



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

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROLADOR
DISCRETO EN VARIABLES DE ESTADO EMBEBIDO
EN UN PLC”**

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previo a la obtención del Título de:

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

FAUSTO DANIEL JAMA COELLO

VÍCTOR WASHINGTON CEPEDA TORRES

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2018

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

.....

M.Sc. Franklin Kuonquí Gaínza

PROFESOR DE MATERIA INTEGRADORA

.....

Ph.D. César Martín Moreno

TUTOR ACADÉMICO

DECLARACIÓN EXPRESA

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

.....
Fausto Daniel Jama Coello

.....
Víctor Washington Cepeda Torres

RESUMEN

En el presente documento se desarrolló un controlador regulador en variables de estado discreto embebido en un PLC, para el control de nivel de la planta de tres tanques en el Laboratorio de Control Automático de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación. Se hizo uso de la herramienta Matlab-Simulink para el desarrollo de los cálculos matemáticos, diseño y simulación del comportamiento de la mencionada planta.

Primero, se decidió usar la función de transferencia que se encuentra en el informe de materia integradora de Erick Posada Castro y Samuel Guillén Proaño para poder realizar el diseño del controlador.

A continuación, se procedió a diseñar en Matlab-Simulink el modelo del controlador regulador discreto con observador en variables de estado; para ello, se realizaron todos los cálculos para obtener las matrices del controlador, para luego simular el sistema completo en lazo cerrado.

Finalmente, se procedió a programar en lenguaje escalera las ecuaciones que definen al controlador discreto en el PLC usando interrupciones, y la respuesta del sistema con el controlador embebido en el PLC se la visualizó en Simulink para así corroborar su correcto funcionamiento.

ÍNDICE GENERAL

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	ii
DECLARACIÓN EXPRESA	iii
RESUMEN	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ABREVIATURAS	vii
SIMBOLOGÍA	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
CAPÍTULO 1	1
1 DELIMITACION DEL PROBLEMA	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Justificación	3
1.4 Alcance del proyecto	3
CAPÍTULO 2.....	5
2 METODOLOGIA DEL TRABAJO	5
2.1 Diseño del controlador regulador observador en Variables de estado discreto	6
2.1.1 Obtención de la representación en variables de estado discreto.....	6
2.1.2 Modelo regulador observador de estados	7
2.1.3 Matriz de ganancia de realimentación del observador de estados	8
2.1.4 Puesta en marcha del controlador con Simulink.....	9
2.2 Programación en lenguaje escalera del controlador observador en variables de estado discreto	10
2.2.1 Bloque Startup.....	10
2.2.2 Block 1.....	11

2.2.3	Bloque Cyclic Interrupt.....	17
2.2.4	Bloque Main.....	19
CAPÍTULO 3	22
3	RESULTADOS	22
3.1	Simulación del desempeño del controlador en Variables de Estado Discreto usando Matlab-Simulink	22
3.2	Desempeño del controlador diseñado aplicado a la planta usando Matlab-Simulink	23
3.3	Resultados obtenidos aplicando el controlador en Variables de Estado Discreto embebido en el PLC	24
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	26
BIBLIOGRAFÍA	28
ANEXOS	29

ABREVIATURAS

FIEC Facultad de Ingeniería en Electrónica y Computación

PLC Controlador Lógico Programable

OPC OLE for Process Control

SIMBOLOGÍA

X(k) Matriz de estado en el k-ésimo instante de muestreo

u1(k) Matriz de control en el k-ésimo instante de muestreo

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Planta Discretizada	6
Figura 2. 2 Valores de las matrices.....	7
Figura 2. 3 Modelo de Simulink para el regulador observador de estados	7
Figura 2. 4 Reubicación de los polos en lazo cerrado	8
Figura 2. 5 Constantes de realimentación.....	8
Figura 2. 6 Polos deseados	9
Figura 2. 7 Matriz de realimentación	9
Figura 2. 8 Modelo de Simulink del controlador y variables compartida mediante OPC	10
Figura 2. 9 Valores iniciales de las variables de estados.....	11
Figura 2. 10 Cálculo de la salida del controlador	12
Figura 2. 11 Cálculo del nivel estimado	13
Figura 2. 12 Cálculo del error de nivel	14
Figura 2. 13 Cálculo de $u_{11}(k)$	14
Figura 2. 14 Cálculo de $u_{12}(k)$	15
Figura 2. 15 Cálculo de $u_{13}(k)$	15
Figura 2. 16 Cálculo del valor de $X_1(k+1)$	16
Figura 2. 17 Cálculo del valor de $X_2(k+1)$	16
Figura 2. 18 Cálculo del valor de $X_3(k+1)$	17
Figura 2. 19 Bloque controlador en variables de estados	18
Figura 2. 20 Actualización de las variables de estados	19
Figura 2. 21 Tiempo para la interrupción	19
Figura 2. 22 Arranque de la bomba	20
Figura 2. 23 Saturación de la frecuencia	20
Figura 2. 24 Escalamiento de salida analógica.....	21
Figura 2. 25 Escalamiento de entrada analógica	21
Figura 3. 1 Respuesta del sistema lineal	22
Figura 3. 2 Respuesta del sistema real a una perturbación	23
Figura 3. 3 Variación de las variables del controlador en TIA Portal.....	24
Figura 3. 4 Respuesta del sistema con el controlador en TIA Portal	25

CAPÍTULO 1

1 DELIMITACION DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

Dentro del Laboratorio de Control Automático de la FIEC, se tiene una planta de llenado de tres tanques a la cual se puede controlar el nivel de uno de ellos, lo que es realizado usando Matlab-Simulink, a través del uso de una tarjeta de adquisición de datos.

Adicionalmente, dentro de los PLC's comerciales no se encuentran bloques que sean creados con algoritmos de control discreto en variables de estado, esto obliga el uso de controladores analógicos, los cuales son ineficientes en el uso de recursos del PLC ya que para la implementación de estos se debe realizar cálculos matemáticos un mayor número de veces que en los controladores discretos en el mismo intervalo de tiempo.

Por ultimo no existe al menos una práctica que permita vincular los conocimientos de control digital con la programación de PLC's, dándole idea al estudiante que los temas de estas asignaturas son no relacionables.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Implementar un sistema de control discreto en variables de estado embebido en un PLC para la planta de tres tanques del Laboratorio de Control Automático, para la aplicación de la teoría de control moderno en un equipo de control industrial usando lenguaje de escalera e interrupciones.

1.2.2 Objetivos Específicos

Diseñar un “controlador regulador con observador de estados” para el sistema de tres tanques interconectados para que atenúe los efectos de las perturbaciones que afecten el comportamiento del sistema.

Simular el comportamiento del sistema añadiendo a la planta lineal el efecto del controlador diseñado para la verificación del correcto funcionamiento del sistema en lazo cerrado.

Verificar el correcto funcionamiento del controlador usando OPC para la interacción entre las señales de la planta real con el controlador dentro de Matlab-Simulink.

Implementar el algoritmo del “controlador regulador con observador de estado” usando lenguaje de escalera dentro del PLC S7-1200 por medio de las ecuaciones que describen al controlador usando interrupciones para la acción de desplazamiento en el tiempo.

1.3 Justificación

Para darle movilidad a la planta en el laboratorio, se hará uso de un PLC el cual permitirá controlar remotamente la planta a través de la red FIEC, permitiendo así el traslado del equipo para el uso en otros laboratorios.

La implementación de un bloque de control discreto con algoritmo de control en variables de estado da cabida a que el PLC pueda realizar otras tareas durante el tiempo de muestreo como el control de otros sistemas lentos o monitoreo de otra parte del sistema y una toma de decisiones más eficiente.

Al realizar este trabajo se podrá realizar prácticas académicas que involucren los conocimientos adquiridos en las materias de control digital y de automatización 1 y 2.

1.4 Alcance del proyecto

Se diseñará por medio de Matlab-Simulink el algoritmo de control discreto en variables de estado, el cual se lo obtendrá mediante la representación del sistema en variables de estado y la matriz de regulación se la obtendrá usando reubicación de polos con la función acker.

Se diseñará un observador para estimar el comportamiento de las variables de estado, ya que, en los modelos obtenidos en Matlab, las variables de estado del sistema no son variables físicas medibles.

Se probará el controlador diseñado en Matlab-Simulink usando como interfaz de comunicación el protocolo OPC, compartiendo la variable de regulación y el nivel del tanque central esto como información necesaria para el observador de estados.

Se implementará en el PLC el controlador en variables de estado discreto usando programación en lenguaje escalera con las constantes obtenidas y se verificará su correcto desempeño.

CAPÍTULO 2

2 METODOLOGIA DEL TRABAJO

La metodología de trabajo parte en la determinación del modelo matemático, que fue obtenido del informe de materia integradora de Erick Posada Castro y Samuel Guillén Proaño donde se describe el comportamiento dinámico de la planta de tres tanques del Laboratorio de Control Automático a partir de los datos obtenidos experimentalmente, para proseguir con las siguientes etapas las cuales se las menciona a continuación:

- Diseño del controlador regulador observador de estado discreto.
- Obtención de la representación en variables de estado discreto.
- Determinación de la matriz de ganancias del observador.
- Determinación de la matriz de ganancias del regulador.
- Puesta en marcha del controlador con Simulink.
- Programación del controlador en el PLC.
- Puesta en marcha de la planta con el controlador embebido.

Para el diseño de este controlador se usa la reubicación de polos; es decir, se define la ubicación deseada de polos para que el sistema en lazo cerrado se comporte como una planta de primer orden con un tiempo de estabilización no mayor a 200 segundos. Como resultado, se obtuvo que los polos de lazo cerrado deben ubicarse en 0.9583, 0.9961, y -0.9665.

2.1 Diseño del controlador regulador observador en Variables de estado discreto

Una vez obtenida la función de transferencia de la planta como un modelo continuo, se procedió a obtener un modelo discreto del sistema; esto se hizo por medio del comando `c2d(G,dt)`, donde “G” es la función de transferencia en tiempo continuo de la planta y “dt” es el periodo de muestreo, en la figura 2.1 se muestra el resultado de la operación.

$$\begin{array}{r} G_{\text{plantaDigital}} = \\ 0.01089 z^2 - 0.0003224 z - 0.01048 \\ \hline z^3 - 2.898 z^2 + 2.797 z - 0.8993 \end{array}$$

Figura 2. 1 Función de transferencia de la planta digital

2.1.1 Obtención de la representación en variables de estado discreto

En esta representación se observan las matrices; aunque, en este modelo matemático las variables de estado no tienen significado físico por lo cual no son medibles. En la Figura 2.2 se observa los valores de las matrices.

```

>> [G H C D]=ssdata(GplantaDigital)

G =

    2.8978    -1.3986    0.8993
    2.0000         0         0
         0     0.5000         0

H =

    0.1250
         0
         0

C =

    0.0871   -0.0013   -0.0839

D =

    0

```

Figura 2. 2 Valores de las matrices

2.1.2 Modelo regulador observador de estados

Se realizó el diseño del Modelo regulador con observador de estados con la herramienta Matlab-Simulink tal como se muestra en la Figura 2.3.

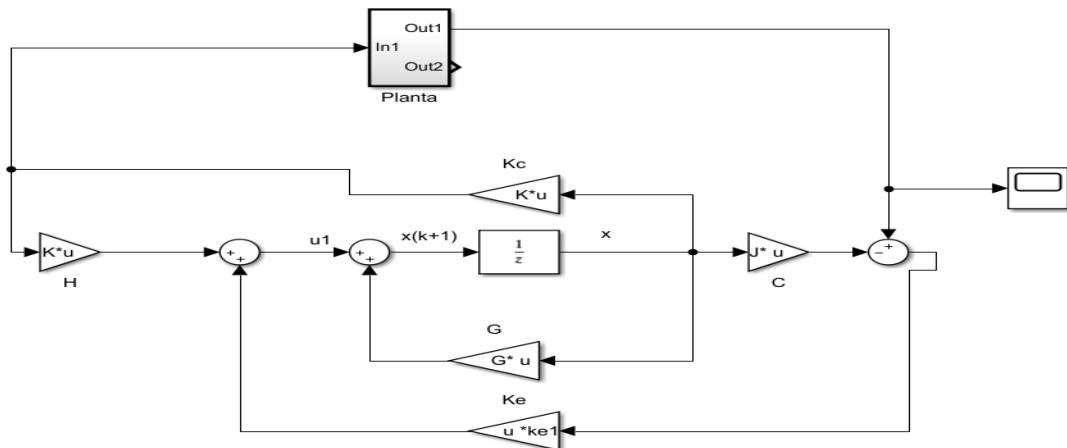


Figura 2. 3 Modelo de Simulink para el regulador observador de estados

A continuación, se procedió a la reubicación de polos del sistema en lazo cerrado, donde la ubicación deseada se muestra en la Figura 2.4. Con esta información se obtendrá que la respuesta del sistema en lazo cerrado será de un sistema dominante de primer orden con tiempo de estabilización de 200 segundos.

```
0.9583
0.9961
-0.9665
```

Figura 2. 4 Reubicación de los polos en lazo cerrado

El siguiente paso fue realizar el cálculo de las constantes de realimentación de la planta usando la fórmula de Ackerman en Matlab, dichas constantes se observan en la Figura 2.5.

```
>> kcontrolador=acker(G,H,pplanta)

kcontrolador =

    15.2793   -14.9259    14.5751
```

Figura 2. 5 Constantes de realimentación

2.1.3 Matriz de ganancia de realimentación del observador de estados

Para encontrar una matriz de realimentación de estado se usó el comando acker, pero se modificará los polos deseados esto para que

el observador de estado responda más rápido que el sistema controlado real como se muestra en la Figura 2.6.

```
>> pe  
  
pe =  
  
0.5188 + 0.0000i    0.3880 + 0.3402i    0.3880 - 0.3402i
```

Figura 2. 6 Polos deseados

En la Figura 2.7, se muestra la función de Matlab utilizada para encontrar la matriz de realimentación.

```
ke=acker(G',C',pe)  
  
1.0e+06 *  
  
0.5491  
1.1024  
1.1067
```

Figura 2. 7 Matriz de realimentación

2.1.4 Puesta en marcha del controlador con Simulink.

Se puede notar, en la Figura 2.8, que el nivel y la frecuencia se transmiten entre la planta y el Matlab a través del OPC. Además, se observa un saturador con la finalidad de evitar que el primer tanque se rebose y apague la máquina, y ayuda al controlador a evitar que se envíe un pico muy bajo y pare totalmente la máquina haciendo que el sistema se aleje totalmente del punto de operación.

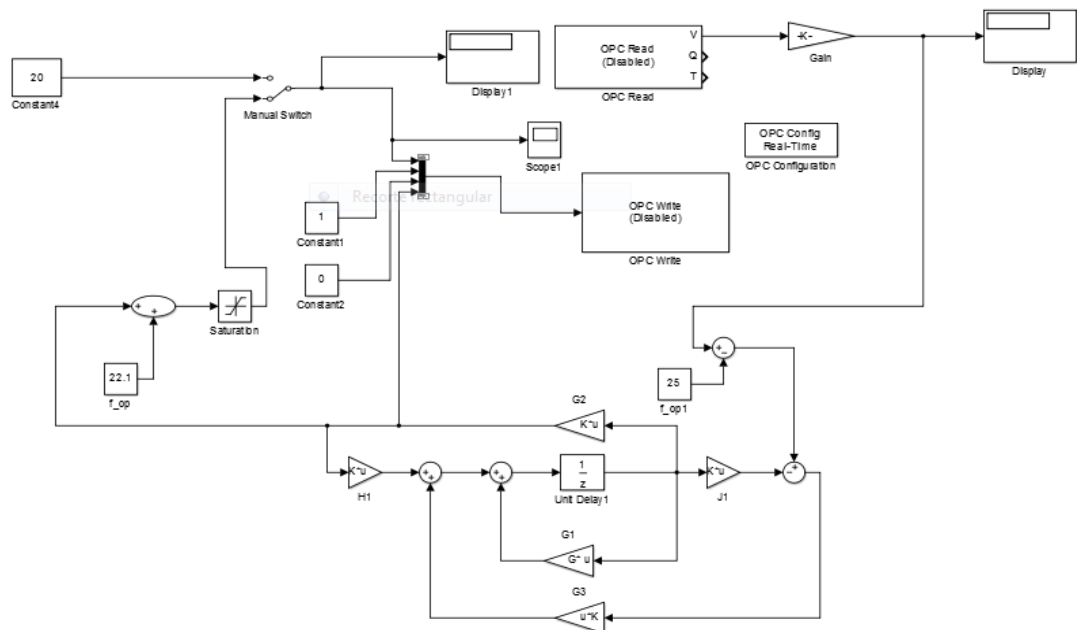


Figura 2. 8 Modelo de Simulink del controlador y variables compartida mediante OPC

2.2 Programación en lenguaje escalera del controlador observador en variables de estado discreto

Esta sección está conformada por cuatro bloques de programa de usuario, un bloque de organización “Startup” para el arranque del PLC donde se inicializa las variables del controlador observador, un bloque de función “Block 1” donde se realizan todos los cálculos matemáticos, un bloque de organización “Cyclic Interrupt” para las interrupciones en cada periodo de muestreo y finalmente el bloque de organización “Main” que es la parte principal donde se enlazan los demás bloques.

2.2.1 Bloque Startup

Inicialmente, las variables de estado tienen el valor de cero, por lo que se utilizó el bloque de organización OB100 Startup, dicho bloque se

ejecuta una sola vez cuando el PLC pasa de modo Stop a modo Run. Dentro de este se colocó en cada una de las variables de estado el valor de cero para ello se requirió del bloque MOVE como se muestra en la Figura 2.9, donde la entrada serán los valores de cero que se les asigna a las salidas inicialmente (variables de estado X1, X2, X3)

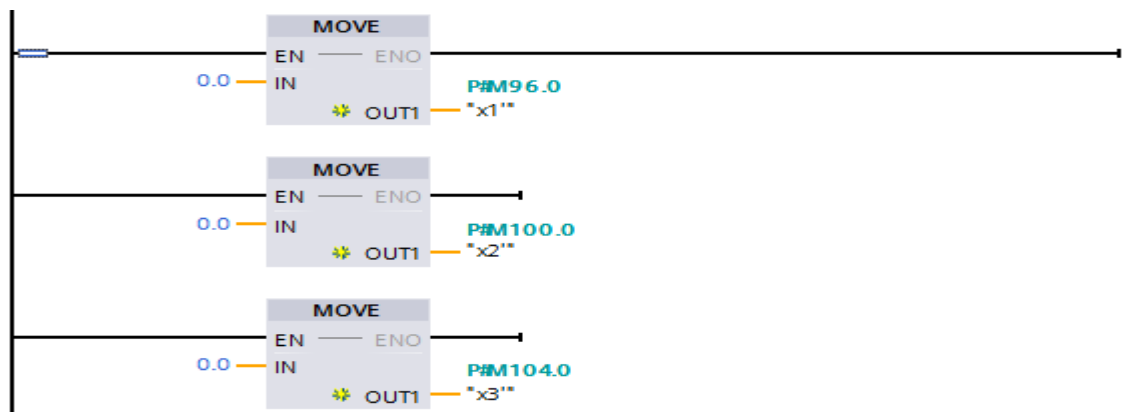


Figura 2. 9 Valores iniciales de las variables de estados

2.2.2 Block 1

A continuación, se realizarán los cálculos matemáticos de cada una de las ecuaciones que describen el comportamiento del controlador una vez asignado el valor inicial de las variables de estados $X(k)$, las mismas que se utilizarán para el cálculo de las ecuaciones que se muestran a continuación:

$$ud = -K * X(k) \quad (2.1)$$

$$ye = C * X(k) \quad (2.2)$$

$$ey = yd - ye \quad (2.3)$$

$$u1 = H * ud + ke * ey \quad (2.4)$$

$$X(k + 1) = u1 + G * X(k) \quad (2.5)$$

$$X(k) = X(k + 1) \tag{2.6}$$

Salida del controlador hacia el actuador “ud”

Para la implementación de la ecuación 2.1 se utilizó el bloque CALCULATE que se encuentra dentro de las funciones matemáticas del árbol de instrucciones. Donde “K” es una matriz de 1x3, mientras que la matriz de variables de estado es una de 3x1, entonces se realizará la multiplicación de cada elemento de las matrices y se irán sumando para arrojar un resultado en la salida “ud” como se muestra en la Figura 2.10; la misma que se utilizará para cálculos posteriores. Dicho valor se escribirá en una salida analógica del módulo de señales analógicas hacia el actuador, mediante la instrucción MOVE se cargó este valor y lo envió a la variable frecuencia que se encuentra dentro del MAIN.

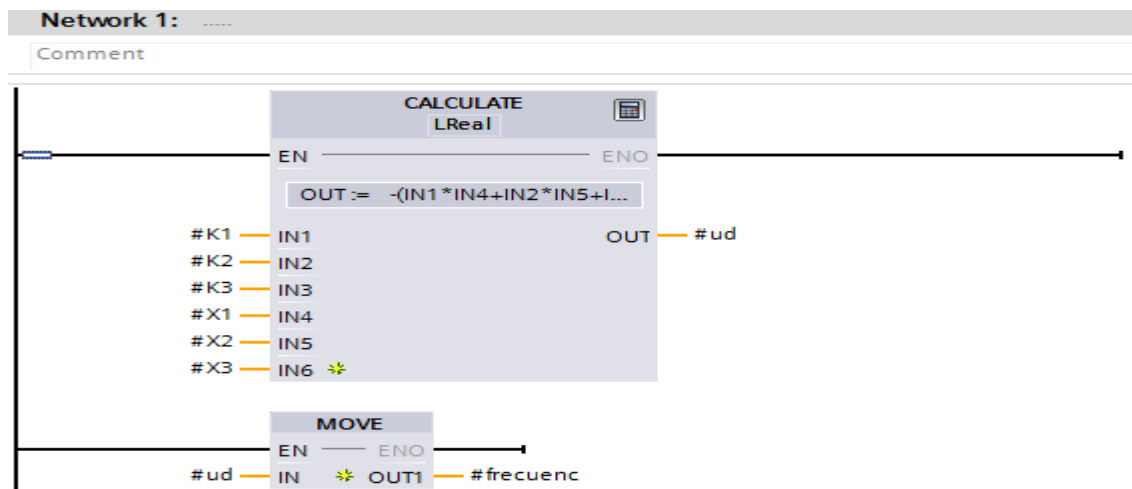


Figura 2. 10 Cálculo de la salida del controlador

Nivel estimado “ye”

De similar manera para la implementación de la ecuación 2.2 se utilizó el bloque CALCULATE, para multiplicar y sumar los elementos de la

matriz “C” con la matriz de variables de estados como se muestra en la Figura 2.11. Este valor es el nivel estimado “ye” utilizada para un cálculo posterior.

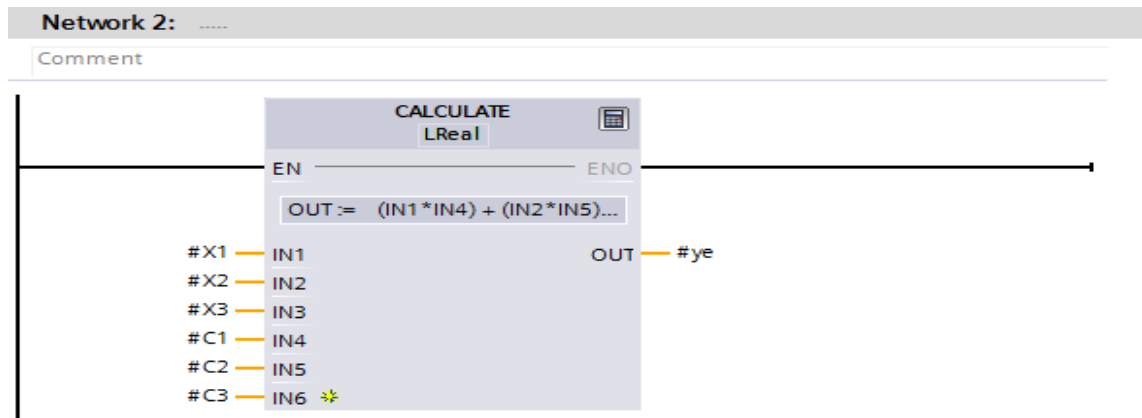


Figura 2. 11 Cálculo del nivel estimado

Error de nivel “ey”

Para la implementación de la ecuación 2.3 se utilizó el bloque SUB que realiza la resta de la entrada 1 con la entrada 2, para este caso realiza la resta del nivel “yd” (diferencia que hay entre el valor actual del nivel y el valor del punto de operación) con el valor del nivel estimado “ye” tal como se muestra en la Figura 2.12.

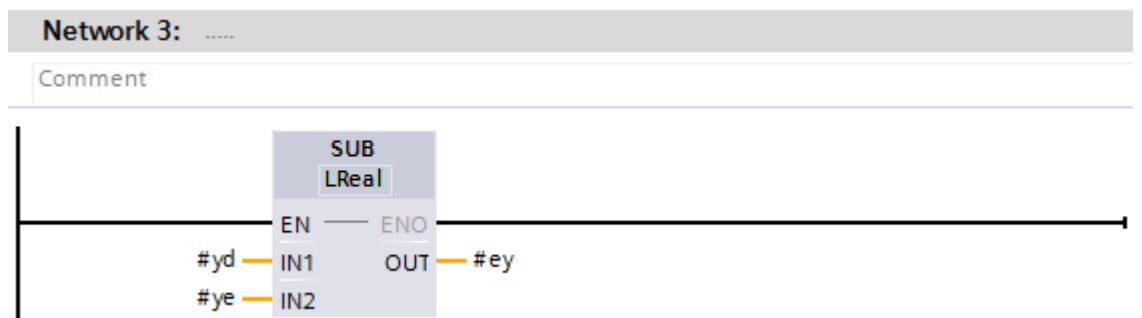


Figura 2. 12 Cálculo del error de nivel

Matriz “u1(k)”

Para la implementación de la ecuación 2.4 se utilizó el bloque CALCULATE para obtener cada uno de los valores de “u1(k)” que es una matriz de 3x1, además de la matriz “Ke” y “H” de la misma dimensión y de valores calculados anteriormente.

Para el cálculo del primer elemento de “u1(k)”, es decir de “u11(k)” se usó el primer elemento tanto de la matriz “Ke” como de la matriz “H”. De igual manera se procedió a realizar el cálculo con el segundo y tercer elemento de las matrices “Ke” y “H” para la obtención de “u12(k)” y “u13(k)” respectivamente como se observa en la Figura 2.13 Figura 2.14 Figura 2.15.

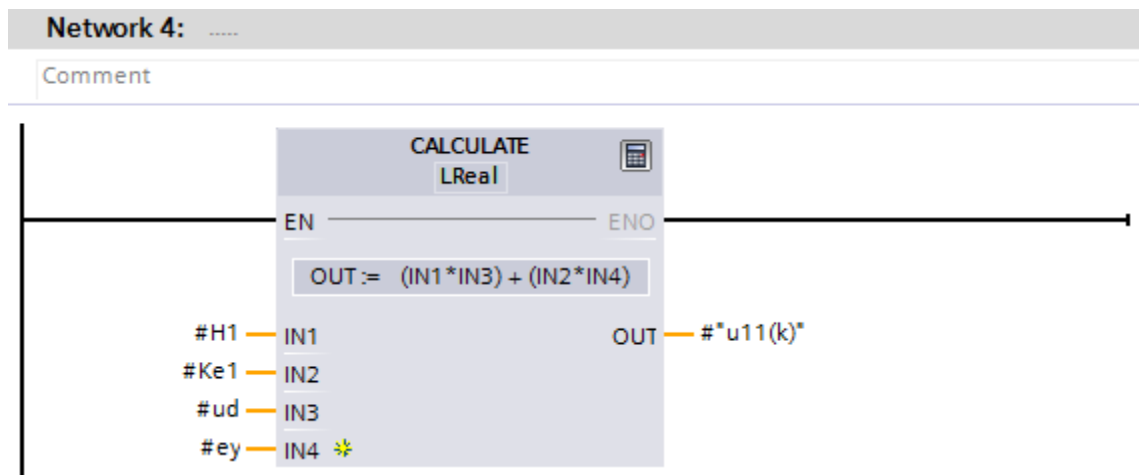


Figura 2. 13 Cálculo de u11(k)

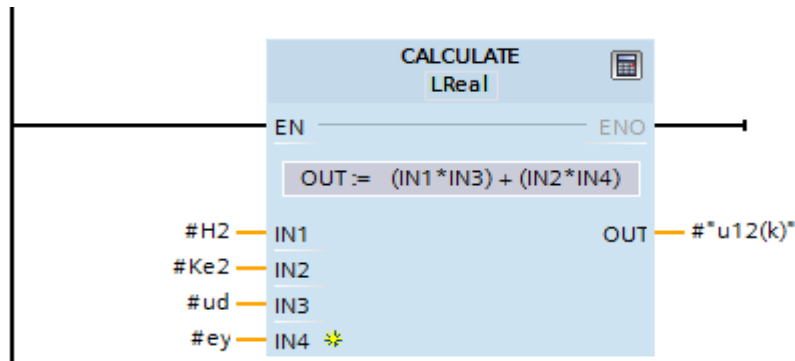


Figura 2. 14Cálculo de $u_{12}(k)$

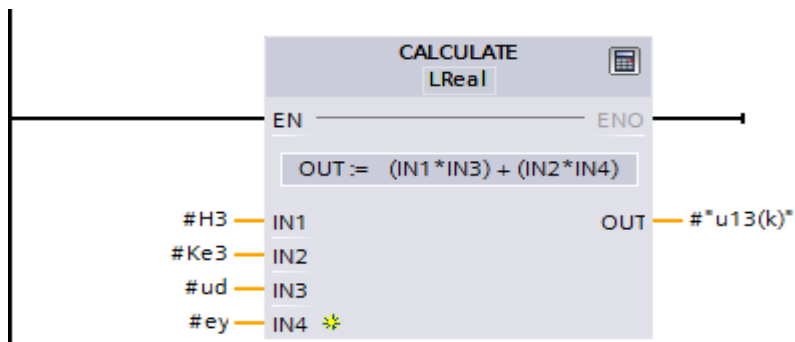


Figura 2. 15 Cálculo de $u_{13}(k)$

Matriz de estados siguientes $X(k+1)$

Para la implementación de la ecuación 2.5 y hallar estos valores de la matriz de estados se necesitó de los cálculos anteriores, es decir los valores de la matriz " $u_1(k)$ " además de la matriz " G " de 3×3 y la matriz de estados, así se logró obtener los tres valores de la matriz de estados siguientes $X_1(k+1)$, $X_2(k+1)$ y $X_3(k+1)$ como se muestra en la Figura 2.16 Figura 2.17 Figura 2.18.

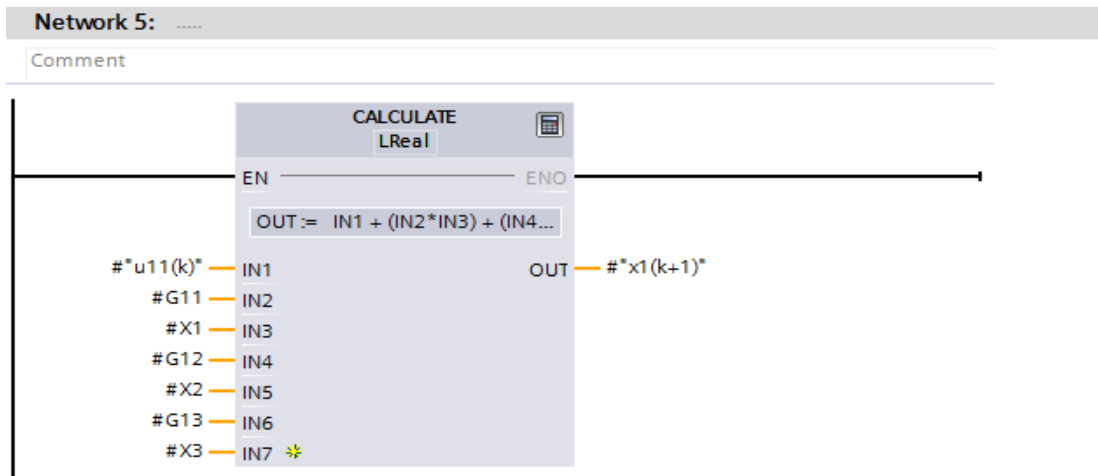


Figura 2. 16 Cálculo del valor de X1(k+1)

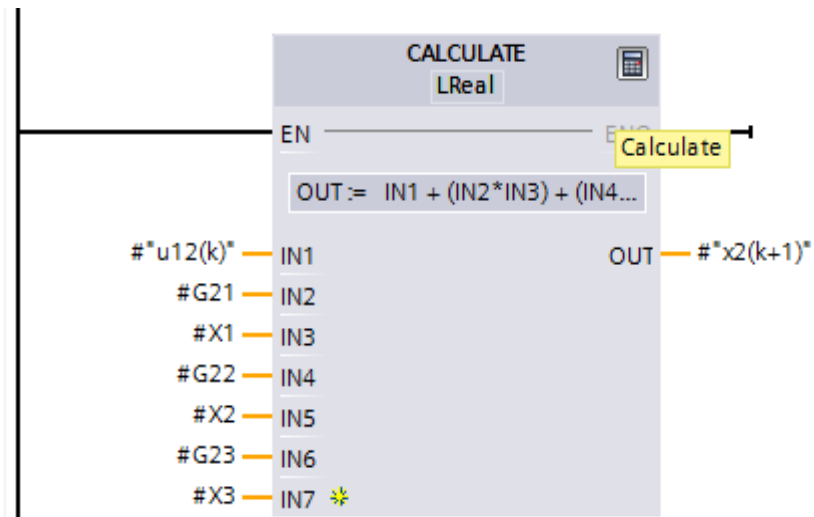


Figura 2. 17 Cálculo del valor de X2(k+1)

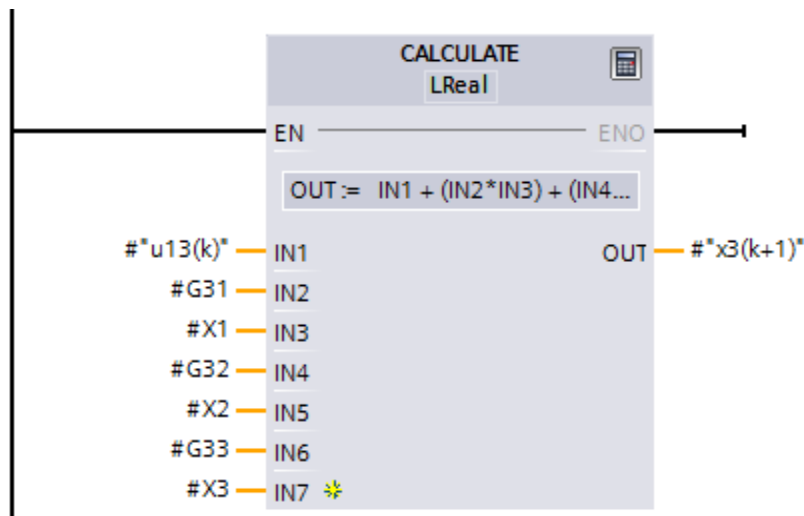


Figura 2. 18 Cálculo del valor de X3(k+1)

2.2.3 Bloque Cyclic Interrupt

Dentro de este bloque de usuario se tiene el bloque del controlador en variables de estados, dicho bloque se habilita una vez encendida la bomba y además contiene los valores de cada una de las matrices necesarias para el posterior cálculo de las ecuaciones del controlador. Tiene como salidas las variables de estados siguientes y el valor de frecuencia para la bomba como se muestra en la Figura 2.19, todo este cálculo se lo realiza en cada periodo de muestreo.

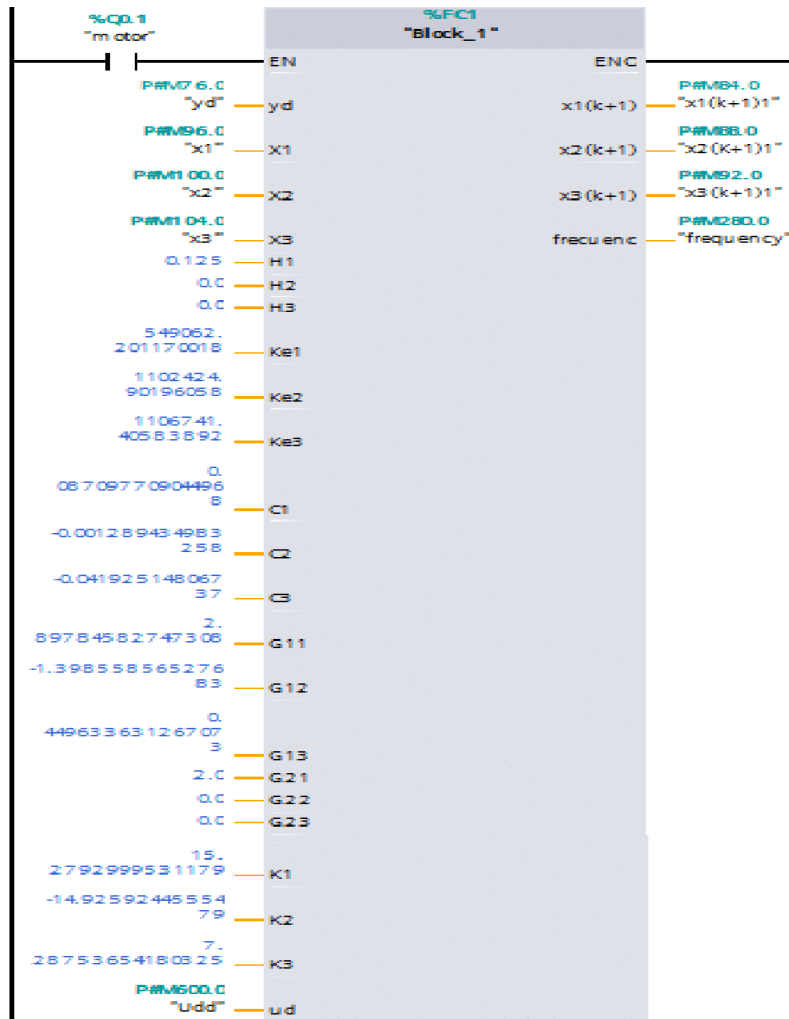


Figura 2. 19 Bloque controlador en variables de estados

Actualización de las variables de estados del controlador

Para la implementación de la ecuación 2.6 en esta parte se le asigna a la matriz de estados los valores de la matriz de estados siguientes, dicha actualización se la realiza en cada periodo de muestreo como se observa en la Figura 2.20.

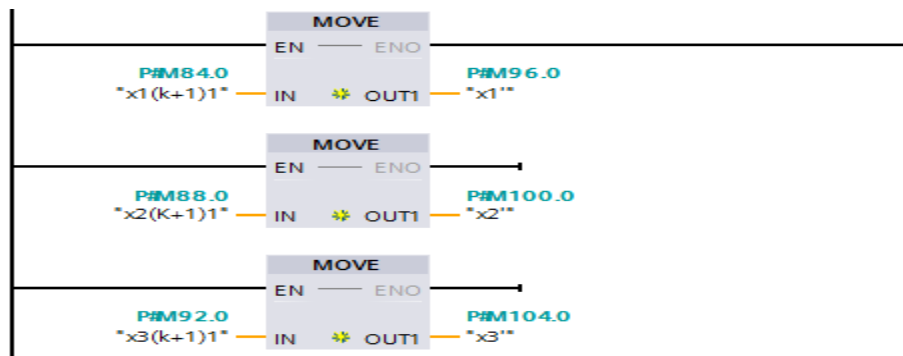


Figura 2. 20 Actualización de las variables de estados

En las propiedades del Cyclic Interrupt (Interrupción Cíclica), se le asigna el tiempo para que ocurra la interrupción, en esta parte se ubicó el periodo de muestreo como se observa en la Figura 2.21, es decir los bloques realizan los cálculos solo cada vez que pase el periodo de muestreo.

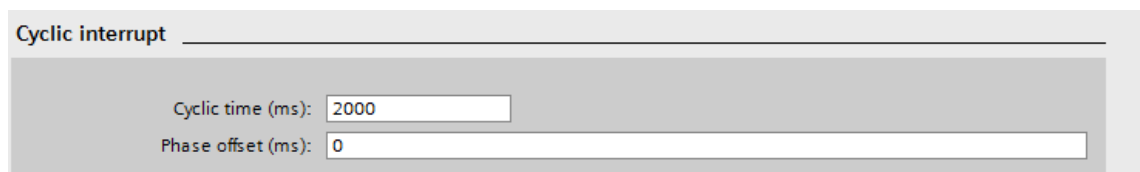


Figura 2. 21 Tiempo para la interrupción

2.2.4 Bloque Main

Dentro del Main se tiene la parte de marcha y paro de la bomba, dicha programación se muestra a continuación en la Figura 2.22.

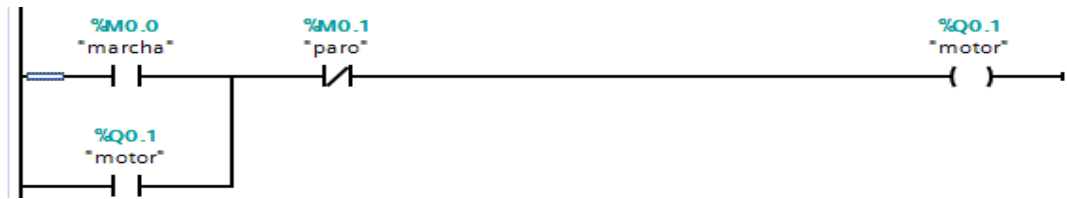


Figura 2. 22 Arranque de la bomba

En la Figura 2.23 se tiene la programación para la saturación de la frecuencia, es decir si está por encima de 23.5 Hz se mantiene con ese valor, si está por debajo de 20.5 Hz se mantiene de igual manera con ese valor, caso contrario arrojará un valor en el rango de 20.5 a 23.5 Hz hacia la bomba.

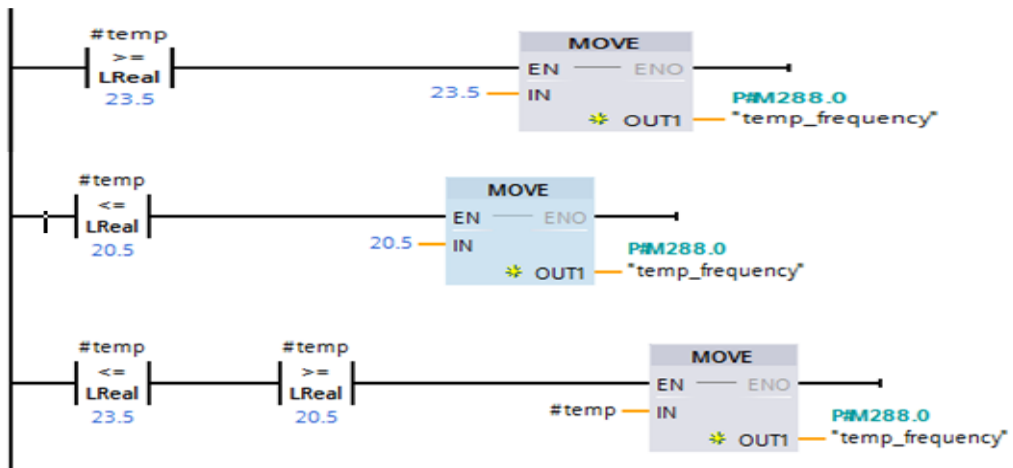


Figura 2. 23 Saturación de la frecuencia

La Figura 2.24 muestra el escalamiento de una salida analógica, el valor de frecuencia que envía el controlador será el que se enviará hacia la bomba para que pueda llegar al punto de operación.

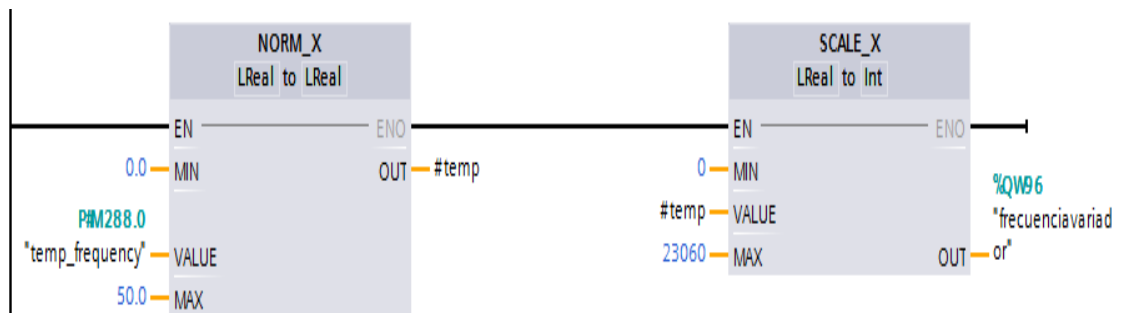


Figura 2. 24 Escalamiento de salida analógica

La Figura 2.25 muestra el escalamiento de una entrada analógica, el valor de la entrada vendrá dada por el sensor de presión de la planta y mediante la multiplicación de un valor constante de 10.95 por el valor de presión se obtiene así el nivel al que está el líquido del tanque. Además, se tiene el cálculo de la diferencia entre el valor actual del nivel y el punto de operación.

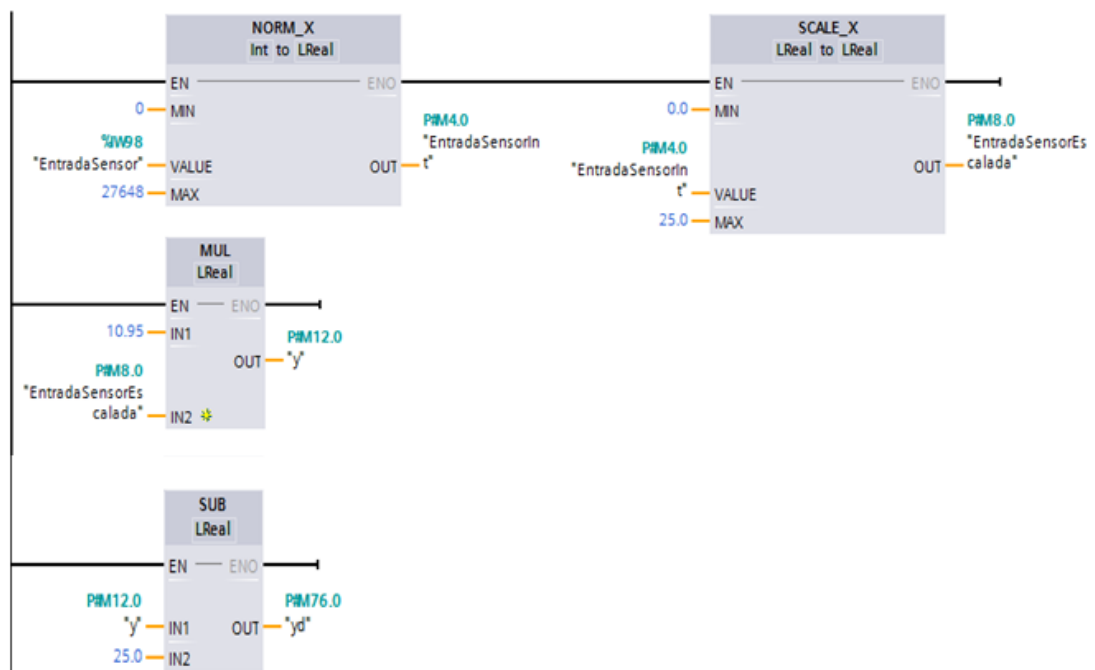


Figura 2. 25 Escalamiento de entrada analógica

CAPÍTULO 3

3 RESULTADOS

Aquí se presentarán los resultados de la simulación del controlador diseñado en Matlab-Simulink, así como, el implementado en TIA Portal para corroborar el correcto funcionamiento del controlador en Variables de Estado discreto.

3.1 Simulación del desempeño del controlador en Variables de Estado Discreto usando Matlab-Simulink

En la Figura 3.1 se observa el desempeño del controlador observador de la planta lineal en Matlab-Simulink.

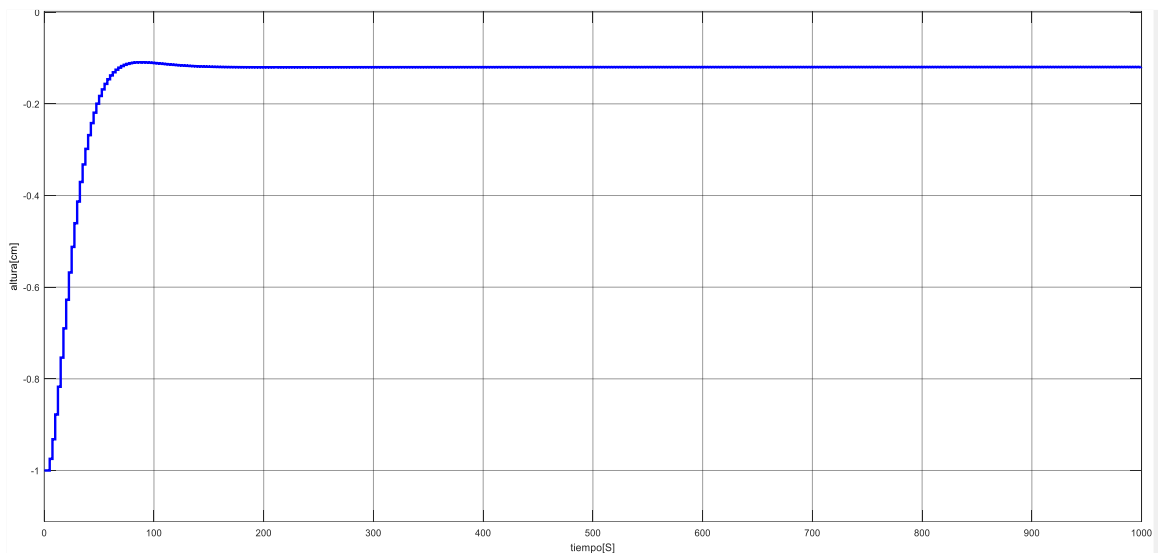


Figura 3. 1 Respuesta del sistema lineal

3.2 Desempeño del controlador diseñado aplicado a la planta usando Matlab-Simulink

Luego en la Figura 3.2 se aprecia la reacción del sistema utilizando Matlab-Simulink frente a una perturbación en la planta real.

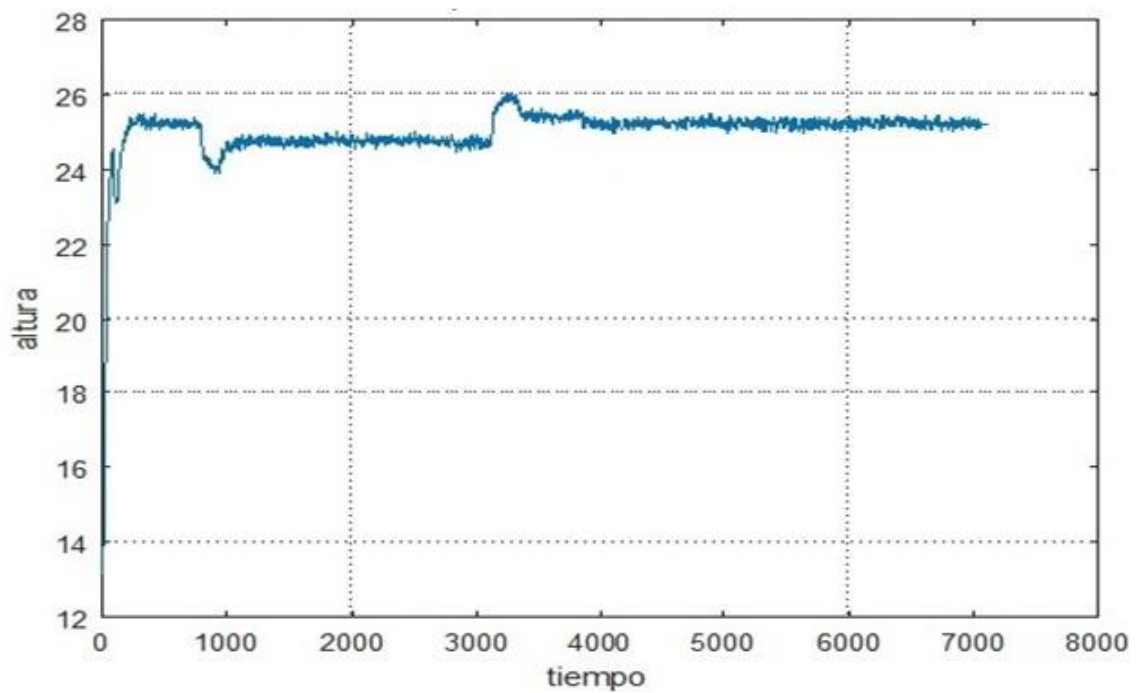


Figura 3. 2 Respuesta del sistema real a una perturbación

Luego de estas pruebas se escriben las ecuaciones del observador de estados el cual estima las variables de estado actuales del sistema para con esto poder enviar la señal de regulación hacia el sistema, a la señal de regulación se le suma el punto de operación de frecuencia y a la salida del sistema se le resta el punto de operación de nivel que en este caso es de 22.1 Hz y 25 cm respectivamente , esto para que el observador no se distorsione y de esta forma la estimación de las variables de estado sea más precisa.

3.3 Resultados obtenidos aplicando el controlador en Variables de Estado Discreto embebido en el PLC

En la Figura 3.3 se observa cómo se van actualizando las variables de estado en cada periodo de muestreo y la variación de la frecuencia que se envía hacia la bomba, los valores que toma estas variables se las compara con los valores que se tiene de la simulación del modelo diseñado en Simulink. De esta manera se va comprobando que el controlador funcione de la misma forma y así verificar que se lo ha programado de manera correcta.



i	Name	Address	Display format	Monitor value	Modify value
1	*marcha*	%M0.0	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE	FALSE
2	*paro*	%M0.1	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE	FALSE
3	*Tag_5*	%M0.6	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE	FALSE
4	*yd*	P#M76.0	Floating-point number	-0.93994140625	
5	*x1(k+1)*	P#M84.0	Floating-point number	-1370757.75495908	
6	*x2(k+1)*	P#M88.0	Floating-point number	-2752249.50992066	
7	*x3(k+1)*	P#M92.0	Floating-point number	-2763025.50942737	
8	*x1**	P#M96.0	Floating-point number	-1370757.75495908	
9	*x2**	P#M100.0	Floating-point number	-2752249.50992066	
10	*x3**	 P#M104.0	Floating-point number	 -2763025.50942737	
11	*Udd*	P#M600.0	Floating-point number	11.8446380384266	0.0
12	*Ydd*	P#M240.0	Floating-point number	0.0	-25.0
13	*frecuenciavariad...	%QW96	DEC+/-	10418	
14	*frequency*	P#M280.0	Floating-point number	11.8446380384266	
15	*temp_frequency*	P#M288.0	Floating-point number	22.5896425358951	

Figura 3. 3 Variación de las variables del controlador en TIA Portal

En la Figura 3.4 se muestra la gráfica de la respuesta del sistema con el controlador embebido en el PLC, variables de nivel y tiempo, con un tiempo de muestreo de 2.5 segundos.

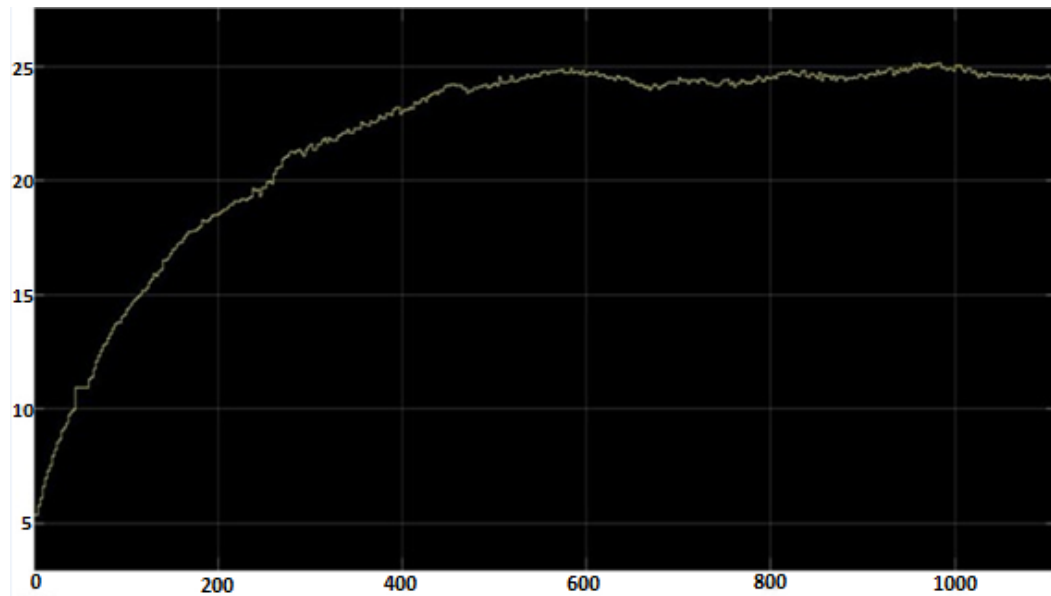


Figura 3. 4 Respuesta del sistema con el controlador en TIA Portal

Además, se puede observar que a los 850 segundos aproximadamente se realizó una perturbación en el sistema, abriendo la válvula de desfogue que contiene la planta de nivel para luego de lo cual el sistema vuelve a recuperar el nivel de 25 cm.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La diferencia de recursos y algoritmos implementados en el PLC respecto del computador con Matlab-Simulink afectaron el desempeño del controlador diseñado.

El error del sistema en lazo cerrado frente a una perturbación en la planta aplicando ley de control en variables de estado redujo el error significativamente comparado con el sistema en lazo abierto frente a una perturbación.

Con la implementación de este algoritmo de control en variables de estado aplicando interrupciones se mejoró el uso de recursos del PLC ya que los cálculos requeridos para el control se realizan solo cada 2.5 segundos.

En cuanto a la configuración del módulo de Entradas/Salidas analógicas en el TIA Portal, se recomienda verificar que las entradas del módulo estén en rango de corriente debido a que el sensor de presión de la planta tiene una salida de 4 a 20 mA, así mismo que la salida del módulo esté en rango de voltaje ya que en el variador se cambió los parámetros para controlarse con una señal analógica de 0 a 10 V.

Al momento de programar las ecuaciones del controlador en el TIA Portal es recomendable utilizar todos los decimales en los valores de las matrices del controlador y no colocarlos como notación científica ya que al ponerlo de esta manera me omite algunos decimales, debido

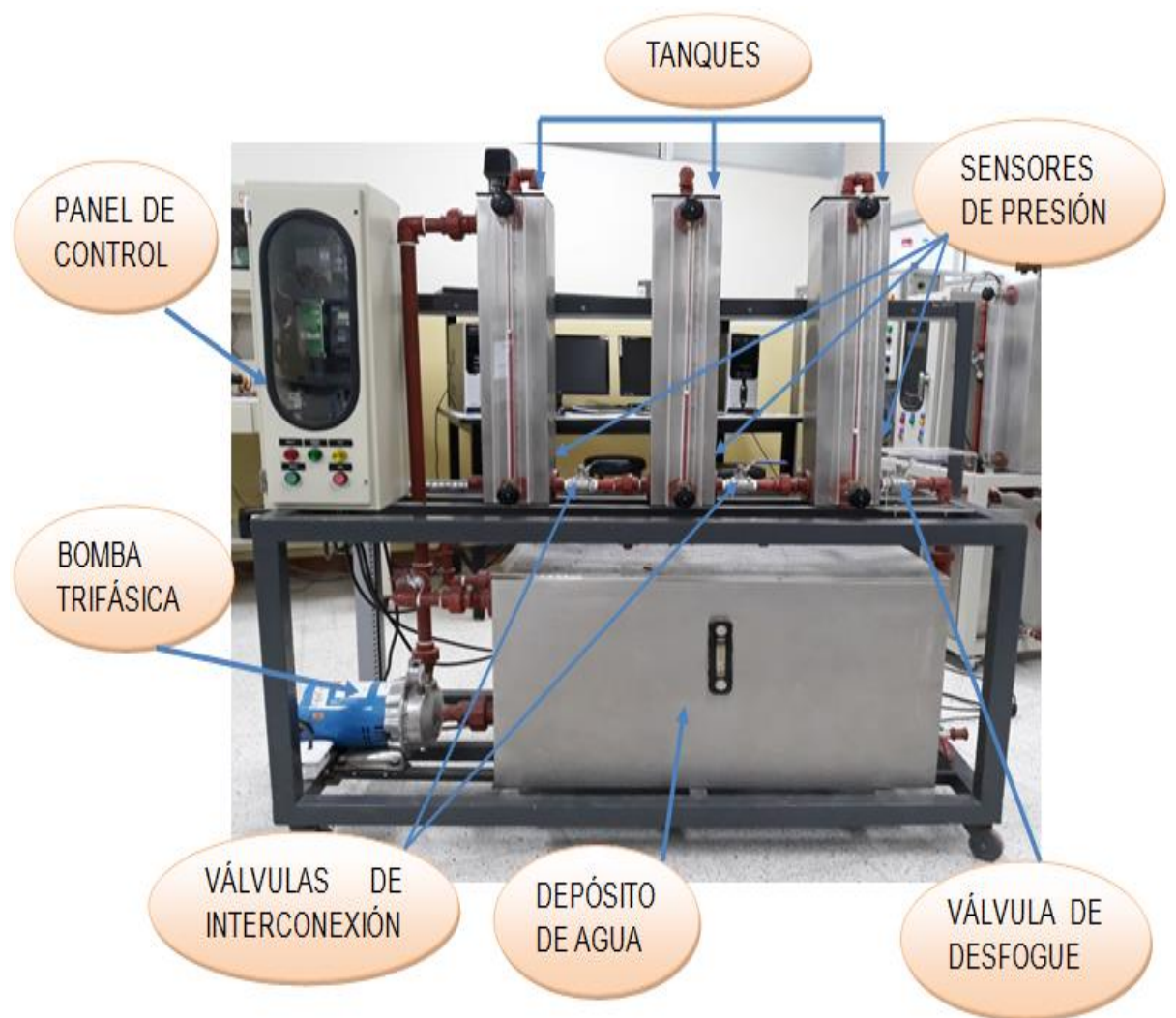
a esto se tuvo muchos problemas a la hora de programar ya que esto hacia que los valores se elevaran de manera brusca y por ende ocurrieran desbordamientos de algunas de las variables del controlador.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] K. Ogata, Discrete- Time Control Systems, PRENTICE HALL, 1994.
- [2] M.J.Ramirez, Control Digital [online]. Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2017. Disponible en: <http://blog.espol.edu.ec/controldigital/practicass/>
- [3]S. AG, «Industry Mall,» [En línea]. Available: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7234-4HE32-0XB0>. [Último acceso: 10 04 2018].
- [4]Siemens, «Industry Support Siemens,» 02 2013. [En línea]. Available: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/484/67267484/att_61462/v1/v20_OPI_es-SP_es-ES.pdf. [Último acceso: 11 04 2018].
- [5]Danfoss, «Technical Information,» 12 2013. [En línea]. Available: <http://files.danfoss.com/TechnicalInfo/Dila/04/IC.PD.P20.S3.02.pdf>. [Último acceso: 11 04 2018].
- [6]S. AG, «Industry Mall,» [En línea]. Available: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7234-4HE32-0XB0>. [Último acceso: 11 04 2018].

ANEXOS

PLANTA DE NIVEL DEL LABORATORIO DE CONTROL AUTOMÁTICO



MANUAL PARA EL MONTAJE Y DESMONTAJE DEL PLC S7-1200 Y DEL MÓDULO DE ENTRADAS/SALIDAS ANALÓGICAS

Montaje

2

Los equipos S7-1200 son fáciles de montar. El S7-1200 puede montarse en un panel o en un raíl DIN, bien sea horizontal o verticalmente. El tamaño pequeño del S7-1200 permite ahorrar espacio.

ADVERTENCIA

Los PLCs S7-1200 SIMATIC son controladores abiertos. Por este motivo, el S7-1200 debe montarse en una carcasa, un armario eléctrico o una sala de control. Sólo el personal autorizado debe tener acceso a la carcasa, el armario eléctrico o la sala de control.

Si no se cumplen los requisitos de montaje, pueden producirse la muerte, lesiones corporales graves y/o daños materiales.

Vigile siempre los requisitos de montaje de los PLCs S7-1200.

Alejar los dispositivos S71200 de fuentes de calor, alta tensión e interferencias

Como regla general para la disposición de los dispositivos del sistema, los aparatos que generan altas tensiones e interferencias deben mantenerse siempre alejados de los equipos de baja tensión y de tipo lógico, tales como el S71200.

Al configurar la disposición del S7-1200 en el panel, se deben tener en cuenta los aparatos que generan calor y disponer los equipos electrónicos en las zonas más frías del armario eléctrico. Si se reduce la exposición a entornos de alta temperatura, aumentará la vida útil de cualquier dispositivo electrónico.

También se debe considerar la ruta del cableado de los dispositivos montados en el panel. Evite tender las líneas de señales de baja tensión y los cables de comunicación en un mismo canal junto con los cables AC y DC de alta energía y conmutación rápida.

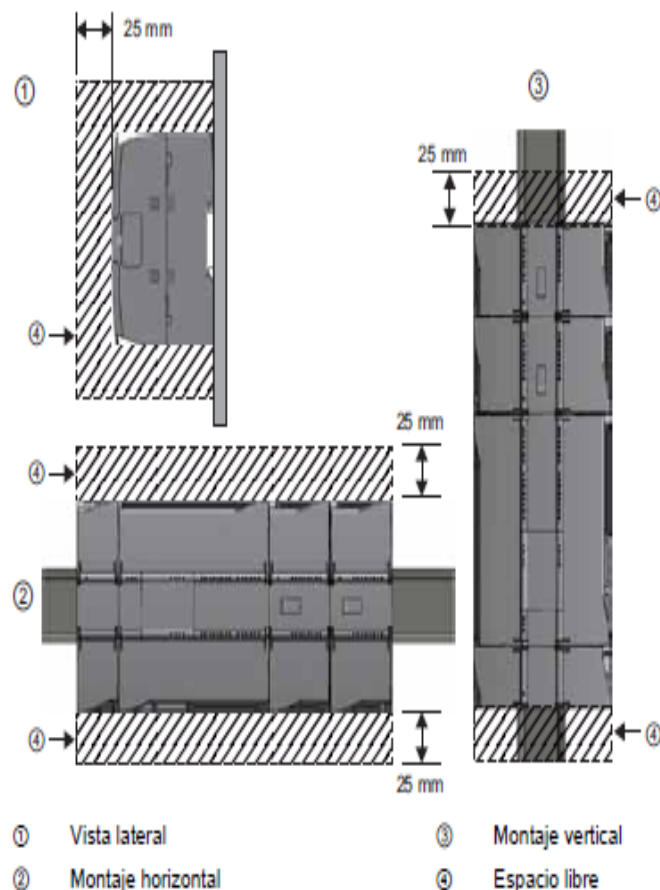
Prever espacio suficiente para la refrigeración y el cableado

La refrigeración de los dispositivos S71200 se realiza por convección natural. Para la refrigeración correcta es preciso dejar un espacio mínimo de 25 mm por encima y por debajo de los dispositivos. Asimismo, se deben prever como mínimo 25 mm de profundidad entre el frente de los módulos y el interior de la carcasa.

PRECAUCIÓN

En el montaje vertical, la temperatura ambiente máxima admisible se reduce en 10 grados centígrados. Un sistema S7-1200 montado verticalmente debe orientarse de manera que la CPU se encuentre en el extremo inferior del conjunto.

Al planificar la disposición del sistema S71200, prevea espacio suficiente para el cableado y la conexión de los cables de comunicación.



Corriente necesaria

La CPU dispone de una fuente de alimentación interna que suministra energía eléctrica a la CPU, los módulos de señales, la Signal Board y los módulos de comunicación, así como otros equipos consumidores de 24 V DC.

En los datos técnicos (Página 319) encontrará más información sobre la corriente de 5 V DC que suministra la CPU y la corriente de 5 V DC que requieren los módulos de señales, la Signal Board y los módulos de comunicación. En "Calcular la corriente necesaria" (Página 361) encontrará más información sobre cómo determinar cuánta energía (o corriente) puede proveer la CPU para la configuración.

La CPU provee una alimentación de sensores de 24 V DC que puede suministrar 24 V DC a las entradas y bobinas de relé de los módulos de señales, así como a otros equipos consumidores. Si los requisitos de corriente de 24 V DC exceden la capacidad de la alimentación de sensores, es preciso añadir una fuente de alimentación externa de 24 V DC al sistema. En los datos técnicos (Página 319) se indica la corriente necesaria para la alimentación de sensores de 24 V DC de las distintas CPUs S7-1200.

Si se requiere una fuente de alimentación externa de 24 V DC, vigile que no se conecte en paralelo con la alimentación de sensores de la CPU. Para aumentar la protección contra interferencias, se recomienda conectar los cables neutros (M) de las distintas fuentes de alimentación.

ADVERTENCIA

Si se conecta una fuente de alimentación externa de 24 V DC en paralelo con la fuente de alimentación de sensores de 24 V DC, puede surgir un conflicto entre ambas fuentes, ya que cada una intenta establecer su propio nivel de tensión de salida.

Este conflicto puede reducir la vida útil u ocasionar la avería inmediata de una o ambas fuentes de alimentación y, en consecuencia, el funcionamiento imprevisible del sistema PLC. El funcionamiento imprevisible puede producir la muerte, lesiones corporales graves y/o daños materiales.

La fuente de alimentación DC de sensores y cualquier fuente de alimentación externa deben alimentar diferentes puntos.

Algunos puertos de entrada de alimentación de 24 V DC del sistema S7-1200 están interconectados, teniendo un circuito lógico común que conecta varios bornes M. Por ejemplo, los circuitos siguientes están interconectados si no tienen aislamiento galvánico según las hojas de datos técnicos: la fuente de alimentación de 24 V DC de la CPU, la entrada de alimentación de la bobina de relé de un SM, o bien la fuente de alimentación de una entrada analógica sin aislamiento galvánico. Todos los bornes M sin aislamiento galvánico deben conectarse al mismo potencial de referencia externo.

ADVERTENCIA

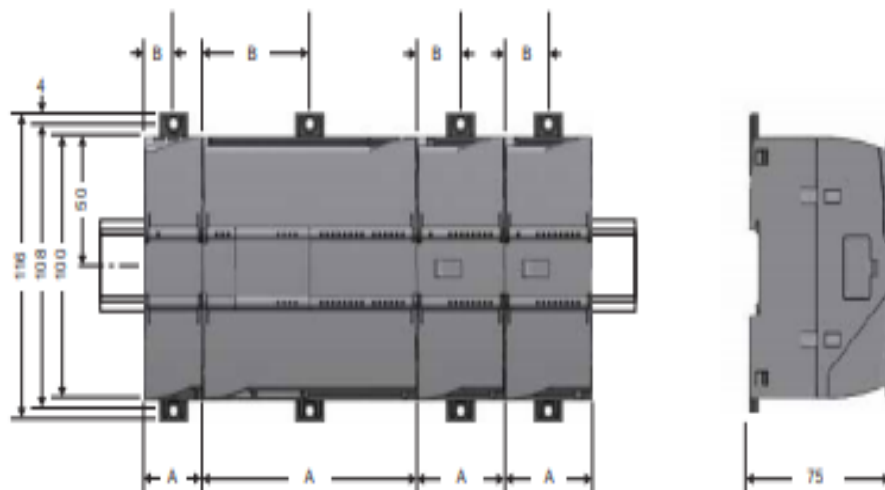
Si los bornes M sin aislamiento galvánico se conectan a diferentes potenciales de referencia, circularán corrientes indeseadas que podrían averiar o causar reacciones inesperadas en el PLC y los equipos conectados.

Si no se cumplen estas directrices, es posible que se produzcan averías o reacciones inesperadas que podrían causar la muerte, lesiones corporales graves y/o daños materiales.

Asegúrese que todos los bornes M sin aislamiento galvánico de un sistema S7-1200 están conectados al mismo potencial de referencia.

2.2 Procedimientos de montaje y desmontaje

Dimensiones de montaje (mm)



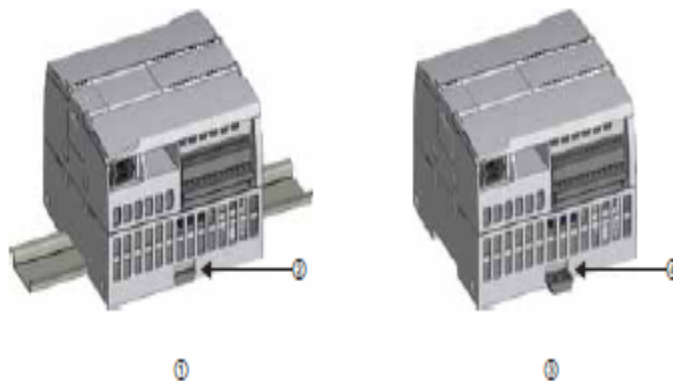
Dispositivos S7-1200		Ancho A	Ancho B
CPUs:	CPU 1211C y CPU 1212C	90 mm	45 mm
	CPU 1214C	110 mm	55 mm
Módulos de señales:	8 y 16 E/S, DC y relé (8I, 16I, 8Q, 16Q, 8I/8Q)	45 mm	22,5 mm
	Analógicos (4AI, 8AI, 4AI/4AQ, 2AQ, 4AQ)		
	16I/16Q relé (16I/16Q)	70 mm	35 mm
Módulos de comunicación:	CM 1241 RS232 y CM 1241 RS485	30 mm	15 mm

Las CPUs, los SMs y CMs pueden montarse en un perfil DIN o en un panel. Utilice los clips del módulo previstos para el perfil DIN para fijar el dispositivo al perfil. Estos clips también pueden extenderse a otra posición para poder montar la unidad directamente en un panel. La dimensión interior del orificio para los clips de fijación en el dispositivo es 4,3 mm.

Es preciso prever una zona de dispersión de 25 mm por encima y por debajo de la unidad para que el aire pueda circular libremente.

Montaje y desmontaje de dispositivos S7-1200

La CPU se puede montar fácilmente en un perfil estándar o en un panel. Los clips de fijación permiten fijar el dispositivo al perfil DIN. Estos clips también encajan en una posición extendida para proveer orificios de montaje que permiten montar el dispositivo directamente en un panel.



- | | |
|--|---|
| ① Montaje en perfil DIN | ③ Montaje en panel |
| ② Clip de fijación al perfil enclavado | ④ Clip de fijación en posición extendida para el montaje en panel |

Antes de montar o desmontar cualquier dispositivo eléctrico, asegúrese que se ha desconectado la alimentación. Asegúrese también que está desconectada la alimentación eléctrica de todos los dispositivos conectados.

ADVERTENCIA

Si el S7-1200 o los dispositivos conectados se montan o desmontan estando conectada la alimentación, puede producirse un choque eléctrico o un funcionamiento inesperado de los dispositivos.

Si la alimentación del S7-1200 y de los dispositivos conectados no se desconecta por completo antes del montaje o desmontaje, podrían producirse la muerte, lesiones corporales graves y/o daños materiales debidos a choques eléctricos o al funcionamiento inesperado de los equipos.

Respete siempre las medidas de seguridad necesarias y asegúrese que la alimentación del S7-1200 está desconectada antes de montar o desmontar las CPUs S7-1200 o los equipos conectados.

2.2.1 Montaje y desmontaje de la CPU

Montaje

La CPU se puede montar en un panel o en un perfil DIN.

Nota

Conecte los módulos de comunicación necesarios a la CPU y monte el conjunto en forma de unidad. Los módulos de señales se montan por separado una vez montada la CPU.

Para montar la CPU en un panel, proceda del siguiente modo:

1. Posicione y taladre los orificios de montaje (M4 o estándar americano n.º 8) según las dimensiones de montaje indicadas en la tabla.
2. Extienda los clips de fijación del módulo. Asegúrese que los clips de fijación al perfil DIN en los lados superior e inferior de la CPU están en posición extendida.
3. Atornille el módulo al panel utilizando tornillos dispuestos en los clips.

Nota

Si el sistema está sometido a vibraciones fuertes o si se monta verticalmente, el montaje en panel ofrece mayor protección al S7-1200.

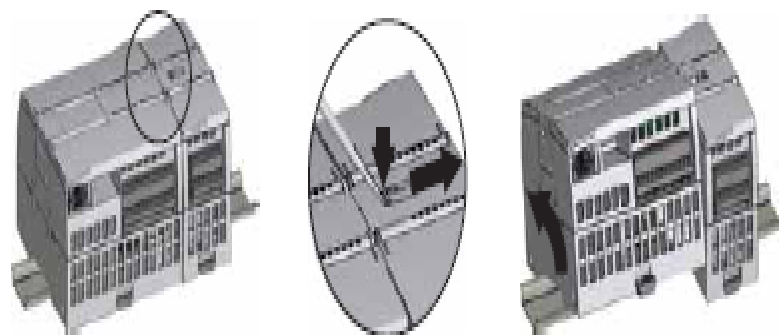
Para montar la CPU en un perfil DIN, proceda del siguiente modo:



1. Monte el perfil DIN. Atornille el perfil al panel de montaje dejando un espacio de 75 mm entre tornillo y tornillo.
2. Enganche la CPU por el lado superior del perfil.
3. Extraiga el clip de fijación en el lado inferior de la CPU de manera que asome por encima del perfil.
4. Gire la CPU hacia abajo para posicionarla correctamente en el perfil.
5. Oprima los clips hasta que la CPU encaje en el perfil.

Desmontaje

Para preparar la CPU para el desmontaje, desconecte la alimentación eléctrica y los conectores de E/S y retire el cableado y demás cables de la CPU. Desmonte la CPU y los módulos de comunicación conectados en forma de conjunto. Todos los módulos de señales deben permanecer montados.



Si un módulo de señales está conectado a la CPU, retraiga el conector de bus:

1. Coloque un destornillador junto a la lengüeta en el lado superior del módulo de señales.
2. Oprima hacia abajo para desenclavar el conector de la CPU.
3. Desplace la lengüeta por completo hacia la derecha.

Desmonte la CPU:

1. Extraiga el clip de fijación para desenclavar la CPU del perfil DIN.
2. Gire la CPU hacia arriba, extráigala del perfil y retírela del sistema.

2.2.2 Montaje y desmontaje de un módulo de señales

Montaje

El SM se monta una vez montada la CPU.



Retire la tapa del conector en el lado derecho de la CPU.

- Inserte un destornillador en la ranura arriba de la tapa.
- Haga palanca suavemente en el lado superior de la tapa y retírela. Guarde la tapa para poder reutilizarla.



Coloque el SM junto a la CPU.

1. Enganche el SM por el lado superior del perfil DIN.
2. Extraiga el clip de fijación inferior para colocar el SM sobre el perfil.
3. Gire el SM hacia abajo hasta su posición junto a la CPU y oprima el clip de fijación inferior para enclavar el SM en el perfil.



Extienda el conector de bus.

1. Coloque un destornillador junto a la lengüeta en el lado superior del SM.
2. Desplace la lengüeta por completo hacia la izquierda para extender el conector de bus hacia la CPU.



Al extender el conector de bus se crean las conexiones mecánicas y eléctricas para el SM.

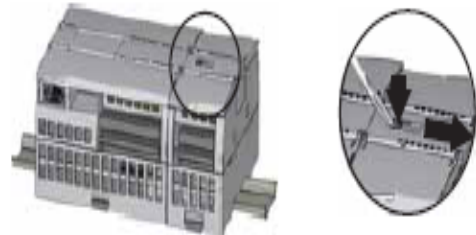
Siga el mismo procedimiento para montar un módulo de señales en otro módulo de señales.

Desmontaje

Cualquier SM se puede desmontar sin necesidad de desmontar la CPU u otros SMs. Para preparar el SM para el desmontaje, desconecte la alimentación eléctrica de la CPU y los conectores de E/S y retire el cableado del SM.

Retraiga el conector de bus.

1. Coloque un destornillador junto a la lengüeta en el lado superior del SM.
2. Oprima hacia abajo para desenclavar el conector de la CPU.
3. Desplace la lengüeta por completo hacia la derecha.



Si hay otro SM en el lado derecho, repita este procedimiento para ese SM.

Desmunte el SM:

1. Extraiga el clip de fijación inferior para desenclavar el SM del perfil DIN.
2. Gire el SM hacia arriba y extraígalo del perfil. Retire el SM del sistema.
3. En caso necesario, cubra el conector de bus de la CPU para impedir que se ensucie.



Siga el mismo procedimiento para desmontar un módulo de señales de otro módulo de señales.

MANUAL DE INSTALACIÓN DEL CONVERTIDOR SINAMICS V20

2

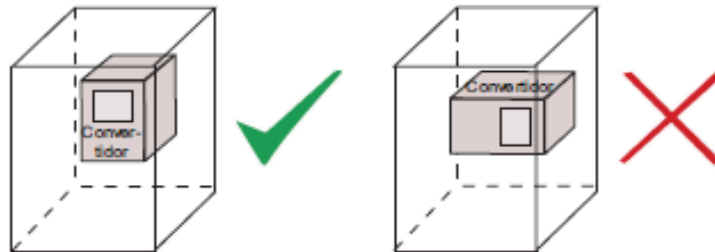
Instalación mecánica

2.1 Orientación de montaje y espacio libre

El convertidor se debe montar en un área cerrada que opera eléctricamente o en un armario de control.

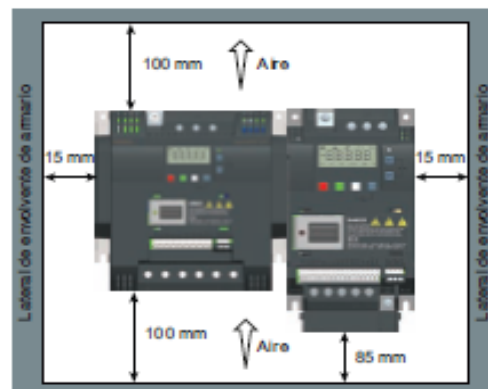
Orientación de montaje

Monte siempre el convertidor en posición vertical.



Espacio para montaje

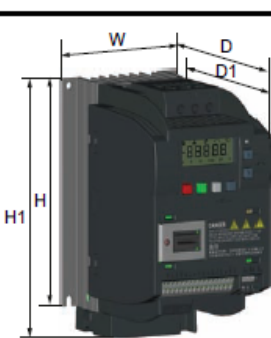
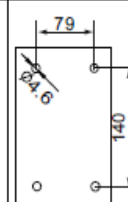

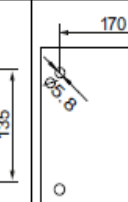
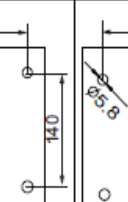
Por arriba	≥ 100 mm
Por abajo	≥ 100 mm (para tamaños de bastidor de B a D, \neq tamaño de bastidor A sin ventilador). ≥ 85 mm (para tamaño de bastidor A refrigerado por ventilador).
Por los lados	≥ 0 mm



2.2 Montaje


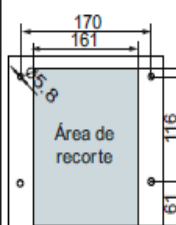

Métodos de montaje	Tamaños de bastidor aplicables	Observaciones
Montaje en el panel del armario	Tamaños de bastidor de A a D	El convertidor se monta directamente en la superficie del panel del armario.
Montaje atravesado	Tamaños de bastidor de B a D	El convertidor se monta con el dissipador extendido a lo largo de la parte trasera del panel del armario.

Dimensiones externas y plantillas de taladros (montaje en el panel del armario)

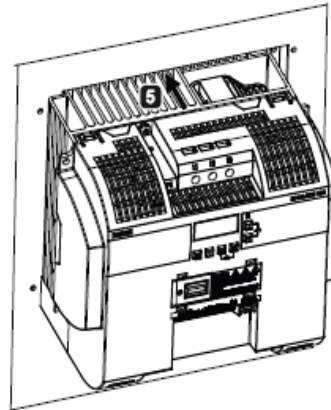
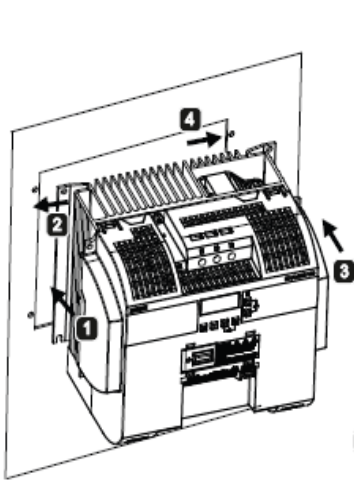
(Unidades: mm)		Tamaño de bastidor A	Tamaño de bastidor B	Tamaño de bastidor C	Tamaño de bastidor D
 <p>H1: altura del tamaño de bastidor A con ventilador D1: profundidad dentro del armario para montaje atravesado.</p>	W	90	140	184	240
	H	150	160	182	206,5
	H1	166	-	-	-
	D	145,5 (114,5*)	164,5	169	172,5
	D1	-	106	108	98
	Plantilla de taladros	   	<p>Fijaciones: 4 x tornillos M4 4 x tuercas M4 4 x arandelas M4 Par de apriete: 1,8 Nm ± 10%</p>	<p>Fijaciones: 4 x tornillos M5 4 x tuercas M5 4 x arandelas M5 Par de apriete: 2,5 Nm ± 10%</p>	

* Profundidad de convertidor Flat Plate (solo variante 400 V 0,75 kW)

Plantillas de taladros y recortes (montaje atravesado)

	Tamaño de bastidor B	Tamaño de bastidor C	Tamaño de bastidor D
Plantilla de taladros y recorte (mm)	 <p>Área de recorte</p>	 <p>Área de recorte</p>	 <p>Área de recorte</p>
Fijaciones	4 x tornillos M4	4 x tornillos M5	4 x tornillos M5
Par de apriete	1,8 Nm ± 10%	2,5 Nm ± 10%	2,5 Nm ± 10%

Pasos del montaje (montaje atravesado)



1 Introduzca un lado del disipador por la parte posterior del panel de armario.

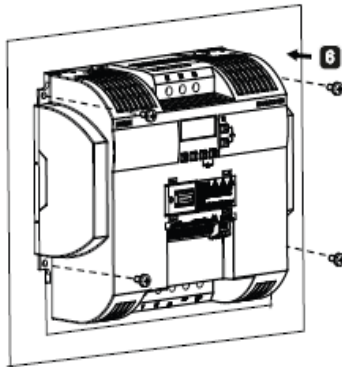
2 Mueva el disipador hacia el borde del recorte hasta que la ranura cóncava del disipador encaje en el borde del recorte.

3 Empuje el otro lado del disipador por la parte posterior del panel de armario.

4 Mueva el disipador hacia el borde del recorte hasta que haya suficiente espacio para pasar todo el disipador por la parte posterior del panel de armario.

5 Introduzca todo el disipador por la parte posterior del panel de armario.

6 Alinee los cuatro orificios de montaje del convertidor con los agujeros correspondientes del panel del armario. Atornille cuatro tornillos en los orificios alineados.



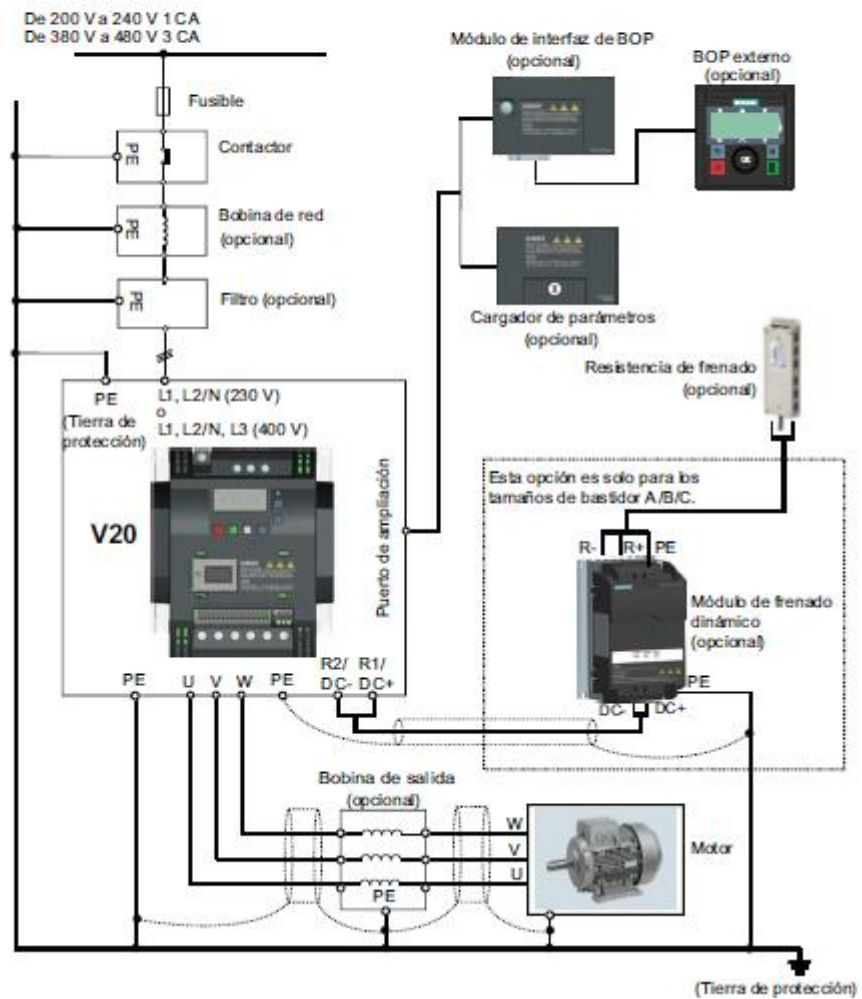
Nota

Se reserva un hueco en la parte inferior del área de recorte para permitir la extracción del ventilador desde el exterior del armario sin quitar el convertidor.



3.1 Conexiones del sistema típicas

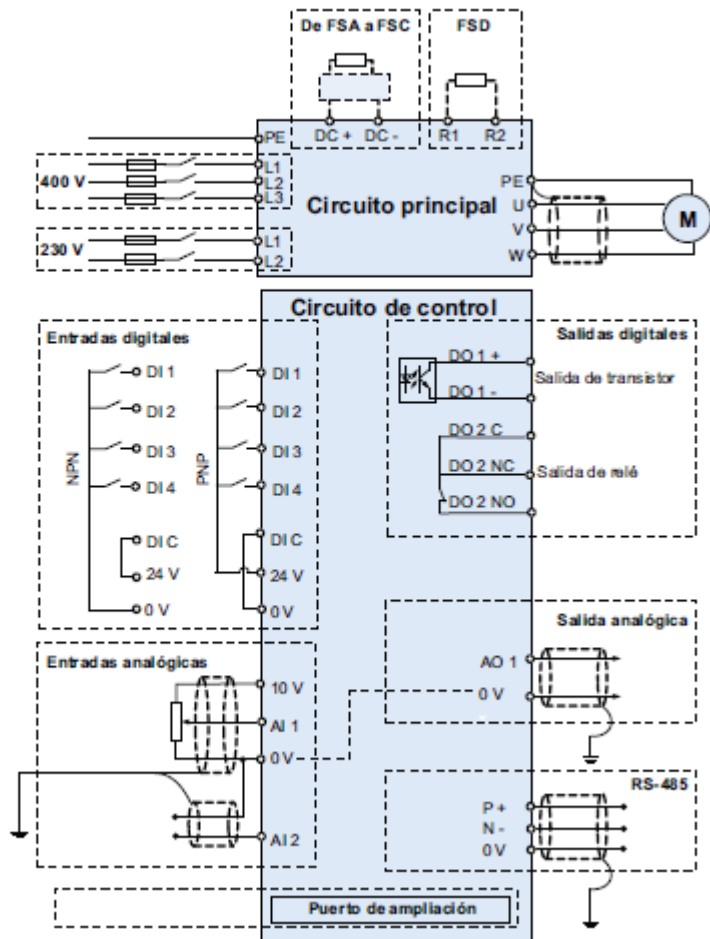
Conexiones del sistema típicas



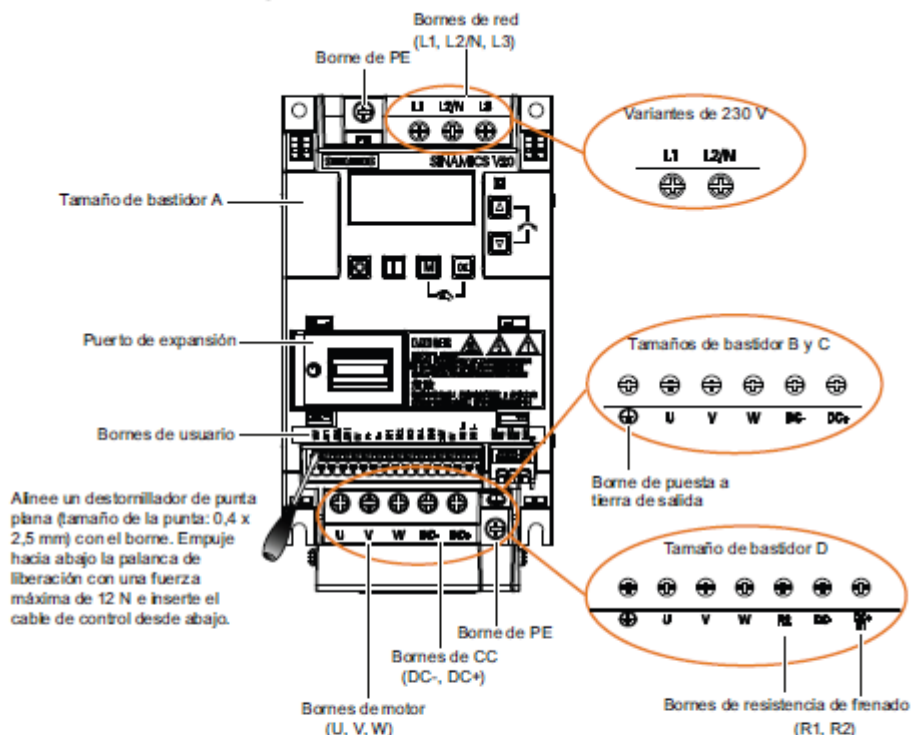
Tipos de fusibles recomendados

Tamaño de bastidor	Tipo de fusible recomendado		Tamaño de bastidor	Tipo de fusible recomendado	
	Compatible con CE (Siba URZ)	Compatible con UL		Compatible con CE (Siba URZ)	Compatible con UL
400 V	A	50 124 34 (16 A)	230 V	A	3NA3805 (16 A)
	B	50 124 34 (20 A)		B	3NA3812 (32 A)
	C	50 140 34 (30 A)		C	3NA3820 (50 A)
	D	50 140 34 (63 A)			
		15 A 600 V CA, clase J			15 A 600 V CA, clase J
		20 A 600 V CA, clase J			30 A 600 V CA, clase J
		30 A 600 V CA, clase J			50 A 600 V CA, clase J
		60 A 600 V CA, clase J			

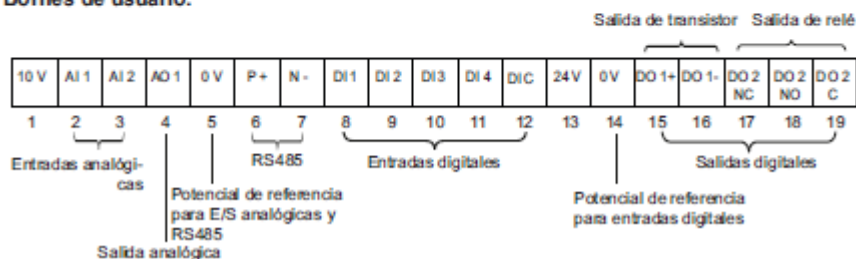
Diagrama de cableado



3.2 Descripción de los bornes



Bornes de usuario:



Secciones de cable recomendadas y pares de apriete de tornillos

Tamaño de bastidor	Potencia nominal de salida	Bornes de PE y de red		Bornes de tierra de motor/DC/resistencia de frenado/salida	
		Sección de cable	Par de apriete de los tornillos (tolerancia: ± 10%)	Sección de cable	Par de apriete de los tornillos (tolerancia: ± 10%)
400 V					
A	De 0,37 a 0,75 kW	1,0 mm ²	1,0 Nm	1,0 mm ²	1,0 Nm
	De 1,1 a 2,2 kW	1,5 mm ²		1,5 mm ²	
B	De 3,0 a 4,0 kW	2,5 mm ²	2,4 Nm	2,5 mm ²	1,5 Nm
C	5,5 kW	4,0 mm ²		4,0 mm ²	2,4 Nm

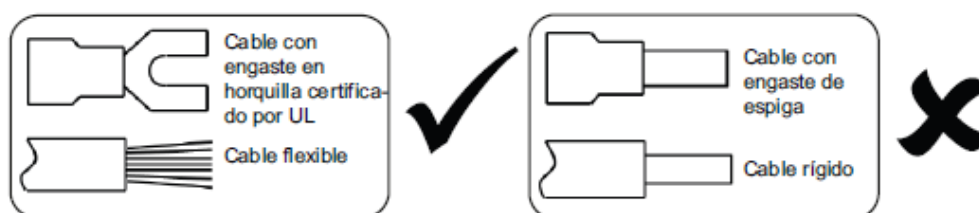
Tamaño de bastidor	Potencia nominal de salida	Bornes de PE y de red		Bornes de tierra de motor/DC/resistencia de frenado/salida	
		Sección de cable	Par de apriete de los tornillos (tolerancia: $\pm 10\%$)	Sección de cable	Par de apriete de los tornillos (tolerancia: $\pm 10\%$)
D	7.5 kW	6,0 mm ²		6,0 mm ²	
	De 11 a 15 kW	10 mm ²		10 mm ²	
230 V					
A	De 0,12 a 0,25 kW	1,5 mm ²	1,0 Nm	1,0 mm ²	1,0 Nm
	De 0,37 a 0,55 kW	2,5 mm ²			
	0,75 kW	4,0 mm ²			
B	De 1,1 a 1,5 kW	6,0 mm ²		2,5 mm ²	1,5 Nm
C	De 2,2 a 3,0 kW	10 mm ²	2,4 Nm	4,0 mm ²	2,4 Nm

* Con un terminal de horquilla engastado adecuado, con homologación UL.

ATENCIÓN

Daños en los bornes de red

Durante la instalación eléctrica del convertidor de tamaño de bastidor A/B, utilice cables flexibles/terminal de horquilla engastado adecuados y con homologación UL, en lugar de cables sólidos/cables con clavijas engarzadas para la conexión de bornes de red.



Longitudes de cable del motor máximas

Variante del convertidor	Longitudes de cable máximas			
	Sin reactancia de salida		Con reactancia de salida	
	Cable no apantallado	Cable apantallado	Cable no apantallado	Cable apantallado
400 V	50 m	25 m (10 m*)	150 m	150 m
230 V	50 m	25 m (10 m*)	200 m	200 m

* Solo para variantes con filtro de convertidores de tamaño de bastidor A.

Secciones de cable de borne de E/S permisibles

Tipo de cable	Sección de cable permisible
Cable sólido o flexible	De 0,5 a 1,5 mm ²
Férrula sin cubierta aislante	De 0,5 a 1,0 mm ²
Férrula con cubierta aislante	0,5 mm ²