

**FICHA DE ENTREGA DE ACTIVIDADES EVALUABLES.**

<b>Nombre:</b> Joel Sanz Martí	<b>Fecha:</b> 09-01-24
<b>Unidad didáctica:</b> 4	<b>Nota:</b>

**ACTIVIDAD EVALUABLE nº 5****1. Enunciado y características de la actividad:**

Se tiene un control de una estación de bombeo que precisa controlar la presión de la red agua potable de una ciudad, la medida de presión proviene de un sensor de presión que nos proporciona una señal de 4 a 20mA para el rango de presiones de 0 a 25bar.

a. El control de la presión se realizará a través de una bomba que se ajustará de forma que cuando la presión esté por debajo de 5bar la bomba funcionará al 100% (80Hz) y si supera los 20bar se parará, en el rango intermedio la frecuencia será proporcional a la presión medida.

Se establecerá una comunicación con el variador mediante EtherCAT ya que este se encuentra en una sala de bombeo a 30m del cuadro de control. Se dispondrá de pulsador de marcha-paro físico y en HMI, visualizar la presión medida y el caudal que está inyectando la bomba si es de 0.5 m3/min a 50Hz.

b. En una instalación mayor es necesario cambiar el sensor a un sensor de 50 bar e instalar 2 variadores para poder mantener la presión en la red de distribución, la técnica de control necesaria activará el motor1 y en caso de ser necesario se activará el motor 2 para poder mantener la presión en la red, siguiendo con la técnica de control anterior se debe realizar un control como sigue:

a. Si la presión baja de 10 bar, las bombas estarán al 100%.

b. De 10 bar a 30 bar se regulará la bomba 2 y la bomba 1 estará al 100%.

c. Por encima de 30 bar la bomba 2 estará en OFF y la bomba 1 se controlará proporcionalmente hasta los 45 bar en que las 2 bombas pararán.

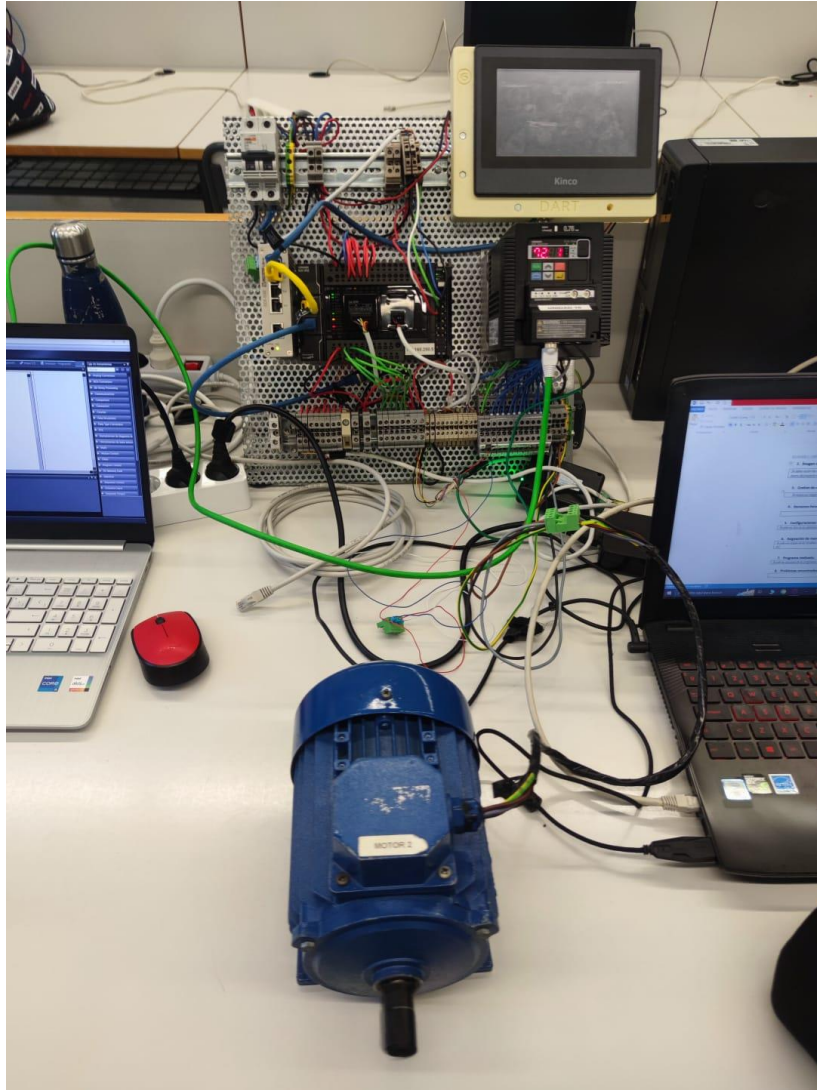
c. Cambiar el esquema de control para ajustar que las 2 bombas funcionen de forma síncrona.

d. Estudiar e implementar las opciones de ahorro energético del variador MX2.

Este proyecto fue realizado con Pablo Roca y Raúl Fornés.

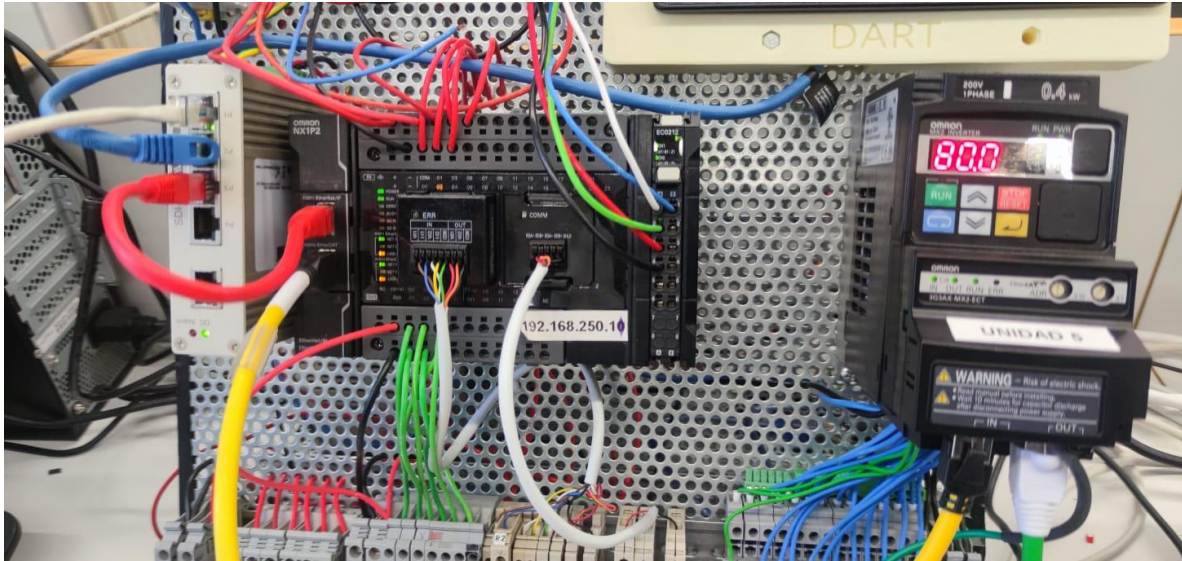
## 2. Imagen del montaje realizado:

Imagen general del montaje para el apartado a:



El montaje consta del PLC NX1P2 de Omron, que controla el variador de frecuencia MX2 de Omron mediante comunicación Ethercat. El variador, a su vez, controla el motor asíncrono trifásico que simula la bomba. El sistema se puede controlar tanto desde la botonera física como desde el HMI, comunicado con el PLC mediante Ethernet.

Detalle del PLC y el variador de frecuencia:



El PLC recibe señales de marcha y paro desde la botonera física y, en función del programa, actúa sobre el variador de frecuencia. Dicho variador de frecuencia controla el motor según las órdenes del PLC.

Botonera:



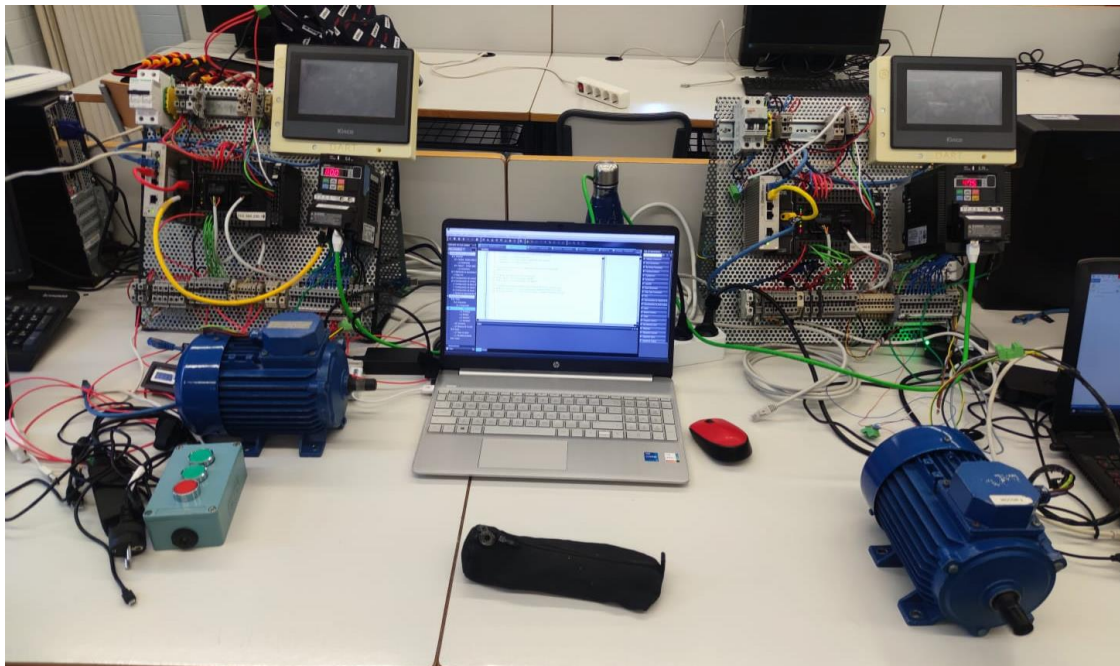
Esta botonera tiene los botones de reset (negro), marcha (verde) y paro (rojo) que tienen el funcionamiento de reinicio de errores, marcha y paro, respectivamente, y que se volverán a explicar más adelante.

Pantalla HMI:



Pantalla desde la que se podrá controlar el sistema (con las mismas instrucciones disponibles desde la botonera), y desde donde además se podrá monitorizar el porcentaje de uso de cada bomba, la presión de la red y los caudales movidos por cada bomba y total.

Montaje general después del apartado a:



A partir del apartado b necesitábamos dos variadores de frecuencia, por lo que tuvimos que juntar dos maquetas.

Algunas imágenes son de las maquetas de Juan Carlos y Mauro Silvestre.

### 3. Graficet de control implementado y explicación:

En este proyecto no necesitamos implementar Graficet.

### 4. Elementos físicos no programables utilizados, cableado y función en el montaje.

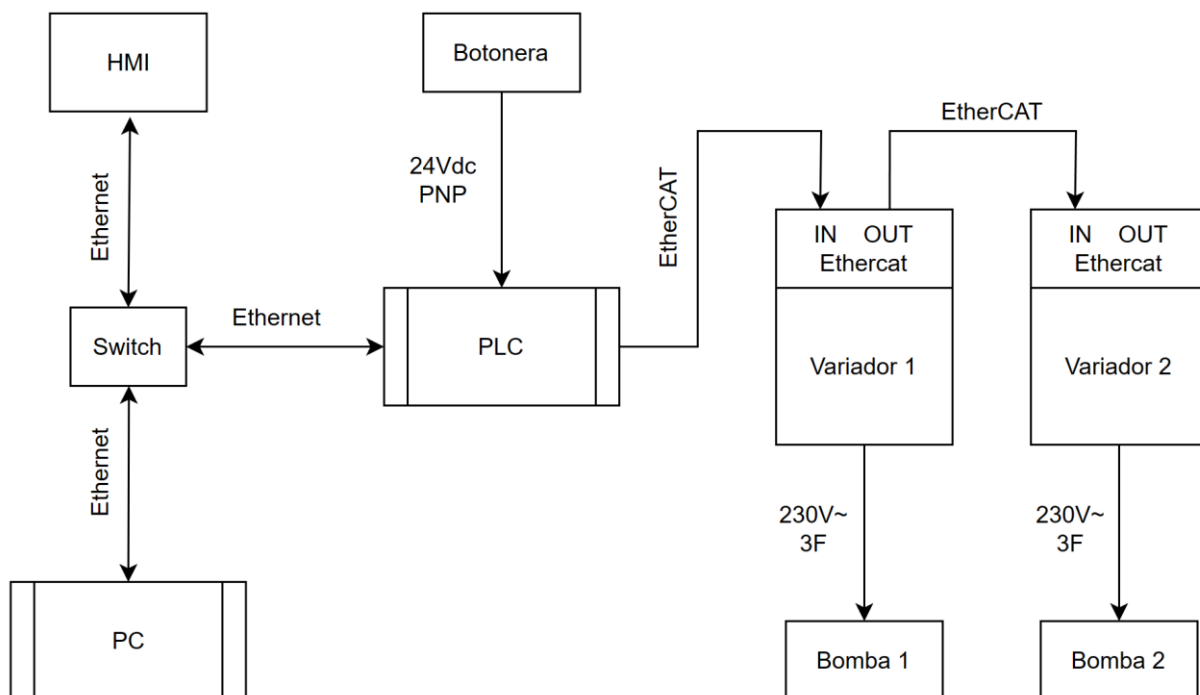
- Pulsadores de paro, marcha y reset:

Los tres pulsadores se encuentran en una única botonera. Los pulsadores de marcha (verde) y paro (rojo) activan y desactivan el funcionamiento de las bombas, mientras que el pulsador de reset (negro) reinicia los errores que puedan ocurrir en los variadores de frecuencia.

- Motores asíncronos:

Son los actuadores del montaje. Están conectados a bombas que generan un caudal de agua variable para ajustar la presión en la red de agua potable.

Este es un esquema del montaje realizado:

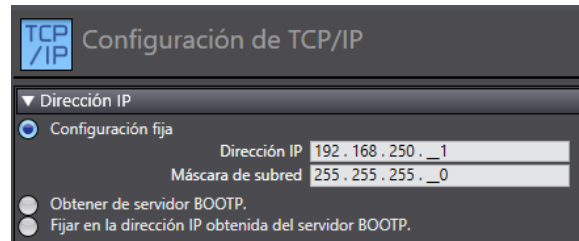




## 5. Configuraciones de elementos programables utilizados y su función en el proyecto.

### - OMRON NX1P2:

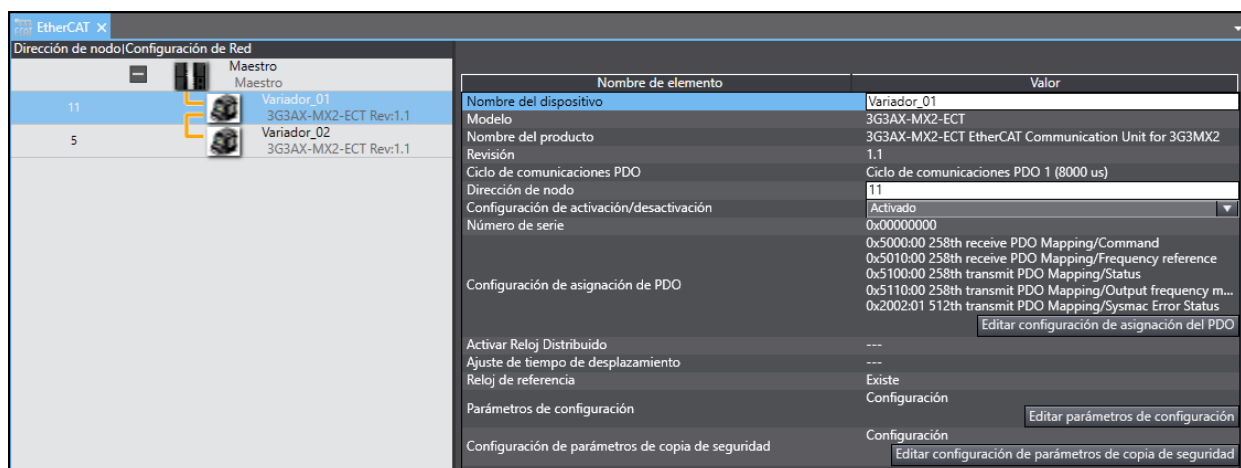
Es el PLC que controla el sistema. Recibe señales de sus entradas y, en función del programa que tiene cargado, actúa sobre las salidas correspondientes. Su puerto de salidas tiene una configuración PNP fija, pero su puerto de entradas puede ser tanto PNP como NPN. En nuestro caso, dicho puerto estará configurado en PNP. Este PLC tendrá la dirección IP 192.168.250.1.



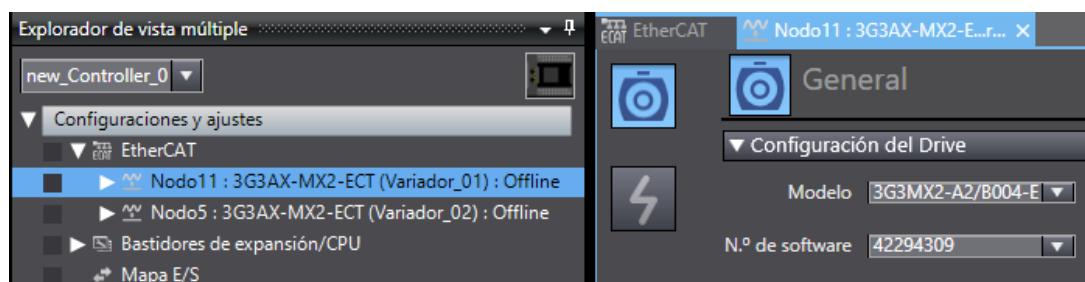
### - Variador de frecuencia OMRON MX2:

Es el variador de frecuencia que controla cada bomba. Este, a su vez, es controlado por el PLC mediante sus EtherCAT. Para conseguir el funcionamiento deseado, hay que parametrizarlo. En este caso, hemos parametrizado los variadores desde el proyecto. Esta ha sido el procedimiento:

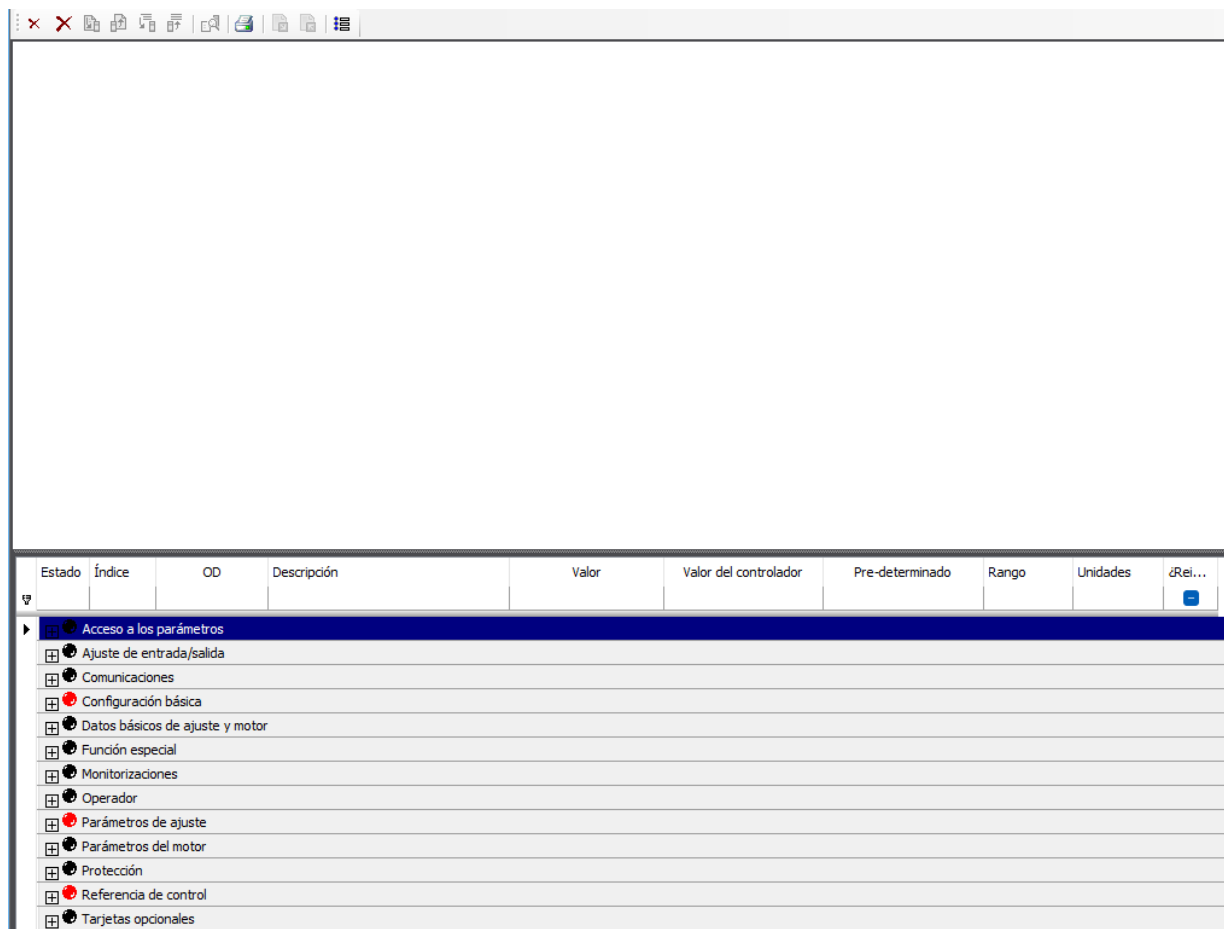
En el proyecto iremos a “Configuración y ajustes -> EtherCAT”. Buscaremos nuestro modelo de variador (“3G3AX-MX2-ECT”) y pulsaremos para añadirlo al proyecto. Luego, pulsaremos en la unidad y le cambiaremos el número de esclavo al configurado mediante los selectores físicos. Además, le cambiaremos el “Nombre del dispositivo” a uno que sea reconocible.



Ahora configuraremos exactamente qué modelo de variador es, pulsando en el correspondiente variador desde “Configuración y ajustes”:



Para parametrizar los variadores, desplegaremos sus respectivos menús y entraremos en “Parámetros”:



Modificaremos los siguientes parámetros:

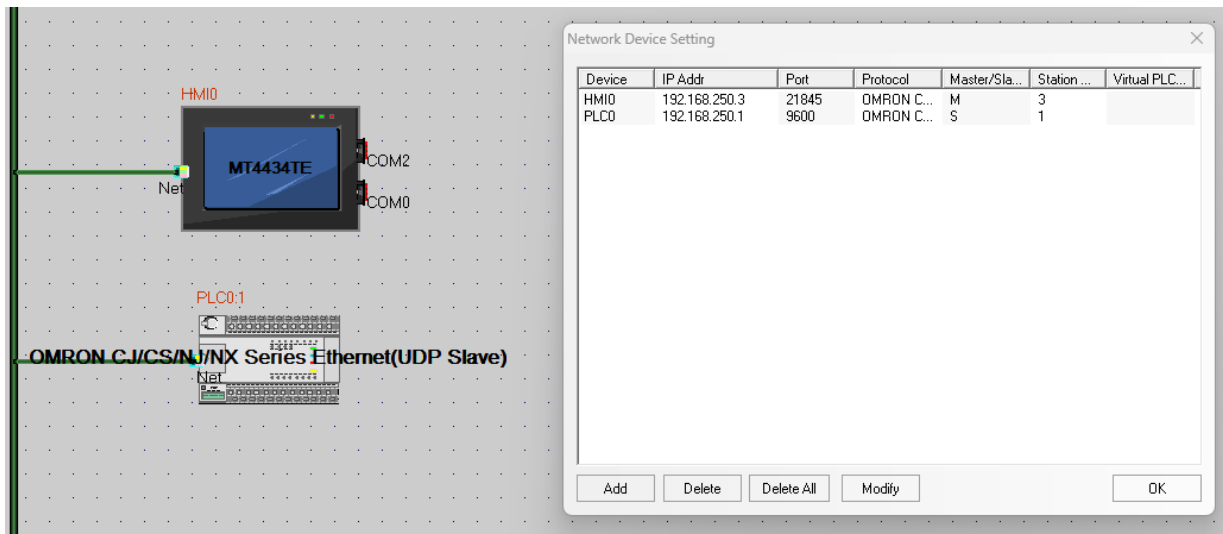
A001	– Referencia de frecuencia	– 04: Tarjeta opcional
A002	– Comando RUN	– 04: Tarjeta opcional
A004	– Configuración de frecuencia máxima	– 90,0
C102	– Selección de reset	– 03: (Trip reset only)
F002	– Configuración de tiempo de aceleración	– 1,00
F003	– Configuración de tiempo de deceleración	– 5,00
A085	– Modo de funcionamiento de ahorro energético	– 1: Funcionamiento de ahorro energético

Para cargar los parámetros en el variador, pulsaremos “Selección a controlador”. Como son pocos parámetros, es preferible cargarlos de uno en uno.



#### - HMI Kinco MT4434TE:

Es el HMI que hemos utilizado en este proyecto. Su uso es el de monitorizar el proceso, además de poder comandarlo igual que desde la botonera. Para que pueda establecer conexión con el PLC, necesitamos configurarlo en la misma red:



El HMI tendrá la dirección IP 192.168.250.3.

## 6. Asignación de memoria y lista de IO.

Lista de entradas físicas:

Input Bit 00	Input Bit 00	R	BOOL	PP	Pulsador de Paro	Variables globales
Input Bit 01	Input Bit 01	R	BOOL	PM	Pulsador de Marcha	Variables globales
Input Bit 02	Input Bit 02	R	BOOL	PR	Pulsador de Reset	Variables globales

Lista de variables de control EtherCAT:

Configuración de red EtherCAT						
Nodo11	3G3AX-MX2-ECT					
	Command	W	WORD	Variador_01_Comando	Comando del Variador 1	Variables globales
	Frequency reference	W	UINT	Variador_01_Frecuencia	Consigna de frecuencia del Variador 1	Variables globales
	Status	R	WORD			
	Output frequency monitor	R	UINT			
	System Error Status	R	BYTE			
Nodo5	3G3AX-MX2-ECT					
	Command	W	WORD	Variador_02_Comando	Comando del Variador 2	Variables globales
	Frequency reference	W	UINT	Variador_02_Frecuencia	Consigna de Frecuencia del Variador 2	Variables globales
	Status	R	WORD			
	Output frequency monitor	R	UINT			
	System Error Status	R	BYTE			

Activación de las áreas de memoria usadas:

Configuración de memoria para unidades de la serie CJ				
Activar	Tipo de área	Tamaño (número de canales)	Retener	
<input type="checkbox"/>	CIO	6144	Sin retención	
<input checked="" type="checkbox"/>	WR	512	Sin retención	
<input type="checkbox"/>	HR	512	Con retención	
<input checked="" type="checkbox"/>	DM	4096	Con retención	



## Variables internas:

Nombre	Tipo de datos	Valor inicial	Constante	Comentario
presion_limitada_m1	REAL		<input type="checkbox"/>	Presion limitada de 30 a 45 bar
presion_limitada_m2	REAL		<input type="checkbox"/>	Presion limitada de 10 a 30 bar
caudal_referencia	REAL	0.5	<input checked="" type="checkbox"/>	Caudal de referencia para cálculos
frecuencia_referencia	REAL	50	<input checked="" type="checkbox"/>	Frecuencia de referencia para cálculos
frecuencia_1_real	REAL		<input type="checkbox"/>	Frecuencia de giro real del motor 1
frecuencia_2_real	REAL		<input type="checkbox"/>	Frecuencia de giro real del motor 2
presion_raw_limitada	INT		<input type="checkbox"/>	Señal de presion limitada a [400..2000]
Reset	ResetECError		<input type="checkbox"/>	
Busy	BOOL		<input type="checkbox"/>	
Error	BOOL		<input type="checkbox"/>	Sistema en error
Error_ID	WORD		<input type="checkbox"/>	Identificador de error
PR_VAR	BOOL		<input type="checkbox"/>	Variable del Pulsador de Reset
PP_VAR	BOOL		<input type="checkbox"/>	Variable del Pulsador de Paro
PM_VAR	BOOL		<input type="checkbox"/>	Variable del Pulsador de Marcha
sistema_activo	BOOL	False	<input type="checkbox"/>	Indicador de sistema funcionando o no

## Variables globales:

Nombre	Tipo de dato	AT	Retentiva	Publicación en I	Comentario
PP	BOOL	BuiltInIO://cpu/#0/Input_Bit_00	<input type="checkbox"/>	No publica	Pulsador de Paro
PM	BOOL	BuiltInIO://cpu/#0/Input_Bit_01	<input type="checkbox"/>	No publica	Pulsador de Marcha
PR	BOOL	BuiltInIO://cpu/#0/Input_Bit_02	<input type="checkbox"/>	No publica	Pulsador de Reset
Variador_01_Comando	WORD	ECAT://node#11/Command	<input type="checkbox"/>	No publica	Comando del Variador 1
Variador_01_Frecuencia	UINT	ECAT://node#11/Frequency reference	<input type="checkbox"/>	No publica	Consigna de frecuencia del Variador 1
presion_raw	INT	BuiltInIO://opt/#0/Ch1_Analog_Input_Value	<input type="checkbox"/>	No publica	Señal de presión de 4 a 20mA
PP_HMI	BOOL	%W0.00	<input type="checkbox"/>	Solo publicar	Pulsador de Paro HMI
PM_HMI	BOOL	%W0.01	<input type="checkbox"/>	Solo publicar	Pulsador de Marcha HMI
PR_HMI	BOOL	%W0.02	<input type="checkbox"/>	Solo publicar	Pulsador de Reset HMI
funcionamiento_motor_1	REAL	%D6	<input checked="" type="checkbox"/>	Solo publicar	Porcentaje de funcionamiento motor 1
motor1_activo	BOOL	%W0.03	<input type="checkbox"/>	Solo publicar	Indicador motor 1 activo
motor2_activo	BOOL	%W0.04	<input type="checkbox"/>	Solo publicar	Indicador motor 2 activo
funcionamiento_motor_2	REAL	%D8	<input checked="" type="checkbox"/>	Solo publicar	Porcentaje de funcionamiento motor 2
caudal_total	REAL	%D10	<input checked="" type="checkbox"/>	Solo publicar	Caudal total de los dos motores
presion_real	REAL	%D0	<input checked="" type="checkbox"/>	Solo publicar	Presión del tanque en bares
caudal_1_real	REAL	%D2	<input checked="" type="checkbox"/>	Solo publicar	Caudal del motor 1 en m <sub>3</sub> /min
Variador_02_Comando	WORD	ECAT://node#5/Command	<input type="checkbox"/>	No publica	Comando del Variador 2
Variador_02_Frecuencia	UINT	ECAT://node#5/Frequency reference	<input type="checkbox"/>	No publica	Consigna de Frecuencia del Variador 2
caudal_2_real	REAL	%D4	<input checked="" type="checkbox"/>	Solo publicar	Caudal del motor 2 en m <sub>3</sub> /min

## 7. Programa realizado:

El enunciado se divide en 4 apartados. Este es el programa correspondiente al apartado a, que pide que la bomba funcione al 100% para una presión de 5 bar y al 0% para una presión de 20 bar, funcionando de forma proporcional dentro del rango de presiones:

Bloque “cálculos”: En este bloque se realizan todos los cálculos necesarios.

```

0
1  presion_raw_limitada := TO_INT(LIMIT(400, presion_raw, 2000)); // limitación previa de [0..20]mA a [4..20]mA
2  presion_real := ScaleTrans(presion_raw_limitada, 400, 0.0, 2000, 25.0, 0.0); // escalar a [0..25]bar
3  presion_limitada := TO_REAL(LIMIT(5.0, presion_real, 20.0)); // limitar presión de [0..25] bar a [5..20] bar

1
1  // escalar consigna de frecuencia [20..5] bar a [0..80]Hz
2  Variador_01_Frecuencia := TO_UINT(ScaleTrans(presion_limitada, 5, 8000, 20, 0, 0));
3  frecuencia_real := Variador_01_Frecuencia / 100; // convertir consigna para visualizar con dos decimales

2
1  // cálculo del caudal que mueve el motor
2  caudal_real := (frecuencia_real * caudal_a_50Hz) / 50.0;

```

Bloque “principal”: En este bloque está la activación y desactivación del motor.

```

0
1  // activar motor al pulsar marcha
2  IF PM_VAR THEN
3      Variador_01_Comando := 16#0001;
4  END_IF;
5
6  // desactivar motor al pulsar paro
7  IF NOT PP_VAR THEN
8      Variador_01_Comando := 16#0000;
9  END_IF;

```

Bloque “hmi\_plc”: En este bloque se juntan las órdenes provenientes del HMI con las provenientes de la botonera en una única variable, para simplificar el programa.

```

0
1  PM_VAR := PM OR PM_HMI; // marcha HMI o física
2  PP_VAR := PP AND NOT PP_HMI; // paro HMI o físico

```

En el apartado b se pide la inclusión de una segunda bomba controlada por un segundo variador de frecuencia, además de cambiar el sensor de presión a uno de 50 bar. Las bombas funcionarán de forma asíncrona (en el enunciado se detalla más el funcionamiento). Nos basaremos en el programa del apartado a.

Bloque “cálculos”: Se ha modificado la consigna de frecuencia de funcionamiento de cada motor y se han añadido el funcionamiento porcentual de los motores y el caudal que genera cada uno.

```

0
1  presion_raw_limitada := TO_INT(LIMIT(400, presion_raw, 2000)); // limitación previa de [0..20]mA a [4..20]mA
2  presion_real := ScaleTrans(presion_raw_limitada, 400, 0.0, 2000, 50.0, 0.0); // escalar a [0..25]bar
3  presion_limitada_m1 := TO_REAL(LIMIT(30.0, presion_real, 45.0)); // limitar presión de [0..25] a [30..45] bar
4  presion_limitada_m2 := TO_REAL(LIMIT(10.0, presion_real, 30.0)); // limitar presión de [0..25] a [10..30] bar

1
1  // escalar consigna de frecuencia del motor 1 [20..5] bar a [0..80]Hz
2  Variador_01_Frecuencia := TO_UINT(ScaleTrans(presion_limitada_m1, 30, 8000, 45, 0, 0));
3  frecuencia_1_real := Variador_01_Frecuencia / 100; // convertir consigna para visualizar con dos decimales
4
5  // escalar consigna de frecuencia del motor 2 [20..5] bar a [0..80]Hz
6  Variador_02_Frecuencia := TO_UINT(ScaleTrans(presion_limitada_m2, 10, 8000, 30, 0, 0));
7  frecuencia_2_real := Variador_02_Frecuencia / 100; // convertir consigna para visualizar con dos decimales

2
1  // cálculo porcentaje de funcionamiento de cada motor
2  funcionamiento_motor_1 := ScaleTrans(frecuencia_1_real, 0.0, 0.0, 80.0, 100.0, 0);
3  funcionamiento_motor_2 := ScaleTrans(frecuencia_2_real, 0.0, 0.0, 80.0, 100.0, 0);

3
1  // si el sistema está activo, indicar el caudal que mueve cada motor
2  // de lo contrario, los caudales equivalen a 0
3  IF sistema_activo THEN
4      caudal_1_real := (frecuencia_1_real * caudal_referencia) / frecuencia_referencia;
5      caudal_2_real := (frecuencia_2_real * caudal_referencia) / frecuencia_referencia;
6  ELSE
7      caudal_1_real := 0.0;
8      caudal_2_real := 0.0;
9  END_IF;

```

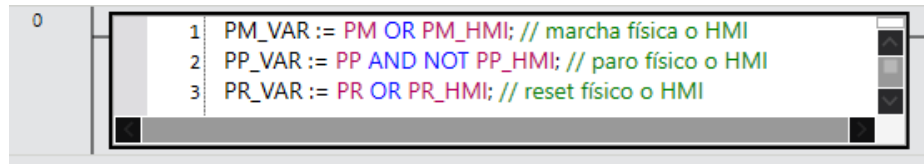
Bloque “principal”: Se ha modificado para actuar sobre los dos motores y se ha añadido que el “P\_first\_run” también pare los motores.

```

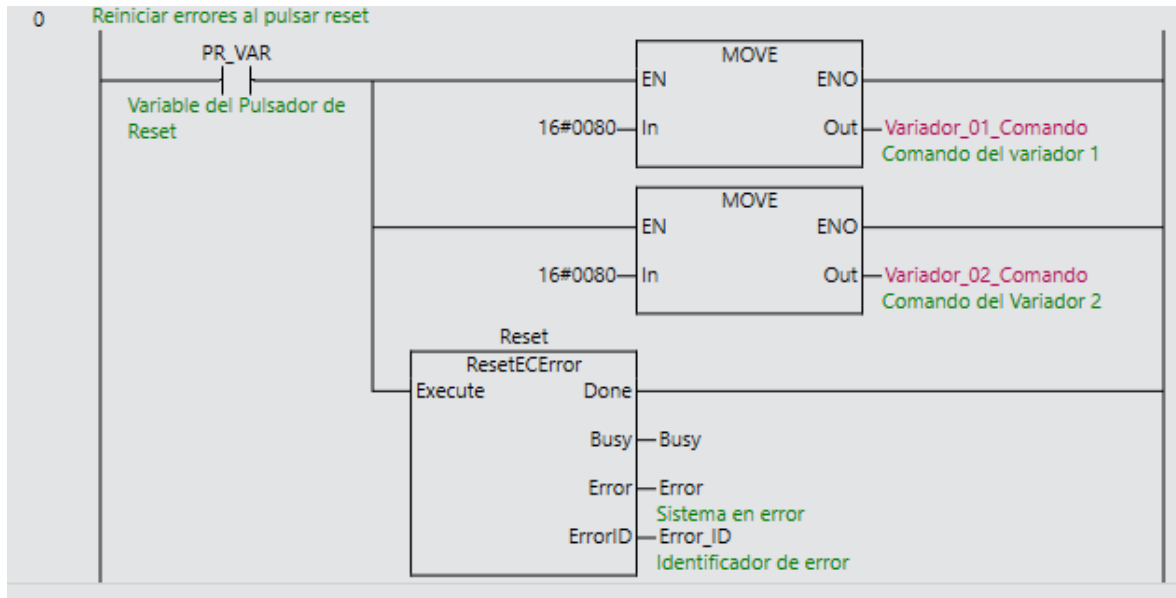
0
1  // activar el motor al pulsar marcha
2  IF PM_VAR THEN
3      Variador_01_Comando := 16#0001;
4      Variador_02_Comando := 16#0001;
5      sistema_activo := 1;
6  END_IF;
7
8  // desactivar el motor al pulsar paro o iniciar el sistema
9  IF NOT PP_VAR OR P_First_Run THEN
10     Variador_01_Comando := 16#0000;
11     Variador_02_Comando := 16#0000;
12     sistema_activo := 0;
13 END_IF;

```

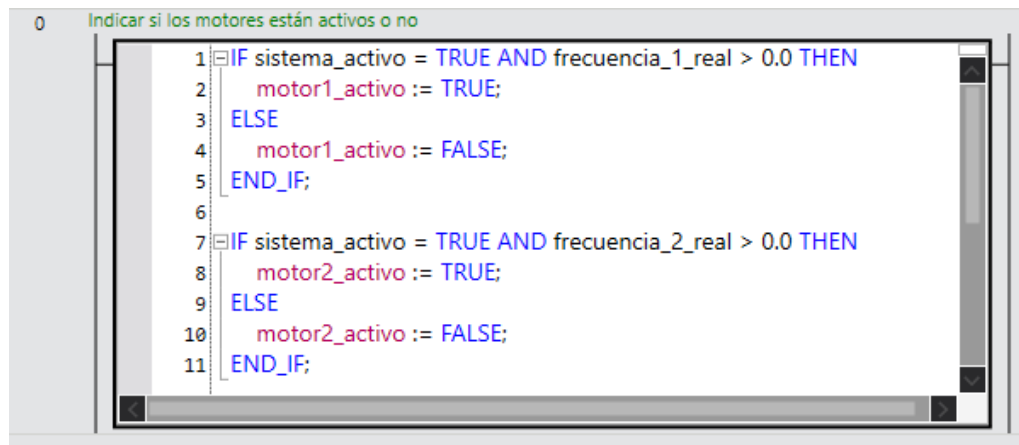
Bloque “hmi\_plc”: Se ha añadido la señal de reset.



Bloque “reset”: Este bloque maneja el reinicio de errores de los variadores de frecuencia.



Bloque “movimiento”: Maneja la lógica para indicar si los motores están activos o no.



En el apartado c se pide que las dos bombas funcionen de forma síncrona. Nos basaremos en el programa del apartado b.

Bloque “cálculos”: Se ha modificado para que los dos motores tengan la misma consigna de frecuencia y se ha añadido el cálculo del caudal que generan las dos bombas conjuntamente.

```

0
1 presion_raw_limitada := TO_INT(LIMIT(400, presion_raw, 2000)); // limitación previa de [0..20]mA a [4..20]mA
2 presion_real := ScaleTrans(presion_raw_limitada, 400, 0.0, 2000, 50.0, 0.0); // escalar a [0..25]bar
3 presion_limitada_m1 := TO_REAL(LIMIT(10.0, presion_real, 45.0)); // limitar presión de [0..25] a [10..45] bar

1
1 // escalar consigna de frecuencia del motor 1 [20..5] bar a [0..80]Hz
2 Variador_01_Frecuencia := TO_UINT(ScaleTrans(presion_limitada_m1, 10, 8000, 45, 0, 0));
3 frecuencia_1_real := Variador_01_Frecuencia / 100; // convertir consigna para visualizar con dos decimales
4
5 // escalar consigna de frecuencia del motor 2 [20..5] bar a [0..80]Hz
6 Variador_02_Frecuencia := Variador_01_Frecuencia;
7 frecuencia_2_real := Variador_02_Frecuencia / 100; // convertir consigna para visualizar con dos decimales

2
1 // cálculo porcentaje de funcionamiento de cada motor
2 funcionamiento_motor_1 := ScaleTrans(frecuencia_1_real, 0.0, 0.0, 80.0, 100.0, 0);
3 funcionamiento_motor_2 := funcionamiento_motor_1;

3
1 // si el sistema está activo, indicar el caudal que mueve cada motor
2 // de lo contrario, los caudales equivalen a 0
3 IF sistema_activo THEN
4     caudal_1_real := (frecuencia_1_real * caudal_referencia) / frecuencia_referencia;
5     caudal_2_real := (frecuencia_2_real * caudal_referencia) / frecuencia_referencia;
6 ELSE
7     caudal_1_real := 0.0;
8     caudal_2_real := 0.0;
9 END_IF;
10
11 // caudal total movido por los dos motores
12 caudal_total := caudal_1_real + caudal_2_real;

```

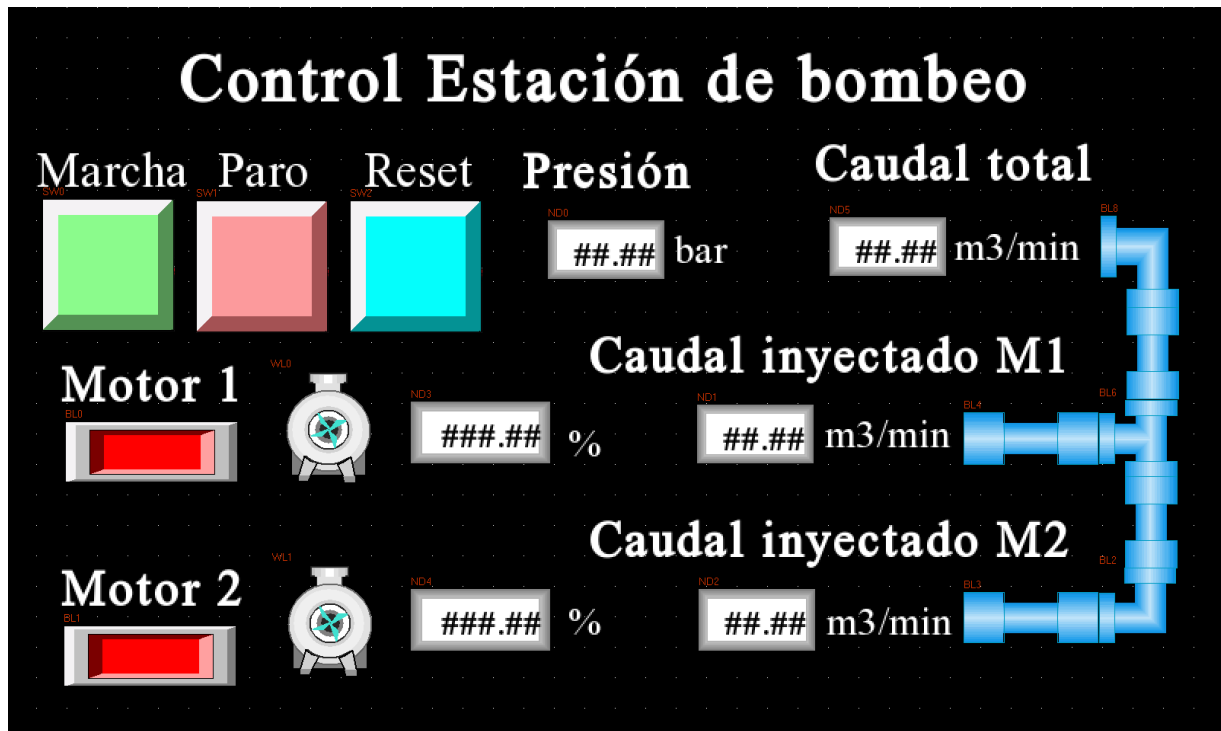
Bloque “principal”: No hay cambios respecto al programa del apartado b.

Bloque “hmi\_plc”: No hay cambios respecto al programa del apartado b.

Bloque “reset”: No hay cambios respecto al programa del apartado b.

Bloque “movimiento”: No hay cambios respecto al programa del apartado b.

Además, en todos los apartados está disponible una pantalla HMI, que es la siguiente:



Los pulsadores de marcha, paro y reset tienen la misma función que los botones de la botonera física. Los pulsadores de marcha y paro están disponibles en todos los apartados, mientras que el de reset está disponible a partir del apartado b.

Cada bomba tiene los siguientes elementos: un piloto que se ilumina en rojo para indicar que está parado y en verde para indicar que está en movimiento; un indicador numérico que indica el porcentaje de funcionamiento de cada bomba; un indicador numérico que indica el caudal que inyecta dicha bomba en  $\text{m}^3/\text{min}$ . Todo lo relacionado con el motor 2 está disponible a partir del apartado b. En el apartado a, solo está disponible el caudal inyectado por el motor 1.

El indicador numérico de presión indica la presión de la red de agua potable en bar. Está disponible en todos los apartados.

El indicador de caudal total indica la suma de los caudales inyectados por cada motor. Está disponible a partir del apartado c.

Por último, el apartado d pedía la implementación y estudio de las opciones de ahorro energético del variador MX2.

La implementación se realiza poniendo el parámetro A085 del variador de frecuencia a 1.

Con un polímetro, medimos la tensión que sacaba el variador a diferentes frecuencias. Observamos que la tensión variaba muy poco para un rango de frecuencias de hasta 90Hz.



**8. Problemas encontrados y solución implementada.**

En este proyecto no hubo problemas destacables. Los problemas que tuvimos fueron pequeños errores en el código (errores de sintaxis, cálculos erróneos...) que tenían una solución fácil y rápida.

**9. Mejoras propuestas.**

Una posible mejora sería volcar periódicamente los datos del programa (uso de los motores, caudal inyectado, presión de la red) para comprobar su evolución con el paso del tiempo. De esta manera se podría observar como ha cambiado el rendimiento del sistema o detectar averías en alguna de las bombas.

Otra posible mejora sería recibir datos del uso de agua en cada momento del día, para poder ajustar la presión de la red en función al uso del agua potable. De esta forma, la oferta se ajustaría más a la demanda.