caudal de Trabajo: 9600 L/H

Todos estos valores fueron obtenidos en base a los requerimientos de operación de los equipos de regeneración - tratamiento de aceite y la tabla de propiedades del aceite, como consecuencia de aquello a continuación se describen los diferentes instrumentos que fueron seleccionados conforme a los parámetros enlistados anteriormente.

2.5.1 Selección de resistencia de calentamiento

Para nuestro caso, las resistencias de calentamiento deben ser de inmersión con las características necesarias para su utilización con aceite dieléctrico, por lo cual debe ser construido de un material antioxidante.

Por estas razones se escogerá la resistencia de marca OMEGA, producida en Ecuador. Las características que ofrece este tipo de resistencia se muestran en la tabla 4.

	Características	Especificaciones
	Modelo	EL-11300
	Longitud	80 cm
	Alimentación	230 VAC
	Potencia	2000 W
	Fabricación	Acero inoxidable AISI 313

Tabla 4: Características de la Resistencia de calentamiento. [8]

2.5.2 Válvulas impulsadas

Instrumento diseñado para operar a altas velocidades de flujo con baja pérdida de presión. El principal aspecto a considerar en la selección de este componente fue el sistema de control que va accionar sobre esta bobina de apertura/cierre, el cual opera a 220 VAC; además que se ajusta al tamaño de tubería en nuestra máquina, el cual es de 1 pulgada y soporta una presión de máximo 150 PSI. En la tabla 5 se detalla las especificaciones técnicas a considerar de este componente.


	Características	Especificaciones
	Modelo	ASCO REDHAT 8210G054
	Tipo	2 vías
	Diámetro	1 pulgada
	Presión	150 PSI
	Alimentación	220 VAC
	Consumo individual	16.1 W

Tabla 5: Características de la Válvula impulsada. [9]

2.5.3 Válvulas de control de flujo proporcional

Instrumento diseñado para operar a altas velocidades de flujo con baja pérdida de presión. El principal aspecto a considerar en la selección de este componente fue el sistema de control que va accionar sobre esta bobina de apertura/cierre, el cual opera de 4 a 20 mA cerrando proporcionalmente la abertura del flujo del 0 al 100 %; además que se ajusta al tamaño de tubería en nuestra máquina, el cual es de 1 pulgada y soporta una presión de máximo 10 BAR. En la tabla 6 se detalla las especificaciones técnicas a considerar de este componente.

	Características	Especificaciones
	Modelo	SD8202G077V
	Tipo	2 vías
	Diámetro	1 pulgada
	Presión	10 BAR – 150 PSI
	Alimentación	4-20 mA
	Consumo individual	22.1 W

Tabla 6: Características de la Válvula proporcional. [10]

2.5.4 Sensor de temperatura

El sensor de temperatura que más se ajusta al proceso es el SITRANS TS300; Éste ofrece una ventaja superior ante los demás, ya que es adaptable a diámetros de tubos pequeños. El tipo de sensor usado es el PT100 con conexión a 4 hilos, el cual mediante el transmisor para montaje en cabezal SITRANS TH100 produce una señal de 4-20 mA de acuerdo a la temperatura medida. Otra de las características a considerar para la selección de éstos componentes se los detalla en la tabla 7 y 8.


	Características	Especificaciones
	Modelo:	Sitrans TS300
	Referencia:	7MC8005-5AA10-1BH0
	Tipo:	1xPT100 4 hilos
	Rango de Temperatura:	-50 a +400 °C

Tabla 7: Características del Sensor de Temperatura SITRANS TS300. [11]

	Características	Especificaciones
	Modelo:	Sitrans TH100
	Referencia:	7NG3211-0NN00
	Rango de Temperatura medida:	-200 a +850 °C
	Salida:	4 a 20 mA
	Alimentación:	hasta 30 VDC

Tabla 8: Características del transmisor de Temperatura SITRANS TH100. [12]

2.5.5 Sensor de presión diferencial SITRANS P250

El SITRANS P250 es un transmisor que ofrece varios rangos que son utilizados para medir la presión diferencial, al realizar la medición de esta variable esta se transforma en una señal de 4-20 mA, valor que se puede conectar al sistema de control, otra de las características a considerar para la selección de éste componente se lo muestra en la tabla 9.

	Características	Especificaciones
	Modelo:	Sitrans P250
	Referencia:	7MF1641-3BD00-1AA0
	Tipo:	celda de medición piezo-resistiva
	Rango de Presión:	0 a 1.6 bar (0 a 23.2 psi) ó 0 a 2.5 bar (0 a 36.3 psi)
	Salida:	4 a 20 mA
	Alimentación:	hasta 30 Vdc

Tabla 9: Sensor de Presión Diferencial SITRANS P250. [13]

2.5.6 Sensor de nivel LG-250

Este modelo se caracteriza por ser un tipo de transmisor radar de onda guiada, el cual es ideal para la medición del volumen de líquidos y sólidos. Es adecuado para tanques de almacenamiento, separación de sustancias o en aplicaciones varias, otras de las características a considerar para la selección de éste componente se lo muestra en la tabla 10.

	Características	Especificaciones
	Modelo	Sitrans LG-250
	Tipo	Transmisor de nivel por microondas guiadas
	Rango de Nivel	Configurable
	Salida	4 a 20 mA
	Alimentación	hasta 30 Vdc

Tabla 10: Sensor de Nivel LG-250. [14]

2.5.7 Caudalímetro SITRANS FC430

Este sensor presenta una serie de características como su elevada precisión del 0.1% y su reducida pérdida de precisión. Además es uno de los primeros caudalímetros con efecto coriolis, por lo que ofrece seguridad y fiabilidad en nuestro sistema. Otras de las características a considerar para la selección de éste componente se muestran en la tabla 11.


	Características	Especificaciones
	Modelo	Sitrans FC 430
	Tipo	Efecto Coriolis
	Rango	11500 Kg/h
	Salida	4 a 20 a
	Alimentación	hasta 30 Vdc

Tabla 11: Caudalímetro SITRANS FC430. [15]

2.5.8 Detector de nivel SITRANS LVL100

Este sensor es de tipo electromecánico se eligió por encima de los detectores capacitivos, de paleta rotativos y ultrasónicos debido a su gama de aplicación. Este tipo de sensor va a determinar en nuestro diseño si los calentadores se encuentran llenos y así empezar el pre-tratamiento del aceite. Otras de las características a considerar para la selección de éste componente se lo detallan en la tabla 12.


	Características	Especificaciones
	Modelo:	SITRANS LVL100
	Referencia:	7ML5745-1BA02-1AA0
	Tipo:	Electromecánico
	Salida:	Transistorizada PNP 10 a 35 VDC
	Alimentación:	20-253 VDC

Tabla 12: Detector de Nivel SITRANS LV100. [16]

Todos estos instrumentos serán controlados mediante el PLC S7-1200, el cual tendrá entradas y salidas analógicas/digitales. Para la visualización del sistema se escoge SIMATIC HMI BASIC PANEL 2da generación, el diseño del controlador con su interfaz se mostrará en el capítulo posterior.

2.6 Selección del controlador

Para determinar el controlador a usar, se analizaron el número de variables digitales/analógicas que intervienen en el proceso; además debemos utilizar un elemento que este a la vanguardia de la tecnología, nos brinde mayor rapidez de respuesta y tenga un valor moderado; por lo antes expuesto, se escogerá el PLC S7 1200, a pesar que no posee salidas analógicas, se puede adicionar módulos para dicha función.

En la figura 3.5 se puede observar en detalle el número de entradas y salidas analógicas a utilizar en el PLC (con módulos incluidos), así como también el número de variables a requerir para el diseño del sistema de control de la planta de tratamiento de aceite.

Otro de los aspectos a considerar fue el costo económico y sus diferentes funciones. En la figura 2.7 se muestra el PLC S7-1200.



PLC	S7-1200
CPU	1214C
Versión	AC/DC/Relé
DI	14 a 24VDC
DO	10 Tipo relé
AI	2 (voltaje)
AO	Ninguna
Capacidad de Ampliación.	
Signal Board	1
De señal	8
De comunicación	3

Figura 2.7: Características del PLC S71200. [17]

Los módulos de expansión seleccionados fueron los siguientes:

- DQ16 x relay – 6ES7222-1HH32-0XB
- AI8 x 13BIT – 6ES7 231-4HF32-0XB0
- AQ4 x 14BIT– 6ES7 232-4HD32-0XB0

Estos módulos fueron elegidos por satisfacer el número de variables requeridos ver tabla 13, dejando un margen disponible en caso de futuros eventos en que se los necesite.

	DI	DO	AI	AO
Numero de variables requeridas	4	22	7	1
Capacidad de PLC + módulos	14	26	8	4

Tabla 13: Total de variables a controlar por el PLC S71200

En la figura 2.8 se muestra al PLC s7-1200 con sus módulos de expansión descritos anteriormente, es una imagen tomada del software de configuración.

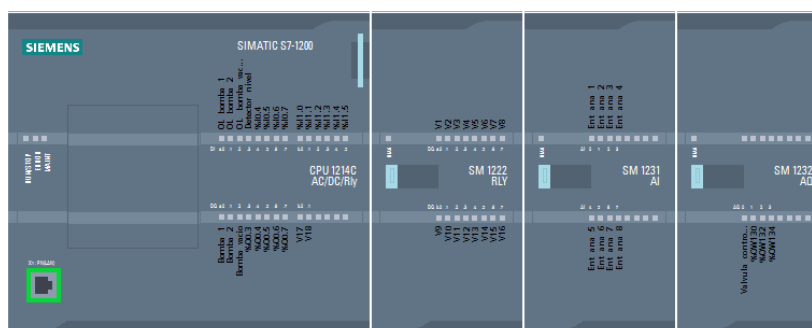


Figura 2.8: Módulos de Expansión del PLC S71200. [17]

2.7 Selección de la interfaz

Para la selección de la interfaz se tomó en cuenta dos aspectos, comodidad y precio. Entre los catálogos de un distribuidor autorizado Siemens, existen dos HMI con un tamaño de pantalla y precio accesible, el SIMATIC BASIC PANEL KTP600, y el SIMATIC BASIC PANEL de segunda generación KTP700, siendo el de mejor características el segundo mencionado. El KTP700 cuenta con una

pantalla de 7 pulgadas TFT de 64k colores, una resolución de 800x480 px, Pantalla Touch y 8 teclas funcionales.

Se ha dispuesto entonces como interfaz de usuario y visualización del estado del sistema de control, SIMATIC HMI BASIC PANEL segunda generación, Modelo KTP700 Basic PN, Referencia 6AV2123-2GB03-0AX0

En la figura 2.9 se muestra el HMI seleccionado de la marca SIEMENS.

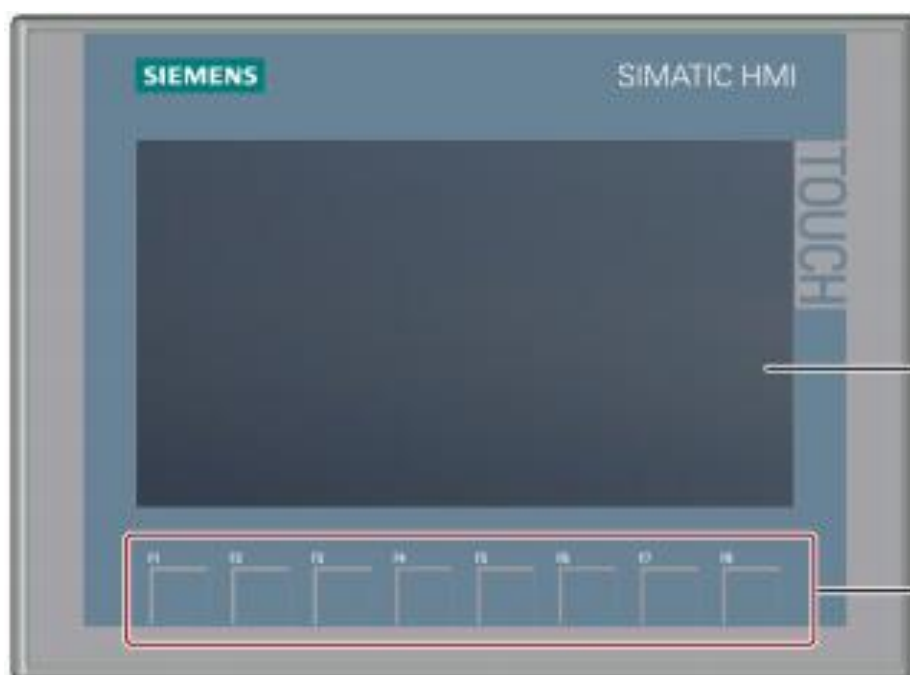


Figura 2.9: HMI SIEMENS KTP700. [17]

2.8 Selección de protecciones eléctricas

Para el funcionamiento de la planta se requiere una alimentación trifásica de 220 voltios, el cual debe ser obtenido de un transformador de alimentación.

En el sistema eléctrico tenemos tres motores, dos resistencias y todo el sistema de control de la planta, por lo cual es necesario determinar las protecciones de cada una de estas partes.

Cada uno de los motores necesita un breaker de alimentación de ramal, contactor para accionamiento a través del PLC, y su respectiva protección térmica, los cuales deben ser dimensionados de acuerdo a la capacidad de cada una de las

bombas presentes en la planta. Para esto utilizaremos la tabla 430.250 del código nacional eléctrico NEC para determinar la corriente nominal de los motores de la planta y con esto que relé de sobrecarga corresponde a cada uno como se muestra en la figura 2.10, la tabla 430.52 para el cálculo del breaker de cada ramal como se muestra en la figura 2.11, y el contactor a través de recomendaciones del fabricante según el catalogo vigente en el distribuidor autorizado de SIEMENS, JNG del Ecuador.

Table 430.250 Full-Load Current, Three-Phase Alternating-Current Motors
 The following values of full-load currents are typical for motors running at speeds usual for belted motors and motors with normal torque characteristics.
 The voltages listed are rated motor voltages. The currents listed shall be permitted for system voltage ranges of 110 to 120, 220 to 240, 440 to 480, and 550 to 600 volts.

Horsepower	Induction-Type Squirrel Cage and Wound Rotor (Amperes)							Synchronous-Type Unity Power Factor* (Amperes)			
	115 Volts	200 Volts	208 Volts	230 Volts	460 Volts	575 Volts	2300 Volts	230 Volts	460 Volts	575 Volts	2300 Volts
½	4.4	2.5	2.4	2.2	1.1	0.9	—	—	—	—	—
¾	6.4	3.7	3.5	3.2	1.6	1.3	—	—	—	—	—
1	8.4	4.8	4.6	4.2	2.1	1.7	—	—	—	—	—
1½	12.0	6.9	6.6	6.0	3.0	2.4	—	—	—	—	—
2	13.6	7.8	7.5	6.8	3.4	2.7	—	—	—	—	—
3	—	11.0	10.6	9.6	4.8	3.9	—	—	—	—	—
5	—	17.5	16.7	15.2	7.6	6.1	—	—	—	—	—
7½	—	25.3	24.2	22	11	9	—	—	—	—	—
10	—	32.2	30.8	28	14	11	—	—	—	—	—
15	—	48.3	46.2	42	21	17	—	—	—	—	—
20	—	62.1	59.4	54	27	22	—	—	—	—	—
25	—	78.2	74.8	68	34	27	—	53	26	21	—
30	—	92	88	80	40	32	—	63	32	26	—
40	—	120	114	104	52	41	—	83	41	33	—
50	—	150	143	130	65	52	—	104	52	42	—
60	—	177	169	154	77	62	16	123	61	49	12
75	—	221	211	192	96	77	20	155	78	62	15
100	—	285	273	248	124	99	26	202	101	81	20
125	—	359	343	312	156	125	31	253	126	101	25
150	—	414	396	360	180	144	37	302	151	121	30
200	—	552	528	480	240	192	49	400	201	161	40
250	—	—	—	—	302	242	60	—	—	—	—
300	—	—	—	—	361	289	72	—	—	—	—
350	—	—	—	—	414	336	83	—	—	—	—
400	—	—	—	—	477	382	95	—	—	—	—
450	—	—	—	—	515	412	103	—	—	—	—
500	—	—	—	—	590	472	118	—	—	—	—

*For 90 and 80 percent power factor, the figures shall be multiplied by 1.1 and 1.25, respectively.

Figura 2.10: Tabla ilustrada del NEC de corrientes de motores AC. [18]

Type of Motor	Percentage of Full-Load Current			
	Nontime Delay Fuse ¹	Dual Element (Time-Delay) Fuse ¹	Instantaneous Trip Breaker	Inverse Time Breaker ²
Single-phase motors	300	175	800	250
AC polyphase motors other than wound-rotor	300	175	800	250
Squirrel cage — other than Design B energy-efficient	300	175	800	250
Design B energy-efficient	300	175	1100	250
Synchronous ³	300	175	800	250
Wound rotor	150	150	800	150
Direct current (constant voltage)	150	150	250	150

Figura 2.11: Tabla ilustrada del NEC para cálculo de protecciones de cortocircuito de ramales de motores. [18]

En las tablas 14 y 15 se detallan los cálculos de protecciones de los motores.

Motor	In (NEC 430.250)	Breaker (NEC 430.250)	Contactora Tipo AC3 (fabr.)	Relé térmico In*1,25
1.5 HP	6 A	16A 3P	2 HP a 220 VAC	7,5
1 HP	4,2 A	10A 3P	2 HP a 220 VAC	5,25

Tabla 14: Cálculo de protecciones de los motores.

Motor	Breaker	Contactador	Relé térmico
1.5 HP	5SX1316-7	3RT2015-1AP01	3RU2116-1HB0
1 HP	5SX1310-7	3RT2015-1AP01	3RU2116-1GB0

Tabla 15: Cálculo de protecciones de los motores

Si analizamos el sistema de control, el PLC funciona a 220 VAC y al ser su consumo mínimo su protección será de una baja capacidad, Los instrumentos de medición, el panel KTP700 funcionan con una fuente de 24 VDC, además para protección del módulo de expansión de accionamiento de las válvulas, se utilizarán relés de interfaz 3TX7002-1BB00 que también serán alimentados con 24 VDC.

El consumo del PLC y sus módulos de expansión se pueden encontrar en el manual de sistema del S7 1200 [17]. El consumo del panel KTP700 también se pueden encontrar en su manual de instalación. [20]

Sobre el consumo de los transmisores en pocos se especifica, aunque de igual forma se ha hecho un supuesto del consumo total de estos, y se seleccionó una fuente de SITOP de 24 VDC y 5A, y se asignó las siguientes protecciones que se muestran en la tabla 15.

Módulos del PLC	1A – 2 Polos	5sx1201-7
Panel KTP700	1A – 2 Polos	5sx1201-7
Sistemas de medición	2A – 1 Polo	5sx1102-7
Alimentación de relés de interfaz	2A – 1 Polo	5sx1102-7
Fuente 24VDC 5A	4A – 2Polo	5sx1204-7

Tabla 16: Cálculo de protecciones de los motores.

Para las resistencias se escogerá un breaker marca SIEMENS de tres polos modelo 5SX1 302-7 de 10 A y un contactor marca SIEMENS de tres polos modelo 3RT2015-1AP01 clase AC1 por ser una carga poco inductiva.

Por último, considerando las cargas totales que se encuentran en la máquina, se utilizará un breaker principal de 3 polos y de 50 a 63 Amperios modelo 3VT1706-2DC36-0AA0.

Los diagramas eléctricos del sistema se adjuntan en el Anexo C.

CAPITULO 3

3. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DEL ACEITE DIELECTRICO.

3.1 Arquitectura del sistema de control

El Sistema de control propuesto consta de los elementos de medición anteriormente descritos, un controlador, una interfaz de parametrización y visualización, y los elementos de accionamiento, conectados entre sí a través de valores estándares de voltaje y corriente. En la figura 3.1 se muestra la arquitectura del control de la planta.

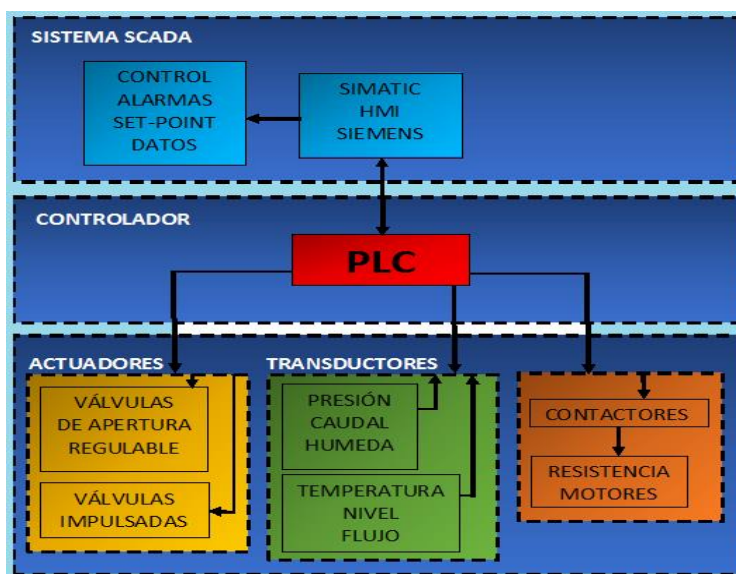


Figura 3.1: Arquitectura del Sistema de Control de la Planta.

Para la programación del PLC s7-1200 y del HMI KTP700 de Siemens se utilizará el software TIA PORTAL V13 + SP1, este software soporta ambos dispositivos. Permite también integrar los módulos de expansión del PLC y configurar las posibles conexiones de red entre controlador, HMI y variadores de frecuencia que se requieran dentro del proyecto a realizar.

3.2 Diseño del HMI

Es importante que el diseño de la interfaz hombre-máquina sea comprensible, provea una información adecuada del sistema (en algunos casos se requiere información en tiempo real), y permita al usuario u operador tener control de parámetros importantes de la máquina. Basado en esto diseñamos una interfaz con cuatro imágenes, sin hacer uso de representaciones tridimensionales ni movimientos de traslación o rotativos, este tipo de animaciones retrasarían la transmisión de datos y ocuparía importante espacio en la memoria de trabajo.

3.2.1 Pantalla de inicio

Esta imagen es de presentación, contiene un título general de lo que realiza el sistema.

En la figura 3.2 se puede observar la presentación del proyecto al operador.



Figura 3.2: Pantalla de inicio.

3.2.2 Configuración inicial de la planta

Esta imagen permite al operador tres puntos importantes:

- Ingresar parámetros de suma importancia para el proceso como son temperatura deseada del aceite a la salida de los calentadores, el nivel

deseado en el tanque de vacío, parámetros de detención del proceso (nivel de humedad aceptable o funcionamiento temporizado).

- Elegir el modo de operación de la planta, más pulsador de inicio y fin de proceso.
- Realizar prueba de giro para las bombas de aceite y de vacío.

En la figura 3.3 se muestra la interfaz de Configuración inicial de la planta.

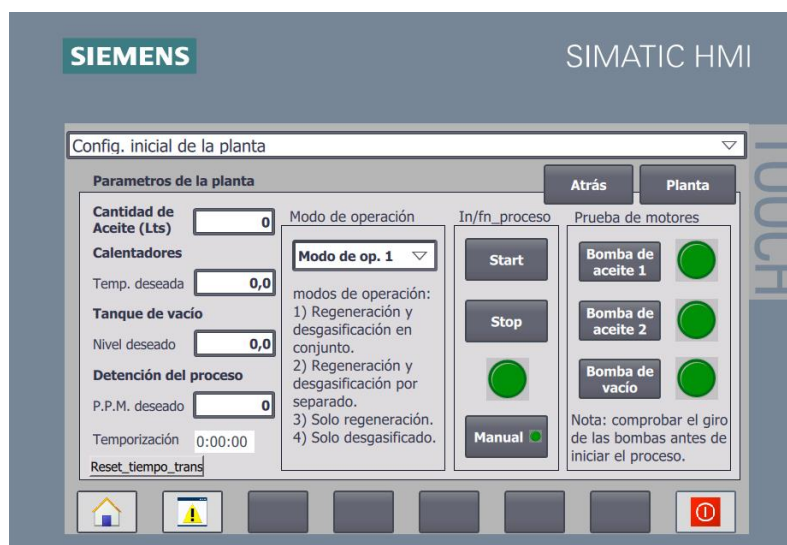


Figura 3.3: Configuración Inicial de la Planta.

3.2.3 Vista general de la planta

Esta imagen provee al operador una vista general de la planta y de cada parte del proceso, no es posible manipular o establecer parámetros deseados como temperatura o nivel, no obstante se muestra en pantalla los diferentes valores medidos en el proceso, el estado operativo de válvulas y de bombas, y en modo de operación manual se pueden manipular las válvulas on/off usadas en la planta.

En la figura 3.4 se muestra la imagen vista general de la planta.

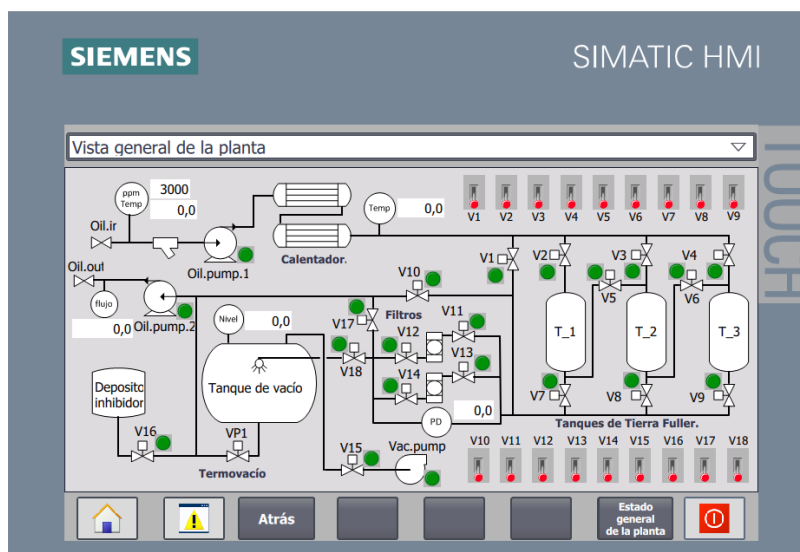


Figura 3.4: Vista General de la Planta.

3.2.4 Estado general de la Planta

La figura 3.5 resulta ser un complemento de la pantalla anterior, aquí se visualiza la planta por partes, en sus divisiones más importantes.

Se presenta el estado operativo de las bombas de aceite y de vacío, sus respectivas alarmas por sobrecarga, y la posibilidad de operarlas directamente en modo manual.

Cuando se opera la planta en modo automático y se encuentra en funcionamiento la etapa de regeneración, el interfaz programado permite elegir desde el HMI la configuración deseada de los tanques de tierra Fuller, esto es de utilidad para cambiar tanques que estén saturados.

También se muestra el estado de utilización de los filtros, si se requiere cambiar alguno, y su presión diferencial para monitorear su nivel de saturación.

La interfaz programada ofrece la posibilidad de cambiar los valores de consigna de temperatura a la salida del calentador eléctrico, y de nivel de aceite en el tanque de termovacío. También se muestran los valores medidos. En modo manual, desde la interfaz se puede manipular la apertura de la válvula de control de nivel.

Por último se muestran los valores de partes por millón de agua en el aceite, y el tiempo transcurrido a lo largo de la ejecución del proceso.

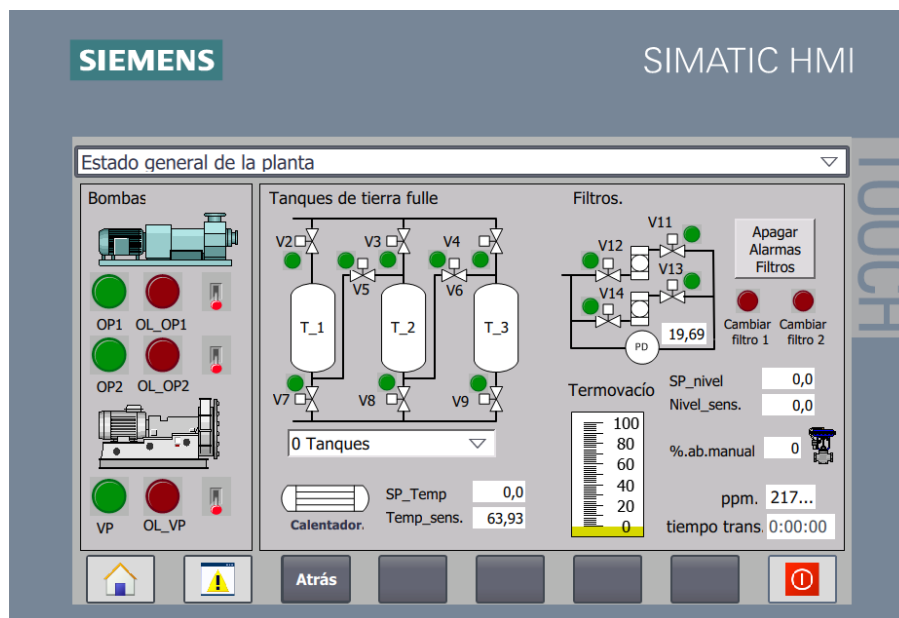


Figura 3.5: Estado General de la Planta.

3.3 Diseño del programa PLC

La programación se realizó por bloques de funciones para facilitar pruebas de simulación, estos bloques funcionales fueron luego integrados al bloque de programación principal. Antes de dar inicio al proceso se necesita que el operador ingrese parámetros importantes para la planta (Configuración Inicial del proceso), y durante el proceso se necesita cierta presencia del operador para las configuraciones del sistema.

3.3.1 Bloque de programación principal

En el bloque de programación Main se encontrará las condiciones de marcha y detención del proceso, así como la unión de los demás bloques de programación. Se ilustra en la figura 3.6 la lógica de programación utilizada a través de diagramas de bloques.

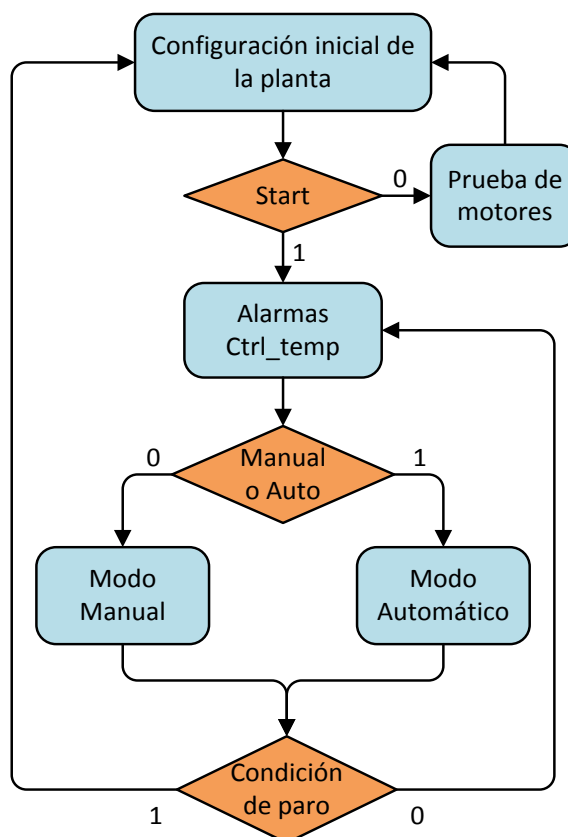


Figura 3.6: Lógica de programación de bloque principal.

Dentro de la lógica de programación descrita en diagrama de bloques aparecen como variables bloques de funciones (Alarmas, Ctrl_temp, prueba de motores, modo manual, modo automático).

3.3.2 AI_Scale

Este bloque de programación (Ver figura 3.7) realiza la normalización y escalamiento de las entradas analógicas del controlador a través de los bloques NORM_X y SCALE_X respectivamente.

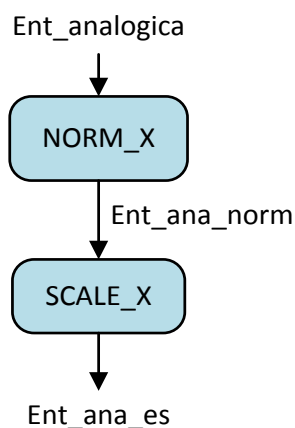


Figura 3.7: Lógica de programación de bloque AI_Scale.

Cada escalamiento utiliza los mismos bloques cambiando solo la dirección de las variables y necesita de dos variables de tipo real para almacenar un valor normalizado y un valor escalado. El valor normalizado es un número entre 0 y 1, y el valor escalado es un número dentro del rango definido por el sensor. Este bloque es llamado en el Main y estará siempre activo.

3.3.3 Alarmas

Las alarmas programadas son visibles en el HMI, estas alarmas corresponden a la sobrecarga de las bombas de aceite y de vacío, y la saturación de los filtros. Las alarmas estarán presentes sin importar el modo de operación del sistema.

Como se muestra en la figura 3.8 la alarma por sobrecarga de los motores solo responde cuando se dispara el relé térmico, del cual el estado de su contacto normalmente cerrado está dispuesto como una entrada digital del PLC.

La variable que se muestra en el diagrama de bloques como Alarma_motor corresponde a una representación de las alarmas de cada bomba, variables enlazadas como salida al HMI.

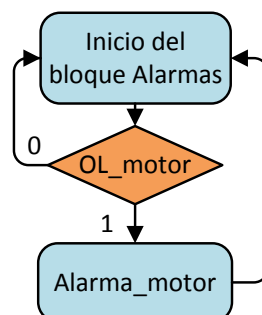


Figura 3.8: Lógica de programación de Alarmas de bombas.

En cuanto a las alarmas de saturación de los filtros, se debe hacer dos distinciones, si el proceso se está llevando a cabo en modo de funcionamiento manual o automático. En modo manual la alarma de cada filtro se activara cuando estando en uso la presión diferencial medida exceda los 20 PSI.

En el modo automático se espera que la presión diferencial se restablezca para poder emitir la alarma de cambio de filtro como se muestra en la figura 3.9, ya que al detectar una sobrepresión el controlador realiza automáticamente el cambio de paso del aceite del filtro saturado por el filtro que no se encuentra en uso.

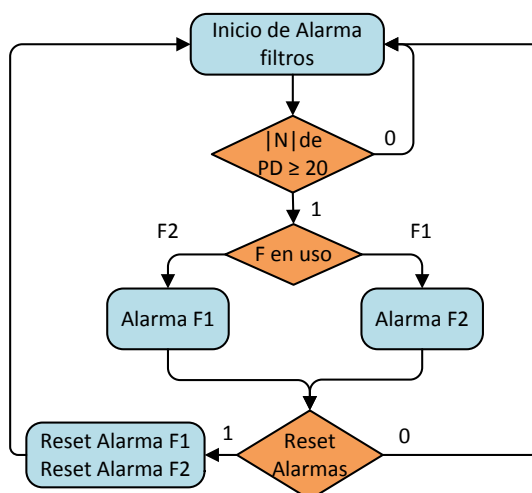


Figura 3.9: Lógica de programación de Alarmas de filtros.

En ambos modos de operación es necesario una vez tomadas las medidas de corrección, resetear las alarmas de cambios de filtros.

3.3.4 Prueba de motores

Este bloque entra en funcionamiento cuando no se ha puesto en marcha el proceso, permite energizar los motores de las bombas de aceite y de vacío para comprobar su giro, esto es a través de la interfaz con un botón con variable de nombre Prueba_motor. (Ver figura 3.10)

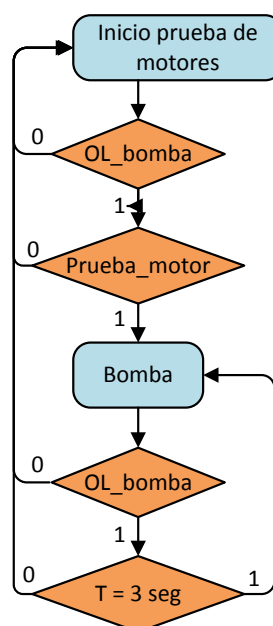


Figura 3.10: Bloque de programación Prueba de motores.

3.3.5 Modo manual

Este bloque permite el accionamiento de válvulas y bombas por parte del usuario a través de las variables Valve_manual y Bomba_manual que aparecen en las figuras 3.11 y 3.12 respectivamente, las cuales se visualizan en el HMI como interruptores, existe un interruptor para el accionamiento de cada válvula impulsada y de cada motor, mientras el interruptor este activado la válvula o bomba que represente también lo estará.

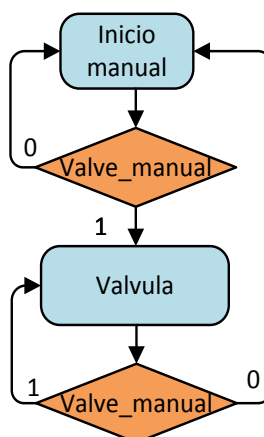


Figura 3.11: Lógica de programación de válvulas Modo manual.

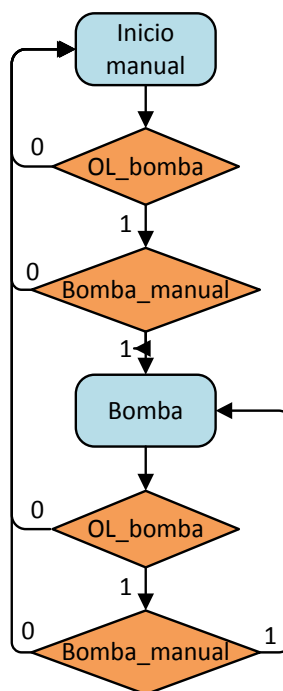


Figura 3.12: Lógica de programación de bombas Modo manual.

En cuanto a la válvula proporcional para el control de nivel, se manipula de forma semejante a la lectura de las entradas analógicas, el porcentaje de abertura de la válvula se ingresa desde el HMI, se lo normaliza, y se lo escala a un valor entero comprendido entre 0 y 27648 que representa una corriente de salida de 4 a 20 mA

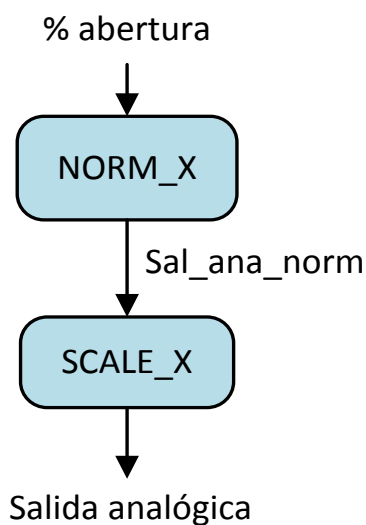


Figura 3.13: Lógica de programación de Válvula proporcional en Modo manual.

Este bloque es llamado desde el Main, y estará activo si el proceso está en marcha y se ha elegido el modo de funcionamiento manual.

3.3.6 Tanques de tierra Fuller

Este bloque solo entra en funcionamiento en modo automático, y permite a través de la interfaz que el operador escoja la configuración de los tanques de tierra Fuller, esto es a través de un campo de entrada simbólico enlazado a una variable de tipo entero llamado “Config. De tanques TF”.

Las válvulas sobre las cuales se actúa tienen su nomenclatura establecida en la interfaz como V2, V3, V4, V5, V6, V7, V8, V9, y se las puede identificar claramente en los diagramas de los tanques de tierra Fuller dentro de las imágenes de vista general de la planta y estado general de la planta.

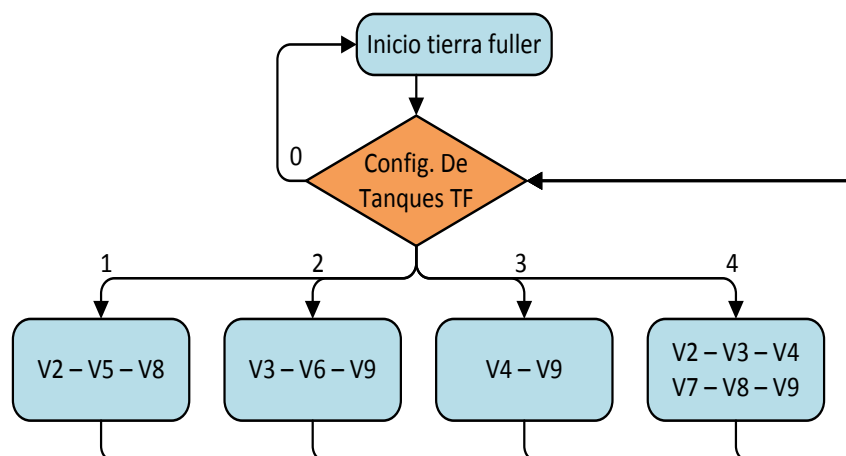


Figura 3.14: Lógica de programación Bloque de tanques de tierra Fuller.

Además dentro de la programación del PLC existen ciertos retardos de tiempo para la apertura o cierre de ciertas válvulas al momento de cambiar la configuración de los tanques, esto es para reducir residuos de aceite almacenado en los depósitos con tierra saturada.

3.3.7 CTRL_TEMP

El control de temperatura es de tipo histéresis, con un rango de variación de ± 5 °C en lo que respecta del valor del Setpoint ingresado por el operador desde la interfaz de usuario. Aunque por lo dicho en el capítulo 3, si solo se encuentra funcionando el tanque de termovacío se fija la temperatura entre 50 y 60 °C, Ver figura 4.15.

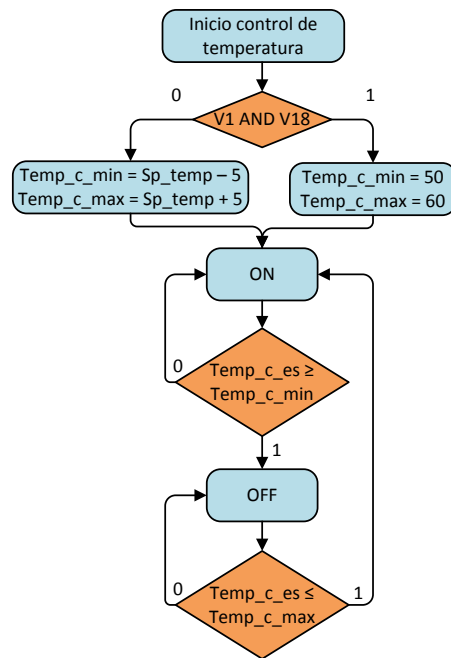


Figura 3.15: Lógica de programación Bloque de control de temperatura.

3.3.8 Control de nivel

Para el sistema de termovaciación se debe controlar el nivel de aceite dentro del tanque, ya que si el nivel excede más de las tres cuartas partes del volumen del tanque, el aceite puede ser absorbido por la bomba de vacío, esto se muestra en la figura 3.16.

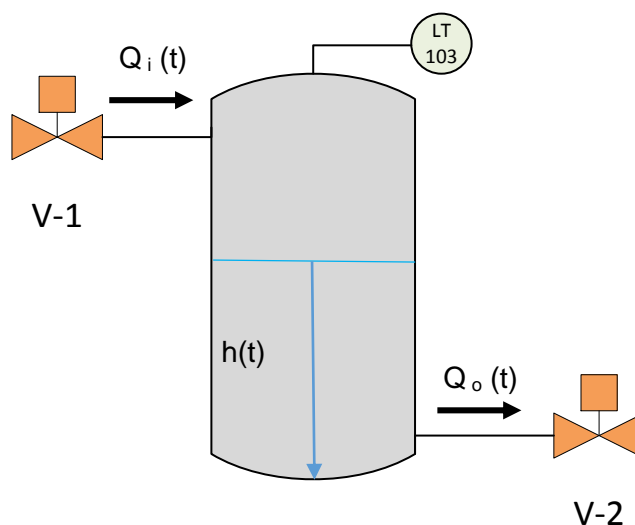


Figura 3.16: Vista General del control de nivel.

Para esto el control deberá variar la apertura de la válvula de salida dependiendo del nivel dentro del tanque, manteniendo sin control la succión de la bomba de salida, el caudal de entrada y el vacío dentro del tanque.

A continuación se procederá a modelar el subsistema para la obtención de su función característica, de acuerdo a la figura 3.17 la cual muestra el diagrama de flujo del control de nivel.

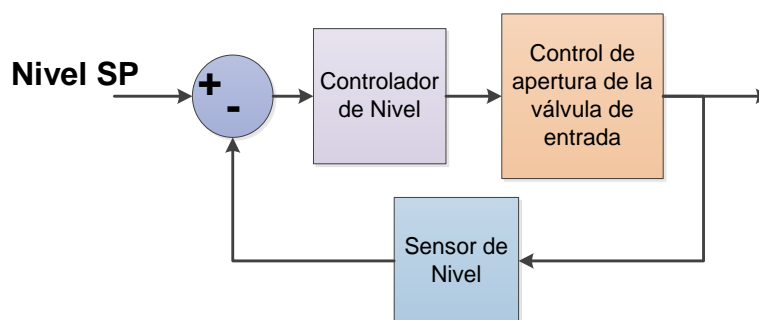


Figura 3.17: Diagrama de flujo del sistema de control de nivel.

Además el controlador deberá estar sujeto a los fallos y eventos que pueda tener la máquina los cuales son:

- Sobre nivel de aceite en el tanque

- Bajo nivel de aceite
- Disparo de las protecciones térmicas de los motores del sistema general
- Selección del proceso de termovació
- Finalización del proceso de termovació al tener el aceite dieléctrico un óptimo valor de rigidez dieléctrica
- Finalización del proceso de termovació al tener el aceite dieléctrico Bajo Nivel de humedad

Para modelar el sistema usaremos PID_Compact, el cual es un bloque de función incluido para los PLC de la familia 1200, lo que facilita determinar el controlador mediante ingreso de datos o pruebas experimentales con la planta.

La función emplea la ecuación 3.1 para determinar el valor de salida de la variable de control:

$$y = Kp[(b - w - x) + \frac{1}{T1*s}(w - x) + \frac{Tp*s}{a*Td*s+1}(c - w - x)] \quad (3.1)$$

Donde:

y = Valor de control

w = Consigna

kp = Ganancia proporcional

$T1$ = Tiempo de acción integral

Td = Tiempo de acción derivativa

x = Valor del proceso

y = Valor de control

s = Operador de laplace

y = Ponderación de acción proporcional

y = Ponderación de acción derivativa

La función PID_Compact (ver figura 3.18), tiene incluido un bloque de datos (DB), así como también un bloque de función (FB) el cual no es accesible por el usuario, ya que está protegido contra escritura. Todas las operaciones matemáticas se registran en el bloque de función FB1131.

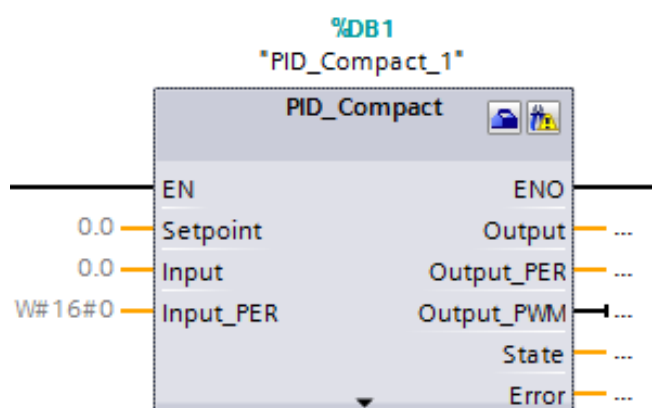


Figura 3.18: Bloque PID_Compact.

A continuación se procede con la configuración de los parámetros de entrada y salida; para nuestro caso se empleara un sensor de nivel con onda guiada de 24 Voltios con salida de 4-20 mA y un rango de medición de hasta 75 metros aunque el rango de medición reflejado en la señal de corriente debe ser configurada, la salida del PID será una señal analógica que se transmitirá a la válvula de apertura y cierre de entrada de 4-20mA con un rango de 0 a 100%.

Para determinar los parámetros que debe de tener el bloque PID_Compact a continuación definiremos el significado de cada uno de ellos.

- EN: Es la entrada de habilitación del bloque, la cual puede ser conectada directamente y no depender de una condición externa.
- Setpoint: Valor de control del flujo principal. Este valor puede ser ingresado en valores numéricos de acuerdo a la configuración del S7-1200 o en unidades reales a través de la entrada Input_PER.
- Input: Entrada del Setpoint como valor real.
- Input_PER: Entrada del Setpoint como valor analógico.
- END: Salida de habilitación del bloque PID_Compact.

- Output: Valor de salida en valores reales.
- Output_Per: Valor de salida en formato analógico
- Output_PW: Valor de salida en señal modulada por ancho de pulso, la cual debe ser un valor digital o analógico cuya conexión y desconexión puede ser variable.
- State: Indica el modo de operación del controlador PID.
- Error: Indica los errores que puede tener el controlador PID.

El tanque tiene una altura de 1,41 metros y el nivel de aceite deberá ser entre 0,40 a 1,20 metros, teniendo en cuenta la salida del aceite en la parte inferior, la cual no puede estar vacía por la succión de la bomba de salida. Estos niveles son considerando el sensor instalado en la parte superior y que, entre más nivel tenga el tanque menos distancia medirá y así también en sentido contrario.

El sensor de nivel estará conectado a la entrada **%IW120** del PLC. La señal de control de la válvula proporcional está conectada a la salida analógica **%QW128**. Además usaremos **%Q0.5** para indicar un valor de nivel alto y **%Q0.6** para un nivel bajo.

Dirección	Símbolo	Tipo de dato	Descripción
%IW120	Ent_ana_nivel	Word	Sensor de nivel por microondas guiadas
%QW128	Válvula control de nivel	Word	Válvula control de nivel

Tabla 17.a: Parámetros que contiene el Bloque PID_COMPACT.

Dirección	Símbolo	Tipo de dato	Descripción
%Q0.5	AI_H	Bool	Alarma de nivel alto
%Q0.6	AI_L	Bool	Alarma de nivel bajo
%MD98	SP_nivel	Real	Setpoint

Tabla 18.b: Parámetros que contiene el Bloque PID_COMPACT.

El bloque PID no puede ir en el programa principal OB1, por lo tanto se debe agregar una interrupción de tiempo definido, el cual no puede pasar de los 100 ms, ya que el bloque de PID debe pasar activo.

Para esto crearemos un bloque de interrupción OB30 con un tiempo de ciclo de 100 ms, como podemos ver figura 3.19:

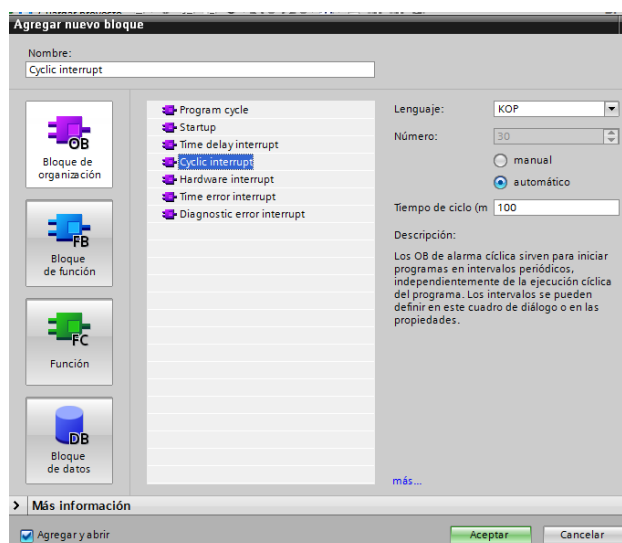


Figura 3.19: Bloque de interrupción OB30.

Dentro del bloque de interrupción crearemos el bloque PID designando cada variable descrita anteriormente. El valor de nivel en formato real será

establecido dentro de las pantallas del HMI, el cual se guarda en la variable descrita como %MD98, tal como se muestra en la figura 3.20.

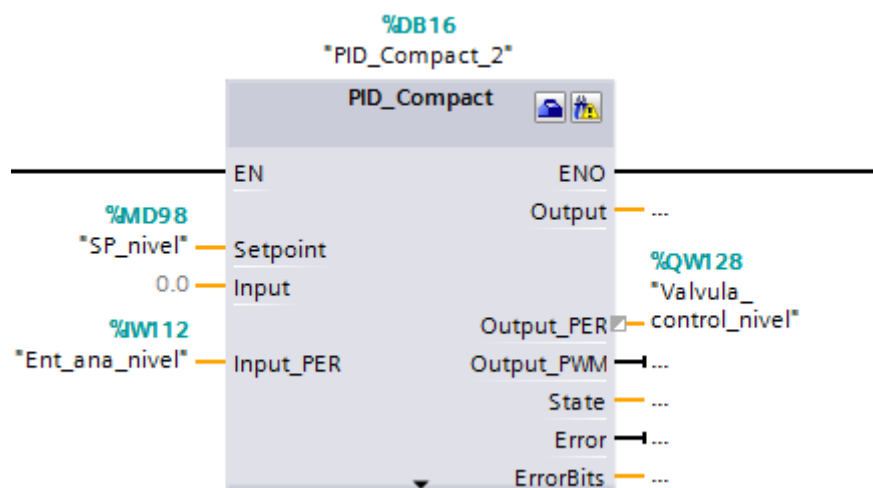


Figura 3.20: Designación de variables en el Bloque PID.

Como vamos a utilizar la entrada del bloque PID_Compact llamada Input_PER, debemos escalar el valor real tal como se muestra en la figura 3.21 describiendo el rango de medición, dentro de las propiedades del bloque en la opción Escala de valor real como se muestra a continuación:

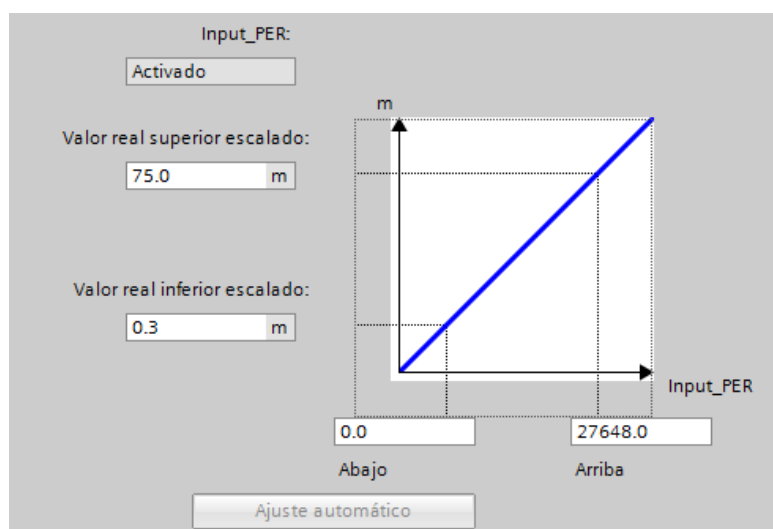


Figura 3.21: Rango de medición activando la variable Input_PER.

El sensor deberá medir un valor de 4 mA cuando el nivel sea de 0,00 metros, y 20 mA cuando el nivel sea 1,33 metros (80 mm de banda muerta del sensor). Por esta razón al convertir el parámetro en valor real este será representado entre valores de 0 a 27648.

Por último es necesario optimizar los parámetros del control PID como se observa en la figura 3.22, para esto podemos experimentar un tiempo mayor de interrupción, del cual podemos determinar los parámetros para utilizarlo en el bloque principal del sistema.

Parámetros PID

Activar entrada manual

Ganancia proporcional: 1.0

Tiempo de integración: 20.0 s

Tiempo derivativo: 0.0 s

Coeficiente retardo derivativo: 0.2

Ponderación de la acción P: 1.0

Ponderación de la acción D: 1.0

Tiempo muestreo algoritmo PID: 1.0 s

Regla para la optimización

Estructura del regulador: PID

Figura 3.22: Parámetros PID.

3.3.9 Modo automático

Se necesita aclarar que dentro de la lógica de programación descrita en diagrama de bloques en la figura 3.23, aparecen como variables bloques de funciones y segmentos de programa como tanques de tierra Fuller, Ctrl_Nivel, y Filtros respectivamente.

El proceso inicia por el calentamiento del aceite a tratar, es por eso que se accionan las válvulas V1 y V10 para permitir la circulación del mismo a través de las resistencias de los calentadores.

Una vez alcanzada la temperatura adecuada, se consulta el modo de operación escogido, para escoger el respectivo proceso a seguir.

La variable ppm_es es la humedad presente en el aceite o las partes por millón de agua que obtienen del DOMINO, y la variable SP_ppm es el valor de humedad que el operador ingresa en el interfaz como valor admisible.

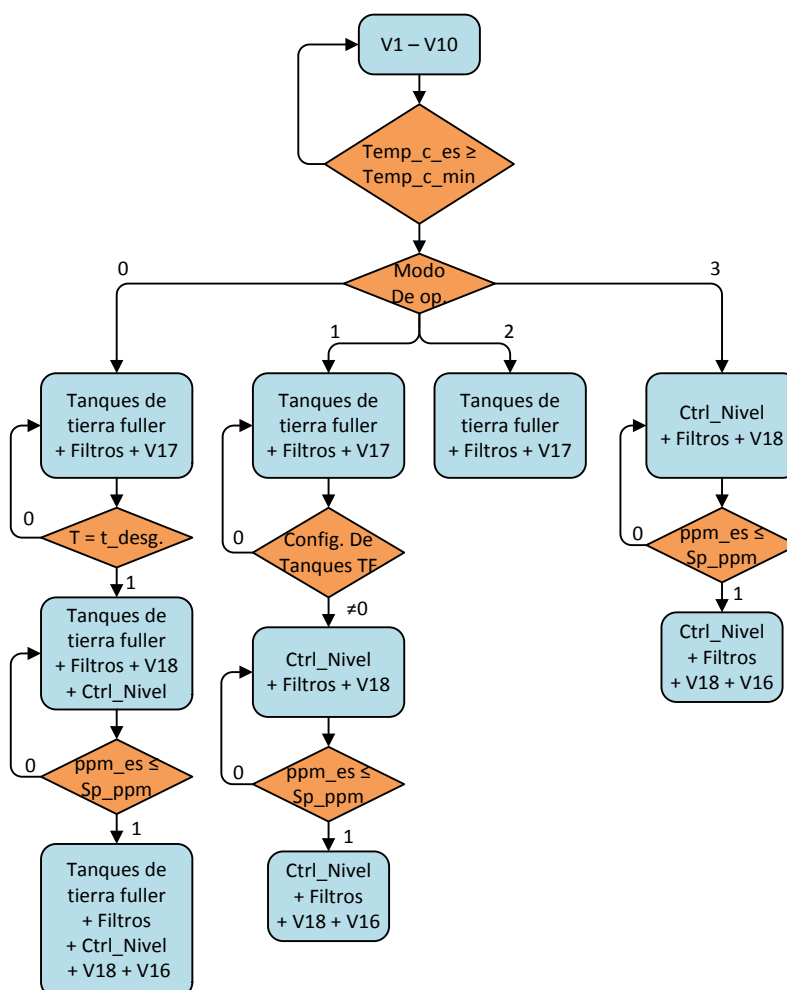


Figura 3.23: Lógica de programación Modo Automático.

El segmento de programación de filtros, tiene su propia lógica, con la ayuda de un contador se establece que filtro debe estar en uso, y en qué momento debe entrar en uso el filtro en estado no operativo. Esto se muestra en la figura 3.24.

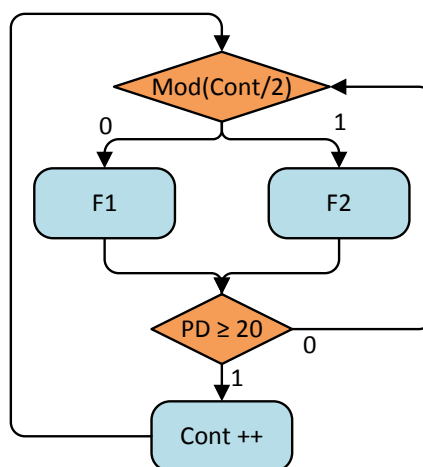


Figura 3.24: Lógica de programación Segmento de filtros bloque de función automático.

Existe programación adicional que brinda seguridad al sistema, que permite que siempre haya circulación de aceite.

La programación de HMI que se realizó del sistema de control se podrá observar en el Anexo B.

3.4 Manual de funcionamiento del sistema.

Se detalla a continuación ciertas recomendaciones a seguir para poner en funcionamiento la planta.

Prueba de motores: Antes de dar inicio al proceso es de suma importancia comprobar el giro de los motores, si algún motor se mantiene funcionando con el sentido de giro incorrecto existe el riesgo de generar graves daños tanto a la parte mecánica como a la parte eléctrica de la bomba.

Para esto se incorporó en la interfaz de usuario (HMI), dentro de la pantalla denominada como “Config. Inicial de la planta” una sección para energizar momentáneamente las bombas de aceite y de vacío como se muestra en la figura 3.25, con el fin de comprobar que el sentido de rotación sea el indicado, de lo contrario se puede tomar correctivos en la conexión eléctrica de la planta.

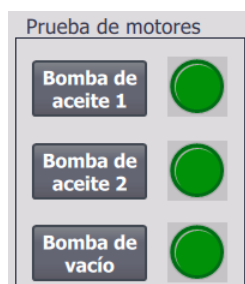


Figura 3.25: Indicador de estado de las bombas.

Ingreso de parámetros: El operador debe ingresar 5 parámetros como se muestra en la figura 3.26 en la pantalla “Config. Inicial del sistema”, dependiendo del modo de operación y del modo de funcionamiento de la planta estos serán utilizados dentro de la programación del controlador.

Figura 3.26: Ingreso de los parámetros del aceite dieléctrico.

La temperatura deseada a la salida de los calentadores no deberá sobrepasar a la temperatura nominal más 5 grados a la que trabaja el transformador, la temperatura recomendada para una buena regeneración es de 70°C, cuando solo está en funcionamiento la cámara de termovació la temperatura recomendada es de 55°C. EL nivel deseado se debe ingresar con un valor entre 0 y 100 (el nivel medido esta escalado en valores de porcentaje de llenado), se recomienda que el nivel de aceite en la cámara de termovació este en un rango de 0,3 a 1,00 metros, lo cual corresponde a aproximadamente a un valor entre el 30 y 75% de la altura del tanque de termovació.

Selección del modo de operación: Se recomienda seleccionar el modo de operación dependiendo de la cantidad de aceite a tratar, y del depósito en donde este almacenado dicho aceite, tal como se observa en la figura 3.27.

El primer modo de operación se recomienda para el tratamiento grandes cantidades de aceite almacenado en tanques cerrados, el segundo modo de operación se recomienda para el tratamiento de cantidades moderadas de aceite almacenado en tanques cerrados, el tercer modo de operación es aplicable a cualquier caso y el cuarto modo de operación es aprovechado cuando el aceite a tratar este almacenado en un tanque cerrado, de otra forma la presencia de oxígeno y humedad seguirá presente en grandes cantidades en el mismo. Estas recomendaciones permiten el máximo aprovechamiento de la planta.

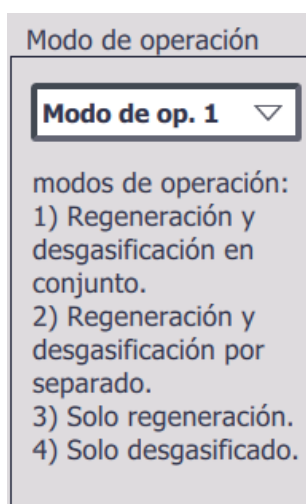


Figura 3.27: Selección del modo de operación de acuerdo al tratamiento que deba tener el aceite.

Modo de funcionamiento.

Se refiere a funcionamiento manual o automático. En el modo manual se permite el accionamiento de las válvulas impulsadas y de las bombas en las pantallas “vista general de la planta” y “estado general de la planta” respectivamente, tal como se muestra en la figura 3.28.

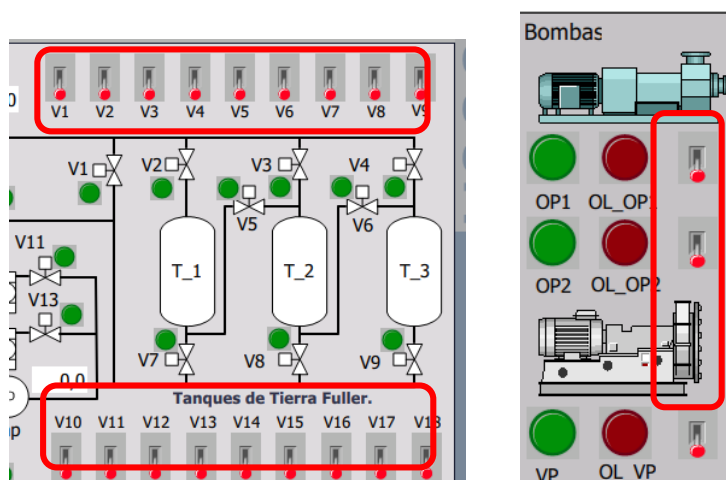


Figura 3.28: Manejo de accionamientos en modo manual en la interfaz de usuario.

El modo manual puede ser utilizado al inicio del proceso para asegurar el llenado de cada depósito de la planta con el aceite dieléctrico a tratar, luego el operador puede poner en funcionamiento automático la planta, aunque este modo de funcionamiento también puede ser seleccionado desde el inicio.

Una vez finalizado el proceso, se debe drenar el aceite residual en la máquina hacia el tanque del transformador operando la planta en modo manual.

Selección de la configuración de tanques de tierra Fuller.

Opción disponible en la pantalla “Estado general de la planta” que tiene validez en modo de funcionamiento automático y modo de operación 1, 2 o 3. La selección de la configuración a usar depende del nivel de contaminación presente en el aceite. La configuración en paralelo se recomienda usar si no se registra excesivo número de contaminantes, de lo contrario el uso de las configuraciones en serie permitirá una mejor purificación y un mayor aprovechamiento de los tanques de tierra Fuller, tal como se muestra en la figura 3.29.

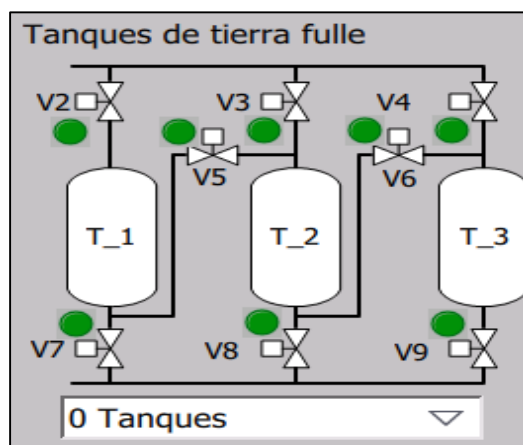


Figura 3.29: Selección de configuración de tanques de tierra fuller en la interfaz de usuario.

En el momento en que se requiera el cambio de tierra fuller en alguno de los tanques por saturación, se puede cambiar la configuración en uso de tal forma que se puedan tomar los correctivos necesarios. Para la configuración en serie se recomienda usar la configuración T1 y T2 en serie, al saturarse T1 cambiar a la configuración T2 y T3 en serie, al saturarse T2 cambiar la configuración a solo T3, al saturarse T3 volver a usar la configuración T1 y T2 en serie.

Filtros

En modo automático el accionamiento de las válvulas de paso por los filtros es controlado por el PLC como se muestra en la figura 3.30, al saturarse el filtro en uso se produce el direccionamiento automático del flujo del aceite y se emite una alarma en el HMI requiriendo el cambio del filtro saturado.

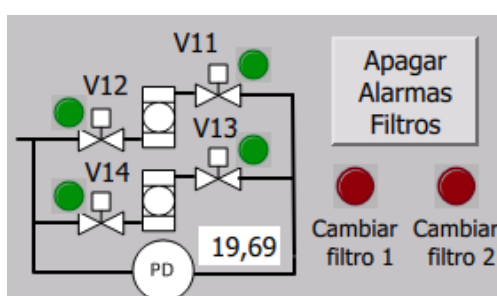


Figura 3.30: Sección de alarma de filtros en la interfaz de usuario.

Una vez tomados los correctivos, se deberá apagar las alarmas para que al requerirse el próximo cambio, el controlador permita el paso de aceite través del filtro no saturado para continuar el funcionamiento normal de la máquina.

3.5 Costos de inversión

Luego de realizar la selección de elementos es necesario establecer si el equipo a tratar es viable monetariamente a una posible implementación, por esta razón se realizó una consulta de los precios unitarios de los diferentes equipos que se utilizarán.

El listado de precio fue facilitado por un proveedor de confianza, el cual es distribuidor de productos SIEMENS, la cual facilito la selección de componentes y dimensionar las protecciones de los equipos siempre analizando un menor costo de inversión. En la tabla 18.a y 18.b se detallan los costos fijos de inversión en el proyecto.

Artículo	Costo Unitario (\$)	Cantidad	Precio Total (\$)
Fuente SITOP modular de Entrada: 230-500 VAC, y Salida: 24 VDC 10 A	420,00	1	420,00
Bomba centrífuga de monoetapa	140,00	2	280,00
Bomba de vacío DuoSeal 1397	5.520,00	1	5.520,00
Válvula impulsada Asco 8210G054	120,00	18	2.160,00
Válvula control proporcional Asco SCG287A012	200,00	1	200,00
Sensor de temperatura SITRANS TS300	130,00	1	130,00

Tabla 18.a. Costos fijos de inversión en equipos activos

Artículo	Costo Unitario (\$)	Cantidad	Precio Total (\$)
Transmisor de temperatura TH100	115,86		115,86
Sensor de presión diferencial SITRANS P250	320,00	1	320,00
Sensor de nivel SITRANS LG-250	350,00	1	350,00
Caudalímetro SITRANS FC430	324,00	1	324,00
Detector de nivel SITRANS LV100	323,00	1	323,00
CPU PLC S7-1200	695,00	1	695,00
Módulo 6ES7222-1HH32-0XB	345,00	1	345,00
Módulo 6ES7 231-4HF32-0XB0	688,00	1	688,00
Módulo 6ES7 232-4HD32-0XB0	707,00	1	707,00
HMI KTP700	1.315,00	1	1.315,00
Resistencia de calentamiento	220,00	2	440,00
Relés de interfaz para válvulas	26,96	18	485,28
Protecciones Eléctricas	519,84	1	519,84
TOTAL			15.337,98

Tabla 18.b. Costos fijos de inversión en equipos activos.

Se debe destacar que los valores pueden aumentar al necesitar dimensionar para una mayor capacidad de la maquina o disminuir si solo se necesita una automatización parcial de la misma como se muestra en la tabla 16; además en los costos no se encuentra incluido la mano de obra, cuyo valor se encuentra estimado en \$3500,00.

Artículo	Costo Unitario \$	Cantidad	Precio Total \$
Posible construcción de tuberías	5.000,00	1	5.000,00
Tierra Fuller 50 Lb 30/60 MESH	80,00	5	400,00
Construcción del tanque de vacío	1.500,00	1	1.500,00

Tabla 19: Costos adicionales de inversión.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. El modo de funcionamiento manual facilita el manejo de la planta, ya que al proveer información de cada parte del proceso y permitir la manipulación de los elementos de accionamiento desde un solo punto, se puede realizar un mejor seguimiento del funcionamiento de la máquina.
2. El modo de funcionamiento automático del sistema de control, mejora la confiabilidad y eficiencia del proceso, disminuyendo fugas de aceite y tiempo de operación, además, permite aprovechar el tiempo en operaciones complementarias en el mantenimiento del transformador.
3. Los cuatro modos de operación que incluye el funcionamiento automático permiten ampliar el rango de aplicación en cuanto a la capacidad de los transformadores a realizar el mantenimiento.
4. La automatización de la máquina de tratamiento de aceite dieléctrico disminuye los incidentes de riesgo al personal y la contaminación del medio ambiente.
5. Aunque sea una inversión un poco fuerte en el diseño o la automatización de una de estas máquinas, el proceso de tratamiento de tierra fuller tiene un costo del 60% de lo que corresponde al cambio total del aceite, lo cual en grandes cantidades refleja un valor considerable de ahorro. Además, el cambio de aceite es individual, el tratamiento puede ser realizado a varios transformadores en varias ocasiones.

Recomendaciones

1. Para aumentar la eficiencia del proceso es aconsejable implementar un control PID de temperatura para mantener el aceite en un estado óptimo durante su tratamiento, esto se realiza a través de un módulo de potencia.
2. Se sugiere la utilización de equipos y elementos de protección de una misma marca, facilitando su interconexión y su mantenimiento.
3. Se debe realizar un análisis físico - químico previo al aceite del transformador, así seleccionar el correcto modo de operación para el tratamiento del aceite dieléctrico.

4. Se deberá llevar un control periódico del tratamiento del aceite dieléctrico; así definir su calidad y si en mantenimientos posteriores se debe realizar o no nuevamente el tratamiento.
5. Este proyecto puede ser impulsado por el estado, para el mantenimiento de los transformadores de potencia que tienen a su disposición en las diferentes etapas de transmisión y distribución de energía eléctrica en el país.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] O, Guzmán Kure, "TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS Y BANCOS TRIFÁSICOS DE DISTRIBUCIÓN", CRIEEL, Guayaquil, Ecuador, 2015.
- [2] M.G. Briones, "ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LA RECUPERACIÓN DE LOS ACEITES DIELECTRICOS CON TIERRA FULLER Y DESLODIFICACIÓN DE BOBINADOS EN TRANSFORMADORES", FIEC, ESPOL, Guayaquil, Ecuador, 2005.
- [3] Normas ASTM, En línea. Disponible en: <http://www.fiuxy.com/ebooks-gratis/3449737-descargar-normas-astm-15-volumenes-descargar-pdf-gratis.html>
- [4] J.P.Avilés, "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA OPTIMIZAR EL USO DE UNA MÁQUINA TIPO BRIZIO BASI DOV 4000, PARA TRATAMIENTO DE ACEITE DIELECTRICO DE TRANSFORMADOR, PARA LA EMPRESA TECNIESAT" UPS, Cuenca, Ecuador, 2011.
- [5] OIL DRI (2011, julio 05). Hoja de Datos de Seguridad de Materiales (HDSM) Absorbente granular (#1003000), En línea. Disponible en: http://www.oildri.net/Downloads/.../MSDS_SpanishGranular.pdf.
- [6] Bomba centrífuga de superficie monoetapa, En línea. Disponible en:
<http://www.acerocomercial.com/140-monoetapas.html>
- [7] WELCH. Product Family Specifications DuoSeal, En línea. Disponible en:
<http://welchvacuum.com/products/duoseal-1397>.
- [8] ELECTRIFOR, Resistencias para inmersión, En línea. Disponible en:
<http://www.electricfor.es/es/16523/Resistencias-para-inmersion.htm>
- [9] LESMAN, General Service Solenoid Valves, En línea. Disponible en: <http://www.lesman.com/unleashd/catalog/valves/ASCO-valve-8210/ASCO-Valve-8210-spec-R2.pdf>

- [10] ASCO VALVE. Válvula de acción proporcional de acción directa, En línea. Disponible en: <http://www.ascovalve.com/common/pdffiles/product/posiflowr4.pdf>
- [11] SIEMENS. Sensor SITRANS TS300, En línea. Disponible en: http://w3.siemens.com/mcms/sensor-systems/es/instrumentacion-de-procesos/medicion-de-temperatura/temperature-sensors/pages/sensor-sitrans-ts300.aspx#Descripci_c3_b3n
- [12] SIEMENS. Transmisor SITRANS TH100, En línea. Disponible en: <http://w3.siemens.com/mcms/sensor-systems/es/instrumentacion-de-procesos/medicion-de-temperatura/transmisores-para-montaje-en-cabezal/Pages/sitrans-th100.aspx>.
- [13] SIEMENS. Sensor SITRANS P250, En línea. Disponible en: <http://w3.siemens.com/mcms/sensor-systems/es/instrumentacion-de-procesos/medicion-de-presion/pages/sitrans-p250.aspx>
- [14] SIEMENS. Sensor LG250, En línea. Disponible en: <http://w3.siemens.com/mcms/sensor-systems/es/instrumentacion-de-procesos/medicion-de-nivel/metodo-continuo/microondas-guiadas/pages/sitrans-lg.aspx>
- [15] SIEMENS. SITRANS FC430, En línea. Disponible en: <http://w3.siemens.com/mcms/sensor-systems/es/instrumentacion-de-procesos/medicion-de-nivel/metodo-continuo/microondas-guiadas/pages/sitrans-lg.aspx>.
- [16] SIEMENS. SITRANS LVL100, En línea. Disponible en: <http://w3.siemens.com/mcms/sensor-systems/es/instrumentacion-de-procesos/medicion-de-nivel/detecci%C3%B3n-de-nivel/vibraci%C3%B3n/pages/sitrans-lvl100.aspx>.
- [17] SIEMENS. SIMATIC S7-1200, En línea. Disponible en: https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/sce_educacion/documentacion/Documents/SIMATIC%20S71200R.pdf

- [18] NFPA, National Fire Protection Association, National Electric Code, NFPA 70, and NEC, 11 ed. Quincy, Massachusetts, Estados Unidos: 2010.
- [19] SIEMENS. SIMATIC HMI BASIC PANELS, En línea. Disponible en: http://www.technical.cat/PDF/Siemens/HMI/operating_instructions_hmi_basic_panels_2nd_generation.pdf

ANEXOS

Anexo A: PRUEBAS REALIZADAS AL ACEITE DIELECTRICO

A.1) Interpretación de resultados de pruebas para aceites dieléctricos

MÉTODO PRUEBA ASTM	CRITERIOS PARA EVALUAR CONDICIÓN DEL ACEITE EN OPERACIÓN	INFORMACIÓN QUE NOS SUMINISTRA LA PRUEBA
1. RIGIDEZ DIELECTRICA (KV)	RECOMENDADO ≥ 40	CONT. CONDUCTORES IMPUREZAS-AGUA
2. NUMERO DE NEUTRALIZACION (mg KOH/g)	ACEPTABLE ≤ 0.05 CUESTIONABLE = 0.06-0.01 INACEPTABLE > 0.1	ÁCIDOS PRESENTES LODOS
3. TENSIÓN INTERFACIAL (Dinas/cm)	ACEPTABLE ≤ 0.05 CUESTIONABLE = 0.06-0.01 INACEPTABLE > 0.1	COMPUESTOS HIDROFÍLICOS O CONTENIDOS POL. ÁCIDOS
4. COLOR	ACEPTABLE ≤ 3.5 INACEPTABLE > 3.5	UN MARCO CAMBIO EN UN AÑO INDICA ANOMALÍA
5. CONTENIDO DE AGUA (PPM)	RECOMENDADO \leq 27 15% Saturación a 50°C	INDICA CONTENIDO TOTAL DE AGUA EN EL ACEITE
6. GRAVEDAD ESPECÍFICA	ACEPTABLE: 0.84- 0.91 CUESTIONABLE $<$ 0.84 INACEPTABLE > 0.91	REPORTA UN RÁPIDO CHEQUEO DE CONT.
7. CONTENIDO INHIBIDOR	0.08%	NIVEL DEFENSAS CONTRA PRODUCTOS DE OXIDACIÓN
8. FACTOR DE POTENCIA A 25°C	0.05% MAXIMO ACEITE NUEVO	INDICA AGUA CONT. ÁCIDOS O CONT. EXTRAÑOS

A.2) Toma de acciones según resultados de pruebas para aceites dieléctricos

Método de Prueba	Criterios de Evaluación	Información Suministrada	Acción a Tomar (resultados aceptables)
Rigidez Dieléctrica ASTM D-877 (kV)	Aceptable ≥ 30 Cuestionable: 25-30 Inaceptable < 25	Contenido de impurezas y agua	Filtrado y Deshidratación con Vacío
Numero de Neutralización ASTM D-974 (mg KOH/g)	Aceptable ≥ 0.05 Cuestionable: 0.05-0.1 Inaceptable > 0.1	Contenido de ácidos y lodos	Recuperación del aceite con tierra Fuller y limpieza con aceite caliente
Tensión Interfacial ASTM D-1971	Aceptable ≥ 32 Cuestionable: 28-32 Inaceptable < 28	Contenido de contaminantes polares ácidos	
Color ASTM D-1500	Aceptable ≤ 3.5 Inaceptable > 3.5	Cambio marcado en un año indica anomalía	
Densidad Relativa ASTM D-1298	Aceptable: 0.84-0.91	Necesidad de revisar contaminantes	Investigar
	Cuestionable: < 0.84		
	Inaceptable > 0.91		
Contenido de Inhibidor ASTM D-4768	Aceptable $\geq 0.2\%$	Nivel de defensa contra productos de oxidación	Reinhibición del aceite
	Cuestionable: 0.1-0.2%		
	Inaceptable $< 0.1\%$		
Factor de Potencia a 100°C ASTM D-924	Aceptable $< 3\%$	Presencia de agua, ácidos, contaminantes extraños	Mantenimiento completo del aceite
	Cuestionable: 3-4%		
	Inaceptable $> 0.1\%$		

ANEXO B: PROGRAMA DEL PLC

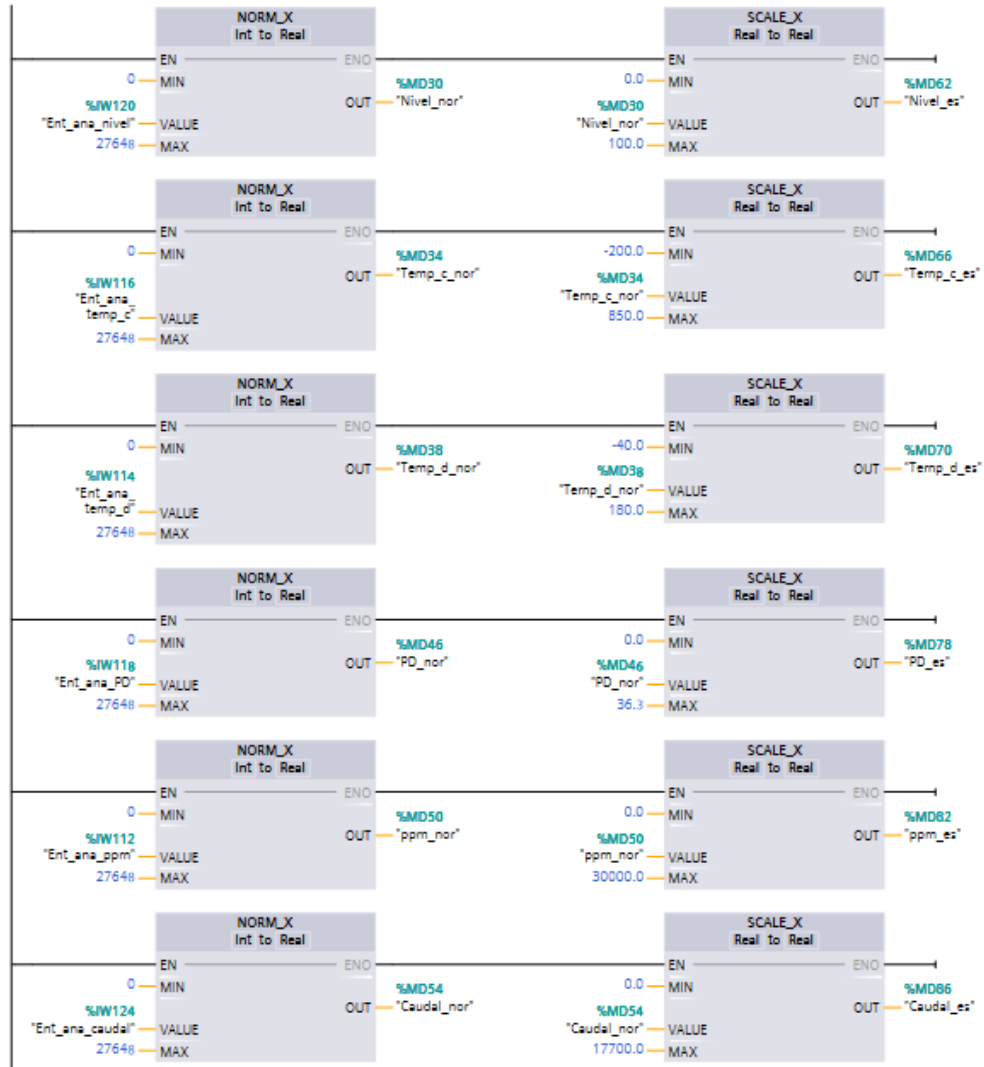


Figura B.1: Bloque de programación AI_Scale.

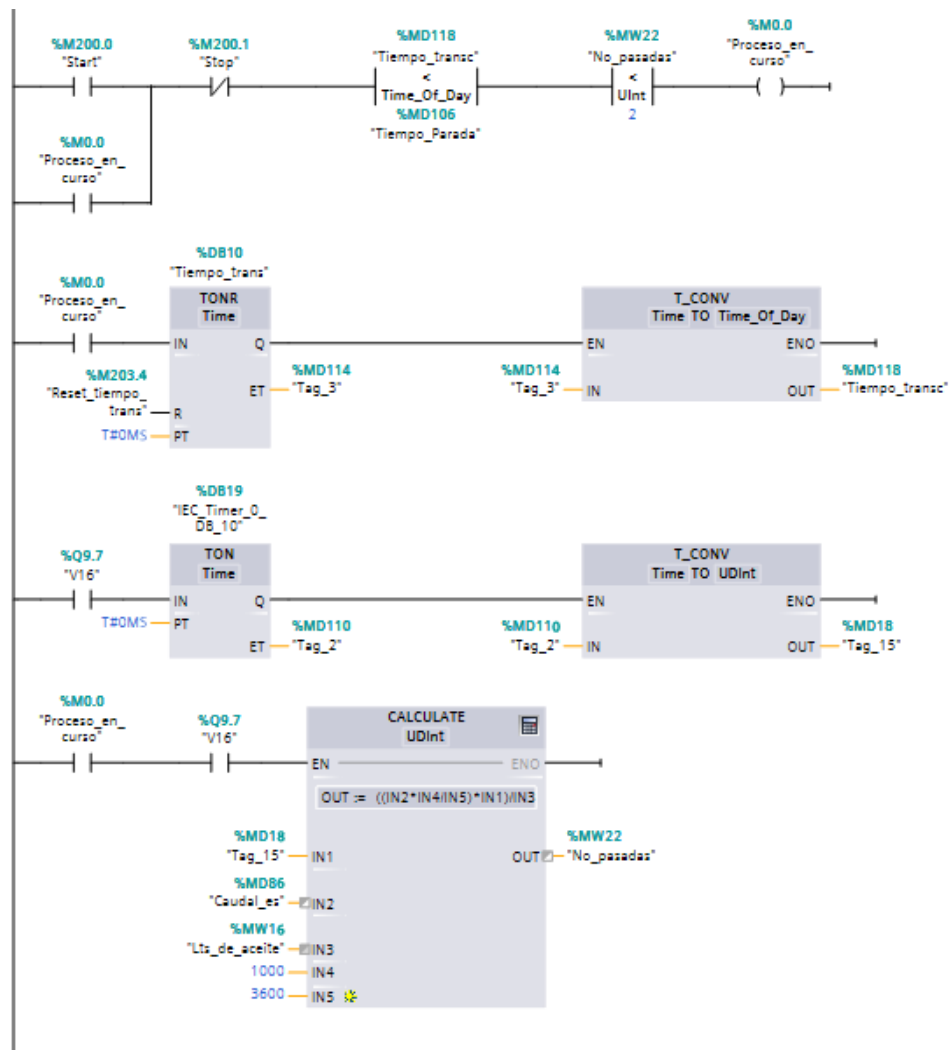


Figura B.2: Segmento 1 del bloque principal de la programación del PLC.

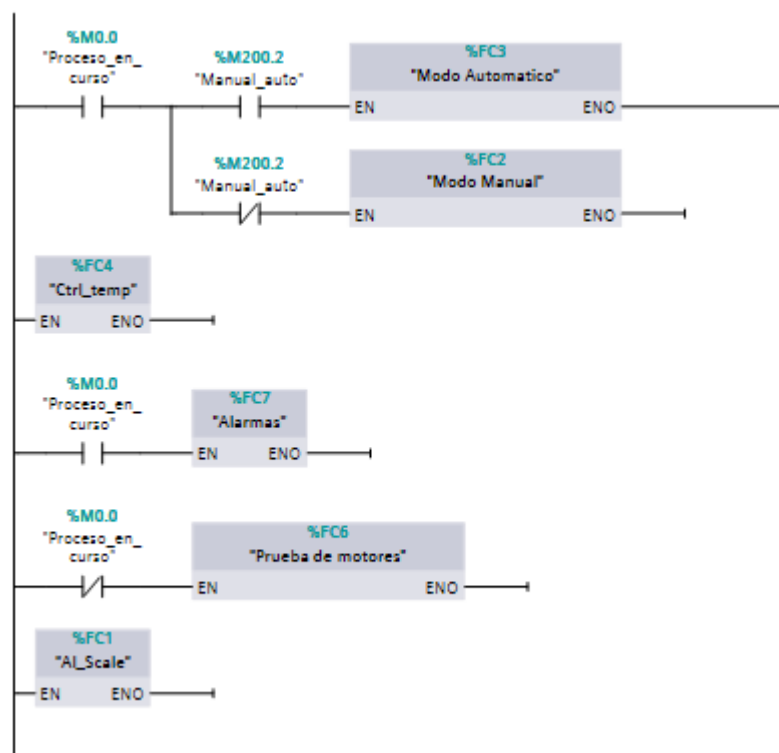


Figura B.3: Segmento 2 del bloque principal de la programación del PLC.

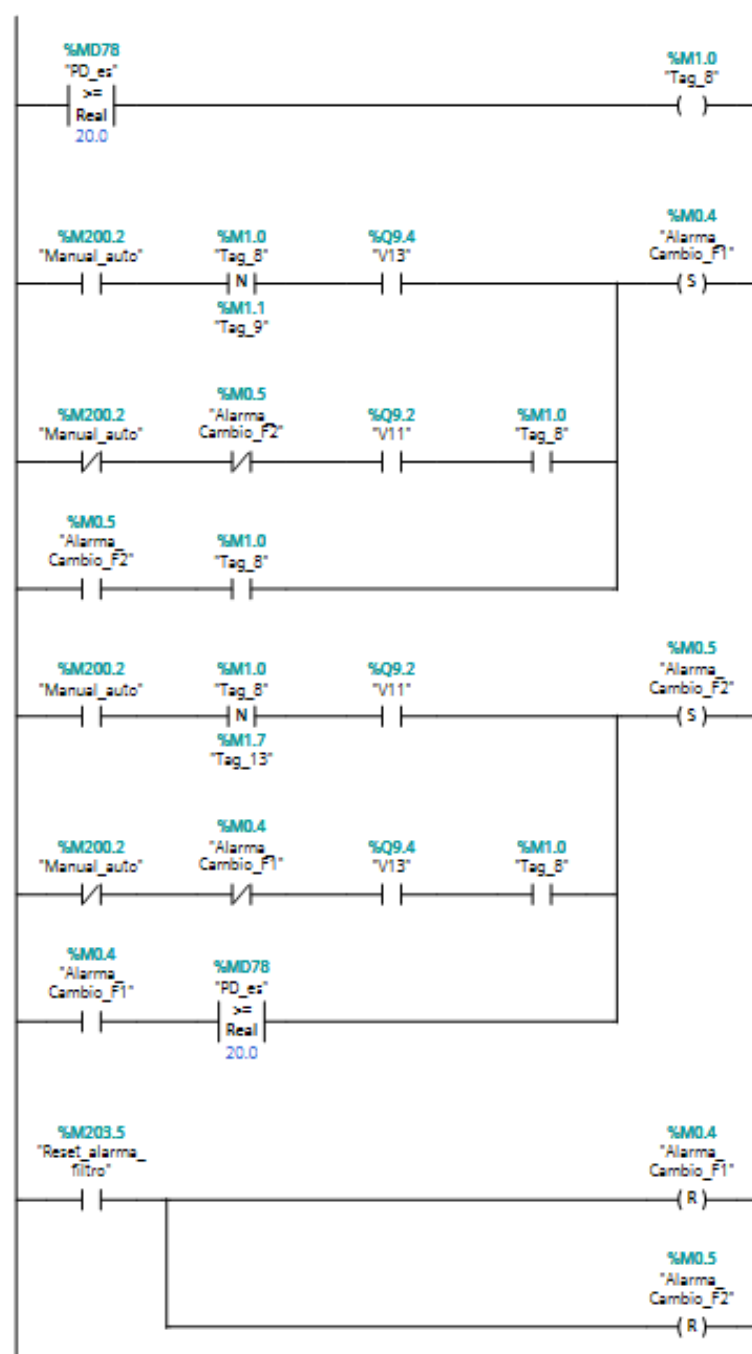


Figura B.4: Segmento 1 del bloque de programación de Alarmas.

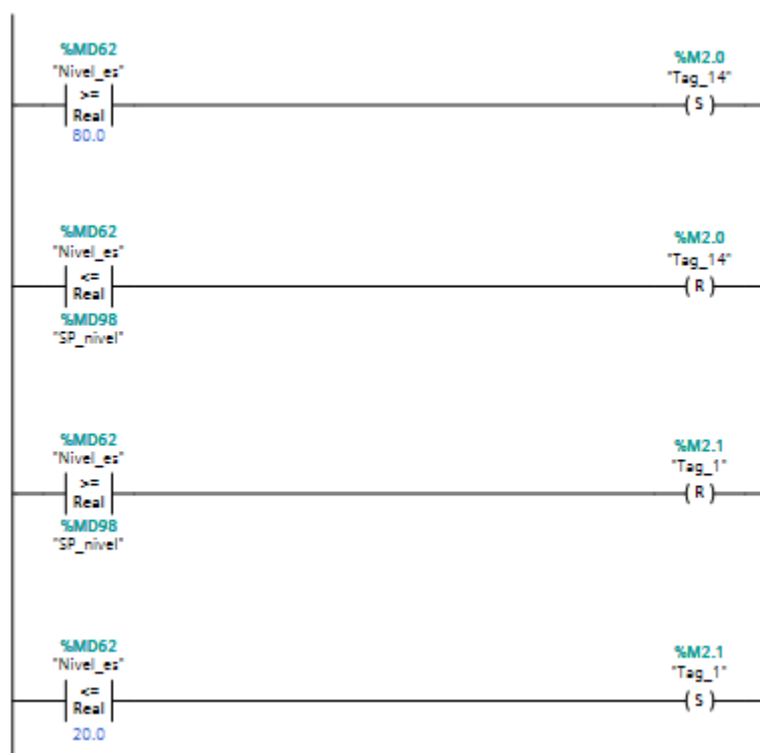


Figura B.5: Segmento 2 del bloque de programación de Alarmas.

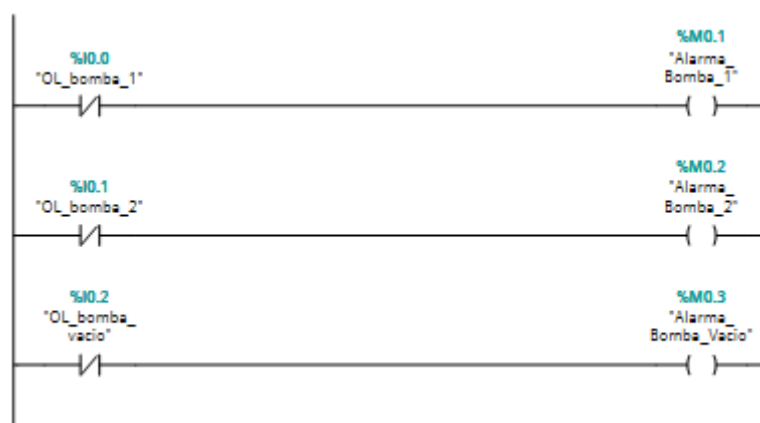


Figura B.6: Segmento 3 del bloque de programación de Alarmas.

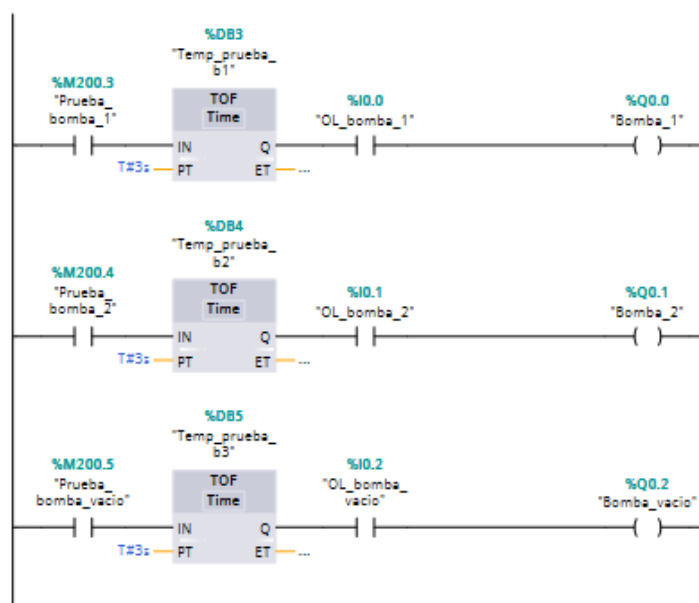


Figura B.7: Bloque de programación de prueba de motores.

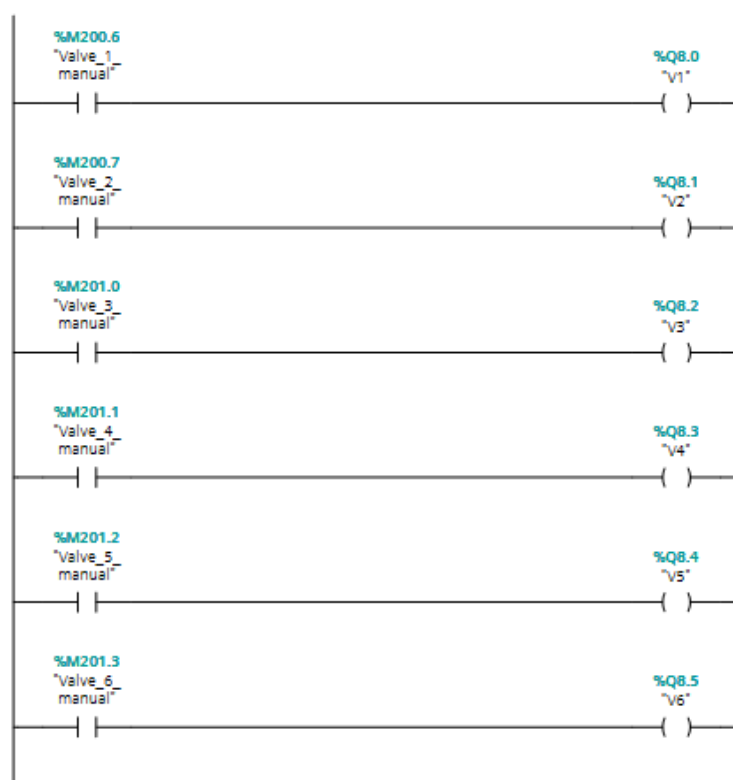


Figura B.8: Segmento 1 del Bloque de programación modo manual.

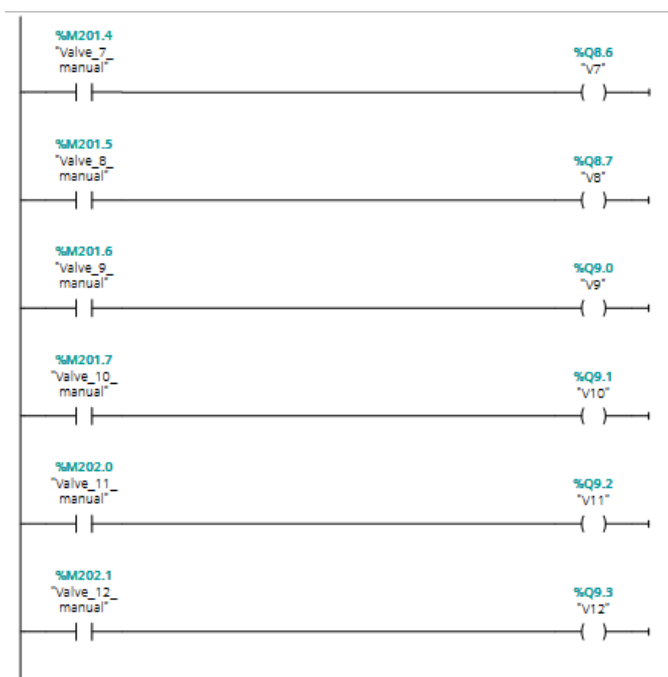


Figura B.9: Segmento 2 del bloque de programación modo manual.

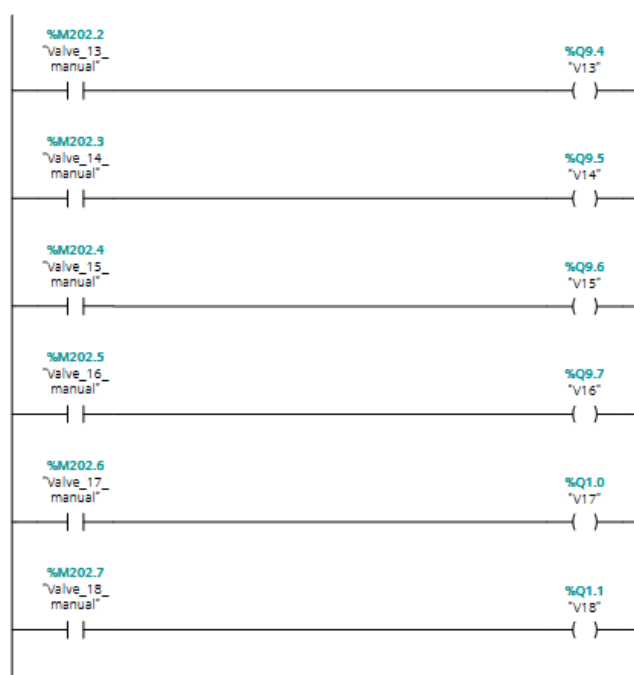


Figura B.10: Segmento 3 bloque de programación modo manual.



Figura B.11: Segmento 4 del bloque de programación modo manual.

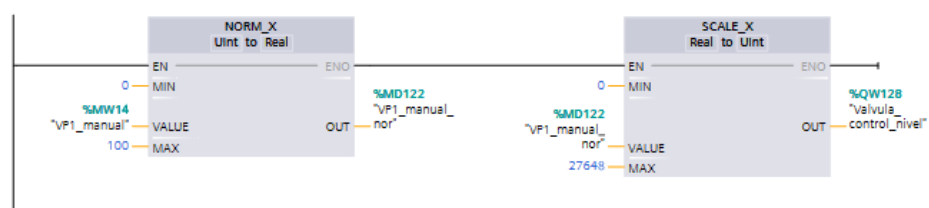


Figura B.12: Segmento 5 del bloque de programación modo manual.

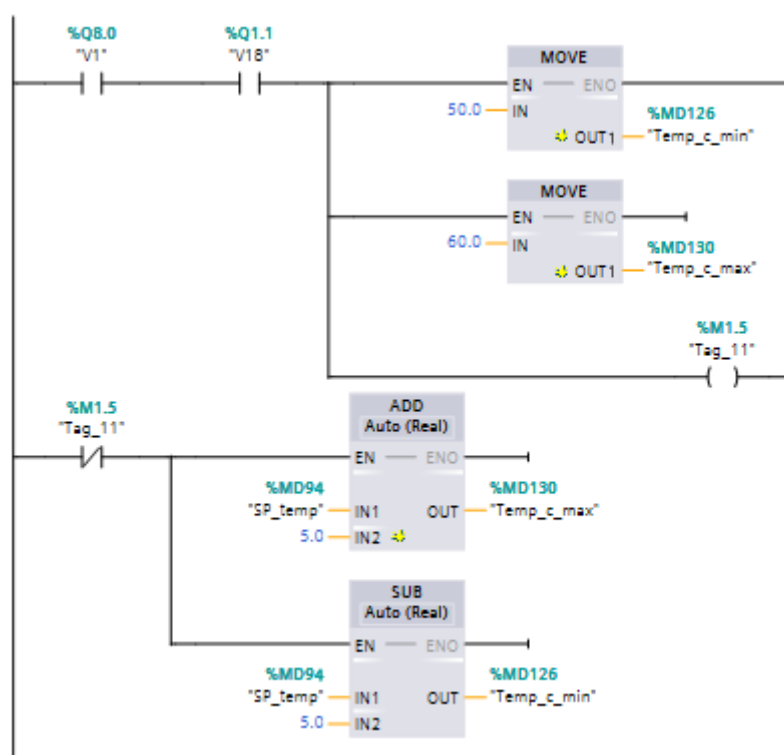


Figura B.13: Segmento 1 bloque de programación Ctrl_temp.

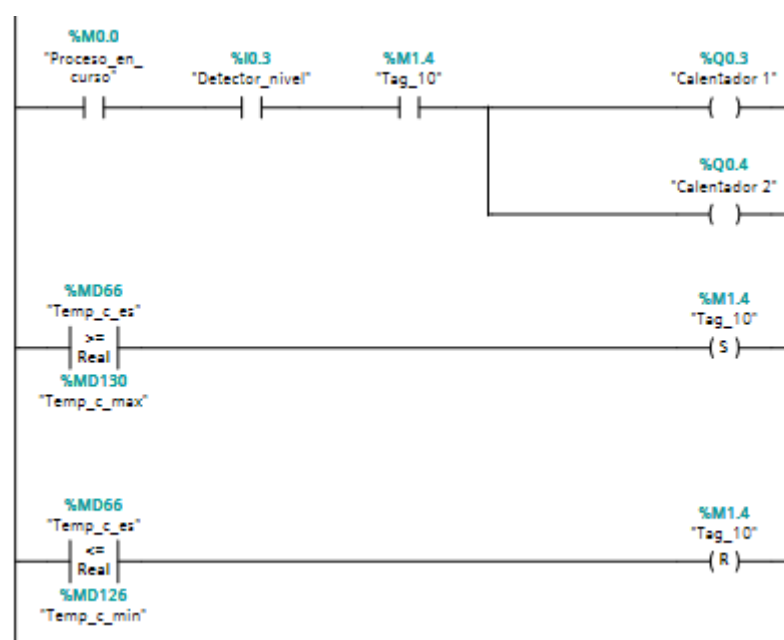


Figura B.14: Segmento 2 del bloque de programación Ctrl_temp.

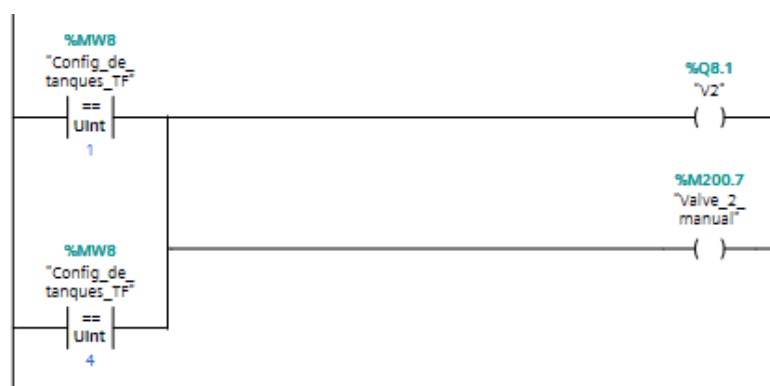


Figura B.15: Segmento 1 del bloque de programación en Tanques de tierra Fuller.

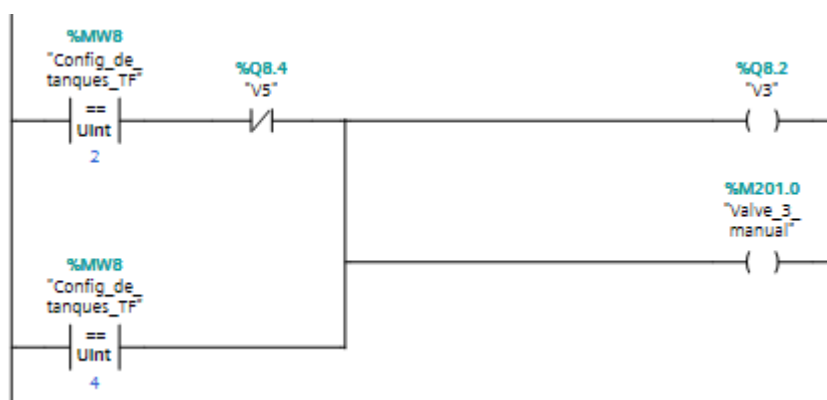


Figura B.16: Segmento 2 del bloque de programación en tanques de tierra fuller.

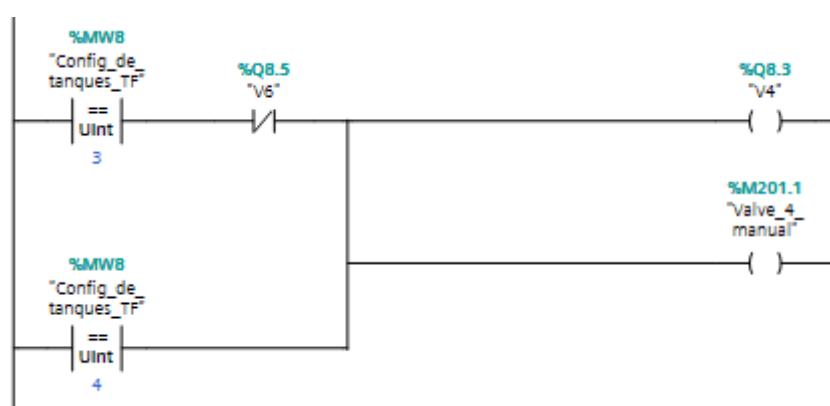


Figura B.17: Segmento 3 del bloque de programación en tanques de tierra fuller.

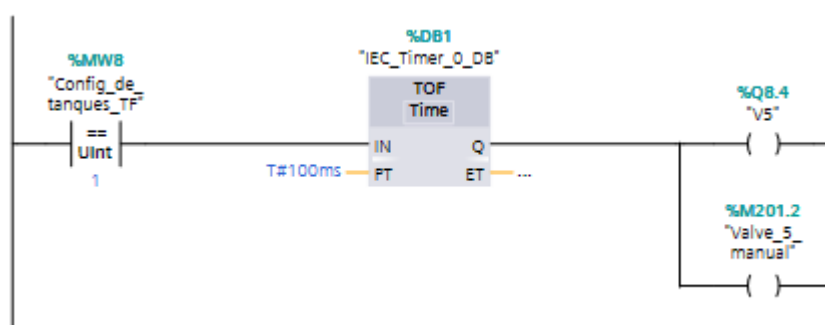


Figura B.18: Segmento 4 del bloque de programación en Tanques de tierra fuller.

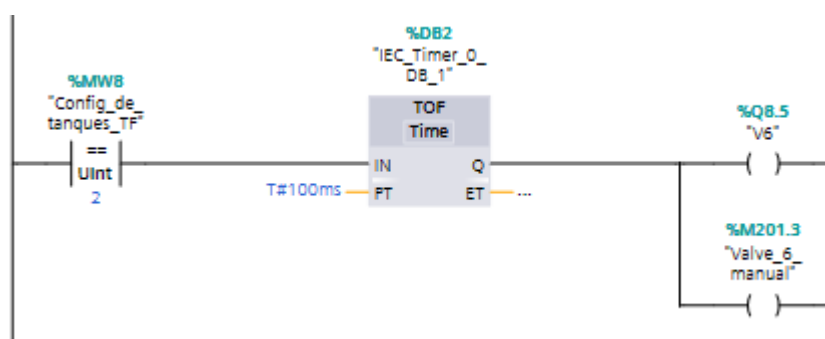


Figura B.19: Segmento 5 del bloque de programación en Tanques de tierra fuller.

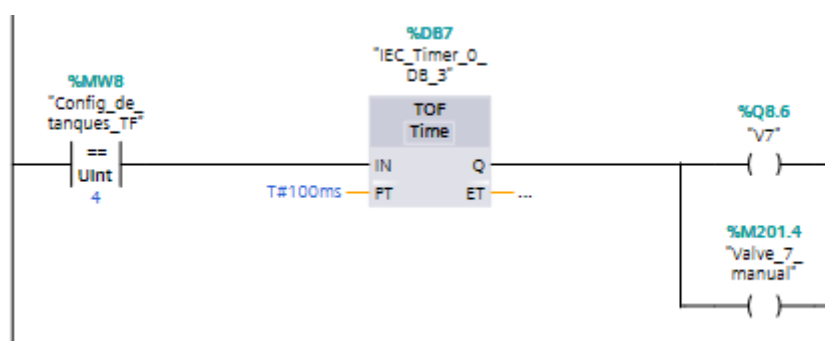


Figura B.20: Segmento 6 del bloque de programación en Tanques de tierra fuller.

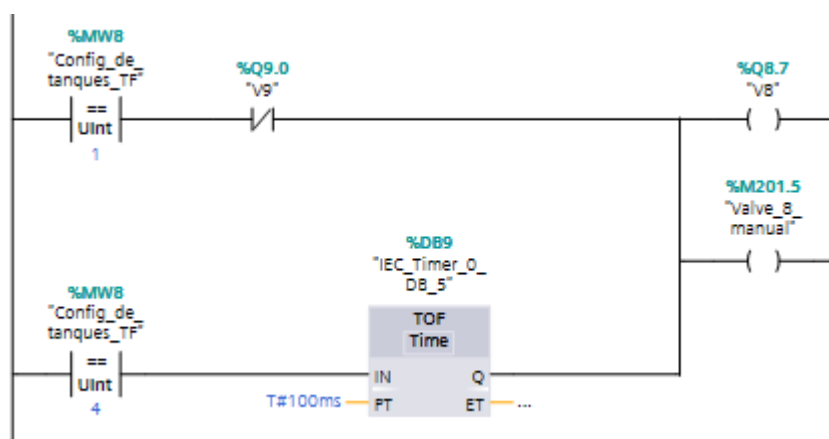


Figura B.21: Segmento 7 del bloque de programación en Tanques de tierra fuller.

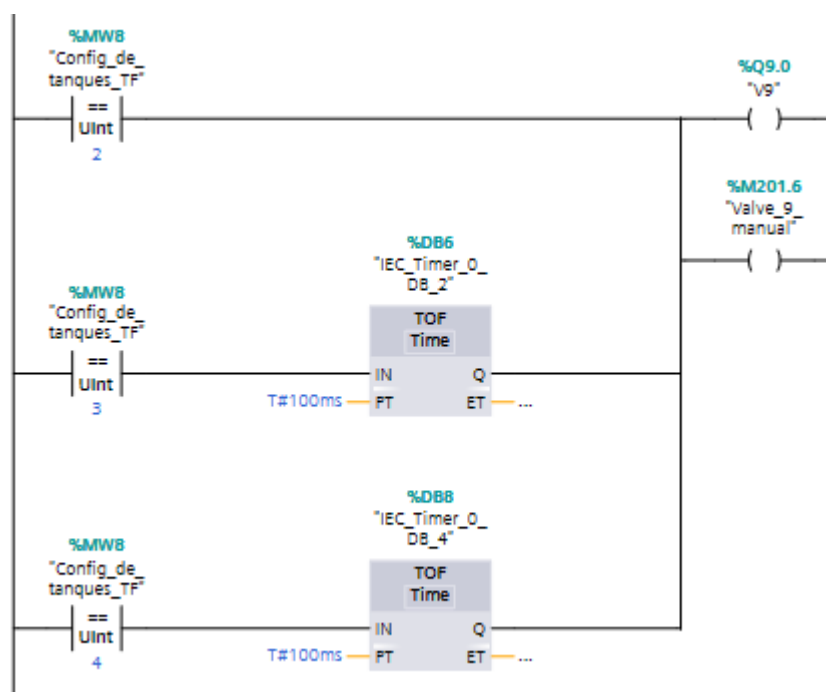


Figura B.22: Segmento 8 del bloque de programación en Tanques de tierra fuller.

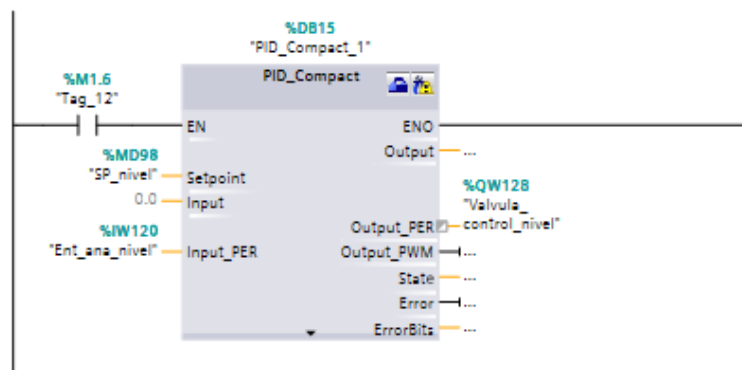


Figura B.23: Bloque de programación de interrupción cíclica para el PID.

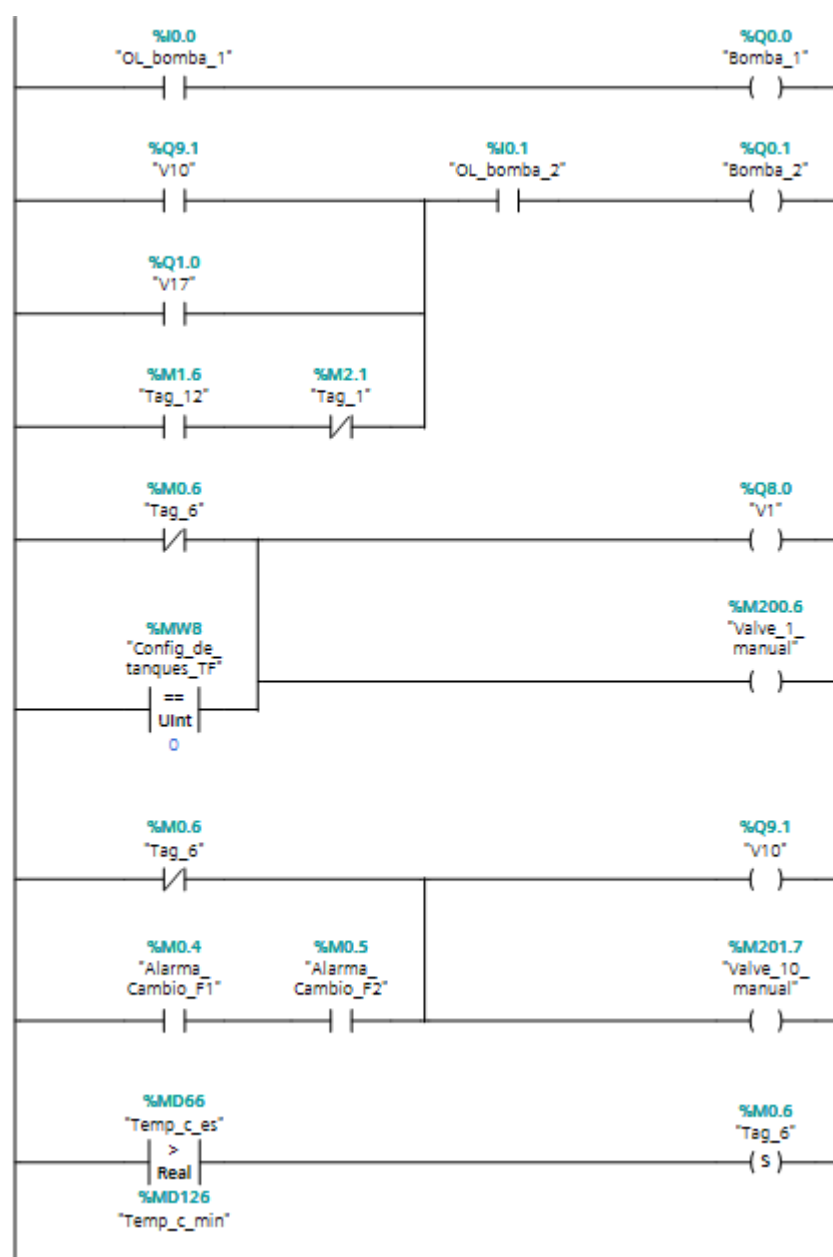


Figura B.24: Segmento 1 del bloque de programación modo automático.

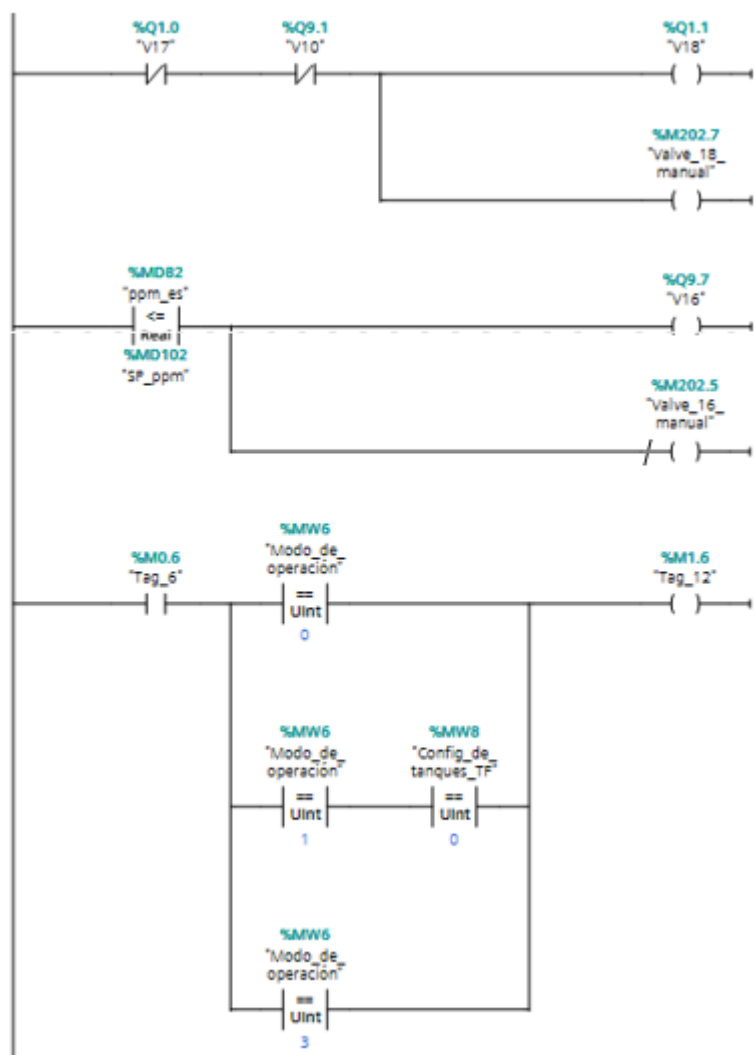


Figura B.25: Segmento 2 del bloque de programación modo automático.

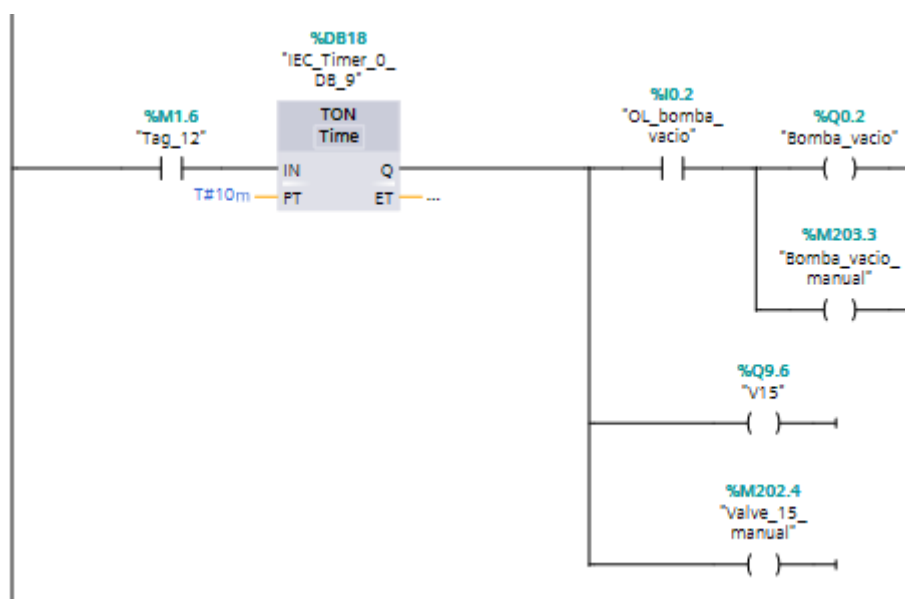


Figura B.26: Segmento 3 del bloque de programación modo automático.

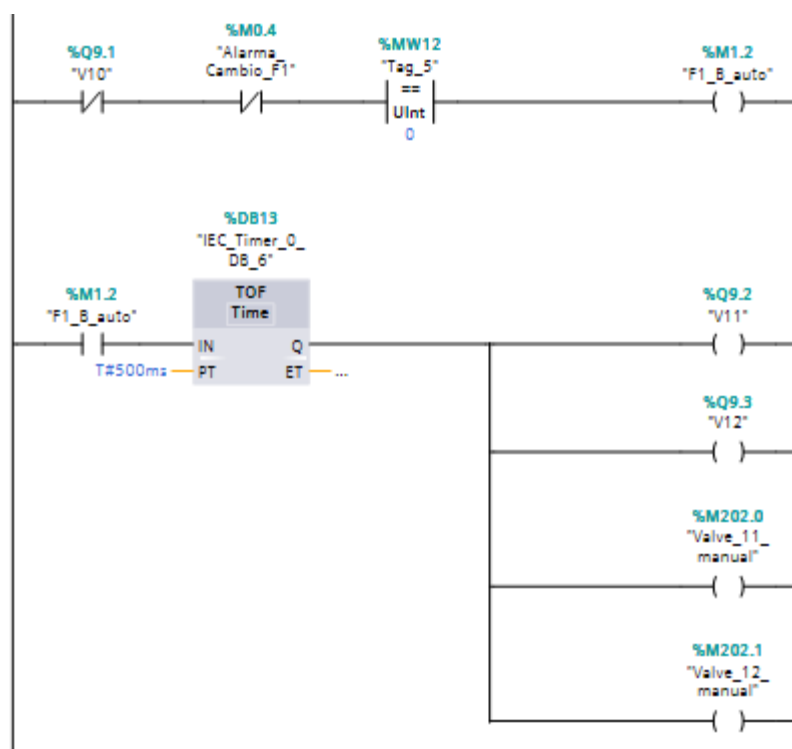


Figura B.27: Segmento 4 del bloque de programación modo automático.

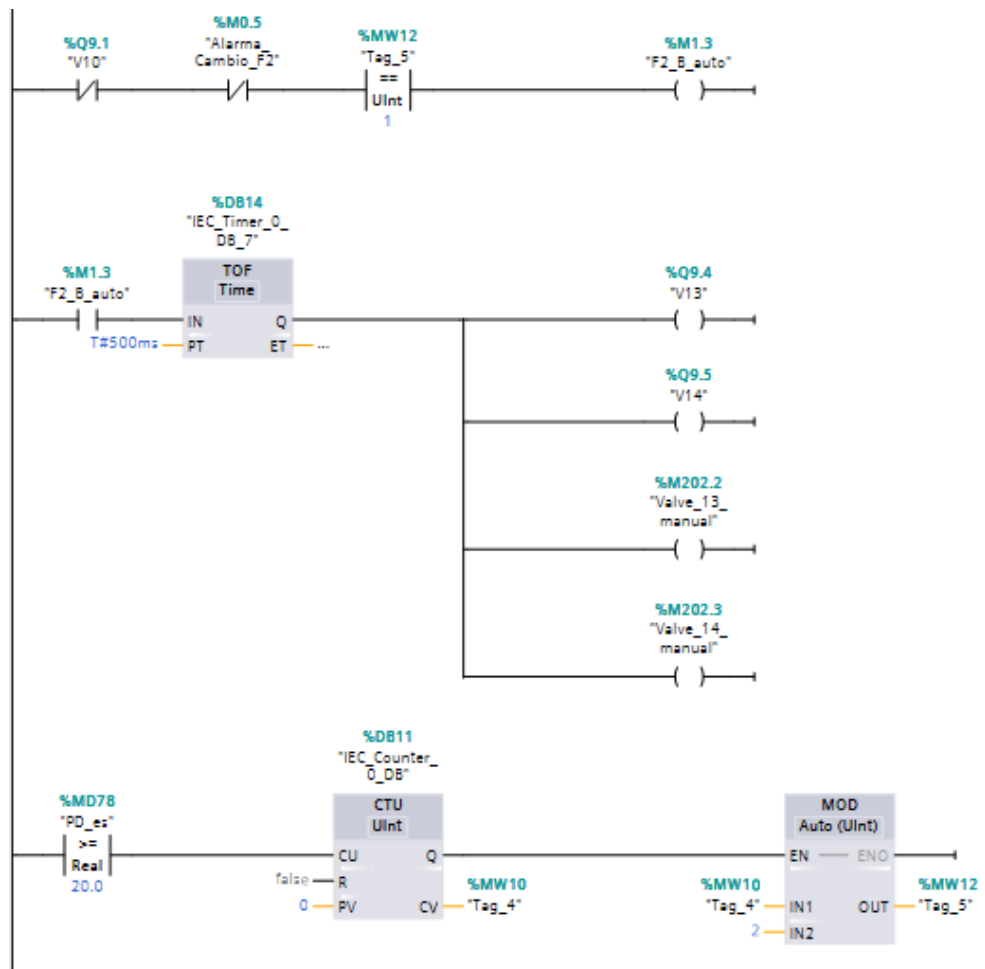


Figura B.28: Segmento 5 del bloque de programación modo automático.

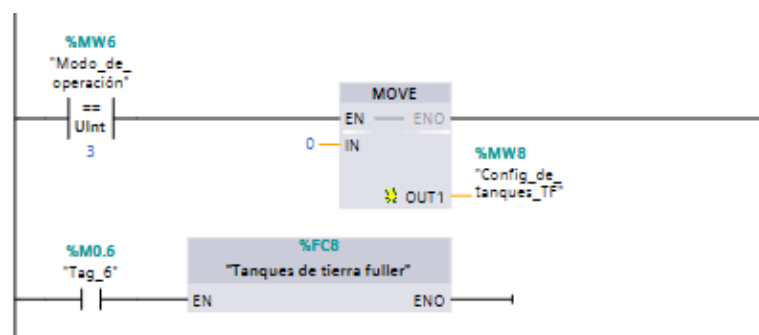


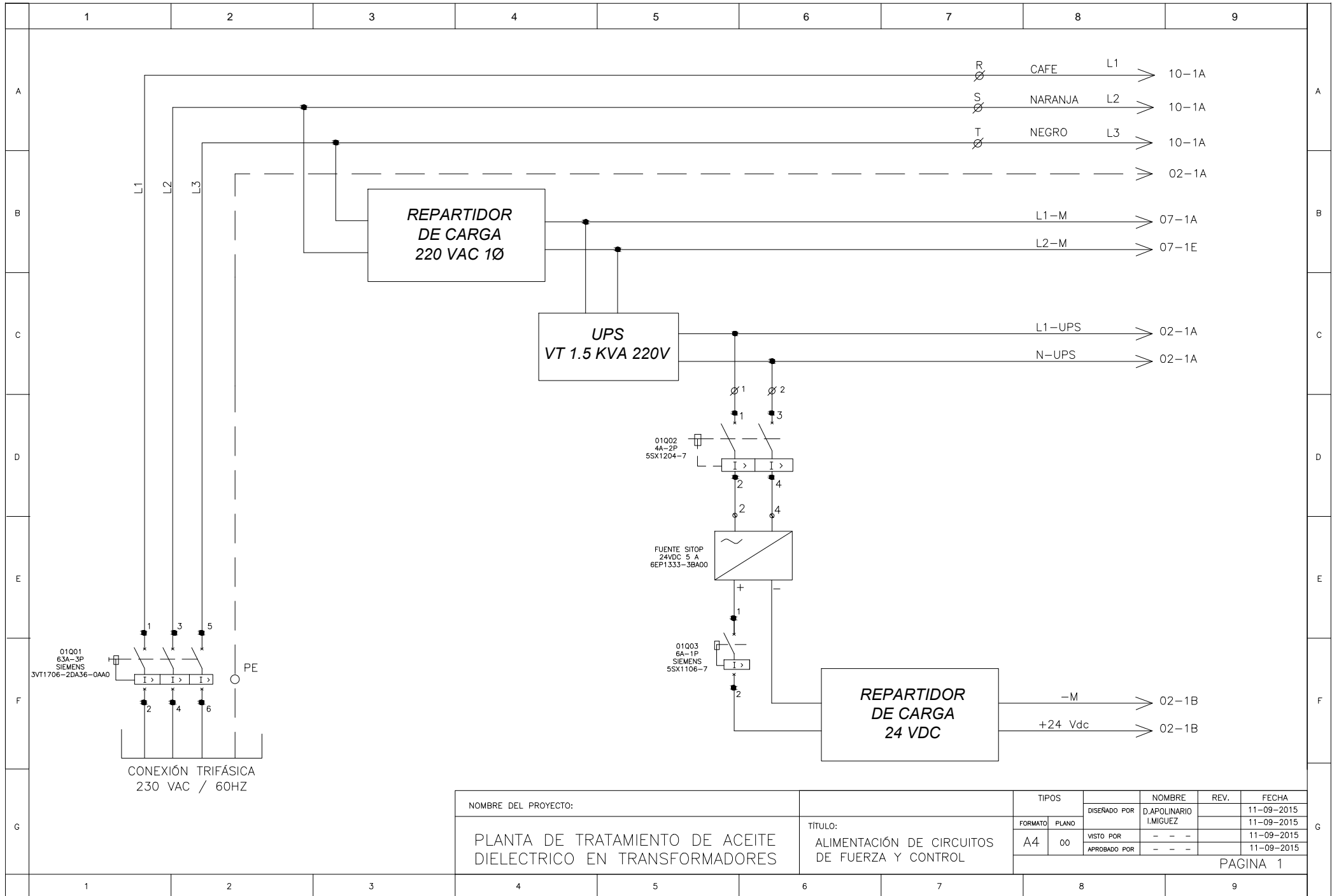
Figura B.29: Segmento 6 del bloque de programación modo automático.

SIMBOLOGIA ELECTRICA	
	DISYUNTOR DE CONTROL
	RELE
	GUARDAMOTOR
	CONTACTOR

DESCRIPCION PARA LECTURA DE PLANOS	
#.X#	PRIMER DIGITO NUMERAL: SIGNIFICA EL NUMERO DE HOJA DEL PLANO
#.X#	SEGUNDO DIGITO NUMERAL: SIGNIFICA EL CODIGO DEL ELEMENTO
#.X#	TERCER DIGITO NUMERAL: SIGNIFICA LA SUCESION O LA CANTIDAD DE VECES DEL ELEMENTO
#	IDENTIFICACION DE BORNERAS
(#)	IDENTIFICACION DEL CABLES
3.1A	

NOMENCLATURA ELECTRICA	
Q	DISYUNTOR
K	CONTACTOR
FS	FUSIBLE
C	CONDENSADOR
M	VENTILADORES
NR12	CONTROLADOR DE FACTOR DE POTENCIA
S	SWITCH DE POSICION

TÍTULO: SIMBOLOGÍA	TIPOS	NOMBRE	REV.	FECHA
	DIBUJADO POR	D. APOLINARIO		11-09-2015
	REVISADO POR	I. MIGUEZ		11-09-2015
	VISTO POR			11-09-2015
	APROBADO POR			11-09-2015
PAGINA 0				

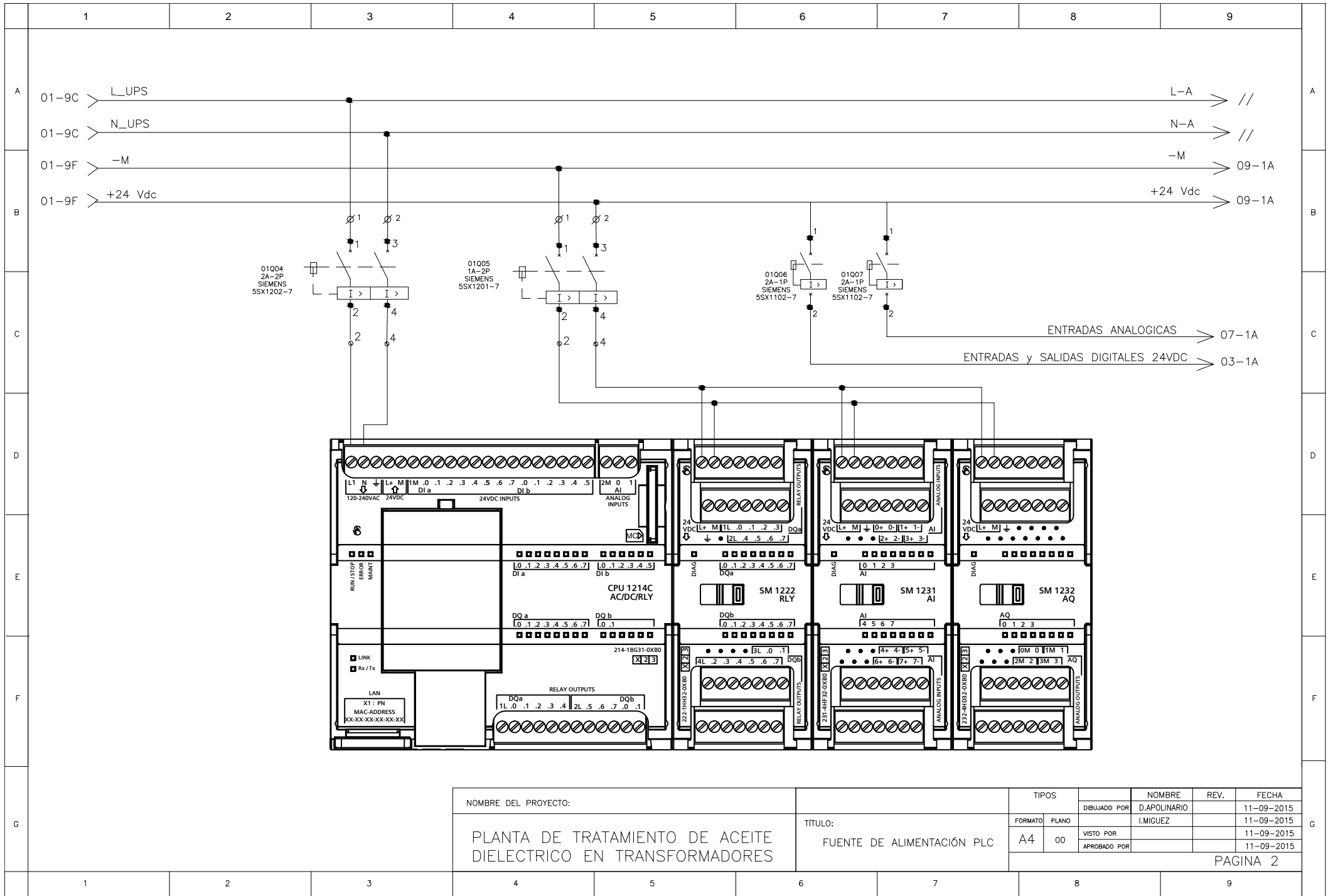


NOMBRE DEL PROYECTO:
PLANTA DE TRATAMIENTO DE ACEITE DIELECTRICO EN TRANSFORMADORES

TÍTULO:
ALIMENTACIÓN DE CIRCUITOS DE FUERZA Y CONTROL

TIPOS		NOMBRE	REV.	FECHA
DISEÑADO POR	PLANO	D.APOLINARIO L.MIGUEZ		11-09-2015
VISTO POR		- - -		11-09-2015
APROBADO POR		- - -		11-09-2015

PAGINA 1

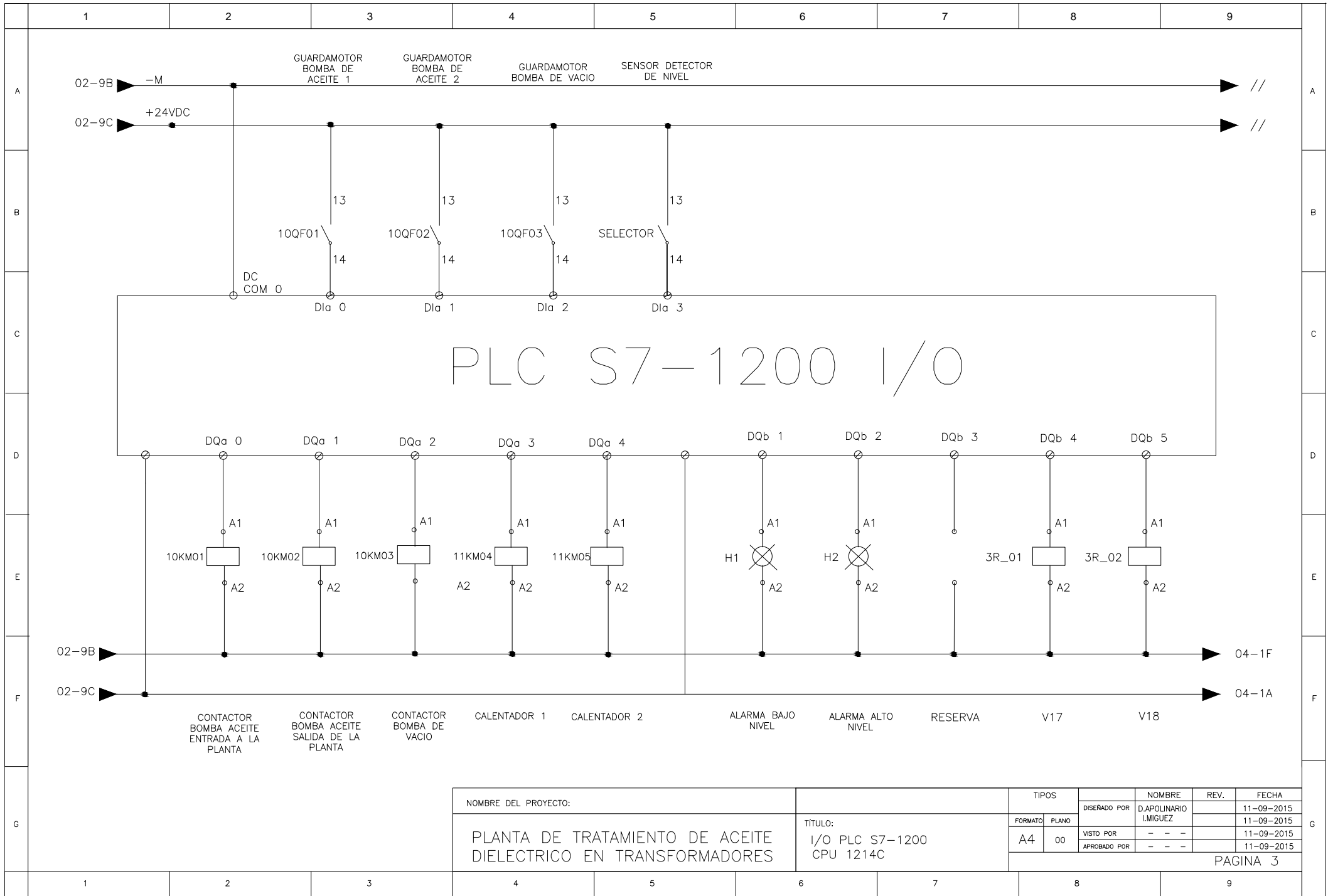


NOMBRE DEL PROYECTO:
 PLANTA DE TRATAMIENTO DE ACEITE DIELECTRICO EN TRANSFORMADORES

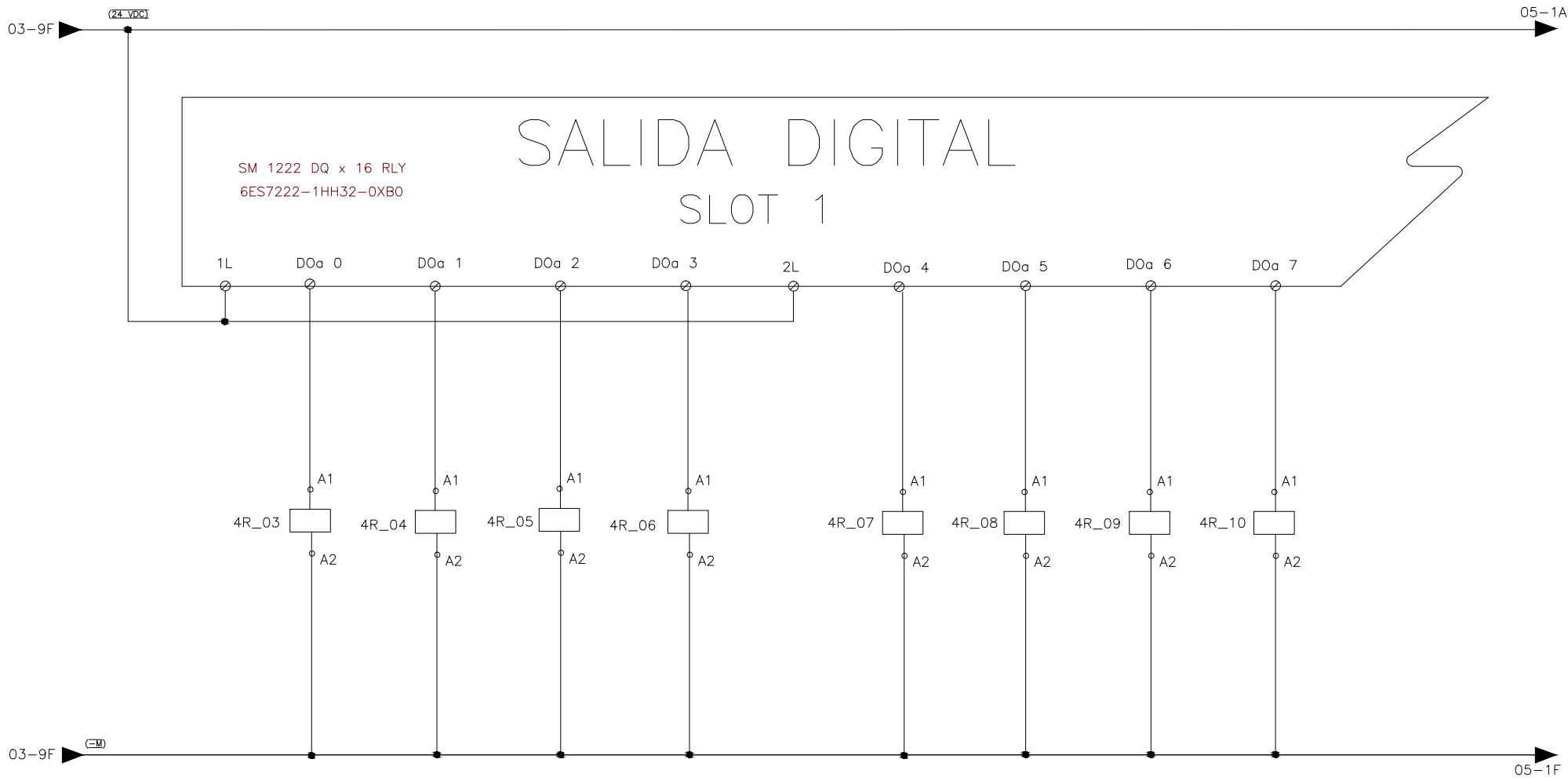
TÍTULO:
 FUENTE DE ALIMENTACIÓN PLC

TIPOS		NOMBRE	REV.	FECHA
DIBUJADO POR	PLANO	D.APOLINARIO		11-09-2015
VISTO POR		I.MIGUEZ		11-09-2015
APROBADO POR				11-09-2015

PAGINA 2



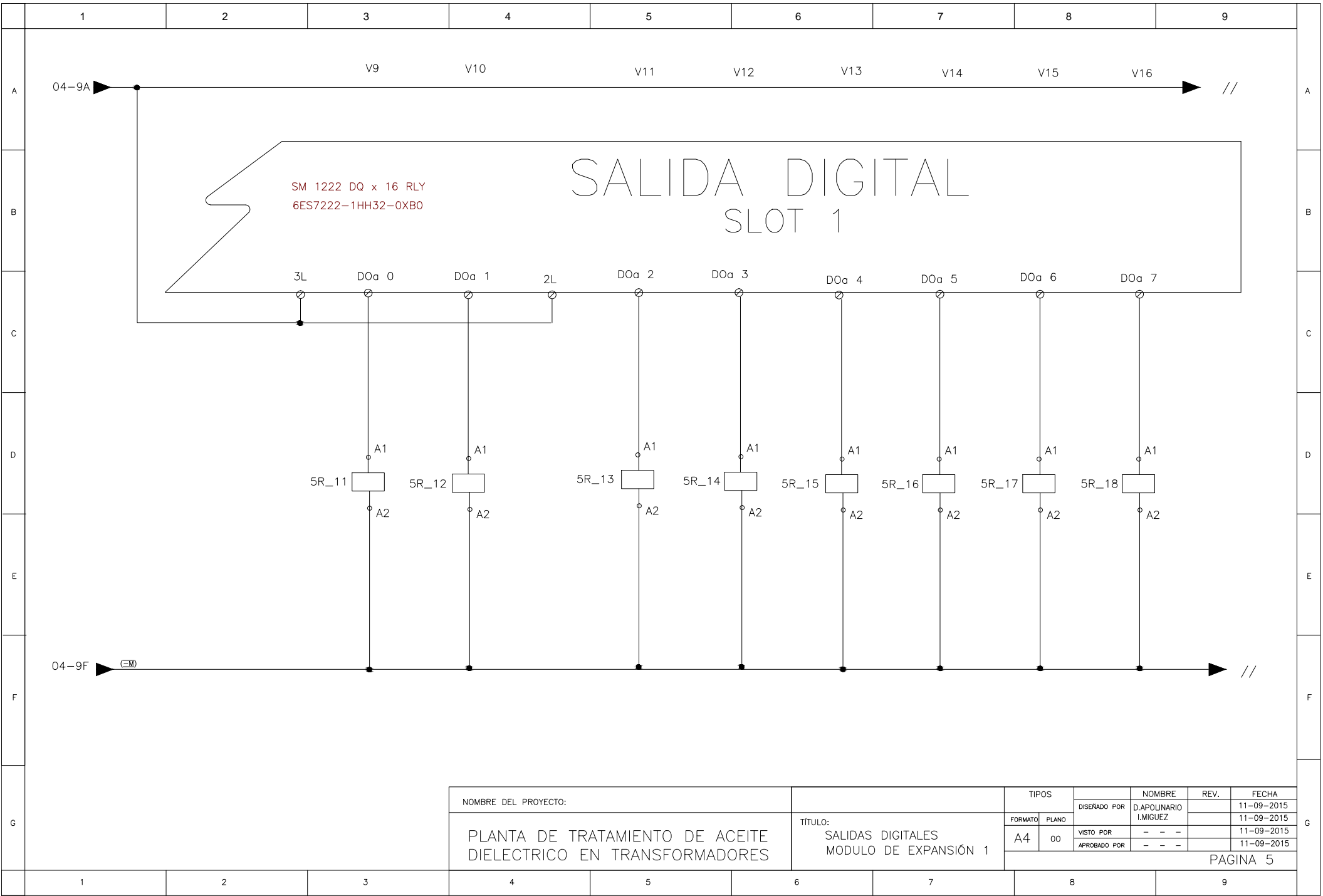
NOMBRE DEL PROYECTO:		TIPOS		NOMBRE	REV.	FECHA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE ACEITE DIELECTRICO EN TRANSFORMADORES		DISEÑADO POR		D.APOLINARIO		11-09-2015
		FORMATO		PLANO	I.MIGUEZ	11-09-2015
		VISTO POR		APROBADO POR		
TÍTULO:						PAGINA 3
I/O PLC S7-1200						
CPU 1214C						



SM 1222 DQ x 16 RLY
6ES7222-1HH32-0XB0

SALIDA DIGITAL SLOT 1

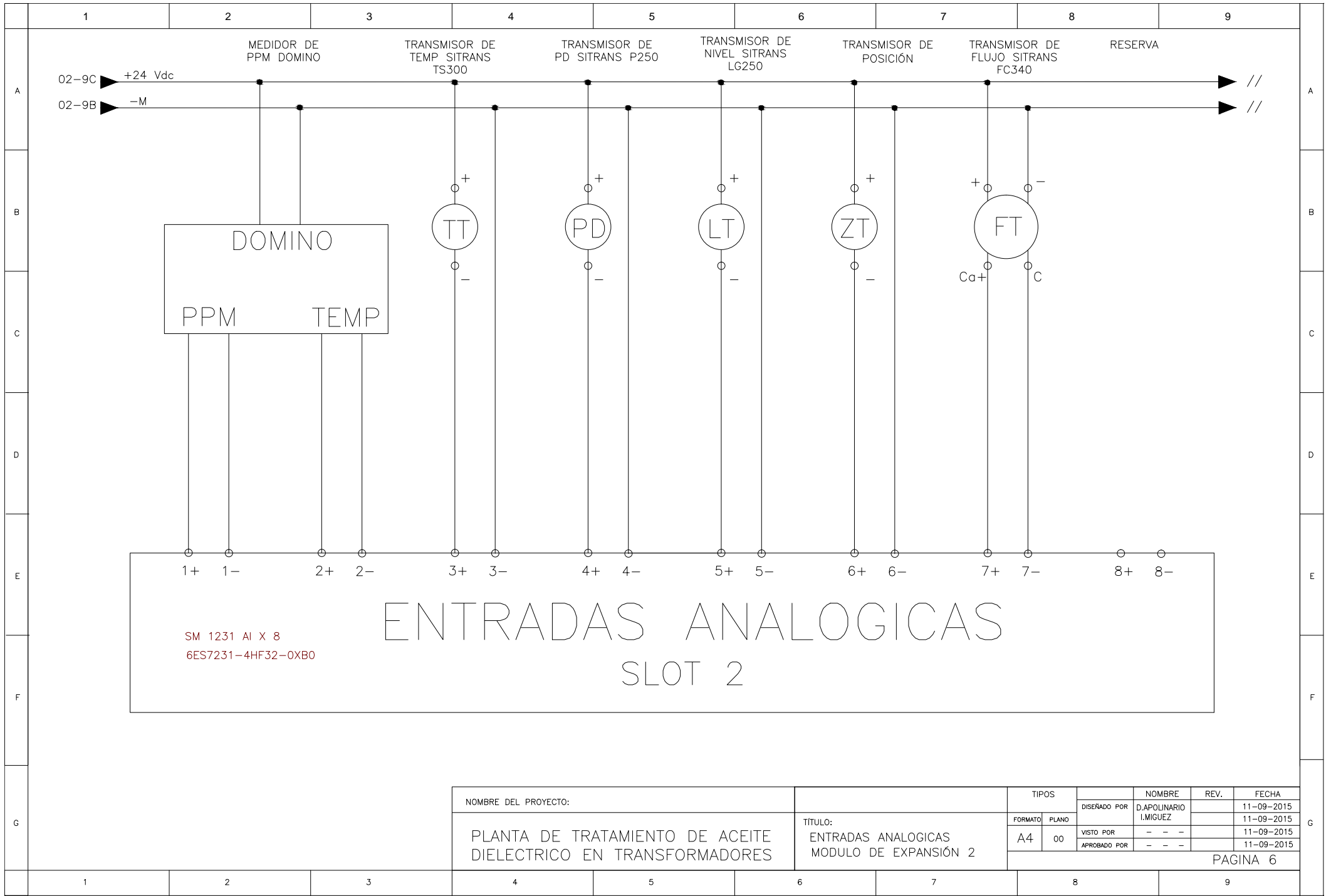
NOMBRE DEL PROYECTO:		TIPOS		NOMBRE	REV.	FECHA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE ACEITE DIELECTRICO EN TRANSFORMADORES		FORMATO	PLANO	DISEÑADO POR		11-09-2015
		A4	00	VISTO POR	D.APOLINARIO I.MIGUEZ	11-09-2015
				APROBADO POR	- - -	11-09-2015
						PAGINA 4



SALIDA DIGITAL SLOT 1

SM 1222 DQ x 16 RLY
6ES7222-1HH32-0XB0

NOMBRE DEL PROYECTO:		TIPOS		NOMBRE	REV.	FECHA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE ACEITE DIELECTRICO EN TRANSFORMADORES		DISEÑADO POR		D.APOLINARIO		11-09-2015
		FORMATO		I.MIGUEZ		11-09-2015
		PLANO		VISTO POR	- - -	11-09-2015
		A4 00		APROBADO POR	- - -	11-09-2015
						PAGINA 5



SM 1231 AI X 8
6ES7231-4HF32-0XB0

ENTRADAS ANALOGICAS SLOT 2

NOMBRE DEL PROYECTO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE ACEITE DIELECTRICO EN TRANSFORMADORES		TITULO: ENTRADAS ANALOGICAS MODULO DE EXPANSIÓN 2		TIPOS		NOMBRE	REV.	FECHA
				DISEÑADO POR	D.APOLINARIO I.MIGUEZ		11-09-2015	
		FORMATO PLANO A4 00		VISTO POR	- - -		11-09-2015	
				APROBADO POR	- - -		11-09-2015	
PAGINA 6								

SM 1232 AQ x 4
6ES7232-1HH32-0XB0

SALIDA ANALOGICA SLOT 3

AO 0

AO 0M

AO 1

AO 1M

AO 2

AO 2M

AO 3

AO 3M

Valvula
Control
Nivel

Reserva

Reserva

Reserva

NOMBRE DEL PROYECTO:

PLANTA DE TRATAMIENTO DE ACEITE
DIELECTRICO EN TRANSFORMADORES

TÍTULO:

SALIDAS ANALOGICAS
MODULO DE EXPANSIÓN 3

TIPOS

FORMATO PLANO

A4 00

NOMBRE

D.APOLINARIO

I.MIGUEZ

VISTO POR

APROBADO POR

REV.

FECHA

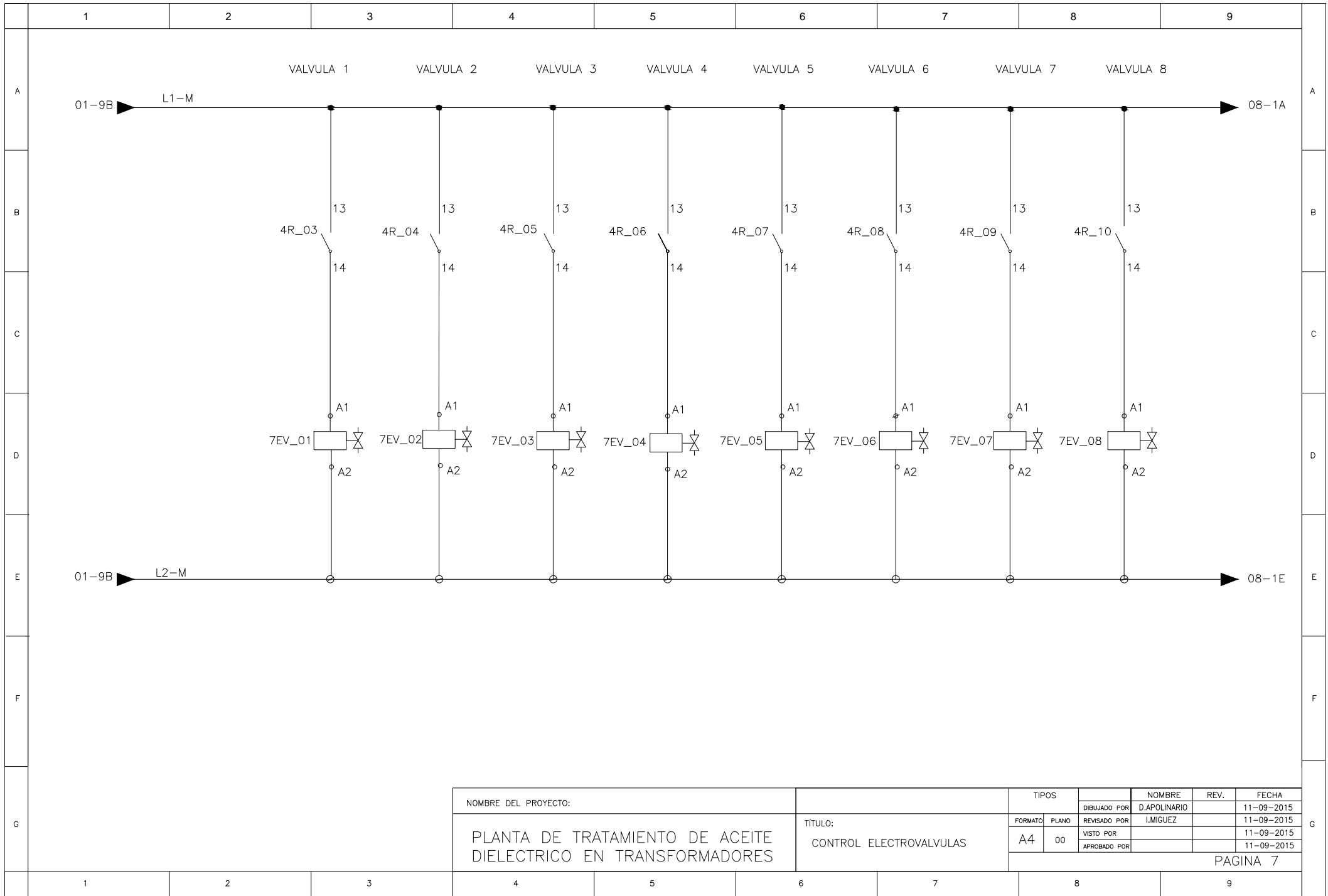
11-09-2015

11-09-2015

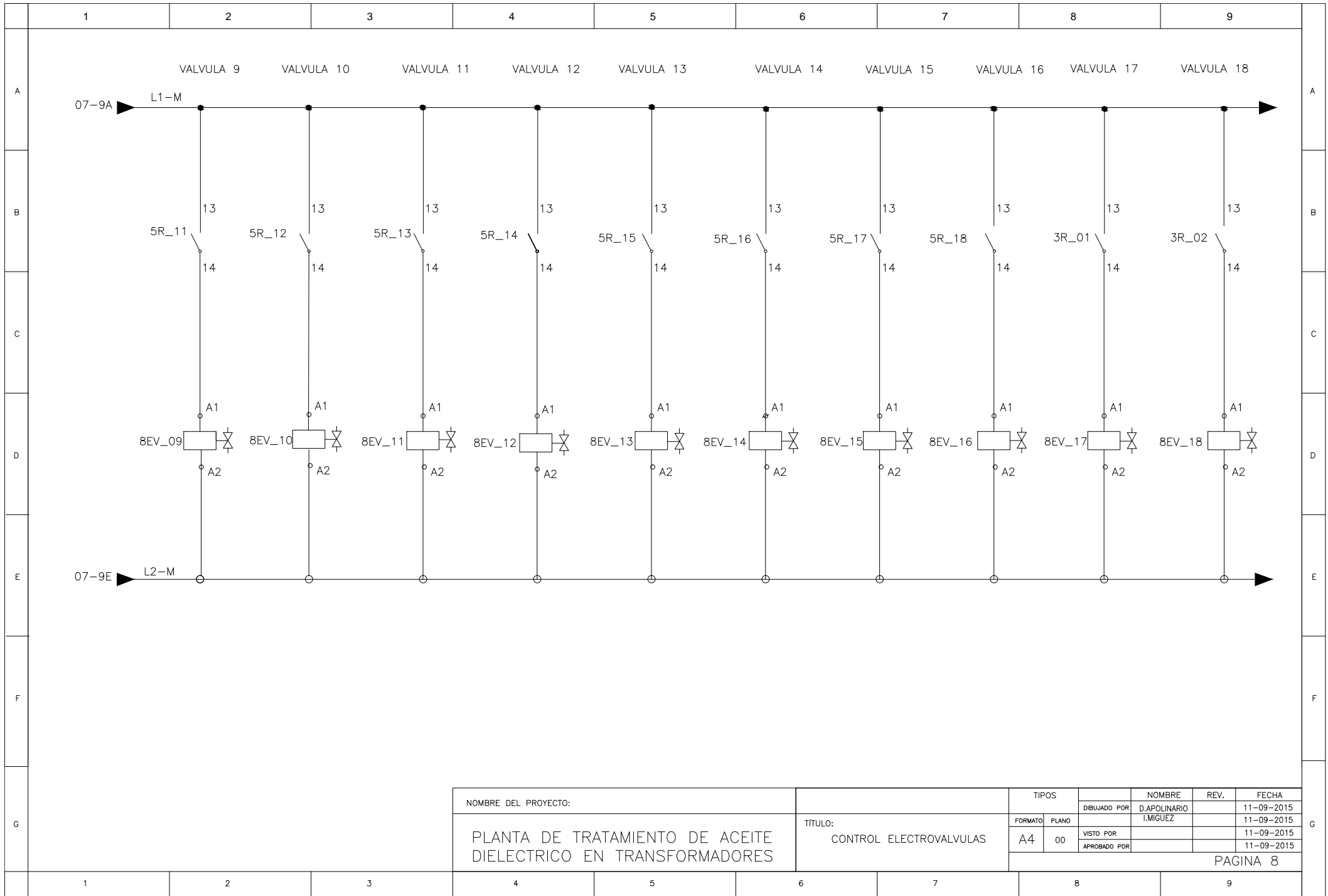
11-09-2015

11-09-2015

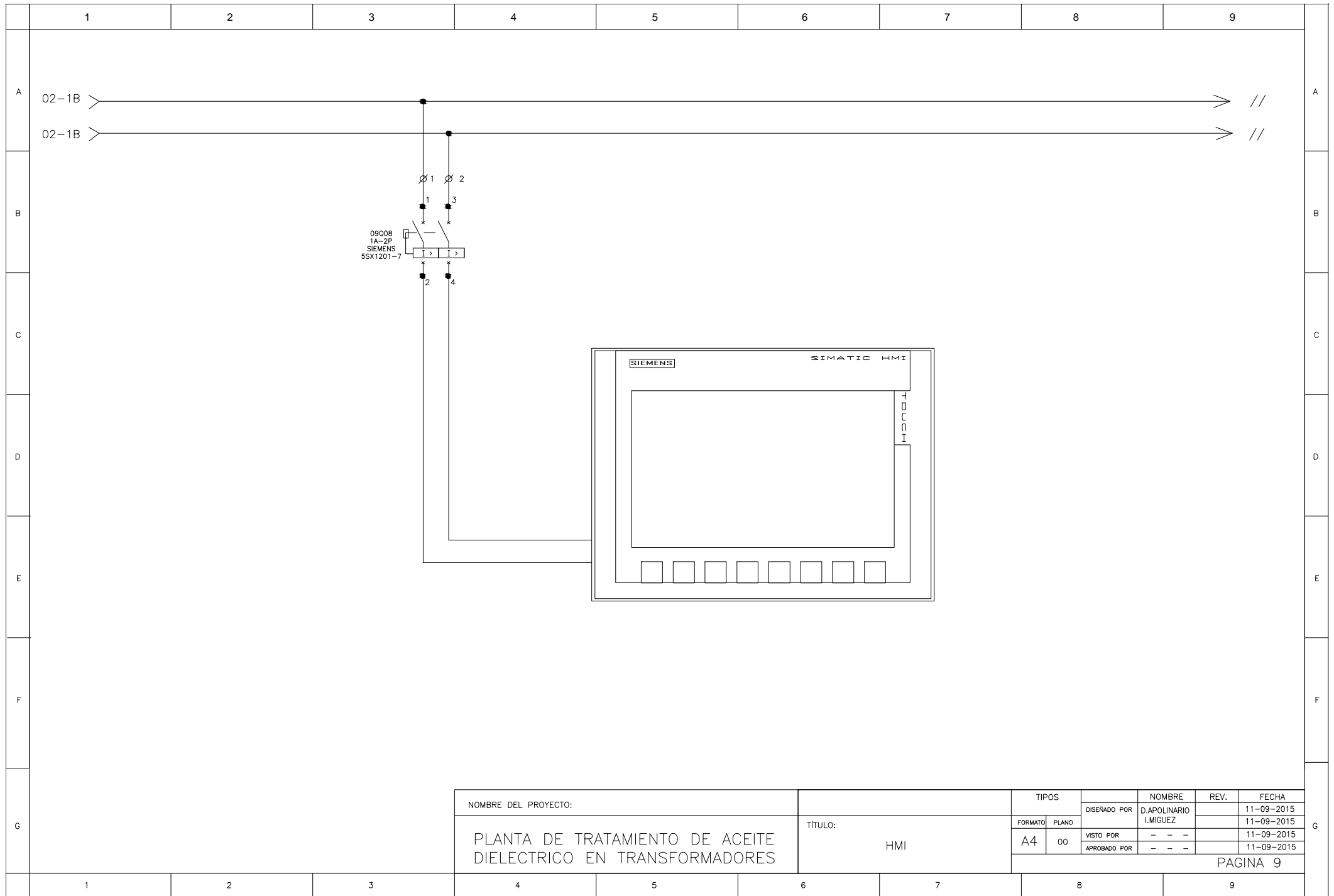
PAGINA 12



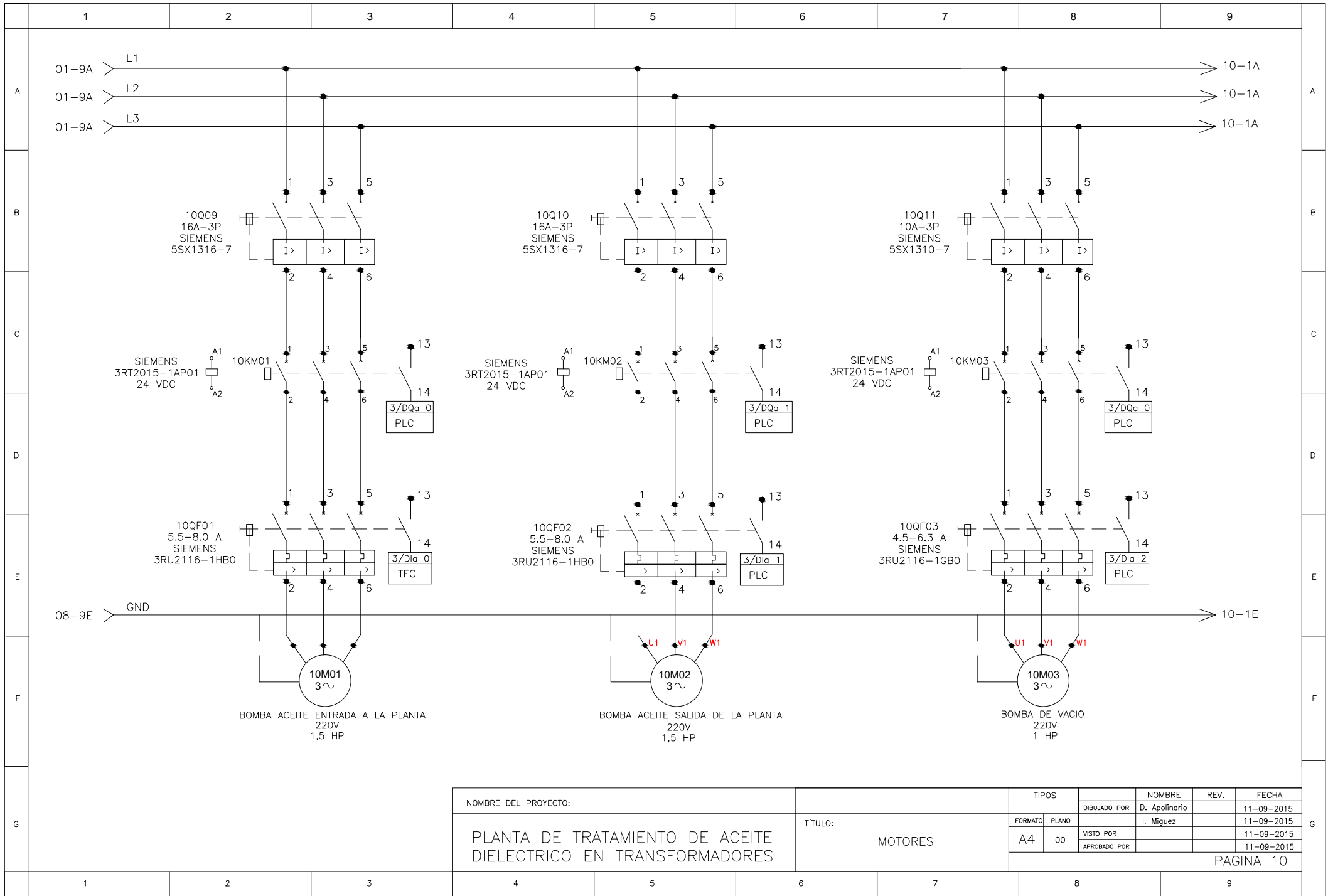
NOMBRE DEL PROYECTO:		TIPOS		NOMBRE	REV.	FECHA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE ACEITE DIELECTRICO EN TRANSFORMADORES		DIBUJADO POR		D.APOLINARIO		11-09-2015
		REVISADO POR		I.MIGUEZ		11-09-2015
		VISTO POR				11-09-2015
		APROBADO POR				11-09-2015
TITULO:		FORMATO		PAGINA 7		
CONTROL ELECTROVALVULAS		A4	00			



NOMBRE DEL PROYECTO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE ACEITE DIELECTRICO EN TRANSFORMADORES		TITULO: CONTROL ELECTROVALVULAS		TIPOS	NOMBRE	REV.	FECHA
				DIBUJADO POR	D.APOLINARIO		11-09-2015
				FORMATO	PLANO	VISTO POR	11-09-2015
				A4	00	APROBADO POR	11-09-2015
							PAGINA 8

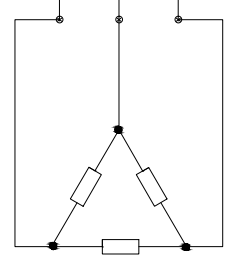
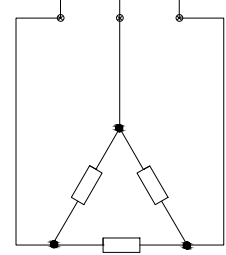
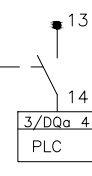
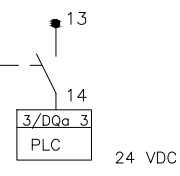
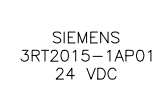
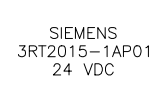
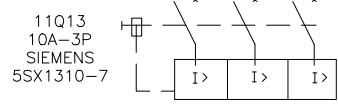
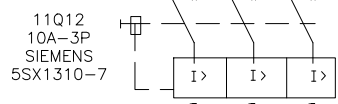
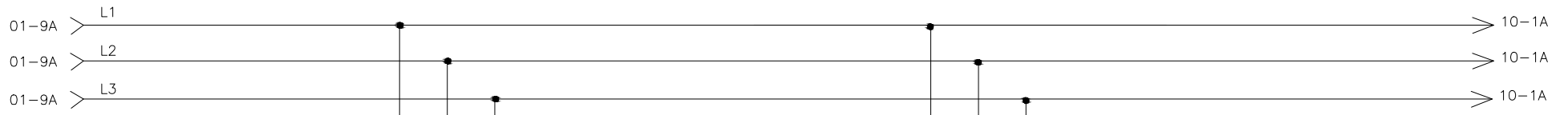


NOMBRE DEL PROYECTO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE ACEITE DIELECTRICO EN TRANSFORMADORES		TITULO: HMI		TIPOS		NOMBRE	REV.	FECHA
				FORMATO	PLANO	DISEÑADO POR D.APOLINARIO I.MIGUEZ		11-09-2015
				A4	00	VISTO POR - - -		11-09-2015
						APROBADO POR - - -		11-09-2015
								PAGINA 9



NOMBRE DEL PROYECTO:		TÍTULO:	
PLANTA DE TRATAMIENTO DE ACEITE DIELECTRICO EN TRANSFORMADORES		MOTORES	

TIPOS	NOMBRE	REV.	FECHA
DIBUJADO POR	D. Apolinario		11-09-2015
FORMATO	PLANO	I. Miguez	11-09-2015
A4	00	VISTO POR	11-09-2015
		APROBADO POR	11-09-2015



RESISTENCIA 1
220V
2KW

RESISTENCIA 1
220V
2KW

NOMBRE DEL PROYECTO:		TÍTULOS:		TIPOS	NOMBRE	REV.	FECHA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE ACEITE DIELECTRICO EN TRANSFORMADORES		DIAGRAMA DE CONTROL Y FUERZA RESISTENCIAS		DIBUJADO POR	D.APOLINARIO		11-09-2015
				REVISADO POR	I. MIGUEZ		11-09-2015
				VISTO POR			11-09-2015
				APROBADO POR			11-09-2015
PAGINA 11							