



TRABAJO INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA Y CONTROL

GIERM

FRANCISCO JAVIER ROMÁN CORTÉS

JUAN DE DIOS HERRERA HURTADO

JOSÉ ANTONIO HEREDIA MUÑOZ

ARTURO RENATO ÚBEDA QUILÓN

Ejercicio 1 (1 punto): Se procederá a la conexión del variador al motor, siguiendo el diagrama de la figura 2. El motor que se usará es un motor trifásico de 80 vatios de la marca Altren. Este motor viene por defecto con conexión estrella. Si nos fijamos en la placa informativa (figura 4), nos dice que está diseñado para una tensión de 230V/400V, es decir, 230V triángulo ó 400V en estrella a 50Hz. Como vamos a conectar a una red monofásica de 230, habrá que cambiar las plaquetas de conexión para configurarlo en modo triángulo, tal y como se muestra en la figura 5.

Conectamos el motor en triángulo, tal y como especifica el enunciado:

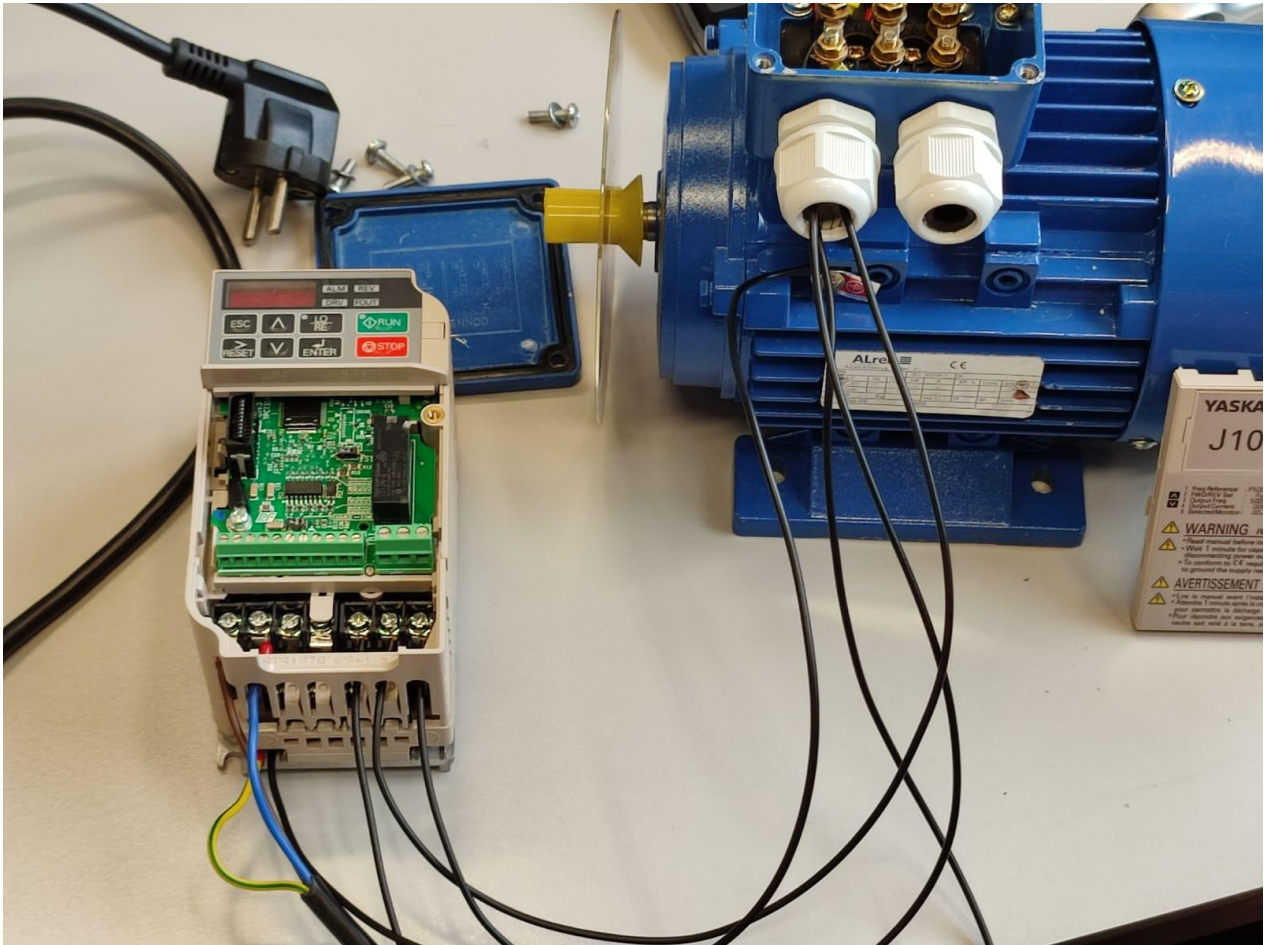


Figura 1: conexionado del motor con el VFD. La alimentación monofásica se conecta en la parte izquierda del VFD, los terminales del motor se conectan a la derecha, y las tomas de tierra, tanto de la alimentación como del motor se conectan al mismo terminal, en la parte inferior izquierda.

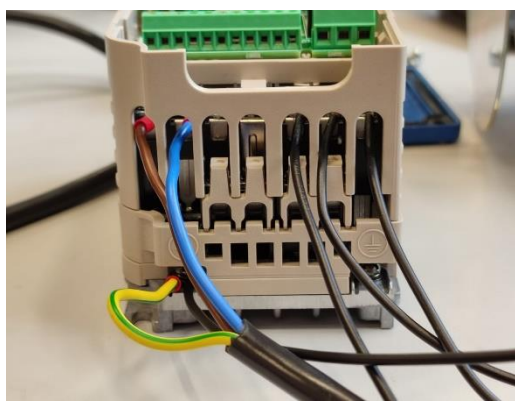


Figura 2: Detalle de las conexiones del VFD.



Figura 3: Conexión de los terminales del estátor.



Figura 4: salida de los terminales del estátor y de la toma de tierra del motor.

Tras realizar la configuración inicial propuesta en las páginas 6 y 7 del enunciado del trabajo, realizamos una prueba de funcionamiento, y mostramos los resultados en el siguiente vídeo:

<https://www.youtube.com/watch?v=A2JG6ankd6I>

También se ha cambiado E1-01 (alimentación del motor) a 230V.

Ejercicio 2 (1 punto): Configurar el VFD con los parámetros del motor. Para ello, mirar en la placa de características de este. Indicar en la memoria, qué parámetros se han cambiado y con qué valores.

Conocidos los datos del motor, dados en su placa de características:



Figura 5: Placa de características del motor.

Los parámetros que hemos introducido en el VFD son de la serie E2, y son los siguientes:

No.	Parameter Name	Setting Range	Default
E2-01	Motor Rated Current	10% to 200% of the drive rated current. (unit: 0.01 A)	Depending on o2-04

E2-01 = $I_n = 1 \text{ A}$ (obtenido de la placa de características).

No.	Parameter Name	Setting Range	Default
E2-02	Motor Rated Slip	0.00 to 20.00 Hz	Depending on o2-04

Conocido $n_{\text{nominal}} = 1315 \text{ rpm}$ (de la placa de características), aplicamos la fórmula del deslizamiento nominal que nos indica el manual que debemos usar para calcular este parámetro e introducirlo en el parámetro E2-02:

Calculate the motor rated slip using the information written on the motor nameplate and the formula below:

$$E2-02 = f - (n \times p)/120$$

(f: rated frequency (Hz), n: rated motor speed (r/min), p: number of motor poles)

$$E2 - 02 = 50 - \frac{1315 \times 4}{120} = 6.17 \text{ Hz}$$

$$E2-02 = 6.17 \text{ Hz}$$

No.	Parameter Name	Setting Range	Default
E2-05	Motor Line-to-Line Resistance	0.000 to 65.000 Ω	Depending on o2-04

E2-05 = 41.2Ω (obtenido mediante medida).

Ejercicio 3 (1 punto): Ajustar los parámetros para hacer un arranque del motor, mediante el panel frontal del J1000, con una rampa de aceleración de 10 s y rampa de frenado de 20 s.

Junto a los parámetros anteriormente mencionados, configuraremos los siguientes:

No.	Parameter Name	Setting Range	Default
C1-01	Acceleration Time 1	0.0 to 6000.0 s	10.0 s
C1-02	Deceleration Time 1		
C1-03	Acceleration Time 2		
C1-04	Deceleration Time 2		

$$C1-01 = 10 \text{ s}$$

$$C1-02 = 20 \text{ s}$$

De esta manera, tal y como se especifica en la documentación del VFD:

■ C1-01 to C1-04: Accel/Decel Times 1 and 2

Two sets of acceleration and deceleration times can be set in the drive. They can be selected by a digital input. Acceleration time parameters always set the time to accelerate from 0 to the maximum output frequency (E1-04). Deceleration time parameters always set the time to decelerate from maximum output frequency to 0. C1-01 and C1-02 are the default active accel/decel settings.

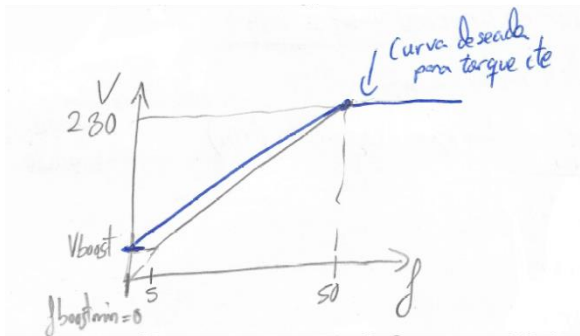
Es decir, si especificamos el tiempo de aceleración y deceleración en los parámetros C1-01 y C1-02, respectivamente, conseguiremos estos tiempos para una velocidad igual a la máxima frecuencia de salida (50 Hz por defecto, en la variable E1-04).

No.	Parameter Name	Setting Range	Default
E1-04	Maximum Output Frequency	40.0 to 400.0 Hz	50 Hz

Mostramos los resultados de las medidas de tiempo para esa velocidad (50 Hz) en el siguiente vídeo:

<https://www.youtube.com/watch?v=qQ4RRKtliYY>

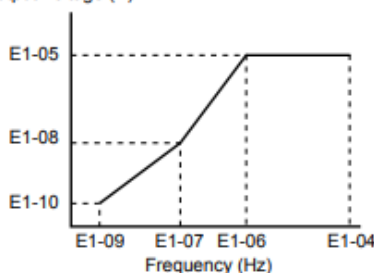
Ejercicio 4 (1 punto): De acuerdo con el manual del VFD y los datos del motor, configurar una curva tensión frecuencia adecuada para una aplicación de torque constante. Hacer las medidas convenientes para poder tener una tensión boost en bajas velocidades.



Para configurar una curva V-f que haga que el motor desarrolle un par constante, construiremos una característica V-f lineal, con dos puntos: un punto inferior, $[V_{\text{boost}}, f_{\text{boost,min}}]$, y un punto máximo $[230\text{V}, f_{\text{base}}]$. Para velocidades superiores a f_{base} , podremos comprobar que la tensión satura, para no superar su valor nominal (230V en triángulo) y así no dañar el motor.

Para conseguir esta curva, modificaremos los siguientes parámetros de la serie E1:

Output Voltage (V)



No.	Parameter Name	Setting Range	Default
E1-04	Maximum Output Frequency	40.0 to 400.0 Hz	50 Hz
E1-05	Maximum Voltage	0.0 to 255.0 V <P>	200 V
E1-06	Base Frequency	0.0 to 400.0 Hz	50 Hz
E1-07	Middle Output Frequency	0.0 to 400.0 Hz	2.5 Hz
E1-08	Middle Output Frequency Voltage	0.0 to 255.0 V <P>	16.0 V
E1-09	Minimum Output Frequency	0.0 to 400.0 Hz	1.3 Hz
E1-10	Minimum Output Frequency Voltage	0.0 to 255.0 V <P>	12.0 V

Dado el significado de los parámetros, deben cumplirse las siguientes reglas (de no ser así, obtendremos en el VFD el error OPE10):

1. $E1-04 \geq E1-06 \geq E1-07 \geq E1-09$
2. Para construir una línea recta, $E1-07 = E1-09$

Note: 1. The following condition must be true when setting up the V/f pattern: $E1-09 \leq E1-07 \leq E1-06 \leq E1-04$
2. To make the V/f pattern a straight line set $E1-09 = E1-07$. In this case the E1-08 setting is disregarded.
3. E1-03 is unaffected when the drive is initialized using parameter A1-03, but the settings for E1-04 through E1-10 are returned to their default values.

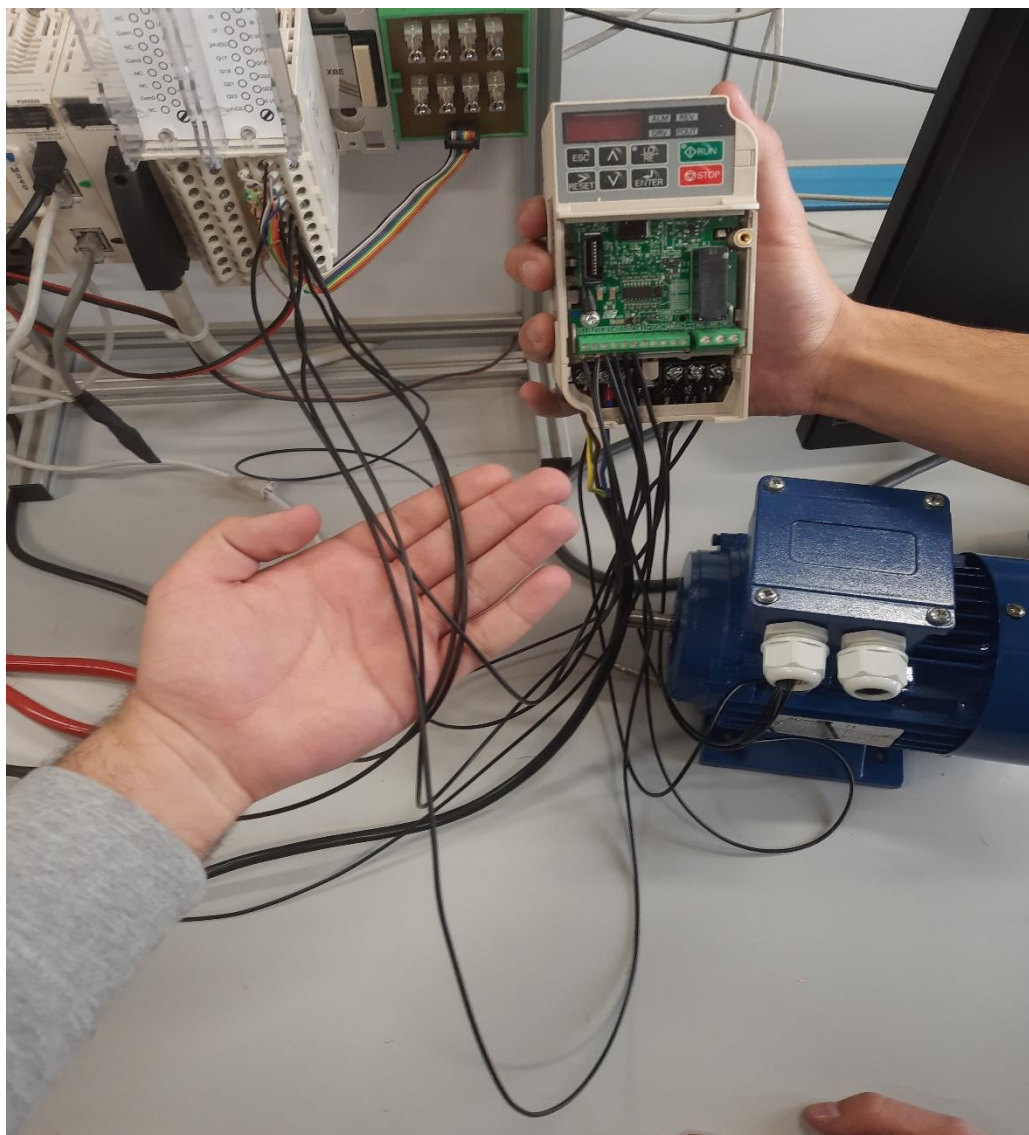


Figura 7: Montaje real del esquemático de conexiones VFD – PLC.

El conexionado de una salida digital del PLC a la entrada analógica del VFD se realizará y mostrará en el ejercicio 8.

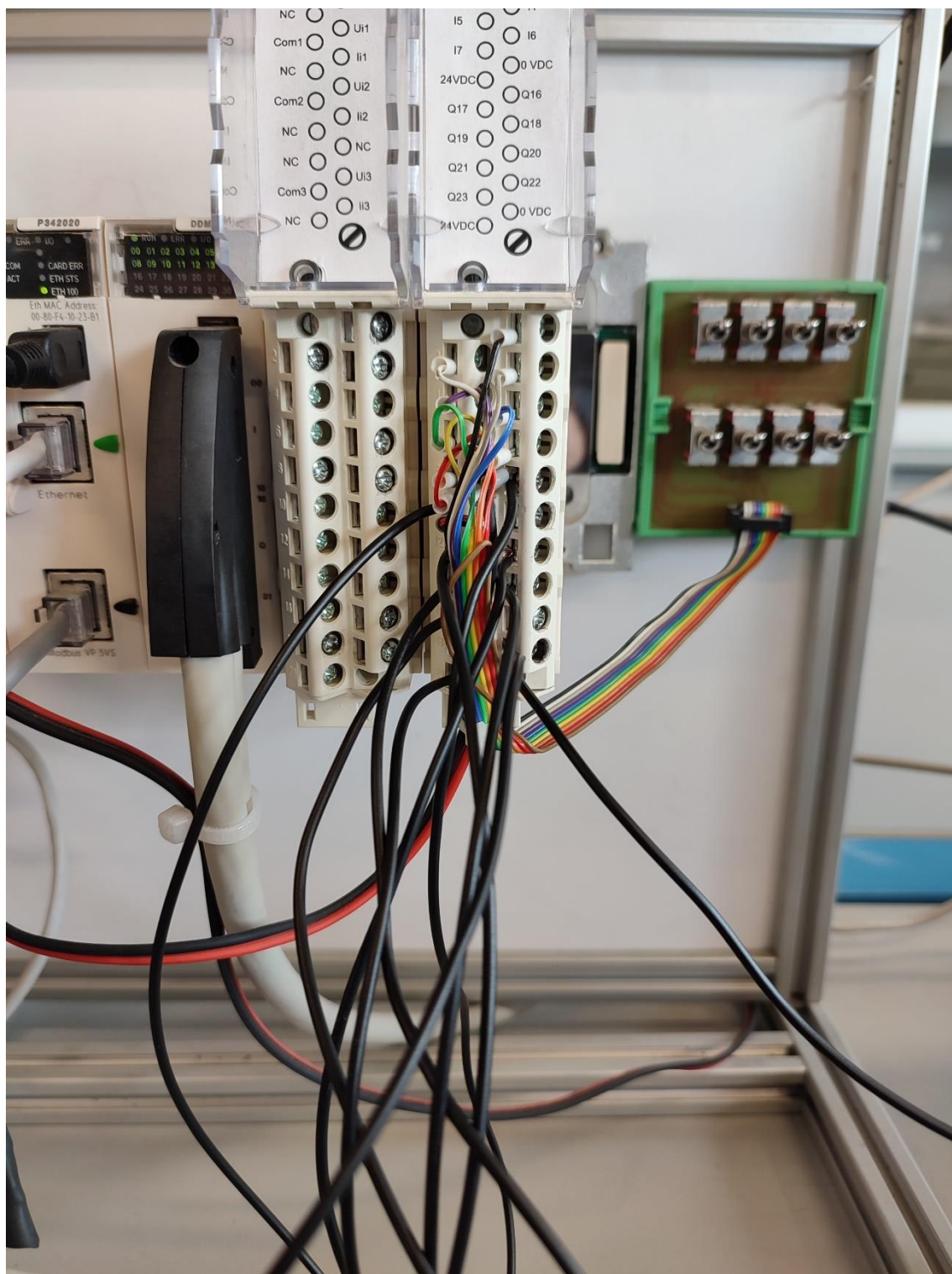


Figura 8: Detalle del conexionado del PLC

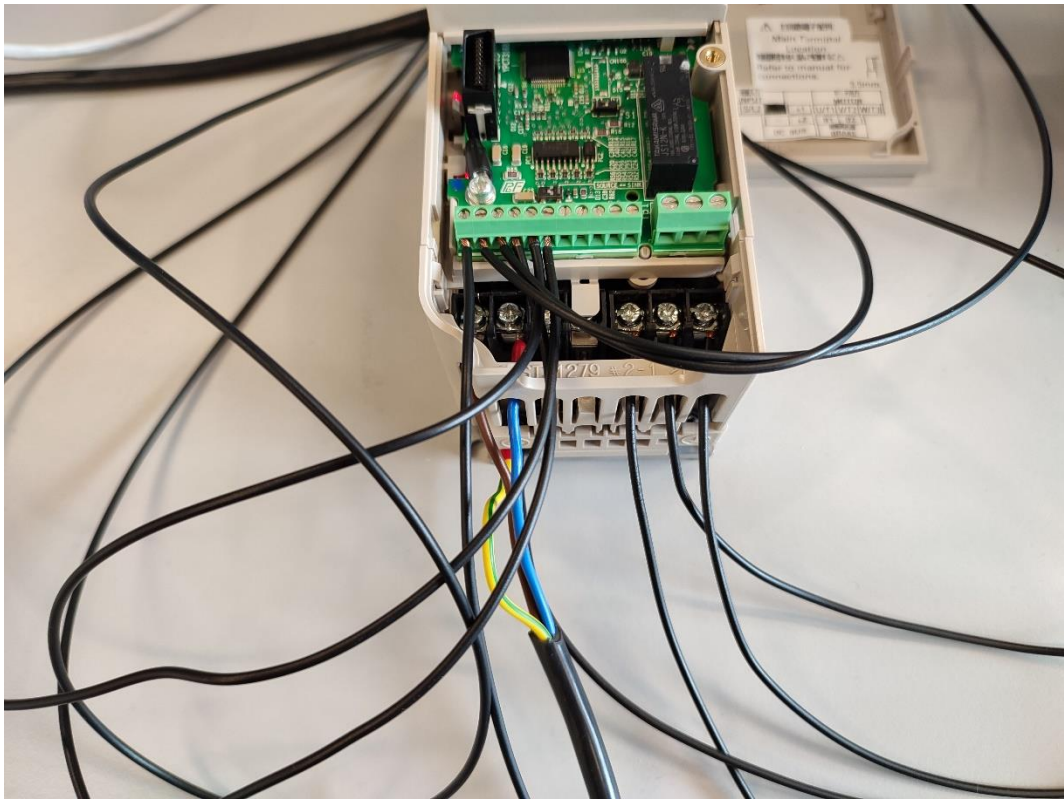


Figura 9: Detalle del conexionado del VFD

Ejercicio 6 (1 punto): Ajustar los parámetros para hacer un arranque del motor, mediante el PLC, con una rampa de aceleración de 10 s y rampa de frenado de 20 s.

Una vez realizado el conexionado entre el VFD y el PLC, debemos realizar un programa en “EcoStruxure Control Expert” que envíe la señal al VFD de arranque/paro. Para ello, se ha hecho uso de la salida digital del PLC asociada a la entrada digital S1 del VFD.

Para la realización de este ejercicio, se modificó un solo parámetro del VFD:

No.	Parameter Name	Setting Range	Default
b1-02	Run Command Selection	0 to 2	1

B1-02 = 1

Setting 1: Control Circuit Terminal

This setting requires that the Run and Stop commands are entered from the digital input terminals. The following sequences can be used:

- 2-Wire sequence:
Two inputs (FWD/Stop-REV/Stop). Initializing the drive by setting A1-01 = 2220, presets the terminals S1 and S2 to these functions. This is the default setting of the drive. [Refer to Setting 40/41: Forward Run/Reverse Run Command for 2-Wire Sequence on page 103.](#)

Se establece dicho parámetro a valor ‘1’ para habilitar que los comandos RUN/STOP se ejecuten mediante la entrada digital S1 (FWD/Stop) del VFD.

En la configuración del ejercicio 1 se estableció conexión a dos hilos modificando el parámetro A1-01 = 2220.

La configuración de las rampas de aceleración y frenado se realizaron ya en el ejercicio 3.

El programa es el siguiente:

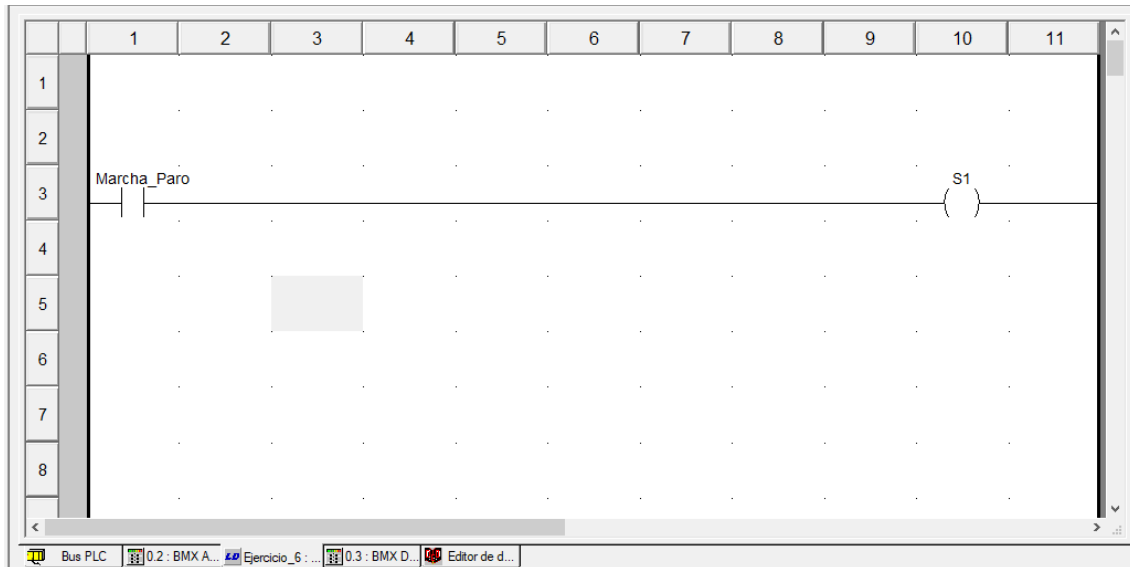


Figura 10: Programa del ejercicio 6

8 entradas digitales de 24 VCC y 8 salidas transistor positivo

BMX DDM 16022

- Canal 0
- Canal 16

Vista general Memoria Objetos de E/S

Creación variable de E/S

prefijo para nombre:

Tipo:

Comentario:

Crear

Objetos de E/S

Canal: ☐ %CH

Configuración: ☐ %KW ☐ %KD ☐ %KF

Sistema: ☐ %MW

Estado: ☐ %MW

Parámetro: ☐ %MW ☐ %MD ☐ %MF

Comando: ☐ %MW ☐ %MD ☐ %MF

Implicitos: ☒ %I ☐ %IW ☐ %ID ☐ %IF ☐ %I ERR

☒ %Q ☐ %QW ☐ %QD ☐ %QF

Actualizar

Dirección	Nombre	Tipo	Comentario
1	%I0.3.0	EB00L	
2	%I0.3.1	EB00L	
3	%I0.3.2	EB00L	
4	%I0.3.3	EB00L	
5	%I0.3.4	EB00L	
6	%I0.3.5	EB00L	
7	%I0.3.6	EB00L	
8	%I0.3.7	EB00L	
9	%Q0.3.16	EB00L	
10	%Q0.3.17	EB00L	S1
11	%Q0.3.18	EB00L	
12	%Q0.3.19	EB00L	
13	%Q0.3.20	EB00L	
14	%Q0.3.21	EB00L	
15	%Q0.3.22	EB00L	
16	%Q0.3.23	EB00L	
17			

Bus PLC 0.2 : BMX A... Ejercicio_6 : ... 0.3 : BMX D... Editor de d...

Figura 11: Variables asignadas a las E/S del DDM 16022 para el ejercicio 6

El resultado de realizar este experimento se muestra en el siguiente enlace:

<https://www.youtube.com/watch?v=TVjJEiu6HzA>

Ejercicio 7 (1 punto): Usando la guía del variador, debemos configurar el controlador para poder accionar el motor mediante 3 entradas digitales, una para conectar el motor, y otras dos para cambiar de velocidad a 4 velocidades preprogramadas en la memoria. Usar el PLC para mandar las órdenes al VFD.

Para realizar este ejercicio, debemos hacer uso de otras dos salidas digitales del PLC con sus correspondientes entradas digitales del VFD. Entonces tendremos tres salidas:

- Salida 1 (S1): marcha/paro del VFD.
- Salida 2 (S2): bit más significativo para indicar la referencia de velocidad.
- Salida 3 (S3): bit menos significativo para indicar la referencia de velocidad.

Para ello, se comenzó modificando valores de la serie H1, con ellos asignaremos a cada entrada digital (S1 – S5) una funcionalidad determinada:

No.	Parameter Name	Setting Range	Default
H1-01	Digital Input S1 Function Selection	1 to 9F	40: Forward Run Command (2-wire sequence)
H1-02	Digital Input S2 Function Selection	1 to 9F	41: Reverse Run Command (2-wire sequence)
H1-03	Digital Input S3 Function Selection	0 to 9F	24: External Fault
H1-04	Digital Input S4 Function Selection	0 to 9F	14: Fault Reset
H1-05	Digital Input S5 Function Selection	0 to 9F	3 (0) <f>: Multi-Step Speed Reference 1

<1> Number appearing in parenthesis is the default value after performing a 3-Wire initialization.

Table 5.15 Digital Multi-Function Input Settings

Setting	Function	Page	Setting	Function	Page
0	3-Wire Sequence	98	10	Up Command	100
1	LOCAL/REMOTE Selection	99	11	Down Command	100
2	Serial Communication Reference Selection	99	14	Fault Reset	101
3	Multi-Step Speed Reference 1	99	15	Fast-Stop (N.O.)	102
4	Multi-Step Speed Reference 2		17	Fast-stop (N.C.)	102
5	Multi-Step Speed Reference 3		20 to 2F	External Fault	102
6	Jog Reference Selection	99	40	Forward Run/Stop (2-wire sequence)	103
7	Accel/Decel Time 1	99	41	Reverse Run/Stop (2-wire sequence)	
8	Baseblock Command (N.O.)	100	61	External Speed Search Command 1	103
9	Baseblock Command (N.C.)		62	External Speed Search Command 2	
A	Accel/Decel Ramp Hold	100	67	Communications Test Mode	103
F	Not used/Through Mode	100			

- H1-01 = 40 para asignarle marcha/paro hacia delante.
- H1-02 = 3 y H1-03 = 4 establecen las distintas combinaciones (00-01-10-11) para aplicar las diferentes referencias de velocidad preestablecidas en los parámetros de la serie D1 que posteriormente se comentarán.

A continuación, adjuntamos una tabla de los distintos valores de referencia de velocidad para los posibles casos a la entrada:

H1-03 = S3	H1-02 = S2	Referencia de velocidad (Hz)
0	0	10
0	1	20
1	0	30
1	1	40

Puesto que solo necesitamos cuatro combinaciones para 4 referencias de velocidad, nos basta con dos salidas del PLC, en caso de necesitar más referencias, se haría uso de una tercera salida que nos permitirá establecer hasta 8 posibles referencias de velocidad.

- H1-04 = 24 para indicar posibles fallos externos.
- H1-05 = 14 para el rearme ante fallo.

Posteriormente se modificaron ciertos parámetros de la serie D1 que nos permitirán guardar las 4 referencias de velocidad (10Hz-20Hz-30Hz-40Hz):

No.	Parameter Name	Setting Range	Default
d1-01 to d1-08	Frequency Reference 1 to 8	0.00 to 400.00 Hz <I>	0.00 Hz
d1-17	Jog Frequency Reference	0.00 to 400.00 Hz <I>	6.00 Hz

<I> The upper limit is determined by the maximum output frequency (E1-04) and upper limit for the frequency reference (d2-01).

Multi-Step Speed Selection

Depending on how many speeds are used, some digital inputs have to be programmed for Multi-Step Speed Reference 1, 2, 3 and 4 (H1-□□ = 3, 4, 5). For the Jog reference a digital input must be set to H1-□□ = 6.

Notes on using analog inputs as multi-speed 1 and 2:

- If the frequency reference source is assigned to analog input A1 (b1-01 = 1), then this input will be used for Frequency Reference 1 instead of d1-01. If the reference source is assigned to the digital operator (b1-01 = 0), then d1-01 will be used as Frequency Reference 1.

Atendiendo al último párrafo de la captura adjunta, modificamos el parámetro B1-01 = 0 para elegir la referencia por botones y que dichos valores de referencia los tome de los parámetros de la serie D1:

No.	Parameter Name	Setting Range	Default
b1-01	Frequency Reference Selection	0 to 3	1

Setting 0: Digital Operator

Using this setting, the frequency reference can be input by:

- Switching between the multi-speed references in the d1-□□ parameters.
- Entering the frequency reference on the operator keypad.

- D1-01 = 10 para establecer 10 Hz para la combinación 00.
- D1-02 = 20 para establecer 20 Hz para la combinación 01.
- D1-03 = 30 para establecer 30 Hz para la combinación 10.
- D1-04 = 40 para establecer 40 Hz para la combinación 11.

El programa es el siguiente:

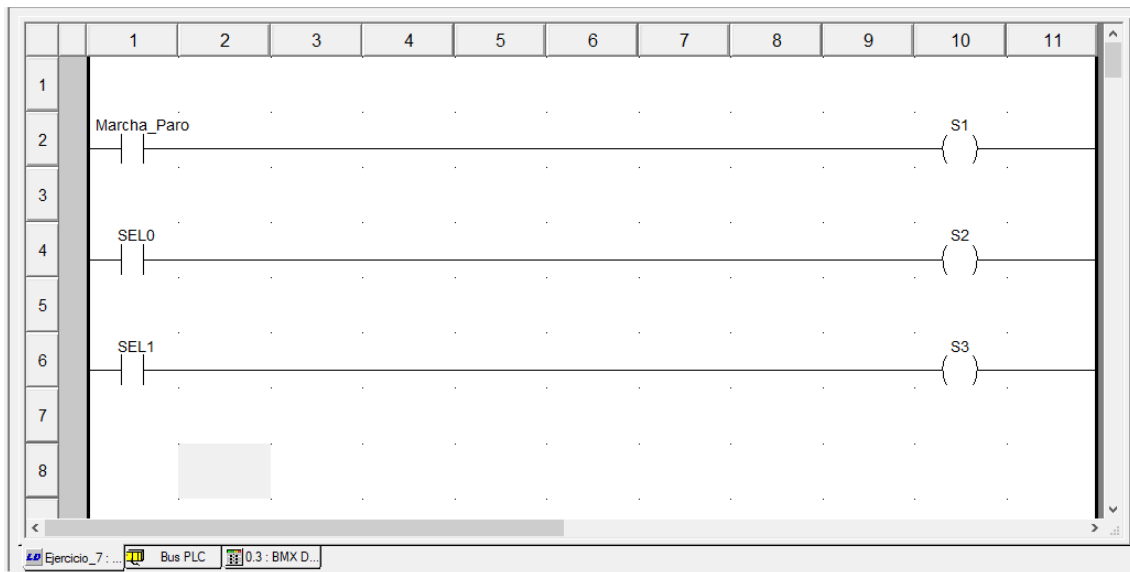


Figura 12: Programa del ejercicio 7

	Dirección	Nombre	Tipo	Comentario
1	%I0.3.0	Marcha_Paro	EBOOL	
2	%I0.3.1	SEL0	EBOOL	
3	%I0.3.2	SEL1	EBOOL	
4	%I0.3.3		EBOOL	
5	%I0.3.4		EBOOL	
6	%I0.3.5		EBOOL	
7	%I0.3.6		EBOOL	
8	%I0.3.7		EBOOL	
9	%Q0.3.16		EBOOL	
10	%Q0.3.17	S1	EBOOL	
11	%Q0.3.18	S2	EBOOL	
12	%Q0.3.19	S3	EBOOL	
13	%Q0.3.20	S4	EBOOL	
14	%Q0.3.21	S5	EBOOL	
15	%Q0.3.22		EBOOL	
16	%Q0.3.23		EBOOL	
17				

Figura 13: Variables asignadas a las E/S del DDM 16022 para el ejercicio 7

La realización de este experimento se adjunta en el siguiente enlace:

<https://www.youtube.com/watch?v=qdR4EMSWyoM>

Ejercicio 8 (1 punto): Realizar una configuración que permita encender, apagar, decidir la velocidad por entrada analógica y decidir el tiempo de aceleración y deceleración desde el PLC.

Para la realización de este ejercicio, al no disponer de salidas analógicas desde el PLC, se hará uso de una salida digital que conmutará haciendo uso de un módulo PWM de manera que, variando el *duty cycle* de dicho PWM lograremos mayor o menor tensión a la salida del filtro, debiendo buscarse una tensión de entrada inferior a 10 voltios que pasará por un filtro RC antes de llegar a la entrada analógica del VFD. El conexionado se muestra a continuación:

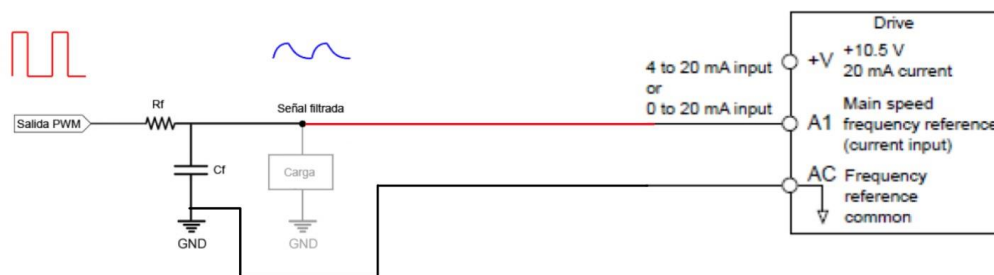


Figura 14: Conexionado del filtro RC con la entrada analógica del VFD

Voltaje	24V
Frecuencia PWM	60Hz
Periodo PWM	16ms
Duty cycle	42%
Resistencia	5K
Capacidad	100mF
Frecuencia de corte	0.3183Hz
Voltaje promedio (sin rizado)	9.6V
Rizado	0.192

Figura 15: Diseño del filtro y de los parámetros del módulo PWM para lograr una tensión inferior a 10 voltios

La longitud de pulso T_{on} para las salidas Y_{POS} e Y_{NEG} se calcula mediante estas ecuaciones:

Salida	Fórmula	Condición
Y_{POS}	$T_{on} = t_{period} \times \frac{X}{up_{pos}}$	$0 \leq X \leq up_{pos}$

Partiendo de esta ecuación, podemos aumentar/disminuir la tensión de salida del filtro aumentando/disminuyendo la entrada X . Esto se debe a la dependencia de la tensión con el *duty cycle* que a su vez de T_{on} que como muestra la ecuación, es dependiente de X .

Entre los parámetros modificados encontramos en primer lugar H3-01 que nos permitirá seleccionar el nivel de la señal de entrada para la entrada analógica A1:

No.	Name	Setting Range	Default
H3-01	Terminal A1 Signal Level Selection	0 to 3	0

H3-01 = 0

Setting 0: 0 to 10 Vdc with Limit

The input level is 0 to 10 Vdc. Negative input values will be limited to 0.

Example: Terminal A1 is set to supply the frequency reference, and the bias (H3-04) is set to -100%. The frequency reference can be set from 0 to 100% with an analog input of 5 to 10 V. The frequency reference will be zero when the analog input is between 0 and 5 V.

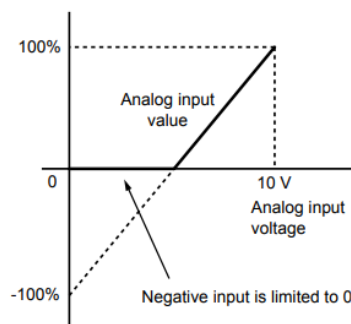


Figure 5.26 Analog Input with Limit (Bias Setting -100%)

Se optó por tomar valor '0' para el parámetro permitiendo un rango de entrada para la entrada analógica del VFD de 0 a 10 voltios.

El siguiente parámetro modificado fue el ya comentado B1-01 para elegir por dónde nos llega la referencia de velocidad, en este caso se quería que nos llegase por la entrada analógica del VFD.

No.	Parameter Name	Setting Range	Default
b1-01	Frequency Reference Selection	0 to 3	1

B1-01 = 1

Setting 1: Terminals (Analog Input Terminals)

Using this setting, an analog frequency reference can be entered from terminal A1 using a 0 to 10 Vdc or a 0/4 to 20 mA signal.

Note: The input signal type must be set up by setting DIP switch S1 and adjusting parameter H3-01. [Refer to H3-01: Terminal A1 Signal Level Selection on page 107.](#)

Using a 0 to 10 Vdc Voltage Input Signal:

Use a circuit such as the one shown in [Figure 5.1](#) or an external 0 to 10 Vdc voltage source like a PLC analog output and set the input level selection for A1 in parameter H3-01 as desired. [Refer to H3-01: Terminal A1 Signal Level Selection on page 107.](#)

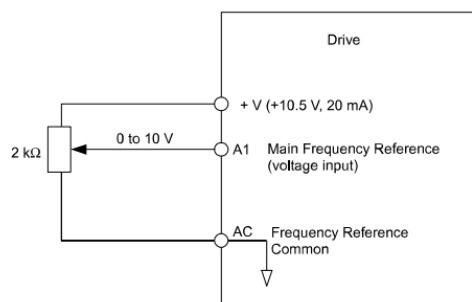


Figure 5.1 Setting the Frequency Reference by Voltage Input

Finalmente y como se comenta en el enunciado, el selector *DIP SWITCH S1* debe estar en la opción “V”, para indicarle al VFD que la señal que le llegará a la entrada analógica A1 será una señal de tensión.

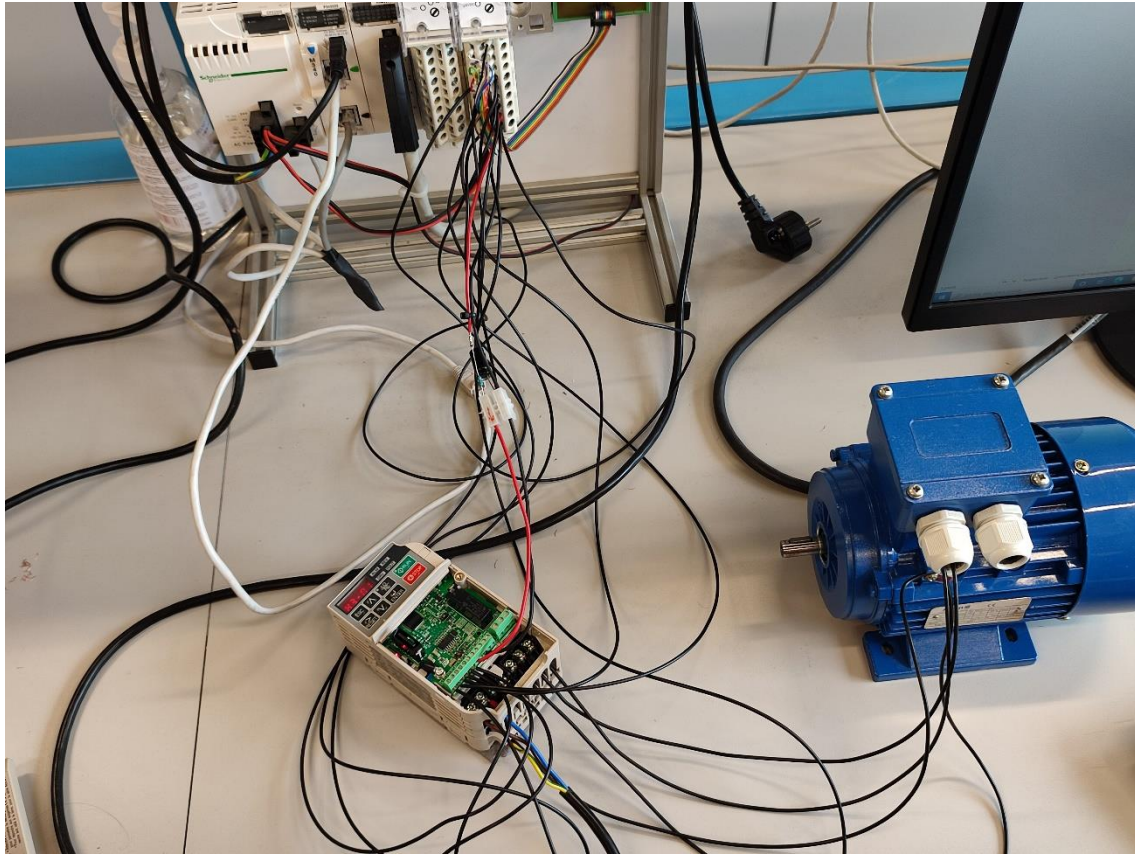


Figura 16: Conexión completo PLC-Filtro RC-VFD-Motor

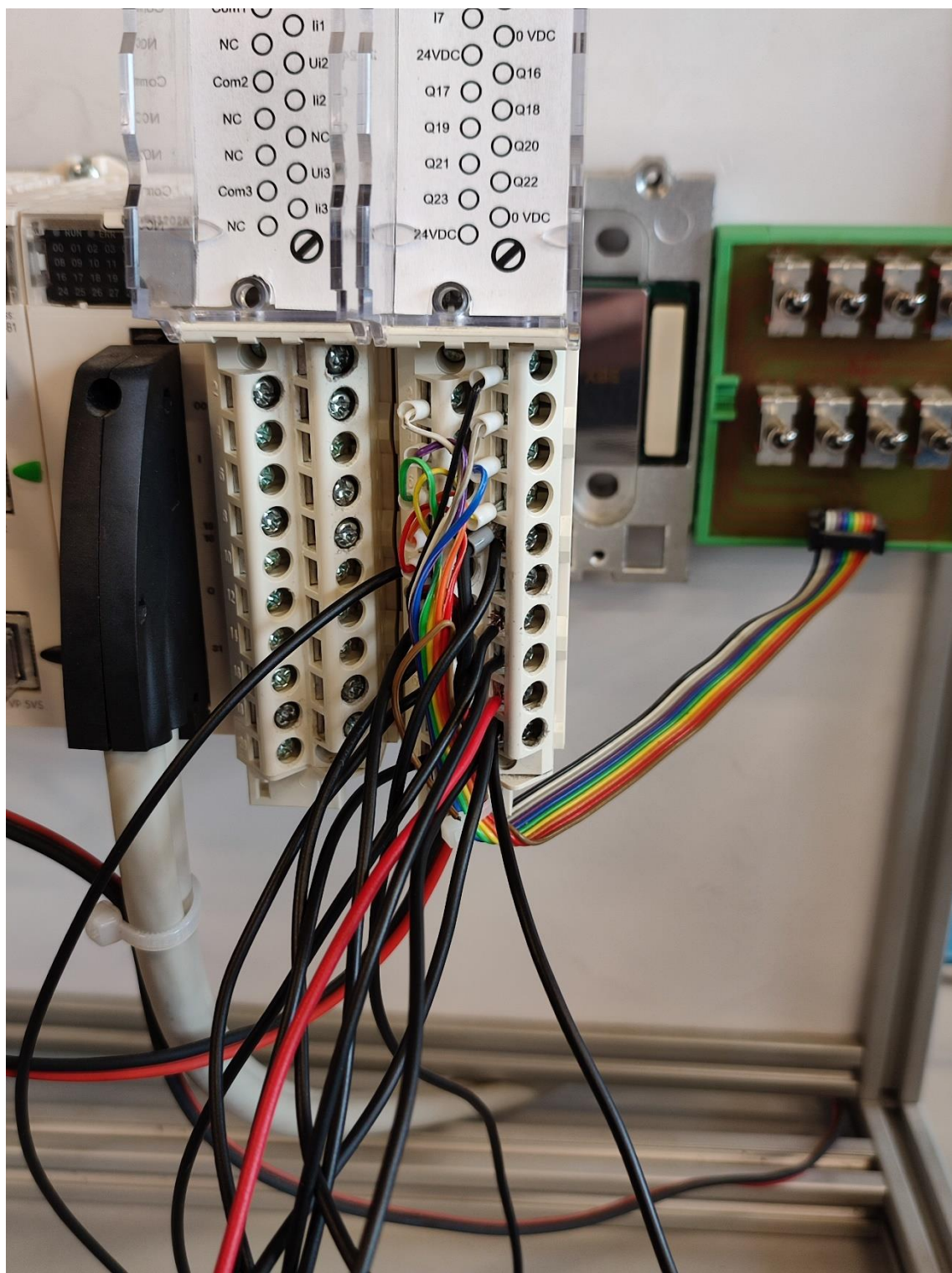


Figura 17: Detalle del conexionado del PLC

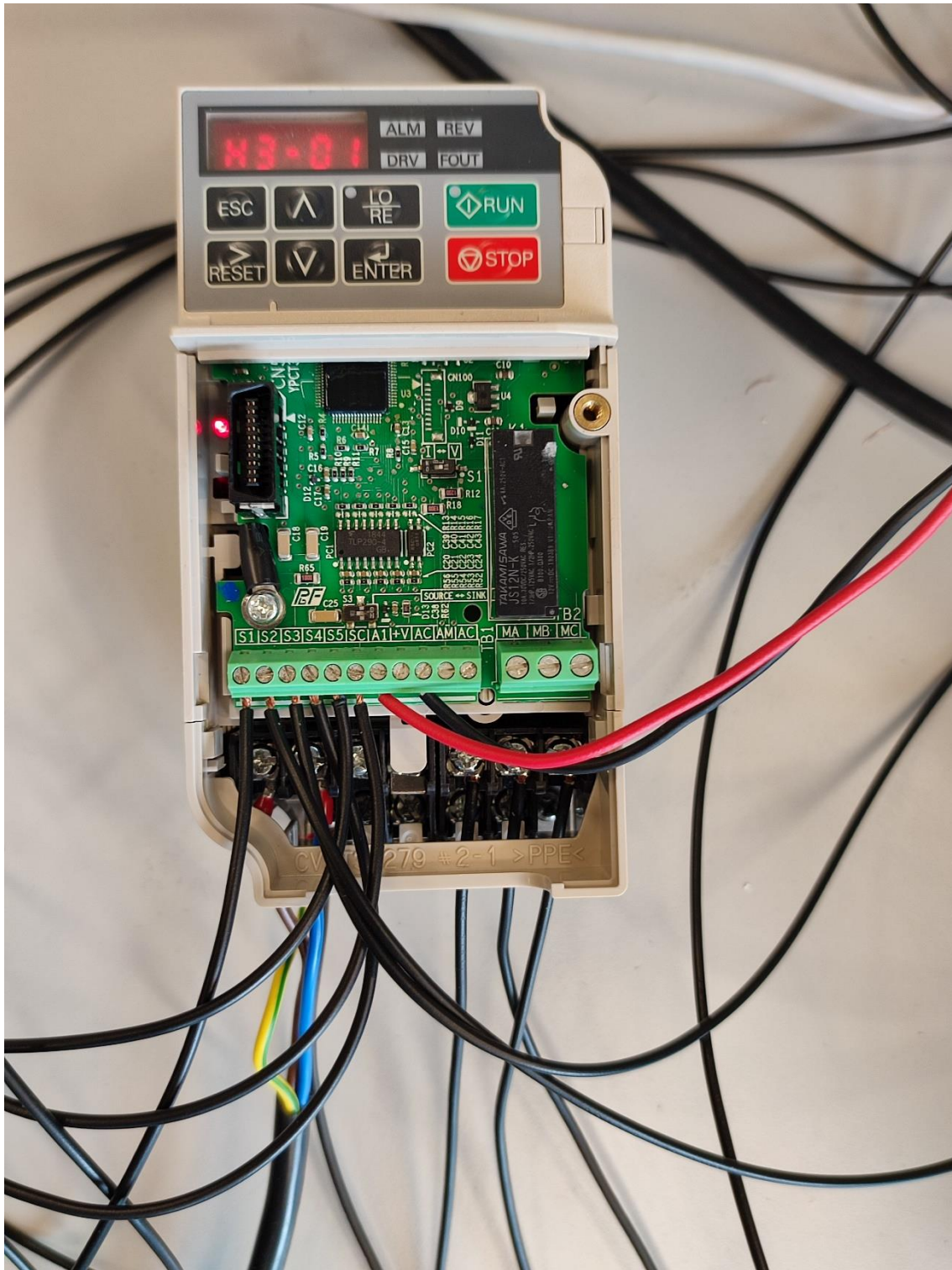


Figura 18: Detalle del conexionado del VFD

Este ejercicio no se logró resolver, pero se deja un enlace con el funcionamiento del programa:

https://www.youtube.com/watch?v=YCfM_7j4fig