



Trabajo Fin de Grado

PARAMETRIZACIÓN DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO MEDIANTE AUTÓMATA PROGRAMABLE.

Autor/es

Nuria Julian Fabro

Director/es

Mariano Blasco Sánchez.



2015



PARAMETRIZACIÓN DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO MEDIANTE AUTÓMATA PROGRAMABLE.

RESUMEN:

En el presente trabajo final de grado, de la especialidad de electricidad, se ha analizado y ampliado los conocimientos del software TIA Portal V.12 utilizado en la asignatura de Mantenimiento Industrial y de Instalaciones Auxiliares. Además se han estudiado y verificado los conocimientos sobre los transformadores trifásicos utilizados en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y por tanto en las asignaturas correspondientes de dicho grado.

La parametrización de un transformador trifásico es uno de los temas fundamentales aprendidos en el grado de ingeniería eléctrica y si a esto, se le añade la importancia actual de poseer una automatización eficiente y segura en la industria, tenemos la necesidad de crear una dualidad máquinas eléctricas – automatización, capaz de determinar los parámetros eléctricos, la gestión de las tomas de medida y crear un entorno fácil de manejo para el usuario u operador.

Es decir, la automatización no solo sirve para crear un proceso productivo automático, sino que también se puede implementar en máquinas para así poder observar o/y determinar sus parámetros y su estado actual, además de actuar sobre ellas según las necesidades que se presenten.

En el grado de ingeniería eléctrica se explica de forma poco intensiva el manejo y control de los distintos dispositivos de automatización, tales como; PLC, multímetro SENTRON PAC3200 y pantallas de operador HMI.

Por todo lo anterior, la dualidad máquinas eléctricas – automatización y los conocimientos básicos de los dispositivos de automatización, el presente trabajo que aquí nos reúne tiene por objeto la parametrización de un transformador trifásico mediante autómata programable, utilizando el software TIA Portal V.12 de la empresa Siemens así como los elementos necesarios para llegar a tal fin.

Se ha efectuado de tal manera que sea un proceso fácil y sencillo, para poder ser incorporado al Departamento de Ingeniería Eléctrica y así ser utilizado como guía para futuras ampliaciones o un medio para mostrar la gran importancia que tiene saber enlazar o coordinar las diferentes asignaturas del grado.

Se ha incorporado teoría e información técnica de los dispositivos utilizados, además de información acerca de la comunicación utilizada, para garantizar un mejor entendimiento del proceso.

Por último, se elabora un Grafcet y la explicación del mismo, necesarios para la comprensión e interpretación del objetivo del trabajo fin de grado que nos reúne.

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D^a. Nuria Julian Fabro.

con nº de DNI 73002893 - L en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo
de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la
Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster) **GRADO** (Título del Trabajo)

PARAMETRIZACIÓN DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO MEDIANTE AUTÓMATA PROGRAMABLE.

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 21 de Septiembre de 2015



Fdo: Nuria Julian Fabro.

ÍNDICE:

MEMORIA.....	5
1. INTRODUCCIÓN	6
1. Antecedentes y finalidad.....	6
2. Objetivo.	6
3. Descripción del contenido.....	12
2. DISPOSITIVOS.	13
1. Autómata: S7-1200.	13
2. Analizador de red: SENTRON PAC3200.....	14
3. Panel de operador KTP600 Basic color PN: HMI.	14
4. Transformador trifásico.....	15
5. Transformador elevador.	16
6. Autotransformador trifásico.	16
3. SOFTWARE: TIA PORTAL v12	17
1. Autómata.....	18
2. SENTRON PAC3200.....	20
3. Pantalla HMI.....	21
4. COMUNICACIÓN.....	22
5. GRAFCET DEL PROGRAMA.....	23
6. CONCLUSIONES	33
7. BIBLIOGRAFÍA.....	34
8. GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS:.....	35
9. ÍNDICE DE IMÁGENES:.....	36
10. ÍNDICE DE TABLAS:	38
ANEXO A. DISPOSITIVOS.....	39
1. AUTÓMATA.	40
2. SENTRON PAC3200.....	43
3. PANTALLA HMI KTP600 BASIC COLOR PN	47
ANEXO B. EL TRANSFORMADOR TRIFÁSICO.....	56
1. Introducción.	57
2. Aspectos constructivos.....	57
3. Funcionamiento de un transformador real.....	64
4. Circuito equivalente del transformador.....	67
5. Ensayos del transformador.	71



6. Caída de tensión en un transformador	77
7. Pérdidas y rendimiento en los transformadores.....	78
ANEXO C. SOFTWARE TIA PORTAL V.12	80
1. AUTÓMATA	81
2. SENTRON PAC3200.....	89
3. Pantalla HMI.....	91
ANEXO D. INSTRUCCIÓN DE COMUNICACIÓN	93
1. MB_CLIENT:.....	94
ANEXO E. BLOQUE DE DATOS	97
1. TABLA BLOQUE DE DATOS.	98
ANEXO F. VARIABLES PLC	100
1. TABLA VARIABLES PLC.	101
ANEXO G. COMUNICACIÓN ETHERNET	104
1. Profinet.....	105
2. MODBUS/TCP.....	106
ANEXO H. PROGRAMA	107
1. Programa principal. OB1	108
2. FB1. Ensayo de vacío.	116
3. FB2. Ensayo de cortocircuito.....	118
4. FB 501. Toma de medidas.	123



MEMORIA.

PARAMETRIZACIÓN DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO MEDIANTE AUTÓMATA PROGRAMABLE.

Autor/es

Nuria Julian Fabro

Director/es

Mariano Blasco Sánchez.



1. INTRODUCCIÓN

1. Antecedentes y finalidad.

Ante la gran importancia de las máquinas eléctricas y la automatización en la industria además de la transcendencia del conocimiento sobre estas en el grado de ingeniería eléctrica, se ha desarrollado este trabajo con la finalidad de poder mostrar la importancia y la dualidad: máquinas eléctricas-automatización.

Por otra parte se ha querido ampliar el conocimiento y la utilización de diversas funciones del software TIA PORTAL v12.

2. Objetivo.

El objetivo del presente trabajo fin de grado es la obtención de los parámetros eléctricos del circuito equivalente de un transformador trifásico, para ello, se deberán realizar los ensayos de vacío y cortocircuito.

Para realizar estos ensayos, se utilizarán dispositivos que gestionarán el proceso, las tomas de medida y el control de la forma más automática posible. Estos dispositivos serán; autómata programable S7-1200, multímetro SENTRON PAC3200 y pantalla HMI KTP600 Basic Color PN.

El presente trabajo podrá servir como guía de utilización para la realización y comprensión de los ensayos anteriormente citados, además de los recursos utilizados de la herramienta TIA PORTAL v12, pudiendo ser implementados todos estos conocimientos en el Departamento de Ingeniería Eléctrica, en las asignaturas pertinentes a estos conocimientos.

Para lograr el objetivo, será necesario cumplir los siguientes requerimientos:

- Analizar problemas de secuencialidad.
- Estudio, análisis e implementación de procedimientos de medida utilizando el multímetro SENTRON PAC3200.
- Estudio, análisis e implementación de pantallas HMI.



1. Desarrollo del objetivo.

El objetivo del presente trabajo es la obtención de los parámetros eléctricos de un transformador trifásico, es decir, se tendrá que hallar el circuito equivalente ($Y-y$) del transformador trifásico, para ello, se hallará la rama de vacío y la impedancia de cortocircuito de dicho transformador.

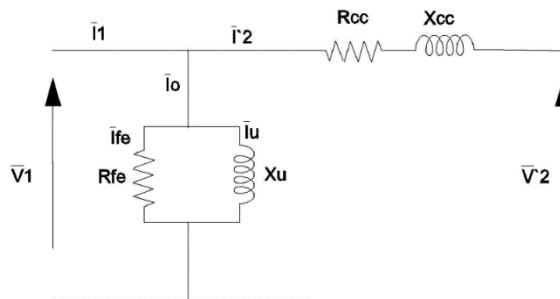


Imagen 1. Circuito equivalente aproximado del transformador.

Al objeto de estandarizar el procedimiento de obtención del circuito equivalente del transformador trifásico, se opta en todos los casos por la configuración estrella – estrella, siendo esta real o equivalente.

Para obtener la rama de vacío del circuito equivalente del transformador, se debe realizar el ensayo de vacío al transformador trifásico. Para ello, el autómata mediante programa cerrará el contactor K2M, cerrado este contacto, el multímetro SENTRON PAC3200 podrá gestionar las medidas necesarias y enviarlas vía Ethernet al autómata, donde este último efectuará las operaciones matemáticas pertinentes para la obtención de los siguientes parámetros:

- Resistencia del hierro. R_{Fe}
- Reactancia de magnetización. X_μ
- Componente activa de la corriente de vacío. I_{Fe}
- Componente reactiva de la corriente de vacío. I_μ

A continuación, se muestran los esquemas de fuerza y mando resaltando en rojo las líneas activas en el ensayo de vacío.



Esquema de fuerza:

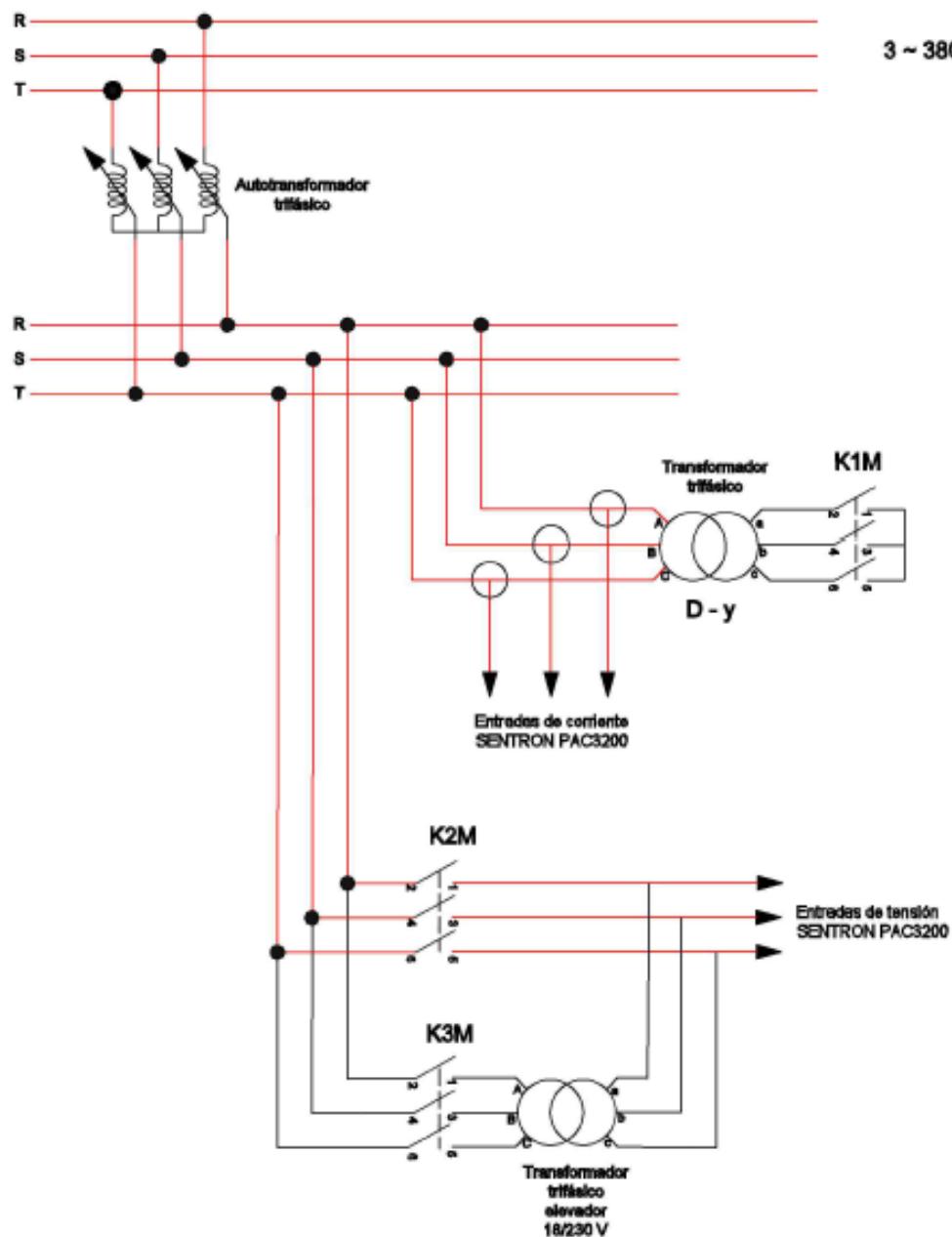


Imagen 2. Esquema de fuerza. Ensayo de vacío.

Esquema de mando:

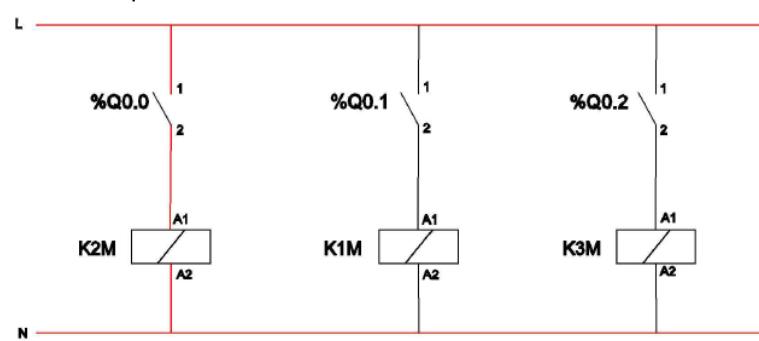


Imagen 3. Esquema de mando. Ensayo de vacío.



Para concluir con el circuito equivalente, se realizará el ensayo de cortocircuito. Este ensayo se efectúa de una manera semejante al anterior, en primer lugar el autómata mediante programa cerrará los contactores K1M y K3M, el primer contactor realizará el cortocircuito en el secundario del transformador a ensayar, y el segundo contactor será el encargado de conectar el multímetro SENTRON PAC3200 con el primario del transformador trifásico a ensayar.

Pero a diferencia del ensayo anterior, entre el contactor K3M y el multímetro SENTRON PAC3200, se deberá colocar un transformador elevador 18/230 V, ya que las tensiones en este ensayo son menores que la tensión mínima capaz de leer el multímetro, esta tensión mínima son unos 30 Voltios, por ello, elevamos la tensión para que el multímetro sea capaz de tomar las lecturas oportunas, gestionarlas y enviarlas vía Ethernet al autómata.

El autómata recibe las lecturas de voltios con la relación de transformación 18/230 V implementada, debido a esto, en dicho dispositivo se realiza por programa las operaciones matemáticas necesarias para devolver los valores de tensión a su valor real y obtener los valores de la impedancia de cortocircuito.

$$Z_{cc} = R_{cc} + jX_{cc}$$

A continuación, se muestran los esquemas de fuerza y mando resaltando en azul las líneas activas en el ensayo de cortocircuito.

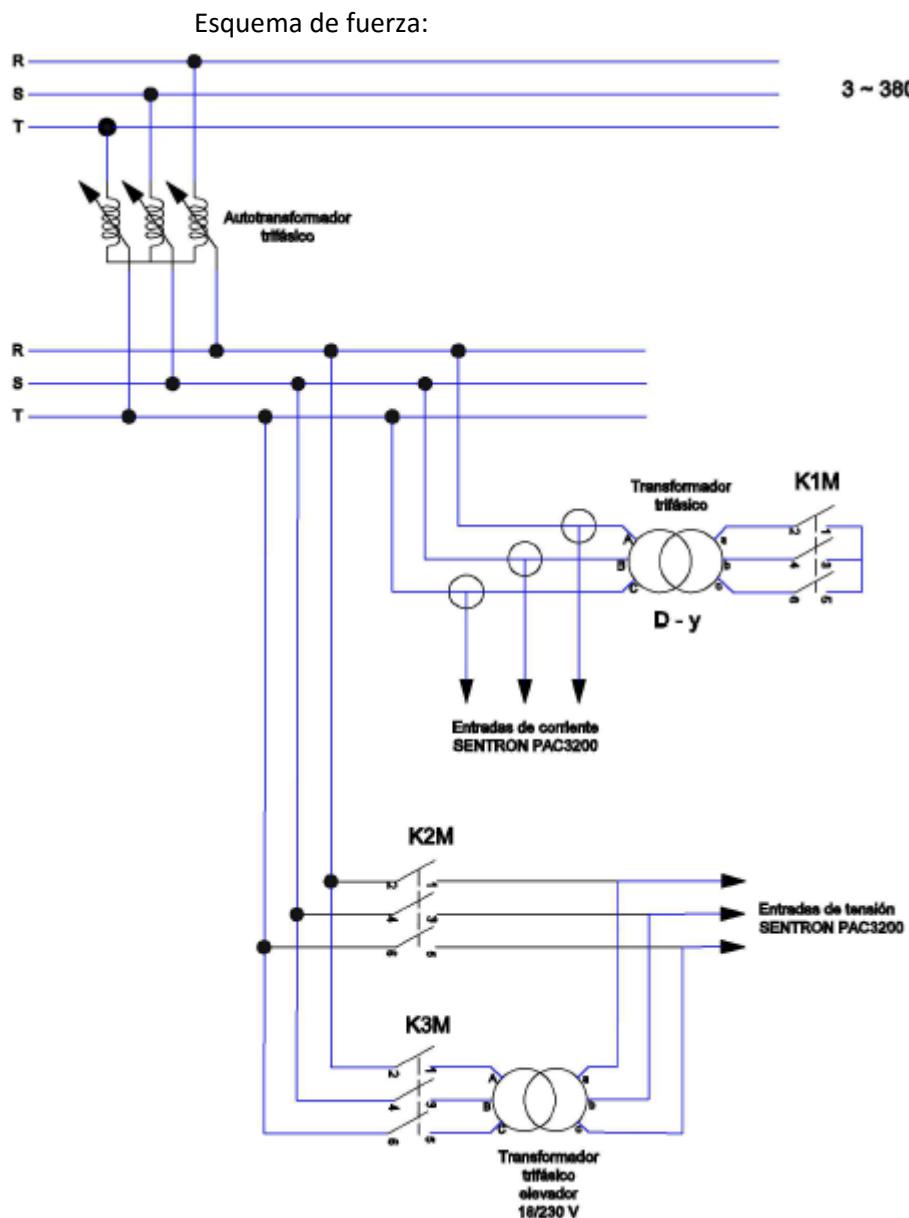


Imagen 4. Esquema de fuerza. Ensayo de cortocircuito.

Esquema de mando:

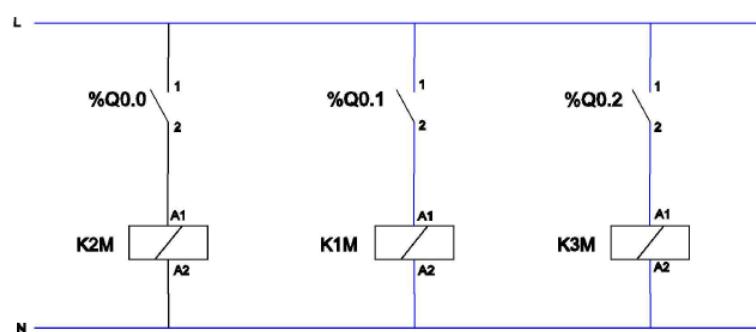


Imagen 5. Esquema de mando. Ensayo de cortocircuito.



Por último, destacar que tanto la gestión del proceso, el control y la visualización de los resultados se realizará por medio del panel de operador HMI KTP600 Basic Color PN.

En resumen; este trabajo fin de grado se caracteriza por realizar los ensayos a un transformador trifásico de la forma estandarizada pero a diferencia de lo realizado en las prácticas de la asignatura de máquinas eléctricas, se utiliza un autómata para efectuar el activado de los distintos contactores y además realizar las operaciones matemáticas oportunas, por otra parte se emplea el multímetro SENTRON PAC3200 que gestionará la toma de medidas de cada ensayo y por último una pantalla HMI con la cual se realiza el guiado por el proceso y la muestra de resultados.



3. Descripción del contenido.

En este primer capítulo se ha realizado una introducción al trabajo fin de grado donde se presenta el planteamiento y justificación del mismo, además del objetivo que se desea alcanzar.

En el segundo capítulo se realizará una enumeración y explicación de los distintos dispositivos que se van a emplear para garantizar la completa parametrización del transformador trifásico a ensayar.

El tercer capítulo se centrará en revisar y actualizar de forma general los conocimientos del software utilizado, así como de nombrar los distintos módulos de la herramienta que se han implementado.

En el cuarto capítulo se expondrá los tipos de comunicación utilizados en el trabajo que nos reúne.

El quinto capítulo constará del Grafcet del programa y la explicación del procedimiento y proceso que se sigue para garantizar la parametrización de un transformador trifásico mediante autómata programable.

En el Anexo A se elaborará una explicación detallada del PLC, SENTRON PAC3200 y de la pantalla HMI, adjuntando además de la información, las tablas de características técnicas o Data Sheet.

El Anexo B, se centrará en explicar de forma teórica los transformadores trifásicos; aspectos constructivos, funcionamiento, circuito equivalente, los ensayos a realizar, pérdidas y rendimiento de los transformadores.

En el Anexo C se expondrá la información teórica del software TIA Portal V.12, relacionada con los dispositivos utilizados; PLC, SENTRON PAC3200 y HMI. Se partirá del conocimiento básico de la herramienta por parte del lector y se ampliará con la información técnica necesaria para la comprensión de este trabajo fin de grado.

En el Anexo D se mostrará la información técnica de la instrucción de comunicación MB_CLIENT utilizada en el presente trabajo.

El Anexo E, estará constituido por la tabla de “Bloque de datos” implementada en el programa elaborado en el software TIA Portal V.12.

El Anexo F constará de la tabla de “Variables PLC” incluida en el programa diseñado en el software TIA Portal V.12.

En el Anexo G, se expondrá de forma teórica la comunicación utilizada en el trabajo que nos reúne, comunicación Profinet. Y se expondrá los tipos de conexión Ethernet posibles y el tipo de comunicación Modbus TCP implementado en el presente trabajo.

En el Anexo H, se detallará el programa diseñado e implementado para cumplir el objeto del presente trabajo final de grado.



2. DISPOSITIVOS.

El presente trabajo se inicia con este capítulo exponiendo los elementos físicos utilizados para la obtención de los parámetros eléctricos de un transformador trifásico.

1. Autómata: S7-1200.

Para la realización de la programación del presente proyecto se usará un autómata, siendo capaz de controlar una gran variedad de dispositivos en diferentes sistemas de automatización.

El autómata utilizado en el trabajo fin de grado que nos reúne, es de la marca SIEMENS y modelo S7-1200, con una CPU 1214 AC/DC/Rly cuya referencia es 6ES7 214-1BE30-0XB0 y la versión del firmware es v2.2.



Imagen 6. PLC Simatic S7-1200. Siemens.

Se remite al lector al Anexo A, donde podrá encontrar información sobre este dispositivo además de una tabla con las funciones y características (Data sheet) correspondientes a la CPU del autómata que se usa en el presente trabajo fin de grado.



2. Analizador de red: SENTRON PAC3200.

El multímetro empleado en este trabajo o analizador de red es el SENTRON PAC3200, será utilizado para visualizar y tomar las medidas necesarias durante el proceso de realización de los ensayos al transformador trifásico.



Imagen 7. SENTRON PAC3200. Siemens.

En el Anexo A, se amplía la información técnica de este dispositivo y además se exponen unas tablas con las funciones y características correspondientes. (Data sheet).

3. Panel de operador KTP600 Basic color PN: HMI.

La pantalla HMI que vamos a utilizar en este T.F.G, será una HMI modelo: KTP600 Basic color PN del fabricante Siemens. Dispone de una pantalla de 5,7" de TFT, la resolución es de 320 x 240 pixeles y 256 colores. El manejo además de ser táctil puede realizarse por teclado, dispone de 6 teclas de función y un puerto PROFINET.

Podemos destacar que es un panel de operador de última generación con una memoria interna suficiente para almacenar programas de grandes dimensiones.



Imagen 8. HMI KTP600 Basic color PN. Siemens.

Se remite al lector al el Anexo A, donde se expone información técnica sobre el dispositivo de la pantalla HMI KTP600 Basic color PN del fabricante Siemens.



4. Transformador trifásico.

Este transformador será el que se someta a los ensayos de vacío y cortocircuito, es decir, el transformador del que hallaremos los parámetros eléctricos.

Dispondremos de un transformador trifásico, cuya placa de características es la siguiente:

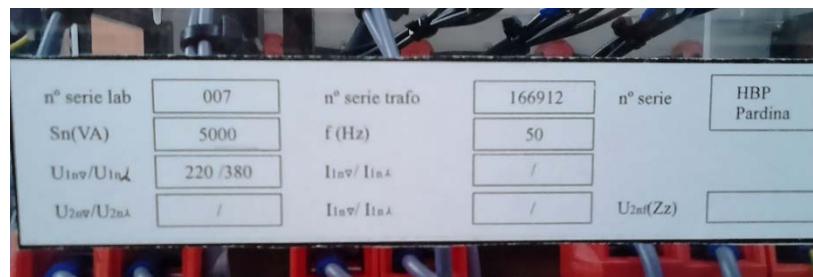


Imagen 9. Placa de características del transformador entrenador trifásico.

Las siguientes imágenes muestran el transformador trifásico utilizado para implementar este trabajo final de grado:



Imagen 10. Transformador entrenador trifásico.

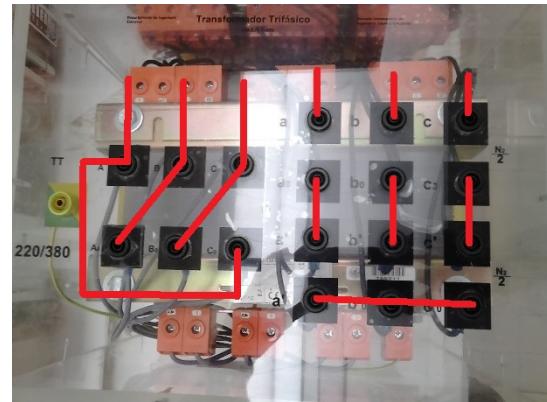


Imagen 11. Conexión del transformador entrenador trifásico.

El transformador entrenador permite realizar conexiones zig-zag en el secundario, para lo cual, las bobinas aparecen divididas en 2 partes. Opción que no resulta de interés en el trabajo que nos ocupa.

En el primario se realizará una conexión triángulo (Δ) y en el secundario en estrella (Y). Así tendremos una relación de transformación de: 230/400 V.

En el Anexo B, se explica de forma teórica todos los conocimientos de los transformadores necesarios para la comprensión y la realización de este trabajo.



5. Transformador elevador.

Se necesita de la utilización de un transformador elevador en el caso del ensayo de cortocircuito, ya que las tensiones que medirá el multímetro en este ensayo son muy pequeñas e inapreciables para éste. Por lo que elevaremos estas tensiones para poder ser medibles por el SENTRON PAC3200, pero por programa se deshará esta elevación de tensión, teniendo en cuenta la relación de transformación del transformador, dicha relación de transformación será: 18/230 V.

La imagen siguiente muestra el transformador elevador utilizado insertado en una caja por seguridad.



Imagen 12. Transformador trifásico elevador.

6. Autotransformador trifásico.

Dispondremos de un autotransformador trifásico para poder modificar las tensiones de alimentación del transformador trifásico y así poder realizar los ensayos de una manera efectiva.

En la siguiente imagen se muestra el autotransformador trifásico utilizado en el presente trabajo.



Imagen 13. Autotransformador trifásico.



3. SOFTWARE: TIA PORTAL v12

Este tercer capítulo se centra en revisar y actualizar de forma general los conocimientos del software utilizado, así como la utilización de los distintos módulos de la herramienta.

En este capítulo, partiremos de la idea de que el lector de este trabajo final de grado tiene las nociones básicas del software y nos centraremos en los módulos e instrucciones usadas en el programa que nos ocupa.

En primer lugar se realizará un resumen de la iniciación del programa y a continuación se expondrán las características, módulos, funciones, instrucciones,... de cada dispositivo utilizado en este trabajo fin de grado.

A continuación, se expone a modo de resumen y recordatorio las nociones básicas iniciales de la utilización de este software.

Una vez abierto el programa y creado un proyecto nuevo, se deberá realizar la configuración del dispositivo; en primer lugar se configurará el PLC y si es necesario la pantalla HMI. Para realizar la configuración del PLC, se tendrá en cuenta la CPU que dispone el autómata y para el caso de la HMI, se tendrá en cuenta el modelo de pantalla utilizado.

Una vez que tenemos la configuración de los dispositivos utilizados, se deberá realizar la comunicación de ellos con el PC que estamos utilizando para la programación y transferencia del programa que más adelante se diseñará.

La comunicación se establecerá cuando las direcciones IP de cada dispositivo tengan los tres primeros octetos de números iguales y el cuarto octeto diferente, además la puerta de enlace del PC tendrá que tener los tres primeros octetos de números iguales a la dirección IP y el último será el número 254. Y por último la dirección MAC del PC deberá ser de la siguiente forma, 255.255.255.0.

Destacar que, los distintos dispositivos que tengan los tres primeros campos de las direcciones IP iguales, permanecerán a la misma subred.

A continuación se adjunta una tabla donde se muestran las direcciones IP de los dispositivos a utilizar en el presente trabajo, además de la puerta de enlace y la dirección MAC del PC:

COMUNICACIÓN	
Dirección IP del PC	155.210.29.135
Dirección IP del PLC	155.210.29.139
Dirección IP del SENTRON PAC3200	155.210.29.137
Dirección IP de la HMI	155.210.29.133
Dirección MAC del PC	255.255.255.0
Dirección de enlace del PC	155.210.29.254

Tabla 1. Comunicación. Direcciones.



Una vez realizados los pasos anteriores, se puede proceder al diseño del programa y las pantallas correspondientes, en Anexo H, se realiza una explicación minuciosa del programa implementado segmento a segmento, y en el capítulo 5 de la presente memoria, se expone un Grafcet con su correspondiente explicación para la realización del cometido de este trabajo fin de grado.

A continuación, vamos a enumerar los elementos más importantes relacionados con cada dispositivo que serán implementados en el trabajo que nos ocupa.

Es en el Anexo C es donde se explica de forma detallada cada elemento que a continuación se cita.

1. Autómata.

En el autómata se realizará el diseño del programa, este diseño estará compuesto por un programa principal (OB1) del cual se llamarán a bloques de funciones (FB).

2. Programa principal.

El programa principal (OB) es un bloque de organización, los cuales constituyen la interfaz entre el sistema operativo y el programa de usuario, es decir, determinan la estructura de usuario.

A continuación, se expone una enumeración de los elementos y funciones que se han implementado en el OB1.

• OPERACIONES LÓGICAS CON BITS:

Estas instrucciones están dispuestas a lo largo de todo el programa, ya que el programa está diseñado con lenguaje KOP (Esquema de contactos), es decir, utiliza los estados lógicos “1” y “0” para activar, desactivar y/o realizar la acción determinada en el programa. KOP es un lenguaje de programación gráfico.

• BLOQUES DE DATOS INSTANCIA (DB):

Cuando se llama a un bloque de función (FB), se le asignan los bloques de datos instancia (DB), en los que se almacenan los datos de programa, es decir, la llamada de un bloque de función se denomina instancia y los datos con los que trabaja la instancia se almacenan en un bloque de datos instancia.

• FUNCIONES MATEMÁTICAS:

Las funciones matemáticas son instrucciones básicas capaces de realizar una función matemática. Estas instrucciones obtienen un resultado o salida (OUT) a partir de un determinado número de entradas (IN), siempre que el tipo de datos establecido en el bloque de la instrucción matemática sea el adecuado.



- **COMPARACIÓN:**

La comparación, al igual que las funciones matemáticas son instrucciones básicas y son capaces de realizar una comparación entre varias entradas (EN) y devolver un estado lógico “1” ó “0”, dependiendo del resultado afirmativo o negativo de la comparación en una salida (OUT).

Recordamos que en el Anexo C se detalla la lista completa de todas las instrucciones básicas y funciones implementadas en el programa del presente trabajo.

3. Bloque de funciones.

Los bloques de función son bloques lógicos que depositan sus parámetros de entrada, salida y entrada/salida de forma permanente en bloques de datos (DB) instancia, de modo que siguen estando disponibles después de editar el bloque.

En los bloques de función del programa de este trabajo, se han implementado las siguientes instrucciones básicas; funciones matemáticas, comparación y operaciones lógicas con bits y la instrucción de comunicación.

Para la realización de la comunicación entre el PLC y el SENTRON PAC3200, se utilizará: MODBUS TCP, con la instrucción MB_CLIENT.

En el Anexo D se explica de forma teórica la instrucción MB_CLIENT y en el Anexo G, el protocolo MODBUS TCP.

4. Bloque de datos.

Un bloque de datos (DB) sirve para guardar valores que se escriben durante la ejecución del programa. Estos bloques de datos solo contienen declaraciones de variables, no contienen ni segmentos ni instrucciones. Las declaraciones de variables definen la estructura del bloque de datos.

En el trabajo que nos reúne, se ha utilizado un bloque de datos (DB), llamado: Bloque de datos (DB1), en el cual, se han insertado todas las variables utilizadas en el programa, tanto en el programa principal como en los bloques de funciones.

En el Anexo E, se adjunta la tabla correspondiente al bloque de datos utilizado en el programa del presente trabajo.



5. Variables PLC.

Una variable es una magnitud que se utiliza en el programa y puede adoptar valores distintos.

En el Anexo F, se incluye una lista de las variables usadas en el PLC de este trabajo final de grado.

2. SENTRON PAC3200.

Cómo ya se ha especificado anteriormente, el SENTRON PAC es un multímetro y deberá ser configurado adecuadamente para la lectura de los diferentes parámetros que se utilizarán en el programa.

Además, habrá que realizar el ajuste oportuno en la comunicación, es decir, ajustar las dirección MAC, la dirección IP, la máscara de red, la dirección Gateway y el protocolo a usar, que en este trabajo fin de grado el protocolo será: MODBUS TCP.



Imagen 14. Parámetros ajustables. Comunicación. SENTRON PAC3200.

Destacar que hay que ajustar la configuración del dispositivo con respecto a las lecturas de corriente, es decir, se deberá configurar el multímetro con la correspondiente relación de transformación de los transformadores de intensidad localizados a las entradas de corriente de dicho dispositivo.

Remitimos al lector al Anexo C, apartado SENTRON PAC3200, para la comprensión de la visualización de las lecturas tomadas por el SENTRON PAC3200 en el autómata y por ende en la pantalla HMI KTP600 Basic PN Color.



3. Pantalla HMI.

En el panel de operador o HMI se diseñaran e implementaran las pantallas necesarias para la realización, el seguimiento y el control de todo el proceso de la parametrización del transformador trifásico a ensayar.

Para el diseño de estas pantallas, se han utilizado los siguientes elementos y objetos básicos:

ELEMENTOS		
SÍMBOLO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
	CAMPO E/S	Permite la entrada y la visualización de valores de proceso (numéricos o alfanuméricos).
	BOTÓN	Es una tecla virtual en la pantalla del panel de operador que permite configurar el objeto con el que el operador ejecuta en runtime una función configurable cualquiera.

Tabla 2. Elementos en HMI.

OBJETOS GRÁFICOS		
SÍMBOLO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
	LÍNEA	Es un objeto abierto. La longitud y la inclinación de la línea se determinan a partir de la altura y la anchura del rectángulo que abarcan. Se pueden adaptar las propiedades de: estilo de 'línea' y principio y fin de línea.
	CÍRCULO	Es un objeto cerrado que se puede llenar con un color o trama. Se pueden adaptar las propiedades del radio, es decir, determinar el tamaño del círculo
	CAMPO DE TEXTO	Es un objeto cerrado que puede llenarse con un color. Se pueden modificar los ajustes de la posición, geometría, estilo, color y fuentes del objeto.

Tabla 3. Objetos gráficos en HMI.

Muchos de los objetos gráficos que se han utilizado en el presente trabajo, se han representado como objetos dinámicos mediante el uso de variables.

4. COMUNICACIÓN.

En este capítulo se aborda la comunicación Ethernet utilizada en el trabajo que nos reúne.

El tipo conexión que se ha utilizado es una conexión en red, es decir, más de dos dispositivos interconectados, utilizando un switch Ethernet CSM 1277.

A continuación, se mostrarán las conexiones Ethernet necesarias para la implementación de este trabajo.

Primero, se expone la comunicación Ethernet que se realiza mientras se está diseñando el programa, de esta manera se pueden ir realizando los cambios oportunos en el programa usando el PC hasta conseguir el programa final.



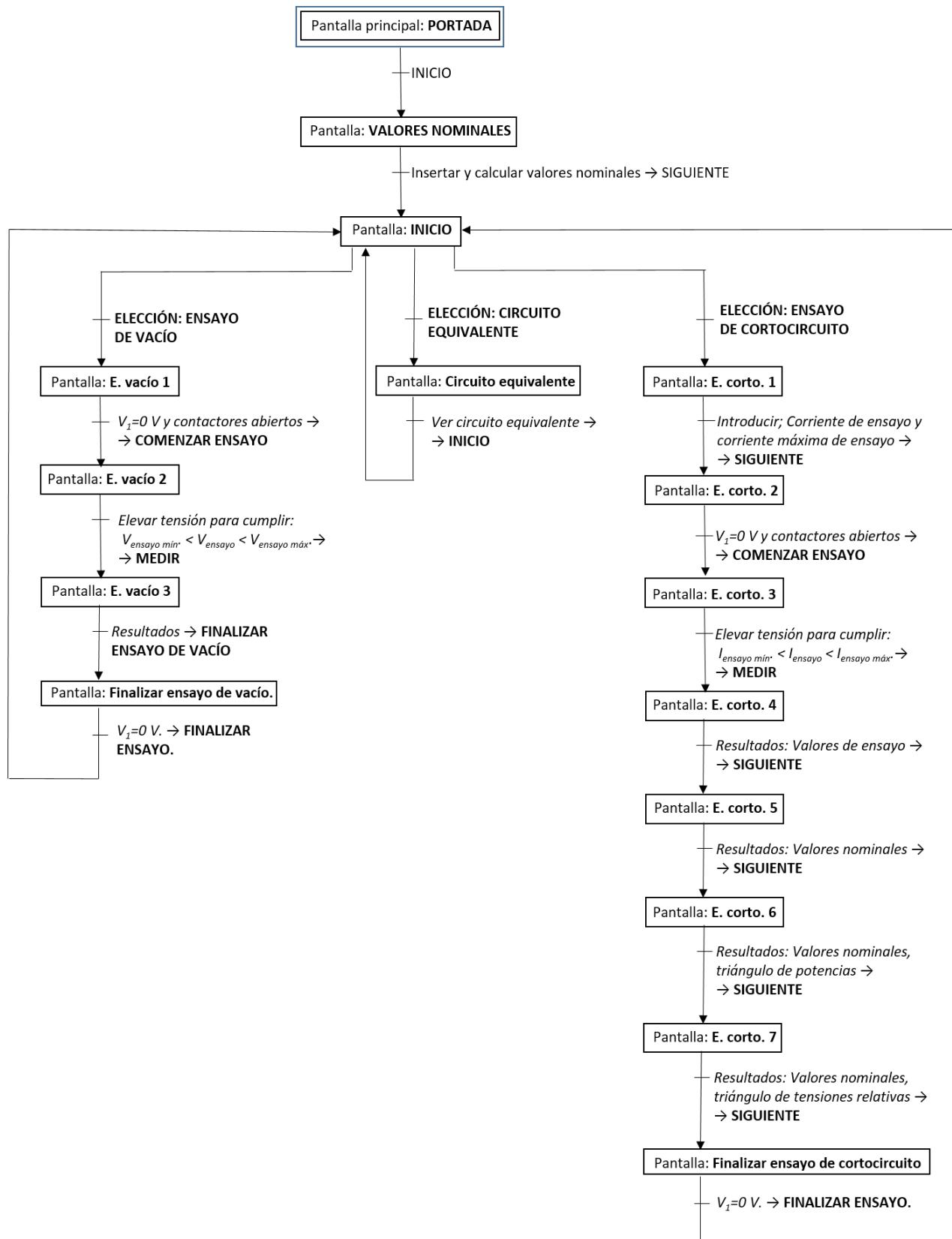
Imagen 15. Conexión de red con PC.

Una vez que se ha cargado el programa en el PLC, la conexión con el PC puede eliminarse, ya que si no hay que hacer ningún cambio en el programa, todo el proceso se controlará utilizando la pantalla HMI.



Imagen 16. Conexión en red sin PC.

5. GRAFCET DEL PROGRAMA.





En este apartado se explica el procedimiento y proceso que se sigue para la obtención de todos los valores necesarios para la parametrización de un transformador trifásico mediante autómata programable. Destacar que todo el proceso se realiza a través de la interactuación con la pantalla HMI.

En primer lugar, aparecerá la pantalla: *PORTADA*, donde aparece el título del presente trabajo, los logos de la universidad, el nombre de la autora y la fecha de entrega. Además hay un botón llamado “*INICIO*” que pulsando sobre él pasaremos a la siguiente pantalla.



Imagen 17. Portada. HMI

A continuación, tendremos la pantalla llamada: *VALORES NOMINALES*, en la cual introduciremos los valores nominales del transformador a ensayar. Estos valores nominales serán:

- Tensión nominal de línea del primario: V_{1nL}
- Tensión nominal de línea del secundario: V_{2nL}
- Potencia aparente nominal: S_n
- Frecuencia: F

Con los valores anteriores en el programa principal se realizaran los cálculos necesarios para la obtención de los siguientes valores:

- Intensidad nominal de línea del primario: I_{1nL}
- Intensidad nominal de línea del secundario: I_{2nL}

Una vez que se han calculado los valores de las corrientes, se activará el botón “*SIGUIENTE*” que nos cambiará a la pantalla *INICIO*.

Por otro lado, mientras estemos en esta pantalla pulsando la tecla F1 del panel del operador, la pantalla HMI se cambiará a la pantalla llamada *PORADA*.

<u>VALORES NOMINALES</u>		
000,00 V_{1nL} [V]	000,00 V_{2nL} [V]	00,00 S_n [kVA]
000,00 I_{1nL} [A]	000,00 I_{2nL} [A]	00 F [Hz]
Calcular		SIGUIENTE

Imagen 18. Valores nominales. HMI.



En la pantalla que ha recibido el nombre de *INICIO*, se podrá realizar la elección del ensayo que queremos ejecutar, ensayo de vacío o ensayo de cortocircuito, y además se podrá elegir la opción de ver el circuito equivalente.

Destacar que el circuito equivalente siempre se mostrará cuando lo accionemos desde esta pantalla, pero sólo aparecerán los parámetros correspondientes a cada ensayo, cuando anteriormente se hayan realizado dichos ensayos. Por ello, informamos al lector que en la presente explicación del proceso, primero se realizarán los ensayos y a continuación se procederá a la observación del circuito equivalente, no siendo necesario el orden que a continuación se sigue de la realización de ensayos.

Por otro lado, mientras estemos en esta pantalla podemos pulsar la tecla F1 cambiando la pantalla a la pantalla *PORTADA* o F2 y nos mostrará la pantalla *VALORES INICIALES*. De esta manera podremos cambiar las tensiones y potencia del transformador a ensayar en el caso de que se hayan introducido erróneamente o queramos proceder a parametrizar otro transformador trifásico.

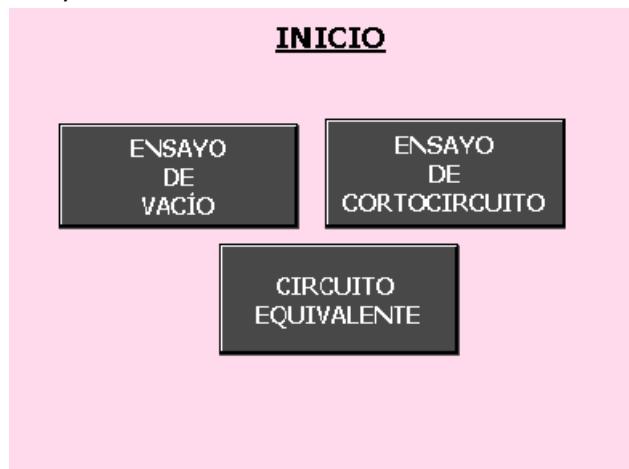


Imagen 19. Pantalla de inicio. HMI.

Desde la pantalla *INICIO*, accionando el botón “*ENSAYO DE VACÍO*” que cambiará a la siguiente pantalla, donde comienza a realizarse dicho ensayo.

En esta pantalla se avisa al operador que se asegure de que la tensión de salida del autotrafo sea nula y los contactores estén desactivados, una vez comprobadas estas dos premisas se puede accionar el botón “*COMENZAR ENSAYO*”, con el cual, además de cambiar a la pantalla siguiente del ensayo, se cerrará el contactor correspondiente conectando el primario del transformador trifásico con el multímetro SENTRON PAC3200.

Destacar que como se está realizando el ensayo de vacío, no habrá ningún contactor que cierre el circuito por el secundario del transformador.

Además pulsando la tecla F4 del panel del operador se visualizará la pantalla *FINALIZAR ENSAYO DE VACÍO*, ya que una vez comenzado dicho ensayo, sólo se podrá volver a *INICIO* abriendo los contactores asegurándonos así un correcto funcionamiento.



Imagen 20. Ensayo de vacío 1. HMI.



Una vez accionado el botón “COMENZAR ENSAYO”, la pantalla HMI mostrará la siguiente pantalla, donde nos informa que debemos elevar la tensión del primario utilizando el autotrafo hasta conseguir una tensión comprendida entre $\pm 2\%$ de la tensión nominal de primario. Sólo cuando se alcanza esta tensión, desde el programa principal se llama al FB del ensayo de vacío, encargado de gestionar las medidas tomadas por el multímetro y realizar las operaciones matemáticas pertinentes para obtener la rama de vacío, además se visualiza el botón “MEDIR” que será el encargado de activar una marca en el FB de vacío que dará la orden de realizar las operaciones matemáticas y nos cambiará a la pantalla siguiente.

Pulsando la tecla F4 del panel del operador se visualizará la pantalla *FINALIZAR ENSAYO DE VACÍO*, ya que sólo se podrá volver a *INICIO* haciendo la tensión nula y abriendo los contactores.

Tras haber pulsado el botón llamado “MEDIR” se mostrará la pantalla de resultados, en la cual, se observarán los resultados del ensayo de vacío:

- Tensión de línea en el primario del ensayo de vacío: V_{1L}
- Corriente de vacío: I_0
- Corriente de vacío, componente activa: I_{Fe}
- Corriente de vacío, componente reactiva: I_μ
- Resistencia del hierro: R_{Fe}
- Reactancia de magnetización: X_μ
- Pérdidas en el ensayo de vacío a tensión distinta de la nominal: P'_0
- Pérdidas en el ensayo de vacío a tensión nominal: P_0
- Factor de potencia en el ensayo de vacío: $\cos(\phi_0)$
- THD de las corrientes de línea: $THD I1, THD I2, THD I3$

Estos resultados han sido gestionados y operados por el SENTRON PAC3200 y por el autómata en el FB correspondiente.

ENSAYO DE VACÍO			
$V1_Línea$ 000,00	$Po_n [W]$ 000,0	$Po [W]$ 000,0	$\cos (\phi_0)$ 0,00
$I_0 [A]$ 00,000	$Iu [A]$ 00,00	$Xu [\text{Ohmios}]$ 0000,0	
	$I_{Fe} [A]$ 00,00	$R_{Fe} [\text{Ohmios}]$ 0000,0	
$THD I1$ 00,00	$THD I2$ 00,00	$THD I3$ 00,00	FINALIZAR ENsayo DE VACÍO

Imagen 22. Resultados del ensayo de vacío. HMI.



A continuación, después de observar, comprender y valorar los resultados obtenidos, podemos accionar el botón “*FINALIZAR ENSAYO DE VACÍO*”.

Al haberse accionado el botón “*FINALIZAR ENSAYO DE VACÍO*” de la pantalla anterior, nos cambiará a la pantalla *FINALIZAR ENSAYO DE VACÍO*.

En esta pantalla, se muestra un texto en el que nos recuerda que debemos disminuir la tensión de salida del autotransformador trifásico hasta 0 voltios antes de pulsar el botón “*FINALIZAR ENSAYO*”. Una vez pulsado este botón, se abrirá el contactor de este ensayo y cambiará automáticamente a la pantalla *INICIO*.

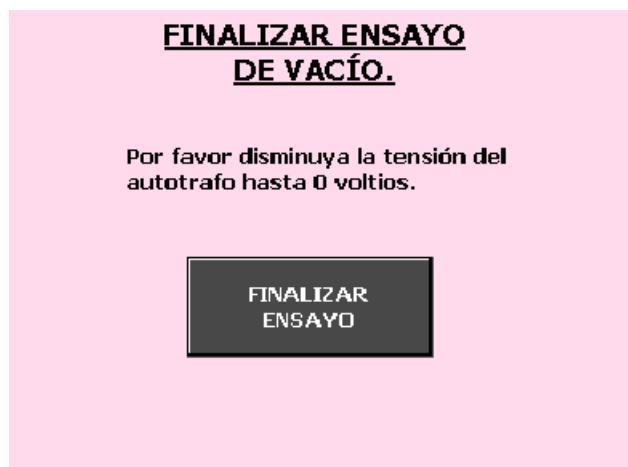


Imagen 23. Finalizar ensayo de vacío. HMI.

De nuevo nos encontraremos en la pantalla de *INICIO*, en la cual, podremos volver a elegir el ensayo de vacío o elegir entre ver el circuito equivalente o efectuar el ensayo de cortocircuito.

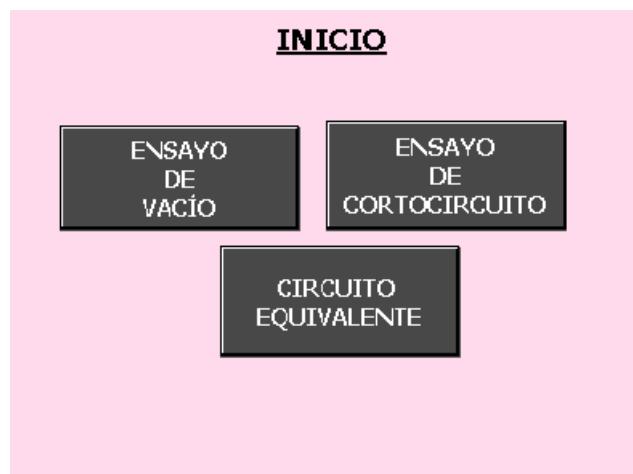


Imagen 24. Pantalla de inicio. HMI.

Para seguir parametrizando el transformador, elegiremos realizar el ensayo de cortocircuito, para ello, pulsaremos el botón correspondiente llamado “*ENSAYO DE CORTOCIRCUITO*”. Una vez pulsado este botón, la pantalla HMI cambiará a la primera pantalla del ensayo elegido.



En esta pantalla se pide que se introduzcan los valores de la corriente a la que queremos realizar el ensayo y la corriente máxima de ensayo, es decir, el ensayo de cortocircuito se debería realizar a la corriente nominal del primario del transformador trifásico, en este caso, $I_{1n} = 13,12A$, pero el autotransformador trifásico aguanta una corriente máxima de 10 A, por lo que el ensayo no se realizará a corriente nominal, y habrá que tener en cuenta la corriente máxima de cortocircuito. Esto es así, porque en la mayoría de los casos es imposible, por temas de seguridad, realizar el ensayo de vacío a corriente nominal.

Una vez introducidos estos valores y comprobado por programa que son válidos se podrá pulsar el botón “SIGUIENTE”, haciendo que cambie la HMI a la pantalla siguiente.

ENsayo de cortocircuito

1- Por favor, introduzca los valores de la corriente de ensayo y la corriente máxima de ensayo.

CORRIENTE DE ENSAYO [A]:
0,00

CORRIENTE MÁXIMA DE ENSAYO [A]:
00,00

SIGUIENTE

Imagen 25. Ensayo de cortocircuito 1. HMI.

Por otro lado, mientras se visualiza la primera pantalla del ensayo de cortocircuito podremos accionar la tecla F5 que actuará visualizando la pantalla de *FINALIZAR ENSAYO DE CORTOCIRCUITO*. De esta manera, podremos finalizar dicho ensayo de una manera segura sin tener que realizar todo el proceso.

En la siguiente pantalla, nos aparece un texto donde se nos avisa que para seguir el ensayo, deberán estar los contactores abiertos y la tensión de salida del autotransformador tendrá que ser nula.

Una vez comprobados los avisos anteriores, pulsaremos el botón: “COMENZAR ENSAYO”, el cual, activará las salidas correspondientes del autómata para cerrar los contactores y nos cambiará a la pantalla siguiente.

Los contactores que se cerrarán o activarán serán, por un lado, el contactor que realiza el cortocircuito en el secundario del transformador trifásico a parametrizar y por otro, el contactor que realiza la conexión del transformador elevador trifásico 18/230 V con el multímetro SENTRON PAC3200.

Además, pulsando la tecla F5 se visualizará la pantalla de *FINALIZAR ENSAYO DE CORTOCIRCUITO*. De esta manera, podremos finalizar dicho ensayo de una manera segura sin tener que realizar todo el proceso.

ENsayo de cortocircuito

2- Por favor, asegúrese que la tensión de salida del autotrafo es de 0 voltios y todos los contactores estan abiertos.

**COMENZAR
ENSAYO**

Imagen 26. Ensayo de cortocircuito 2. HMI.



Al pulsar el botón: “COMENZAR ENSAYO”, nos traslada hasta la presente pantalla donde nos muestra entre que valores de corriente realizaremos el ensayo. Estos valores de corriente dependerán de la corriente de ensayo que se haya elegido en la primera pantalla del ensayo de cortocircuito.

Utilizando el autotrafo para elevar la tensión, se conseguirá una corriente comprendida entre $\pm 2\%$ la corriente de ensayo. Sólo cuando se alcanza esta corriente, desde el programa principal se llama al FB del ensayo de cortocircuito, encargado de gestionar las medidas tomadas por el multímetro y realizar las operaciones matemáticas pertinentes para obtener la impedancia de cortocircuito. Recordar que por programa se deshará la elevación de tensión realizada por el transformador trifásico elevador.

Por otro lado, pulsando la tecla F5 se visualizará la pantalla de *FINALIZAR ENSAYO DE CORTOCIRCUITO*. De esta manera, podremos finalizar dicho ensayo de una manera segura sin tener que efectuar todo el proceso.

ENsayo de cortocircuito

3- A continuación, eleve la tensión hasta que:

$I_{min.} \text{ensayo} < I_{ensayo} < I_{máx.} \text{ensayo}$

[A]: [A]: [A]:

0,00 0,00 0,00

MEDIR

Imagen 27. Ensayo de cortocircuito 3. HMI.

Además de llamar al FB correspondiente a este ensayo, se visualizará el botón “MEDIR” que será el encargado de activar una marca en el FB del ensayo de cortocircuito que dará la orden de ejecutar dicho FB y nos cambiará a la pantalla siguiente.

En la pantalla siguiente, se mostrarán los resultados correspondientes al ensayo de cortocircuito atendiendo a los valores de ensayo, que serán:

- Tensión de fase en cortocircuito: V_{f_cc}
- Tensión en la resistencia de cortocircuito: V_{Rcc}
- Tensión en la reactancia de cortocircuito: V_{Xcc}
- Corriente de cortocircuito: I_{cc}
- Triángulo de potencias: S_{cc}, P_{cc}, Q_{cc}
- Factor de potencia en cortocircuito: $\cos(\varphi_{cc})$

Una vez que se han visualizado, comprendido y analizado los anteriores valores, podemos proceder a pulsar el botón “SIGUIENTE”, que nos cambiará a la pantalla siguiente mostrándonos más resultados del presente ensayo.

También se podrá pulsar la tecla F5 del panel del operador, si queremos terminar el ensayo de cortocircuito en ese mismo momento, mostrándonos la pantalla *FINALIZAR ENSAYO DE CORTOCIRCUITO*.

ENsayo de cortocircuito

VALORES DE ENSAYO:

$V_{cc_f} [V]$	$V_{Rcc_f} [V]$	$V_{Xcc_f} [V]$	$I_{cc} [A]$
00,00	00,00	00,00	00,00

$S_{cc} [VA]$
0000,00

$Q_{cc} [VAr]$
0000,00

$\cos(\varphi_{cc})$
10,00

$P_{cc} [W]$
0000,00

SIGUIENTE

Imagen 28. Resultados del ensayo de cortocircuito. Valores de ensayo. HMI.



En las tres pantallas siguientes, se mostrarán los valores nominales, es decir, por programa se realiza el cálculo necesario para obtener los valores del ensayo como si se hubiera realizado a corriente nominal.

Estos valores nominales del ensayo de cortocircuito serán:

- Tensión de fase en cortocircuito: V_{f_cc}
- Tensión en la resistencia de cortocircuito: V_{Rcc}
- Tensión en la reactancia de cortocircuito: V_{Xcc}
- Impedancia de cortocircuito: Z_{cc}
- Resistencia de cortocircuito: R_{cc}
- Reactancia de cortocircuito: X_{cc}
- Triángulo de potencias: S_{cc_n} , P_{cc_n} , Q_{cc_n}
- Factor de potencia en cortocircuito: $\cos(\varphi_{cc})$
- Triángulo de tensiones relativas de cortocircuito: $\varepsilon_{cc}(\%)$, $\varepsilon_{Rcc}(\%)$, $\varepsilon_{Xcc}(\%)$

Para navegar por estas pantallas, se disponen de dos botones llamados; "SIGUIENTE" y "ANTERIOR", accionando cada uno de estos, podremos cambiar a la pantalla siguiente o a la anterior, tal como al operador de la pantalla le satisface. Y pulsando la tecla F5 del panel de operador o HMI, se activará la pantalla *FINALIZAR ENSAYO DE CORTOCIRCUITO*, para así poder terminar dicho ensayo en cualquier momento de forma segura sin tener que visualizar todo el proceso.

ENSAYO DE CORTOCIRCUITO

VALORES DE NOMINALES:

V_{cc_f} [V] 000,00	V_{Rcc_f} [V] 000,00	V_{Xcc_f} [V] 000,00
Z_{cc} [Ohmios] 0,000	R_{cc} [Ohmios] 0,000	X_{cc} [Ohmios] 0,000

ANTERIOR **SIGUIENTE**

Imagen 29. Resultado del ensayo de cortocircuito. Valores nominales. HMI.

ENSAYO DE CORTOCIRCUITO

VALORES DE NOMINALES:

S_{cc} [VA] 0000,00	Q_{cc} [Var] 0000,00
$\cos(\varphi_{cc})$ 00,00	P_{cc} [W] 0000,00

ANTERIOR **SIGUIENTE**

Imagen 30. Resultados del ensayo de cortocircuito. Valores nominales, triángulo de potencias. HMI.

ENSAYO DE CORTOCIRCUITO

VALORES DE NOMINALES:

$\varepsilon_{cc}\%$ 00,00	$\varepsilon_{Xcc}\%$ 00,00
$\varepsilon_{Rcc}\%$ 00,00	FINALIZAR ENSAZO DE CORTOCIRCUITO
$\cos(\varphi_{cc})$ 00,00	

ANTERIOR

Imagen 31. Resultados del ensayo de cortocircuito. Valores nominales, triángulo de tensiones relativas de cortocircuito. HMI.



Una vez visionados, analizados y comprendidos los parámetros anteriores, podemos accionar el botón “*FINALIZAR ENSAYO DE CORTOCIRCUITO*”, localizado en la última pantalla de resultados del presente ensayo para así proceder a la finalización del ensayo.

Al accionar este botón, la pantalla HMI cambiará automáticamente a la pantalla *FINALIZAR ENSAYO DE CORTOCIRCUITO*.

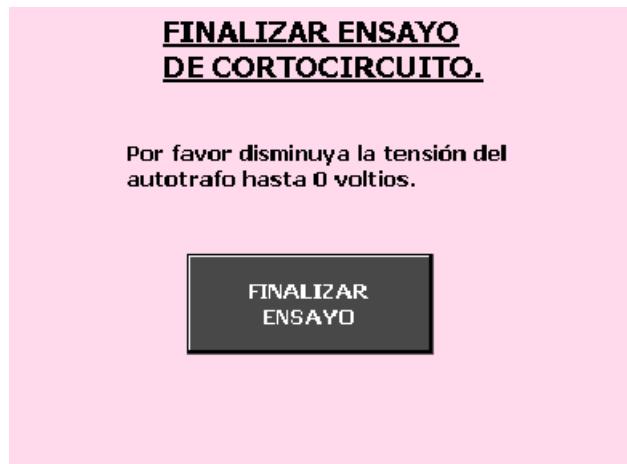


Imagen 32. Finalizar ensayo de cortocircuito. HMI.

Una vez que se ha accionado el botón “*FINALIZAR ENSAYO DE CORTOCIRCUITO*”, se visualizará la pantalla correspondiente, donde nos muestra un texto de aviso en el que nos indica que antes de finalizar el ensayo deberemos disminuir la tensión hasta 0 voltios a la salida del autotrafo.

Disminuida la tensión, se podrá accionar el botón “*FINALIZAR ENSAYO*”, el cual por programa, desactivará los contactores correspondientes a este ensayo. Además, al pulsar este botón, la pantalla HMI cambiará automáticamente a la pantalla *INICIO*.

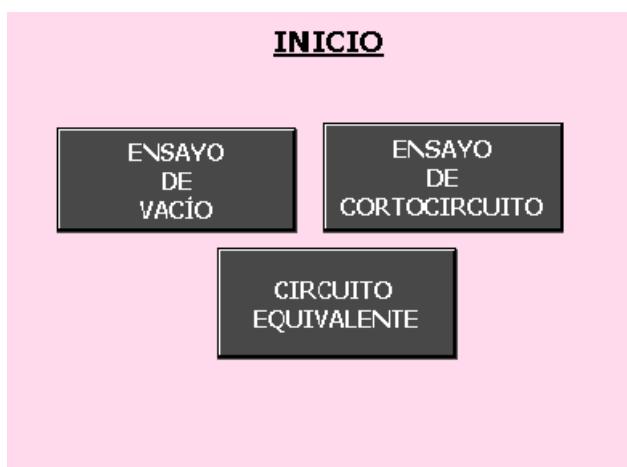


Imagen 33. Pantalla de inicio. HMI.

De nuevo, volvemos a estar en la pantalla *INICIO*, donde podremos volver a seleccionar los ensayos de vacío y cortocircuito y realizarlos nuevamente, o podremos pulsar el botón “*CIRCUITO EQUIVALENTE*”, el cual activará la pantalla correspondiente.



Pulsado el anterior botón, se mostrará dicho circuito con sus parámetros, los cuales habrán sido calculados anteriormente.

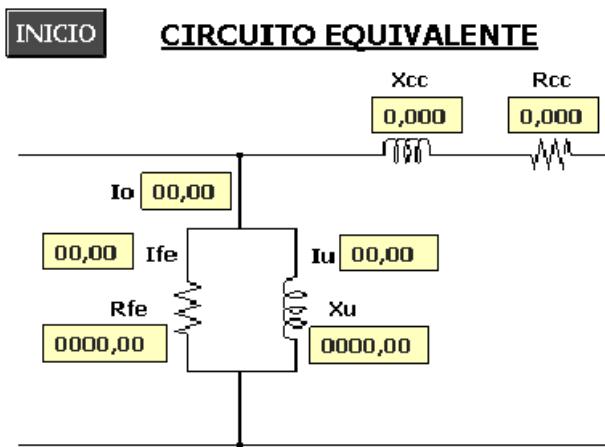


Imagen 34. Circuito equivalente del transformador trifásico ensayado. HMI.

En esta pantalla, pulsando el botón “**“INICIO”**, podremos volver a la pantalla **“INICIO”**, para así, poder volver a realizar la elección que al operador le satisfaga.



Imagen 35. Pantalla de inicio. HMI.

6. CONCLUSIONES

El presente trabajo final de grado tiene por finalidad la obtención de los parámetros eléctricos de un transformador trifásico utilizando dispositivos de automatización tales como; PLC, multímetro SENTRON PAC3200 y pantalla de operador HMI.

Se ha iniciado el trabajo efectuando un estudio de los conocimientos ya aprendidos sobre los transformadores realizando un resumen, el cual consta de toda la teoría necesaria para la comprensión del objeto del trabajo que nos reúne y además incorpora información complementaria como puede ser los aspectos constructivos y el funcionamiento del transformador real. El Anexo correspondiente supone una guía de repaso pudiendo servir de referencia para futuros usuarios del presente trabajo.

Además del estudio anterior, se ha nombrado y detallado cada dispositivo o elemento utilizado en el trabajo que nos reúne para ofrecer un alcance más exhaustivo del mismo. En el capítulo 2 y su correspondiente Anexo establece la información técnica necesaria para garantizar el entendimiento del trabajo final de grado que nos reúne.

Por otro lado, se ha realizado una revisión de la iniciación al software utilizado, ampliando e insistiendo en el aprendizaje de nuevos módulos, instrucciones, comunicación, etc,... El capítulo 3 y su correspondiente Anexo constituyen un manual para la comprensión teórica de la parte del software empleado en el presente trabajo.

Posteriormente se ha analizado el bloque de función y la instrucción de comunicación correspondiente del software TIA Portal V.12, siendo este el responsable de la gestión de medidas realizadas por el multímetro SENTRON PAC3200. Los Anexos correspondientes a esta sección serán de gran ayuda para afrontar nuevos proyectos de ampliación relacionados con la gestión de medidas.

En el capítulo 4, se establece la conexión que se ha implementado en el presente trabajo en relación con la comunicación Ethernet, Profinet y Modbus TPC.

Una vez fundados los conocimientos anteriores, se determinó la idea de realizar un trabajo que estuviera lo más automatizado posible, para garantizar esta idea, se llevó a cabo la implementación de pantallas HMI, sirviendo estas de guía para el proceso, actuando a través de ellas y vinculando sus botones a las variables del programa implementado en el autómata. Y en el capítulo 5, se ha elaborado el Grafset del programa con su correspondiente explicación, utilizando las pantallas diseñadas para una mejor comprensión del proceso.

De esta forma, se ha alcanzado el objetivo del presente trabajo introducido en el apartado 1.3 de la presente memoria.

La realización del presente trabajo ha supuesto un amplio estudio y análisis del software TIA Portal V.12, así como de la comunicación utilizada.



7. BIBLIOGRAFÍA.

Apuntes:

- Alcalá Heredia, Vicente. Apuntes de la asignatura Máquinas Eléctricas 1.
- Blasco Sánchez, Mariano. Apuntes de la asignatura Mantenimiento Industrial.

Libros:

- Máquinas eléctricas: Máquinas de corriente continua, transformadores y máquinas de corriente alterna. P. Abad, V. Alcalá, E. Sainz, J. F. Sanz, M. J. Velilla y J. L. Villa; coordinador, J.F. Sanz. Zaragoza Copy Center [2008]
- Máquinas eléctricas. Jesús Fraile Mora. - 6^a edición. Madrid. McGraw-Hill/Interamericana. 2008.
- Autómatas programables. Josep Balcells, José Luis Romeral. Marcombo. Serie: Mundo electrónico.

Manuales:

- Simatic S7. Controlador Programable S7 1200. Siemens.
- Simatic TIA Portal STEP 7 Basic V10.5. Getting Started. Siemens.
- SENTRON. Multímetro SENTRON PAC3200. Siemens.
- Data Sheet, SENTRON PAC3200. Siemens.
- Simatic HMI. Panel de operador. KTP400 Basic, KTP600 Basic, KTP1000 Basic, TP1500 Basic. Instrucciones de servicio.
- Data Sheet, HMI KTP600 Basic Color PN.

Páginas web:

- https://es.wikipedia.org/wiki/Aut%C3%B3mata_programable
- <http://www.etitudela.com/celula/downloads/panelesdeoperador.pdf>
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Modbus>
- http://isa.uniovi.es/docencia/iea/teoria/plc_resumen.pdf



8. GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS:

PLC: Programable Logic Controller o Controlador Lógico Programable.

CPU: Central Processing Unit o Unidad Central de Procesos.

HMI: Human Machine Interface o Interfaz Hombre Máquina.

RLO: Resultado Lógico.



9. ÍNDICE DE IMÁGENES:

Imagen 1. Circuito equivalente aproximado del transformador.	7
Imagen 2. Esquema de fuerza. Ensayo de vacío.	8
Imagen 3. Esquema de mando. Ensayo de vacío.	8
Imagen 4. Esquema de fuerza. Ensayo de cortocircuito.	10
Imagen 5. Esquema de mando. Ensayo de cortocircuito.	10
Imagen 6. PLC Simatic S7-1200. Siemens.	13
Imagen 7. SENTRON PAC3200. Siemens.	14
Imagen 8. HMI KTP600 Basic color PN. Siemens.	14
Imagen 9. Placa de características del transformador entrenador trifásico.	15
Imagen 10. Transformador entrenador trifásico.	15
Imagen 11. Conexión del transformador entrenador trifásico.	15
Imagen 12. Transformador trifásico elevador.	16
Imagen 13. Autotransformador trifásico.	16
Imagen 14. Parámetros ajustables. Comunicación. SENTRON PAC3200.	20
Imagen 15. Conexión de red con PC.	22
Imagen 16. Conexión en red sin PC.	22
Imagen 17. Portada. HMI	24
Imagen 18. Valores nominales. HMI.	24
Imagen 19. Pantalla de inicio. HMI.	25
Imagen 20. Ensayo de vacío 1. HMI.	25
Imagen 21. Ensayo de vacío 2. HMI.	26
Imagen 22. Resultados del ensayo de vacío. HMI.	26
Imagen 23. Finalizar ensayo de vacío. HMI.	27
Imagen 24. Pantalla de inicio. HMI.	27
Imagen 25. Ensayo de cortocircuito 1. HMI.	28
Imagen 26. Ensayo de cortocircuito 2. HMI.	28
Imagen 27. Ensayo de cortocircuito 3. HMI.	29
Imagen 28. Resultados del ensayo de cortocircuito. Valores de ensayo. HMI.	29
Imagen 29. Resultado del ensayo de cortocircuito. Valores nominales. HMI.	30
Imagen 30. Resultados del ensayo de cortocircuito. Valores nominales, triángulo de potencias. HMI.	30
Imagen 31. Resultados del ensayo de cortocircuito. Valores nominales, triángulo de tensiones relativas de cortocircuito. HMI.	30
Imagen 32. Finalizar ensayo de cortocircuito. HMI.	31
Imagen 33. Pantalla de inicio. HMI.	31
Imagen 34. Circuito equivalente del transformador trifásico ensayado. HMI.	32
Imagen 35. Pantalla de inicio. HMI.	32
Imagen 36. PLC: SIMATIC S7-1200. Siemens.	41
Imagen 37. SENTRON PAC3200. Siemens.	43
Imagen 38. Pantalla HMI. Siemens.	47
Imagen 39. Transformador acorazado.	58
Imagen 40. Transformador de columnas.	58
Imagen 41. Unión de juntas a tope.	58
Imagen 42. Unión de juntas a solape.	59



Imagen 43. Secciones de núcleos de transformadores de distintas potencias.	59
Imagen 44. Devanado concéntrico.	60
Imagen 45. Devanado alternado.....	60
Imagen 46. Transformador seco.	61
Imagen 47. Transformador en baño de aceite.	61
Imagen 48. Pasapatas.....	62
Imagen 49. 7. Relé Bucholtz.	63
Imagen 50. Placa de características.	63
Imagen 51. Circuito de un transformador en vacío.	64
Imagen 52. Circuito de un transformador en carga.	65
Imagen 53. Circuito equivalente de un transformador real reducido al primario.....	67
Imagen 54. Circuito equivalente de un transformador real reducido al primario, eliminado uno de los devanados.....	68
Imagen 55. Circuito equivalente exacto del transformador referido al primario.....	69
Imagen 56. Circuito equivalente aproximado de un transformador referido al primario.....	69
Imagen 57. Circuito equivalente aproximado de un transformador referido al primario.....	70
Imagen 58. Conexiones para el ensayo de vacío.	71
Imagen 59. Circuito monofásico de la rama de vacío. Conexión Y-y.	72
Imagen 60. Conexiones para el ensayo de cortocircuito.	74
Imagen 61. Circuito monofásico del transformador trifásico, ensayo de cortocircuito.	75
Imagen 62. Circuito equivalente monofásico de un transformador.....	76
Imagen 63. Instrucción: MB_CLIENT.	96
Imagen 64. Conexión directa. (1)	105
Imagen 65. Conexión directa. (2)	105
Imagen 66. Conexión directa. (3)	105
Imagen 67. Conexión de red.	106



10. ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 1. Comunicación. Direcciones.....	17
Tabla 2. Elementos en HMI.....	21
Tabla 3. Objetos gráficos en HMI.....	21
Tabla 4. Data Sheet. Autómata.....	42
Tabla 5. Data Sheet (1). SENTRON PAC3200. Siemens.....	44
Tabla 6. Data Sheet (2). SENTRON PAC3200. Siemens.....	45
Tabla 7. Data Sheet (3). SENTRON PAC3200. Siemens.....	46
Tabla 8. Data Sheet (1). HMI. Siemens.....	48
Tabla 9. Data Sheet (2). HMI. Siemens.....	49
Tabla 10. Data Sheet (3). HMI. Siemens.....	50
Tabla 11. Data Sheet (4). HMI. Siemens.....	51
Tabla 12. Data Sheet (5). HMI. Siemens.....	52
Tabla 13. Data Sheet (6). HMI. Siemens.....	53
Tabla 14. Data Sheet (7). HMI. Siemens.....	54
Tabla 15. Data Sheet (8). HMI. Siemens.....	55
Tabla 16. Operaciones lógicas con bits.....	83
Tabla 17. Comparación.....	84
Tabla 18. Funciones matemáticas.....	85
Tabla 19. Relación; tabla de variables, variables del programa, marcas, entradas y salidas del controlador.....	87
Tabla 20. Elementos de la ficha variable.....	88
Tabla 21. Elementos de HMI.....	91
Tabla 22. Objetos gráficos de HMI.....	92
Tabla 23. Bloque de datos (1).....	98
Tabla 24. Bloque de datos (2).....	99
Tabla 25. Variables PLC (1).....	101
Tabla 26. Variables PLC (2).....	102
Tabla 27. Variables PLC (3).....	103



ANEXO A.

DISPOSITIVOS.



1. AUTÓMATA.

La definición del estándar internacional IEC 61131 que normaliza las características fundamentales de los mismos tanto en su parte hardware como software, será la siguiente:

“Un PLC (Programable Logic Controller) o autómata programable (AP) es una máquina electrónica programable diseñada para ser utilizada en un entorno industrial (hostil), que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones orientadas al usuario, para implantar soluciones específicas tales como funciones lógicas, secuencias, temporizaciones, recuentos y funciones aritméticas, con el fin de controlar mediante entradas y salidas, digitales y analógicas diversos tipos de máquinas o procesos.”

El controlador lógico programable (PLC) es capaz de controlar una gran variedad de dispositivos en diferentes sistemas de automatización, ya que dispone de una amplia variedad de instrucciones y de una CPU, la cual realiza el control interno y externo del autómata además de la interpretación de las instrucciones del programa, es decir, a partir de las instrucciones almacenadas en la memoria y de los datos que recibe de las entradas, genera las señales de las salidas.

Las entradas y salidas se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Discretas:
Presentan dos estados diferenciados: presencia/ausencia de tensión.
- Analógicas:
Tienen como misión la conversión de una magnitud analógica equivalente a una magnitud física, en una expresión binaria.
- Numéricas:
Permiten la adquisición o generación de información a nivel numérico en códigos BCD, Gray u otros. La información numérica de entrada puede realizarse mediante dispositivos electrónicos digitales apropiados. Y las salidas numéricas suministran información para ser utilizada en dispositivos visualizadores u otros equipos digitales.
- Especiales:
Este tipo se utiliza cuando los anteriores tipos de entradas y salidas son poco efectivas.
Dentro de este conjunto de especiales podemos encontrar:
 - Entradas para el control de temperatura.
 - Salidas de trenes de impulso, para el control de motores paso a paso.
 - Entradas y salidas de regulación PID.
 - Salidas ASCII, para la comunicación con periféricos inteligentes.

Además, destacar la posibilidad de utilización de equipos periféricos, que son aquellos que sin formar parte directa del autómata, pueden conectarse al mismo para realizar distintas funciones. Normalmente se conectan a las salidas o canales de comunicación del autómata.

Los equipos periféricos más comunes serán:

- Módulo de ampliación de entradas y salidas: Necesarios para aquellos procesos en los que la estructura de entradas y salidas del autómata es insuficiente.
- Módulo de tratamiento de datos: Son pequeños ordenadores que manejan distintos datos como puede ser conteo, tiempo, estado de E/S, etc...
- Impresoras.
- Visualizadores alfanuméricicos.
- Lectores de código de barras.
- Multímetros.
- Pantallas HMI.

Por otro lado, dentro de la programación, destacar que el usuario es quien diseña e implementa el programa utilizando las diferentes instrucciones, funciones matemáticas y lógica booleana en un lenguaje comprensible para la CPU.

Este programa se diseña en un software específico, el cual está diseñado para ofrecer al usuario una interfaz clara y sencilla para la realización de dicho programa que posteriormente será cargado en la CPU del PLC.

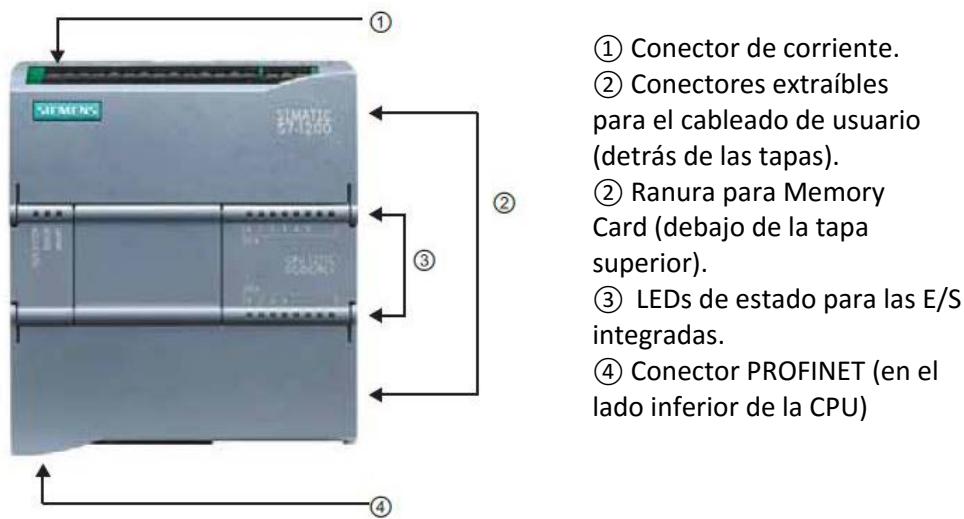


Imagen 36. PLC: SIMATIC S7-1200. Siemens.

A continuación se detalla una tabla de características y funciones correspondientes a la CPU del autómata que se utiliza en el presente trabajo fin de grado.



CARACTERÍSTICAS. Data sheet.		
	FUNCIÓN	CPU: 1214C
	Dimensiones físicas	110 x 100 x 75
Memorias de usuario	Memoria de trabajo	50 KB
	Memoria de carga	2 MB
	Memoria remanente	2 KB
E/S integradas locales	Digitales	14 entradas/10 salidas
	Analógicas	2 entradas
	Tamaño de la memoria imagen de proceso	1024 bytes para entradas (I) y 1024 bytes para salidas (Q)
	Área de marcas (M)	8192 bytes
	Ampliación con módulos de señales	8
	Signal Board	1
	Módulos de comunicación	3 (ampliación en el lado izquierdo)
	Contadores rápidos	6
	Fase simple	3 a 100 kHz
		3 a 30 kHz
	Fase en cuadratura	3 a 100 kHz
		3 a 20 kHz
	Salidas de impulsos	2
	Memory Card	SIMATIC Memory Card (opcional)
	Tiempo de respaldo del reloj de tiempo real	Típico: 10 días / Mínimo: 6 días a 40°C.
	PROFINET	1 puerto de comunicación Ethernet
	Velocidad de ejecución de funciones matemáticas con números reales	18 µs/instrucción
	Velocidad de ejecución booleana	0,1µs/instrucción

Tabla 4. Data Sheet. Autómata.

2. SENTRON PAC3200

El multímetro empleado o analizador de red es el SENTRON PAC3200, es un tipo central de medida para la visualización de todos los parámetros de red relevantes en la distribución de energía eléctrica en baja tensión.

Dispone de una fuente de alimentación multirango por lo que puede conectarse directamente a cualquier red de baja tensión con una tensión nominal de hasta 690 V.

Dispone de una pantalla gráfica de cristal líquido que permite la lectura a grandes distancias, además de disponer de una retroiluminación regulable, para garantizar una lectura óptima en condiciones lumínicas desfavorables.

Presenta cuatro teclas de función, e información multilingüe, además de una serie de funciones de monitoreo, diagnóstico y servicio técnico, un contador de tarifa doble de energía activa y reactiva, un contador universal y un contador de horas de funcionamiento para monitorear el tiempo de servicio de consumidores conectados. Este multímetro dispone también de una entrada y una salida digitales multifuncionales.

La comunicación se puede realizar utilizando la interfaz Ethernet integrada o un módulo de interfaz opcional.

La parametrización puede realizarse directamente en el dispositivo o a través de una interfaz de comunicación.

Tiene integrado un sistema de protección por clave en la parte frontal del dispositivo.



- ① Teclas de función.
- ② Pantalla o display de cristal líquido.
- ③ Conexión Ethernet, RJ45.

Imagen 37. SENTRON PAC3200.
Siemens.

A continuación, se exponen las tablas correspondientes a este dispositivo con las funciones y características correspondientes. (Data sheet)



CARACTERÍSTICAS. Data sheet.		
VALORES EFICACES MOMENTÁNEOS		
Tensión	Fase-fase / Fase-neutro	✓
Intensidades de la corriente	Por fase	✓
Potencia activa, reactiva y aparente	Por fase y total	✓
Factor de potencia	Por fase y total	✓
Frecuencia de red		✓
THD de la tensión e intensidad de la corriente	Por fase	✓
Valores mínimo/máximo	Función agujas de arrastre	✓
Valores medios	Para todas las fases	✓
REGISTRO DE ENERGÍA POR MEDIDOR.		
Energía activa	Suministro y realimentación; tarifa alta/baja	✓/✓
Energía reactiva	Positiva/negativa; tarifa alta/baja	✓/✓
Energía aparente	Tarifa alta/baja	✓
Demanda de energía por periodo de medición	Valor medio de la potencia activa y la reactiva	✓
Periodo de medición ajustable		de 1 ... 60 minutos
Valores mínimos/máximos de la potencia en el periodo de medición		✓
Cuenta-horas de servicio	Tiempo en el que se consumió energía	✓
Contador universal	Por ejemplo, para conteo de los impulsos de energía de medidores externos o similares	✓
LÍMITES DE ERRORES.		
Tensiones/intensidades de la corriente	±0,3% / ±0,2%	
Potencias	±0,5%	
Energía activa	Clase 0,5S según la norma IEC 62053-22	
Energía reactiva	Clase 2 según la norma IEC 62053-23	
FUNCIONES DE SUPERVISIÓN.		
Supervisión de valores límite	Hasta 6 valores límite	
Funciones lógicas sencillas para la combinación de valores límite	✓	
Asimetría	✓	

Tabla 5. Data Sheet (1). SENTRON PAC3200. Siemens.



CARACTERÍSTICAS. Data sheet.		
COMUNICACIÓN.		
Ethernet (integrada)	Velocidad máxima de transferencia	10 Mbit/s
	Protocolos	A elección SEABUS TCP o MODBUS TCP (comutables)
Módulo de ampliación (opcional)	Módulos de ampliación opcional:	✓
	• Asignación de parámetros en el frente del aparato.	
	• Selección de los valores de medición a transmitir por archivo GSD.	
SENTRON PAC PROFIBUS DP	• Se soportan todas las velocidades de Baudios desde 9,6 Kbit/s hasta 12Mbit/s	✓
	Velocidad máxima de transferencia	12 Mbit/s
	Protocolo	DPV 1
Módulo de ampliación (opcional)	Velocidad de transferencia	A elección 4,8/9,6/19,2/38,4 kBd
SENTRON PAC RS485	Protocolo	A elección SEABUS o MODBUS RTU (comutables)
ENTRADAS / SALIDAS.		
Entrada digital	Multifuncional	1
Salida digital	Multifuncional	1
OTRAS CARACTERÍSTICAS.		
Protección por contraseña		✓
DATOS TÉCNICOS.		
Cuatro cuadrantes	Suministro y realimentación; tarifa alta/baja	✓
Medición en redes monofásicas/polifásicas		1, 2 ó 3 fases
Aplicable para las clases de red		TN, TT, IT
Captación de señales		Continuo
Entradas de tensión	Fuente de alimentación de CA/CC de rango amplio y bornes a tornillo	U_e : máx. 3x690/400 V CA
Conexión directa hasta un máximo en triángulo / estrella (sin transformador)	Fuente de alimentación de tensión baja CC y bornes a tornillo	U_e : máx. 3x500/289 V CA
	Fuente de alimentación de CA/CC de rango amplio y bornes para terminales anulares	U_e : máx. 3x690/400 V CA
Entradas de corriente	Ajustables en el aparato	x/1 A ó x/5 A
Tensión auxiliar	Fuente de alimentación de CA/CC de rango amplio y bornes a tornillo	U_c : 95...240V CA ($\pm 10\%$) 110...340V CC ($\pm 10\%$)
	Fuente de alimentación de tensión baja CC y bornes a tornillo	U_c : 22...65V CC ($\pm 10\%$)
	Fuente de alimentación de CA/CC de rango amplio y bornes para terminales anulares	U_c : 95...240V CA ($\pm 10\%$) 110...340V CC ($\pm 10\%$)

Tabla 6. Data Sheet (2). SENTRON PAC3200. Siemens.



CARACTERÍSTICAS. Data sheet.		
DATOS TÉCNICOS.		
Dimensiones	A x h x P en mm	96 x 96 x 56
	Profundidad de montaje sin módulo (mm)	51
	Profundidad de montaje con módulo de ampliación (mm)	73
Clase de protección	Frontal	IP65
Temperatura de funcionamiento	°C	-10 ... +55
Display	Tipo	LCD gráfico con iluminación de fondo
	Resolución (Puntos)	128 x 96
Visualización de textos	9 idiomas disponibles	alemán, chino, español, francés, inglés, italiano, portugués, turco, ruso
APROBACIONES.		
UL / CSA	Ensayado según: UL 61010-1 CAN/CSAC 22.2 Nº61010.1	Informe Nº E314880

Tabla 7. Data Sheet (3). SENTRON PAC3200. Siemens.



3. PANTALLA HMI KTP600 BASIC COLOR PN

En la actualidad las pantallas HMI o paneles de operador, son utilizadas en la industria ya que garantizan la comunicación entre hombre y máquina.

Estos aparatos se localizan a pie de máquina, para así poder supervisar el proceso productivo y además, si la máquina debe ajustarse a las necesidades de cada momento, el operario podrá emitir órdenes a dicha máquina, a través de estos dispositivos, es decir, estos paneles permiten al usuario realizar modificaciones en los parámetros manejados por el PLC, tales como; modificación de los valores de temporizadores, contactores, etc...

Por otra parte, gracias a estos dispositivos, se puede obtener todo tipo de información, como la evolución del proceso, el estado de los diferentes elementos discretos, el valor de diversas magnitudes, etc...

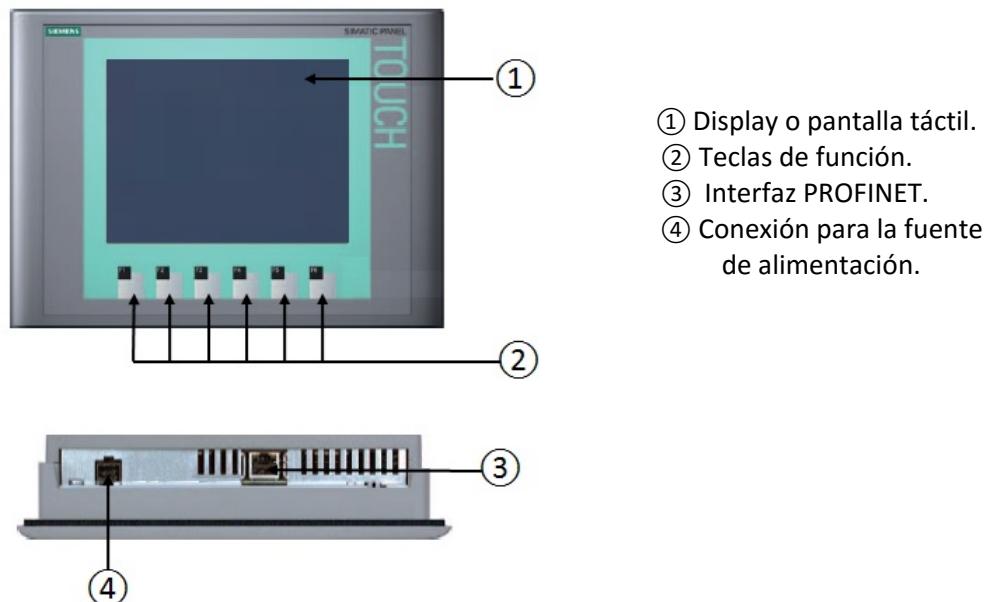


Imagen 38. Pantalla HMI. Siemens.

A continuación se expone las tablas de características correspondientes a la pantalla HMI KTP600 Basic color PN del fabricante Siemens.



CARACTERÍSTICAS. Data sheet.	
DISPLAY	
Tipo de display	TFT
Diagonal de pantalla	5,7 in
Anchura del display	115,2 mm
Altura del display	86,4 mm
Nº de colores	256
RESOLUCIÓN (píxeles)	
MTBF de la retroiluminación (con 25°C)	50000 h
Retroiluminación variable	No
ELEMENTOS DE MANDO	
Fuentes de teclado	
Número de teclas de función	6
Teclado numérico	Si. Teclado en pantalla
Teclado alfanumérico	Si. Teclado en pantalla
Manejo táctil	
Como pantalla táctil	Si.
TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN	
Tipo de tensión de la alimentación	DC
Valor nominal (DC)	24 V
Rango admisible, límite inferior (DC)	19,2 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
INTENSIDAD DE ENTRADA	
Consumo (valor nominal)	0,35 A
Intensidad transitoria de cierre (A ² ·s)	0,5 A ² ·s
POTENCIA	
Potencia absorbida	9 W
PROCESADOR	
X86	No
ARM	Si. RISC 32 bits
MEMORIA	
Flash	Si
RAM	Si
Memoria de usuario	512 kbyte

Tabla 8. Data Sheet (1). HMI. Siemens.



CARACTERÍSTICAS. Data sheet.	
TIPO DE SALIDA	
Zumbador	Si
Altavoz	No
RELOJ	
Reloj por hardware (reloj tiempo real)	No
Reloj por software	Si
Respaldado	No
Sincronizable	Si
INTERFACES	
Nº de interfaces RS 485	0
Nº de interfaces USB	0
Número de slot para tarjetas SD	0
Nº de interfaces paralelas	0
Nº de interfaces 20 mA (TTY)	0
Nº de interfaces RS 232	0
Nº de interfaces RS 422	0
Nº de otras interfaces	0
Con interfaces a SW	No
INDUSTRIAL ETHERNET	
Nº de interfaces Industrial Ethernet	1
LED de estado Industrial Ethernet	2
PROTOCOLOS	
PROFINET	Si
PROFINET IO	No
IRT, soportado	No
PROFIBUS	No
MPI	No
PROTOCOLOS (Ethernet)	
TCP/IP	Si
DHCP	Si
SNMP	Si
DCP	Si
LLDP	Si
PROPIEDADES WEB	
HTTP	No
HTML	No

Tabla 9. Data Sheet (2). HMI. Siemens.



CARACTERÍSTICAS. Data sheet.	
OTROS PROTOCOLOS	
CAN	No
MODBUS	Si. Modicon (MODBUS RTU)
EtherNet/IP	Si
ALARMAS/DIAGNÓSTICO/INFORMACIÓN DE ESTADO	
Avisos de diagnóstico	
Se puede leer la información de diagnóstico	No
GRADO DE PROTECCIÓN Y CLASE DE PROTECCIÓN	
IP (frontal)	IP65
Tipo de protección	IP20
Enclosure Type 4 en el frente	Si
Enclosure Type 4x en el frente	Si
NORMAS, HOMOLOGACIONES, CERTIFICADOS	
Marcado CE	Si
Homologación KC	Si
cULus	Si
RCM (former C-TICK)	Si
GL	Si
ABS	Si
BV	Si
DNV	Si
LRS	Si
Class NK	Si
PRS	No
ATMÓSFERA POTENCIALMENTE EXPLOSIVA	
Uso en atmósfera potencialmente explosiva	No
CONDICIONES AMBIENTALES	
Posición de montaje	Vertical
Máx. ángulo de inclinación permitido sin ventilación externa	35°C
TEMPERATURA DE EMPLEO	
En servicio (montaje vertical)	
En posición de montaje vertical, mínimo	0°C
En posición de montaje vertical, máximo	50°C
En servicio (máximo ángulo de inclinación)	
Con ángulo máximo de inclinación, mínimo	0°C
Con ángulo máximo de inclinación, máximo	40°C

Tabla 10. Data Sheet (3). HMI. Siemens.



CARACTERÍSTICAS. Data sheet.	
TEMPERATURA DE EMPLEO	
En servicio (montaje vertical, formato retrato)	
En posición de montaje vertical, mínimo	0°C
En posición de montaje vertical, máximo	50°C
En servicio (máximo ángulo de inclinación, formato retrato)	
Con ángulo máximo de inclinación, mínimo	0°C
Con ángulo máximo de inclinación, máximo	40°C
TEMPERATURA DE ALMACENAJE/TRANSPORTE	
Temperatura mínima	-20°C
Temperatura máxima	60°C
HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE	
En servicio máximo	90%
SISTEMAS OPERATIVOS	
Windows CE	No
Propietarios	Si
Otros	No
CONFIGURACIÓN	
Ventana de avisos	Si
Con sistema de alarmas (búfer y confirmación)	Si
Representación de valores de proceso (salida)	Si
Especificación de valores de proceso (entrada) posible	Si
Administración de recetas	Si
SOFTWARE DE CONFIGURACIÓN	
STEP 7 Basic (TIA Portal)	Sí. Vía WinCC Basic (TIA Portal) integrado
STEP 7 Professional (TIA Portal)	Sí. Vía WinCC Basic (TIA Portal) integrado
WinCC flexible Compact	Si
WinCC flexible Standard	Si
WinCC flexible Advanced	Si
WinCC Basic (TIA Portal)	Si
WinCC Comfort (TIA Portal)	Si
WinCC Advanced (TIA Portal)	Si
WinCC Professional (TIA Portal)	Si

Tabla 11. Data Sheet (4). HMI. Siemens.



CARACTERÍSTICAS. Data sheet.	
IDIOMAS	
IDIOMAS ONLINE	
Nº de idiomas online/runtime	5
IDIOMAS DEL PROYECTO	
Idiomas por proyecto	32
Idiomas del proyecto	D, GB, F, I, E, CHN “tradicional y simplificado”, DK, FIN, GR, J, KP/ROK, NL, N, PL, P, RUS, S, CZ, SK, TR, H
FUNCIONALIDAD BAJO WinCC (TIA PORTAL)	
Librerías	Si
Planificador de tareas	
Controlada por tiempo	No
Controlada por tarea	No
Sistema de ayuda	
Nº de caracteres por texto informativo	320
SISTEMA DE AVISOS	
Nº de clase de avisos	32
Nº de avisos de bit	200
Nº de avisos analógicos	15
Avisos de sistema HMI	Si
Valores de caracteres por aviso	80
Valores de proceso por aviso	8
Indicador de aviso	Si
Búfer de avisos	
Nº de entradas	256
Búfer circular	Si
Remanente	Si
Libre mantenimiento	Si
ADMINISTRACIÓN DE RECETAS	
Número de recetas	5
Registros por receta	20
Entradas por registro	20
Tamaño de la memoria de recetas interna	40 Kbyte
Memoria de recetas ampliable	No

Tabla 12. Data Sheet (5). HMI. Siemens.



CARACTERÍSTICAS. Data sheet.	
VARIABLES	
Nº de variables por equipo	500
Nº de variables por sinóptico	30
Valor límite	Si
Multiplexor	Si
Estructuras	No
Matrices	Si
IMAGENES	
Número de imágenes configurables	50
Ventana permanente/plantilla	Si
Imagen global	Si
Imagen inicial configurable	Si
Selección de imagen vía PLC	Si
Nº de imagen en el PLC	Si
OBJETOS GRÁFICOS	
Número de objetos por imagen	30
Campo de texto	Si
Campos de E/S	Si
Campos de E/S gráficos (lista de gráficos)	Si
Campos de E/S simbólicos (lista de textos)	Si
Campos de fecha/hora	Si
Interruptor	Si
Botones	Si
Visor de gráficos	Si
Iconos	Si
Objetos geométricos	Si
OBJETOS GRÁFICOS COMPLEJOS	
Número de objetos complejos por imagen	5
Visor de avisos	Si
Visor de curvas	Si
Visor de usuario	Si
Estado/forzado	No
Visor sm@artClient	No
Visor de recetas	Si

Tabla 13. Data Sheet (6). HMI. Siemens.



CARACTERÍSTICAS. Data sheet.	
OBJETOS GRÁFICOS COMPLEJOS	
Visor de curvas f(x)	No
Visor de diagnóstico del sistema	No
Media Player	No
Barras	Si
Deslizadores	No
Instrumentos de aguja	No
Reloj analógico/digital	No
LISTAS	
Nº de listas de textos por proyecto	150
Nº de entradas por lista de textos	30
Nº de listas gráficas por proyecto	100
Nº de entradas por lista gráfica	30
REGISTRO HISTÓRICO	
Nº de archivos históricos por equipo	0
SEGURIDAD	
Número de grupos de usuario	50
Número de derechos de usuario	32
Número de usuarios	50
Exportación/Importación de contraseñas	No
SIMATIC Logon	No
JUEGOS DE CARACTERES	
Fuentes de teclado	
USA (inglés)	Si
Tamaño de carácter estable	No
Juegos de caracteres cargables adicionalmente	No
Juegos de caracteres	
Tahoma	Si
Arial	No
Courier New	No
WinCC Standard	Si
Ideogramas	Si

Tabla 14. Data Sheet (7). HMI. Siemens.



CARACTERÍSTICAS. Data sheet.	
TRANSFERENCIA (CARGA/DESCARGA)	
MPI/PROFIBUS DP	No
USB	No
Ethernet	Si
Mediante medio de memoria externo	No
ACOPLAMIENTO AL PROCESO	
S7-1200	Si
S7-1500	Si
S7-200	Si
S7-300/400	Si
LOGO!	Si
WinAC	Si
SINUMERIK	No
SIMOTION	No
Allen Bradley (EtherNet/IP)	Si
Allen Bradley (DF1)	No
Mitsubishi (MC TCP/IP)	Si
Mitsubishi (FX)	No
OMRON (FINS TCP)	No
OMRON (LINK/Multilink)	No
Modicon (Modbus TCP/IP)	Si
Modicon (Modbus)	No
HERRAMIENTAS/AUXILIARES PARA CONFIGURACIÓN	
Imagen para limpieza	Si
Calibrar la pantalla táctil	Si
Backup/Restore	Si
Backup/Restore automáticos	No
Simulación	Si
Comutación de dispositivo	Si
Transferencia de deltas	No
PERIFERIAS/OPCIONES	
Periféricos	
Impresora	No
Tarjeta multimedia	No
Tarjeta SD	No
Memoria USB	No

Tabla 15. Data Sheet (8). HMI. Siemens.



ANEXO B.

EL TRANSFORMADOR TRIFÁSICO.



Este Anexo se centra en explicar de forma teórica los conocimientos necesarios de los transformadores, para la buena comprensión del presente trabajo. Destacar que la explicación será acerca de los transformadores monofásicos por su simplicidad para la comprensión y además, un transformador trifásico son tres transformadores monofásicos.

1. Introducción.

El transformador es una máquina eléctrica estática, destinada a funcionar con corriente alterna, constituida por dos arrollamiento, primario y secundario, que permite transformar la energía eléctrica, con unas magnitudes de tensión y corriente determinadas, a otras con valores en general diferentes.

Los transformadores de potencia pueden ser considerados como los artífices del consumo de energía eléctrica a gran escala, puesto que han posibilitado el transporte de la energía eléctrica desde los centros de producción hasta los centros de consumo, situados, en ocasiones, a miles de kilómetros de distancia, de una forma eficaz y barata.

El proceso de transformación tiene un gran rendimiento al no disponer la máquina de órganos móviles, pudiéndose llegar en los grandes transformadores a valores del orden del 99,7%.

2. Aspectos constructivos.

Las principales partes de un transformador serán:

- Núcleo.
- Devanado.
- Sistema de refrigeración.
- Otros elementos.

1. Núcleo.

Se denomina núcleo del transformador al elemento que forma el circuito magnético. Está constituido por chapas de acero al silicio, modernamente laminadas en frío (grano orientado), que han sido sometidas a un tratamiento químico especial denominado comercialmente *carlite*, que las recubre de una capa aislante muy delgada de unos 0,01 mm, lo que reduce considerablemente las pérdidas en el hierro.

El circuito magnético está compuesto por columnas o yugos, que son las partes donde se montan los devanados, y las culatas, que son las partes que realizan la unión entre las columnas. Los espacios entre las columnas y las culatas, por los cuales pasan los devanados, se llaman ventanas del núcleo.



Según la posición de los devanados en el núcleo se distinguen dos tipos de transformadores:

- Acorazados: Los devanados se sitúan en una columna central de doble sección, quedando protegidos por las columnas externas.

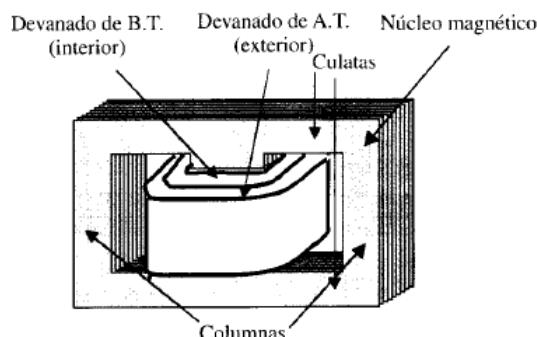


Imagen 39. Transformador acorazado.

- De columnas: Los devanados se colocan en todas las columnas, construyéndose éstas de igual sección. Esta disposición es más barata que la anterior.

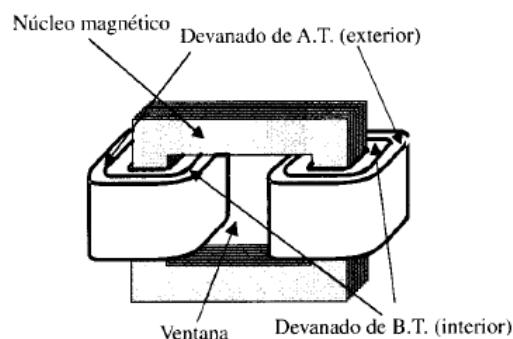


Imagen 40. Transformador de columnas.

Los circuitos magnéticos de las dos figuras anteriores, corresponden a transformadores monofásicos, y las secciones de las columnas y culatas son iguales para hacer que la inducción sea la misma en todo el circuito magnético.

Las uniones de las columnas con las culatas se denominan juntas, y deben tener un espesor lo más pequeño posible para reducir al máximo la reluctancia del circuito magnético. Las uniones o juntas pueden realizarse de las dos maneras siguientes:

- A tope o plana: Las columnas y las culatas se montan separadamente y luego se unen con ayuda de piezas de sujeción.
El entrehierro es grande generándose elevadas pérdidas y ruidos molestos por vibración.

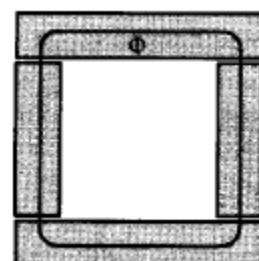


Imagen 41. Unión de juntas a tope.



- A solape o entrelazada: Todo el núcleo magnético se construye de una vez, de tal forma que, se van ensamblando las chapas con un desfase de posición entre capas sucesivas (pares e impares) igual a la anchura de las chapas de la culata.
Este montaje es más complicado que el anterior, pero permite un aumento de la estabilidad mecánica del conjunto.
Reduciéndose las pérdidas y los ruidos ya que la disposición varía entre láminas pares e impares.
Para evitar calentamientos excesivos en las esquinas, en las que el flujo cambia de dirección, la construcción habitual es al solape con ángulos de 45º o de 30º y 60º.

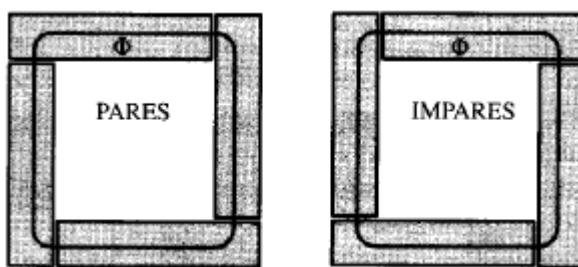


Imagen 42. Unión de juntas a solape.

Por otro lado, la forma de los núcleos varía en función de la potencia del transformador, así cuando estos son de pequeña potencia la sección es cuadrada ya que es la más barata, sin embargo a medida que la potencia aumenta se intenta obtener una sección más circular para reducir la distancia del devanado al núcleo minimizando al máximo el entrehierro.

Esta sección no es completamente circular sino que cada rama tiene forma de un polígono escalonado, con un número de escalones que tanto mayor cuanto más elevada sea la potencia del transformador. Se dice entonces que la sección es del tipo cruciforme.

En la siguiente figura podemos ver la sección del núcleo de transformadores de diferentes potencias, cuanto mayor es la potencia del transformador, mayor es el número de escalones del polígono.

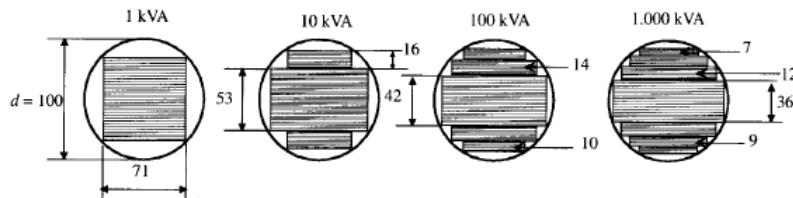


Imagen 43. Secciones de núcleos de transformadores de distintas potencias.

En los transformadores de potencias muy elevadas, se disponen espacios entre láminas para permitir la circulación del elemento refrigerante, habitualmente aceite, separándolas mediante tacos de madera.

El conjunto de chapas es apretado utilizando bridas de madera y bulones aislados para conseguir una elevada rigidez mecánica.



2. Devanados.

Forman el circuito eléctrico del transformador y se constituyen a partir de bobinas circulares de cobre, de sección circular con menos de 4 mm^2 y pletina de cobre si es de mayor sección.

Los conductores se aislan entre sí con barniz en pequeñas potencias y con papel o fibra de algodón en el caso de formarse con pletina.

Según la disposición de los arrollamientos sobre la columna, se distinguen dos tipos:

- Concéntricos: En primer lugar se coloca el devanado de baja tensión y a continuación. Separado por un cartón aislante, el de alta tensión.
Esta disposición se hace por motivos de aislamiento.
En la siguiente figura podemos ver la disposición de los devanados del tipo concéntrico:

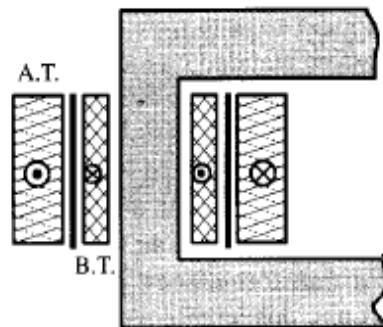


Imagen 44. Devanado concéntrico.

- Alternados: El devanado se dispone en forma de galletas o secciones alternando el devanado de baja y el de alta aislados con cartón.
La primera y la última sección son siempre del devanado de baja por motivos de aislamiento.
A continuación, podemos observar un dibujo del tipo devanado alternado.

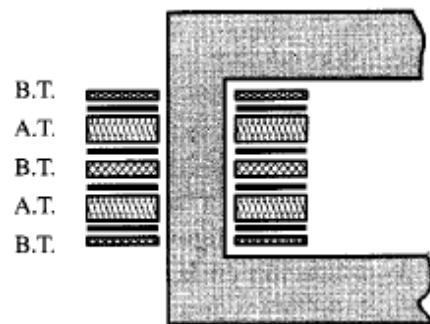


Imagen 45. Devanado alternado.



3. Sistemas de refrigeración.

En un transformador, como en cualquier otro tipo de máquina eléctrica, existen una serie de pérdidas que se transforman en calor y que contribuyen al calentamiento de la máquina. Para evitar que se consigan altas temperaturas que puedan afectar la vida de los aislamientos de los devanados es preciso dotar al transformador de un sistema de refrigeración adecuado, ya que el elemento más sensible a los calentamientos es el aislante de los devanados.

Según el refrigerante utilizado se distinguen dos tipos de transformadores:

- Transformador seco: Son transformadores de pequeña potencia que no necesitan de un sistema de refrigeración.
La carcasa se construye con el número de aletas adecuado para que la superficie externa sea suficiente como para evacuar el calor generado.



Imagen 46. Transformador seco.

- Transformadores en baño de aceite: Son transformadores de media y alta potencia en los que los elementos activos, núcleos y devanados, se sumergen en aceite.



Imagen 47. Transformador en baño de aceite.



El aceite de los transformadores en baño de aceite, tiene una doble misión, por un lado refrigerá y por otro aísla los elementos activos de la carcasa externa. El inconveniente que presenta el aceite vegetal es que al aumentar la temperatura y en contacto con el oxígeno, se oxida y pierde sus propiedades refrigerantes y aislantes. Para evitarlo, se añaden al aceite unas sustancias llamadas inhibidores.

Además, en estos tipos de transformadores, se dispone de un depósito de expansión, colocado en la parte superior del transformador. La misión de este depósito es por una parte, mantener todos los elementos del interior de la carcasa en contacto con el aceite, por otro lado, disminuir la superficie de aceite en contacto con el aire, con lo que se reduce la oxidación. Y por último, expandir el aceite cuando se calienta sin que aparezcan sobrepresiones en la cuba del transformador saliendo aire al exterior. Cuando el aceite se enfriá contrayéndose, entra aire en el depósito. La entrada y salida se produce a través de un filtro de silicagel que elimina la humedad del aire.

Para evitar los peligros del aceite vegetal, se fabricaron aceites sintéticos llamados genéricamente Askarel, pero estos aceites tenían el problema de su difícil eliminación, y por ello, problemas de carácter medioambiental, por lo que en la actualidad están prohibidos. Para evitar los problemas anteriormente planteados, aparecieron aceites a base de siliconas. También existen otros refrigerantes menos utilizados tales como el agua y el gas.

Por otro lado, según el tipo de refrigeración realizado se distinguen dos tipos:

- Refrigeración natural: El elemento refrigerante se mueve llegando a los radiadores, debido únicamente a la diferencia de temperatura.
- Refrigeración forzada: El elemento refrigerante se mueve mediante ventiladores o bombas.
En caso necesario se añaden intercambiadores de calor para enfriar rápidamente el fluido refrigerante.

4. Otros elementos.

1. Pasapatas:

Son aisladores de porcelana que permiten sacar al exterior de la cuba las bornas.

Dichos dispositivos están llenos de aire o aceite para su refrigeración.



Imagen 48. Pasapatas.



2. Relé Bucholtz:

Es un dispositivo de alarma y protección del transformador.

Está formado por una pequeña cámara llena de aceite situada entre la cuba y el depósito de expansión por el que circula el aceite. En el interior del depósito de expansión, se dispone de dos flotadores con un punto de giro. Cuando se produce un sobrecaleamiento en el aceite, que puede ser debido a sobrecargas de corriente, fallos en el aislamiento, etc..., aparecen burbujas que se dirigen hacia el depósito de expansión atravesando el relé, si el número de burbujas no es muy alto actúa el primero de los flotadores activando una señal de alarma, pero si el fallo es más peligroso, el número de burbujas aumenta activando el segundo flotador que daría la orden de desconexión del transformador.



Imagen 49. 7. Relé Bucholtz.

3. Placa de características:

La placa de características es una lámina metálica ubicada en el exterior del transformador en lugar visible en la que se indica la potencia aparente nominal, las tensiones de primario y secundario nominales, la frecuencia de trabajo, la impedancia equivalente en % ó caída de tensión relativa de cortocircuito, esquema de conexiones internas, el tipo de refrigeración, el nombre de fabricante y la serie de fabricación.

En la siguiente imagen podemos observar la placa de características del transformador entrenador trifásico que se utiliza en el presente trabajo.

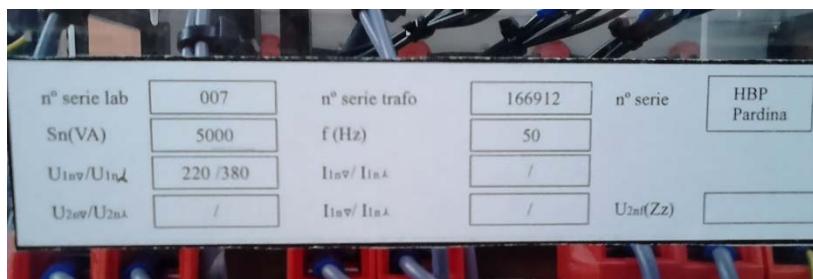


Imagen 50. Placa de características.



3. Funcionamiento de un transformador real.

En un transformador real los devanados presentan resistencia al paso de la corriente, introduciendo caídas de tensión y pérdidas por efecto Joule. Por otra parte, no todo el flujo generado por las bobinas circula por el interior del núcleo, si no que existe una pequeña cantidad de éste que se cierra a través del aire, por lo que existe flujo disperso o flujo de dispersión.

1. Funcionamiento en vacío.

Cuando el transformador no alimenta ninguna carga se dice que está en vacío. En estas condiciones no existe corriente por el secundario sino únicamente por el primario. Aparecerá ahora una resistencia R_1 y un flujo disperso creado por este devanado.

Para simplificar el estudio del efecto de los flujos en el circuito, interesa que ambos devanados sean atravesados por un único flujo, para ellos se considerará que en serie con el devanado primario existe una inductancia, L_{d1} , llamada inductancia de dispersión, con el mismo número de espiras que el devanado del que procede y cuyo valor es tal que al circular por ella la corriente de primario da lugar al flujo disperso. El valor de esta inductancia es:

$$L_{d1} = N_1 \cdot \frac{d\phi_{d1}}{di_1}$$

A partir de la inductancia se obtiene la reactancia de dispersión X_{d1} de valor:

$$X_{d1} = L_{d1} \cdot w$$

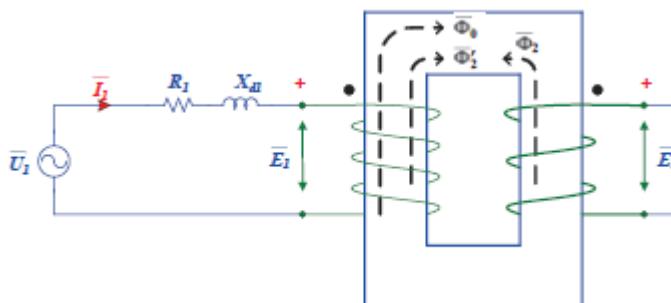


Imagen 51. Circuito de un transformador en vacío.

Aplicando las Leyes de Kirchhoff al transformador en vacío, se obtiene las siguientes expresiones temporales:

$$\begin{aligned} v_1(t) &= R_1 \cdot i_0(t) + L_{d1} \cdot \frac{di_0(t)}{dt} + e_1(t) \\ v_2(t) &= e_2(t) \end{aligned}$$

Y sus expresiones vectoriales son:

$$\begin{aligned} \bar{V}_1 &= R_1 \cdot \bar{I}_0 + j \cdot X_{d1} \cdot \bar{I}_0 + \bar{E}_1 \\ \bar{V}_2 &= \bar{E}_2 \end{aligned}$$

Teniendo en cuenta que la corriente de vacío absorbida por un transformador es muy pequeña, situándose entre el 0,6 y el 8% de la corriente nominal, por otra parte, la

impedancia de un transformador es siempre baja, lo que supone que la caída de tensión en el primario debida a la \bar{I}_0 sea prácticamente despreciable.

En estas condiciones se puede considerar $\bar{V}_1 \cong \bar{E}$ y por lo tanto, la relación de transformación en vacío de un transformador es:

$$r_t = \frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2} \cong \frac{V_1}{V_2}$$

2. Funcionamiento en carga.

Cuando se coloca una carga en el secundario del transformador, aparece una corriente que lo atraviesa. Esta corriente, producirá un incremento de la corriente por el primario a la que llamamos corriente de carga \bar{I}'_2 .

La corriente que circula por el devanado primario se obtiene de la suma vectorial de la corriente de vacío y de la corriente de carga:

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_0 + \bar{I}'_2 = \bar{I}_0 + \frac{\bar{I}_2}{r_t}$$

Por otra parte, el devanado secundario presenta una resistencia al paso de esta corriente y que, además, esta corriente dará lugar a la aparición de un flujo disperso propio del devanado secundario. Por lo tanto, el flujo total concatenado por el devanado secundario es:

$$\phi_2 = \phi_{d2} + \phi$$

Este flujo disperso concatenado por este segundo devanado puede ser representado por una bobina de dispersión con N_2 espiras que al ser recorrida por la corriente de secundario produzca el flujo disperso. De esta manera, ambos devanados concatenan un único flujo común. El valor de la inductancia de dispersión es:

$$L_{d2} = N_2 \cdot \frac{d\phi_{d2}}{di_2}$$

A partir de la inductancia se obtiene la reactancia de dispersión X_{d2} de valor:

$$X_{d2} = L_{d2} \cdot \omega$$

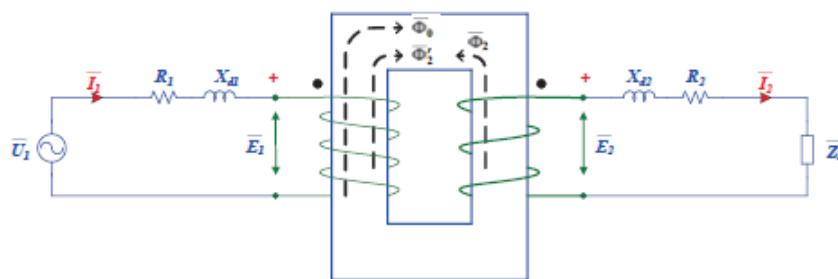


Imagen 52. Circuito de un transformador en carga.



Aplicando las leyes de Kirchhoff al transformador en carga, se obtienen las siguientes expresiones temporales para el primario y el secundario:

$$v_1 = R_1 \cdot i_1(t) + L_{d1} \cdot \frac{di_1(t)}{dt} + e_1(t)$$
$$e_2(t) = R_2 \cdot i_2(t) + L_{d2} \cdot \frac{di_2(t)}{dt} + v_2(t)$$

Y estas expresiones en modo vectorial son:

$$\bar{V}_1 = R_1 \cdot \bar{I}_0 + j \cdot X_{d1} \cdot \bar{I}_1 + \bar{E}_1$$

$$\bar{E}_2 = R_2 \cdot \bar{I}_2 + j \cdot X_{d2} \cdot \bar{I}_2 + \bar{V}_2$$

Por último, destacar que cuando el transformador está funcionando en carga, no se cumple $r_t = \frac{V_1}{V_2}$, aunque siempre es válida la relación:

$$r_t = \frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2}.$$

Por otra parte, dado que la corriente de vacío del transformador es independiente de la condición de carde de éste, la relación de transformación entre corrientes $\bar{I}_1 = \bar{I}_0 + \frac{\bar{I}_2}{r_t}$, es válida.

4. Circuito equivalente del transformador.

Se busca un circuito eléctrico, en el que no existan circuitos magnéticos, que incorpore todo los fenómenos físicos que se producen en el transformador y se pueda conocer su funcionamiento en cualquier régimen de carga.

El circuito, deberá conservar las condiciones energéticas de la máquina, es decir, las potencias activas y reactivas y su reparto en los distintos elementos del transformador deben ser los mismos en la máquina original que en el circuito equivalente que lo represente.

Para la obtención de dicho circuito equivalente, primero se deberá reducir ambos devanados a un mismo número de espiras, normalmente se reduce el devanado secundario al devanado primario. ($N'_2 = N_1$).

En la siguiente imagen se observa el circuito equivalente de un transformador real reducido al primario.

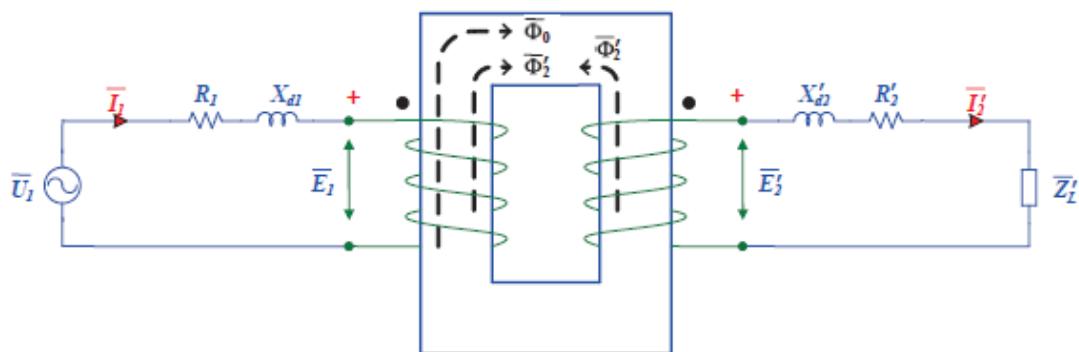


Imagen 53. Circuito equivalente de un transformador real reducido al primario.

La relación de transformación del transformador equivalente es 1, y por lo tanto, la f.e.m. del devanado secundario E'_2 y la relación entre la f.e.m. del transformador original E_2 , y la del equivalente E'_2 , también llamada f.e.m. de secundario referida al primario, es:

$$r't = \frac{N_1}{N'_2} = \frac{N_1}{N_1} = \frac{E_1}{E'_2} = 1 \rightarrow E'_2 = E_1 \rightarrow E'_2 = E_2 \cdot rt$$

Para obtener la relación existente entre las corrientes de ambos transformadores, I_2 e I'_2 , se tendrá en cuenta la condición expuesta anteriormente de que la potencia debe ser la misma en los dos. Así, la potencia eléctrica interna generada por el secundario debe ser la misma.

$$S_{ei2} = E_2 \cdot I_2 = S'_{ei2} = E'_2 \cdot I'_2 \rightarrow I'_2 = I_2 \cdot \frac{E_2}{E'_2} = \frac{I_2}{rt}$$

La condición de conservación de la potencia será la que permita obtener los valores de las impedancias del secundario del transformador equivalente.

En el caso de la resistencia del devanado secundario, la potencia disipada por efecto Joule en ella deberá ser la misma impedancia de si el transformador es el real o el equivalente $R'_2 = R_2 \cdot \frac{I_2^2}{I'^2_2} = R_2 \cdot rt^2$. Y en el caso de la reactancia de dispersión del secundario $X'_{d2} = X_{d2} \cdot \frac{I_2^2}{I'^2_2} = X_{d2} \cdot rt^2$.

La tensión obtenida en bornes del secundario del transformador, reducida al primario será la ecuación para el secundario del transformador equivalente y es:

$$V_2 = E'_2 - I'_2 \cdot (R'_2 + j \cdot X'_{d2})$$

Al reducir el secundario al primario, se ha conseguido obtener la misma f.e.m. en primario que en secundario, por lo tanto se puede eliminar el acoplamiento magnético existente en el transformador real por un acoplamiento puramente eléctrico. Este paso se consigue eliminando uno de los devanados, considerando que primario y secundario comparten arrollamiento.

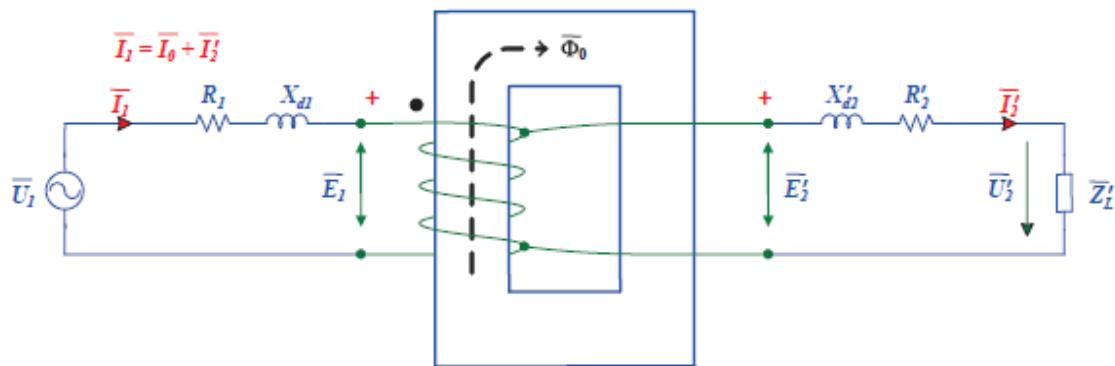


Imagen 54. Circuito equivalente de un transformador real reducido al primario, eliminado uno de los devanados.

Por este único devanado circulará la corriente que corresponde a una bobina, de N_1 espiras, arrollada a un núcleo magnético. Esta corriente es la corriente de vacío del transformador original. La corriente por el primario estará formada por la corriente de vacío y por la corriente que circulará por la segunda rama del circuito, corriente que corresponde a la de secundario reducida a primario, corriente que coincide con la del transformador original:

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_0 + \bar{I}'_2 = \bar{I}_0 + \frac{\bar{I}_2}{r_t}$$

Con este circuito se ha conseguido eliminar el acoplamiento magnético entre ambos devanados, pero sigue existiendo un circuito magnético que deseamos eliminar para trabajar únicamente con un circuito eléctrico. Para ello, habrá que apoyarse en la corriente de vacío.

La corriente de vacío, está formada por dos componentes; la componente activa I_{Fe} , encargada de generar las pérdidas en el hierro y la componente magnetizante I_μ , encargada de generar el campo magnético.

La componente activa da lugar a la aparición de unas pérdidas activas que llamamos pérdidas en el hierro P_{Fe} . El único elemento eléctrico capaz de generar tales pérdidas es una resistencia, por lo tanto, podríamos considerar que esta componente de la corriente de vacío circula por una resistencia cuyo valor es tal que las pérdidas producidas al ser atravesada por I_{Fe} sean exactamente P_{Fe} . A esta resistencia se le llama *resistencia del hierro* R_{Fe} .

Por otra parte, la componente reactiva es la encargada de generar el flujo en el hierro, esta componente se halla retrasada 90º respecto de la tensión. El elemento eléctrico que produce un retraso de este valor en la corriente es una reactancia pura, a la reactancia que es recorrida por la corriente magnetizante se le llama *reactancia de magnetización o magnetizante* X_μ .

Así que, sustituyendo la bobina de N_1 espiras, arrollada al núcleo ferromagnético, por los elementos eléctricos anteriores, se obtiene el circuito eléctrico siguiente, que será el circuito equivalente exacto del transformador referido al primario.

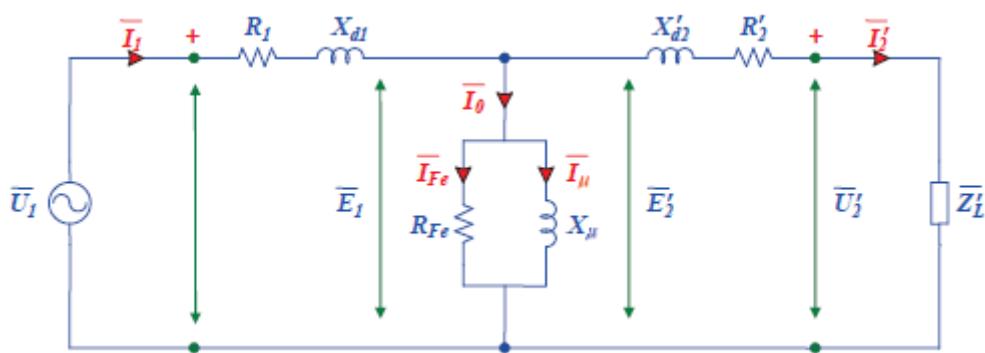


Imagen 55. Circuito equivalente exacto del transformador referido al primario.

Las ecuaciones que rigen el comportamiento del circuito equivalente exacto son:

$$\begin{aligned} \bar{V}_1 &= \bar{E}_1 + \bar{I}_1 \cdot (R_1 + j \cdot X_{d1}) \\ \bar{E}_1 &= \bar{E}_2 \\ \bar{E}'_2 &= \bar{I}'_2 \cdot (R'_2 + j \cdot X'_{d2}) + \bar{V}'_2 \\ \bar{I}_1 &= \bar{I}_0 + \bar{I}'_2 \end{aligned}$$

En los transformadores, la corriente de vacío es muy inferior a la corriente de carga, comparada con la corriente nominal. Por este motivo, el error cometido se desprecia el efecto producido por la corriente de vacío sobre el devanado primario es mínimo. En estas condiciones, el circuito anterior puede simplificarse llevando la rama de vacío directamente a bornes de primario, obteniéndose así el circuito equivalente aproximado de un transformador referido al primario.

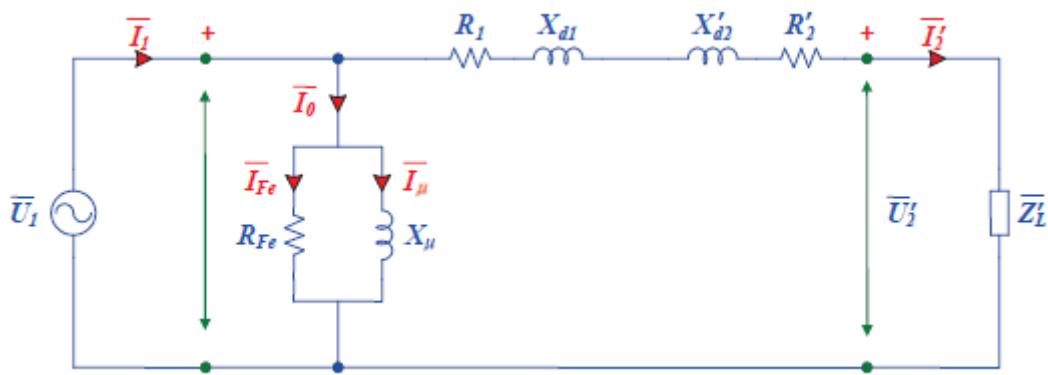


Imagen 56. Circuito equivalente aproximado de un transformador referido al primario.

A este circuito, se le pueden sustituir las resistencias y reactancias de ambos devanados por una única resistencia R_{cc} , resistencia de cortocircuito y una única reactancia X_{cc} , reactancia de cortocircuito, que sumándolas obtenemos la impedancia de cortocircuito Z_{cc} .

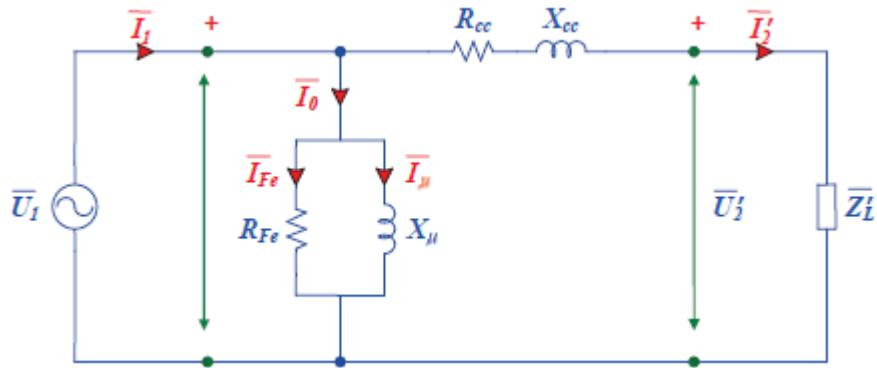


Imagen 57. Circuito equivalente aproximado de un transformador referido al primario.

Siendo:

$$\begin{aligned} R_{cc} &= R_1 + R'_2 \\ X_{cc} &= X_{d1} + X'_{d2} \\ Z_{cc} &= R_{cc} + j \cdot X_{cc} \end{aligned}$$

Y las ecuaciones del circuito son:

$$\begin{aligned} \bar{V}_1 &= \bar{E}_1 = \bar{E}'_2 = \bar{I}'_2 \cdot (R_{cc} + j \cdot X_{cc}) + \bar{V}'_2 \\ \bar{I}_1 &= \bar{I}_0 + \bar{I}'_2 \end{aligned}$$



5. Ensayos del transformador.

Los ensayos de un transformador representan las diversas pruebas que deben prepararse para verificar el comportamiento de la máquina en condiciones reales de funcionamiento. En la práctica resulta difícil la realización de ensayos reales directos por dos motivos esenciales:

- La gran cantidad de energía que ha de disiparse en tales pruebas.
- Es prácticamente imposible disponer de cargas lo suficiente elevadas, sobre todo cuando la potencia del transformador es grande, para hacer un ensayo en situaciones reales.

Por lo tanto, hacer estos ensayos en condiciones reales a una máquina, no solo en ocasiones es imposible, sino que puede ser peligroso e incluso destructivo para ésta.

Por este motivo se diseñan pruebas que simulen las condiciones reales pero que no resulten dañinas para la máquina y a su vez que puedan ser desarrolladas en un laboratorio. Existen multitud de pruebas en un transformador, como pueden ser; terminales correspondientes, ensayos de vacío y ensayo de cortocircuito.

En este trabajo fin de grado, se implementan los ensayos de vacío y cortocircuito, que serán explicados más adelante.

A continuación, se explica muy brevemente la prueba de terminales correspondientes:

En un transformador, los terminales correspondientes son aquellos que presentan la misma polaridad en cualquier instante.

Dicho ensayo permite identificar estos terminales sin necesitar más que el acceso a los bornes del transformador.

1. Ensayo de vacío.

Mediante este ensayo se obtienen los elementos que forman la rama de vacío del transformador.

El procedimiento para la obtención de estos parámetros será:

En primer lugar, se conecta en el primario del transformador un voltímetro, un amperímetro y dos vatímetros en conexión Aron y en el secundario únicamente un voltímetro.

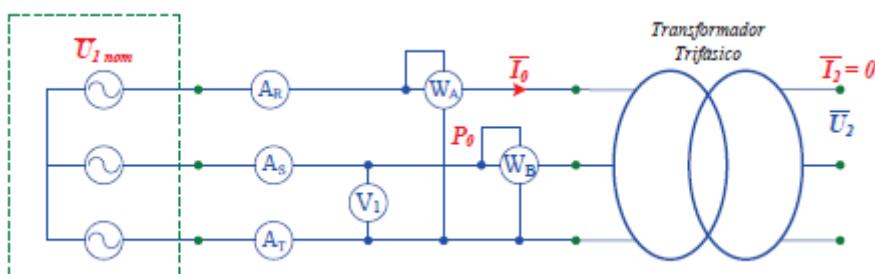


Imagen 58. Conexiones para el ensayo de vacío.



Con estas conexiones conseguiremos aplicar al primario del transformador la tensión asignada, estando el secundario en circuito abierto. Así, aplicándole la tensión nominal al primario, el transformador consumirá la corriente de vacío.

Las indicaciones recogidas por los aparatos de medida son:

- Voltímetro V_1 : Tensión nominal del primario V_{1n}
- Amperímetros A_R, A_S, A_T : Intensidad de vacío I_0
- Vatímetros W_1 y W_2 : La suma de ambos da las pérdidas de vacío: $W_1 + W_2 = P_0$

El primer resultado del ensayo de vacío es la obtención de la relación de transformación:

$$rt = \frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2}$$

Cuando el transformador está en vacío, la única corriente que circula por el primario es la corriente de vacío por lo que se puede considerar que la caída de tensión que produce en este devanado es despreciable y como consecuencia la tensión aplicada es igual a la f.e.m. En lo que se refiere al secundario esta igualdad es obvia puesto que no existe corriente por este devanado. Por lo tanto, la relación de transformación del transformador se obtiene cuando éste está en vacío a partir del cociente entre la tensión del voltímetro de primario y la del voltímetro de secundario.

$$rt = \frac{V_{1n}}{V_{20}}$$

En segundo lugar, el ensayo de vacío permite conocer el valor de la resistencia del hierro y de la reactancia de magnetización. Dado que la corriente de vacío en un transformador es muy baja, únicamente se dispone de la rama de vacío.

Se obtendrán los parámetros de esta rama de la misma forma que en caso de los transformadores monofásicos, pero teniendo en cuenta de que los datos corresponden a una conexión trifásica.

En la siguiente figura se representa el circuito monofásico de la rama de vacío, considerando que la conexión efectuada corresponde a una conexión: Y-y.

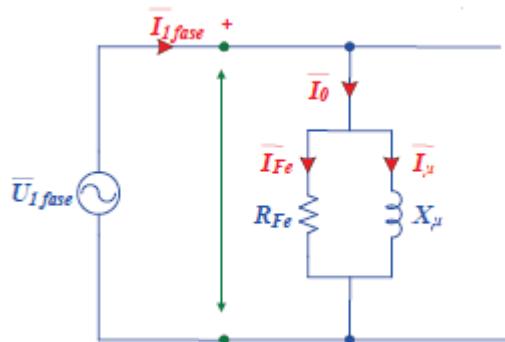


Imagen 59. Circuito monofásico de la rama de vacío.
Conexión Y-y.



Las pérdidas obtenidas por el vatímetro corresponden a las de la resistencia R_{Fe} al ser recorrida por la corriente I_{Fe} .

En primer lugar obtendremos el coseno del ángulo de la corriente de vacío (coseno de vacío o factor de potencia en vacío):

$$\cos(\varphi_0) = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot V_{1n} \cdot I_0} = \frac{P_0}{3 \cdot V_{1nF} \cdot I_0} = \frac{P_0}{V_{1nF} \cdot I_0}$$

(El subíndice F indica valor de fase)

A partir de éste conoceremos las componentes activa y reactiva de vacío, en valores de fase:

$$I_{FeF} = I_{0F} \cdot \cos(\varphi_0)$$

$$I_{\mu F} = I_{0F} \cdot \sin(\varphi_0)$$

Conocidas las corrientes, la resistencia y la reactancia se obtienen dividiendo la tensión por éstas:

$$R_{FeF} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} \cdot I_{Fe}} = \frac{V_{1nF}}{I_{FeF}}$$

$$X_{\mu F} = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3} \cdot I_{\mu}} = \frac{V_{1nF}}{I_{\mu F}}$$

De esta forma la rama de vacío queda perfectamente caracterizada.

El ensayo explicado corresponde al ensayo de vacío normalizado, puesto que la tensión aplicada en el primario ha sido la tensión nominal. En ocasiones el ensayo de vacío no puede realizarse aplicando la tensión de primario nominal por no poderse alcanzar, en ensayo puede realizarse con tensiones inferiores siempre y cuando el transformador entre en saturación. En estas circunstancias, aunque los valores reflejados por los aparatos no son normalizados, el procedimiento para el cálculo de los elementos de la rama de vacío es el mismo y los resultados apenas diferirán de los obtenidos con el ensayo normalizado.

Resulta muy útil poder relacionar las pérdidas de vacío del transformador cuando es alimentado a tensión nominal con las pérdidas obtenidas con otra tensión de alimentación. Dado que la resistencia en el hierro no varía (siempre que el transformador esté en saturación) se puede obtener la siguiente relación:

- Pérdidas a tensión nominal: $P_0 = \frac{V_{1n}^2}{R_{Fe}}$
- Pérdidas a tensión distinta de la nominal: $P'_0 = \frac{V_1^2}{R_{Fe}}$
- Relación entre las anteriores: $P'_0 = P_0 \cdot \left(\frac{V_1}{V_{1n}}\right)^2$

Por último, destacar que es muy habitual aplicar el ensayo de vacío al secundario del transformador cuando éste es el de baja tensión, puesto que el nivel de tensión necesario es inferior que cuando se aplica al lado de alta tensión. En estas circunstancias, para obtener los parámetros de la rama de vacío referidos a primario, será necesario pasar los datos obtenidos a primario para, posteriormente, trabajar con ellos de la misma forma que la explicada anteriormente.

2. Ensayo de cortocircuito.

Por medio de este ensayo se obtiene la impedancia de cortocircuito del transformador.

Se conecta al primario un voltímetro, tres amperímetros y dos vatímetros, los secundarios se cortocircuitan y se alimenta al primario mediante una fuente de tensión variable; se aumenta lentamente la tensión del primario hasta que el transformador consuma la intensidad nominal, en este momento se toma la lectura de los aparatos.

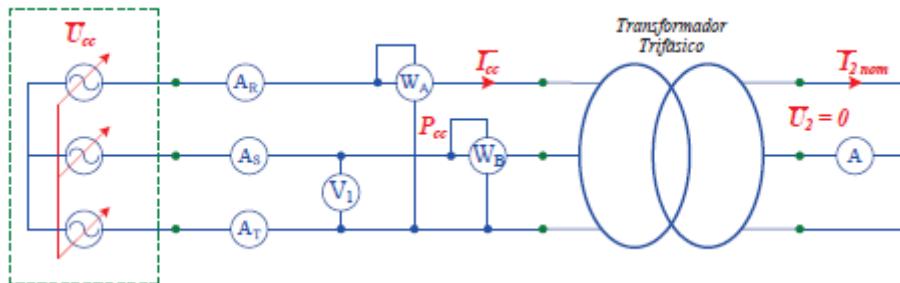


Imagen 60. Conexiones para el ensayo de cortocircuito.

La indicación de los aparatos es:

- Voltímetro V_1 : Tensión a la que el transformador consume la corriente nominal con el secundario en cortocircuito, se llama tensión de cortocircuito V_{cc} .
- Amperímetros A_R , A_S y A_T : Intensidades de primario nominal I_{1n} , si el ensayo es normalizado.
- Vatímetros W_A y W_B : La suma de las lecturas en ambos indica la potencia consumida por el transformador en estas condiciones, que se llama potencia de cortocircuito P_{cc} .

En la imagen siguiente se muestra el circuito monofásico del transformador trifásico, con un cortocircuito en el secundario, tal y como se realiza el ensayo y considerando conexión Y-y.

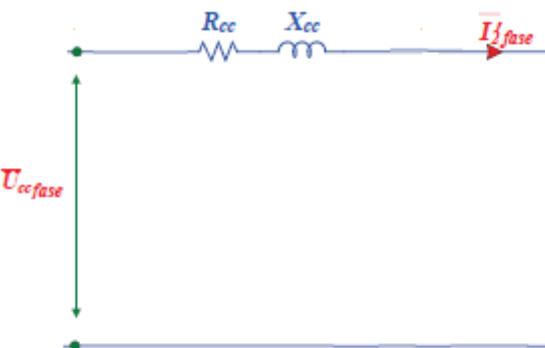


Imagen 61. Circuito monofásico del transformador trifásico,
ensayo de cortocircuito.

El coseno de cortocircuito se puede obtener de distintas formas, al igual que el de vacío, según si se utilizan datos de línea o de fase:

$$\cos(\varphi_0) = \frac{P_{cc}}{\sqrt{3} \cdot V_{cc} \cdot I_{1n}} = \frac{P_{cc}}{3 \cdot V_{ccF} \cdot I_{1nF}} = \frac{P_{ccF}}{V_{ccF} \cdot I_{1nF}}$$

De aquí se obtiene la caída de tensión en la resistencia y la caída de tensión en la reactancia:

$$V_{Rcc} = V_{ccF} \cdot \cos(\varphi_{cc}) \quad V_{XccF} = V_{ccF} \cdot \sin(\varphi_{cc})$$

Conocidas las tensiones y las intensidades se puede obtener el valor de los elementos del circuito. Estos valores serán; el valor de la impedancia de cortocircuito y el valor de la resistencia y la reactancia de cortocircuito:

La impedancia de cortocircuito es:

$$Z_{ccF} = \frac{V_{cc}}{\sqrt{3} \cdot I_{1n}} = \frac{V_{ccF}}{I_{1nF}}$$

Y en modo de coordenadas polares será:

$$\bar{Z}_{ccF} = Z_{cc} < \varphi_{cc}$$

Los valores de la resistencia y la reactancia de cortocircuito son:

$$R_{ccF} = Z_{ccF} \cdot \cos(\varphi_{cc}) = \frac{V_{RccF}}{I_{1nF}}$$

$$X_{ccF} = Z_{ccF} \cdot \sin(\varphi_{cc}) = \frac{V_{XccF}}{I_{1nF}}$$

De esta forma el circuito del transformador queda perfectamente caracterizado.

Si el ensayo no pudiera realizarse a corriente nominal, éste sería no normalizado de manera que las pérdidas obtenidas no corresponderían con las pérdidas de cortocircuito en condiciones nominales P_{cc} , sino que serían de distinto valor. A pesar de ello el método utilizado para calcular los parámetros del circuito equivalente seguiría siendo válido y los resultados prácticamente idénticos.

Es interesante poder relacionar las pérdidas en el ensayo de cortocircuito normalizado con las obtenidas en caso de que no sea, para ello basta con darse cuenta de que estas pérdidas se producen en la resistencia de cortocircuito al ser atravesadas por la corriente de ensayo:

- Ensayo normalizado: $P_{cc} = R_{cc} \cdot I_{1n}^2$
- Ensayo no normalizado (a intensidad I_1): $P'_{cc} = R_{cc} \cdot I_1^2$
- Relación de las dos anteriores: $P'_{cc} = P_{cc} \cdot \left(\frac{I_1}{I_{1n}}\right)^2$

Una vez que tenemos calculados los parámetros de los ensayos de vacío y cortocircuito, hemos obtenido el circuito equivalente del transformador.

En la imagen siguiente se muestra el circuito equivalente de un transformador trifásico conectado a una carga. Se representa el circuito equivalente de una fase.

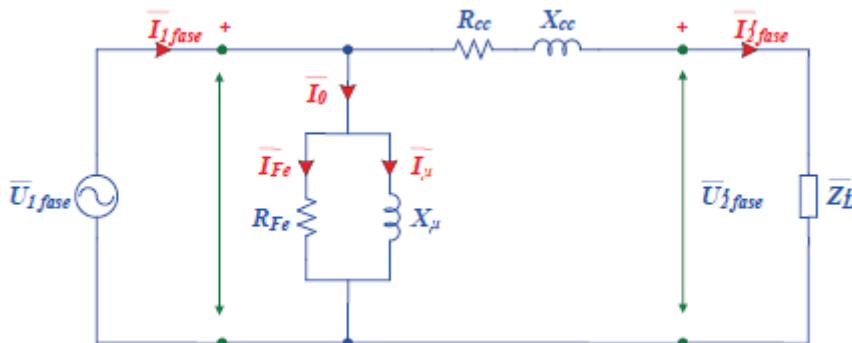


Imagen 62. Circuito equivalente monofásico de un transformador.



Y por último y no por ello menos importante, son las tensiones relativas de cortocircuito.

Las caídas de tensión que se producen en los elementos que componen la rama de cortocircuito, cuando por ellos circula la corriente nominal, suelen expresarse en tanto por ciento respecto de la tensión de primario nominal, así se tiene:

- Tensión relativa en la resistencia de cortocircuito:

$$\varepsilon_{Rcc}(\%) = \frac{R_{cc} \cdot I_{1n}}{V_{1n}} \cdot 100 = \frac{V_{Rcc}}{V_{1n}} \cdot 100$$

- Tensión relativa en la reactancia de cortocircuito:

$$\varepsilon_{Xcc}(\%) = \frac{X_{cc} \cdot I_{1n}}{V_{1n}} \cdot 100 = \frac{V_{Xcc}}{V_{1n}} \cdot 100$$

- Tensión relativa en la impedancia de cortocircuito:

$$\varepsilon_{Zcc}(\%) = \frac{Z_{cc} \cdot I_{1n}}{V_{1n}} \cdot 100 = \frac{V_{cc}}{V_{1n}} \cdot 100$$

6. Caída de tensión en un transformador.

Cuando un transformador es alimentado a tensión nominal (V_{1n}) en vacío, el secundario induce la tensión de secundario nominal (V_{2n}). Sin embargo, cuando el transformador trabaja en carga se produce un descenso de la tensión en bornes debido a la caída que produce la corriente al circular los devanados.

Se llama caída de tensión a la diferencia aritmética que se produce entre los módulos de las tensiones de secundario en vacío y en carga del transformador.

$$\Delta V = V_{2n} - V_2$$

Esta caída se suele expresar en tanto por ciento respecto de la tensión de secundario nominal, llamándose en este caso regulación.

$$\varepsilon_c(\%) = \frac{\Delta V}{V_{2n}} \cdot 100 = \frac{V_{2n} - V_2}{V_{2n}} \cdot 100$$

Y la regulación referida al primario será:

$$\varepsilon_c(\%) = \frac{(V_{2n} - V_2) \cdot r_t}{V_{2n} \cdot r_t} \cdot 100 = \frac{(V_{1n} - V_{2n})}{V_{1n}} \cdot 100$$



7. Pérdidas y rendimiento en los transformadores.

1. Pérdidas.

En los transformadores no hay pérdidas por movimiento, las pérdidas que se producen se deben a los dos sistemas que intervienen en la transformación de la tensión:

- Sistema magnético.
- Sistema eléctrico.

Las pérdidas del sistema magnético provienen de las corrientes de Foucault y del ciclo de Histéresis, en tanto que las pérdidas en el sistema eléctrico provienen del paso de la corriente por los devanados.

A las primeras de las pérdidas se les llama pérdidas de vacío o pérdidas en el hierro y las segundas se conocen como pérdidas en el cobre.

Las pérdidas de vacío fueron estudiadas en el ensayo de vacío, estas pérdidas se consideran fijas o constantes puesto que no varían con la carga, sino que lo hacen con la tensión aplicada al primario. Si la tensión corresponde a la nominal estas pérdidas serán las del ensayo, pero si la tensión variase las pérdidas variarán.

$$P'_0 = P_0 \cdot \left(\frac{V_1}{V_{1n}} \right)^2$$

A las pérdidas en el cobre se les conoce como pérdidas variables puesto que dependen de la corriente que circula por el transformador y ésta es función de la carga. En el caso de que la corriente fuera la nominal, las pérdidas coincidirán con las del ensayo de cortocircuito normalizado, pero si esto no fuera así las pérdidas se obtendrán a partir de la corriente de la siguiente manera:

$$P_{cu} = R_{cc} \cdot (I'_2)^2$$

Estas pérdidas se pueden relacionar con las del ensayo de cortocircuito:

$$P_{cu} = P_{cc} \cdot \left(\frac{I'_2}{I'_{2n}} \right)^2$$



2. Rendimiento.

Al igual que en cualquier máquina, el rendimiento en los transformadores se obtiene del cociente entre la potencia útil o potencia entregada a la carga y la potencia absorbida de la red.

$$\eta(\%) = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{absorbida}}} \cdot 100 = \frac{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos(V_2 \wedge I_2)}{V_1 \cdot I_1 \cdot \cos(V_1 \wedge I_1)} \cdot 100$$

El rendimiento en los transformadores es muy alto (puede superar el 99%), eso hace que el rendimiento se calcule habitualmente obteniendo la potencia absorbida a partir de las pérdidas y de la potencia útil.

$$\begin{aligned} \eta(\%) &= \frac{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos(\varphi_2)}{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos(\varphi_2) + P'_0 + P_{cu}} \cdot 100 = \\ &= \frac{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos(V_2 \wedge I_2)}{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos(\varphi_2) + P_0 \cdot \left(\frac{V_1}{V_{1n}}\right)^2 + C^2 \cdot P_{cc}} \cdot 100 \end{aligned}$$

(Siendo C el índice de carga).

En el caso de máximo rendimiento, para una tensión dada, se obtiene derivando el rendimiento respecto de la intensidad. Aplicando este procedimiento se obtiene el máximo rendimiento cuando las pérdidas fijas se igualan a las pérdidas variables, el índice de carga con el que esta circunstancia se produce se conoce como índice de carga óptimo.

$$P_{Fe} = P_{cu} \rightarrow P_{fe} = C_{\text{óptimo}}^2 \cdot P_{cc} \rightarrow \sqrt{\frac{P_{Fe}}{P_{cc}}}$$



ANEXO C.

SOFTWARE TIAPORTAL V12.



1. AUTÓMATA.

Recordamos que el autómata dispone una CPU, la cual, soporta los siguientes tipos de bloques lógicos que permiten estructural eficientemente el programa de usuario:

- Los bloques de organización (OB's) definen la estructura del programa. Algunos OB's tienen reacciones y eventos de arranque predefinidos. No obstante, también es posible crear OB's con eventos de arranque personalizados.
- Las funciones (FC's) y los bloques de función (FB's) contienen el código de programa correspondiente a tareas específicas o combinaciones de parámetros. Cada FC o FB provee parámetros de entrada y salida para compartir datos con el bloque invocante. Un FB utiliza también un bloque de datos asociado (denominado DB instancia) para conservar el estado de valores durante la ejecución que pueden utilizar otros bloques de programa.
- Los bloques de datos (DB's) almacenan datos que pueden ser utilizados por los bloques de programa.

La ejecución del programa de usuario comienza con uno o varios bloques de organización (OB's) de arranque que se ejecutan una vez al cambiar a estado operativo RUN, seguidos de uno o varios OB's de ciclo que se ejecutan cíclicamente. También es posible asociar un OB a un evento de alarma que puede ser un evento estándar o de error y que se ejecuta cada vez que ocurre el evento en cuestión.

En cada ciclo se escribe en las salidas, se leen las entradas, se ejecutan las instrucciones del programa de usuario y se realiza el mantenimiento del sistema o procesamiento en segundo plano.

1. Programa principal.

El programa principal (OB) es un bloque de organización, los cuales constituyen la interfaz entre el sistema operativo y el programa de usuario, es decir, determinan la estructura de usuario.

Programando los bloques de organización se define el comportamiento de la CPU, por tanto en función de la CPU utilizada, se dispone de diferentes bloques de organización.

Estos bloques son llamados por el sistema operativo y controlan los procesos siguientes:

- Comportamiento en arranque del sistema de automatización.
- Ejecución cíclica del programa.
- Ejecución del programa controlada por alarmas.
- Tratamiento de errores.



En un proyecto de automatización debe haber como mínimo un OB de ciclo. En dicho OB de ciclo se escribe el programa que determina el comportamiento del controlador. El sistema operativo llama al OB una vez por ciclo, iniciando con ello la ejecución del programa que contiene. El ciclo vuelve a comenzar cada vez que finaliza la ejecución del programa.

La ejecución del programa de un bloque de organización puede verse interrumpida por la llamada de otros bloques de organización. En tareas de automatización complejas, el programa se estructura y divide en varios bloques que se llaman desde el OB de ciclo y se procesan sucesivamente.

Tanto en el programa principal, como en los bloques de funciones se pueden implementar diferentes instrucciones, como pueden ser; operaciones lógicas con bits, funciones matemáticas, comunicación, etc,...

A continuación se expone una explicación de los elementos y funciones que se han implementado en el OB1.

- **OPERACIONES LÓGICAS CON BITS:**

Estas instrucciones están dispuestas a lo largo de todo el programa, ya que el programa está diseñado con lenguaje KOP (Esquema de contactos), es decir, utiliza los estados lógicos “1” y “0” para activar, desactivar y/o realizar la acción determinada en el programa. KOP es un lenguaje de programación gráfico. Entre estas instrucciones implementadas en el programa, destacan; contacto normalmente abierto, contacto normalmente cerrado, SET (activar salida), RESET (desactivar salida), P_TRIG (consultar flanco de señal ascendente) y asignación (activa el bit del operando indicado).

- **BLOQUES DE DATOS INSTANCIA (DB):**

Cuando se llama a un bloque de función (FB), se le asignan los bloques de datos instancia (DB), en los que se almacenan los datos de programa, es decir, la llamada de un bloque de función se denomina instancia y los datos con los que trabaja la instancia se almacenan en un bloque de datos instancia.

- **FUNCIONES MATEMÁTICAS:**

Las funciones matemáticas son instrucciones básicas capaces de realizar una función matemática. Estas instrucciones obtienen un resultado o salida (OUT) a partir de un determinado número de entradas (IN), siempre que el tipo de datos establecido en el bloque de la instrucción matemática sea el adecuado. Entre estas funciones matemáticas podemos distinguir las siguientes; sumar, restar, multiplicar, dividir, calcular cuadrados, raíz cuadrada, logaritmo, seno, coseno tangente, entre otros.

- **COMPARACIÓN:**

La comparación, al igual que las funciones matemáticas son instrucciones básicas y son capaces de realizar una comparación entre varias entradas (EN) y devolver un estado lógico “1” ó “0”, dependiendo del resultado afirmativo o negativo de la comparación en una salida (OUT).

A continuación se detalla la lista completa de todas las instrucciones básicas y funciones implementadas en el programa del presente trabajo.



1. INSTRUCCIONES BÁSICAS.

OPERACIONES LÓGICAS CON BITS		
SÍMBOLO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
	CONTACTO NORMALMENTE ABIERTO	Si el estado lógico del operando es "1", se cierra el contacto normalmente abierto y el estado lógico de la entrada se transfiere a la salida.
	CONTACTO NORMALMENTE CERRADO	Si el estado lógico del operando es "1", se abre el contacto normalmente cerrado y el estado lógico de la salida de la instrucción se pone a "0".
	ASIGNACIÓN	Permite activar el bit de un operando indicado. Si el resultado lógico (RLO) en la entrada de la bobina es "1", el operando indicado adopta el estado lógico "1". Si el estado lógico de la entrada de la bobina es "0", el bit del operando indicado se pone a "0".
	ASIGNACIÓN NEGADA	Invierte el resultado lógico y lo asigna al operando indicado. Si el RLO de la entrada de la bobina es "1", se desactiva el operando. Si el RLO de la entrada de la bobina es "0", el operando adopta el estado lógico "1".
	RESET. Desactivar salida	La instrucción se ejecuta solo si el RLO de la entrada de la bobina es "1". Si el RLO de la entrada de la bobina es "1", el operando indicado se pone a "0". Si el RLO de la entrada de la bobina es "0", el estado lógico del operando indicado no cambia.
	SET. Activar salida	La instrucción se ejecuta solo si el RLO de la entrada de la bobina es "1". Si el RLO de la entrada de la bobina es "1", el operando indicado se pone a "1". Si el RLO de la entrada de la bobina es "0", el estado lógico del operando indicado no cambia.
	P_TRIG. Consultar flaco de señal ascendente del RLO	Permite consultar un cambio del estado lógico del resultado lógico de "0" a "1". La instrucción compara el estado lógico actual del RLO con el estado lógico de la consulta anterior que está guardado en una marca de flancos. Si la instrucción detecta un cambio del RLO de "0" a "1", significa que hay un flaco de señal ascendente.

Tabla 16. Operaciones lógicas con bits.



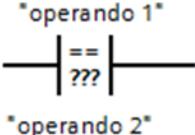
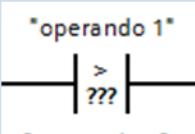
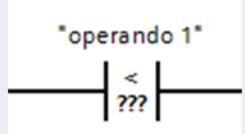
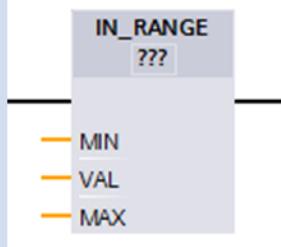
COMPARACIÓN		
SÍMBOLO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
	CMP == Igual	Permite consultar si son iguales dos operandos. Si se cumple la comparación, la instrucción devuelve el resultado lógico "1", si no, el RLO será "0".
	CMP > Mayor	Permite consultar si el primer valor de comparación es mayor que el segundo. Ambos valores de comparación deben ser del mismo tipo de datos. Si cumple la condición de la comparación, la instrucción devuelve el RLO "1", si no, el RLO será "0".
	CMP < Menor	Permite consultar si el primer valor de comparación es menor que el segundo. Ambos valores deben ser del mismo tipo de datos. Si cumple la condición de la comparación, la instrucción devuelve el RLO "1", si no, el RLO será "0".
	IN_RANGE. Valor dentro del rango	Permite consultar si el valor de la entrada VAL está dentro de un determinado rango de valores; MIN y MAX. Compara el valor de la entrada VAL con los valores de las entradas MIN y MAX y transfiere el resultado a la salida. Si el valor de la entrada VAL cumple la comparación: MIN<=VAL ó VAL>=MAX, la salida devuelve un RLO igual a "1". Si no se cumple la comparación, la salida devuelve el estado lógico "0". Los valores que se comparan, deben ser del mismo tipo de datos.

Tabla 17. Comparación.



2. FUNCIONES MATEMÁTICAS.

FUNCIONES MATEMÁTICAS		
SÍMBOLO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
	CALCULATE. Calcular	Permite definir y ejecutar una expresión para calcular operaciones matemáticas o combinaciones lógicas complejas en función del tipo de datos seleccionado.
	ADD. Sumar	Permite sumar el valor de las entradas IN1, IN2,... INn y consultar la suma en la salida OUT. OUT:= IN1+IN2+...+INn
	SUB. Restar	Permite restar el valor de las entradas IN1, IN2,... INn y consultar la diferencia en la salida OUT. OUT:= IN1-IN2-...-INn
	MUL. Multiplicar	Permite multiplicar el valor de las entradas IN1, IN2,... INn y consultar el producto en la salida OUT. OUT:= IN1*IN2*...*INn
	DIV. Dividir	Permite dividir el valor de las entradas IN1 e IN2 y consultar el cociente en la salida OUT. OUT:= IN1/IN2
	SQRT. Raíz cuadrada	Permite obtener la raíz cuadrada del valor de la entrada IN y consultar el resultado en la salida OUT.
	SIN. Seno	Permite calcular el seno del ángulo. El resultado se deposita en la salida OUT. El tamaño del ángulo se indica en radianes en la entrada IN.
	ACOS. Arcocoseno	Permite calcular a partir del valor de coseno indicado en la entrada IN el tamaño del ángulo que equivale a este valor. En la entrada IN sólo se pueden indicar números en coma flotante comprendidos entre -1 y +1. El tamaño del ángulo calculado se deposita en radianes en la salida OUT y puede estar comprendido entre 0 y +π.

Tabla 18. Funciones matemáticas.



2. Bloque de funciones.

Los bloques de función son bloques lógicos que depositan sus parámetros de entrada, salida y entrada/salida de forma permanente en bloques de datos (DB) instancia, de modo que siguen estando disponibles después de editar el bloque.

Los bloques de función también pueden funcionar con variables temporales, las cuales no se almacenan en el DB instancia, sino que únicamente permanecen disponibles durante un ciclo. En el presente trabajo, se utilizarán variables temporales.

Además, los bloques de función, contienen subprogramas que se ejecutan cada vez que un bloque de función es llamado por otro bloque lógico. Estos bloques de función también se pueden llamar varias veces en diferentes puntos de un programa, por lo que facilita la programación de funciones de uso frecuente.

En los bloques de función se pueden utilizar las mismas instrucciones que en el programa principal.

3. Bloque de datos.

Un bloque de datos (DB) sirve para guardar valores que se escriben durante la ejecución del programa. Estos bloques de datos solo contienen declaraciones de variables, no contienen ni segmentos ni instrucciones. Las declaraciones de variables definen la estructura del bloque de datos.

El bloque de datos (DB), es una tabla de declaración de variables. Dentro de esta tabla podemos clasificar las variables como; Input (entrada), Output (salida), InOut (entrada/salida) y Static (estáticas). Además, la tabla está compuesta por una serie de columnas que se pueden mostrar u ocultar según necesidad, estas columnas serán; nombre, tipo de datos, valor de arranque, remanencia, accesible desde HMI, visible desde HMI, valor de ajuste y comentario.

En el Anexo E, se adjunta la tabla correspondiente al bloque de datos utilizado en el programa del presente trabajo.

4. Variables PLC.

Una variable es una magnitud que se utiliza en el programa y puede adoptar valores distintos. En función del ámbito de validez, las variables pueden ser; variables locales o variables PLC.

Las variables se gestionan centralmente en el TIA Portal. No hay ninguna diferencia entre crear una variable PLC en el editor de programas y hacerlo en la tabla de variables. Si la variable se utiliza en varios puntos del programa o en la imagen HMI, los cambios realizados en la variable se aplicarán inmediatamente en todos los editores.

La ventaja de utilizar variables radica en que permiten modificar de forma centralizada un direccionamiento utilizado en el programa. Sin el direccionamiento



simbólico mediante variables, habría que cambiar un direccionamiento utilizando varias veces en distintos puntos del programa cada vez que se modificara la asignación de entradas y salidas del controlador.

Una variable PLC se compone de lo siguiente:

- Nombre: El nombre de una variable es válido para un controlador y no puede aparecer más de una vez en todo el programa y en dicho controlador.
- Tipo de datos: Con el tipo de datos se definen la representación de los valores y el rango admisible.
- Dirección: La dirección de una variable es absoluta y define el área de memoria del que la variable lee o escribe un valor.

A través de las áreas de memoria de las entradas (I) y salidas (Q) se accede a la memoria imagen de proceso.

Ésta contiene la imagen de las entradas y salidas de un módulo controlador:

- Los estados lógicos de las entradas en la memoria imagen de proceso son actualizados por el sistema operativo del controlador en cada ciclo del programa.
- Los estados lógicos de las salidas en la memoria imagen de proceso son escritos por el sistema operativo del controlador en las salidas del módulo de salidas correspondientes en cada ciclo del programa.

Una máquina o un proceso suele controlarse mediante los estados lógicos de las salidas.

La figura siguiente muestra cómo están enlazados entre sí la tabla de variables, las variables del programa de usuario así como las marcas, entradas y salidas del controlador.

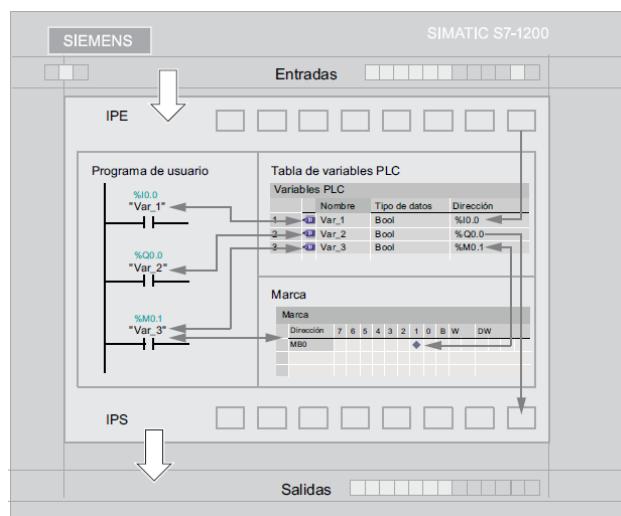


Tabla 19. Relación; tabla de variables, variables del programa, marcas, entradas y salidas del controlador.



Por otro lado, la tabla de variables PLC contiene la definición de las variables y constantes válidas para un controlador. Para cada controlador que se crea en el proyecto se genera automáticamente una tabla de variables PLC.

En la tabla siguiente se explica el significado de las distintas columnas de la ficha “VARIABLES”.

COLUMNA	SIGNIFICADO
	Símbolo en el que se hace clic para arrastrar una variable mediante Drag & Drop hasta un segmento y utilizarla allí como operando.
Nombre	Nombre único en todo el controlador, que el usuario determina para la variable.
Tipo de datos	Tipo de datos que el usuario determina para la variable.
Dirección	Dirección de la variable.
Remanencia	Los valores de las variables remanentes se conservan incluso tras desconectarse la alimentación.
Valor de observación	Valor de datos actual en el controlador. Esta columna se visualiza sólo si existe una conexión online y se hace clic en el botón “Observar”
Comentario	Comentario para documentar la variable.

Tabla 20. Elementos de la ficha variable.

En el Anexo F, se incluye una lista de las variables usadas en el PLC de este trabajo final de grado.



2. SENTRON PAC3200.

Cómo ya se ha especificado anteriormente, el SENTRON PAC es un multímetro y deberá ser configurado adecuadamente para la lectura de los diferentes parámetros que se utilizarán en el programa.

Los parámetros ajustables del dispositivo se subdividen en:

- Información acerca del dispositivo.
- Idioma/regional.
- Parámetros básicos.
- Demanda de potencia.
- E/S integradas.
- Comunicación.
- Pantalla.
- Avanzado.
- Módulo de ampliación PROFIBUS, si dispone del módulo de ampliación opcional PAC PROFIBUS DP.

Para la puesta en servicio del dispositivo será necesario ajustar en sus menús los parámetros básicos de servicio siguientes:

- Tipo de conexión.
- Tensión:
 - Medición directa en red o a través de transformador de tensión.
 - Tensión de entrada para medición directa en la red.
 - Tensión primaria y secundaria para medición a través de transformador de tensión.
- Corriente:
 - Corriente primaria y secundaria.
- Idioma.
- Clave de acceso.

Por otro lado, se podrá ajustar la pantalla como el usuario determine, pudiendo modificar el contraste, el nivel de retroiluminación y el tiempo de refresco entre otros.

Además, habrá que realizar el ajuste oportuno en la comunicación, es decir, ajustar las dirección MAC, la dirección IP, la máscara de red, la dirección Gateway y el protocolo a usar (SEAbus TCP o MODBUS TCP).

En este trabajo fin de grado el protocolo será el protocolo MODBUS TCP, la dirección IP deberá ser la misma que la configurada en la instrucción de comunicación MB_CLIENT, dentro de los parámetros: IP_OCTET_1, IP_OCTET_2, IP_OCTET_3, IP_OCTET_4.

Para la lectura por programa de los parámetros necesarios, se deberá tener en cuenta el offset de inicio del registro.



En la instrucción de comunicación MB_CLIENT, se registrarán las direcciones de los datos MODBUS leídos por el SENTRON PAC. Este registro se llevará a cabo por el parámetro MB_DATA_PTR, donde se insertará, por ejemplo, lo siguiente; P#M300.0 WORD 36:

- P: Puntero.
- M300.0 WORD: Se registrará en la marca 300.0 y es del tipo WORD (palabra)
- 36: Longitud.

En “Variables PLC” – “Mostrar todas las variables”, se deberán declarar todas las variables del tipo anterior, determinando su nombre y el tipo de datos.

Para saber que variables se están implementando, el manual del dispositivo SENTRON PAC3200 dispone de una tabla con todas las magnitudes medidas y en la que en cada una de estas magnitudes se detalla un offset.

En la instrucción de comunicación MB_CLIENT, se determinará que magnitudes se miden, para ello, en la instrucción MB_DATA_ADDR se escribirá el número 400X, siendo X=número de offset + 1.

Cada magnitud se medirá y se registrará en la marca antes mencionada, por ejemplo, comenzando la primera magnitud, en la marca %MD300, la segunda en la marca %MD304, y así hasta la última magnitud que se registrará en la marca %MD332.

Para ver estas variables, se remite al lector al Anexo F.

Por otro lado, para la visualización de estas magnitudes, disponemos de varias formas:

- Pantalla del multímetro SENTRON PAC3200 en la pestaña: Magnitudes medidas.
- Pantalla HMI: Insertando campos de E/S y conectándolo con la variable del PLC.
- Tabla de observación: Declarando las variables correspondientes a las magnitudes medidas.

Destacar que hay que ajustar la configuración del dispositivo con respecto a las lecturas de corriente, es decir, se deberá configurar el multímetro con la correspondiente relación de transformación de los transformadores de intensidad, localizados a las entradas de corriente de dicho dispositivo.



3. Pantalla HMI.

En el panel de operador o HMI se diseñaran e implementaran las pantallas necesarias para la realización, el seguimiento y el control de todo el proceso de la parametrización del transformador trifásico a ensayar.

A modo de resumen, se recuerda al lector que una vez se ha agregado el dispositivo de la pantalla HMI que disponemos, se crea una pestaña en el árbol del proyecto correspondiente al panel de operador agregado.

En esta pestaña, podremos añadir tantas pantallas como sean necesarias para la implementación de todo el proceso de la parametrización. Para añadir estas pantallas, se deberá hacer doble clic en “Imágenes” - “Aregar imagen”.

Cada imagen o pantalla, se puede caracterizar de diferentes formas, es decir, podemos poner colores de fondo diferentes, y la cuadrícula se podrá poner del mismo color del fondo si no queremos que se vea o aplicarle otro color para visualizarla de una manera más eficiente.

Destacar que en las pantallas se pueden implementar objetos gráficos: objetos básicos, elementos e imágenes. Estos objetos gráficos son todos los elementos que se utilizan para representar el proyecto en HMI. Entre ellos se incluyen, por ejemplo, textos, botones, diagramas o gráficos para representar unidades de proceso.

Además, en la pestaña de la pantalla HMI que se ha creado, se pueden insertar variables de la HMI.

Para el diseño de estas pantallas, se han utilizado los siguientes elementos y objetos básicos:

ELEMENTOS		
SÍMBOLO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
	CAMPO E/S	Permite la entrada y la visualización de valores de proceso (numéricos o alfanuméricos).
	BOTÓN	Es una tecla virtual en la pantalla del panel de operador que permite configurar el objeto con el que el operador ejecuta en runtime una función configurable cualquiera.

Tabla 21. Elementos de HMI.



OBJETOS GRÁFICOS		
SÍMBOLO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
	LÍNEA	Es un objeto abierto. La longitud y la inclinación de la línea se determinan a partir de la altura y la anchura del rectángulo que abarcan. Se pueden adaptar las propiedades de: estilo de 'línea' y principio y fin de línea.
	CÍRCULO	Es un objeto cerrado que se puede llenar con un color o trama. Se pueden adaptar las propiedades del radio, es decir, determinar el tamaño del círculo
	CAMPO DE TEXTO	Es un objeto cerrado que puede llenarse con un color. Se pueden modificar los ajustes de la posición, geometría, estilo, color y fuentes del objeto.

Tabla 22. Objetos gráficos de HMI.

Los objetos gráficos pueden representarse estáticamente o utilizarse como objetos dinámicos mediante el uso de variables.

Los objetos estáticos no cambian en runtime, mientras que los objetos dinámicos van cambiando a medida que se desarrolla el proceso.

Los objetos dinámicos incluyen también campos de entrada en el panel de operador, con el fin de intercambiar valores de proceso y entradas de operador entre el controlador y el panel de operador a través de variables.

Es decir, en todos estos elementos y objetos básicos se pueden implementar animaciones, es decir, se puede determinar cuándo se hacen o no visibles, y si tendrán algún movimiento. Además, se podrán cambiar las propiedades de dichos elementos y objetos, como puede ser el tamaño, la posición, el color del elemento u objeto y del texto.

Pero solo en los elementos, se podrán implementar los eventos, que son los acontecimientos que ocurrirán al hacer clic, pulsar, soltar,... en el elemento determinado por el usuario. Estos acontecimientos pueden ser; activar o desactivar bit, activar una imagen determinada, activar contraseña, visualización de gráficas, campos, etc...



ANEXO D.

INSTRUCCIÓN DE COMUNICACIÓN.



1. MB_CLIENT:

Esta instrucción permite la comunicación como cliente MODBUS TCP a través de la conexión Profinet de la CPU S7-1200.

Permite establecer una conexión entre el cliente y el servidor, enviar peticiones y recibir respuestas además de controlar la desconexión del servidor MODBUS TCP.

Un cliente MODBUS TCP puede admitir varias conexiones TCP, el número máximo de conexiones depende de la CPU utilizada, sabiendo que el total de conexiones de una CPU, incluidos los clientes MODBUS TCP y los servidores, no deben exceder el número máximo de conexiones admitido.

Los parámetros de la instrucción MB_CLIENT son:

- **REQ:**

Petición de comunicación con el servidor MODBUS TCP con flanco ascendente.

Con la petición de comunicación se bloquea el DB de instancia para otros clientes. Las modificaciones de los parámetros no se hacen efectivas hasta que no hay respuesta del servidor o hasta que no se devuelve un mensaje de error. Si durante una consulta en curso se vuelve a activar el parámetro REQ, a continuación no se ejecutarán más transferencias.

Es una entrada del tipo booleano.

- **DISCONNECT:**

Entrada del tipo booleano.

Mediante este parámetro se controla el establecimiento de la conexión y la desconexión con el servidor MODBUS, con un “0” se establece una conexión de comunicación la dirección IP y número de puerto especificados y con un “1”, se deshace la conexión. Durante la desconexión no se ejecuta ninguna otra función.

Si el parámetro REQ está activado mientras se establece la conexión, la consulta se envía de inmediato.

- **CONNECT_ID:**

Es una entrada del tipo entero de 16 bits.

A esta entrada se le asigna una ID única para identificar la conexión.

- **IP_OCTET_1:**

Es una entrada del tipo entero de 8 bits.

Es el primer octeto de la dirección IP del servidor MODBUS TCP.

- **IP_OCTET_2:**

Es una entrada del tipo entero de 8 bits.

Es el segundo octeto de la dirección IP del servidor MODBUS TCP.

- **IP_OCTET_3:**

Es una entrada del tipo entero de 8 bits.

Es el tercer octeto de la dirección IP del servidor MODBUS TCP.



- **IP_OCTET_4:**
Es una entrada del tipo entero de 8 bits.
Es el cuarto octeto de la dirección IP del servidor MODBUS TCP.
- **IP_PORT:**
Es una entrada del tipo entero de 16 bits.
Esta entrada determina el número de IP y puerto del servidor con el que el cliente o esclavo establece la conexión y con el que se comunica mediante el protocolo TCP/IP. (valor estándar: 502)
- **MB_MODE:**
Es una entrada del tipo entero de 8 bits.
Con esta entrada se realiza la selección del modo de petición (lectura, escritura o diagnóstico)
- **MB_DATA_ADDR:**
Es una entrada del tipo enteros de 32 bits.
Esta entrada determina la dirección inicial de los datos a los que accede la instrucción MB_CLIENT.
- **DATA_LEN:**
Es una entrada del tipo entero de 16 bits.
Esta entrada es la longitud de datos, es decir, el número de bits o palabras para el acceso a los datos.
- **MB_DATA_PTR:**
Es una entrada/salida del tipo VARIANT, es decir, un puntero que puede señalar a variables de distintos tipos de datos, excepto una instancia.
Esta entrada/salida es un puntero del registro de datos MODBUS.
El registro es un búfer para los datos recibidos desde el servidor MODBUS o que se van a enviar al servidor MODBUS. El puntero debe remitir a un bloque de datos global con acceso estándar.
El número de bits direccionados debe ser divisible entre 8.
- **DONE:**
Es una salida del tipo booleano.
El bit del parámetro de salida DONE se pone a “1” en cuanto se ha ejecutado sin errores la última petición.
- **BUSY:**
Es una salida del tipo booleano.
Puede tomar dos valores; “0”, si no se está ejecutando ninguna petición de MB_CLIENT y “1”, si se está ejecutando una petición de MB_CLIENT.



- **ERROR:**

Es una salida del tipo booleano.

Puede tomar dos valores; “0”, si no hay error y “1”, si hay errores. La causa del error se indica mediante el parámetro STATUS.

- **STATUS:** Es una salida del tipo palabra.

Con esta palabra se puede determinar el error que se ha producido, para ello, habrá que remitirse a las tablas disponibles en la ayuda del software o en los manuales del dispositivo.

La instrucción en forma gráfica que visualizaremos en el programa será la siguiente:

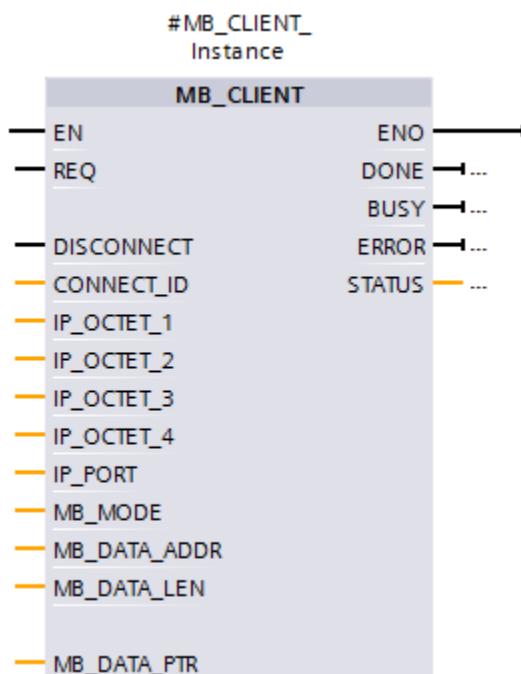


Imagen 63. Instrucción: MB_CLIENT.



ANEXO E.

BLOQUE DE DATOS.



1. TABLA BLOQUE DE DATOS.

NOMBRE	TIPO DE DATOS
Tensión nominal_línea_primario	Real
Tensión nominal_fase_primario	Real
Tensión nominal_línea_secundario	Real
Tensión nominal_fase_secundario	Real
Corriente nominal_primario	Real
Corriente nominal_secundario	Real
Potencia Aparente nominal	Real
Tensión máxima_E.vacío	Real
Tensión mínima_E.vacío	Real
Corriente de ensayo	Real
Corriente de ensayo_máxima	Real
Corriente de ensayo_mínima	Real
Corriente máxima_cortocircuito	Real
r.t	Real
Po_n	Real
lFe	Real
lu	Real
lo	Real
RFe	Real
Xu	Real

Tabla 23. Bloque de datos (1).



NOMBRE	TIPO DE DATOS
Vcc_fase	Real
VRcc_fase	Real
VXcc_fase	Real
Rcc	Real
Zcc	Real
Xcc	Real
ϵ_{cc}	Real
ϵ_{Rcc}	Real
ϵ_{Xcc}	Real
Pcc_n	Real
Qcc_n	Real
Scc_n	Real
VRcc_fase_ensayo	Real
VXcc_fase_ensayo	Real
Frecuencia	Real
Vcc_fase_real_ensayo	Real
Vcc_fase_n	Real

Tabla 24. Bloque de datos (2).

En todos los datos, el valor de arranque es: 0.0, además la remanencia tendrá un valor FALSE al igual que el valor de ajuste y con un valor TRUE serán las características accesible desde HMI y visible en HMI.



ANEXO F.

VARIABLES PLC.



1. TABLA VARIABLES PLC.

NOMBRE	TIPO DE DATOS	DIRECCIÓN
10Hz clock	Bool	%M0.0
5Hz clock	Bool	%M0.1
2.5Hz clock	Bool	%M0.2
2Hz clock	Bool	%M0.3
1.25Hz clock	Bool	%M0.4
1Hz clock	Bool	%M0.5
0.625Hz clock	Bool	%M0.6
0.5Hz clock	Bool	%M0.7
First cycle	Bool	%M1.0
Always On	Bool	%M1.2
Always Off	Bool	%M1.3
SystemMemory	Byte	%MB1
Uf1	Real	%MD300
Uf2	Real	%MD304
Uf3	Real	%MD308
UL1	Real	%MD312
UL2	Real	%MD316
UL3	Real	%MD320
I1	Real	%MD324
I2	Real	%MD328
I3	Real	%MD332

Tabla 25. Variables PLC (1).



NOMBRE	TIPO DE DATOS	DIRECCIÓN
THD I1	Real	%MD488
THD I2	Real	%MD492
THD I3	Real	%MD496
Frecuencia	Real	%MD500
Tensión media de fase	Real	%MD504
Tensión media de línea	Real	%MD508
Corriente media	Real	%MD512
Potencia aparente total	Real	%MD516
Potencia activa total	Real	%MD520
Potencia reactiva total	Real	%MD524
Factor de potencia	Real	%MD528
THD I1	Real	%MD488
THD I2	Real	%MD492
THD I3	Real	%MD496
Ir a INCIO	Bool	%M100.0
Comenzar E.Vacío	Bool	%M110.0
OK_E.Vacío	Bool	%M110.1
Medir_E.Vacío	Bool	%M110.2
Pulso E.Vacío	Bool	%M110.3
Fin_ensayo_vacío	Bool	%M120.0
Fin_ensayo_corto	Bool	%M120.1

Tabla 26. Variables PLC (2).



NOMBRE	TIPO DE DATOS	DIRECCIÓN
OK_Corriente	Bool	%M130.0
Comenzar E.Cortocircuito	Bool	%M130.1
OK_E.Cortocircuito	Bool	%M130.2
Medir_E.Cortocircuito	Bool	%M130.3
Pulso E.Cortocircuito	Bool	%M130.4
Disparo por corriente máxima	Bool	%M140.5
Contactor E.Vacio	Bool	%Q0.0
Contactor E.Corto_Cortocircuito	Bool	%Q0.1
Contactor E.Corto_T.elevador	Bool	%Q0.2

Tabla 27. Variables PLC (3).

Todas las variables PLC anteriormente mostradas, tendrán una remanencia de valor FALSE y un valor de TRUE para visible en HMI y accesible desde HMI.



ANEXO G.

COMUNICACIÓN ETHERNET.



En el presente Anexo, se detalla de forma teórica que tipos de comunicaciones se pueden establecer con el autómata utilizado y cuál se usa. Además, se explica la comunicación MODBUS/TCP, importante en la comunicación entre autómata y multímetro.

1. Profinet.

La CPU S7-1200 incorpora un puerto PROFINET que soporta las normas Ethernet y de comunicación basadas en TCP/IP. Esta CPU soporta los siguientes protocolos de aplicación:

- Transport Control Protocol (TCP)
- ISO on TCP (RFC 1006)

La CPU S7-1200 puede comunicarse con otras CPU's S7-1200, programadoras STEP 7 Basic, dispositivos HMI y dispositivos no Siemens que utilicen protocolos de comunicación TCP estándar. Hay dos formas de comunicación vía PROFINET:

- Conexión directa: La comunicación directa se utiliza para conectar una programadora, dispositivo HMI y otra COU a una sola CPU.
- Conexión directa: Programadora conectada a una CPU S7-1200.

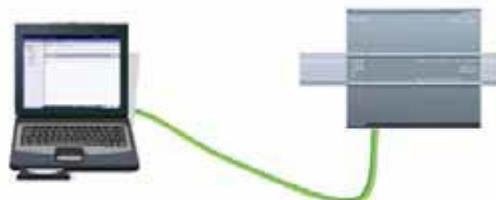


Imagen 64. Conexión directa. (1)

- Conexión directa: Una CPU S7-1200 conectada a otra CPU S7-1200

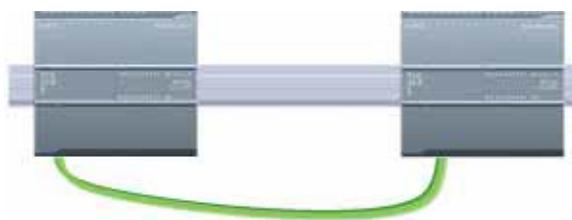


Imagen 65. Conexión directa. (2)

- Conexión directa: Una CPU S7-1200 con pantalla HMI.



Imagen 66. Conexión directa. (3)



- Conexión de red: La comunicación de red se utiliza si deben conectarse más de dos dispositivos.

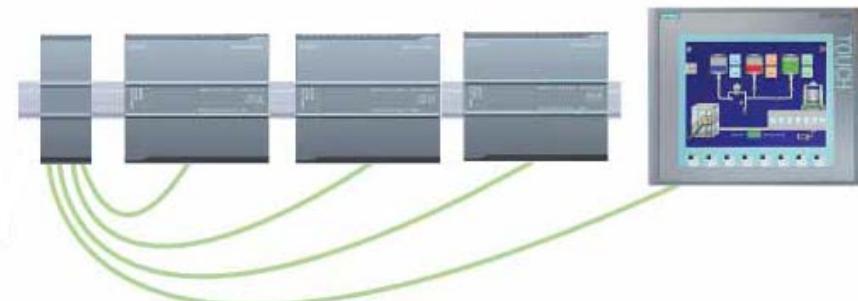


Imagen 67. Conexión de red.

En la figura anterior, podemos observar una conexión de red: Más de dos dispositivos interconectados, utilizando un switch Ethernet CSM 1277

Esta última conexión es la que se implementará en el montaje del presente trabajo final de grado.

2. MODBUS/TCP.

El MODBUS, es un protocolo de comunicaciones basado en la arquitectura maestro/esclavo o cliente/servidor, para puerto serie y Ethernet (MODBUS TCP). Se ha convertido en un protocolo de comunicaciones estándar en la industria, ya que además de la gran disponibilidad para la conexión de dispositivos electrónicos industriales que tiene, es público, su implementación es fácil, requiere poco desarrollo y maneja bloques de datos sin suponer restricciones.

MODBUS permite el control de una red de dispositivos y comunica los resultados a un ordenador.



ANEXO H.

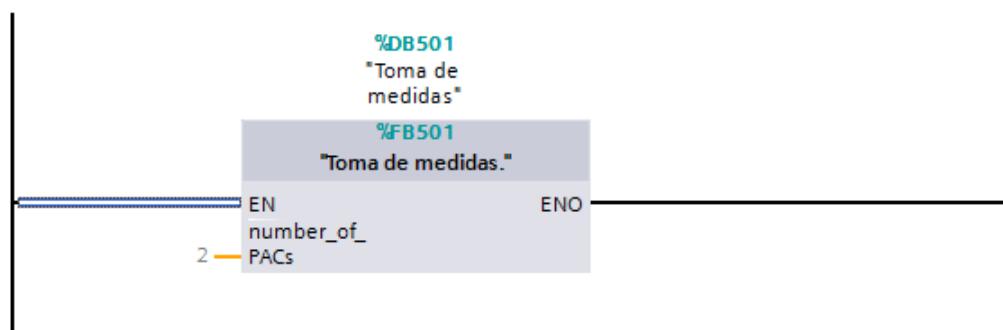
PROGRAMA.

El objeto del presente Anexo es mostrar y explicar el programa que se ha implementado en el trabajo que nos reúne para así obtener la parametrización de un transformador trifásico cualquiera.

1. Programa principal. OB1.

1. Segmento nº 1.

En este primer segmento se realizará la llamada al FB de toma de medidas: %FB501 “Toma de medidas”.

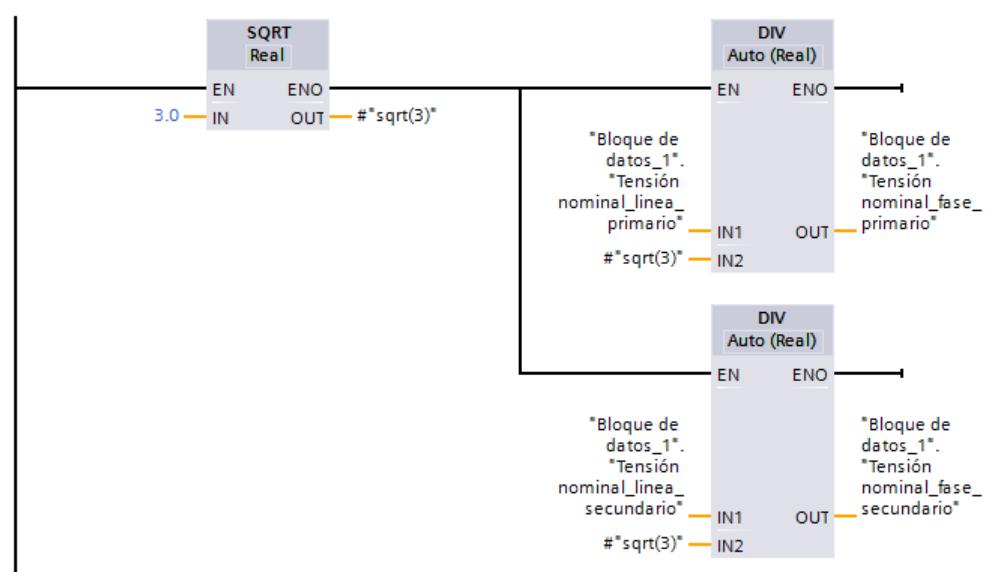


La única entrada es el número máximo de multímetros SENTRON PAC3200, en el presente trabajo sólo utilizaremos un multímetro, pero dos instrucciones de comunicación MB_CLIENT para así abarcar todas las variables que deseamos medir. Por ello, la entrada “number_of_PACs” tendrá el valor 2.

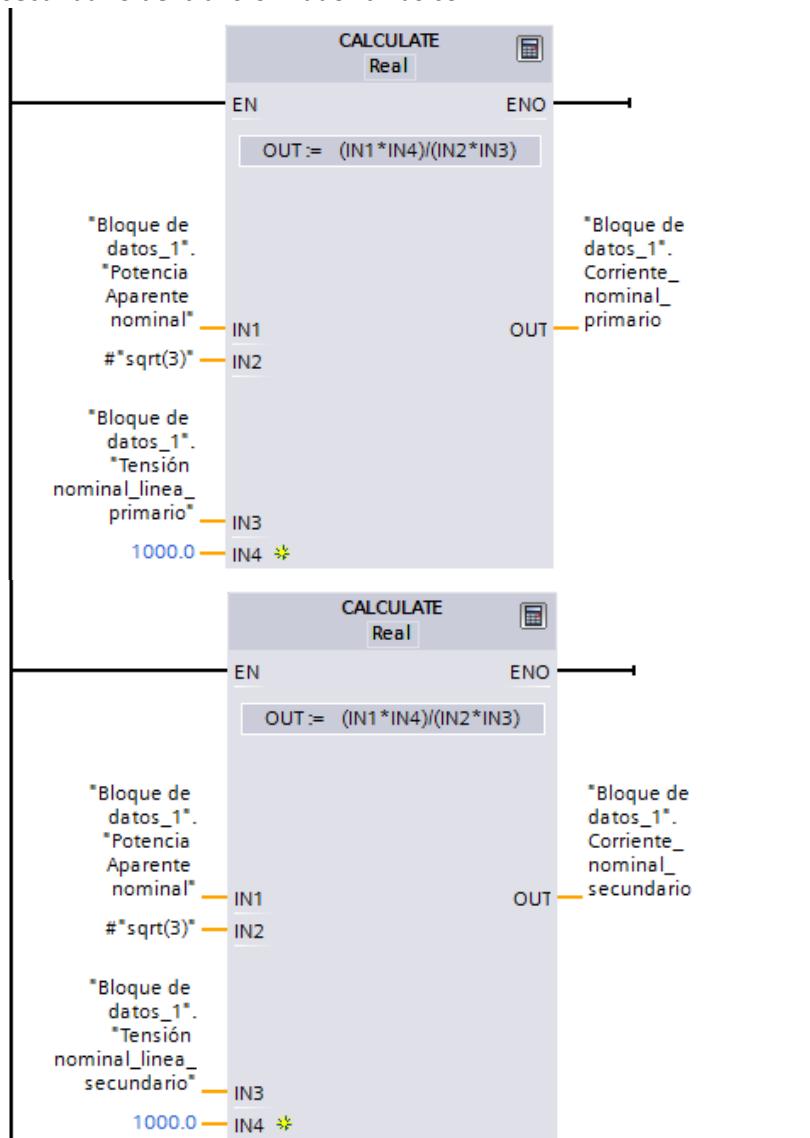
2. Segmento nº 2.

En el presente segmento se efectuará el cálculo de los valores nominales del transformador a parametrizar.

En primer lugar, se deducirá las tensiones de fase nominales de primario y secundario del transformador trifásico:



A continuación, se calcularán las corrientes de línea nominal de primario y secundario del transformador trifásico:



3. Segmento nº 3.

En este segmento, se efectuarán dos comparaciones, las cuales nos determinarán si las corrientes nominales de línea calculadas en el segmento anterior son mayores que cero, es decir, si se han calculado, para así poder continuar el proceso activando la salida **%M100.0** que esta a su vez activará el botón “SIGUIENTE” de la pantalla **VALORES NOMINALES**, pudiendo así pasar a la siguiente pantalla: **INICIO**.



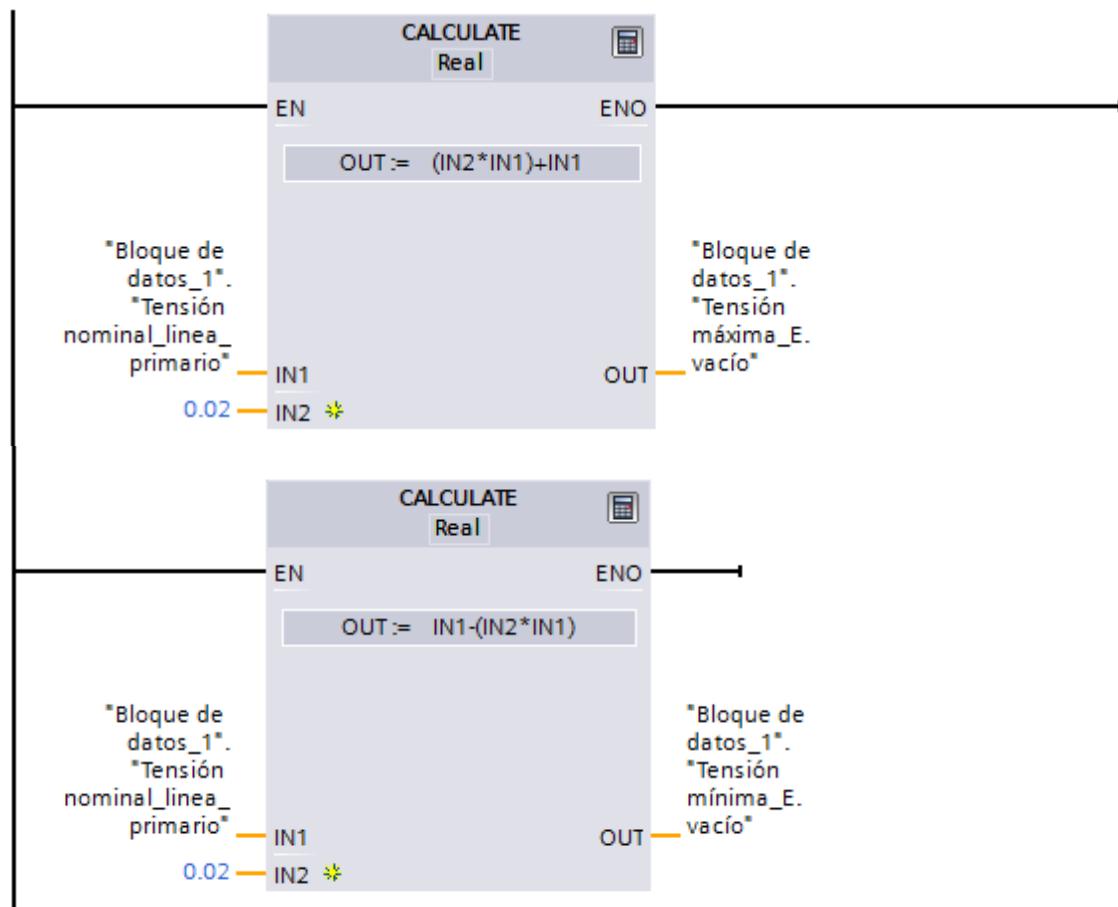


4. Segmento nº 4.

En este segmento se han implementado las premisas necesarias al ensayo de vacío, estas premisas garantizarán la correcta gestión de medidas efectuadas por el multímetro SENTRON PAC3200. Además se han implementado las marcas de entrada y salida correspondientes para ejecutar de forma segura el ensayo.

En primer lugar, se determinarán los rangos de tensión de entrada al transformador trifásico a ensayar.

El rango de tensiones será de $\pm 2\%$ de la tensión nominal de primario, llamándolas; “Tensión máxima_E.vacío” y “Tensión mínima_E.vacío”.



A continuación se implementarán las entradas y salidas del tipo marcas y las salidas %Q0.x.

Las marcas serán variables del PLC y de la pantalla HMI, lo cual implica que accionándolas desde la pantalla HMI se activan o desactivan estas marcas, según estén programadas, para así poder abrir o cerrar el contactor correspondiente a este ensayo.

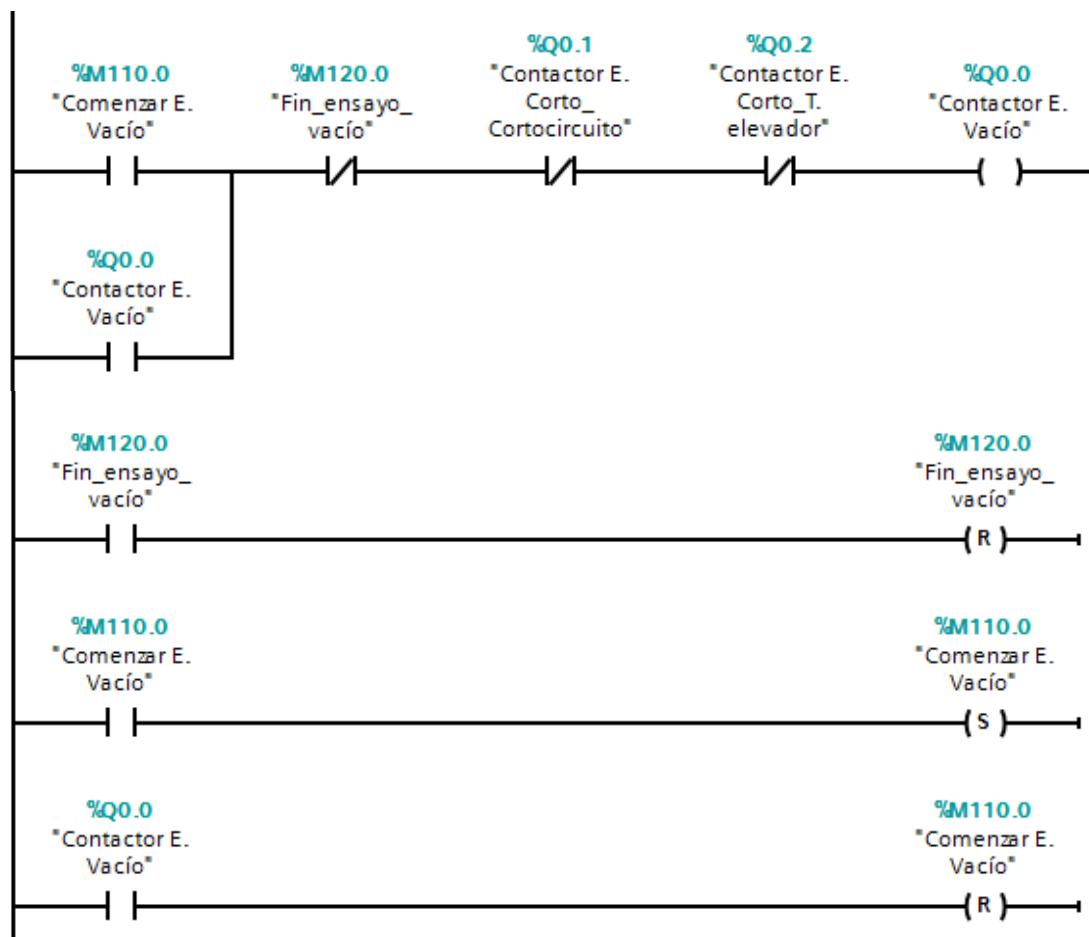
Accionando desde la pantalla HMI el botón “COMENZAR ENSAYO DE VACÍO” en la pantalla ENSAYO DE VACÍO 1, se activará la marca %M110.0 “Comenzar E.Vacio” vinculada al botón anterior y efectuará la activación de la salida %Q0.0 “Contactor E.Vacio”, esta marca tendrá una realimentación con la salida %Q0.0 “Contactor E.Vacio” para así mantener activado dicho contactor hasta que se accione la marca %M120.0



"*Fin_ensayo_vacío*", vinculada con el botón "*FINALIZAR ENSAYO*" situado en la pantalla HMI llamada *FINALIZAR ENSAYO DE VACÍO*.

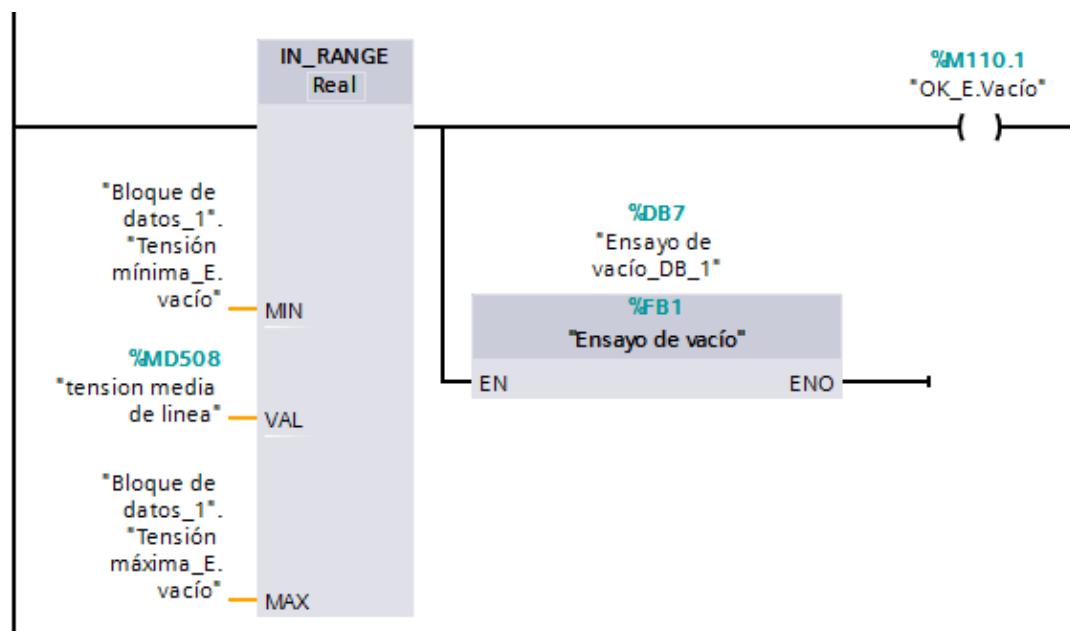
Por otra parte, se han introducido unos contactos cerrados de las salidas %Q0.1 "*Contactor E.Cortocircuito*" y %Q0.2 "*Contactor Corto_T.elevador*", denominados contactos de enclavamiento, asegurando de esta forma la imposibilidad de estar activados todos los contactores.

Por último, se han implementado unas salidas SET y RESET de las marcas; %M120.0 "*Fin_ensayo_vacío*" y %M110.0 "*Comenzar E.Vacío*", asegurando la correcta activación y desactivación de dichas marcas cuando sean accionadas desde las pantallas de la HMI correspondientes, es decir, cuando se accione la marca %M120.0 "*Fin_ensayo_vacío*" se activará una salida RESET del mismo nombre poniendo a cero el resultado lógico de esta marca y dejando cerrado el contacto de su marca. Por otro lado, cuando es pulsado el botón vinculado con la marca %M110.0 "*Comenzar E.Vacío*", se activará un SET de la misma marca, garantizando su activación y sólo cuando la salida %Q0.0 "*Contactor E.Vacío*" esté activa, se realizará un RESET en la marca %M110.0 "*Comenzar E.Vacío*", desactivando dicha marca.





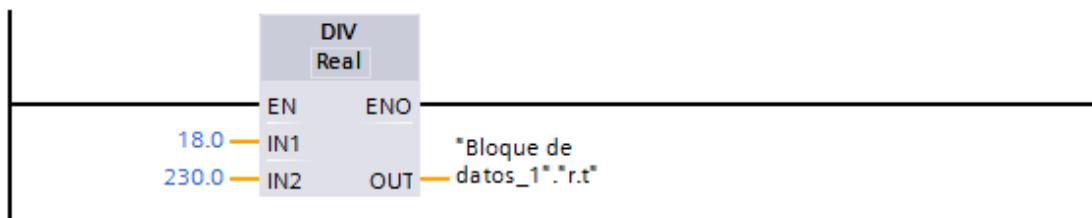
Por último, se implementará el segmento que activa el FB del ensayo de vacío. Esto sólo pasará, cuando %MD508 "tensión media de línea" que está leyendo el multímetro está comprendida entre los valores de "Tensión mínima_E.vacío" y "Tensión máxima_E.vacío". Si lo anterior se cumple, se activará la marca %M110.1 "OK_E.Vacio" visualizando el botón "MEDIR" en la pantalla de la HMI llamada: ENSAYO DE VACÍO 2 y también se activará el FB del ensayo de vacío, llamado %FB1 "Ensaya de vacío".



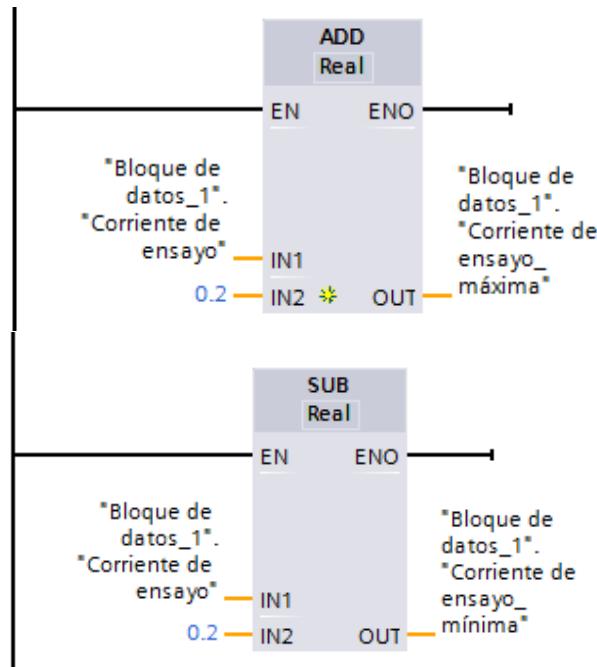
5. Segmento nº 5.

En el presente segmento se han implementado las premisas necesarias al ensayo de cortocircuito, estas premisas garantizarán la correcta gestión de medidas efectuadas por el multímetro SENTRON PAC3200. Además se han implementado las marcas de entrada y salida correspondientes para ejecutar de forma segura el ensayo.

En primer lugar, se realizará el cálculo de la relación de transformación del transformador elevador empleado en los ensayos de cortocircuito.

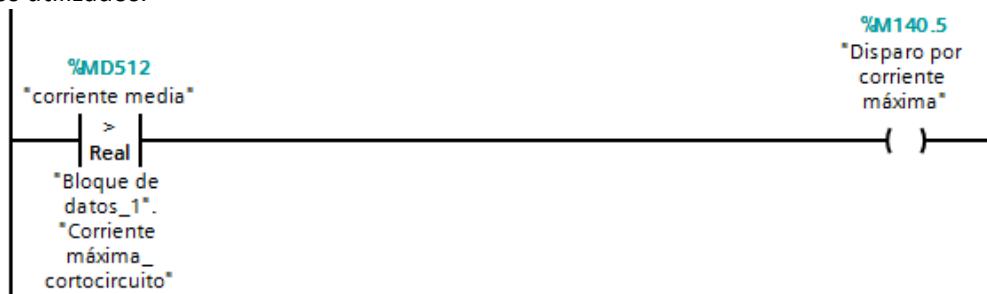


Una vez determinada dicha relación de transformación, se delimitarán los rangos de corriente de entrada con la que desearemos ejecutar el ensayo. El rango de corrientes será $\pm 2\%$ la corriente de ensayo, este valor de corriente de ensayo ha sido introducido por pantalla.



Por otra parte, se han insertado dos segmentos con los cuales garantizamos la seguridad del equipo por un lado, y por otro, el correcto funcionamiento del programa.

En primer lugar, se activará salida %M140.5 “Disparo por corriente máxima” cuando la toma de medidas evaluada en %MD512 “corriente media” sea superior al dato “Corriente máxima_cortocircuito” establecida por pantalla en “CORRIENTE MÁXIMO DE ENSAYO”. Si ocurre lo anterior, la salida %M140.5 “Disparo por corriente máxima” abrirá los contactores correspondientes a este ensayo garantizando la seguridad de los equipos utilizados.





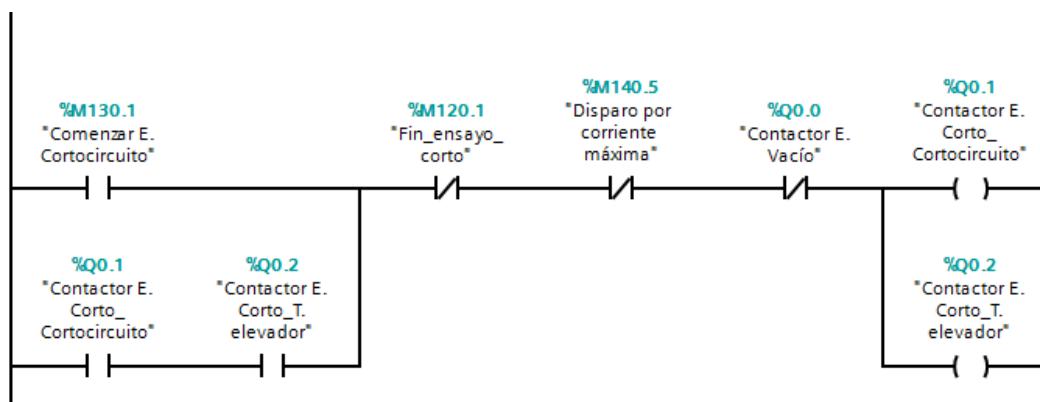
A continuación, se realizará una comparación entre la corriente de ensayo a la que queremos efectuar el ensayo y la corriente máxima de ensayo, si la primera es menor que esta última, se activará la marca **%M130.0 "OK_Corriente"** y esta a su vez, hará visible el botón “**SIGUIENTE**” en la pantalla de la HMI: **ENSAYO DE CORTOCIRCUITO 1**, para poder seguir operando el proceso.



Una vez que se ha asegurado todo lo anterior, podemos proceder a la activación los contactores correspondientes al presente ensayo.

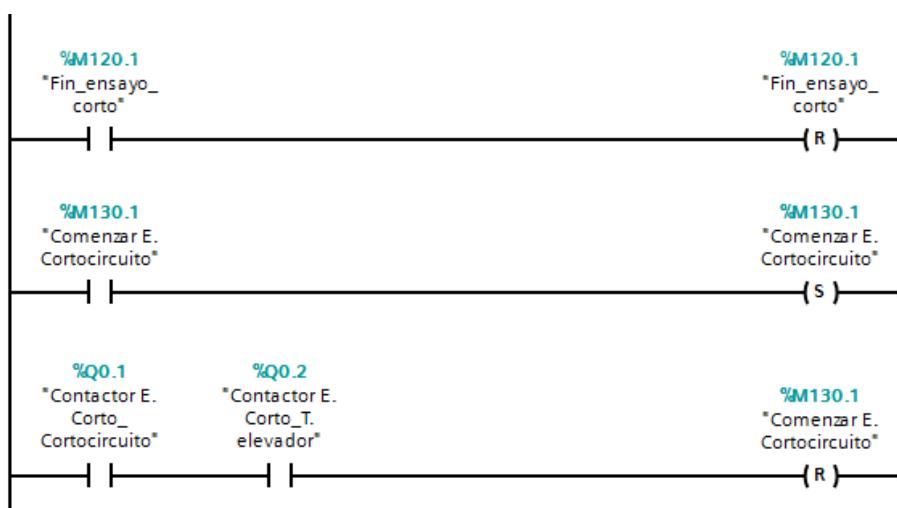
Cuando se accione desde la pantalla el botón “**COMENZAR ENSAYO**” vinculado con la marca **%M130.0 “Comenzar E.Cortocircuito”**, activarán los contactores de las salidas; **%Q0.1 “Contactor E.Corto_Cortocircuito”** y **%Q0.2 “Contactor E.Corto_T.elevador”**. Al activarse estas salidas, se realizará una realimentación de la marca **%M130.0 “Comenzar E.Cortocircuito”** con los contactos de las salidas activas, asegurando la activación de los contactores hasta que se accione por la pantalla HMI correspondiente la marca **%M120.1 “Fin_ensayo_corto”** o si se activa la marca **%M140.5 “Disparo por corriente máxima”**.

También se ha insertado un contacto normalmente cerrado de la salida **%Q0.0 “Contactor E.Vacio”** ejerciendo de contacto de enclavamiento, para garantizar la no activación de todos los contactores a la vez, siendo de distintos ensayos.

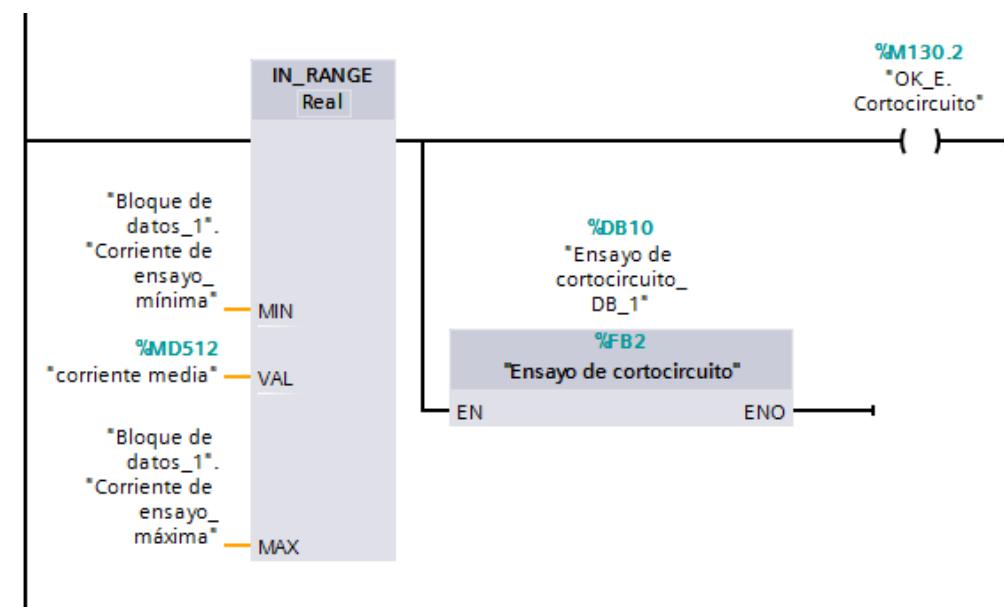




A continuación, se han implementado las salidas SET y RESET de las marcas; %M120.1 “Fin_ensayo_corto” y %M130.1 “Comenzar E.Cortocircuito”, asegurando la correcta activación y desactivación de dichas marcas cuando sean accionadas desde las pantallas de la HMI correspondientes, es decir, cuando se accione la marca %M120.1 “Fin_ensayo_corto” se activará una salida RESET del mismo nombre poniendo a cero el resultado lógico de esta marca y dejando cerrado el contacto de su marca. Por otro lado, cuando es pulsado el botón vinculado con la marca %M130.1 “Comenzar E.Cortocircuito”, se activará un SET de la misma marca, garantizando su activación y sólo cuando las salidas %Q0.1 “Contactor E.Corto_Cortocircuito” y %Q0.2 “Contactor E.Corto_T.elevador” estén activas, se realizará un RESET en la marca %M130.1 “Comenzar E.Cortocircuito”, desactivando dicha marca.



Por último, cuando la corriente medida en la variable %MD512 “corriente media” esté comprendida dentro del rango de corrientes “Corriente de ensayo_mínima” y “Corriente de ensayo_máxima”, se activará la marca %M130.2 “OK_E.Cortocircuito” visualizando así el botón “MEDIR” en la pantalla ENSAYO DE CORTO 3, y además se podrá ejecutar el FB correspondiente y obtener así los resultados del presente ensayo.

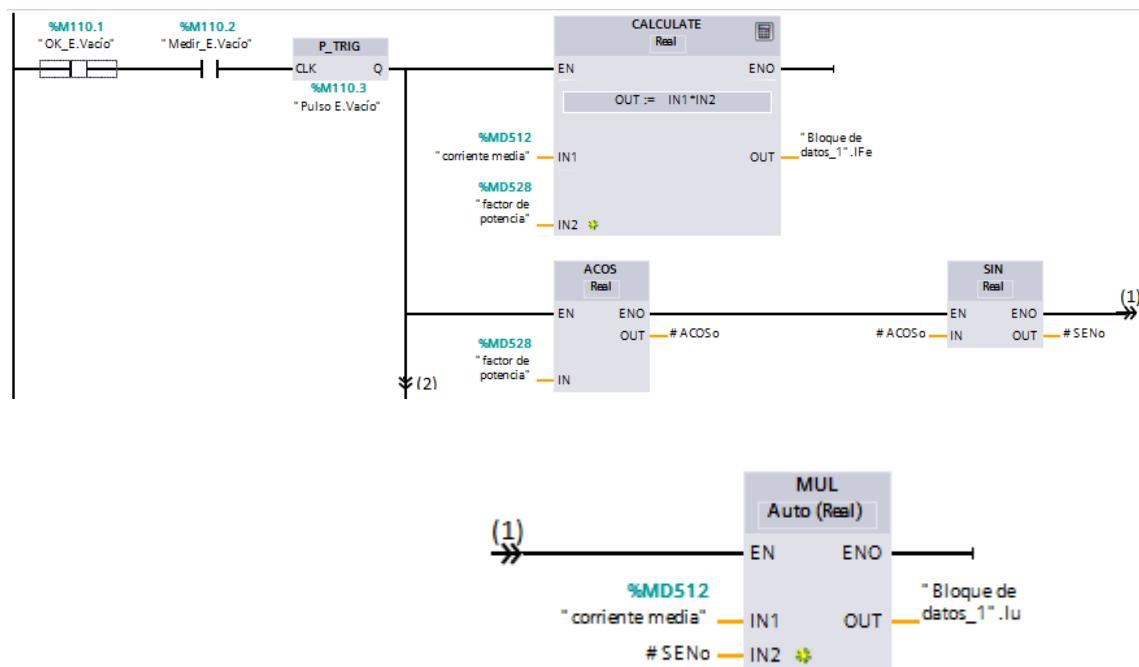


2. FB1. Ensayo de vacío.

Este bloque de función; FB Ensayo de vacío, será activado desde el programa principal tal como se ha explicado anteriormente; eligiendo dicho ensayo, cumpliendo los requisitos de tensión de entrada dentro del rango establecido.

Una vez activado el presente FB y cumpliendo que la marca %M110.1 "OK_E.Vacio" esté activada, si se pulsa el botón "MEDIR" en la pantalla HMI llamada ENSAYO DE VACÍO 2, el P_TRIG %M110.3 "Pulso E.Vacio" al detectar un flanco ascendente realizará las operaciones matemáticas necesarias para determinar la rama de vacío del circuito equivalente (Y-y).

En el primer segmento se calculan las corrientes de la rama de vacío, siendo estas: I_{Fe} , I_μ



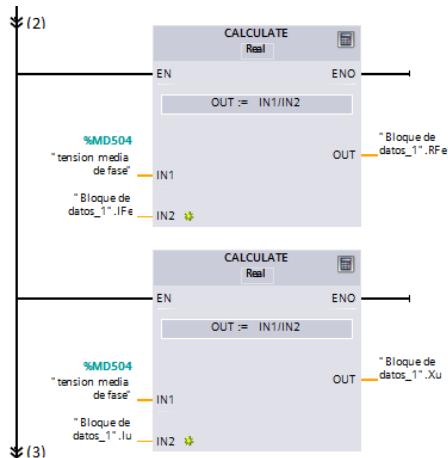
Las operaciones matemáticas del primer segmento en formato de ecuación serán;

$$I_{media} \cdot \cos \varphi_0 = I_{Fe}$$

$$\varphi_0 = \cos^{-1} \varphi_0 \rightarrow \sin \varphi_0$$

$$I_{media} \cdot \sin \varphi_0 = I_\mu$$

En el segundo segmento del presente FB, se calcula la resistencia y la reactancia de la rama de vacío.

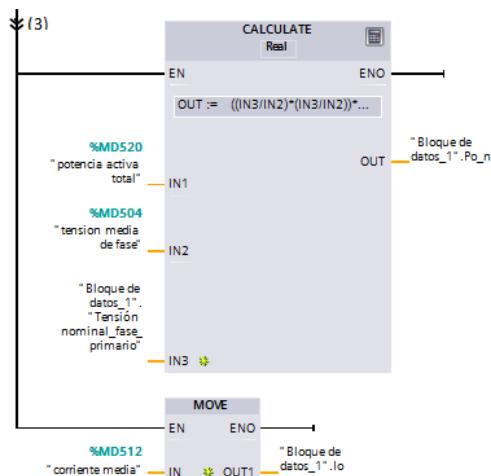


Las operaciones matemáticas del segmento anterior en formato de ecuación matemática serán:

$$R_{Fe} = \frac{V_{media\ de\ fase}}{I_{Fe}}$$

$$X_\mu = \frac{V_{media\ de\ fase}}{I_\mu}$$

Y en este último tramo de programa, se obtienen la potencia nominal de vacío y además, se guarda el valor medido de “corriente media” como un dato recibiendo el nombre de I_0 .



La operación matemática de este último segmento será:

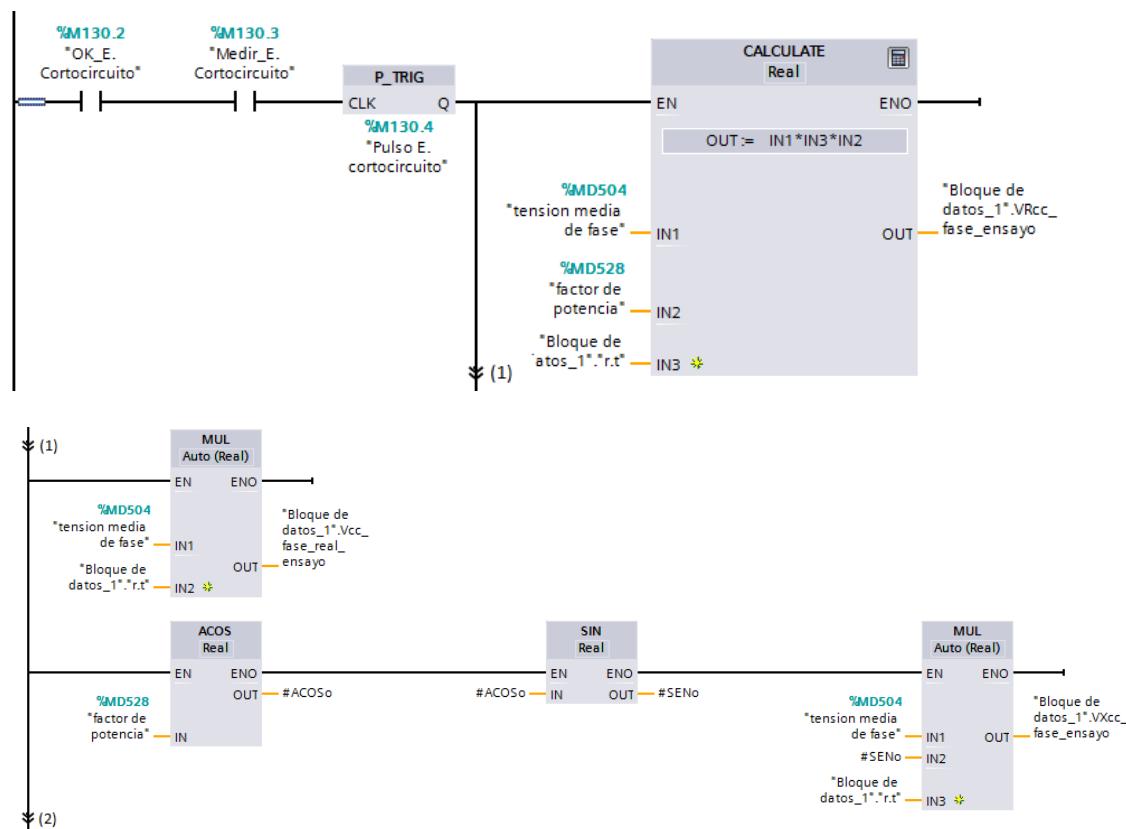
$$P_{0n} = \left(\frac{V_{1nfase}}{V_{media\ fase}} \right)^2 \cdot P_0$$

3. FB2. Ensayo de cortocircuito.

Este bloque de función; FB Ensayo de cortocircuito, será activado desde el programa principal tal como se ha explicado anteriormente; eligiendo dicho ensayo, cumpliendo los requisitos de corriente de entrada dentro del rango establecido y sin sobrepasar el valor de corriente máxima de cortocircuito.

Una vez activado el presente FB y cumpliendo que la marca %M130.2 “OK_E.Cortocircuito” esté activada, si se pulsa el botón “MEDIR” en la pantalla HMI llamada ENSAYO DE CORTO 3, el P_TRIG %M130.4 “Pulso E.Cortocircuito” al detectar un flanco ascendente realizará las operaciones matemáticas necesarias para determinar la rama de cortocircuito del circuito equivalente (Y-y).

Cuando se detecta el flanco ascendente se obtendrán, en primer lugar, las tensiones de fase por la rama de cortocircuito y la tensión de fase real del ensayo. Esta tensión de fase real de ensayo es la tensión que existe en el ensayo que se está efectuando sin tener en cuenta el transformador elevador.



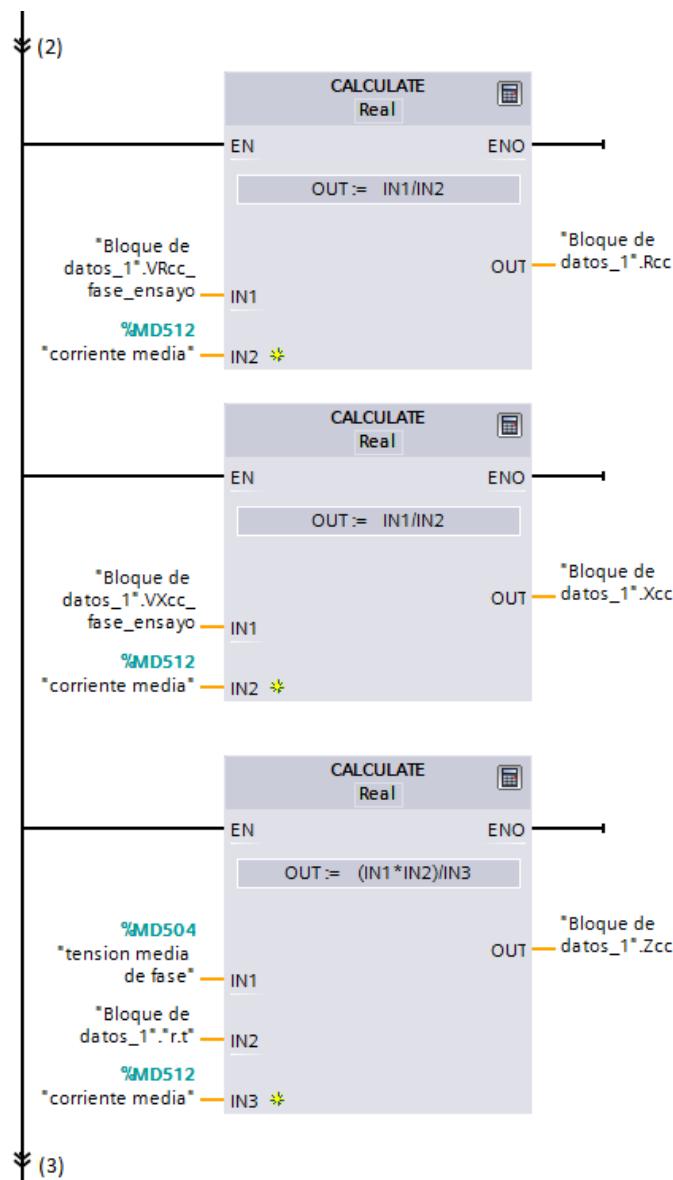
Las operaciones matemáticas expuestas por programa anteriormente expresadas en forma de ecuación, serán:

$$V_{R_{CC}} = V_{media\ de\ fase} \cdot r.t \cdot \cos \varphi_{CC}$$

$$V_{cc \text{ fase real ensayo}} = V_{media \text{ de fase}} \cdot r.t$$

$$V_{X_{CC}} = V_{media\ de\ fase} \cdot r.t \cdot \sin \varphi_{CC}$$

En el siguiente segmento, se obtendrán los valores de la rama de cortocircuito; impedancia, resistencia y reactancia de cortocircuito.



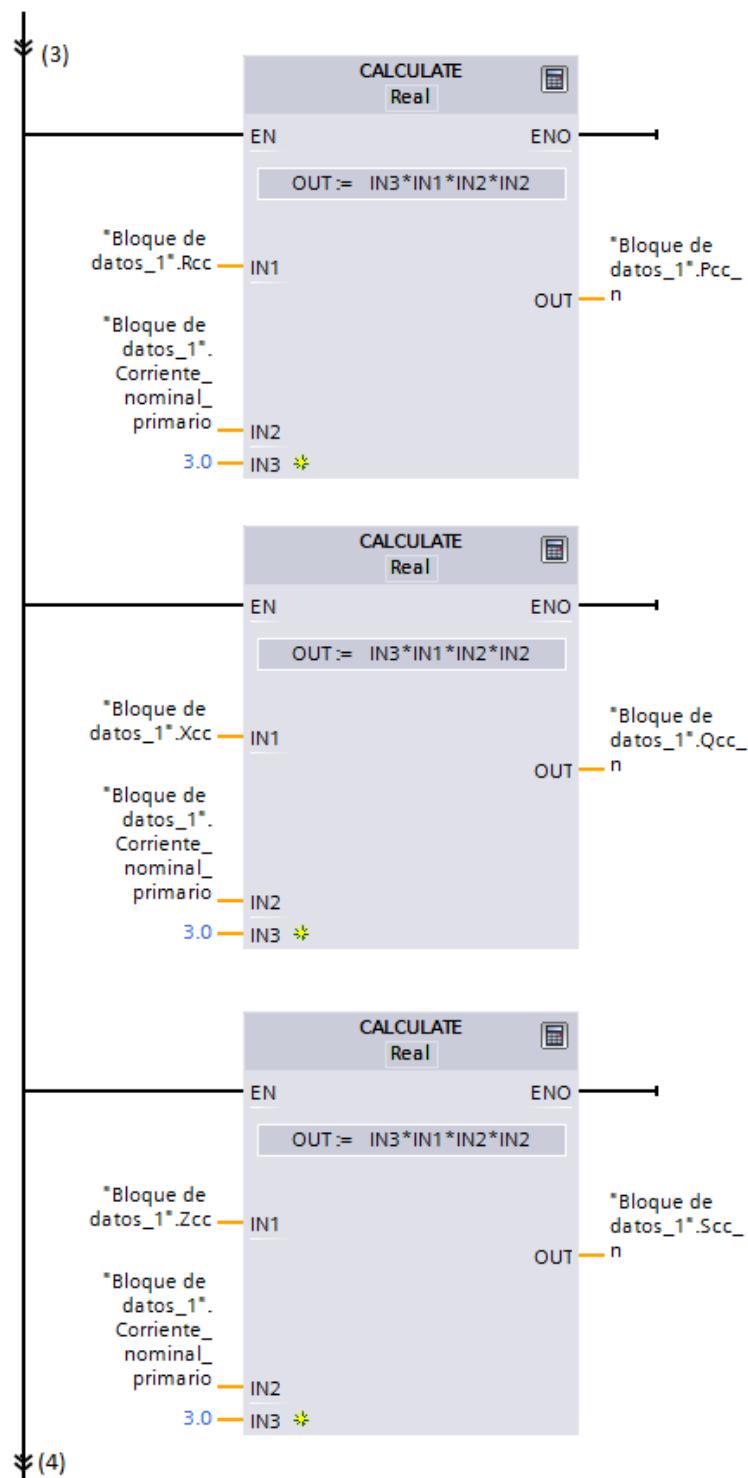
Las expresiones matemáticas del segmento anterior son:

$$R_{cc} = \frac{V_{R_{cc}}}{I_{media}}$$

$$X_{cc} = \frac{V_{X_{cc}}}{I_{media}}$$

$$Z_{cc} = \frac{V_{media\ de\ fase} \cdot r \cdot t}{I_{media}}$$

A continuación, se calcularán el triángulo de potencias nominales.



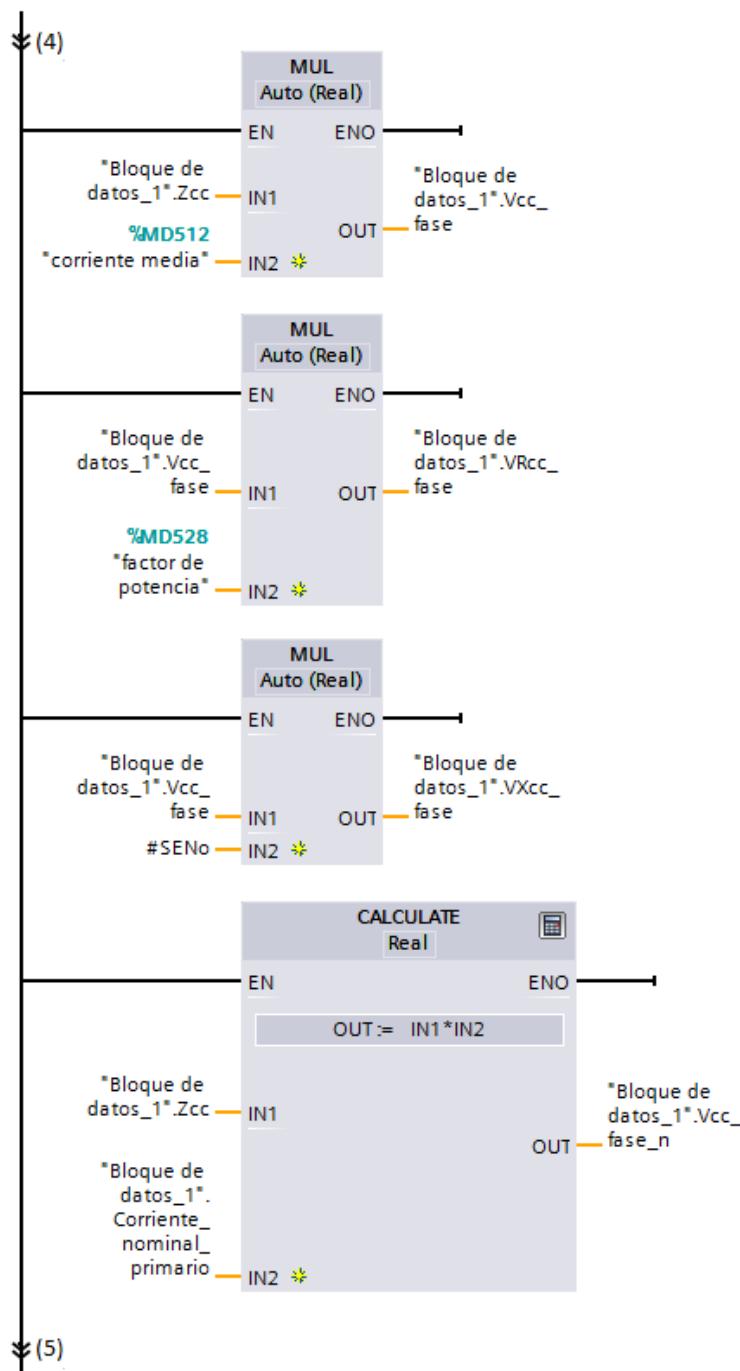
Las expresiones matemáticas correspondientes al segmento anterior serán:

$$P_{ccn} = 3 \cdot R_{cc} \cdot I_{1n}^2$$

$$Q_{ccn} = 3 \cdot X_{cc} \cdot I_{1n}^2$$

$$S_{ccn} = 3 \cdot Z_{cc} \cdot I_{1n}^2$$

A continuación, se calcularán los valores de tensión: V_{cc} , V_{Rcc} , V_{Xcc} y el valor de la tensión como si el ensayo ejecutado se hubiera realizado a corriente nominal: $V_{cc\ n}$.



Las expresiones matemáticas anteriores en formato de ecuación serán:

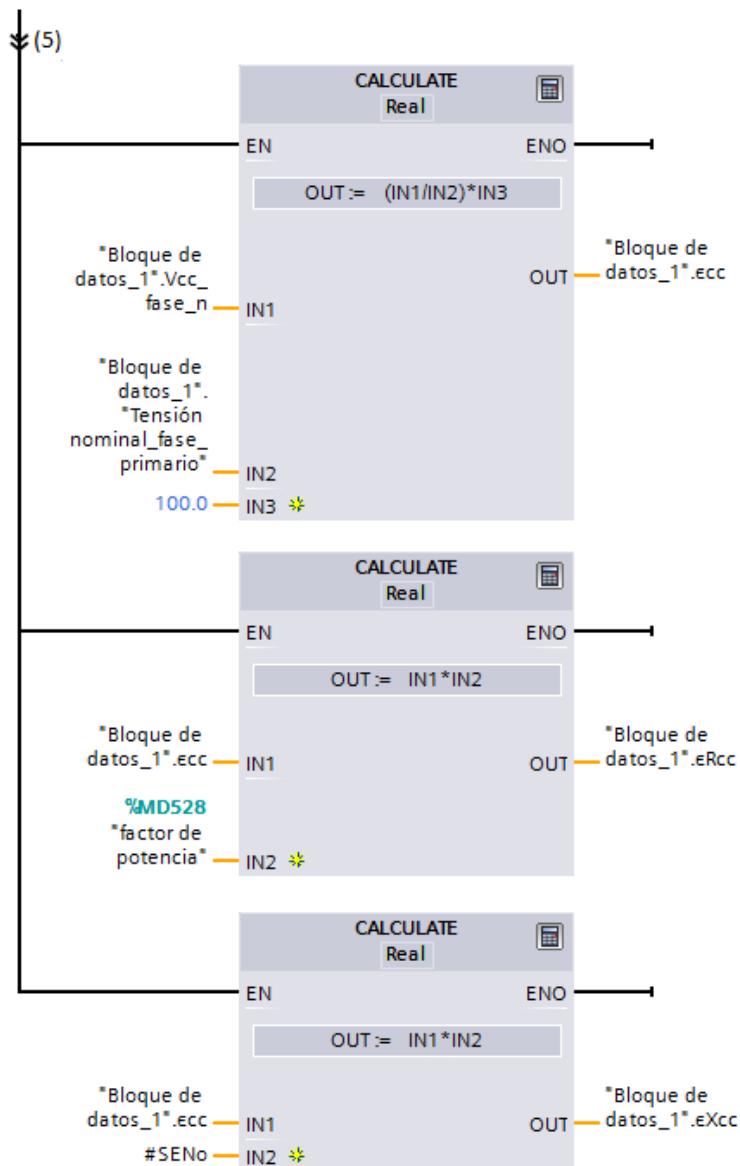
$$V_{cc\ de\ fase} = Z_{cc} \cdot I_{media}$$

$$V_{Rcc\ de\ fase} = V_{cc\ de\ fase} \cdot \cos \varphi_{cc}$$

$$V_{Xcc\ de\ fase} = V_{cc\ de\ fase} \cdot \sin \varphi_{cc}$$

$$V_{cc\ de\ fase\ nominal} = Z_{cc} \cdot I_{1n}$$

Y por último, se calcularán los valores del triángulo de tensiones relativas de cortocircuito.



Las expresiones matemáticas serán:

$$\varepsilon_{cc}(\%) = \frac{V_{cc\ fase\ nominal}}{V_{1nf}} \cdot 100$$

$$\varepsilon_{Rcc}(\%) = \varepsilon_{cc} \cdot \cos \varphi_{cc} \cdot 100$$

$$\varepsilon_{Xcc}(\%) = \varepsilon_{cc} \cdot \sin \varphi_{cc} \cdot 100$$



4. FB 501. Toma de medidas.

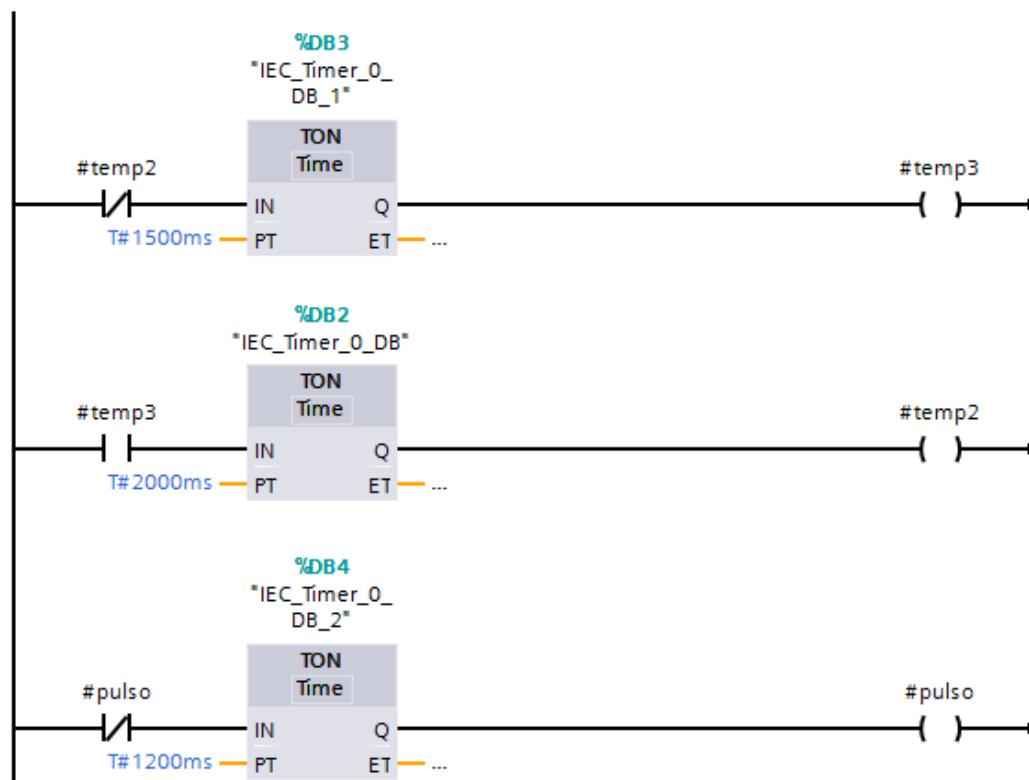
1. Segmento nº 1.

En este segmento se realizará la activación y desactivación de la variable “#temp3”, la cual es la encargada de activar una u otra instrucción MB_CLIENT disponible en el presente trabajo.

Cómo la variable “#temp2” del primer subsegmento es un contacto normalmente cerrado, en primer lugar se activará el temporizador “IEC_Timer_0_DB_1” contando hasta 1500 ms, pasado este tiempo se activará la variable “#temp3” y accionada esta variable se cerrará el contacto normalmente cerrado del segundo subsegmento, activando el temporizador “IEC_Timer_0_DB” realizando un conteo de hasta 2000 ms. Una vez que ha transcurrido el tiempo establecido en el temporizador “IEC_Timer_0_DB”, se activará la salida de la variable “#temp2” abriendo el contacto normalmente cerrado del subsegmento primero y desactivando la salida “#temp3”, como no hay ninguna realimentación, la variable “#temp2” cambiará al estado de reposo, normalmente cerrado, y comenzará el ciclo de nuevo.

Por último, en el tercer subsegmento, se implementa el ritmo que deberá tener la cadena de comunicación, es decir, cada 1200 ms se activará la salida “#pulso”, activando el inicio de la cadena de comunicación del segmento número 3.

En primer lugar, como “#pulso” es un contacto normalmente cerrado, comenzará a contar el temporizador “IEC_Timer_0_DB_2” hasta un valor de 1200 ms, pasado este tiempo activará la salida “#pulso” desactivando el contacto normalmente cerrado durante un breve periodo de tiempo y al ser un contacto normalmente cerrado, volverá a su estado inicial reanudando el ciclo.





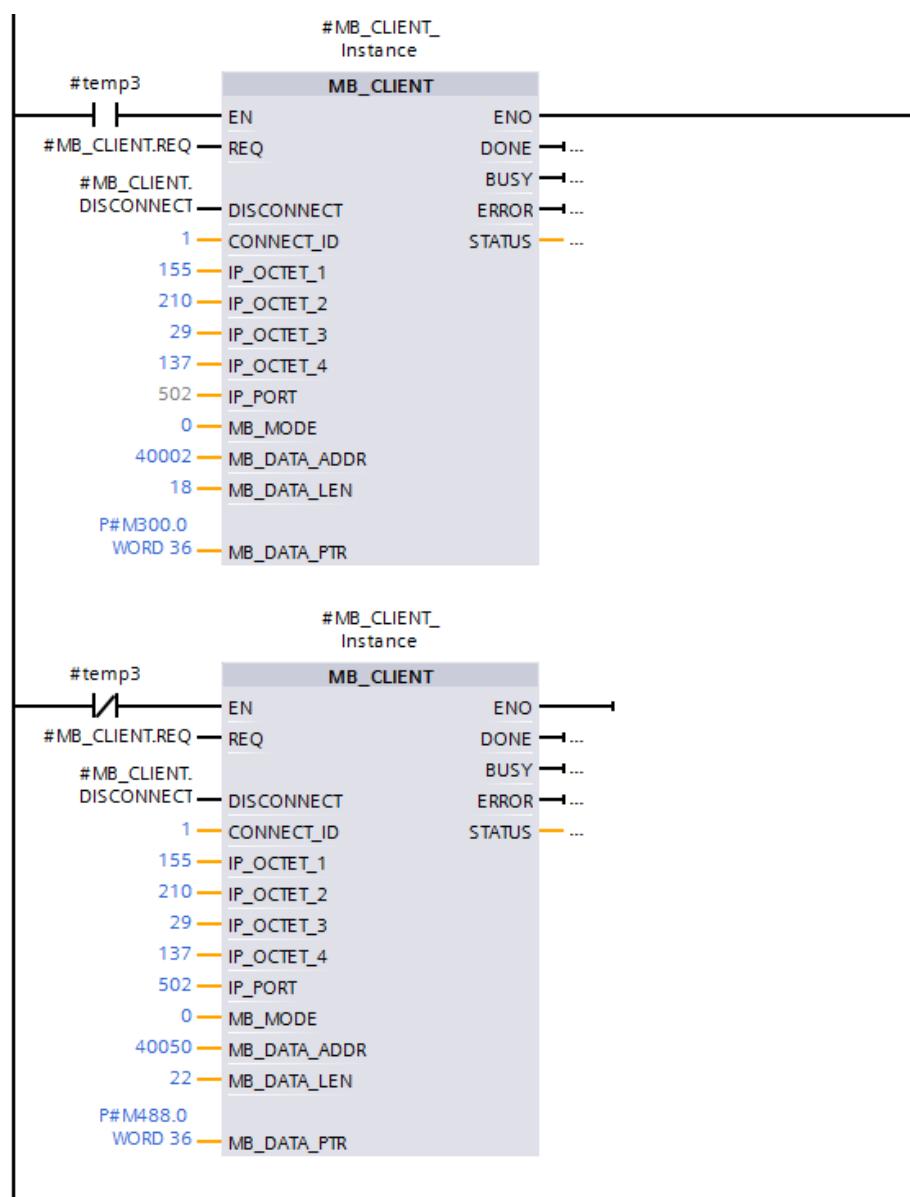
2. Segmento nº 2.

En este segmento se efectuará la comunicación como cliente MODBUS TCP.

Cada una de las instrucciones se activa en tiempos distintos, es decir, primero se ejecutará una de ellas y a continuación la otra. Esta activación se realizará de forma cíclica, gracias a los contactos “#temp3”, abierto para la primera instrucción y cerrado para la segunda. La activación o desactivación de la anterior variable se ha explicado en el segmento anterior.

Cuando el valor de “#MB_CLIENT.REQ” tenga un valor 1, se realiza la petición de comunicación con el servidor MODBUS TCP. Por otro lado, cuando

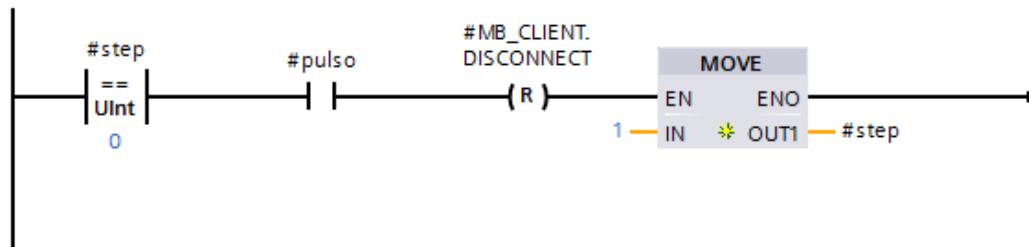
“#MB_CLIENT.DISCONNECT” tiene valor 0, se establece la conexión y si por el contrario el valor es 1, se deshace la conexión. El cambio de valores de las anteriores variables se realiza en los segmentos siguientes.





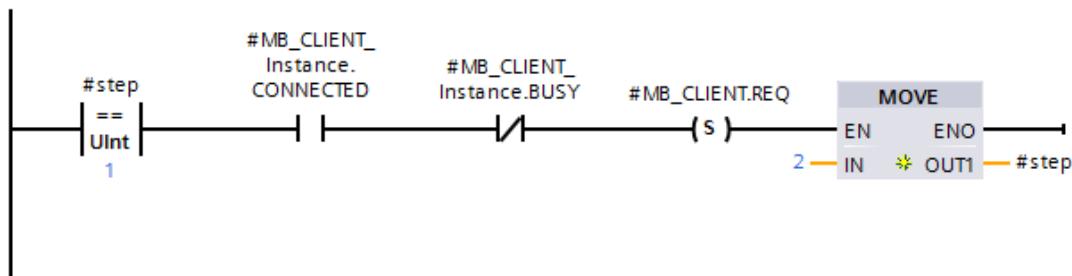
3. Segmento nº 3.

En este segmento se realizará el primer paso de la cadena de comunicación, en la cual cuando la variable “#step” tiene valor 0 y la variable “#pulso” está activada, se realizará un RESET (poner a “0”) la variable “#MB_CLIENT.DISCONNECT” haciendo así que se establezca una conexión de comunicación y la variable “#step” tomará el valor 1.



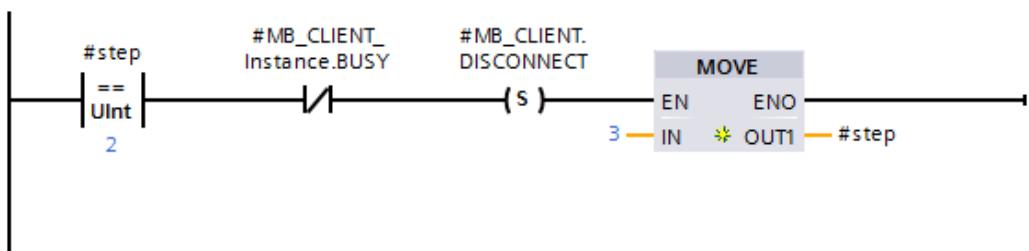
4. Segmento nº 4.

En el presente segmento se ejecutará el segundo paso de la cadena de comunicación. Cuando la variable “#step” tenga el valor 1, la variable “#MB_CLIENT_Instance.CONNNECTED” esté activa y la variable “#MB_CLIENT_Instance.BUSY” este desactivada, se realizará un SET (poner a 1) a la variable “#MBCLIENT.REQ”, realizando así la petición de comunicación con el servidor MODBUS TCP y el valor de “#step” será 2.



5. Segmento nº 5.

Este segmento desarrollará el tercer paso de la cadena de comunicación, en el cual, cuando la variable “#step” tenga un valor igual a 2 y la variable “#MB_CLIENT_Instance.BUSY” esté desactivada, se procederá a efectuar un SET en la variable “#MB_CLIENT.DISCONNECT”, deshaciendo la comunicación existente con el servidor MODBUS TCP y la variable “#step” tomará el valor 3.





6. Segmento nº 6.

Y por último, en este segmento se efectúa el cuarto y último paso de la cadena de comunicación. Cuando “#step” tenga el valor 3, la variable “#MB_CLIENT_Instance.CONNNECTED” esté desactivada al igual que la variable “#MB_CLIENT_Instance.BUSY”, el valor de “#step” será 0, iniciando así la cadena de comunicación.

