



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE ADICIÓN DE
GAS CARBÓNICO EN LÍNEA DE EMBOTELLADO
PARA LA EMPRESA BODEGAS GANDÍA PLA S.L.**

TRABAJO FINAL DEL

**Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y
Automática**

REALIZADO POR

Pau Castellano Rioja

TUTORIZADO POR

Sergio García-Nieto Rodríguez

FECHA: Valencia, noviembre, 2019

Contenido

MEMORIA.....	4
PLIEGO DE CONDICIONES.....	75
PRESUPUESTO	84
PLANOS.....	92
MANUAL DE USUARIO.....	101
MANUAL DE PROGRAMADOR	111
ANEXOS	148



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE
ADICIÓN DE GAS CARBÓNICO EN LÍNEA
DE EMBOTELLADO PARA LA EMPRESA
BODEGAS GANDÍA PLA S.L.**

MEMORIA

TRABAJO FINAL DEL

**Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y
Automática**

REALIZADO POR

Pau Castellano Rioja

TUTORIZADO POR

Sergio García-Nieto Rodríguez

FECHA: Valencia, septiembre, 2019

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	6
2. ALCANCE DEL PROYECTO	7
3. ANTECEDENTES	8
3.1. Carbonatación del vino	8
3.2. Automatización y PLCs	8
4. OBJETIVOS	10
5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	11
6. ESQUEMA DE CONTROL	14
• SOLUCIONES ALTERNATIVAS	16
• SOLUCIÓN ADOPTADA	20
7. IMPLEMENTACIÓN	58
• Variables	60
• Tratamiento de señales	64
• Implementación control P	66
• HMI	68
• Simulación	70
8. CONCLUSIONES	73

1. INTRODUCCIÓN

Bodegas Gandía Pla S.L. es una empresa del sector vinícola cuya sede se encuentra emplazada junto a la autovía A-3, a la altura de la localidad de Chiva. Actualmente, es una empresa de referencia del sector y cuenta con más de 150 trabajadores, de los cuales aproximadamente 100 trabajan en la planta de producción. Sus beneficios rondaron los 42 millones de euros en 2018, un aumento del 12% respecto del año anterior (<https://www.vicentegandia.es/es/vicentegandia-resultados-2018-2/>).



Figura 1. Emplazamiento de la empresa.

La empresa tiene una superficie de unos 30.000 m², y está dividida en varios edificios. El emplazamiento marcado con un 1 en la ilustración 2 corresponde a la zona de oficinas, donde se realizan las labores administrativas. El número 2 hace referencia tanto al edificio de almacenaje del vino, donde además de almacenarse, se le aplican ciertos tratamientos, como a los tanques de preservación exteriores. El producto pasa de los bidones exteriores a los interiores para, posteriormente, pasar a la planta –edificio número 3-. En la planta el vino recibe los tratamientos finales y se embotella. Además, las botellas son taponadas, etiquetadas y, finalmente, empaquetadas, primero en cajas de 6 o 12 botellas, después en pallets cuyas medidas y número de cajas depende del país al que vaya a ser enviado el producto.



Figura 2. Vista satélite de la empresa y edificios.

La planta de embotellado, a la izquierda en la ilustración 2, es donde el producto recibe la mayor parte del valor añadido mediante varios tratamientos, hasta su puesta final en circulación.

Actualmente, la empresa se encuentra en expansión, con varios proyectos de crecimiento en marcha, entre los que se encuentra el añadido de una nueva línea de producción. Otra meta de la compañía es la de poder tener un control total de los procesos de la planta mediante la automatización de la mayor cantidad posible de ellos y, dado que todo sistema automático cuenta con sensado, aprovechar los datos que ofrecen para la mejora de sus procesos productivos.

En el marco de estas actualizaciones nace el presente proyecto.

2. ALCANCE DEL PROYECTO

El proyecto “AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE ADICIÓN DE GAS CARBÓNICO EN LÍNEA DE EMBOTELLADO PARA LA EMPRESA BODEGAS GANDÍA PLA S.L.” aborda la mejora del proceso de medición y adición de gas carbónico en la línea de producción de Bodegas Gandía Pla S.L.

Esta mejora consiste en la implantación de un sistema automático de medida y regulación de la concentración del citado gas en el producto. La realización de este tipo de proyectos de mejora es una tarea indispensable en el camino hacia la modernización de una empresa, permitiendo aumentar la eficacia reduciendo los tiempos y evitando el factor humano.

Otra ventaja de la automatización es que permite visualizar el proceso que se esté ejecutando en tiempo real, guardando las medidas e incluso enviando datos en tiempo real a otros sistemas. Esta es una herramienta poderosa para una empresa del sector de la alimentación, pues siguen una regulación y unos controles de calidad muy estrictos. Económicamente también supone un gran ahorro, pues una vez instalado el sistema, no necesita de mantenimiento –excepto en caso de rotura o mal funcionamiento de alguna de sus partes-. Además, libera a personal humano de realizar una tarea repetitiva y tediosa.

En el proyecto se implantará un sistema de medida en un tramo de tubería que permita la toma de datos periódicamente, enviando la medida a un sistema de control, que se encargará de la regulación de un actuador. También se diseñará un sistema que permita la visualización y el almacenamiento, en tiempo real, de la información relevante para un correcto control de calidad del producto.

El sistema también permitirá al operario controlar de manera directa al actuador.

3. ANTECEDENTES

3.1. Carbonatación del vino

El dióxido de carbono (CO₂) es un producto de la fermentación del vino, y juega un papel importante en sus cualidades organolépticas. En el caso de los vinos blancos, una concentración demasiado baja resulta en una percepción plana en boca, algo comparable a beber agua con cierto deje a alcohol. En el caso de los tintos, una concentración demasiado alta de carbónico resulta en un vino con un sabor demasiado tánico y áspero, produciendo en boca un sabor demasiado cercano a la barrica y una sequedad posterior elevada. Algo así como beber vino de un vaso de madera.

Para vinos tranquilos, las concentraciones de gas carbónico suelen oscilar entre 300 y 1500 miligramos por litro (mg/L en adelante), y una desviación de 200 mg/L puede cambiar por completo sus cualidades organolépticas.

Durante el proceso de elaboración se pierde parte del gas carbónico disuelto naturalmente en el producto. Dicha pérdida se puede controlar mediante la temperatura de conservación. Para temperaturas menores a 10 grados se reducen en gran medida. En caso de querer reducir el contenido, se aplica gas nitrógeno a temperaturas entre 15 y 20 grados.

En Bodegas Gandía Pla, la medición de carbónico se realiza en el laboratorio siguiendo los métodos propuestos por la Organización Internacional del Vino -OIV-, y su ajuste se realiza en línea mediante una válvula de aguja controlada manualmente. Para el caso de los vinos con una concentración menor a 0.5g/L, el método consiste en comparar el volumen de ácido requerido para reducir el pH (de los 8.4 de la forma carbonatada a los 4 del ácido carbónico) de una muestra de vino con contenido gaseoso y otra sin carbonatar. El volumen de ácido requerido es proporcional al contenido en carbónico del producto. El segundo método, para vinos con una concentración de CO₂ mayor a 0.5g/L, consiste en fijar la muestra con NaOH 10M, y liberarla junto a ácido sulfúrico en un matraz al vacío. Un manómetro conectado ofrece una lectura del aumento de la presión, que será proporcional al grado de carbónico de la muestra.

3.2. Automatización y PLCs

Pese a que los primeros automatismos conocidos datan del siglo XV a.C., el ser humano no empezó a reemplazar la fuerza sangre –animal y humana- hasta mediados del siglo XVIII, cuando molinos de viento y máquinas de vapor convirtieron movimiento (del aire) y calor (del fuego que calentaba el agua) en fuentes principales de energía. Anteriormente, los automatismos habían servido como diversión y genialidad. Pero, a finales del siglo XVIII, James Watt perfeccionó la máquina de vapor y, a principios del XIX, Joseph Marie Jacquard inventó el telar programable, que permitió obtener telas de mejor calidad en menor tiempo, iniciando así la revolución industrial.

La invención de las telecomunicaciones y la obtención de nuevas fuentes de energía y transporte propiciaron un cambio de modelo económico que permitió extender más allá de Gran Bretaña la industrialización, la primera globalización. Este hecho, junto al descubrimiento de la electricidad y la invención del motor de combustión interna crean el escenario perfecto para iniciar la producción en masa, cuyo máximo exponente entonces, Ford Motor Company, ingenia

la primera línea capaz de reducir el tiempo de ensamblado del modelo T de 12 horas y media, a 100 minutos. Este hecho se conoce como la 2ª Revolución Industrial.

Los numerosos avances que les suceden permitieron ir adquiriendo a los automatismos la capacidad de “sentir” y “decidir”, dotando de cierta inteligencia a las primitivas líneas de producción, hasta que la invención de la computadora y, posteriormente, del controlador lógico programable (PLC) permiten dotar de autonomía casi completa al proceso. Este cambio se denomina 3ª Revolución Industrial.

El primer PLC en salir al mercado lo hizo de la mano de la compañía Bedford Associates y era conocido como Modicon (MODular DIGital CONTroller), allá por el año 1968. Desde entonces, la práctica totalidad de las empresas que disponen de líneas de producción u otro tipo de automatismos utilizan PLCs para gobernarlos, dada su versatilidad, robustez, y fiabilidad. En los años 70, estos dispositivos ya incorporaban microprocesadores, y poco después se les dotó de capacidad para comunicarse entre ellos (ModBus.)

Los avances en este y otros campos (como las comunicaciones, la inteligencia artificial...) han permitido interconectar autómatas a un nivel superior, creando redes donde cada PLC controla un proceso y otros se encargan de coordinarlos. Se puede visualizar el estado de los procesos en tiempo real y adecuar y transmitir información generada por ellos a otras localizaciones. Es el principio básico de la Industria 4.0, conocida también como 4ª Revolución Industrial.

En el campo de la regulación de caudal de gases, existen muy diversas opciones de control, ya que facilita la labor de operar con ellos. Las electroválvulas y los equipos de regulación modernos ofrecen una gran precisión, evitando la intervención de personal humano. Los modernos sistemas de visualización facilitan aún más la comunicación con los sistemas de control, permitiendo observar en tiempo real cada detalle de su funcionamiento.

4. OBJETIVOS

El objetivo principal del proyecto es implantar un sistema automático de medición y regulación del contenido, en disolución, de gas carbónico la línea de vino de Bodegas Gandía Pla S.L. utilizando la tecnología que más se adapte al cometido.

El segundo objetivo consiste en permitir la visualización del sistema mediante un panel de control que sirva a la vez de medio de interacción entre el operario y los elementos controlables del sistema. También permitirá al operario escoger entre los distintos modos de trabajo, así como observar y extraer la información relevante sobre el funcionamiento del sistema.

Los objetivos son:

- Implementar un programa de control en un autómata lógico programable que se encargue de comandar el grado de apertura de una electroválvula a partir de las medidas tomadas con un sensor.

- Realizar la programación de un terminal HMI que permita visualizar el proceso en tiempo real, así como llevar un control de los históricos que sea guardado en una memoria externa.

- Implementar una red de comunicación entre el HMI y el PLC.

- Realizar una simulación del funcionamiento del sistema.

- Realizar el montaje eléctrico y mecánico de los elementos que componen el sistema.

- Realizar una prueba real del funcionamiento del sistema.

5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

La planta de embotellado de las Bodegas Gandía Pla está dividida en tres secciones principales. En la primera, el vino puede recibir dos tratamientos: una carbonatación y un filtrado. En la segunda, se encuentran las dos líneas de embotellado. La tercera incluye tanto el empaquetamiento y paletizado como el almacén. El siguiente plano ilustra la ordenación descrita.



Figura 3. Planta de embotellado de Bodegas Gandía SL.

El producto circula desde los depósitos situados en el exterior de la planta, entrando a la sala de filtrado y carbonatación. Si se trata de un vino blanco, dulce o rosado, se le añade carbónico. Posteriormente se filtra tres veces mediante unos filtros cerámicos de una porosidad muy fina para eliminar cualquier impureza. Dependiendo del tipo de vino, se utilizan filtros con un tamaño de poro concreto. Por tanto, existen tres cadenas de filtros con tres filtros cada una.



Figura 4. Detalle de la sala de filtros.

Las líneas de embotellado y paletizado ya han sido totalmente automatizadas, y los operarios únicamente se encargan de la supervisión y ajuste de la maquinaria. Cada máquina está conectada al sistema ERP, desde el que se controla producción, fallos, y gestión de recursos. Esta forma de trabajar es altamente eficiente, pues minimiza la intervención humana, reduciéndola a la confirmación de acciones (como los pedidos) y a la toma de las decisiones más complejas. La idea de la empresa es, poco a poco, incluir todos los elementos posibles dentro de esta red de gestión. Así pues, el vino es bombeado hasta la sala de embotellado, donde se realiza un filtrado final y se almacena en unas tazas con forma toroidal. Unos grifos situados debajo de la taza se encargan de administrar la cantidad correcta de producto a las botellas, previamente lavadas con agua a presión.

En la planta se han implementado dos formas de añadir carbónico al vino: en el propio depósito que lo almacena, como es el caso del Sandara, o directamente en las tuberías que lo transportan a las llenadoras.

El primero se utiliza para vinos con alto nivel de carbónico, dado que permite controlar la concentración con mayor precisión y ofrece menos problemas técnicos para concentraciones altas. No entraré en detalles, puesto que esta técnica no es el objeto de estudio en este proyecto.

La segunda técnica es propiedad intelectual y exclusiva de Bodegas Gandía Pla, y consiste en hacer circular el vino por un filtro cerámico de una porosidad concreta a través del cual se inyecta el gas debido a la diferencia de presión –entorno a los 2 kg/cm^2 –, creando una burbuja de un tamaño adecuado, mezclándola a la perfección con el líquido. El control de caudal gaseoso entrante en la tubería se realiza de manera manual, mediante una válvula de aguja de gran precisión, por un operario del laboratorio, habiendo analizado previamente una muestra obtenida de la línea de embotellado.

Como se puede observar, el proceso presenta dificultades técnicas, así como grandes imprecisiones, ya que conforme está diseñado el proceso, la muestra tomada de la línea corresponde al producto al que se le ha inyectado gas 10 minutos antes. Las muestras son tomadas cada media hora, por lo que desajustes de concentración intermedios son frecuentes, dando lugar a remesas con distinta concentración de carbónico. Factores como la temperatura o la velocidad de circulación afectan a la asimilación de gas por parte del líquido, dificultando en mayor medida el cálculo de caudal a inyectar a la línea. Y por último, el proceso sufre interrupciones que todavía falsean más las mediciones, como las provocadas por la parada puntual de las llenadoras, ya sea porque las líneas están llenas, por demanda del operario, o por necesidad de mantenimiento. Estas interrupciones provocan pérdidas de carbónico en el vino, que también deben ser corregidas manualmente. Por último, se lleva un histórico en una especie de cuaderno de bitácora en el laboratorio.

En la siguiente página se esquematiza el proceso que se acaba de describir.

Pasos del proceso:

1. Extracción de botella de la línea de embotellado.
2. Medición del contenido en CO₂ en laboratorio.
3. Cálculo de la apertura de la válvula.
4. Modificación de la apertura en la línea.
5. Pasados 10 minutos (tiempo de recorrido desde la válvula hasta el embotellamiento), extracción de nueva botella.

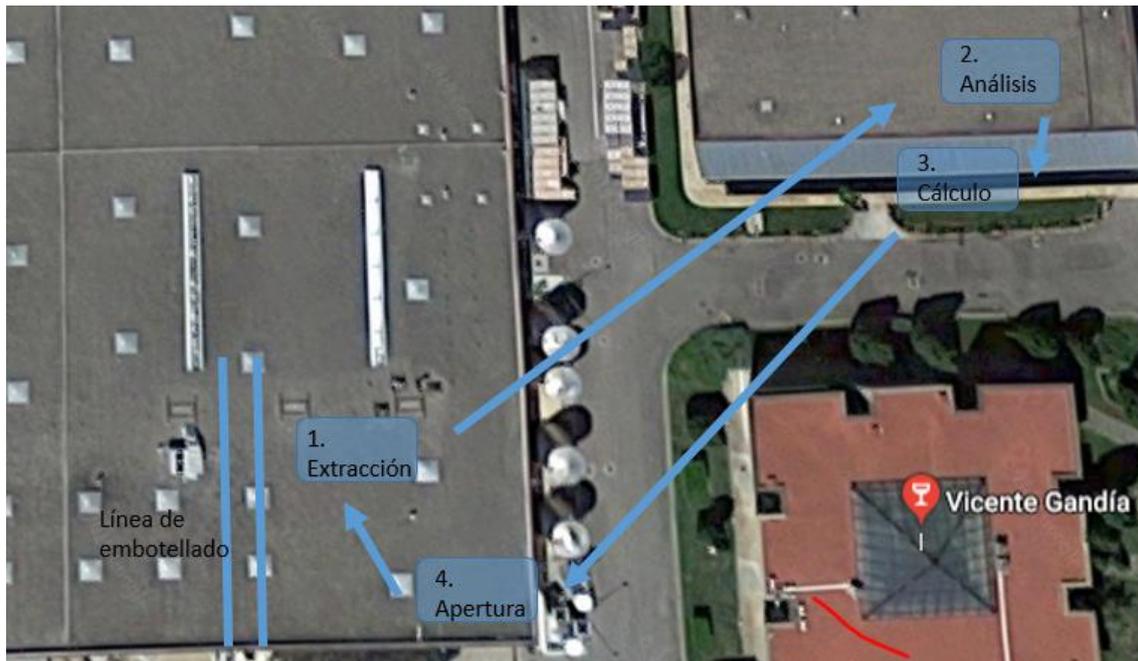


Figura 5. Proceso de medición de CO₂.

El tiempo total del proceso es de aproximadamente media hora, y se realiza de manera continua durante toda la jornada.

Es un proceso que aúna todas las cualidades para ser susceptible de automatización.

6. ESQUEMA DE CONTROL

El sistema de control se debe adecuar a la naturaleza del sistema. Existen sistemas que no requieren conocer cómo afectan a la salida los cambios en las entradas. En este tipo de sistemas no se tiene en cuenta el estado del producto final, pues el proceso es siempre fijo e invariable. Una lavadora, por ejemplo, tiene una serie de programas de lavado. Cuando el usuario selecciona uno, lo ejecuta independientemente de si tiene o no carga y/o detergente y, por supuesto, no tiene en cuenta si al terminar el ciclo la ropa está limpia o no. Este tipo de configuración se conoce como bucle de control en lazo abierto.

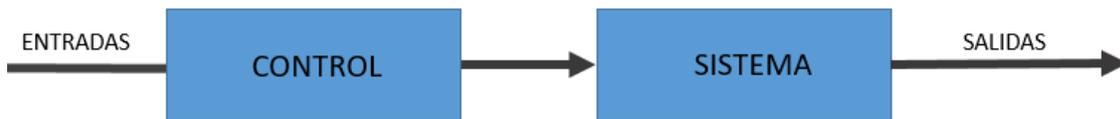


Figura 6. Bucle de control en lazo abierto.

La configuración en lazo abierto suele ser útil en sistemas simples, con una variable a controlar y una salida. En un microondas, por ejemplo, se controla el tiempo y, como mucho, la potencia de trabajo. El problema de estos sistemas es que son sensibles a perturbaciones, pues ni siquiera saben si existen, al no tener un sistema de sensado que les permita conocer qué ocurre.

La incorporación de un sistema de sensado al proceso permite observar directa o indirectamente la variable sobre la que se actúa, ofreciendo la posibilidad de adecuar la entrada para obtener la respuesta deseada. Una forma de modificar la entrada del proceso consiste en calcular la diferencia entre una referencia previamente fijada y el valor de la respuesta, o señal de error para, con un tratamiento previo, actuar sobre el proceso con esta nueva señal. Este método es conocido como control en lazo cerrado.

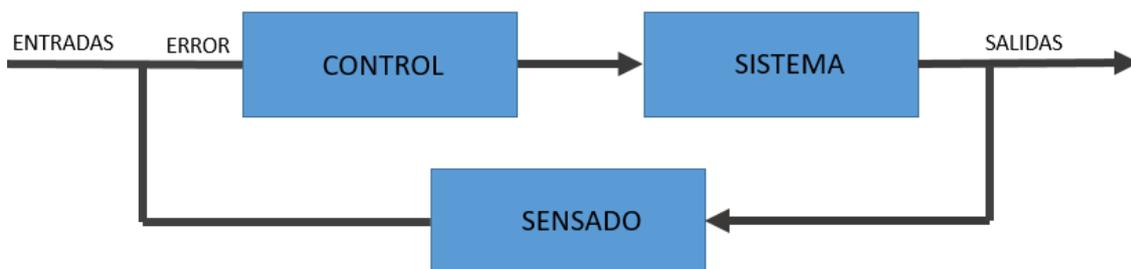


Figura 7. Control lazo cerrado.

En el presente proyecto, la señal de entrada o referencia es el valor de concentración de CO_2 , y la señal de realimentación es la medida del sensor de carbónico. El dispositivo de control se encarga de procesar la señal de error –diferencia entre referencia y medida-, y gestiona la señal de salida, proporcionándosela al actuador.

El control más extendido para el tratamiento de la señal de error es el conocido como PID. El control PID aplica hasta tres acciones sobre la señal de error, buscando eliminarla y, si no es posible, al menos que sea constante y lo más pequeña posible.

La acción proporcional actúa sobre la amplitud de la señal de error amplificándola o reduciéndola. Esta acción busca eliminar el error en estado estacionario, es decir, cuando el error se mantiene estable. Se caracteriza por la constante de proporcionalidad, k .

$$\text{Señal de control } P = k \cdot \text{Señal de error ;}$$

Ecuación 1. Control proporcional.

En muchos casos, este error no consigue eliminarse completamente. También puede darse que existan perturbaciones que no permitan eliminar el error en estado estacionario con el control proporcional. En estos casos conviene aplicar también un control de tipo integral. Este control actúa al detectar una diferencia entre la referencia y la realimentación, e integra la diferencia en el tiempo, sumándola posteriormente al control proporcional. Está caracterizado por la constante de integración, K_i . Cuanto más grande es la constante, más disminuye el error estacionario, pero se producen más sobreoscilaciones y el sistema es más inestable. Generalmente se aplica junto al control proporcional, formando el control PI.

$$\text{Señal de control PI} = k \cdot \text{Señal de error} + k_i \cdot \text{integral}(\text{Señal de error} \cdot dt) ;$$

Ecuación 2. Control PI.

En caso de que el error no sea constante, es decir, varíe con el tiempo, ni el control proporcional ni el integral son capaces de corregirlo. En este caso, se aplica un control conocido como derivativo. La derivada del error es comúnmente conocida como velocidad, pues indica exactamente la velocidad con la que cambia el error. Si esta velocidad es alta debido a la acción proporcional-integral, pueden producirse sobreoscilaciones que, en algunos casos, pueden resultar contraproducentes, o incluso llevar a la inestabilidad al sistema. En esos casos, es posible ajustar un control derivativo que “ralentice” la corrección del error, pero que anule o reduzca las sobreoscilaciones. Este tipo de control se caracteriza por la constante de derivación, k_D . Cuanto más grande es k_D , más lenta es la corrección, pero menos sobreoscilaciones tendrá la respuesta. Suele aplicarse junto al control proporcional, o junto al proporcional y el integral, formando un PD o un PID, respectivamente.

$$\text{Señal de control PID} = k \cdot \text{Señal de error} + k_D \cdot \text{derivada}(\text{Señal de error} / dt) ;$$

Ecuación 3. Control PD.

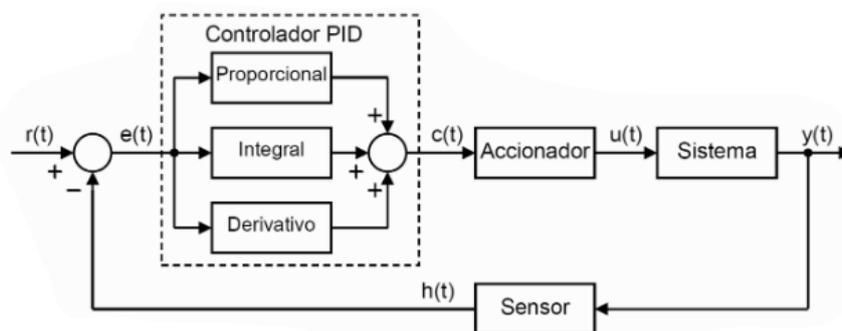


Ilustración 1. Control PID realizado en Simulink de Matlab.

Existen diversos métodos para realizar esta configuración de control. A continuación se presentan, primero, diversas soluciones alternativas en cuanto a dispositivos y algoritmos de control. También se aborda el problema de la visualización. Seguidamente, se expone la solución adoptada finalmente, justificando cada elección.

• SOLUCIONES ALTERNATIVAS

Se procede a presentar un compendio de las alternativas de automatización que han sido planteadas para el presente proyecto.

i. Circuitos de tratamiento y dispositivos de control

1. RCV420

Un circuito RCV420 permite convertir una corriente a voltaje y, además, establecer una referencia de voltaje. El esquema y las ecuaciones que lo representan son las siguientes:

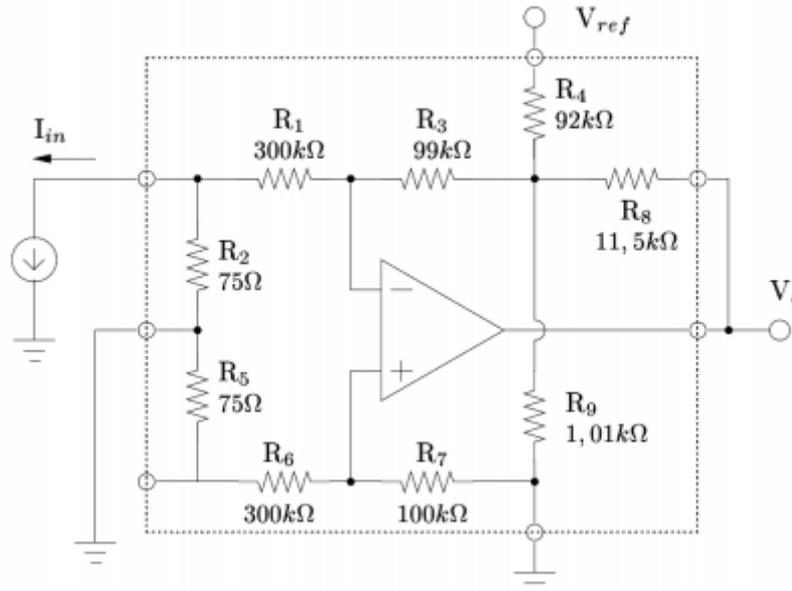


Figura 8. Esquema RCV420.

$$V_{out} = A \cdot I_{in} + B;$$

Ecuación 4. Voltaje de salida del circuito RCV420.

donde,

$$A = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2} + \frac{R_8 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_8 R_2 R_3}{R_9 (R_1 + R_2)} + \frac{R_8 R_2 R_3}{R_4 (R_1 + R_2)};$$

Ecuación 5. Parámetro A de la ecuación 2.

$$B = -V_{ref} \cdot \frac{R_8}{R_4};$$

Ecuación 6. Parámetro B de la ecuación 2.

Así, sabiendo que la señal de entrada es una corriente que oscila entre 4 y 20 mA, se seleccionan los valores de las resistencias para obtener la salida deseada.

2. Microcontrolador Arduino.

Otra posible opción es el uso de un microcontrolador de tipo Arduino, que perfectamente puede realizar la adquisición y el proceso de señales, así como el control del actuador. En este caso, las posibilidades de programación son mucho más extensas, pues permite la utilización de lenguaje de alto nivel para la programación. Suponiendo que se desee obtener una salida, por ejemplo, de 0 a 10 V, se puede programar un bucle que lea la señal del sensor y proporcione una respuesta al actuador.

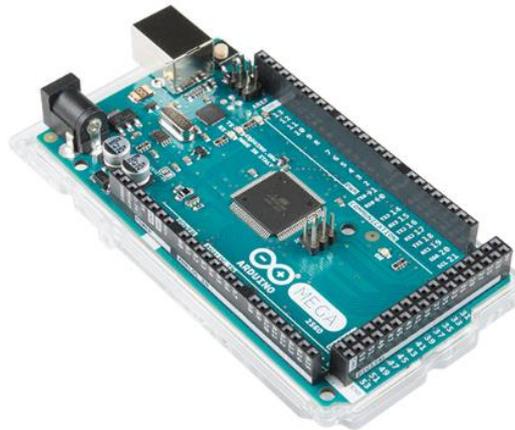


Figura 9. Arduino Mega.

Existen, además, una gran variedad de microcontroladores en el mercado que pueden realizar una gran cantidad de acciones, con muchas posibilidades de conexión a red y visualización. Ofrecen la versatilidad de un ordenador.

3. Dispositivo de control Control D de Asco Numatics.

Este regulador permite realizar el control de la corriente aplicada a la bobina de una electroválvula. Ofrece tres opciones de regulación: lazo abierto, lazo cerrado, y control en cascada. Es un sistema de seguimiento de referencias que puede comunicarse con un PC para extraer información relevante.



Figura 10. Control D de Asco Numatics.

Los parámetros de control se pueden ajustar de tres formas distintas. Puede programarse la referencia y pulsar el botón autoajustar, en rojo en la ilustración superior. También pueden programarse uno a uno mediante el panel delantero. Por último, también pueden programarse mediante el software Digicom, desarrollado especialmente para el dispositivo.

ii. Actuadores.

En cuanto a los actuadores, existen muchas posibilidades. El sistema dispone de una válvula de aguja que regula el caudal de gas, y cuyo control se realiza mediante una rosca de mano. Un medidor esférico permite conocer el caudal de gas entrante.



Figura 11. Válvula de aguja con medidor esférico, modelo 2150 de Tecfluid.

Una opción podría ser mantener dicha válvula, acoplando a la rosca un servomotor. Estos dispositivos son, en principio, baratos. Pero para trabajar una media de entre 10 y 12 horas diarias, bajo condiciones de humedad, se necesita un dispositivo resistente, de tipo industrial, que requiera poco mantenimiento, y que sea capaz de ofrecer un ángulo de giro superior a 12π radianes, el equivalente a 6 vueltas completas, recorrido completo de la rosca. Un aparato que reúna dichas características ya no resulta tan económico. El control de los servomotores se realiza mediante una técnica conocida como Modulación por Ancho de Pulso –Pulse-Width Modulation, PWM-. Esta técnica consiste en controlar el ciclo de trabajo, entendido como la relación entre el tiempo que una señal periódica está activa – t_{ON} - y su periodo – T -, permitiendo modificar la posición del motor. Este tipo de control es complicado desde el punto de vista de la programación, aunque existen dispositivos que se encargan de transformar una señal en voltios o miliamperios a su equivalente en PWM, y la mayoría de entornos de programación de lenguaje de alto nivel, como el utilizado por el microcontrolador visto anteriormente, ofrecen funciones en sus librerías para realizar esta transformación.



Figura 12. Servomotor industrial Omron Accurax G5.

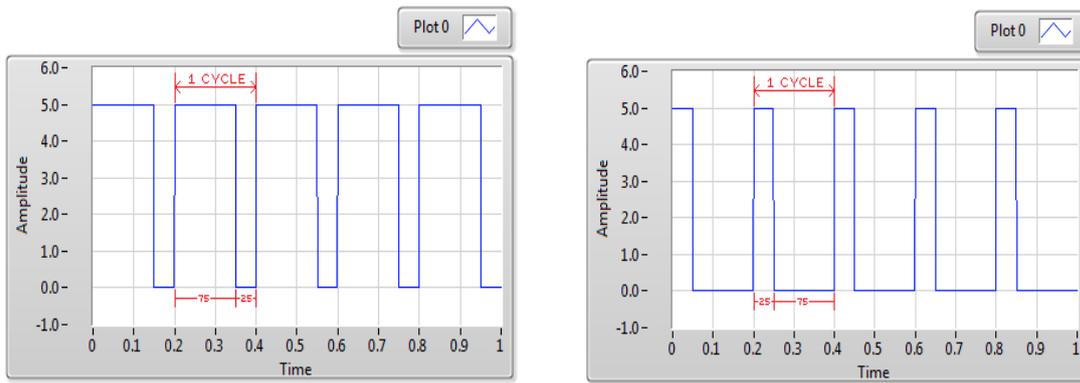


Figura 13. Señal PWM.

Otra posibilidad es la de incorporar una electroválvula, pues existe una enorme variedad de ellas. Algunas se controlan mediante PWM. Otras ofreciendo una apertura proporcional a la tensión que se les aplica.

iii. Visualización.

Para la visualización existen varias soluciones. Por ejemplo, los displays de 7 segmentos. Conectados a un microcontrolador, con dos de ellos, utilizando uno para establecer la referencia y otro para observar el valor de concentración, se puede realizar el control. Pese a ser una opción práctica y simple de observar concentraciones y de controlar parámetros, no ofrecen una solución visualmente intuitiva y no guardan históricos. Tampoco ofrecen la versatilidad de un panel táctil de tipo HMI –Human-Machine Interface-, que sí permite realizar todo lo anterior.

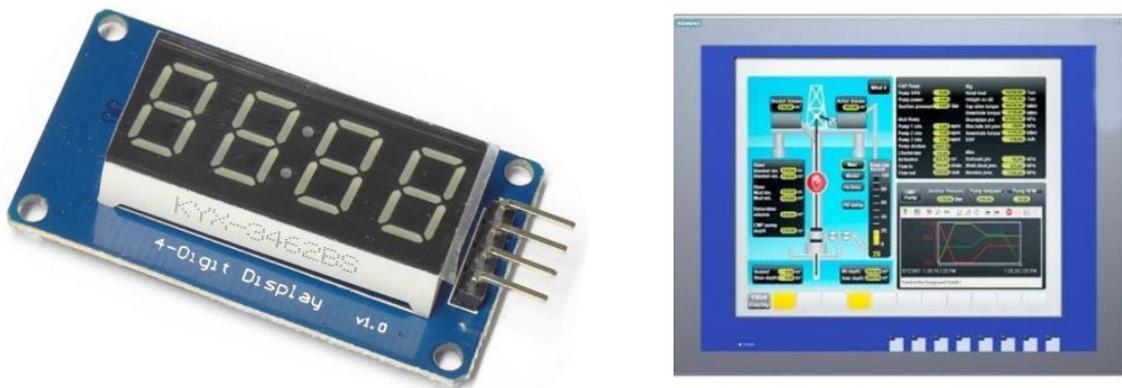


Figura 14. Display 7 segmentos (izq.) // Terminal HMI (dcha.).

Una vez realizado un análisis de las posibles soluciones que se han tenido en cuenta para el diseño del sistema definitivo, se procede a exponer los elementos seleccionados y su configuración.

• SOLUCIÓN ADOPTADA

En este apartado se expone la solución finalmente adoptada.

La primera parte aborda la parte hardware de la solución, presentando cada uno de los dispositivos seleccionados para confeccionar el sistema y comentando los aspectos técnicos más relevantes, así como una explicación de las características fundamentales del software necesario para la programación.

La segunda parte aborda la solución de índole computacional, empezando por la formulación matemática del proceso y su implementación sobre el dispositivo de control. Posteriormente se explica la programación del terminal de visualización.

i. Solución Hardware

Como se ha mencionado anteriormente, el sistema se compone de un sensor de carbónico, que se encarga de las mediciones, una electroválvula que controla el flujo de gas, y un PLC que procesa los datos provenientes del sensor y manda las adecuadas señales de control a la electroválvula. La visualización se realiza mediante un terminal HMI conectado al autómatas vía Ethernet.

A continuación se ofrece un esquema general del hardware y sus conexiones.

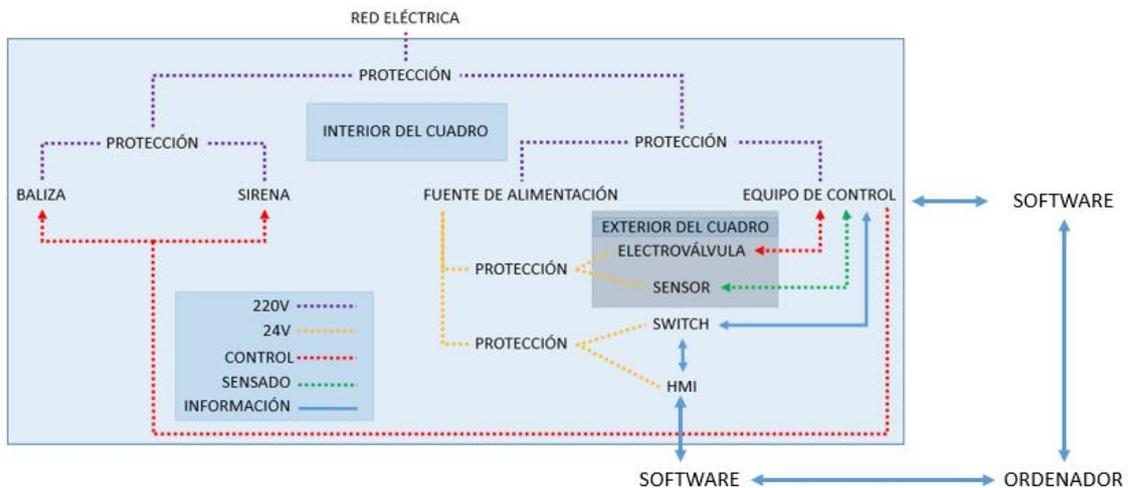


Figura 15. Hardware y conexiones.

La parte oscura corresponde a los elementos que se encuentran fuera del cuadro o armario eléctrico: la electroválvula y el sensor. Todos los demás elementos se encuentran dentro, excepto la pantalla, que está empotrada en la cara frontal, y la baliza y la sirena, que se encuentran ancladas en la parte superior.

El software es específico de cada dispositivo programable, en este caso, el PLC y el HMI. La programación se realiza desde un computador.

Seguidamente se procede a explicar individualmente los elementos del sistema.

1. Equipo de control

La elección del fabricante del equipo de control condiciona en gran medida el proyecto, puesto que cada hardware lleva su correspondiente software. Fabricantes como Siemens, Omron o Schneider ofrecen paquetes de software que incluyen tanto el entorno de programación del PLC como el del HMI, entre muchos otros que no interesan para el actual proyecto. Por tanto, la elección debe realizarse atendiendo sobre todo a los aspectos económico y humano, puesto que las tres marcas ofrecen un buen rendimiento y buenos entornos de programación.

Así, entre estas tres marcas se ha seleccionado Omron, puesto que la relación calidad-precio es buena, ofrecen un gran servicio técnico, y la empresa tiene buena relación con el distribuidor.

El PLC escogido es el modelo CJ2M CPU31, una unidad de control modular a la que se le ha añadido un par de terminales entrada/salida, uno para el terreno analógico y otro para el digital, lo que suma un total de cuatro terminales. Cada módulo encaja con el anterior y con el posterior, realizando la comunicación a través de un bus de datos incorporado.



Figura 16. Equipo de control modular de Omron.

El diagrama superior corresponde a la disposición en el rack de cada uno de los módulos de entradas y salidas. Los primeros dos terminales, AD081-V1 y DA021, corresponden a las entradas y salidas analógicas, respectivamente. Los dos últimos, a las entradas y salidas digitales, respectivamente.

Los parámetros de funcionamiento deben configurarse en el software para que éste conozca la posición en el rack de cada módulo y sus rangos de trabajo.

Se procede a explicar cada elemento por separado.

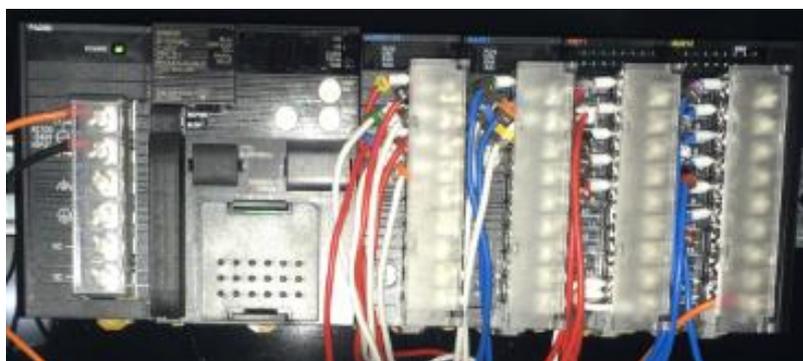


Figura 17. (De izquierda a derecha) PLC, entradas analógicas, salidas analógicas, entradas digitales, salidas digitales.

a. PLC Omron CJ2M CPU31

El autómata es el encargado de gestionar la información enviada por los módulos de adquisición de datos para enviar una respuesta a los terminales de salida. En general, un PLC tiene una estructura interna parecida a la de un ordenador. La unidad central de control o CPU, se encarga de la ejecución del programa de control realizando operaciones aritméticas y lógicas en base al valor de un determinado conjunto de variables que pueden ser de entrada, salida o internas. El valor de las variables de entrada viene definido por el terminal de entradas. El valor de las de salida lo determina el programa de control, en la CPU, y es enviado al módulo de salidas. Sendas memorias se encargan de guardar los datos, ya sean variables o programa. Los terminales de E/S trabajan con tensiones del rango continuo, por lo que es necesaria una fuente de alimentación. También pueden disponer de un terminal de programación incorporado. Para realizar las comunicaciones con la red o con periféricos se dispone de un conjunto de terminales, que suelen ser para conexión a red, Ethernet, o a periféricos, USB y RS-232.

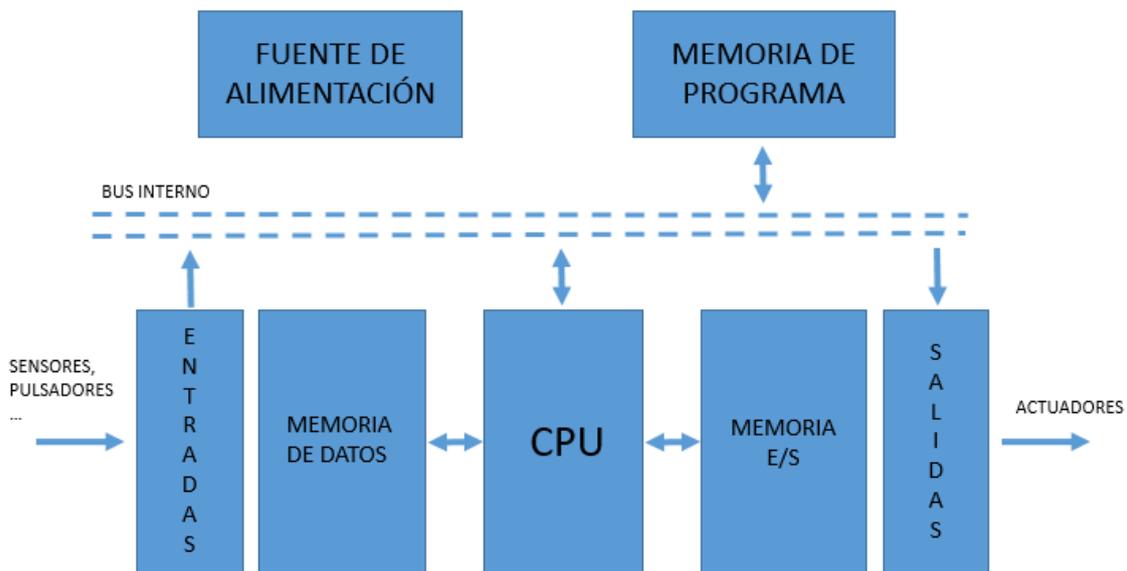


Figura 18. Esquema interno de un PLC.

En este caso se ha escogido un PLC modular. Esto implica que los módulos de entradas y salidas van aparte del autómata.



Figura 19. PLC Omron CJ2M CPU31.

En la ilustración se muestra el PLC Omron CJ2M escogido. En la parte frontal pueden verse los puertos para periféricos que incluye, que, en este caso, son un puerto USB y un puerto Ethernet.

En el lateral derecho del mismo se encuentra la clavija del bus de datos en el que van conectados los terminales de entrada y salida. En la parte posterior se encuentra el acople para el raíl de soporte en el cuadro eléctrico.

A continuación se muestra un extracto de la hoja de características que incluye las especificaciones generales del dispositivo, como las eléctricas (consumo de potencia, conexionado a tierra...) o las dimensiones. Como se observa en la tabla, está diseñado para soportar las condiciones ambientales de la zona en la que va a trabajar (hasta 90% de humedad, rango de temperaturas de -20°C a 70°C...).

General Specifications

Item	CJ2M-	
	CPU1□	CPU3□
Enclosure	Mounted in a panel	
Grounding	Less than 100 Ω	
CPU Rack Dimensions	90 mm × 75 mm × 31 mm	90 mm × 75 mm × 62 mm
Weight	130 g or less	190 g or less (see note)
Current Consumption	5 VDC, 0.5 A	5 VDC, 0.7 A
Use Environment	Ambient Operating Temperature	0 to 55°C
	Ambient Operating Humidity	10% to 90%
	Atmosphere	Must be free from corrosive gases.
	Ambient Storage Temperature	-20 to 70°C (excluding battery)
	Altitude	2,000 m or less
	Pollution Degree	2 or less: Conforms to JIS B3502 and IEC 61131-2.
	Noise Immunity	2 kV on power supply line (Conforms to IEC 61000-4-4.)
	Overvoltage Category	Category II: Conforms to JIS B3502 and IEC 61131-2.
	EMC Immunity Level	Zone B
	Vibration Resistance	Conforms to IEC60068-2-6 5 to 8.4 Hz with 3.5-mm amplitude, 8.4 to 150 Hz Acceleration of 9.8 m/s ² for 100 min in X, Y, and Z directions (10 sweeps of 10 min each = 100 min total)
Shock Resistance	Conforms to IEC60068-2-27 147 m/s ² , 3 times in X, Y, and Z directions (100 m/s ² for Relay Output Units)	
Battery	Life	5 years at 25°C
	Model	CJ1W-BAT01
Applicable Standards	Conforms to cULus and EC Directives.	

Note: Without a Serial Option Board.

Figura 20. Especificaciones generales del PLC CJ2M de Omron.

En el Anexo 1 se han incluido el resto de especificaciones técnicas.

b. Módulo de entradas analógicas AD081-V1

Esta extensión cuenta hasta con 8 entradas analógicas que pueden aceptar tensión o corriente. En la tabla inferior se muestran los valores específicos que admite el dispositivo.

El terminal (modelo AD081-V1 de Omron) se encarga de recibir las señales procedentes del sensor de carbónico (A3-A4, marcadas en azul en la ilustración inferior) y la señal de retorno de la electroválvula (A1-A2, marcadas en amarillo). En la ilustración inferior se muestran los terminales a los que se conectan estas señales, situados en la cara frontal del módulo. La tapa se abate y los cables se sujetan mediante tornillos. Junto a los puntos de conexión de las señales, a la izquierda, se pueden ver el selector de rack y de unidad, que deben ser posicionados acorde a la ubicación que ocupe el terminal en el rack. En este caso se ha seleccionado el valor 0 en ambos selectores.

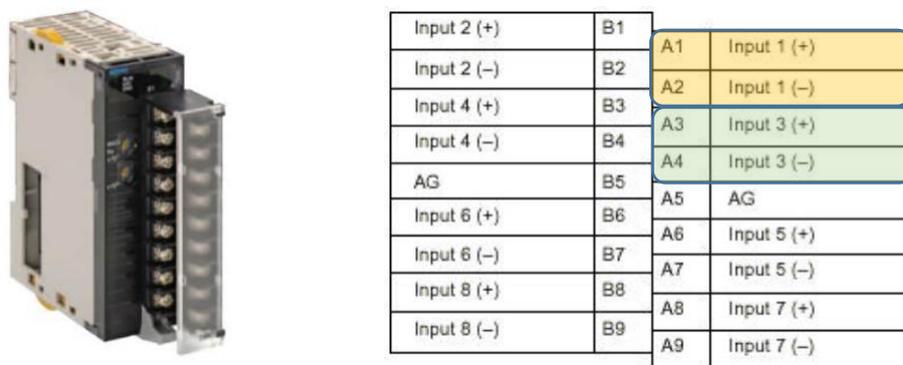


Figura 21. Módulo de entradas analógicas Omron AD081-V1 (izda.) y esquema de terminales (dcha.).

La tabla es un extracto de la hoja de características que ofrece los valores necesarios para la programación. En el presente proyecto se ha usado la entrada de corriente. La salida que ofrece es un valor entre 0 y 4000 que, posteriormente, se escala para poder operar con él.

Tipo de señal	Rango de trabajo	Valores máximos	Resolución (puntos)	Precisión (%)	Tiempo de conversión (ms)	Dato de salida	Consumo (W)
Tensión	[0..5]V [1..5]V [0...10]V [-10...10]V	±15V	4000	0.2	1	16-bit binario	2.1
Corriente	[4...20]mA	±30mA		0.4		16-bit binario	

Figura 22. Características eléctricas del terminal de entradas analógicas AD081-V1.

En el Anexo 1 se adjunta la hoja de características del terminal.

c. Módulo de salidas analógicas DA021

El módulo de salidas analógicas es el encargado de suministrar la señal de control al actuador correspondiente, en este caso, la electroválvula. Para ello, se ha escogido la salida de voltaje del puerto A (A1-A2, en amarillo en la ilustración inferior).

El modelo (DA021 de Omron) escogido, cuenta con dos salidas analógicas de transistor que pueden trabajar con tensión o corriente. El esquemático siguiente muestra la distribución de entradas y salidas del terminal.

El cableado se realiza como en el caso anterior. La configuración del selector de posición y unidad en el rack es, en este caso, rack 0 posición 1.

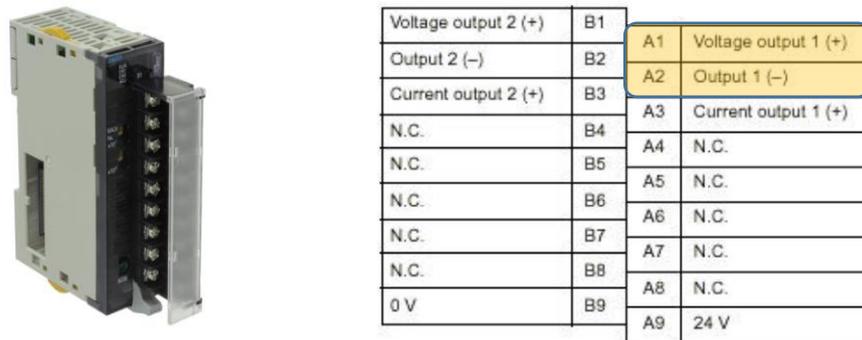


Figura 23. Módulo de salidas analógicas Omron DA021 (izda.) y esquema de salidas (dcha.).

La tabla siguiente muestra las características eléctricas principales del módulo.

Tipo de señal	Rango de trabajo	Valores máximos	Resolución (puntos)	Precisión (%)	Tiempo de conversión (ms)	Dato de entrada	Consumo (W)
Tensión	[0..5]V [1..5]V [0...10]V [-10...10]V	±15V	4000	0.3	1	16-bit binario	3.96
Corriente	[4...20]mA	±30mA		0.5		16-bit binario	

Figura 24. Características eléctricas del terminal DA021 de Omron.

Se ha configurado la salida de tensión 1 (ilustración 7, dcha.) para trabajar en el rango [0...10](V). En esta configuración ofrece una precisión de 0.03V, suficiente para esta aplicación.

En el Anexo 1 se incluyen el resto de características técnicas del módulo.

d. Módulo de entradas digitales ID211

El módulo de entradas digitales ID211 de Omron cuenta con 16 entradas digitales. Cuando la tensión o corriente entrante supera una determinada tensión, se activa un circuito aislador acoplado ópticamente, u optocoplador, ofreciendo un 1 lógico a la salida. Es útil cuando el sistema cuenta con pulsadores, botones, fotocélulas, finales de carrera... En este caso se encarga de recibir las señales procedentes del pulsador de emergencia (A0, marcada en amarillo en la ilustración inferior) y de la alarma general del sensor de CO₂ (A1, en azul).

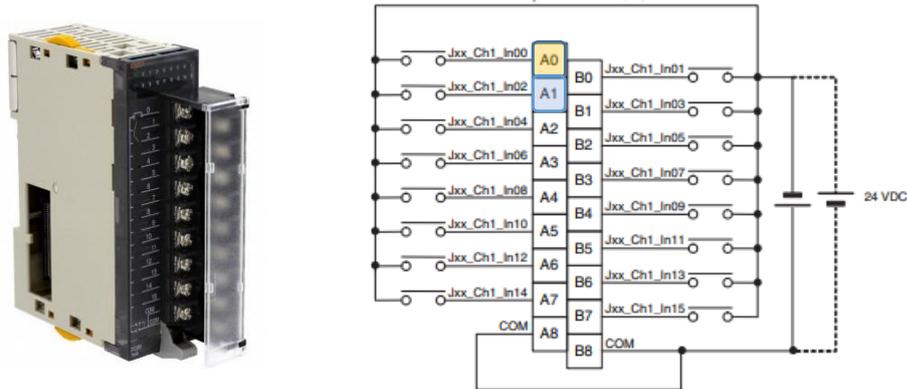


Figura 25. Módulo de entradas digitales Omron ID211 (izda.) y esquema de entradas (dcha.).

En el esquema de la derecha se puede ver la disposición de las entradas. También se aprecia que los terminales comunes de ambos puertos (A8 y B8) deben estar conectados a los 0V de la fuente de alimentación.

Las características de funcionamiento del módulo se exponen a continuación:

	Tensión / corriente	Tiempo de respuesta (ms)	Consumo máximo (W)
ON	14.4V / 3mA (mínimo)	8	0.192
OFF	5V / 1mA (máximo)		

Figura 26. Características del módulo de entradas digitales ID211 de Omron.

De manera que el terminal ofrece un 1 lógico para tensiones superiores a 14.4V, y pasa al 0 lógico cuando la tensión cae por debajo de los 5V, y análogamente con la intensidad.

En el anexo 1 está adjuntada la hoja de características del dispositivo.

e.Módulo de salidas digitales OD212

El módulo de salidas digitales OD212 de Omron cuenta con 16 salidas de transistor, asiladas por un optoacoplador. Este tipo de dispositivo se utiliza para emitir señales de tipo binario. Un ejemplo sería controlar en encendido de un LED, o la conexión o desconexión de un termostato. O, como en este caso, para activar/desactivar los relés de los indicadores de emergencia. El sistema cuenta con dos, la baliza y la sirena, que indican un posible fallo en el sensor. Han sido conectados, respectivamente, a las salidas A4 (azul en la ilustración inferior) y A3 (amarillo) del módulo.

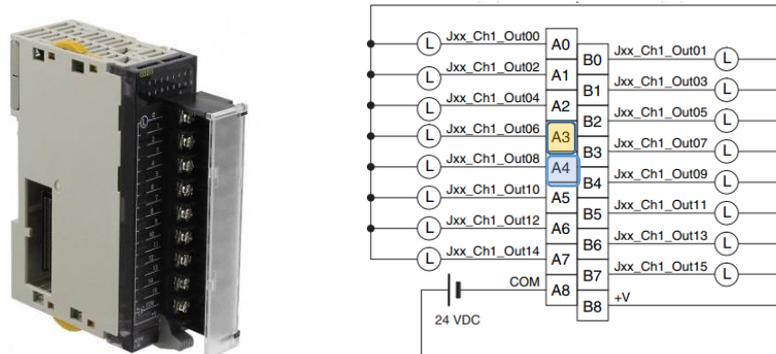


Figura 27. Módulo de salidas digitales OD212 (izda.) y esquema de salidas (dcha.).

Como indica el esquema de la derecha, los terminales comunes, A8 y B8, se han conectado a la salida de 24V de la fuente de alimentación.

La siguiente tabla agrupa las principales características de funcionamiento del terminal:

Corriente de carga máxima	Corriente de fuga máxima	Voltaje residual máximo	Tiempo de respuesta ON	Tiempo de respuesta OFF	Consumo máximo (W)
0.5 A	0.1 mA	1.5 V	15 μ s	0.3	0.75

Figura 28. Características del módulo de salidas digitales OD212 de Omron.

El módulo ofrece 24V de continua a la salida.

2. Sensor Centec Carbotec

Como se ha comentado, la empresa ya disponía del sensor de carbónico, modelo Carbotec de la marca Centec. A continuación se realiza una exposición del principio de funcionamiento, la calibración y sus características físicas principales.

Este dispositivo de medición de carbónico en línea hace uso del efecto descrito en la ley de Henry, a saber:

“A temperatura constante, la cantidad de gas disuelta en un líquido es directamente proporcional a la presión parcial que ejerce este gas sobre el líquido” (Wikipedia).

O, en términos matemáticos: $C_i = p_i \cdot k_H$;

Ecuación 7. Ley de Henry.

Donde k_H representa la constante de Henry, que depende del gas, la temperatura, y el líquido. El sensor aplica este principio aislando una muestra de 30 mililitros cada cierto tiempo, en este caso 20 segundos –ya que el vino tarda de media dicho tiempo en recorrer el tramo desde la válvula al sensor-, y genera una descompresión aumentando abruptamente el volumen de la muestra, de manera que, al caer por debajo de la presión atmosférica, la presión resultante en la cámara varía de la producida por un líquido no carbonatado según el nivel de carbónico disuelto. Este diferencial de presión es el utilizado para calcular el contenido en gas de la muestra.

Tiene un rango de medida de [0...10]g de CO₂ /l, suficiente para las medidas que se realizan en la planta, pues el producto con más carbónico, el Sandara, apenas llega a los 7g de CO₂ /l.

Antes de trabajar con el dispositivo, se ha comprobado si está calibrado. Para ello, se ha comparado un conjunto de 10 medidas (4 de vino dulce, 3 de vino rosado, 3 de blanco) del sensor con sus equivalentes de laboratorio, siguiendo el siguiente proceso:

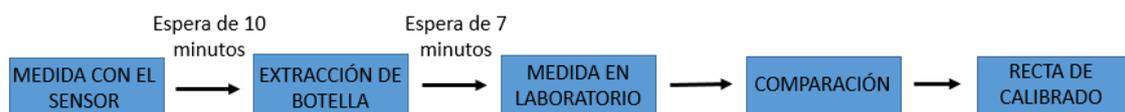


Figura 29. Proceso de calibración del sensor de carbónico.

Se realiza una medida de la concentración de CO₂ con el sensor, y se anota el valor. Tras 10 minutos, se toma una botella de la línea. La espera es debida al tiempo de recorrido del producto desde su paso por el sensor hasta su embotellamiento y taponamiento final. Una vez extraída la botella, se va al laboratorio para realizar la medición. Después, se compara con la medida proporcionada por el sensor. Una vez realizadas las 10 medidas, se construye una recta de calibrado.

Si se calcula la media del error, se obtiene 0.083. Por tanto, se decide realizar un ajuste de offset en el propio dispositivo, pues tiene una función incorporada para ello. Dado que el dispositivo ofrece una función interna de offset, se realiza ahí el propio ajuste, de un valor de +0.08.

Medida	Laboratorio	Sensor
1	0.62	0.53
2	0.61	0.5
3	0.59	0.51
4	0.7	0.62
5	0.72	0.61
6	0.68	0.57
7	0.67	0.6
8	0.7	0.63
9	0.71	0.65
10	0.73	0.68

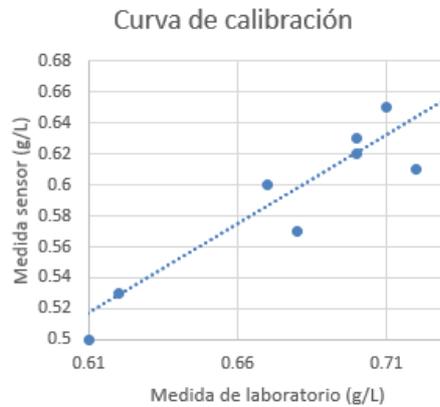


Figura 30. Resultados de las medidas (izda.). Curva de calibración (dcha.).

El dispositivo dispone de dos salidas [4...20]mA, ambas configurables, ya que también ofrece la posibilidad de obtener medidas de la temperatura y la presión del líquido, pues le son necesarias para realizar ajustes en el cálculo del contenido gaseoso.

Además de las salidas analógicas, dispone de tres salidas y seis entradas digitales. Las salidas son alarmas que indican límite superior-superior/inferior-inferior –HH/LL-, límite superior/inferior –H/L-, y alarma general, que refiere o bien a un posible mal funcionamiento o bien a la superación del límite de humedad, que puede desencadenar problemas en la placa del sensor. En cuanto a las entradas, las cinco primeras pueden habilitarse como selectores de producto, y la sexta puede realizar la función de sexto bit de selección o de bit para congelar la medida, según la configuración.

De las variadas funciones que ofrece el sensor, se va a hacer hincapié en las 3 que se han usado. Dado que sólo se dispone de 3 productos, se ha deshabilitado la función de selección mediante entradas digitales, y se ha programado el sexto bit como interruptor de medida. Por último, la segunda salida analógica se ha configurado para medir temperatura que, aunque no se usa para la programación, es de utilidad para la empresa.



Rango de medida	0-10 g/L
Precisión	±0.05 g/L
t_{RESPUESTA}	≤ 20 s
P_{OPERACIÓN}	10 bar (máx.)
Entradas	6 digitales (24V)
Salidas	3 dig.(24V) / 2 anal.(4.20mA)
IP	65
Alimentación	24 VDC

Figura 31. Sensor de gas carbónico Centec Carbotec y tabla de características principales.

3. Electroválvula

La válvula elegida es una válvula proporcional de solenoide de la marca Asco Numatics, modelo Preciflow junto a una caja numérica de regulación que convierte una señal [0...10]V en una señal de control PWM.

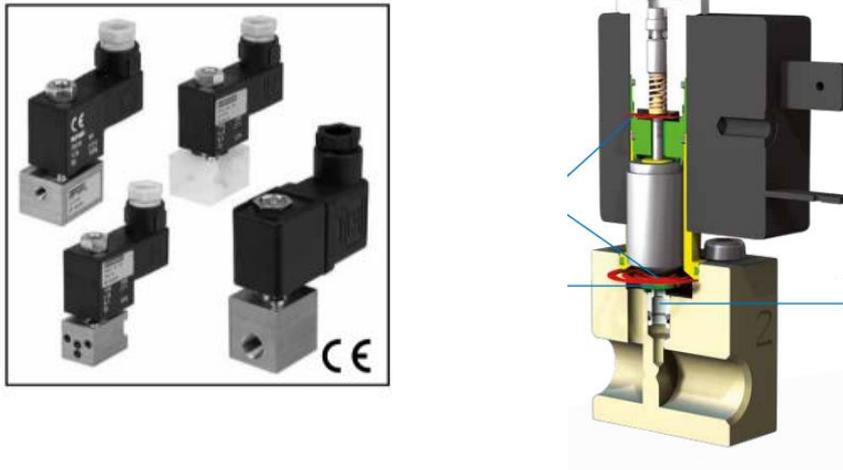


Figura 32. Electroválvula Asco modelo Preciflow .

Para la elección de la válvula se ha tomado como referencia la ya instalada. Como se ha explicado anteriormente, ésta es una válvula de aguja, que trabaja a una presión de entrada de 8 bares, con un caudal volumétrico máximo de 1 m³/h, aproximadamente a 20°C. Teniendo en cuenta que, en el caso de los gases, el valor del coeficiente k_v de la válvula viene dado por

$$k_v = \frac{Q_N}{25\sqrt{7 \cdot P_{in}}} \cdot \sqrt{S \cdot G \cdot N \cdot T} ;$$

Ecuación 8. Valor del coeficiente k_v .

Donde Q_N es el caudal volumétrico en m³/h, P_{in} es la presión de entrada en bares, $S \cdot G \cdot N$ es la densidad relativa del CO₂ y T es la temperatura en grados Kelvin.

Se procede a calcular el valor sabiendo que la densidad relativa del dióxido de carbono es 1'53:

$$k_v = \frac{1}{257 \cdot 8} \cdot \sqrt{1'53 \cdot 293'15} = 0.01 \frac{m^3}{h} ;$$

Ecuación 9. Cálculo del coeficiente k_v para el CO₂.

El modelo Preciflow elegido tiene un coeficiente de caudal de 0.018 m³/h, un poco superior, pero la diferencia no afecta a la aplicación. Otras características de interés son:

Racordaje	Coef. de caudal	P _{min} admisible	P _{máx} admisible	Potencia bobina
G 1/8	0.018 m ³ /h	-0.9 bar	10 bar	5 W

Figura 33. Características de la electroválvula.

El mismo fabricante de la electroválvula dispone de cabezales de control. Para esta, en concreto, el cabezal pertenece a la serie 908, modelo X90850164500100. Este dispositivo convierte una



Figura 34. Adaptador para electroválvula (izda.). Cabezal PWM (dcha.).

señal de control 0-10V en una señal PWM. El cabezal tiene una tensión de alimentación de 24 V y debe ser conectado a la electroválvula mediante un adaptador Tipo 2 de Asco.

4. Pantalla Omron

El *Human-Machine Interface*, HMI en adelante, es un dispositivo táctil que supone una gran ventaja frente a los dispositivos convencionales. En este caso, el dispositivo cuenta con una pantalla TFT-LCD de 7 pulgadas y buena resolución (800x480 píxeles) que permite representar diagramas del proceso, así como las respectivas lecturas en tiempo real, ofreciendo un entorno más accesible al operario. También da la opción de mantener un registro del histórico de datos, como la concentración. Se trata de un dispositivo táctil de fácil manejo y programación. Dispone de conexión Ethernet, Profibus y USB industrial. Cuenta con un IP65, que indica que protege frente al polvo y el contacto directo con el agua. Además, ofrece una buena relación calidad-precio. Por estas razones se ha escogido este dispositivo frente a otros del mercado.



Screen diagonal	7 in
Number of pixels, horizontal	800
Number of pixels, vertical	480
Type of display	TFT
Frame colour	Black
Number of Ethernet ports	1
Number of RS-232 ports	2
Number of RS-422 ports	1
Number of RS-485 ports	1
Number of USB ports	2
Number of colours of the display	65536
Number of grey-scales/blue-scales of display	64
Degree of protection (IP), front side	IP65
Width of the front	202.0 mm
Height of the front	148 mm
Built-in depth	46 mm

Figura 35. HMI Omron NB7 (arriba) y tabla de especificaciones (dcha).

5. Armario eléctrico Schneider

El armario eléctrico es un elemento importante en el sistema porque es el encargado de proteger a los elementos electrónicos de suciedad y humedades. Existen distintos tipos (acero, poliéster, metacrilato...), según el requerimiento de la aplicación. En este caso se ha buscado un material que permita realizar modificaciones sobre su superficie fácilmente. Por ello se ha escogido el acero galvanizado con un IP66. Tiene unas dimensiones de 800x600 mm.



Entorno	
Grado de protección IP	IP66 acorde a IEC 60529
Grado de protección IK	IK10 acorde a IEC 62262
altura nominal del armario	800 mm
anchura nominal del armario	600 mm
profundidad nominal del armario	250 mm
tipo de accesorio de instalación	Montaje mural

Figura 36. Armario eléctrico Schneider (izda.) y tabla de especificaciones (dcha).

6. Placa de montaje Schneider

La placa de montaje es el elemento de unión entre el armario y los dispositivos que alberga, y es sobre el que van montados los carriles que soportan al sistema eléctrico. En este caso se ha escogido el modelo NSYSMB86 de Schneider Electric, pues se busca un buen material con aislamiento con fijación directa sobre el armario. Sus dimensiones son 765x550 mm. Soporta una carga de hasta 120kg.



Principal	
Gama	Spacial
Accesorio / categoría de parte separada	Accesorio de montaje
Tipo de producto o componente	Placa de montaje
Application	Multiuso
For enclosure nominal dimensions	800 mmA: 600 mm 800 mmA: 1200 mm
Ubicación de montaje	Fijación directa en pernos Soporte desplazable
Descripción de la placa de montaje	Plano
Compatibilidad de gama	Spacial S3D Spacial CRN Spacial S3X Thalassa PLM
Cantidad por juego	Set de 1
Material	Baquellita
Color	Negro - tipo de cable: RAL 9005)
Complementario	
Modo de fijación	Atornillado en pernos - tipo de tornillo M8 Mediante elemento de fijación
Carga permanente admisible	120 kg
Altura	765 mm
Anchura	550 mm
Grosor	4 mm
Peso del producto	23 kg
Particularidad de variante	Con armarios Al 800 x An 1200

Figura 37. Placa de baquelita Schneider y hoja de características.

7. Indicadores luminosos

Por motivos de seguridad, se ha colocado en la parte frontal del armario un indicador luminoso blanco que advierte de la presencia de corriente en el sistema. También se ha dispuesto una baliza en la parte superior del mismo como señal de alarma, ya sea por mal funcionamiento, o por fallo o rotura de algún componente.

Para la baliza, se ha escogido un dispositivo acústico-luminoso Rodman, modelo RALS_0. Se ha conectado a la red de 220V, y el control se ha llevado a cabo mediante dos relés (uno para el indicador luminoso, otro para el acústico), comandados por las salidas 3 y 4 del puerto A del terminal de salidas digitales.



Avisador **ACÚSTICO** INTERMITENTE.
 Sonido por PIEZOELÉCTRICO de 85 dB.
 Avisador luz INTERMITENTE de LED.
 LED de 450 LUMENS 5 Watts.
 ALTA INTENSIDAD de LUZ.
 VISIBILIDAD OMNIDIRECCIONAL 360°.
 180° en eje horizontal.
 Mayor visión DIURNA..
 Alto RENDIMIENTO y FIABILIDAD.
 Caja en ABS blanco.
 Óptica de POLICARBONATO en colores:
 ROJO, ÁMBAR, VERDE, AZUL y TRANSPARENTE.

CODIGO	TENSION	CONSUMO	IP	UND / CAJA	PVP
RALS_0	230 / 48 Vca	0.2 A.			68,-
RALS_5	24 Vcc/ca	0.2 A.	IP63	6	65,-
RALS_7	12 Vcc	0.4 A.			

ROJO AMBAR VERDE AZUL TRANSP.

ALCANCE:	100 a 300m. según la luz ambiental.
POTENCIA LED:	5 Watts.
POTENCIA SONIDO:	85 dB a 1 m.
FLUJO LUMINOSO LED:	450 Lumens.
FRECUENCIA:	40 a 60 ciclos / minuto.
VIDA DEL LED:	±50.000 Horas.
MONTAJE:	SUPERFICIE.
DIMENSIONES:	Ø100 x 94 mm. 200 grs.

APLICACIONES: Parkings, maquinaria, almacenes, balizamiento, tractores, antenas, grúas, obras y vía pública, carretillas elevadoras,...

Figura 38. Baliza Rodman (izda.) y ficha técnica (dcha.).

El indicador luminoso está conectado inmediatamente después del interruptor diferencial general a 220V. Su consumo de potencia máximo es de 4'8W.



Base de bombilla	LED integral
[Us] tensión de alimentación nominal	230 ... 240 V CA 50/60 Hz
Límites de tensión de alimentación	195...264 V CA
Consumo de corriente	16...20 mA
Duración	70000 H a tensión nominal y 25 °C

Figura 39. Indicador luminoso Schneider (izda.) y detalle de ficha técnica (dcha.).

8. Protección eléctrica

Es imprescindible añadir elementos de protección contra derivaciones, sobretensiones, cortocircuitos y sobrecargas. Se ha dividido el circuito y se han dispuesto los elementos de protección jerárquicamente siguiendo el siguiente esquema:

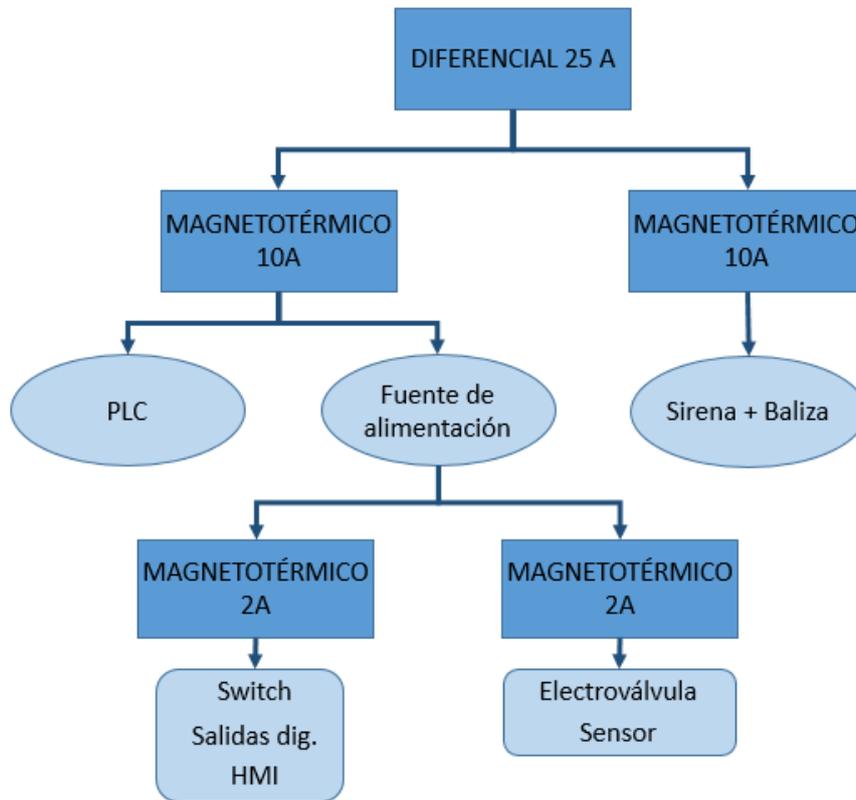


Figura 40. Esquema de distribución de protecciones.

El primer circuito se divide en dos etapas:

La primera, situada a la izquierda, corresponde al bloque de sensado y control. Tras la fuente de alimentación se ha dividido el circuito en base a si el elemento queda dentro o fuera del circuito. Así, por un lado están el sensor y la electroválvula, y por el otro el switch, la pantalla, y el terminal de salidas analógicas, que necesita ser alimentado a 24V.

La segunda etapa protege los indicadores de seguridad: la baliza y la sirena.

En el documento "Planos" se encuentran adjuntados todos los esquemas eléctricos. En la siguiente página se muestran dos, el de alta tensión y el de baja, pues aquí es donde se encuentran las protecciones.

ALTA TENSIÓN

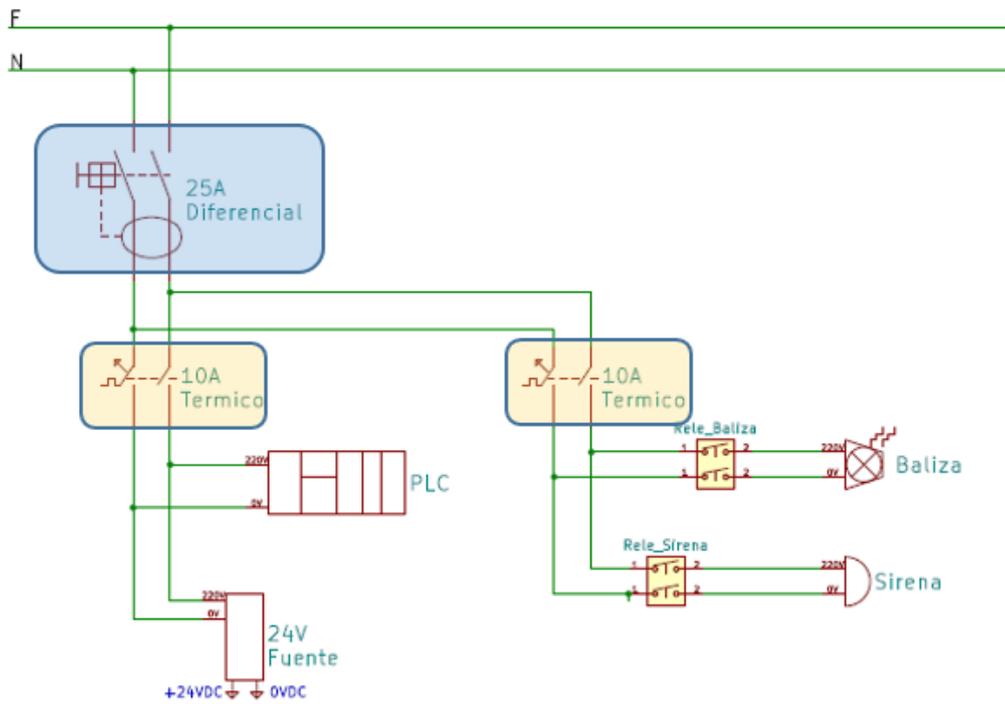


Figura 41. Esquema eléctrico de alta tensión.

BAJA TENSIÓN

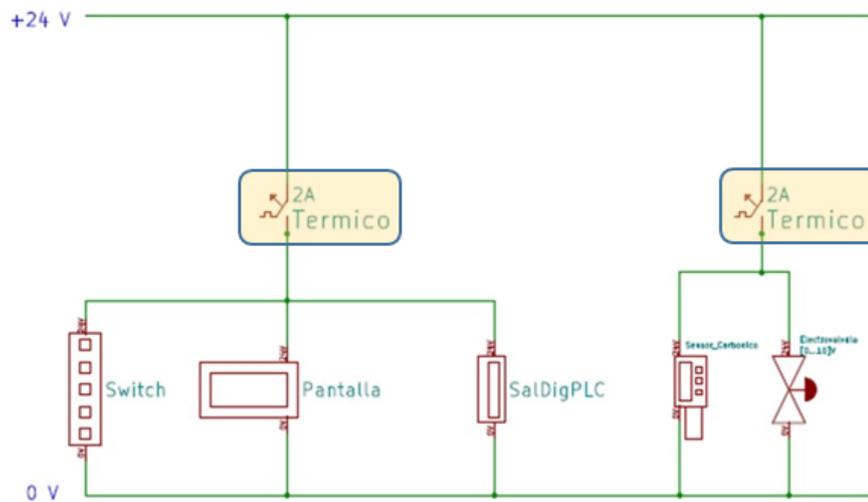


Figura 42. Esquema eléctrico de baja tensión.

a. Magnetotérmico

Este elemento protege contra cortocircuitos, producidos por un contacto accidental entre fase y neutro, y sobrecargas, donde debido a la conexión de un número de elementos superior al soportado por el circuito, se produce un calentamiento que puede llegar a provocar daños en la circuitería. El funcionamiento se basa en dos efectos producidos por la circulación de corriente a través de un conductor: el magnético y el efecto Joule. El primero viene dado por un electroimán, un elemento que produce un campo magnético de intensidad directamente proporcional a la corriente que circula por él, de manera que trata de abrir el contacto metálico atrayéndolo hacia sí mismo, consiguiéndolo sólo en caso de que la corriente supere el límite para el que ha sido diseñado. Esta es la protección frente a cortocircuitos. El segundo hace uso del efecto Joule, que describe cómo al circular corriente por un conductor, su temperatura aumenta proporcionalmente a la intensidad de dicha corriente, debido a los choques entre los electrones y los átomos que constituyen el material conductor, de manera que al producirse un calentamiento progresivo con corrientes que no superan el límite de diseño, se deforma una lámina bimetálica abriendo el contacto, protegiendo así frente a sobrecargas.

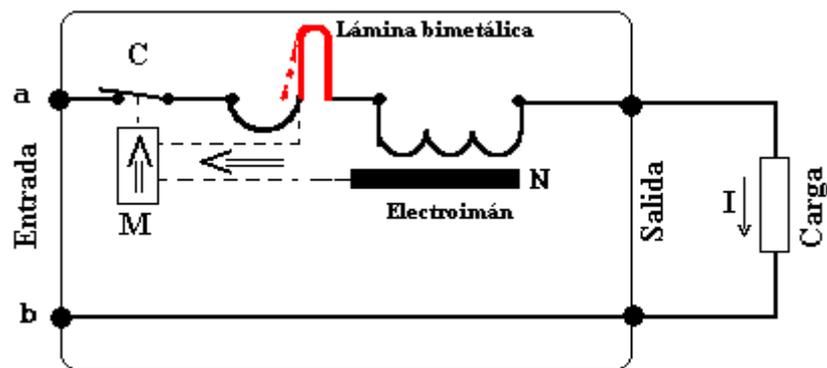


Figura 43. Esquema interior de un interruptor magnetotérmico.

Se han usado tres tipos de magnetotérmico:

10 A Bipolar	10 A Unipolar	2A Unipolar
Potencia de corte: 6 kA	Potencia de corte: 6 kA	Potencia de corte: 6 kA

Figura 44. Interruptores magnetotérmicos usados en el proyecto.

b. Diferencial

Cuando se produce un contacto de algún elemento conductor, ya sea un objeto metálico o una persona, con una parte poco o mal aislada del circuito, puede producirse una derivación eléctrica, que en el caso de objetos puede provocar incendios, y en el caso de personas puede implicar un gran peligro, incluso de muerte. Para evitarlo, este dispositivo compara las corrientes de entrada y salida. Ambas deben tener el mismo valor, ya que, si existe diferencia, existe una fuga o derivación de corriente. Si esto sucede, el interruptor se abre automáticamente.

En el sistema se ha usado como protección general un interruptor diferencial de 25A y una sensibilidad de 30mA.

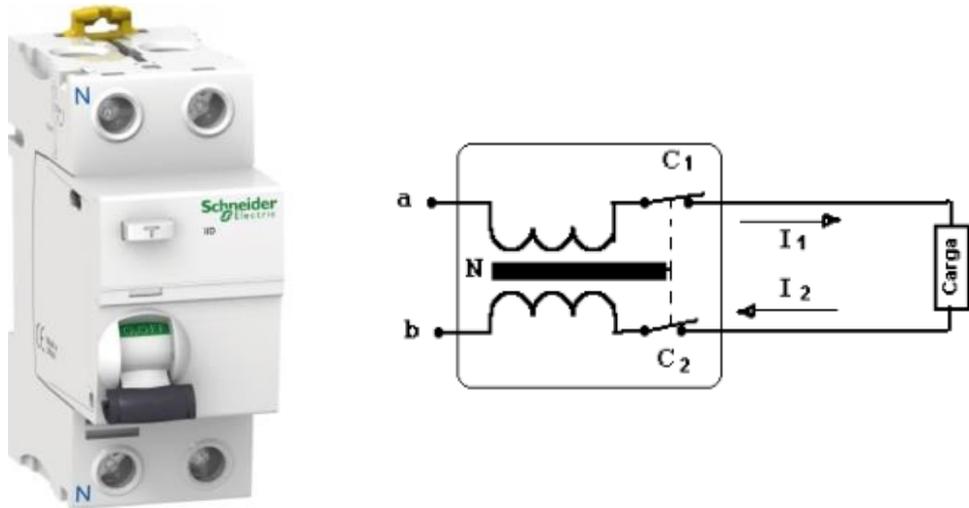


Figura 45. Interruptor diferencial Schneider (izda.) y esquema de funcionamiento (dcha.).

c. Relé

Este dispositivo tiene dos funciones dentro del proyecto. Por un lado, recoge las salidas digitales(24V) del PLC que conectan la sirena y la baliza. Además, proporciona aislamiento entre los circuitos de alta y baja tensión, ya que estos elementos funcionan con corriente alterna de 220V. Los relés usados en el circuito son optoacoplados, de manera que existen dos circuitos independientes en su interior, uno con un diodo luminoso, y el otro con un transistor fotosensible, de manera que, además de transmitir la señal, aísla al sistema. La señal de control activa el diodo, y la luz emitida por éste satura el semiconductor, permitiendo el paso de corriente y cerrando el circuito de alta tensión.

En el proyecto se han usado relés de estado sólido de la marca Weidmuller, modelo TOS.

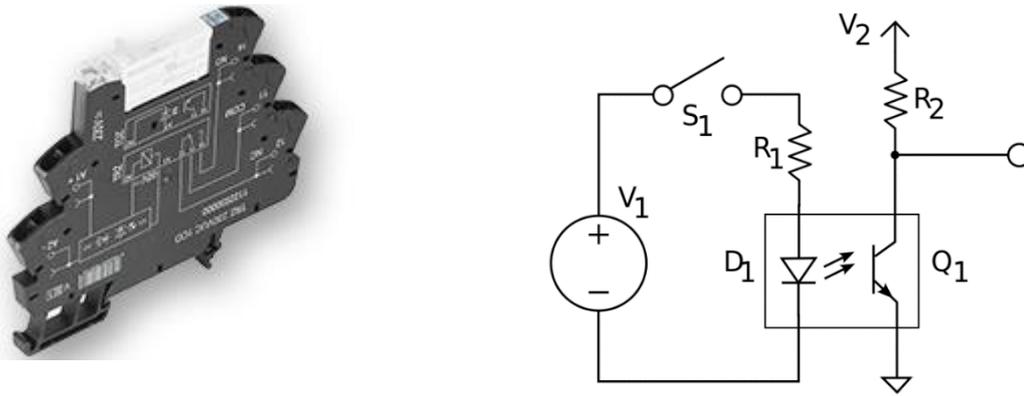


Figura 46. Relé Weidmuller (izda.) y esquema interno (dcha.).

El relé escogido tiene las siguientes características:

Tensión de entrada	24 VDC
Tensión de salida	230 VAC
Intensidad máxima	1 A

Figura 47. Características eléctricas del relé.

9. Otros elementos eléctricos

a. Fichas

Elemento que sirve para empalmar dos cables, mediante una placa metálica, pasando a ser un único conductor. En este caso se han utilizado para conectar los elementos externos al cuadro: las electroválvulas, los sensores, la toma de corriente y la toma a tierra.

En el sistema se han usado fichas de la marca Schneider Electric, modelo TR de la gama Linergy, con una intensidad máxima de trabajo de 24 A.



Figura 48. Borna de conexión Schneider.

b. Interruptor de emergencia

Elemento que interrumpe el funcionamiento normal del equipo, de accionamiento manual, pero sin dejarlo sin corriente, como es el caso del interruptor general. Suele accionarse en caso de emergencia, para evitar daños en el equipo o en el personal. En este caso, al no ser posible por las características físicas del equipo, herir a ningún operario por mal funcionamiento, sólo se usa para evitar que un mal funcionamiento del equipo pueda echar a perder la producción diaria.

Para este proyecto se ha usado uno de tipo hongo de la marca Schneider Electric, modelo ZB4BS844 de la gama Harmony XB4, junto a un bloque de contacto ZBE101 de la misma gama.



Seta	
Tipo de acción	Trigger
Protección contra descargas	Clase I (IEC 61140)
IP	66
Bloque de contacto	
I nominal de empleo	3 A (240 V)
V nominal de aislamiento	600 V
IP	20

Figura 49. Interruptor de emergencia y bloque de contacto Schneider (izda.) y resumen de características (dcha.).

c. Cableado

Dado que las distancias son muy cortas, y las tensiones bajas, la elección de los cables ha sido sencilla.

Se han usado cables de cobre de 0'5 mm² de sección para la baja tensión, de distintos colores: rojo para el terminal positivo de las entradas del PLC, azul para el positivo de las salidas del PLC, blanco para los negativos, y naranja para las tomas de tensión.

Para la alta tensión, se ha usado cable de 0'75 mm² de sección, también diferenciado por colores, manteniendo el naranja para aquellos conductores que dan tensión a los dispositivos, negro para los negativos y azul para la baliza y la sirena.

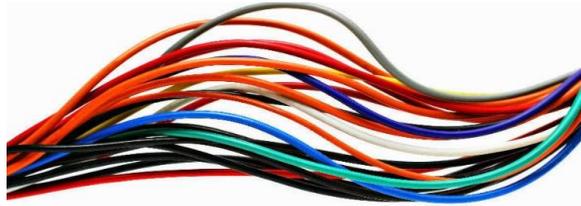


Figura 50. Cables usados en el cuadro eléctrico.

Para la toma a tierra se ha usado cable de 1 mm² de sección, de color verde y amarillo.

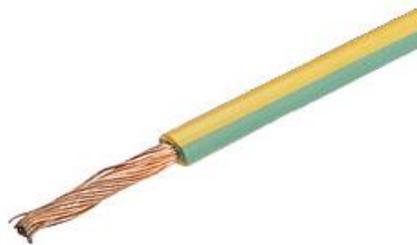


Figura 51. Detalle de cable de toma a tierra.

Para las señales del sensor ha sido necesario usar cable apantallado trenzado de 6 hilos (+VCC,-VCC, +Lectura, -Lectura, Función Freeze, libre).

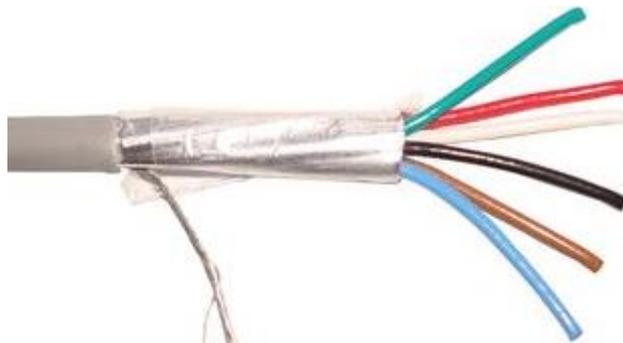


Figura 52. Detalle de cable apantallado trenzado de 6 hilos.

Para la electroválvula, se ha utilizado cable de cinco hilos con conexión M12, lo habitual para señales de control.



Figura 53. Conexión M12 y cable.

10. Fuente de alimentación

Este dispositivo permite transformar energía eléctrica mediante la combinación de transistores conmutando a alta frecuencia, un transformador, y una etapa de filtrado. La tensión de entrada puede ser alterna o continua, así como la de salida, dependiendo del diseño.

En este proyecto se ha utilizado una fuente Omron S8VK-12024, que transforma 220V de alterna en 24V de continua. Este modelo procesa la señal filtrando el ruido, aquellas ondas no deseadas que pueden provocar malos funcionamientos en los dispositivos. Seguidamente la convierte en continua mediante rectificador de onda completa, y le filtra los armónicos, aquellas componentes de la onda de orden superior a la fundamental, de orden 1 en la serie de Fourier, que pueden provocar pérdidas de potencia del sistema. Este paso permite reducir la distorsión armónica total -THD por sus siglas en inglés-, aumentando la eficiencia de la fuente, que se sitúa entorno al 90%. El siguiente elemento protege al circuito contra la corriente de irrupción, un pico de corriente que se produce después de cada encendido de la fuente, y que puede llegar a ser 40 veces superior a la corriente de salida. El circuito de control estabiliza la tensión y la mantiene constante frente a posibles variaciones mediante el accionamiento de un servomotor que aumenta o reduce el número de espiras de un transformador de columna, según la lectura del voltímetro. El transformador reduce la tensión y aumenta la corriente, que finalmente se estabiliza.

Cabe destacar que esta fuente tiene un amplio margen de temperatura de trabajo (-40/+70°C), fundamental para el emplazamiento, pues en invierno la humedad crea un entorno muy frío, del orden de 5 °C, mientras que en verano se alcanzan temperaturas entorno a los 40°C.

La siguiente tabla expone las características principales de funcionamiento.



Potencia	120 W
Alimentación	240 V
Voltaje de salida	24 V
Intensidad de salida	5 A

Figura 54. Fuente de alimentación S8VK-12024 de Omron (izda.) y características principales (dcha.).

La fuente se encarga de alimentar el circuito de baja potencia (ilustración 17), que incluye:

- Switch.
- Terminal de salidas digitales.
- Terminal HMI.
- Electroválvula.
- Sensor.

11. Switch

Un switch es un dispositivo que permite la transmisión de datos entre los dispositivos conectados a él. La conexión se puede realizar vía Ethernet, como es el caso, o por fibra óptica. En esencia, crea una red local (LAN, Local Area Network), de tipo estrella, y se encarga de distribuir la información que envían los distintos aparatos conectados. Esto lo consigue creando una tabla en la que relaciona la IP de cada dispositivo con el puerto al que está conectado. Esta acción la realiza con el primer mensaje que envía cada dispositivo, pues cada mensaje contiene una información de control llamada cabecera, que incluye la IP del remitente y la del receptor.

Es importante recalcar que una red cuyo nodo es un switch siempre va a ser de ámbito local, por lo que no dispondrá de acceso a internet. Por tanto, no se podrá acceder a los datos remotamente.

En el proyecto, el dispositivo es utilizado tanto para comunicar la pantalla con el PLC, como para comunicar el ordenador con ambos y, o bien realizar la transferencia de programas, o bien monitorizar el programa del PLC en tiempo real, observando el valor de cada variable, pudiendo corregir errores in situ.

En el proyecto se ha usado un switch de la marca Korenix, modelo JetNet 2005.



Alimentación	24VDC
Puertos	5 x 10/100 BaseTX Ethernet RJ-45
Velocidad de transmisión	100 – 10 Mbps
Consumo de potencia	3 W

Figura 55. Switch Korenix JetNet 2005 y resumen de características.

Las conexiones realizadas mediante el dispositivo quedan resumidas en el siguiente esquema:

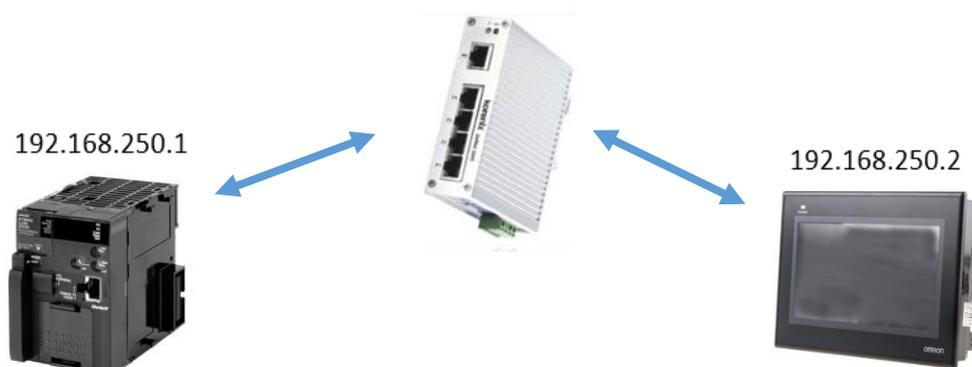


Figura 56. Intercambio de información del switch.

ii. Solución eléctrica

El cuadro eléctrico se encuentra emplazado en una esquina de la sala de filtración del vino, junto al cuadro que controla el sistema Clean-In-Place, cuya función es limpiar todo el circuito de tuberías para garantizar unas condiciones de salubridad óptimas. La sala cuenta, pues, con electrificación previa consistente en tomas de corriente para los distintos equipos existentes, desde cuadros eléctricos, hasta bombas, electroválvulas, pantallas y sensores. Por tanto, también cuenta con elementos de conducción y protección de cableado. La toma de corriente del cuadro se ha realizado desde el mismo punto que la del cuadro contiguo mencionado anteriormente. El resto de elementos del sistema toman la corriente del propio cuadro.

La conexión se ha realizado en cascada, pues el circuito de alta tensión alimenta al de baja. Así, un diferencial hace a la par de interruptor general, y a su salida el circuito se divide en dos: el que alimenta al PLC y la fuente de alimentación, y el que da tensión a los indicadores de emergencia, la baliza y la sirena. Ambos protegidos por sus respectivos magnetotérmicos. El de baja tensión, por su parte, nace en la fuente de alimentación, ramificándose en tres circuitos: uno para el switch, la pantalla, y el terminal de salidas del PLC, un segundo circuito para el primer par sensor-electroválvula, y un tercero para el segundo par sensor-electroválvula. Cada uno de los circuitos está protegido, a su vez, por un magnetotérmico.

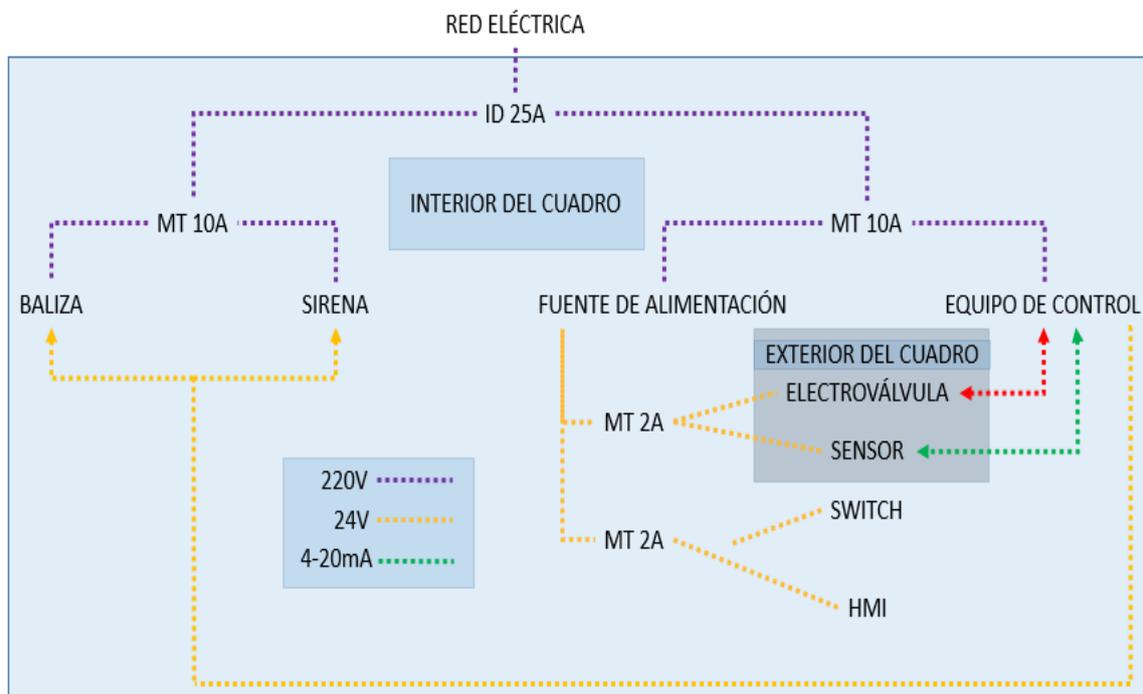


Figura 57. Esquema conceptual de conexión eléctrica.

1. Instalación

La instalación eléctrica se ha realizado en un cuadro eléctrico de aluminio del fabricante Schneider Electric, sobre una placa aislante de baquelita fijada al propio cuadro con cuatro tornillos de métrica 6. Cinco canaletas se encargan de distribuir en cableado por todos los elementos. El montaje de los componentes del cuadro se ha realizado “aguas abajo” anclándolos a la placa mediante carriles DIN. Los elementos de protección están situados en el nivel superior, los de control y la fuente de alimentación, así como los relés, en el intermedio, y las entradas y

salidas del cuadro en el nivel inferior. Esta distribución es la utilizada en la empresa en todos los armarios eléctricos.

El montaje se ha realizado siguiendo las normas UNE-EN 60204-1 “Seguridad en las máquinas. Equipo eléctrico en las máquinas. Parte 1: Requisitos generales.”, UNE-EN 60439-1 “Conjuntos de aparata de baja tensión.”, y UNE-EN 60073 “Principios básicos y seguridad en interfaces hombre-máquina, el marcado y la identificación.”.

Así, como puede observarse en la imagen más abajo, en ninguna borna se ha conectado más de 1 cable, excepto en las que es posible hacerlo por el diseño del elemento, como en el caso de los magnetotérmicos, o la fuente de tensión. En el caso de la elección de colores de los cables, no se ha seguido al pie de la letra la norma, debido a petición expresa de la empresa. Todos los cables están debidamente numerados mediante indicadores colocados sobre el propio cable. En ningún caso se ha superado la intensidad máxima admisible, siendo esta de 3’8 amperios de continua para cables de 0’75mm² en conductos o canaletas, y de 4’56 amperios de alterna para cables en las mismas condiciones. El espacio en las canaletas no supera en ningún caso el 30% del total, por lo que queda lejos del límite establecido en la norma, siendo el recomendable del 80%, y el máximo del 90%. Los cables de control, que conducen tensiones analógicas, son de de tipo multihilo apantallado.

Estos son unos cuantos de los múltiples aspectos que contemplan las normas. El montaje cumple con todos aquellos en los que la empresa no ha tenido una opinión contraria. Por ejemplo, la norma exige un interruptor general accesible sin abrir el armario, pero la empresa no quería, puesto que rara vez se apaga el sistema, y, de tener que hacerlo, existe un magnetotérmico desde el que es posible.

Todo el espacio se ha sobredimensionado para poder prever posibles ampliaciones del proyecto.



Figura 58. Cuadro eléctrico: interior (izda.); exterior (dcha.).

iii. Solución software

El programa tiene dos modos bien diferenciados: el manual y el automático. El modo manual es extremadamente sencillo, pues se encarga de escribir el valor indicado por el operario directamente sobre la salida de la válvula. En el apartado V. Manual de programación se explica cómo se ha implementado en detalle. Así pues, se procede a explicar el procedimiento seguido en el modo automático.

El problema de control es sencillo: el seguimiento de una referencia. Este es un problema típico en control de sistemas. En este caso, la estrategia de control que se ha seguido es la de crear un lazo cerrado con un control tipo PID.

1. Diagrama general de funcionamiento

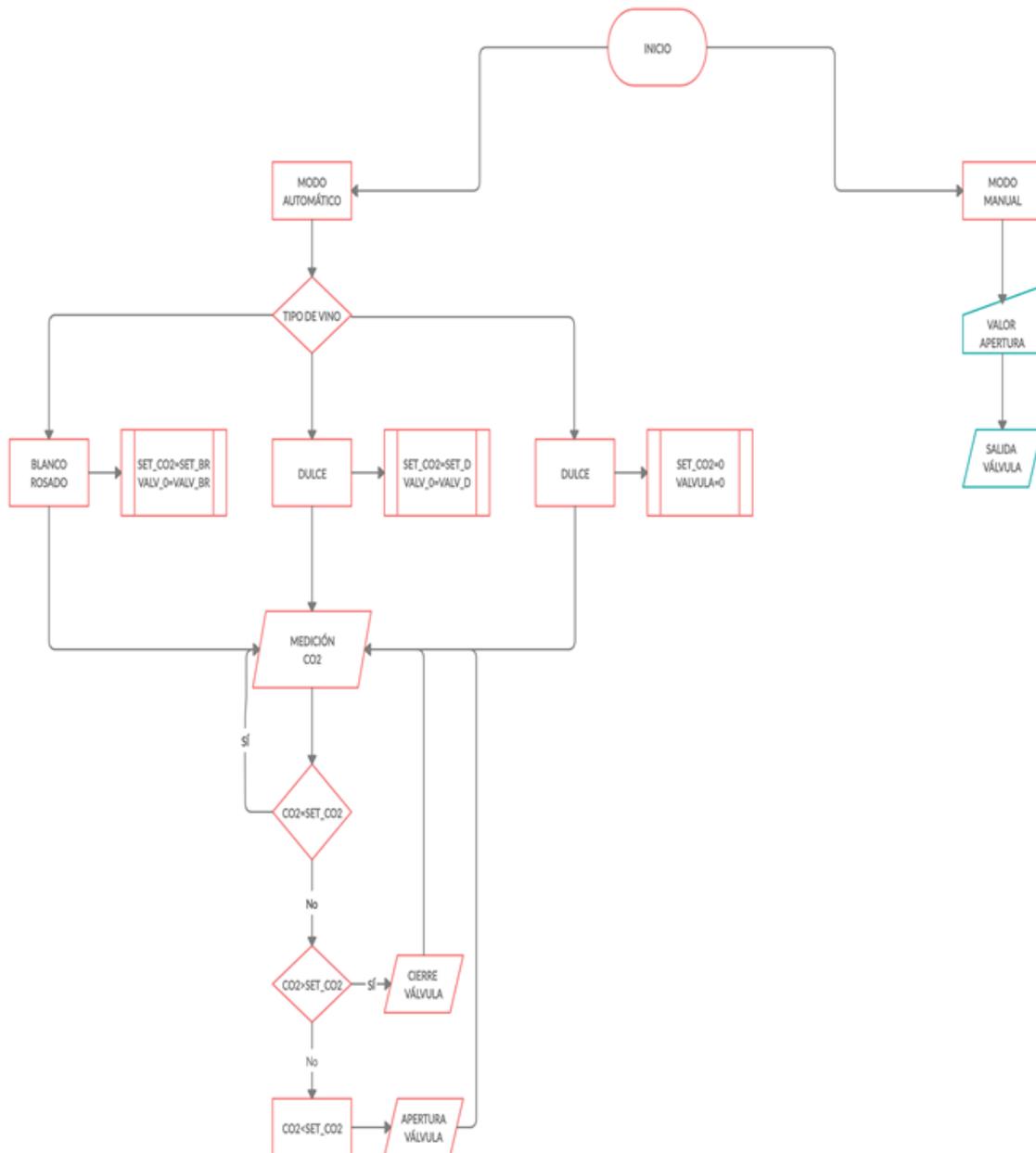


Figura 59. Diagrama de flujo del programa.

El esquema de funcionamiento del software es el mostrado en la imagen.

La selección del modo manual lleva a una pantalla en la que se puede introducir en un campo numérico el valor de apertura deseado. Este valor se escala, se guarda en una variable auxiliar y se transfiere a la salida de la válvula.

En el caso de elegir el modo automático, el programa realiza una iteración cada veinte segundos. En dicha iteración se realizan una serie de acciones. La primera es una toma de medida de la concentración de carbónico de una muestra del producto. Posteriormente la escala. Mediante una operación aritmética -resta- concluye si es mayor, menor o igual a la referencia. En consecuencia decide si abrir o cerrar la válvula.

2. Medición y adaptación de señales

Las entradas analógicas corresponden al sensor de carbónico y al retorno de la válvula.

La medida de carbónico la toma el dispositivo Centec Carbotec, un sensor que, como se ha explicado anteriormente, utiliza la ley de Henry para convertir el valor de presión ejercida por el gas que contiene el líquido en un valor de corriente entre 4 y 20 miliamperios. Pese a que la hoja de datos del dispositivo indica que la resolución del mismo es de 4000 puntos, durante la fase de pruebas se ha comprobado que no es así. Este hecho se debe probablemente a la antigüedad del aparato, pues la hoja de datos se ha descargado de la web del fabricante y corresponde a un modelo posterior del sensor. La resolución del dispositivo del que se dispone en la empresa es de 1600 puntos, y ofrece un valor 384 digital para una concentración igual a 0mg CO₂/L y un valor de 1984 para una concentración igual a 10000 mg CO₂/L.

Así, se tiene:

$$medida_{escalada} = (medida_{real} - medida_{[C]=0g/L}) \cdot \frac{valor\ máximo_{escalado}}{resolución};$$

Ecuación 10. Escalado de la medida.

$$medida_{escalada} = (medida_{real} - 384) \cdot \frac{10000\ mgCO_2/L}{1600};$$

Ecuación 11. Escalado de la medida con valores de trabajo.

Simplificando:

$$medida_{escalada} = \frac{25}{4} \cdot medida_{real} - 2400;$$

Ecuación 12. Ecuación final de escalado de la medida.

De esta forma se obtiene una medida escalada con valores que oscilan entre 0 y 10000.

En el caso del retorno de la electroválvula, la conversión es más sencilla. En este caso, la resolución sí es de 4000 puntos, por lo que, siguiendo en la línea del razonamiento anterior, se tiene:

$$retorno_{escalado} = retorno_{real} \cdot \frac{valor\ máximo_{escalado}}{resolución};$$

Ecuación 13. Escalado del retorno de la electroválvula.

Sustituyendo,

$$retorno_{escalado} = retorno_{real} \cdot \frac{100}{4000};$$

Ecuación 14. Ecuación 10 simplificada.

3. Bucle de control

Como se ha comentado en la introducción de este apartado, el control implementado corresponde a aplicar un control P, pues no ha sido necesario implementar las acciones derivativa e integral, sobre un lazo cerrado.

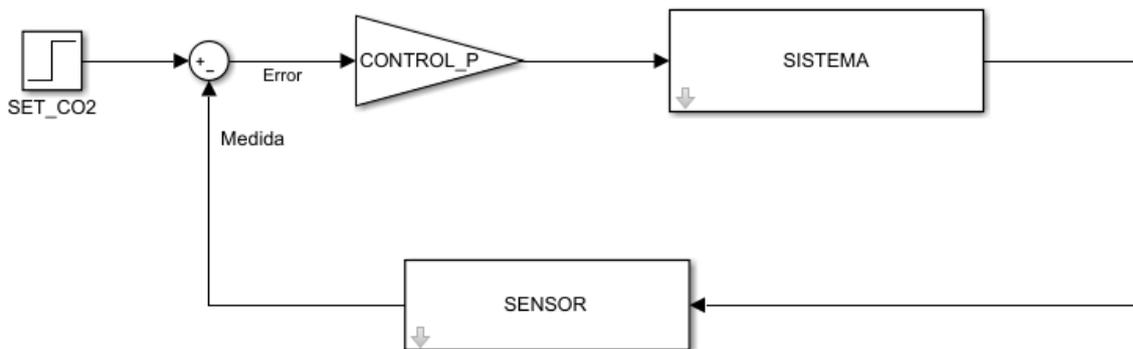


Figura 60. Bucle de control.

En el diagrama de la imagen se observa como a la entrada del sistema se le aplica la señal de error multiplicada por la acción proporcional. La señal de error es la diferencia entre la referencia, en este caso el set impuesto por el personal de laboratorio, y la medida real tomada por el sensor. Así, se tiene:

$$Error = Referencia - Medida;$$

Ecuación 15. Error de medida.

Así, se sabe que la acción de control es el resultado de multiplicar este error y la acción proporcional. Por tanto,

$$Acción_{CONTROL} = K \cdot Error;$$

Ecuación 16. Ecuación control P.

El punto de trabajo determina el valor alrededor del cual va a moverse la acción de control. Este punto ha sido determinado experimentalmente y corresponde al valor de apertura para el cual el nivel de concentración se mantiene relativamente constante. Por supuesto, cada variedad de producto tiene el suyo. Llamando U_0 al punto de trabajo, se tiene:

$$Valor_{FINAL} = K \cdot Error + U_0;$$

Ecuación 17. Valor de la acción de control.

Para el cálculo del valor de la acción proporcional K , se ha tenido en cuenta la siguiente especificación.

- Si la medida se desvía 100 mg/L de la referencia, la válvula debe abrirse un 5% respecto del valor total de apertura.

Si se toma el caso, por ejemplo, del vino dulce, cuyo valor de apertura inicial es del 18%, y con un valor de apertura máxima del 100%, se tiene:

$$Apertura_{FINAL} = 0.05 \cdot 100 + 18 = 23;$$

Ecuación 18. Cálculo de apertura.

Sustituyendo estos valores en la ecuación X,

$$23 = K \cdot 100 + 18;$$

Ecuación 19. Obtención del valor de K.

Despejando y resolviendo, $K = 0.05$.

4. Software

Para la programación se ha utilizado software de Omron, dado que tanto el PLC como la pantalla son de dicho fabricante. El paquete CX-One integra todas las herramientas necesarias para la programación tanto del PLC como del HMI, pero en este proyecto sólo se utiliza el CX-Programmer, puesto que la pantalla, al ser de una serie no admitida por el programa que incluye el paquete, se debe programar con otro software, el NB-Designer. Aunque al principio pueda parecer que el hecho de no utilizar el paquete integrado de Omron signifique una reducción de las prestaciones del equipo, no lo ha supuesto en absoluto, puesto que pese a que el software no está integrado, son completamente compatibles el uno con el otro, de manera que una vez entendido cómo se trabaja con las variables, es realmente fácil trabajar con ellas.

a. CX-Programmer

Es el software de programación de PLCs de Omron. Ofrece un entorno despejado donde todas las herramientas están en la parte superior, ordenadas por áreas de trabajo. El árbol del proyecto, situado en la parte izquierda, permite navegar fácilmente entre los distintos bloques, así como configurar de manera rápida el dispositivo de trabajo y los diversos módulos de entradas y salidas. En la parte central se encuentra el espacio de programación propiamente dicho.

El software permite programar en graficet, ladder, o texto estructurado, siendo posible, en la mayoría de los casos, realizar un programa en uno de los lenguajes y pasarlo a cualquiera de los otros de manera automática.

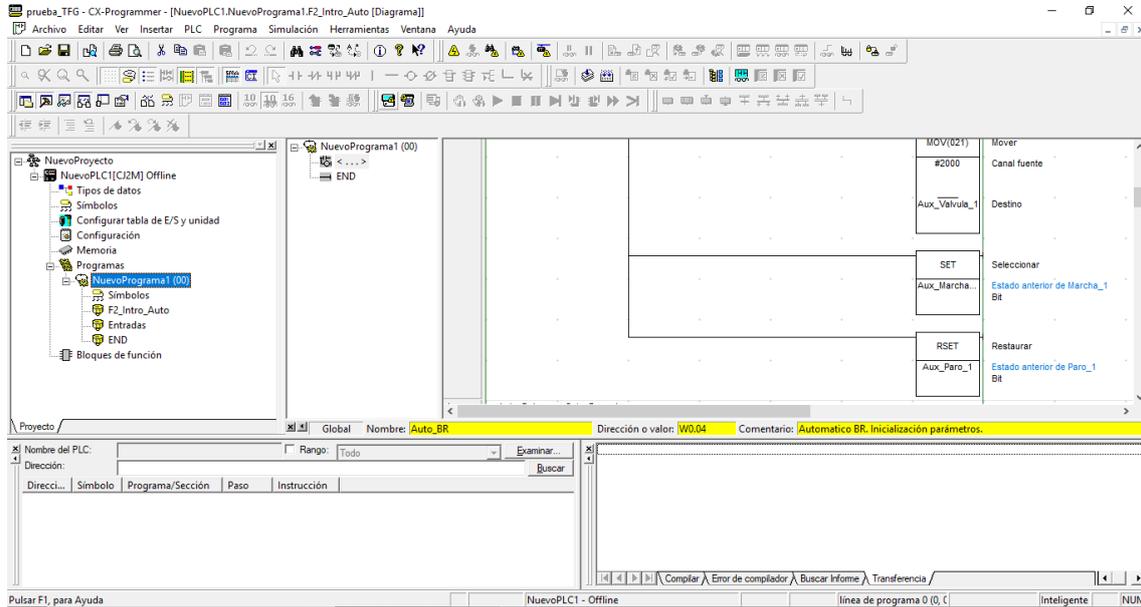


Figura 61. Entorno CX-Programmer.

Prestando más atención al árbol del proyecto, puede verse cómo aparece el modelo de PLC que se ha utilizado, así como el estado en el que se encuentra entre corchetes. Es posible realizar la programación tanto en línea como en desconexión. En ningún caso permite añadir o quitar líneas de programa en modo Run -funcionamiento-, aunque sí permite modificar valores de variables y realizar algún cambio leve.

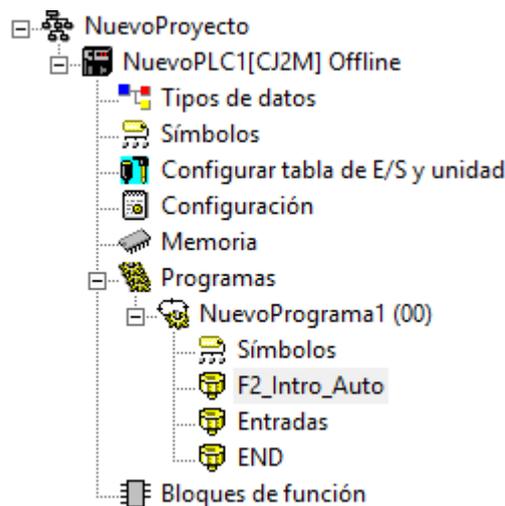


Figura 62. Árbol de proyecto.

La pestaña “Símbolos” permite visualizar todas las variables globales del PLC, tanto las creadas por el usuario como las ya incluidas por el sistema, así como su valor y direccionamiento.

Nombre	Tipo de datos	Dirección / Valor	Variable de ...	Ubicación d...	Uso	Comentario
Acuse_Alarma	BOOL	0.04		Bastidor pri...	Entra...	Acuse Alarma, pulsador que al pu...
Alarma_S1	BOOL	0.02		Bastidor pri...	Entra...	Alarma General Sensor Carbónico 1
Auto_BR	BOOL	W0.04			Trab...	Automatico BR. Inicialización par...
Auto_Dulce	BOOL	W0.05			Trab...	Automatico D. Inicialización pará...
Auto_S	BOOL	W0.06			Trab...	Automatico S. Inicialización pará...
Aux_Comando_Valvula	INT	W2			Trab...	
Aux_Lectura_CO2	INT	W1			Trab...	
Aux_Marcha_1	BOOL	W0.01			Trab...	Estado anterior de Marcha_1
Aux_Paro_1	BOOL	W0.03			Trab...	Estado anterior de Paro_1
Aux_Valvula_1	INT	W6			Trab...	
Baliza_Emerg	BOOL	1.07		Bastidor pri...	Salida	Baliza emergencia (compartida p...
Comando_Valvula	INT	2002		Bastidor pri...	Entra...	
Freeze_S1	BOOL	1.00		Bastidor pri...	Salida	Función congelar medida sensor 1
Lectura_CO2	INT	2001		Bastidor pri...	Entra...	
P_0_01s	BOOL	CF105			Trab...	Bit de pulso de reloj de 0.01 segun...

Figura 63. Detalle de la pestaña "Símbolos".

Como se ha comentado en la sección “Equipo de control”, los terminales de entradas y salidas deben configurarse, tanto en lo referente al orden dentro del PLC, como en valores de entrada y salida en términos de voltajes o intensidades. Todas estas tareas se realizan en el apartado “Configurar tablas de E/S de unidad”.

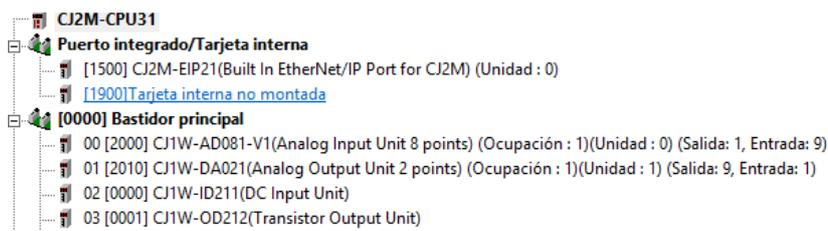


Figura 64. Configuración del bastidor del autómata.

Como se puede observar, este PLC consta de una tarjeta interna, correspondiente a los elementos que están integrados en el propio aparato -en este caso la tarjeta Ethernet-, y una serie de bastidores. En el principal, el único que interesa en este proyecto, es donde se montan los terminales de entradas y salidas. Seleccionando cada unidad se puede configurar internamente.

CJ1W-AD081-V1 [Ver parámetros]

Grupo de parámetros mostrado: All parameters

Elemento	Seleccionar valor	Unidad
Input1 Input signal use setting	Enable	
Input2 Input signal use setting	Enable	
Input3 Input signal use setting	Enable	
Input4 Input signal use setting	Disable	
Input5 Input signal use setting	Disable	
Input6 Input signal use setting	Disable	
Input7 Input signal use setting	Disable	
Input8 Input signal use setting	Disable	
Input1 Input range setting	0-10V	
Input2 Input range setting	1-5V/4-20mA	
Input3 Input range setting	0-10V	
Input4 Input range setting	0-10V	
Input5 Input range setting	+/-10V	
Input6 Input range setting	+/-10V	

Figura 65. Detalle de la configuración del terminal de entradas analógicas.

En la imagen tomada como ejemplo, se puede observar la configuración interna del terminal de entradas analógicas AD081-V1, que tiene las entradas 1, 2 y 3 habilitadas, y donde la 1 está configurada para recibir un voltaje de [0...10]V, y la 2 o bien un voltaje de [1...5]V, o una intensidad de [4...20]mA. Diferentes elementos permiten diferentes configuraciones.

La pestaña “Memoria” permite echar un vistazo a los valores que toma cada posición de memoria del PLC. En el caso de las entradas y las salidas utilizan la memoria CIO, y su posición depende de la posición que ocupen en el rack. Por ejemplo, en este programa, como se puede ver en la configuración del bastidor principal, las entradas analógicas ocupan desde la posición 2000 del CIO hasta la 2009, y esto incluye tanto los valores de entrada de las variables conectadas, como ciertos ajustes que se pueden realizar dando valor a ciertos bits.

Siguiendo con la explicación, se llega a el programa como tal, donde se pueden ver las secciones de las que consta el programa. Cada sección es independiente y el PLC las lee secuencialmente, “de arriba a abajo”, a no ser que el programador se lo impida mediante ciertas órdenes. En esta pestaña también se incluyen las variables locales del programa.

Por último, en la pestaña “Bloques de función” el programador puede crear sus propias funciones específicas. A estas funciones se les asignan tanto entradas como salidas, y la acción a realizar se puede programar tanto en graficet, como en ladder o texto estructurado. En este caso, se han usado funciones en texto estructurado puesto que es el más fácil para programar operaciones matemáticas. Posteriormente estas funciones pueden ser llamadas en cualquier punto del programa.

El software permite realizar simulaciones cambiando los valores de las variables para ver cómo se comporta el sistema, en términos de variables internas y salidas, con el fin de no cometer errores que puedan perjudicar a los elementos a la hora de la prueba definitiva.

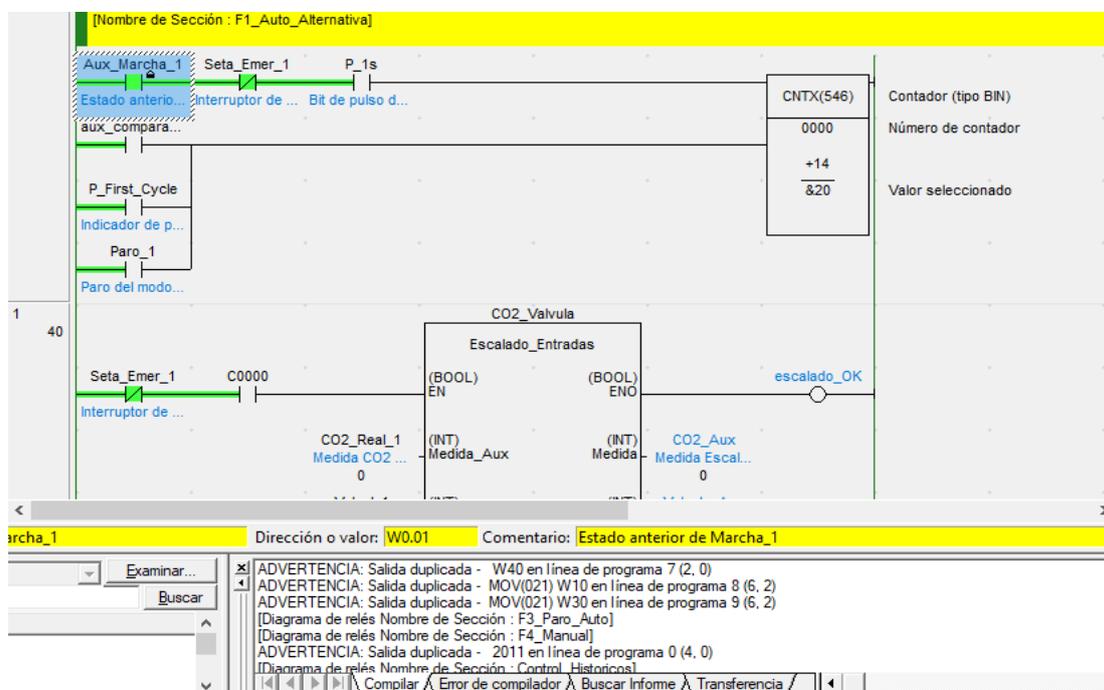


Figura 66. Ventana de programación en modo simulación.

En la imagen superior se puede observar el espacio de trabajo en simulación. En este modo, el software crea un PLC virtual y pone en modo Run el programa. De esta manera, se puede forzar

a los contactos a abrir y cerrarse, pudiendo encontrar los puntos débiles de la programación. El cuadro de la parte inferior muestra todos los errores y advertencias que pueda haber en el programa.

A la hora de realizar pruebas reales, permite estar conectado al PLC, de manera que se puede observar en tiempo real todo lo que está sucediendo en el autómata. Es importante tener en cuenta que de estar conectado al PLC mediante un switch, como es el caso de este proyecto, es necesario asignar una dirección IP al PLC, de manera que cuando el software lo busque para conectarse, sea capaz de encontrarlo. De la misma forma, hay que realizar el mismo procedimiento con la pantalla y el portátil encargado de pasar el programa y visualizar el estado, asegurándose de asignar la misma máscara de subred, para formar con ambos dispositivos una red de ámbito local o LAN.

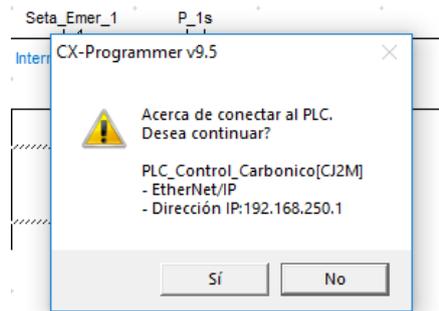


Figura 67. Ventana de confirmación de conexión.

b. NB-Designer

Este software sirve para programar las pantallas de la serie NB de Omron. El entorno tiene una distribución parecida a la del CX-Programmer, con las herramientas en la parte superior y el espacio de trabajo ocupando el área central. Pero en este entorno el árbol de proyecto se desplaza a la derecha de la pantalla, junto con los archivos del proyecto, para dejar a la izquierda la biblioteca de objetos del programa.

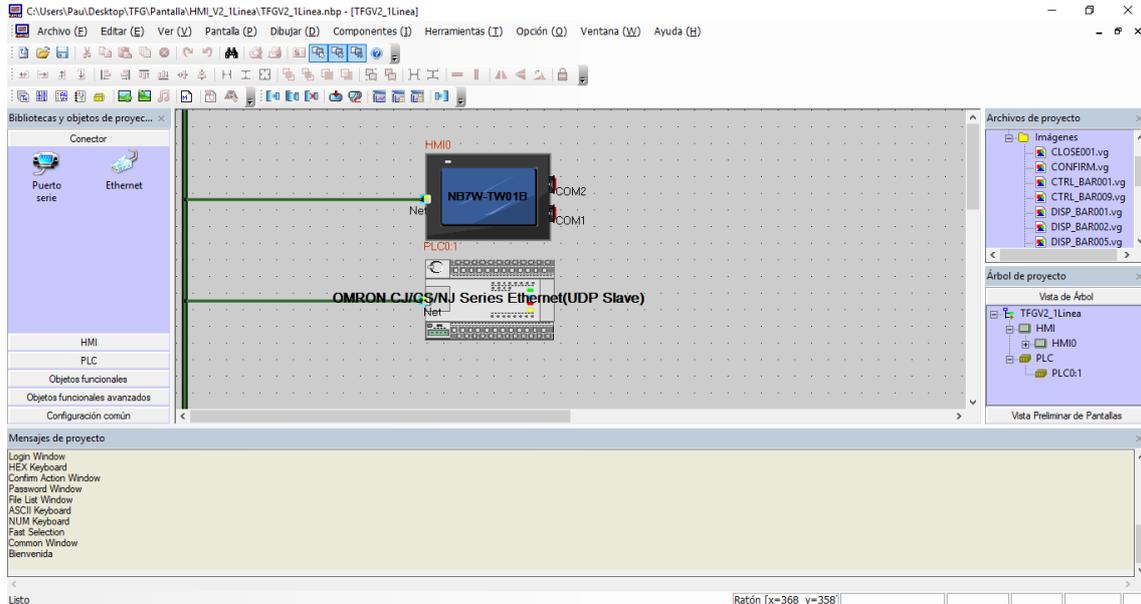


Figura 68. Entorno de programación NB Designer.

Al abrir el programa se nos muestra el mismo entorno pero con el área central vacía. Lo primero que ha de realizarse, pues, es la asignación de la pantalla, el PLC, y el tipo de conexión que va a utilizarse.

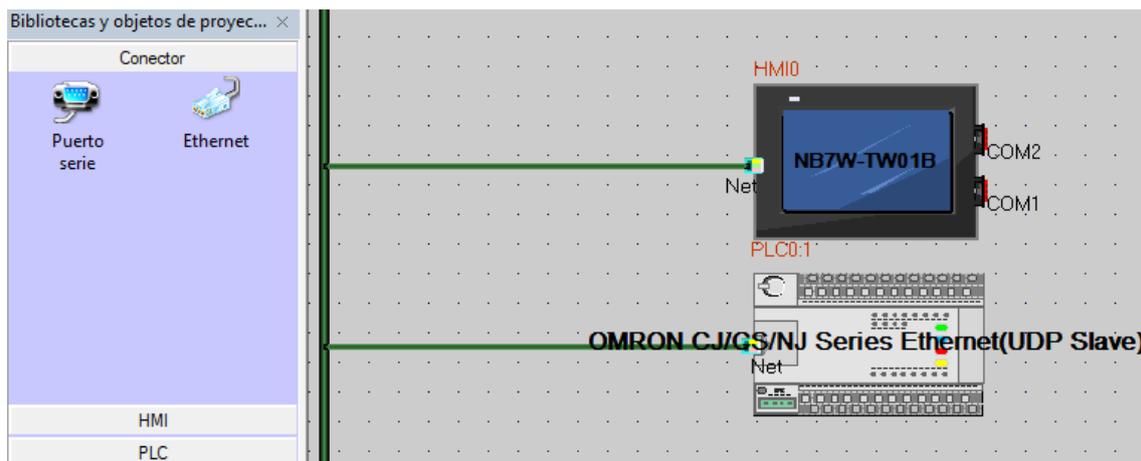


Figura 69. Detalle de conexiones en el software.

Los desplegables de la izquierda permiten seleccionar entre los distintos modelos de pantallas Omron, y en cuanto a los PLCs, permiten seleccionar tanto modelos de Omron como de Siemens, Mitsubishi o Schneider, entre otros. También es necesario configurar tanto la dirección IP como

la máscara de subred tanto de la pantalla como del PLC. Al hacer doble click sobre cada uno de los elementos aparece el menú que permite configurar los aspectos internos de cada uno de ellos. En el caso del PLC, sólo permite configurar la IP. En cuanto a la pantalla, se pueden configurar múltiples aspectos, como los niveles de seguridad, que permiten establecer contraseñas para acceder a ciertas pantallas, así como configurar impresoras -en el caso de que se quieran imprimir informes automáticamente-, o conectores USB para guardar históricos. Esta última herramienta es muy útil y se ha utilizado en el proyecto.

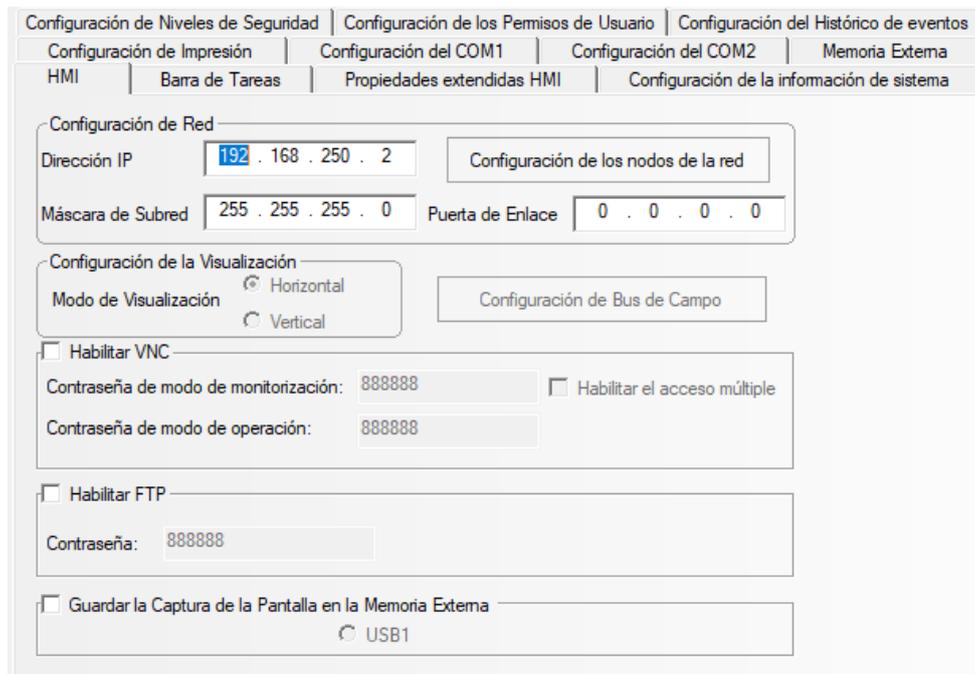


Figura 70. Ventana de configuración de Red de NB Designer.

Más abajo, encontramos los objetos funcionales básicos y avanzados, que nos permiten realizar acciones como cambiar de pantalla, activar, desactivar, conmutar bits, generar gráficos, guardar históricos. En fin, una cantidad enorme de acciones.



Figura 71. Ventana de objetos funcionales de NB Designer.

Como se comenta más arriba, a la derecha de la pantalla aparecen tanto los archivos del proyecto, en el recuadro superior, como el árbol de proyecto, en el inferior. Los archivos del proyecto hacen referencia a las imágenes de tipo botón, barras de control... es decir, aquellas imágenes que el software utiliza para crear los elementos funcionales utilizados en el programa. El árbol de proyecto se divide en HMI y PLC. El apartado PLC indica simplemente cuántos PLCs

se están usando en el proyecto. El apartado HMI es el que interesa, pues muestra todas las pantallas, las creadas por el programador y las que por defecto trae el programa. Las pantallas por defecto del programa son interesantes y funcionales, ya que incluyen menús de selección rápida, teclados -tanto numéricos, decimales o hexadecimales, como ASCII-, ventanas de contraseñas, de confirmación de acción. Es decir, herramientas muy útiles para facilitar la programación, que de otra manera podría ser muy tediosa. Todas estas ventanas pueden ser llamadas mediante un botón de función.

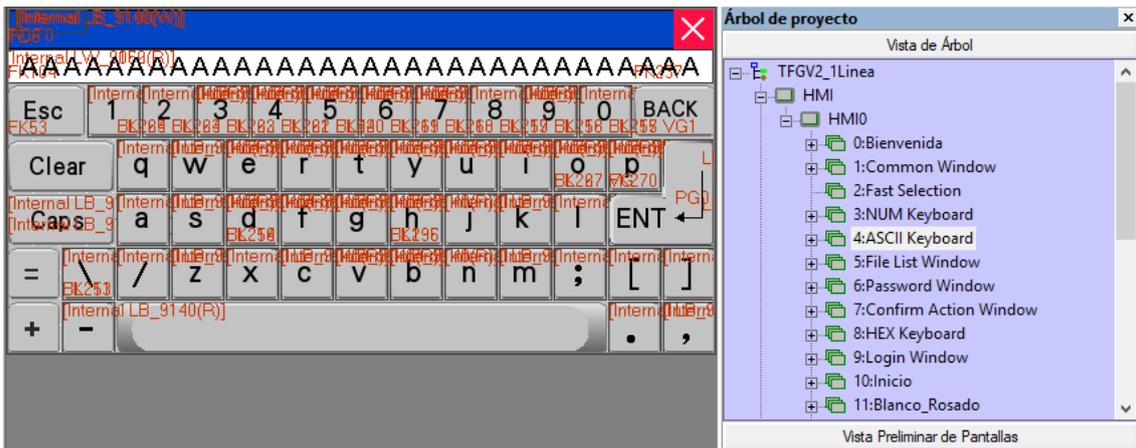


Figura 72. Detalle de teclado ASCII (dcha.) y árbol de proyecto (izda.) de NB Designer.

El direccionamiento de variables se realiza de manera sencilla, simplemente indicando sobre qué variable del PLC va a actuar el elemento de la pantalla y de qué manera, ya sea leyéndola o escribiéndola.

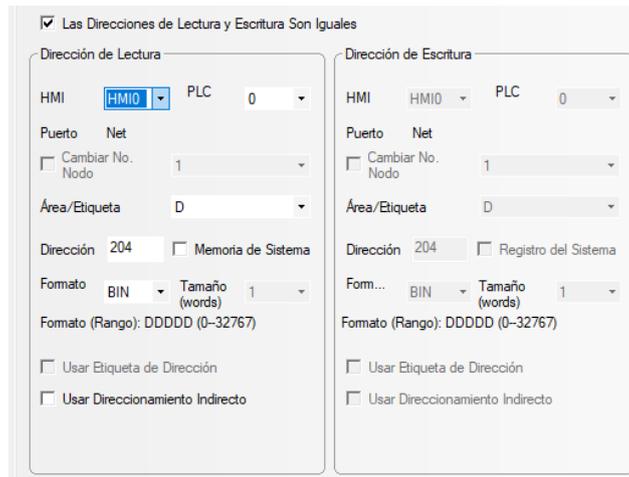


Figura 73. Ventana de direccionamiento de variables para objetos funcionales de NB Designer.

El software también permite simular la pantalla, pero al no crear un PLC virtual no permite visualizar cómo cambian las variables. Sencillamente permite ver si los pasos entre pantallas están bien configurados.

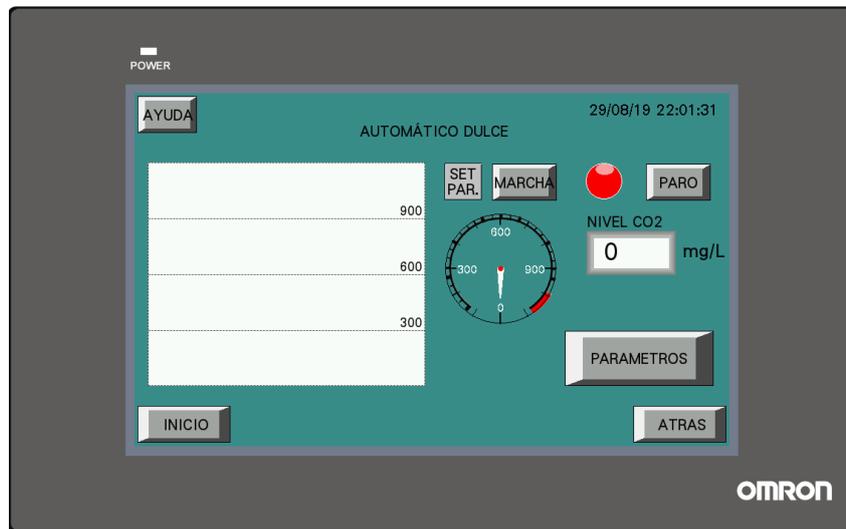


Figura 74. Ventana de simulación del NB Designer.

7. IMPLEMENTACIÓN

En un principio, la estrategia de control del programa se planteó siguiendo las directrices de GEMMA. En esta guía, se plantean todos los posibles estados por los que puede pasar un sistema con el objetivo de prever cualquier error a la hora de realizar la programación. Además, permite presentar la información de manera ordenada y clara, de manera que cualquier programador que vea posteriormente el programa es capaz de identificar los procesos fácilmente.

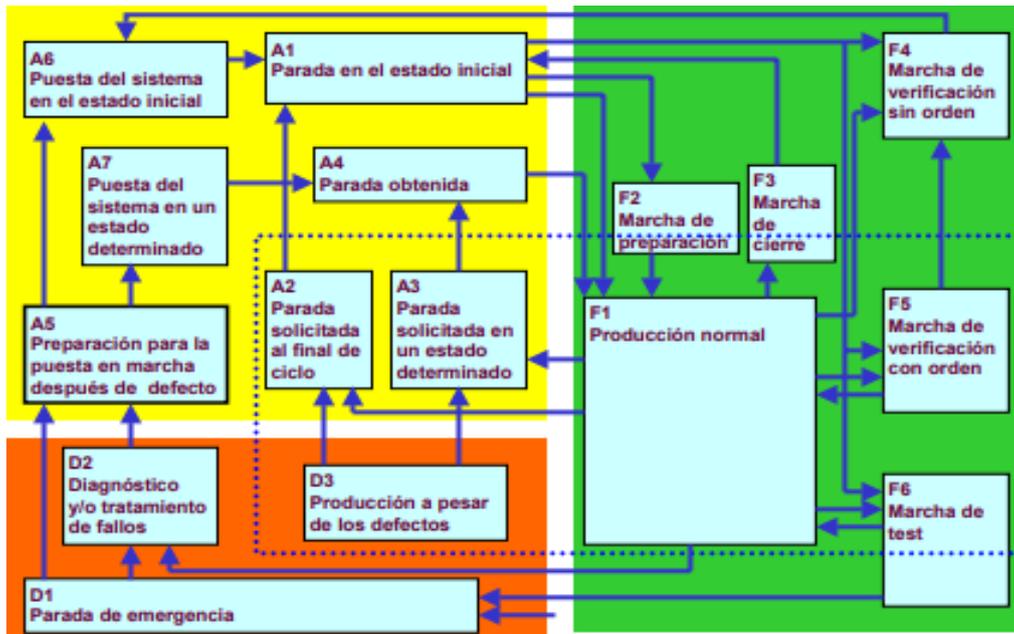


Figura 75. Esquema general de GEMMA.

Así pues, la primera tarea consiste en identificar las generalidades del proceso y ordenarlas mediante un esquema. En este caso, el esquema se ha trazado en el punto anterior, en el apartado “diagrama general de funcionamiento”. Pese a su simplicidad, este diagrama ya ofrece una visión general de ciertos aspectos del proceso. Además, cabe recordar que desde la empresa se ha pedido la mayor simplicidad y facilidad de manejo desde la pantalla.

Lo primero que salta a la vista es que van a existir dos modos de funcionamiento: el manual y el automático, que corresponden a los macroestados F4 y F1, respectivamente.

El primero, el modo manual, realiza las siguientes tareas:



Figura 76. Flujo del modo manual.

Es decir, de seleccionar el modo manual, un operario debe introducir el valor de apertura deseado, y dicho valor se escribe sobre la variable de salida de la válvula. El valor se muestra en pantalla, así como la concentración de producto.

El modo automático genera un bucle iterativo con periodo igual a 20 segundos.

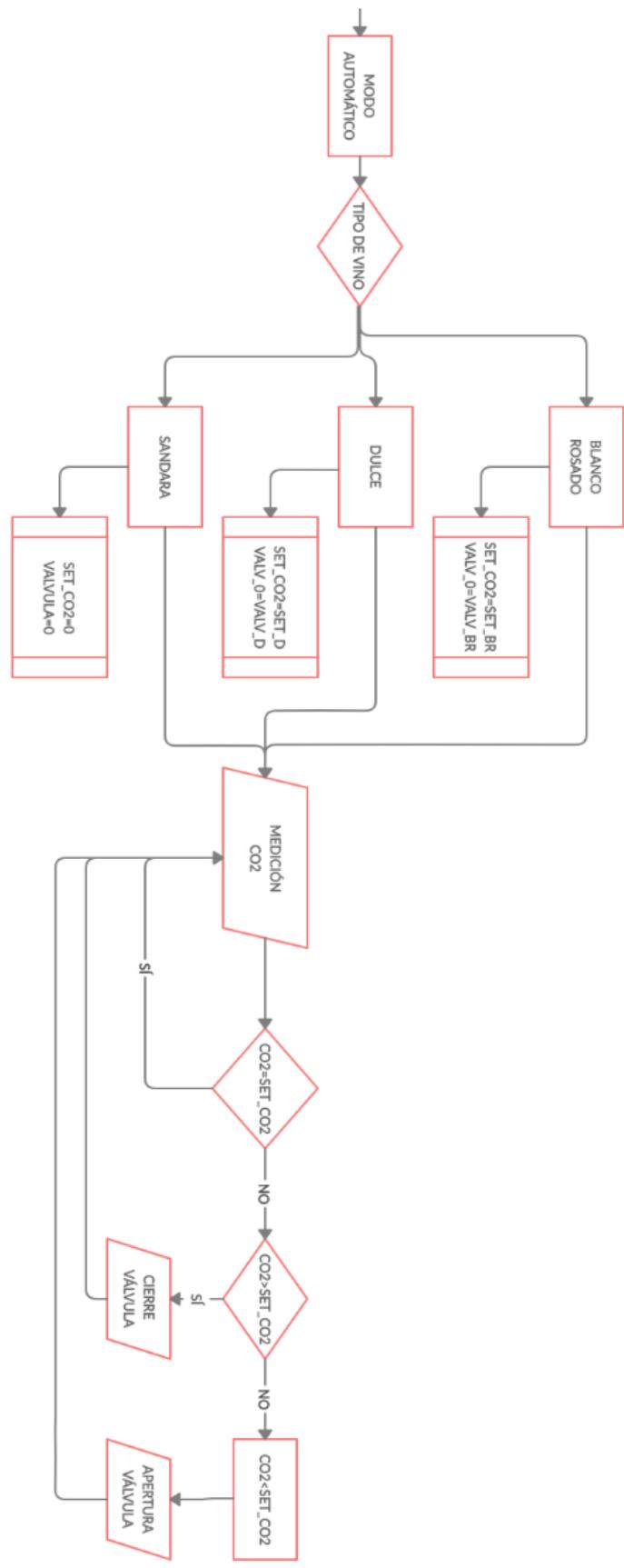


Figura 77. Diagrama conceptual del modo automático.

Como se observa en el diagrama, al seleccionar el tipo de producto se realiza una asignación de variables. Una vez completada, cuando el operario lo demanda se entra en el bucle iterativo. Este empieza con la toma de la medida, y en base a ella y al valor de las variables implicadas en el bucle realiza los cálculos vistos en el apartado anterior.

Un modo automático requiere una marcha de preparación y otra de cierre. Son los modos F2 y F3 del esquema GEMMA. En la primera, se ajustan los valores de las variables para que usará el modo automático. En el cierre, se realizan las acciones necesarias para devolver al proceso al estado inicial.

Como casi todos los sistemas de ámbito industrial, es necesario implementar un modo de parada de emergencia. Esto significa que, sin importar el proceso que esté llevando en ese momento el sistema, debe parar inmediatamente. En este caso, existen dos motivos que precisan de parada de emergencia: la rotura del sensor, y la activación de la seta de emergencia.

Por último, está el estado inicial, es decir, el estado en el que se encontrará el sistema cuando se encienda. Este estado corresponde al macroestado A1 del GEMMA.

Una vez vistos los estados posibles y esbozado lo que realizará cada uno, se procede a explicar su implementación.

• Variables

Entre las globales, se han colocado tanto las entradas y salidas como las compartidas con la pantalla, pues se ha observado que surgen menos problemas al configurarlo de esta forma. Así, se tiene:

- Entradas:
 - Analógicas:

Apert_Real_1	INT	2001	Retorno de la válvula 1 [0...4000]
CO2_Real_1	INT	2003	Medida CO2 sensor 1

Figura 78. Variables de entrada analógica.

Ambas tienen una resolución de 4000 puntos, como se ha configurado en el terminal de entradas analógicas, por lo que posteriormente deberán ser escaladas. Este tipo de entradas ocupan entre la posición 2000 y 2009 del CIO. La palabra 2000 corresponde a ajustes del terminal. La primera variable corresponde al retorno de la válvula, que verifica que la válvula está en la posición deseada. La segunda refiere a la medida de CO2 del sensor de carbónico. Pese a no incluir en la dirección el área de memoria, las entradas y salidas ocupan posiciones del área CIO. Para las analógicas, una longitud de una palabra (1 byte, 8 bits), y son de tipo entero.

- Digitales:

Seta_Emer_1	BOOL	0.00	Interruptor de emergencia circuito 1
Alarma_S1	BOOL	0.02	Alarma General Sensor Carbónico 1

Figura 79. Variables de entrada digital.

Las entradas digitales ocupan, en este caso, desde el bit 0.00 al bit 0.15 del CIO. En el programa, se han requerido dos: la primera, bit 0.00, es la seta de emergencia, el interruptor que interrumpe el funcionamiento normal del programa y lo manda al estado de parada de emergencia; la segunda corresponde a la alarma general del sensor, que salta en caso de mal funcionamiento o rotura del mismo.

- Salidas:

- Analógicas:

Valvula1	INT	2011	Comando válvula 1 [0...4000]
----------	-----	------	------------------------------

Figura 80. Variables de salida analógica.

La única salida del programa corresponde a la electroválvula, una variable de tipo entero -Int-. Las salidas ocupan entre la posición 2010 y la 2020 del CIO. La palabra 2010 corresponde a aspectos de la configuración, como la activación del terminal. La primera salida corresponde a la posición 2011.

- Digitales:

Freeze_S1	BOOL	1.00	Función congelar medida sensor 1
Sirena_Emerg	BOOL	1.06	Sirena emergencia (compartida por ambos circuitos)
Baliza_Emerg	BOOL	1.08	Baliza emergencia (compartida por ambos circuitos)

Figura 81. Variables de salida digital.

Las salidas digitales ocupan desde el bit 1.00 al 1.15 del CIO. En este caso, con tres salidas es suficiente: la primera controla la función freeze -congelar- del sensor de carbónico. Esta función se encarga de controlar la toma de medidas del sensor, de manera que si está activada el sensor congela la medida; la segunda y la tercera entrada controlan los relés de la sirena y la baliza de emergencia, respectivamente.

- Compartidas con la pantalla:

Las variables compartidas con la pantalla son aquellas que corresponden a los botones, pulsadores, o testigos de la pantalla. Son variables que, de tener que ser elementos físicos, corresponderían a entradas y salidas del PLC. Pero, al ser virtuales, son variables de áreas internas del autómatas. Se tienen variables de tipo bit y de tipo palabra.

Las de tipo bit corresponden a botones que activan o desactivan procesos, o configuran parámetros:

Marcha_1	BOOL	W0.00	Marcha del modo automatico para Circuito 1
Paro_1	BOOL	W0.02	Paro del modo automatico para Circuito 1
Auto_BR	BOOL	W0.04	Automatico BR. Inicialización parámetros.
Auto_Dulce	BOOL	W0.05	Automatico D. Inicialización parámetros.
Auto_S	BOOL	W0.06	Automatico S. Inicialización parámetros.
Apertura_Manual	BOOL	W2.08	
SET_VALV_BR_PANTALLA	BOOL	W22.00	Bit para permitir cambio de parametro en pantalla
SET_CO2_BR_PANTALLA	BOOL	W22.01	Bit para permitir cambio de parametro en pantalla
SET_VALV_D_PANTALLA	BOOL	W42.00	Bit para permitir cambio de parametro en pantalla
SET_CO2_D_PANTALLA	BOOL	W42.01	Bit para permitir cambio de parametro en pantalla
Test_Verde_Pantalla	BOOL	W61.00	

Figura 82. Variables compartidas con la pantalla.

Las dos primeras variables corresponden a las órdenes de marcha y paro, respectivamente. Las tres siguientes, a la asignación de parámetros para cada tipo de vino. La sexta, una vez dado el valor de apertura manual, hace efectiva la orden de apertura. Las siguientes cuatro permiten cambiar desde la pantalla “Parámetros” del HMI los valores de apertura inicial de la válvula y set de CO2 de cada tipo de vino. La última variable corresponde al testigo de marcha-paro de las pantallas del modo automático.

Valvula_Ret_Esc	INT	D20	Retorno de la válvula escalado
CO2_Aux	INT	D60	Medida Escalada
Valor_Manual	INT	D204	Valor de apertura manual
Aux_Set_CO2_BR	INT	W11	Valor escalado
Aux_Valv_Init_BR	INT	W21	Valor escalado
Aux_Set_CO2_D	INT	W31	Valor escalado
Aux_Valv_Init_D	INT	W41	Valor escalado

Figura 83. Variables HMI.

Estas variables corresponden a los visualizadores y entradas numéricas, y son los valores con los que trabajan los operarios desde la pantalla. Son los valores escalados de las variables con el mismo nombre -pero sin el prefijo Aux_-. Así, se tiene, en orden, el retorno de la válvula, la medida real de concentración de carbónico, el valor de apertura de la válvula en el modo manual, y los puntos de trabajo para del CO2 y la válvula para el bucle de control del modo automático.

- Variables internas del PLC:

Valvula_Ret_Esc	INT	D20	Retorno de la válvula escalado
Ko	INT	D30	
Valvula_Aux_Esc	INT	D40	
Valvula_Aux	INT	D50	Comando Escalado
Medida_F	INT	D70	Medida filtrada
Valvula_0	INT	D80	
Valvula_0_Esc	INT	D90	
Aux_Marcha_1	BOOL	W0.01	Estado anterior de Marcha_1
Aux_Paro_1	BOOL	W0.03	Estado anterior de Paro_1
aux_comparación	BOOL	W3.00	
Aux_Auto_BR	BOOL	W4.02	
Aux_Auto_D	BOOL	W4.03	
Aux_Auto_S	BOOL	W4.04	
escalado_OK	BOOL	W6.00	
filtrado_OK	BOOL	W6.01	
control_OK	BOOL	W6.02	
manual_OK	BOOL	W6.04	
ParametrosBR_OK	BOOL	W6.05	
ParametrosD_OK	BOOL	W6.06	
Set_CO2_BR	INT	W10	Valor del set de CO2 x10 ² Blanco/Rosado
Set_CO2_D	INT	W30	Valor del set de CO2 x10 ² Dulce
Valv_Init_BR	INT	W20	Apertura inicial Valvula 1 [0...4000] Blanco/Rosado
Valv_Init_D	INT	W40	Apertura inicial Valvula 1 [0...4000] Dulce
Set_CO2	INT	W50	Set CO2 Ley Control

Figura 84. Variables del programa.

Estas variables únicamente las usa el PLC en el programa de control.

Las del área D son valores de medida de la válvula, la constante del control proporcional, y la medida filtrada de carbónico. Más adelante se explica en detalle el uso de cada una.

Los bits del área de trabajo -W- corresponden bien a bits auxiliares que guardan estados anteriores de otros bits, o bien a bits que indican que un cálculo o proceso ha sido realizado correctamente.

Las palabras del área de trabajo -W- son los valores utilizados por la ley de control para realizar el cálculo de apertura o cierre de la válvula.

- Variables del sistema:

P_First_Cycle	BOOL	A200.11	Indicador de primer ciclo
P_1s	BOOL	CF102	Bit de pulso de reloj de 1.0 segundos
P_On	BOOL	CF113	Indicador de siempre ON

Figura 85. Variables del sistema utilizadas.

Son las variables utilizadas que incluye el software. La primera se activa durante el primer ciclo de trabajo. La segunda da un impulso con una frecuencia de un segundo. La tercera es un bit que siempre está activado.

• Tratamiento de señales

Las señales que deben pasar por un tratamiento son aquellas que corresponden a entradas, salidas o valores para la visualización en la pantalla. Así, para la conversión de valores se han creado sendos bloques de función que, básicamente, recogen las operaciones aritméticas vistas en el apartado “Medición y adaptación de señales” del punto anterior.

Se diferencian cuatro bloques de función que se encargan bien de acomodar los valores de las variables de entrada para que el programa pueda trabajar con ellas más fácilmente, bien de reescalar los valores para poder enviarlos a su correspondiente salida.

- Escalado de entradas:

El proceso tiene dos entradas que escalar: la medida de carbónico y el retorno de la válvula.

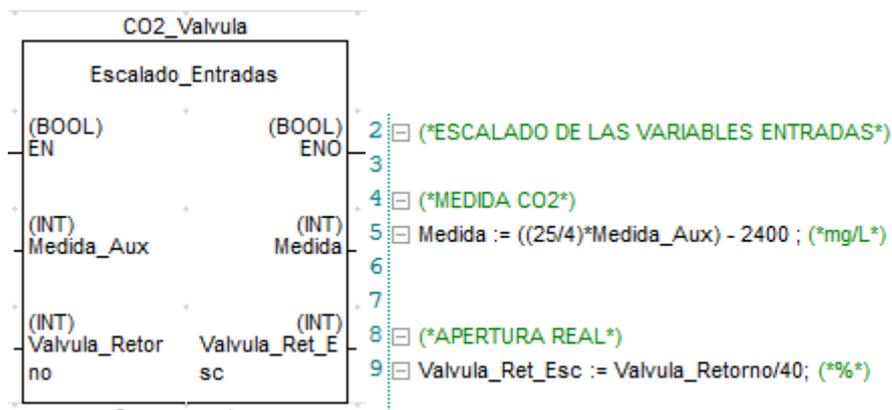


Figura 86. Escalado de entrada: bloque de función (izda.) y código (dcha.).

- Escalado de salidas del modo automático:

La única salida a escalar es la de la válvula, y sigue la operación inversa a la del bloque de entradas:

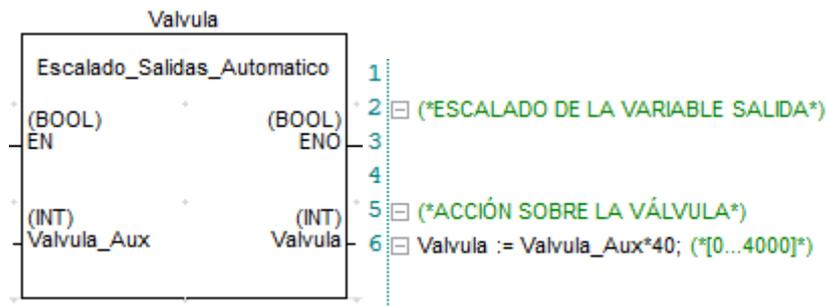


Figura 87. Escalado de salida: bloque de función (izda.) y código (dcha.).

- Escalado de entradas y salidas del modo manual:

En este bloque se recogen los escalados para el modo manual. Los escalados de entradas corresponden a los valores que se mostrarán en la pantalla de este modo, y el de la salida, al valor guardado en una variable auxiliar que luego moverá su valor a la salida de la válvula.

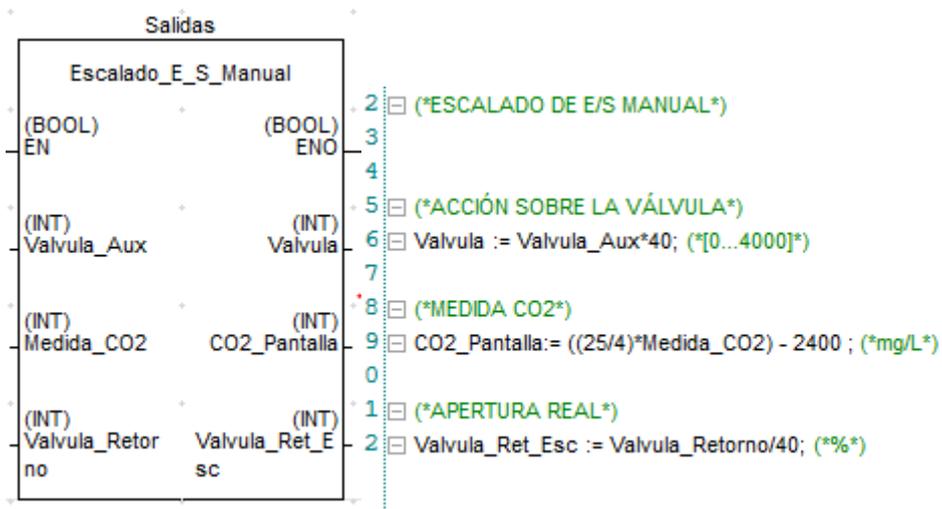


Figura 88. Escalado de E/S modo manual: bloque de función (izda.) y código (dcha.).

• Implementación control P

Para la implementación del control P se han realizado cuatro pasos:

1. Creación del retardo de tiempo.

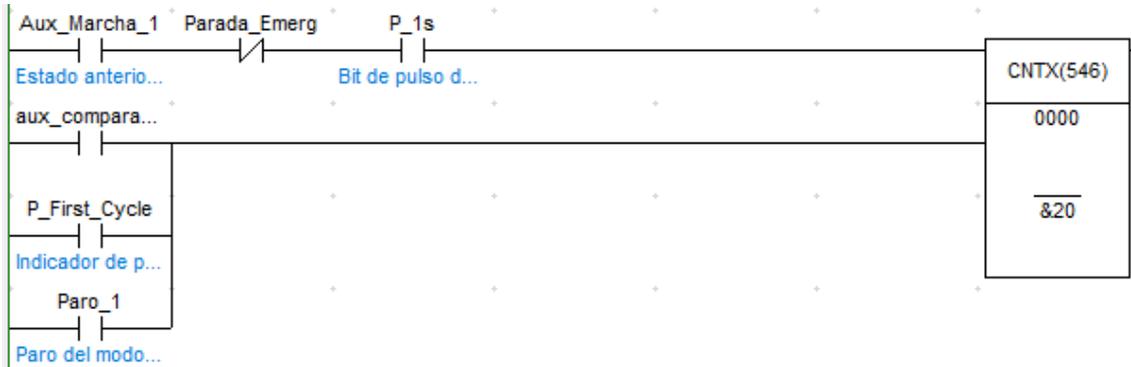


Figura 89. Temporización a 20 segundos.

Si se ha pulsado el botón de marcha, el contacto auxiliar de marcha estará cerrado, y cada segundo sumará una cuenta del contador.

El contador se reinicia por tres motivos: al llegar al final del bucle de control, durante el primer ciclo del PLC, y al pulsar el botón de paro. La diferencia radica en que al llegar al final del bucle de control se reinicia pero sigue contando, mientras que las otras dos condiciones de reinicio lo ponen a 0 pero no sigue contando. Al solicitar el paro se desactiva el auxiliar de marcha, y durante la primera iteración del autómatas la marcha aún no ha sido solicitada.

2. Escalado de entradas.

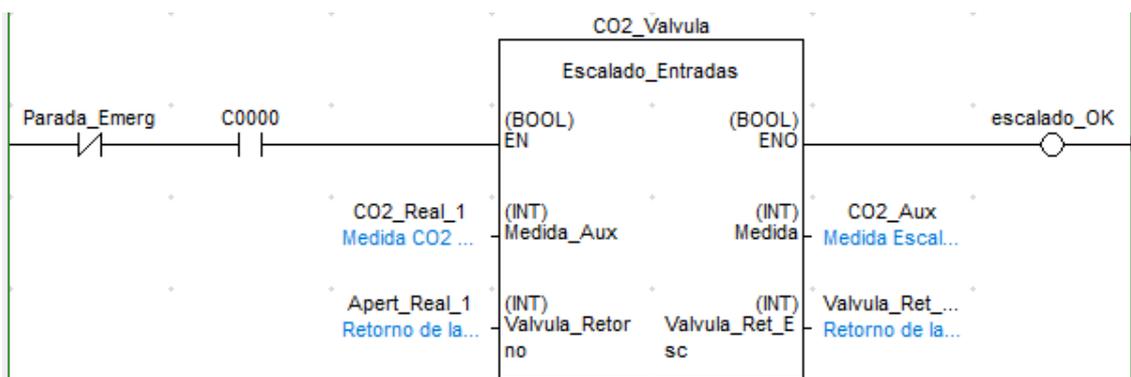


Figura 90. Bloque de escalado de entradas: implementación en el programa.

Al acabar la cuenta, el contador cierra el contacto C0000, y se realiza el escalado de entradas visto en el apartado anterior.

3. Ley de control.

Una vez escaladas las entradas, se aplica la ley de control, que aplica las ecuaciones vistas en el apartado “Bucle de control” del punto C.

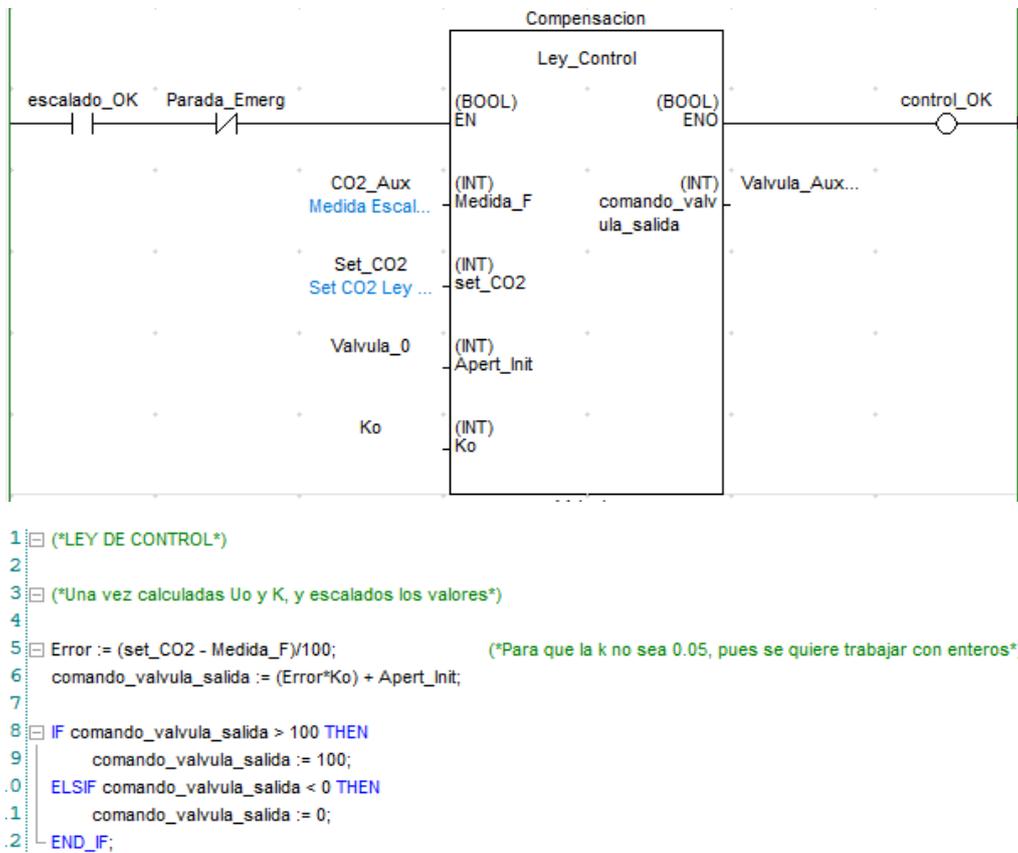


Figura 91. Ley de control: bloque de función (arriba) y código (debajo).

De manera que si el error es positivo la válvula se abre, pues falta CO2, y viceversa en caso de ser negativo.

4. Escalado de salidas.

Una vez calculada el nuevo valor de apertura de la válvula, se escala para su envío a la salida de la válvula.

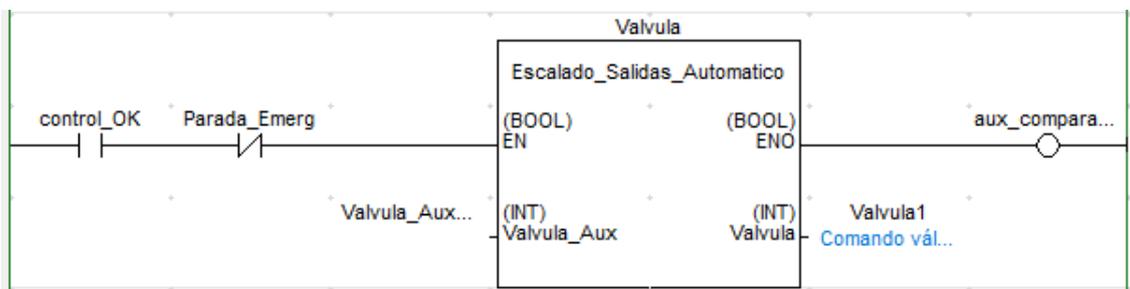


Figura 92. Implementación del bloque de escalado de salidas.

Una vez enviado el valor escalado a la válvula, se activa la salida aux_comparacion, que cierra el contacto que reinicia el contador.

•HMI

A continuación se presenta la solución para la visualización de los procesos anteriores. En el apartado se van a exponer exclusivamente las pantallas que corresponden los modos de operación manual y automático. El resto de pantallas, así como su programación pueden consultarse en el manual de usuario y el de programación, puntos IV y V del presente documento.

- Modo Manual.



Figura 93. Pantalla modo manual.

El modo manual permite modificar el valor de la apertura de la válvula de dos formas: mediante la introducción del nuevo valor directamente en el panel numérico que emerge al pulsar el cuadro de entrada numérica; y pulsando las teclas de añadir o restar valor. Posteriormente, pulsando el botón SET se hace efectivo el cambio.

Los indicadores muestran el calor de la apertura real de la válvula y de la medida de CO2.

- Modo Automático.

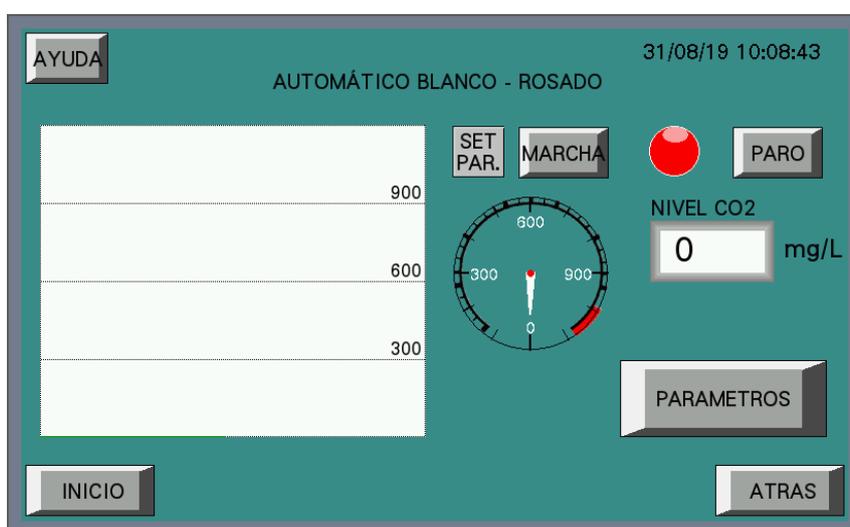


Figura 94. Pantalla modo automático.

El modo automático permite tanto arrancar/parar el bucle de control, como modificar sus parámetros -referencia de CO2 y punto de funcionamiento-.

La medida de CO2 queda reflejada de tres formas: un visualizador numérico, que permite ver el valor exacto; un medidor de manilla, pues es el método acostumbrado por el personal de la empresa; y un gráfico de tendencia, que muestra la tendencia de la medida teniendo en cuenta el aspecto temporal.

• Simulación

Se procede a simular la respuesta del sistema, en sus dos modos, para diversas entradas. La simulación no ha podido realizarse de manera integrada, pues al no pertenecer al mismo paquete de software, los programas usados no permiten realizarla.

La simulación se realiza para los casos de selección de vino blanco/rosado y dulce, para dos valores de medida de carbónico.

i. Modo manual.

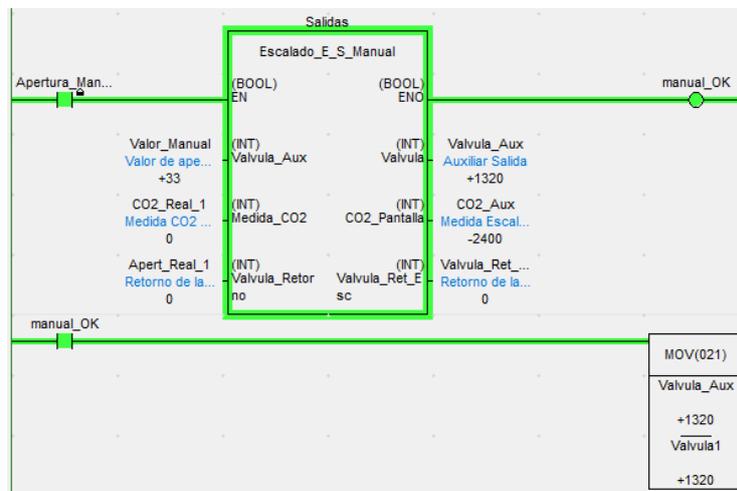


Figura 95. Simulación del modo manual.

En la imagen se muestra que, para un valor de apertura introducido por un operario de 33%, reflejado en la variable de entrada Valor_Manual, el bloque guarda en la variable auxiliar de salida un valor de 1320, que se obtiene de multiplicar el valor introducido por 40. Posteriormente, el valor pasa de la variable auxiliar a la de salida.

ii. Modo automático.

En las siguientes simulaciones se observa como, para el mismo valor de entrada de CO2, cada variedad ofrece una salida distinta, pues sus valores de referencia son distintos, siendo mayor en el caso de la variedad blanco/rosado.

- Variedad blanco/rosado.

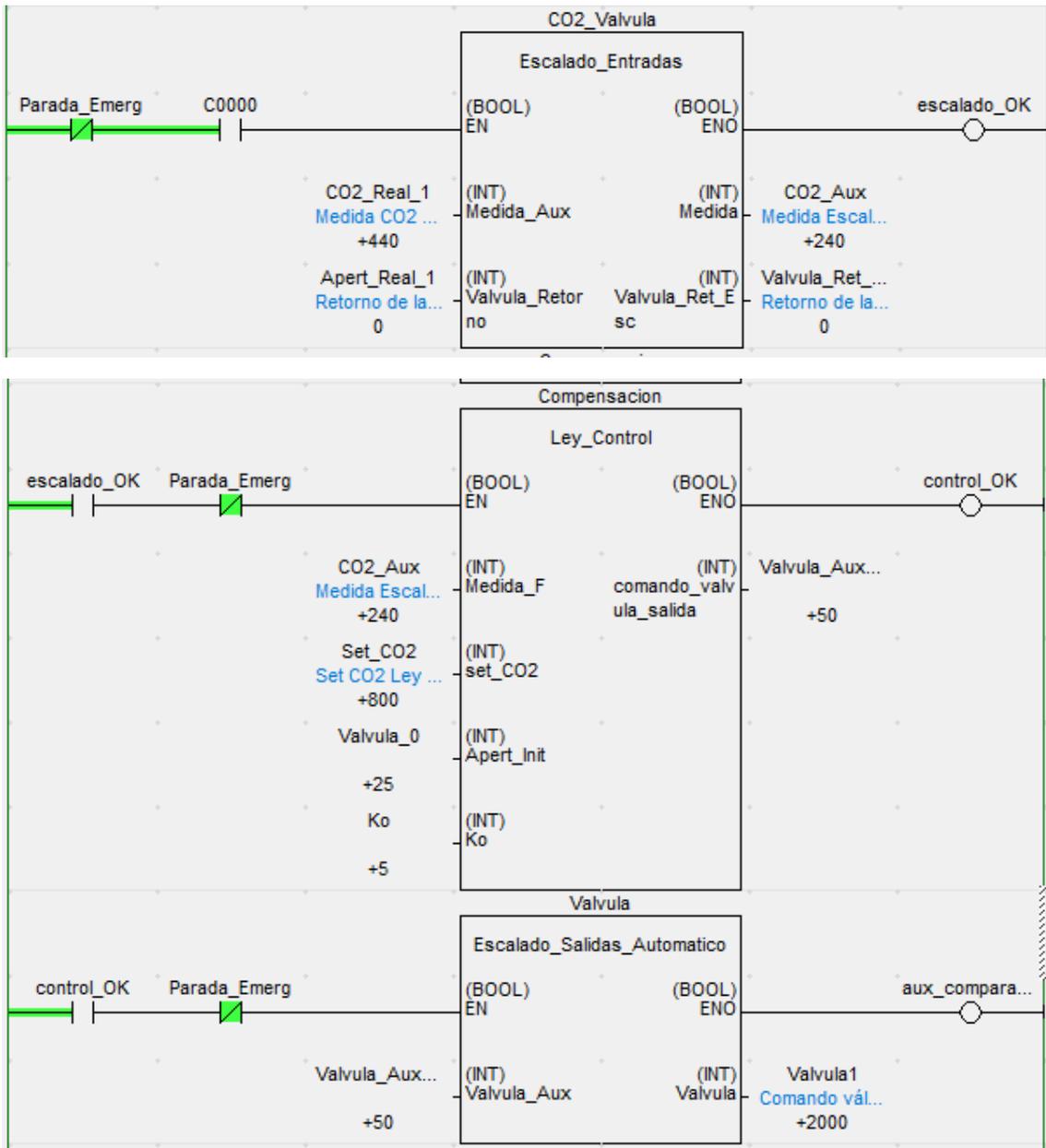


Figura 96. Simulación para la variedad blanco/rosado.

- Variedad dulce.

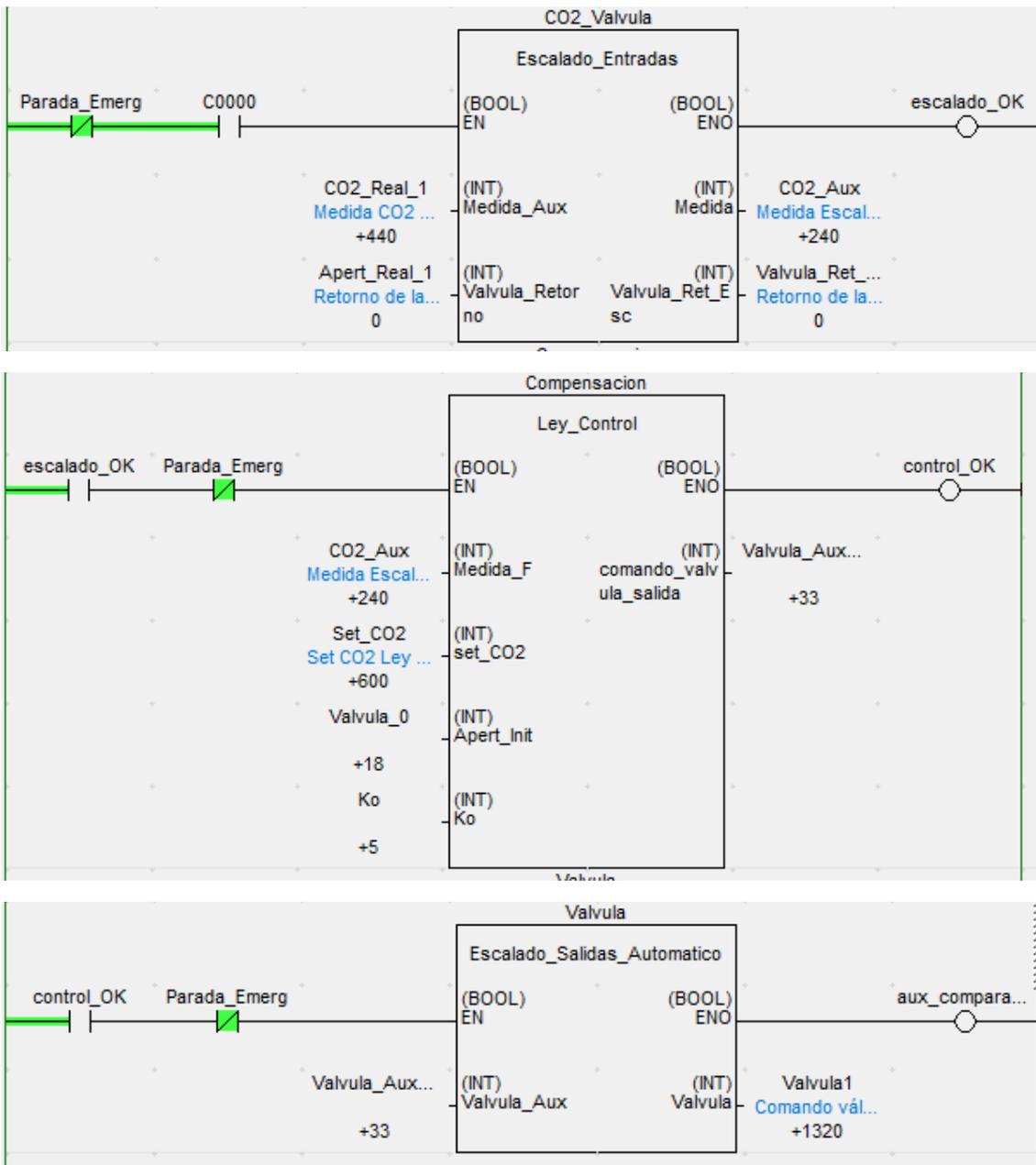


Figura 97. Simulación para la variedad dulce.

Como se puede observar, las salidas en ambos modos corresponden a la apertura deseada.

8. CONCLUSIONES

El proyecto ha sido implementado satisfactoriamente en la fase teórica, es decir, sobre el papel y simulando el sistema.

El sistema se encuentra instalado en la empresa Bodegas Gandía Pla. El montaje físico, tanto el eléctrico como el mecánico se ha realizado junto al personal de la empresa. El cuadro eléctrico, en concreto, ha sido montado con la ayuda del jefe de mantenimiento, pues es quien después debe operar con él.

El *feedback* sobre el panel HMI por parte de los operarios ha sido bueno, dando a entender que entienden a la perfección su funcionamiento y que saben operar con él.

La fase de pruebas reales no ha podido realizarse, pues falta la electroválvula, que todavía no se ha traído a la empresa. Esta fase es crucial para conocer si el sistema realmente funciona y, sobretodo, para corregir los valores de actuación de la ley de control, en caso de que éstos sean demasiado altos o bajos.

Pese a que se tenía dudas sobre el buen funcionamiento del sensor de carbónico, pues éste lleva en la empresa inutilizado muchos años, se ha comprobado que, hasta la fecha, funciona correctamente y conforme a la hoja de características.

Este trabajo, que ha sido realizado durante el periodo de prácticas de empresa del autor ha permitido asentar los conocimientos de programación, así como adquirir competencias a la hora de diseñar, buscar, tratar con proveedores y con el propio personal de la empresa, y realizar montajes reales.

A nivel humano, la experiencia ha sido sumamente satisfactoria. El trato con los trabajadores ha sido inmejorable y la libertad a la hora de elegir componentes y montarlos le ha permitido crecer como ingeniero y darse cuenta de la utilidad real de todo lo estudiado durante el grado.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE
ADICIÓN DE GAS CARBÓNICO EN LÍNEA
DE EMBOTELLADO PARA LA EMPRESA
BODEGAS GANDÍA PLA S.L.**

PLIEGO DE CONDICIONES

TRABAJO FINAL DEL

**Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y
Automática**

REALIZADO POR

Pau Castellano Rioja

TUTORIZADO POR

Sergio García-Nieto Rodríguez

FECHA: Valencia, noviembre, 2019

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	77
2. CONDICIONES TÉCNICAS	78
• Condiciones de los materiales.....	78
• Condiciones de funcionamiento.....	79
3. CONDICIONES FACULTATIVAS.....	80
• Responsabilidades del ingeniero.....	80
• Responsabilidades de la empresa	80
4. CONDICIONES ECONÓMICAS	81
• Base económica.....	81
5. CONDICIONES LEGALES	82
• Contrato	82
• Rescisión.....	82

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento reúne todos los requisitos a cumplir por las partes intervinientes en el proyecto, constituyendo una extensión del contrato entre la empresa y el ingeniero.

El escrito abarca cuatro partes diferenciadas:

- **Condiciones técnicas:** referencia a los trabajos a realizar, así como a la calidad de los materiales a emplear a lo largo de la ejecución del proyecto.
- **Condiciones facultativas:** incluyen los derechos y obligaciones de las partes implicadas.
- **Condiciones económicas:** se recogen las formas de pago y las indemnizaciones por incumplimiento.
- **Condiciones legales:** hacen referencia al perfil de contratista, la forma de adjudicación, el tipo de contrato, la obligatoriedad de suscripción de seguros de responsabilidad civil y otros asuntos relacionados.

2. CONDICIONES TÉCNICAS

• Condiciones de los materiales

Gran parte de los componentes de trabajo son elementos eléctricos que están conectados a la red de corriente alterna de 220V y 50Hz. Por este motivo, todos los componentes se rigen por el Reglamento de Baja Tensión (RBT), y sus Instrucciones Complementarias.

En concreto,

- **ITC-BT-18:** instalaciones de puesta a tierra.
- **ITC-BT-19:** instalaciones interiores o receptoras. Prescripciones generales.
- **ITC-BT-20:** instalaciones interiores o receptoras. Sistemas de instalación.
- **ITC-BT-22:** instalaciones interiores o receptoras. Protección contra sobrecorrientes.
- **ITC-BT-23:** instalaciones interiores o receptoras. Protección contra sobretensiones.
- **ITC-BT-24:** instalaciones interiores o receptoras. Protección contra contactos directos e indirectos.
- **ITC-BT-51:** instalaciones de sistemas de automatización, gestión técnica de la energía y seguridad.

Además, debe tenerse en cuenta la siguiente norma UNE:

- **UNE 20 514 1M:** reglas de seguridad para aparatos electrónicos y aparatos con ellos relacionados de uso doméstico o uno general análogo conectado a una red de energía.

i. Ordenador personal

El ordenador dispondrá de CPU, pantalla, teclado, ratón, y conexión USB y Ethernet.

Además, reunirá las siguientes prestaciones:

- Procesador Intel Core i5.
- Memoria RAM 8GB.
- Espacio libre mínimo en el disco duro de 20GB.
- Sistema operativo Windows XP o posterior.

La temperatura de trabajo deberá estar comprendida entre 0 y 60 grados para su correcto funcionamiento.

ii. El autómata programable

El autómata deberá estar conectado a 220V/50Hz de alterna. Todos los módulos deberán estar sobre el rack y unidos.

Debe cumplir la norma DIN VDE 0160.

iii. Fuente de alimentación

La fuente de alimentación contará con un mínimo de dos salidas de 24V y una potencia máxima de 120W. Deberá contar con protección frente a sobrecargas, corriente, y temperatura.

iv. Software

El software deberá ser totalmente compatible con el autómata elegido.

• Condiciones de funcionamiento

Deberán realizarse pruebas previas a la puesta en marcha definitiva del sistema. Estas pruebas incluirán simulaciones y pruebas a nivel físico.

3. CONDICIONES FACULTATIVAS

• Responsabilidades del ingeniero

Debe estar informado y actuar conforme a las leyes que rigen su actividad profesional.

Debe conocer las especificaciones técnicas y normas de seguridad aplicables a los elementos del proyecto.

Tiene la responsabilidad de que los elementos escogidos para realizar el proyecto cumplan con dichas especificaciones.

Queda bajo su responsabilidad el dar el visto bueno y el realizar las comprobaciones especificadas en el punto anterior.

• Responsabilidades de la empresa

Deberá facilitar toda la información relacionada con el proyecto al ingeniero.

Deberá dar por escrito las especificaciones del proyecto que deben llevarse a cabo.

No podrá reclamar por retrasos en la ejecución del proyecto ajenos al ingeniero.

4. CONDICIONES ECONÓMICAS

• Base económica

El ingeniero está en pleno derecho de recibir su retribución por el trabajo realizado, siempre que se haya completado conforme se haya estipulado en el proyecto.

i. Precios y recargos

El precio por la ejecución del proyecto queda establecido en el Presupuesto.

En caso de producirse retrasos en el pago, se aplicarán los recargos siguientes:

- Entre 1 y 7 días – Sin recargo
- Entre 8 y 15 días – 1% de recargo
- Entre 16 y 25 días – 2% de recargo
- Entre 26 y 50 días – 4% de recargo
- Entre 51 y 100 días – 8% de recargo
- Entre 101 y 200 días – 20% de recargo
- Entre 201 y 300 días – 35% de recargo

En caso de impago tras 300 días naturales desde la conclusión del proyecto el ingeniero tiene derecho a realizar una demanda ante los tribunales.

En caso de retrasarse en la entrega, por motivos que no estén justificados como ajenos al ingeniero, se aplicarán las siguientes devaluaciones:

- Entre 1 y 7 días – Sin reducción
- Entre 8 y 15 días – 2% de reducción
- Entre 16 y 25 días – 3% de reducción
- Entre 26 y 50 días – 5% de reducción
- Entre 51 y 100 días – 15% de reducción

En caso de no haber finalizado el proyecto después de 101 según los plazos acordados, siempre que los retrasos no sean por causas justificadas ajenas al Contratista, el contratante tendrá derecho a rescindir el contrato.

5. CONDICIONES LEGALES

• Contrato

El contrato deberá realizarse por escrito, cumplir todos los requisitos legales y estar firmado por todas las partes implicadas.

En este contrato se deberán especificar el precio inicial de fabricación del producto y su coste unitario.

A este precio se le añadirán, si es necesario, las tarifas impuestas en el apartado anterior.

Además, deberán aparecer todas aquellas cláusulas que deban cumplir alguna de las partes.

• Rescisión

Para la posible rescisión del contrato se deberá de dar una de las siguientes condiciones:

- Acuerdo entre ambas partes para rescindir el contrato.
- Modificación de los aspectos fundamentales del proyecto acordados.
- Incumplimiento de los plazos establecidos.
- Impago.
- Actuaciones con mala fe.

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE
ADICIÓN DE GAS CARBÓNICO EN LÍNEA
DE EMBOTELLADO PARA LA EMPRESA
BODEGAS GANDÍA PLA S.L.**

PRESUPUESTO

TRABAJO FINAL DEL

**Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y
Automática**

REALIZADO POR

Pau Castellano Rioja

TUTORIZADO POR

Sergio García-Nieto Rodríguez

FECHA: Valencia, noviembre, 2019

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	86
2. COSTES	87
• MATERIALES	87
• SOFTWARE.....	89
• MANO DE OBRA	89
• TOTAL	89
3. BENEFICIO.....	90
4. COSTES GENERALES.....	90
5. TOTAL	90

1. INTRODUCCIÓN

Se va a proceder a presupuestar el proyecto. Para ello, se analizan tanto los costes como los beneficios.

Con el fin de clarificar la procedencia de cada gasto, se ha procedido a diferenciar los costes según su naturaleza. Esto es: materiales, mano de obra, y generales. A cada gasto se adjunta su correspondiente factura.

Se procede a mostrar los precios descompuestos descompuestos del proyecto.

2. COSTES

• MATERIALES

La empresa dispone de ciertos elementos básicos como cables, fichas, interruptores de emergencia, o relés. También dispone del sensor de carbónico Centec Carbotec.

El ingeniero dispone de ordenador personal que cumple con los requisitos expuestos en el Pliego de condiciones.

Por tanto, se procede a exponer los precios de los elementos que ha sido necesario adquirir.

i. ELEMENTOS DE CONTROL

ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
PLC CJ2M CPU 31	1	670,88	670,88
FUENTE DE ALIMENTACIÓN	1	129,45	129,45
MÓD. ENTRADAS DIGITALES	1	137,25	137,25
MÓD. SALIDAS DIGITALES	1	160,88	160,88
MÓD. ENTRADAS ANALÓGICAS	1	568,88	568,88
MÓD. SALIDAS ANALÓGICAS	1	408	408
TERMINAL HMI NB7WTW01B	1	473,55	473,55
ELECTROVÁLVULA	1	135,26	135,26
CABEZAL PWM	1	32,6	32,6
SWITCH	1	77,28	77,28
SUBTOTAL (€)			2794,03

ii. ELEMENTOS DEL CUADRO ELÉCTRICO

ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
PILOTO LUMINOSO	1	13,79	13,79
PLACA BAQUELITA	1	78	78
CARRIL DIN 2m	2	2,5	5
CANAL CUADRO	6	7,28	43,68
CUADRO ELÉCTRICO	1	300	300
SUBTOTAL (€)			440,47

iii. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA

ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
INT. DIFERENCIAL 25A	1	45	45
INT. MAGNETOTÉRMICO 10A	2	67	134
INT. MAGNETOTÉRMICO 2A	3	63,5	190,5
SUBTOTAL (€)			369,5

• **SOFTWARE**

ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CX-PROGRAMMER	1	1200	1200
NB-DESIGNER	1	0	0
SUBTOTAL (€)			1200

• **MANO DE OBRA**

Para la mano de obra, se ha considerado un salario de 20€/h para los trabajos de programación, y de 15€/h para los de montaje.

FASE	CANTIDAD (HORAS)	PRECIO (€/h)	IMPORTE (€)
DISEÑO	50	20	1000
PROGRAMACIÓN PLC	60	20	1200
PROGRAMACIÓN HMI	90	20	1800
MONTAJE	100	15	1500
SUBTOTAL	300		5500

• **TOTAL**

TOTAL (€)	10804
------------------	--------------

3. BENEFICIO

El beneficio industrial es un porcentaje sobre el total de fabricación del proyecto. En el presente proyecto, se aplica un porcentaje del 20%.

4. COSTES GENERALES

COSTES GENERALES	IMPORTE
MATERIAL	3604
SOFTWARE	1200
MANO DE OBRA	5500
BENEFICIO	2060,8
SUBTOTAL(€)	12364,8
TOTAL (IVA incl.)	14961,41

5. TOTAL

Al precio definitivo falta aplicarle los impuestos correspondientes. En este caso se le aplica el IVA, que en estos momentos corresponde al 21%.

$$12364.8 \cdot 1.21 = 14961.41\text{€}$$

PRESUPUESTO FINAL DEL PROYECTO: 14961.41€

CATORCE MIL NOVECIENTOS SENSENTA Y UN EUROS Y 41 CÉNTIMOS

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE
ADICIÓN DE GAS CARBÓNICO EN LÍNEA
DE EMBOTELLADO PARA LA EMPRESA
BODEGAS GANDÍA PLA S.L.**

PLANOS

TRABAJO FINAL DEL

**Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y
Automática**

REALIZADO POR

Pau Castellano Rioja

TUTORIZADO POR

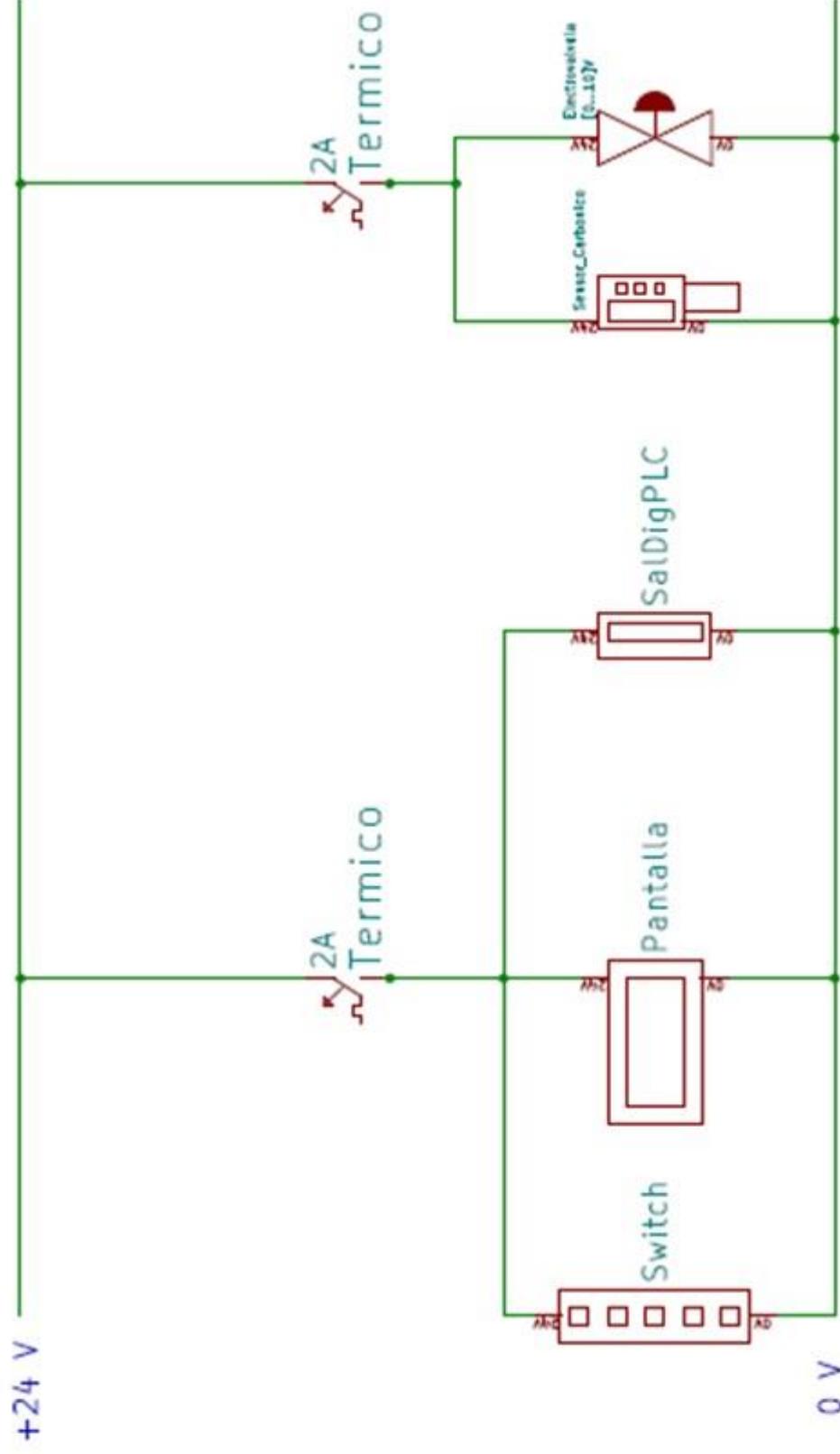
Sergio García-Nieto Rodríguez

FECHA: Valencia, noviembre, 2019

ÍNDICE GENERAL

a. Alta Tensión.....	95
b. Baja Tensión.	96
c. Entradas Analógicas del PLC.....	97
d. Salidas Analógicas del PLC.....	98
e. Entradas Digitales del PLC.	99
f. Salidas Digitales del PLC.	100

BAJA TENSIÓN



BODEGAS GANDUJA PLA SL

Sheet: /

File: Baja_Tension.sch

Title: CARBÓNICO BAJA TENSIÓN

Size: A4

Date: 2019-03-25

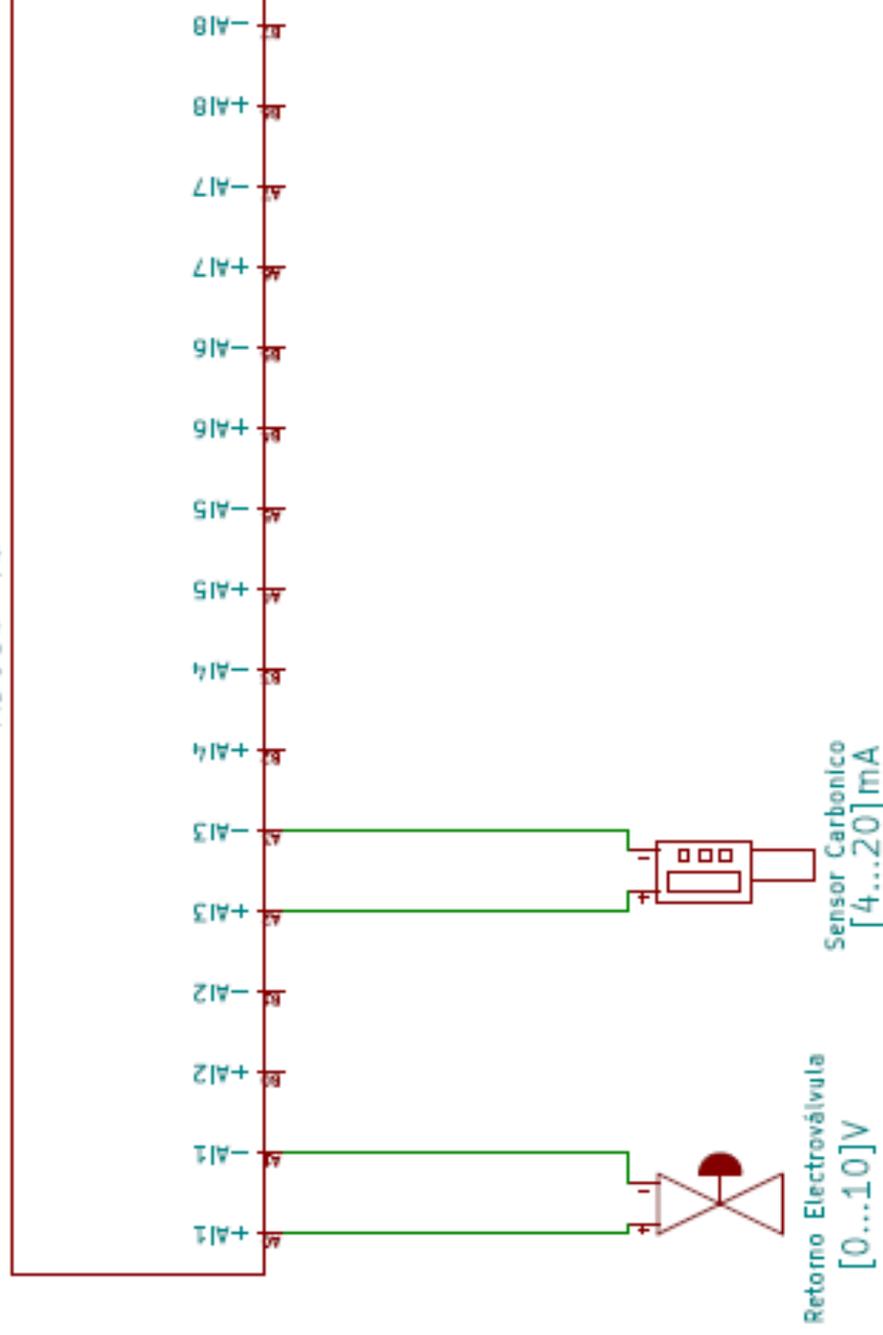
FileCad E.D.A. - Ilicad (5.0.2)-1

Rev:

Id: 1/1

ENTRADAS ANALÓGICAS AUTÓMATA

AD081-V1



BODEGAS GANDIA PLA SL

Sheet: /

File: ENTRADAS_Analogico.sch

Title: ENTRADAS ANALÓGICAS PLC

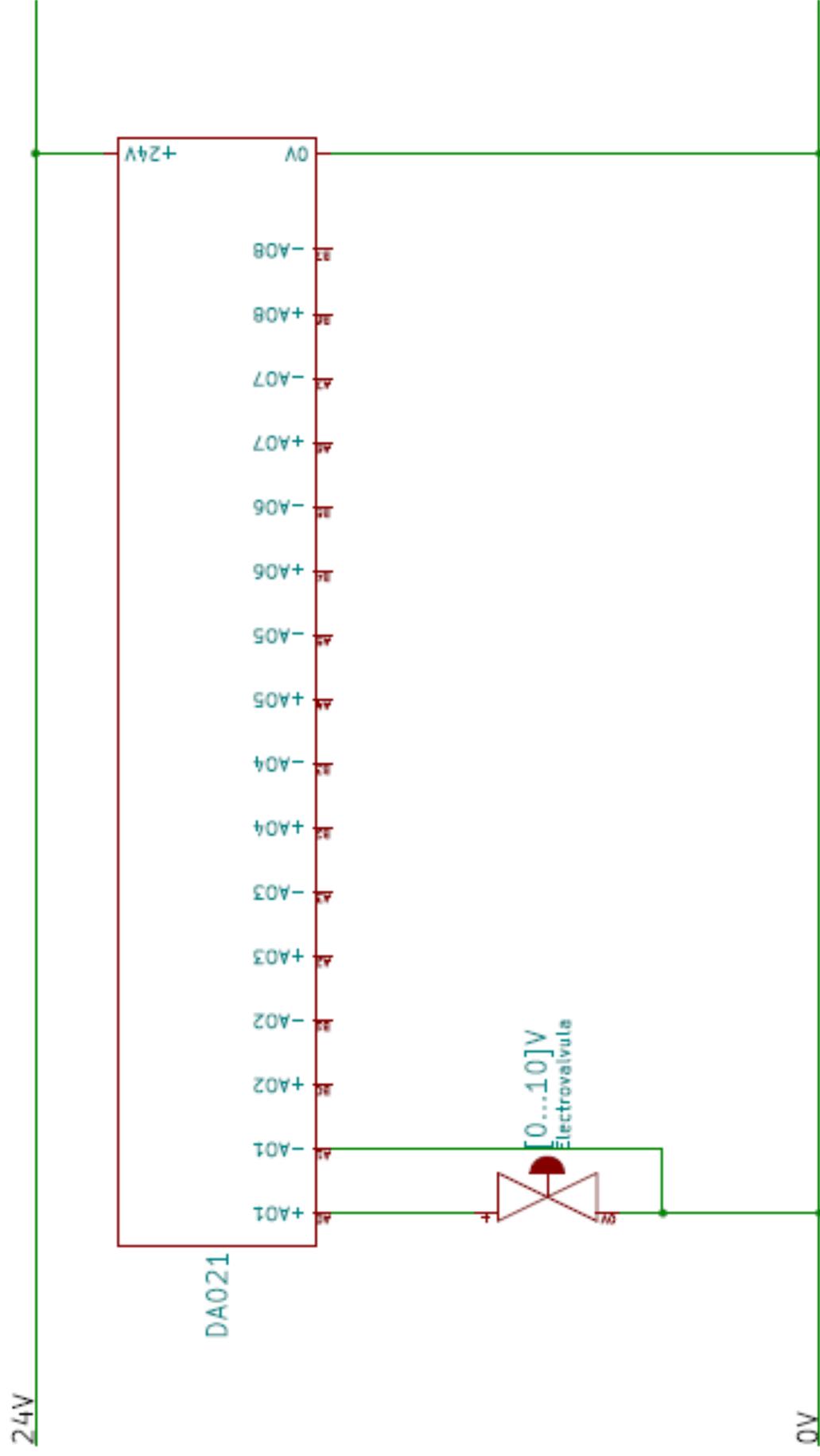
Size: A4 Date: 2019-03-26

KiCad E.D.A. eschema (5.0.2)-1

Rev:

ID: 1/1

SALIDAS ANALÓGICAS AUTÓMATA



BODEGAS GANDIJA PLA SL

Sheet: /

File: Analogico.sch

Title: SALIDAS ANALÓGICAS PLC CARBONICO

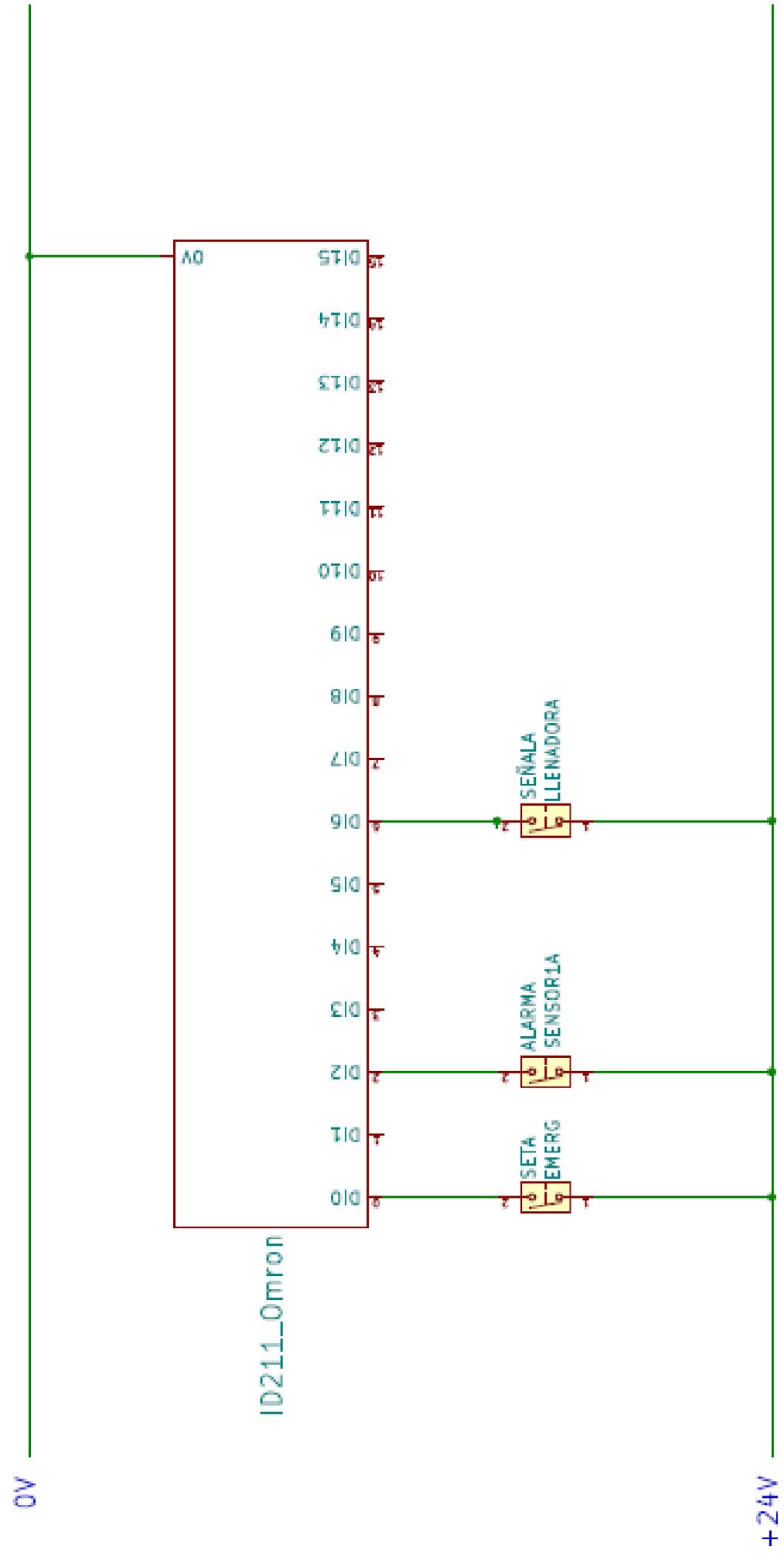
Size: A4 Date: 2019-03-26

Rev:

KiCad E.D.A. Mlead (5.0.2)-1

Id: 1/1

ENTRADAS DIGITALES AUTÓMATA



000EGAS GANDIA PLA SL

Sheet: /
File: Entradas PLC.ach

TITLE: ENTRADAS DIGITALES PLC CJ2M

Size: A4 Date: 2019-03-25

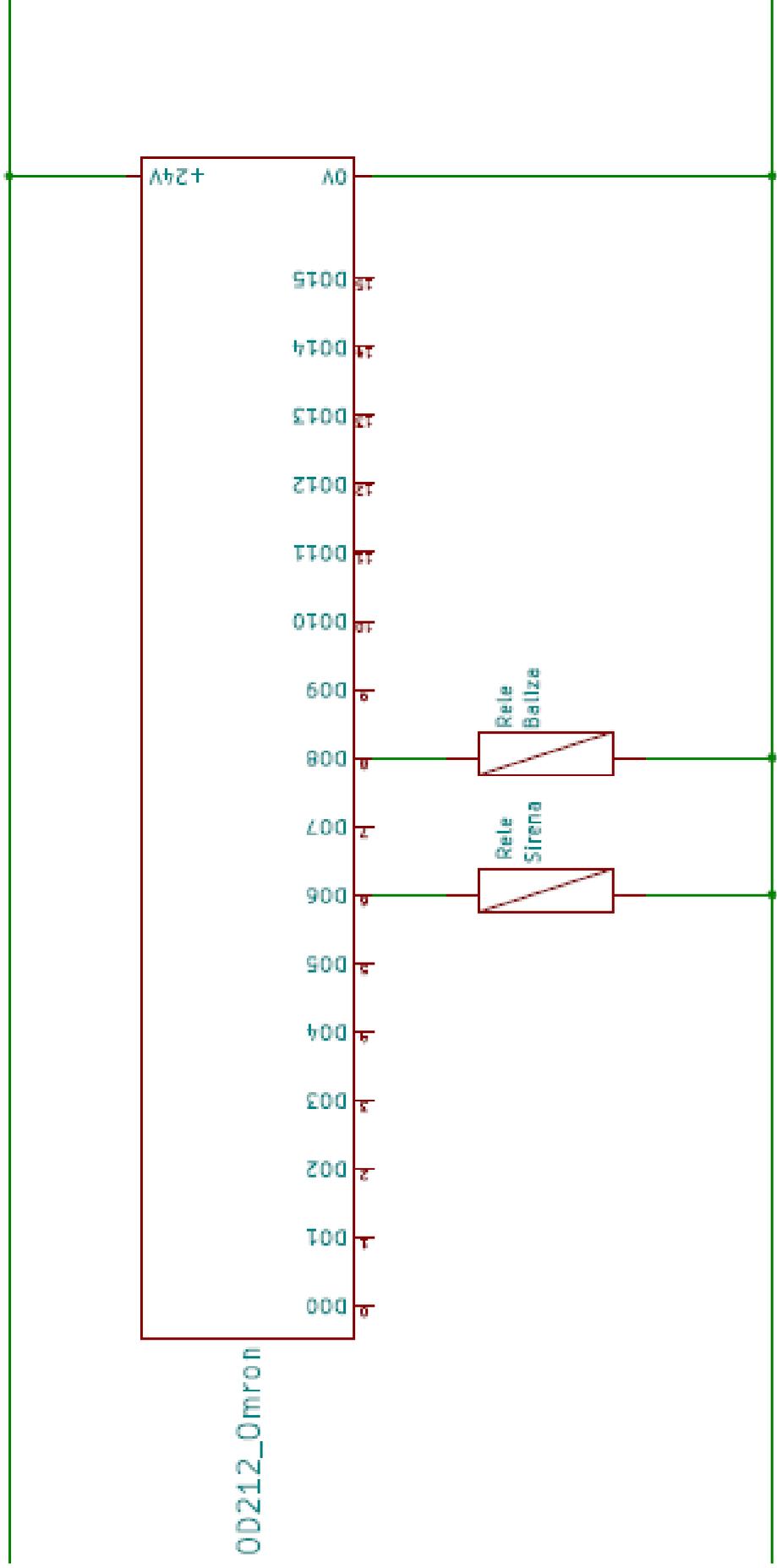
KICad E.D.A. esquema (S.O.2)-1

Rev:

Id: 1/1

SALIDAS DIGITALES AUTÓMATA

+24V



0D212_Omron

0V +24V

D00 D01 D02 D03 D04 D05 D06 D07 D08 D09 D10 D11 D12 D13 D14 D15

RODEGAS GARCIA PLA SL

Sheet: /

File: Salidas PLC.sch

Title: SALIDAS DIGITALES PLC CARBÓNICO

Size: A1 Date: 2019-03-25

Rev: 1

FileCad E.D.A. esquema [5.0.2]-1

1/1



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE
ADICIÓN DE GAS CARBÓNICO EN LÍNEA
DE EMBOTELLADO PARA LA EMPRESA
BODEGAS GANDÍA PLA S.L.**

MANUAL DE USUARIO

TRABAJO FINAL DEL

**Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y
Automática**

REALIZADO POR

Pau Castellano Rioja

TUTORIZADO POR

Sergio García-Nieto Rodríguez

FECHA: Valencia, noviembre, 2019

Contenido

1. Introducción	103
2. El entorno	103
• Selección de vino.....	104
3. Modos de funcionamiento	105
• Manual	105
• Automático.....	107
4. Parametrización	108
5. Control de históricos	109
6. Emergencia.....	110

1. Introducción

El presente documento explica el funcionamiento del programa a nivel operativo. Se ha dividido en apartados que siguen el flujo que el operario seguirá al navegar por las diferentes pantallas. Se presupone que el trabajador conoce tanto las características del producto como ciertos conceptos básicos como el nivel de concentración y sus unidades.

2. El entorno

La pantalla consta de elementos simples como botones, paneles numéricos donde introducir datos referentes a la concentración, indicadores de nivel en forma de manecilla y numéricos. Es un entorno simple e intuitivo que permite saber en todo momento el estado tanto actual como desde el comienzo de la jornada. Al iniciar el sistema aparece el logo de la empresa, que inmediatamente desaparece para dar paso a la pantalla de la ilustración.

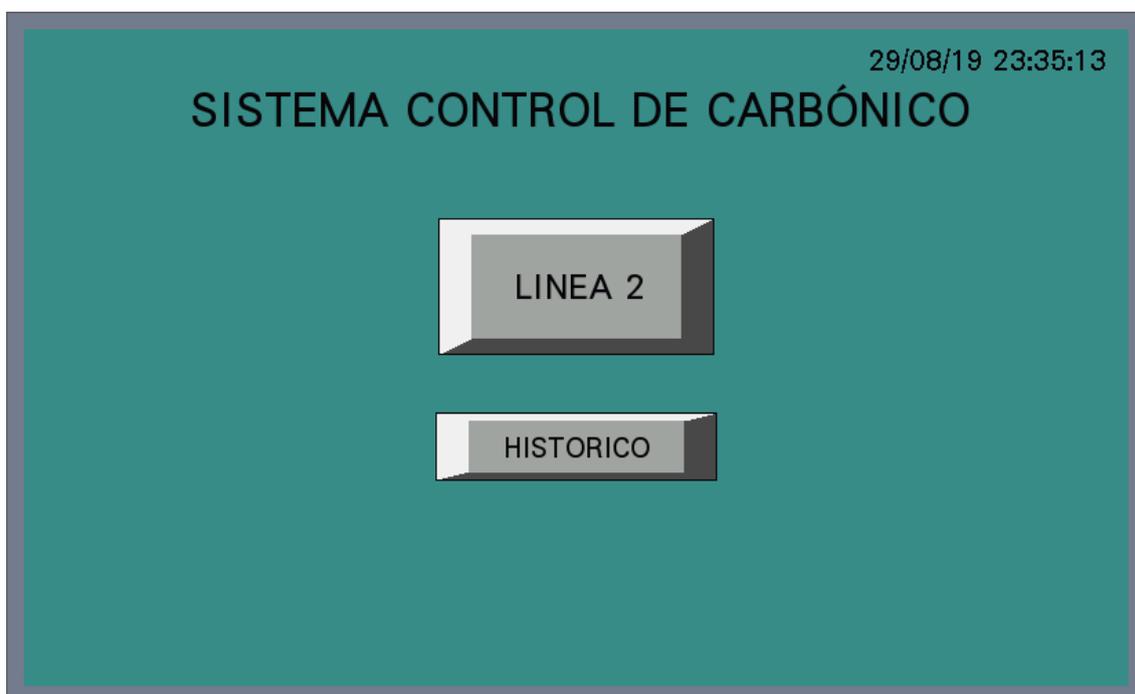


Figura 98. Pantalla inicial.

Como se puede observar, la única línea que cuenta con el control automático es la línea 2. Al pulsar sobre el botón “Línea 2” se da paso a la pantalla de selección de vino. El botón inferior, “Histórico” da paso a la ventana de históricos, que se comentará más adelante.

• Selección de vino.

Esta pantalla permite seleccionar la variedad con la que se va a trabajar durante el período deseado. Por supuesto, si se cambia de producto durante la jornada un operario deberá realizar el cambio de programación oportuno. Al pulsar sobre cualquiera de las tres opciones el programa da a elegir entre modo manual o automático.



Figura 99. Pantalla de selección de producto.

i. Blanco - Rosado

Esta variedad contiene una concentración de CO₂ de unos 800 mg/L.

ii. Dulce

Esta variedad contiene una concentración de CO₂ de unos 600 mg/L.

iii. Sandara

Al seleccionar esta variedad el programa no da la opción de seleccionar ni el modo manual ni el automático, pues la adición de carbónico del Sandara se realiza en los depósitos donde se guarda hasta su embotellamiento. En su lugar, da paso a la pantalla propia del Sandara, que sólo permite comprobar el nivel de carbónico y su histórico, así como guardarlo.

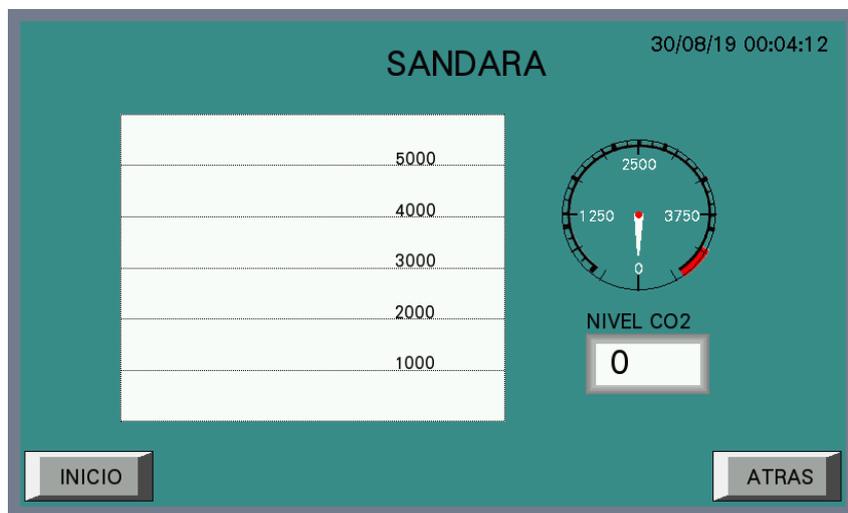


Figura 100. Modo "Sandara"

3. Modos de funcionamiento

En esta sección se explican los modos de funcionamiento manual y automático, siendo estos exactamente iguales tanto para la variedad blanco-rosado como para la dulce. Como se ha comentado anteriormente, la única diferencia entre ambos es la concentración de carbónico.

- **Manual**



Figura 101. Pantalla modo manual blanco/rosado.

En la imagen superior se observa la pantalla del modo manual de la tipología blanco-rosado. Como se puede ver, el elemento que se puede controlar en este caso es la apertura de la válvula, siendo 0 la apertura mínima y 100 la máxima. Los dos indicadores de abajo indican, de izquierda a derecha, el retorno de la válvula y el nivel de CO₂. El retorno de la válvula indica el valor real de la apertura de la válvula, en porcentaje, y sirve como comprobación de que realmente la apertura alcanzada es la que se le ha indicado. El nivel de CO₂ indica la concentración de carbónico del vino en mg/L. Se debe tener en cuenta que las modificaciones en la apertura de la válvula tienen repercusión en la concentración pasados unos 30 segundos, por lo que es recomendable realizar cambios graduales y esperar para observar los cambios en la concentración.

Existen dos formas de modificar dicha apertura. Al pulsar sobre el recuadro blanco donde indica el valor de apertura, un panel numérico emerge, y permite escribir el valor de apertura deseado, siempre entre los valores 0 y 100.

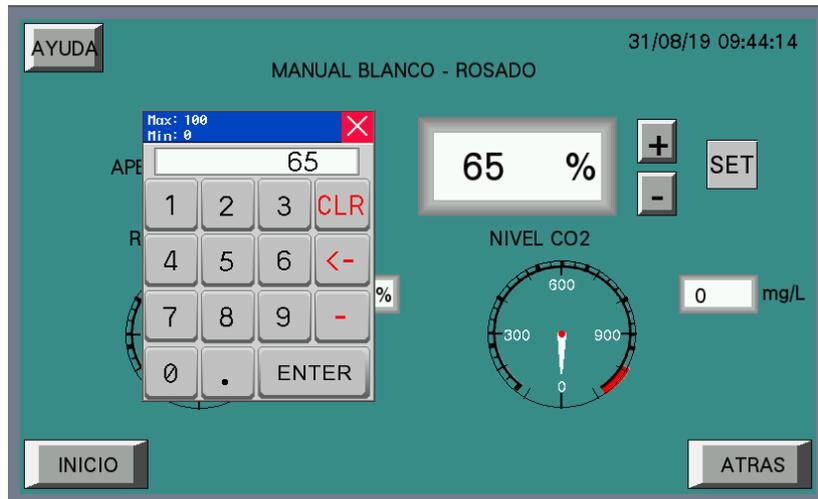


Figura 102. Cambio de apertura en modo manual.

Una vez introducido el valor, se pulsa la tecla “ENTER”, y el panel desaparece automáticamente. Para establecer el valor en el programa, se pulsa el botón “SET” a la derecha del recuadro.

Para cerrar la válvula, basta con introducir el valor 0 en el campo de entrada y pulsar el botón SET.

El botón “AYUDA” de la parte superior izquierda da paso a la pantalla de instrucciones, tanto para el modo manual como para el automático. En ella se explica brevemente el procedimiento para iniciar el funcionamiento en ambos modos, así como detalles a tener en cuenta. En concreto, se recalca que la concentración se da en mg/L en toda la aplicación, puesto que en laboratorio se trabaja en g/L.

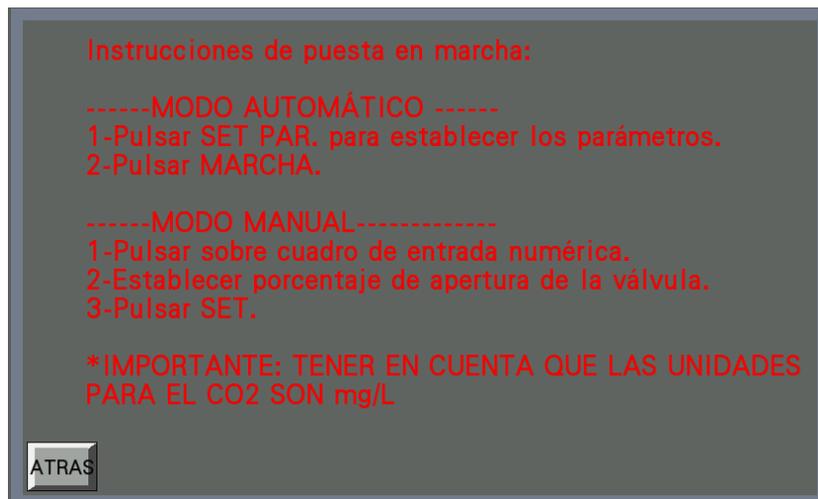


Figura 103. Pantalla de instrucciones.

Por último, los botones de navegación entre pantallas, situados en la parte inferior, ofrecen dos posibilidades. “ATRAS” vuelve a la pantalla anterior, sin importar la pantalla en la que se encuentre el operario. El botón “INICIO” vuelve a la pantalla inicial, que permite elegir la línea y

observar los históricos diarios. Se debe tener en cuenta que, pese a volver a la pantalla inicial, la válvula sigue abierta y el sistema en funcionamiento.

•Automático

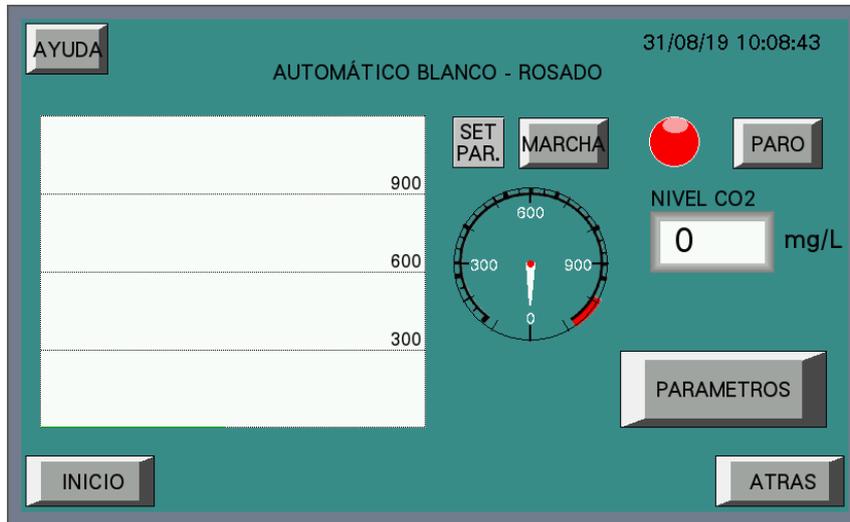


Figura 104. Pantalla de modo automático.

En la imagen se puede ver la pantalla del modo automático de la variedad blanco-rosado. En esta pantalla se muestra la concentración de tres formas: mediante unos indicadores de tipo numérico y de manecilla, y en un gráfico que muestra su evolución temporal.

Antes de pulsar el botón de “MARCHA”, que activa el control de la válvula, se debe pulsar el botón “SET PAR.”, pues este realiza la acción de asignar los parámetros correspondientes al tipo de vino, de los que se habla en el siguiente punto. Una vez pulsados los botones en el orden correspondiente, se observa como el indicador rojo pasa a ser verde, y valores de concentración empiezan a aparecer en todos los indicadores. Para parar el sistema tan solo se debe pulsar el botón “PARO”, y se observará cómo el indicador vuelve a ser rojo.

El botón “PARAMETROS” permite modificar los valores de actuación del sistema.

Los botones “AYUDA”, “INICIO” y “ATRAS” cumplen la función explicada en el apartado anterior.

4. Parametrización



Figura 105. Pantalla de modificación de parámetros.

Esta pantalla permite modificar los valores de referencia que utiliza el programa en modo automático. Al pulsar el botón “SET PAR.” de la pantalla del modo automático, aparecen los valores por defecto programados para cada tipo de vino. Éstos pueden ser modificados fácilmente pulsando el cuadro blanco y escribiendo en el teclado emergente la cifra deseada, siempre teniendo en cuenta las unidades, tanto por cien para la apertura y mg/L para el SET del CO₂. Una vez introducidos los valores, se confirma la operación pulsando el botón “SET” a la derecha de cada recuadro.

Es conveniente consultar con el personal de laboratorio los posibles cambios en los parámetros, pues estos varían el resultado final de la concentración.

La apertura inicial de la válvula hace referencia al valor de apertura que adquiere la válvula en el primer instante de activación, y es sobre el que después va a ir variando.

El set de CO₂ es la referencia de concentración que el programa de control va a seguir.

El botón “SINCR. HOR.” que aparece debajo a la derecha simplemente permite sincronizar la fecha y la hora que aparecen en la parte superior derecha de todas las pantallas con el reloj interno del autómeta.

5. Control de históricos

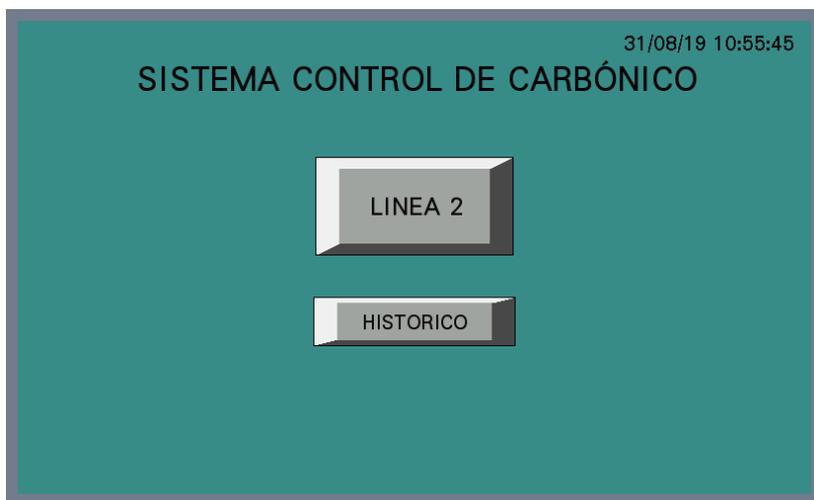


Figura 106. Pantalla inicial.

Las pantallas de históricos son accesibles desde la pantalla inicial, pulsando el botón "HISTORICO". Este da paso directamente a las siguientes pantallas:

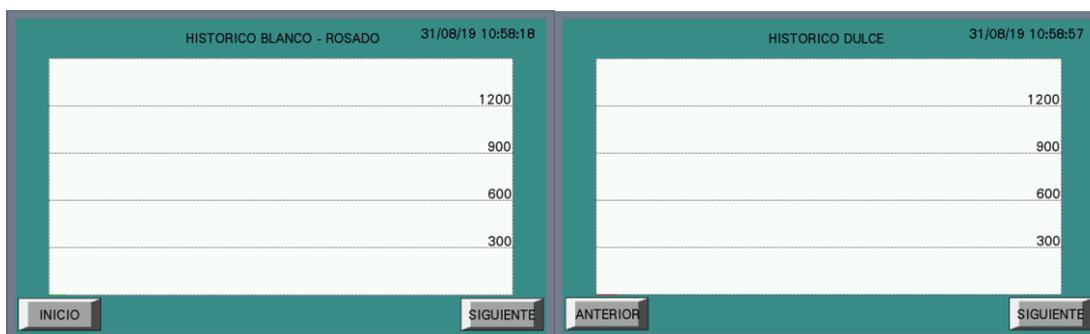


Figura 107. Pantallas de históricos.

Estas pantallas permiten observar el histórico diario de los tres productos.

Los botones "SIGUIENTE" y "ANTERIOR" permiten navegar entre los gráficos de los distintos tipos de vino, mientras que el botón "INICIO" da paso a la pantalla inicial.

El histórico de datos, a su vez, se guarda en una memoria externa conectada a la parte trasera de la pantalla mediante USB. El programa crea, por defecto, un archivo para cada tipo de vino, de tipo Excel, con dos columnas: la de la izquierda muestra la fecha y la hora, mientras que la de la derecha muestra el valor de la concentración. Esto permite llevar un control muy preciso, pues el sistema anota una medida cada 20 segundos, de manera que, con una pequeña modificación del Excel, se puede crear un gráfico muy preciso de la concentración.

6. Emergencia

En caso de emergencia por mal funcionamiento del sistema, es preciso activar el pulsador de emergencia de tipo “seta” situado en la parte inferior derecha de la puerta del armario. Éste, a su vez, activará la baliza, indicando al personal de mantenimiento el mal funcionamiento.

En caso de que la baliza y la sirena se activen de forma automática, se debe llamar inmediatamente al personal de mantenimiento, pues es señal de que el sensor de carbónico ha activado su alarma general interna, que informa de mal funcionamiento o rotura del mismo.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE
ADICIÓN DE GAS CARBÓNICO EN LÍNEA
DE EMBOTELLADO PARA LA EMPRESA
BODEGAS GANDÍA PLA S.L.**

MANUAL DE PROGRAMADOR

TRABAJO FINAL DEL

**Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y
Automática**

REALIZADO POR

Pau Castellano Rioja

TUTORIZADO POR

Sergio García-Nieto Rodríguez

FECHA: Valencia, noviembre, 2019

Contenido

1.	Autómata Omron CJ2M-CPU31.....	113
•	Configuración de los terminales de E/S.	113
2.	Estrategia de control	115
•	VARIABLES	116
•	A1. Etapa inicial	118
•	D1. Parada de emergencia.	119
•	F1. Modo automático.....	120
•	F2. Preparación del modo automático.....	122
•	F3. Paro del modo automático.....	126
•	F4. Modo manual.	126
•	Control de históricos.	127
•	Bloques de función.....	127
2.	HMI Omron NB7W-TW01B	134
a.	Configuración de las conexiones	134
b.	Componentes usados en la programación.....	136
c.	Macros.....	146

1. Autómata Omron CJ2M-CPU31

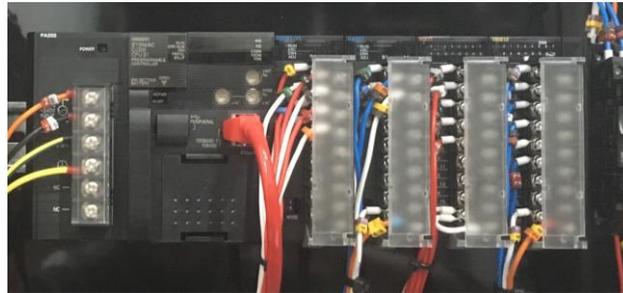


Figura 108. PLC y terminales de E/S en la instalación.

• Configuración de los terminales de E/S.

El primer paso para empezar a realizar la programación del autómata consiste en configurar sus terminales de entrada y salida, ya que este PLC es de tipología modular, es decir, permite añadir módulos de entradas y salidas, de manera que la funcionalidad se puede variar al gusto. En este caso, se han elegido dos terminales de entradas y dos de salidas, uno analógico y uno digital por pareja, que hacen un total de ocho entradas analógicas, dieciséis digitales, dos salidas analógicas y dieciséis digitales. Con este número de entradas y salidas quedan cubiertas todas las necesidades del proyecto actual y de posibles ampliaciones futuras del mismo, ya que la planta dispone de dos líneas de embotellado y, por tanto, dos válvulas a controlar como máximo.

Los principales aspectos a configurar en los terminales son: la posición dentro del rack, las entradas o salidas activas, y los valores de voltaje o corriente de trabajo.

La configuración de la posición dentro del rack se realiza para todos los terminales de la misma forma:

- En el sistema físico, conectándolos al autómata en el orden deseado, e indicando en el reloj delantero el número de unidad dentro del rack.
- En el software, estableciendo el mismo orden que en el sistema físico a la hora de añadirlos en la tabla de terminales de entrada y salida del autómata.

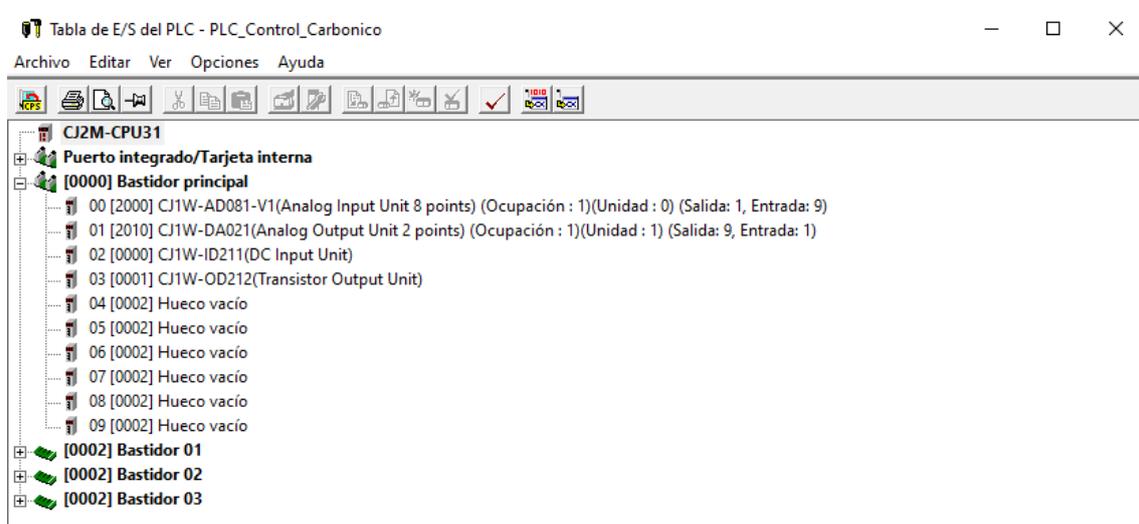


Figura 109. Configuración de los terminales de E/S en CX Programmer.

i. Entradas analógicas. CJ1W-AD081-V1.

En este terminal se van a utilizar las entradas 1 y 3, por lo que primeramente se tienen que habilitar:

Elemento	Seleccionar valor
Input1 Input signal use setting	Enable
Input2 Input signal use setting	Disable
Input3 Input signal use setting	Enable

Figura 110. Ejemplo de habilitación de entrada analógica.

Esta acción también puede realizarse activando los bits 0 y 2 de la dirección 20000 del área de memoria D.

Seguidamente, se establecen los valores de trabajo de ambas entradas:

Input1 Input range setting	0-10V
Input2 Input range setting	0-10V
Input3 Input range setting	1-5V/4-20mA

Figura 111. Ejemplo de configuración de rango de trabajo.

La entrada 1 se ha configurado para recibir de 0 a 10 V, pues corresponde a los valores de trabajo del retorno de la electroválvula.

La entrada 3, por su parte, recibe los 4-20 mA del sensor de carbónico.

Por último, se configura la resolución deseada. En este caso, con 4000 puntos, es suficiente para realizar un buen control del sistema:

Conversion time/resolution setting	1ms/4000
------------------------------------	----------

Figura 112. Configuración de la resolución.

ii. Salidas analógicas. CJ1W-DA021.

El sistema, de momento, dispone de una electroválvula, por lo que solamente se habilita la primera salida del terminal:

Output1 Output use setting	Enable
Output2 Output use setting	Disable

Figura 113. Habilidad de salidas analógicas.

Como en el caso anterior, esta activación puede llevarse a cabo activando el bit 0 de la dirección 20100 del área de memoria D.

Una vez habilitada la salida, se indica el rango de trabajo y las unidades de la misma:

Output1 Output signal range setting	0-10V
-------------------------------------	-------

Figura 114. Configuración del rango de trabajo del terminal de salidas analógicas.

En este caso, el convertor utiliza la señal 0-10V para realizar la modulación de ancho de pulso para controlar el servomotor de la electroválvula.

iii. Entradas digitales. CJ1W-ID211.

Este terminal no requiere de configuración adicional.

iv. Salidas digitales. CJ1W-OD212.

Este terminal no requiere de configuración adicional.

2. Estrategia de control

El programa está planteado siguiendo el esquema de programación GEMMA, dado que ésta herramienta permite visualizar y seguir los modos de funcionamiento de manera intuitiva, de manera que el programador que se encargue de realizar posteriores cambios en el código pueda leerlo fácilmente.

La estrategia fue desarrollada por la agencia francesa ADEPA como un método de prever los posibles estados en los que se pudiese encontrar cualquier automatismo.

Este método consiste en programar por separado una serie de macroestados que realizan una serie de tareas concretas. Estos macroestados, a su vez, son gobernados por un estado maestro, que se hace valer de ciertas transiciones para pasar de un macroestado a otro. De manera que mediante programas relativamente sencillos -dependiendo del proceso a controlar-, se controlan procesos complejos siguiendo una estructuración bien determinada, que permite establecer prioridades a la hora de realizar acciones. De manera que si, por ejemplo, un operario corre peligro, la máquina es capaz de decidir parar su funcionamiento normal porque una orden le indica que la seguridad está por encima de la finalización de su tarea.

El esquema organizativo que rige este método es el siguiente:

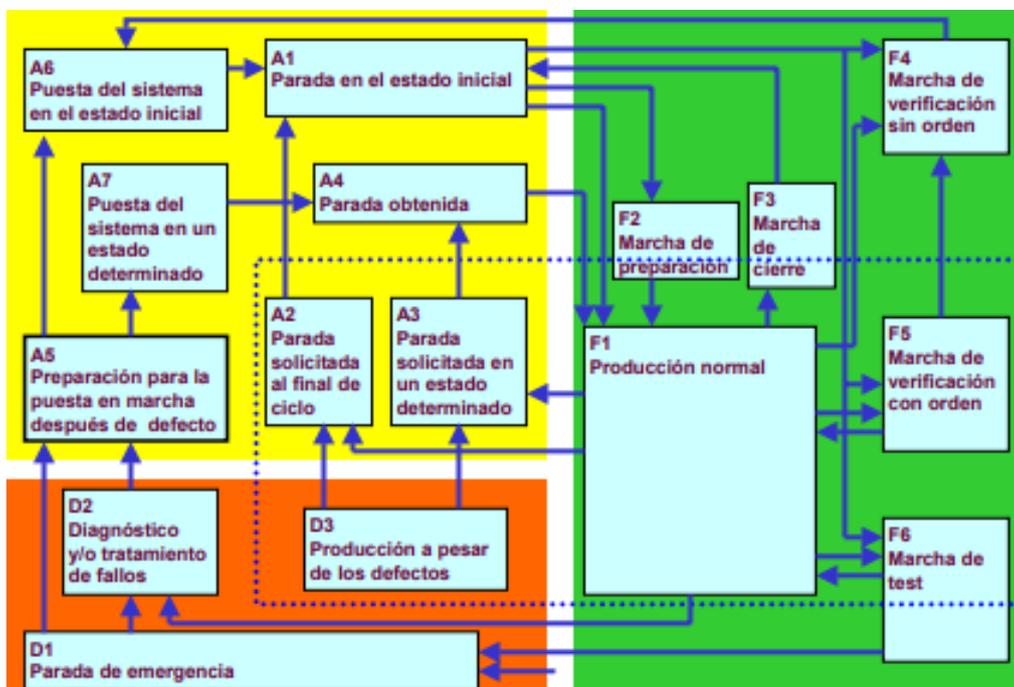


Figura 115. Esquema general de GEMMA.

Pero, dada la sencillez del problema, la estrategia GEMMA complicaba la programación, por lo que se decidió seguir un esquema más libre. En este caso se intenta seguir el esqueleto de

GEMMA, pero se prescinde del estado maestro, el que controla las transiciones. En su lugar, cada sección incluye las transiciones que la llevan a las demás.

Antes de entrar de lleno en la explicación de los modos, es conveniente realizar un repaso de las variables utilizadas en el programa.

•VARIABLES

- Entradas:
 - Analógicas:

Apert_Real_1	INT	2001	Retorno de la válvula 1 [0...4000]
CO2_Real_1	INT	2003	Medida CO2 sensor 1

Figura 116. Variables de entrada analógica.

- Digitales:

Seta_Emer_1	BOOL	0.00	Interruptor de emergencia circuito 1
Alarma_S1	BOOL	0.02	Alarma General Sensor Carbónico 1

Figura 117. Variables de entrada digital.

- Salidas:
 - Analógicas:

Valvula1	INT	2011	Comando válvula 1 [0...4000]
----------	-----	------	------------------------------

Figura 118. Variables de salida analógica.

- Digitales:

Freeze_S1	BOOL	1.00	Función congelar medida sensor 1
Sirena_Emerg	BOOL	1.06	Sirena emergencia (compartida por ambos circuitos)
Baliza_Emerg	BOOL	1.08	Baliza emergencia (compartida por ambos circuitos)

Figura 119. Variables de salida digital.

- Compartidas con la pantalla:

Marcha_1	BOOL	W0.00	Marcha del modo automatico para Circuito 1
Paro_1	BOOL	W0.02	Paro del modo automatico para Circuito 1
Auto_BR	BOOL	W0.04	Automatico BR. Inicialización parámetros.
Auto_Dulce	BOOL	W0.05	Automatico D. Inicialización parámetros.
Auto_S	BOOL	W0.06	Automatico S. Inicialización parámetros.
Apertura_Manual	BOOL	W2.08	
SET_VALV_BR_PANTALLA	BOOL	W22.00	Bit para permitir cambio de parametro en pantalla
SET_CO2_BR_PANTALLA	BOOL	W22.01	Bit para permitir cambio de parametro en pantalla
SET_VALV_D_PANTALLA	BOOL	W42.00	Bit para permitir cambio de parametro en pantalla
SET_CO2_D_PANTALLA	BOOL	W42.01	Bit para permitir cambio de parametro en pantalla
Test_Verde_Pantalla	BOOL	W61.00	

Valvula_Ret_Esc	INT	D20	Retorno de la válvula escalado
CO2_Aux	INT	D60	Medida Escalada
Valor_Manual	INT	D204	Valor de apertura manual
Aux_Set_CO2_BR	INT	W11	Valor escalado
Aux_Valv_Init_BR	INT	W21	Valor escalado
Aux_Set_CO2_D	INT	W31	Valor escalado
Aux_Valv_Init_D	INT	W41	Valor escalado

Figura 120. Variables compartidas con la pantalla.

- Variables internas del PLC:

Valvula_Ret_Esc	INT	D20	Retorno de la válvula escalado
Ko	INT	D30	
Valvula_Aux_Esc	INT	D40	
Valvula_Aux	INT	D50	Comando Escalado
Medida_F	INT	D70	Medida filtrada
Valvula_0	INT	D80	
Valvula_0_Esc	INT	D90	
Aux_Marcha_1	BOOL	W0.01	Estado anterior de Marcha_1
Aux_Paro_1	BOOL	W0.03	Estado anterior de Paro_1
aux_comparacion	BOOL	W3.00	
Aux_Auto_BR	BOOL	W4.02	
Aux_Auto_D	BOOL	W4.03	
Aux_Auto_S	BOOL	W4.04	
escalado_OK	BOOL	W6.00	
filtrado_OK	BOOL	W6.01	
control_OK	BOOL	W6.02	
manual_OK	BOOL	W6.04	
ParametrosBR_OK	BOOL	W6.05	
ParametrosD_OK	BOOL	W6.06	
Set_CO2_BR	INT	W10	Valor del set de CO2 x10 ² Blanco/Rosado
Set_CO2_D	INT	W30	Valor del set de CO2 x10 ² Dulce
Valv_Init_BR	INT	W20	Apertura inicial Valvula 1 [0...4000] Blanco/Rosado
Valv_Init_D	INT	W40	Apertura inicial Valvula 1 [0...4000] Dulce
Set_CO2	INT	W50	Set CO2 Ley Control

Figura 121. Variables del programa.

- Variables del sistema:

P_First_Cycle	BOOL	A200.11	Indicador de primer ciclo
P_1s	BOOL	CF102	Bit de pulso de reloj de 1.0 segundos
P_On	BOOL	CF113	Indicador de siempre ON

Figura 122. Variables del sistema utilizadas.

•A1. Etapa inicial

Esta es la etapa inicial del sistema. Se encarga de la “puesta a punto” del sistema, y es la etapa a la que recurre el sistema cuando para.



Figura 123. Línea de programa: activación de las salidas analógicas.

Pese a haber realizado la configuración del terminal de salidas analógicas, la activación no queda completa hasta haber activado el bit 0 de la dirección 2010 del área CIO, que es la que gestiona las entradas y salidas.

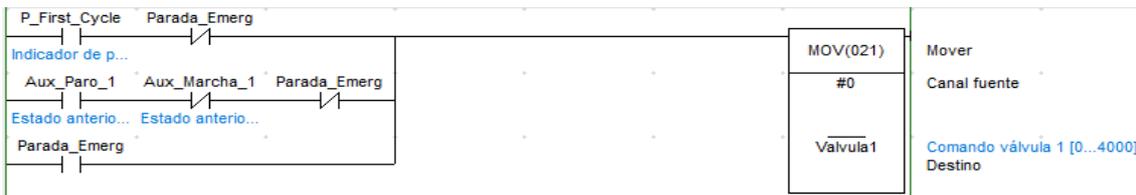


Figura 124. Línea de programa: cerrado inicial de la válvula.

A su vez, el programa establece los valores iniciales de ciertas variables. En concreto, mueve el valor 0 a la salida de la válvula, pues mientras no se seleccione un modo ésta debe permanecer cerrada. También será necesario cerrar la válvula en caso de que se solicite una parada del modo automático y, por supuesto, en caso de parada de emergencia.

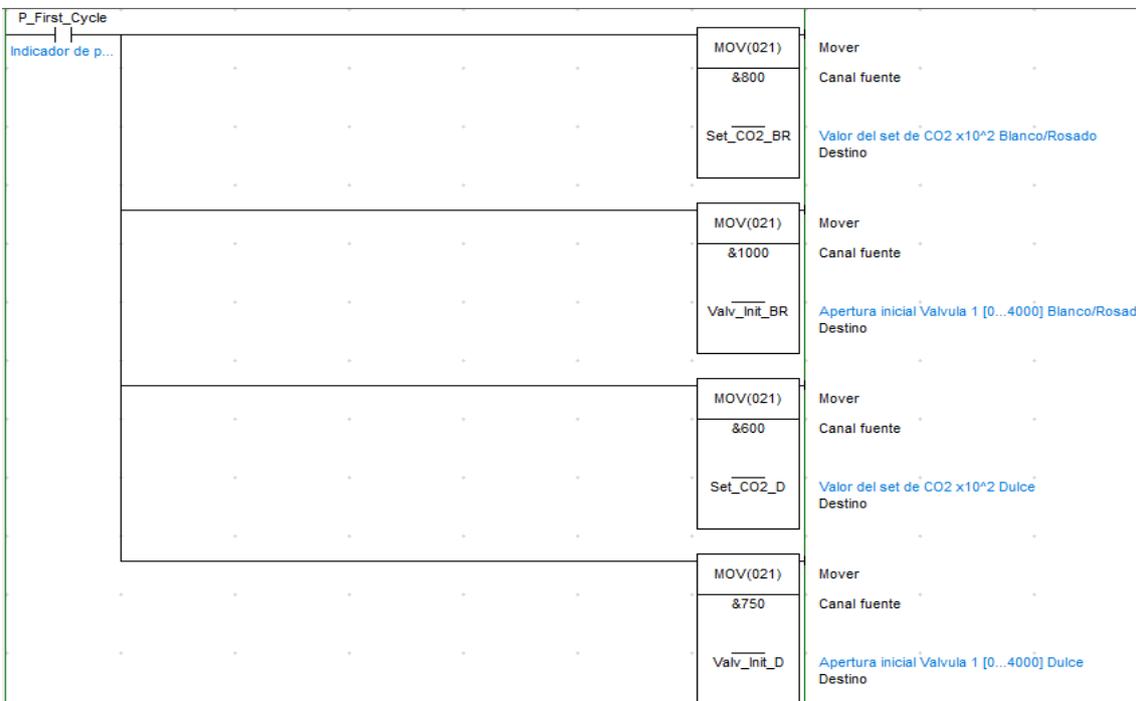


Figura 125. Línea de programa: adjudicación de valores iniciales.

En el primer ciclo de trabajo del PLC, se asignan los valores determinados por el personal de laboratorio a las variables que intervienen en la ley de control.

•D1. Parada de emergencia.

Esta sección se encarga de la activación de los relés de la baliza y la sirena. Al entrar en este modo, ya sea por la activación de la seta de emergencia o por la alarma general del sensor, se activa el bit de parada de emergencia -dirección 0.07 del área de trabajo-. Este hecho deriva en la detención inmediata del modo automático de trabajo, pues la rotura del sensor o su mal funcionamiento puede propiciar medidas incorrectas y echar a perder tandas enteras del producto por un mal cálculo de la apertura de la válvula.

Sin embargo, aunque el sensor esté roto, se podrá seguir trabajando en modo manual hasta repararlo.

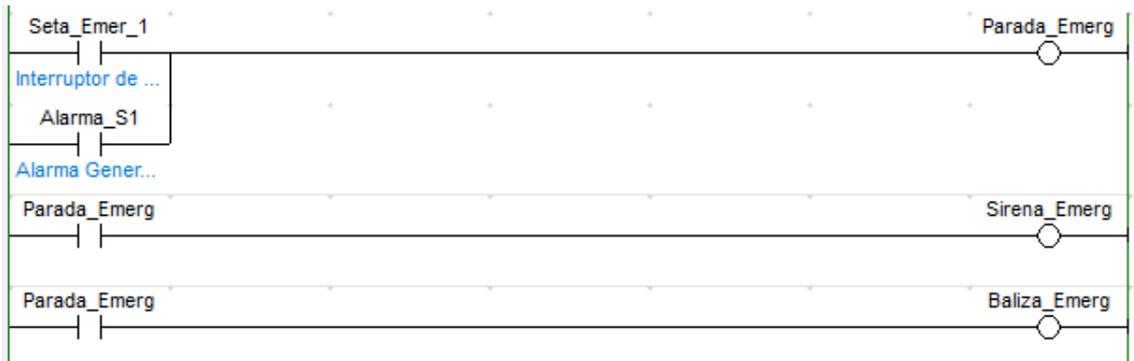


Figura 126.Línea de programa: parada de emergencia.

•F1. Modo automático

Esta sección controla el modo automático del programa. La secuencia del modo es la siguiente:

1. Cuando se activa el estado auxiliar de marcha, cuya activación se trata en el siguiente apartado, el programa realiza un conteo de 20 segundos, que corresponden al tiempo medio que tarda el producto en recorrer la tubería desde la válvula hasta el sensor. El conteo se ha realizado implementando un contador que se activa a las veinte cuentas, y una variable del sistema que da un estado alto cada segundo. Este conteo se detiene cuando el auxiliar de marcha deja de estar activado, y el contador se reinicia mediante tres órdenes: la de parada solicitada, la de fin de bucle de control, y en el primer ciclo de funcionamiento.

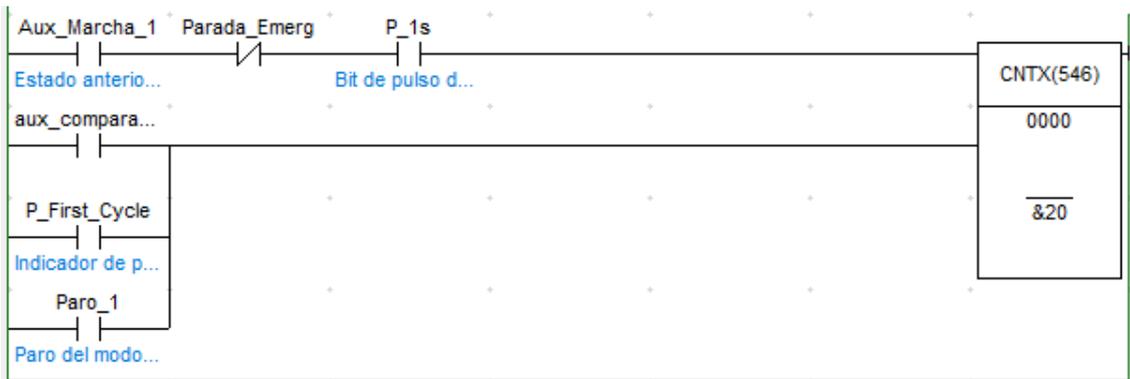


Figura 127. Línea de programa: temporización de 20 segundos.

2. Al finalizar la cuenta, el contador activa la variable C0000 y, de no estar activado el bit de emergencia, se realiza la siguiente secuencia:
 - a. Escalado de entradas.

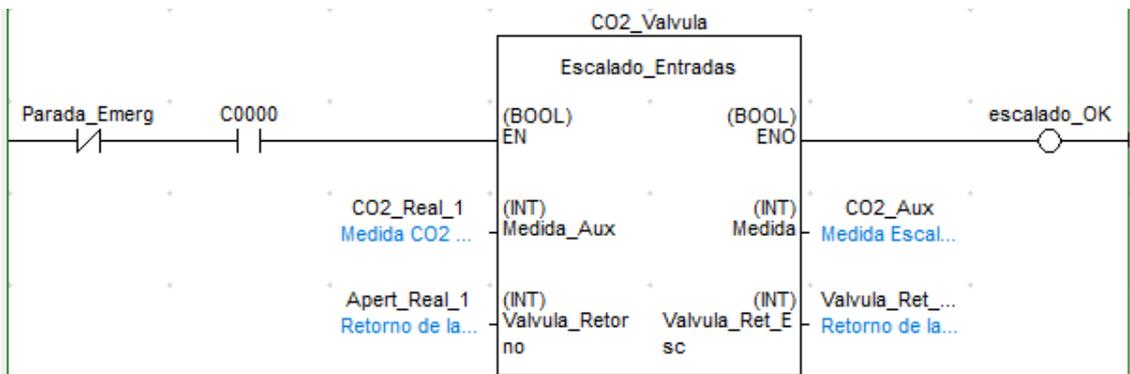


Figura 128. Línea de programa: escalado de entradas.

El bloque de función es el encargado de realizar el escalado. A la parte izquierda del bloque se encuentran la medida de CO2 y el retorno de la válvula. A la derecha, sus equivalentes escalados. Para el CO2, valores escalados entre 0 y 10.000. Para la válvula, entre 0 y 100. En la siguiente sección se explica tanto la elección de valores como la programación de los bloques de función de escalado.

b. Ley de control.

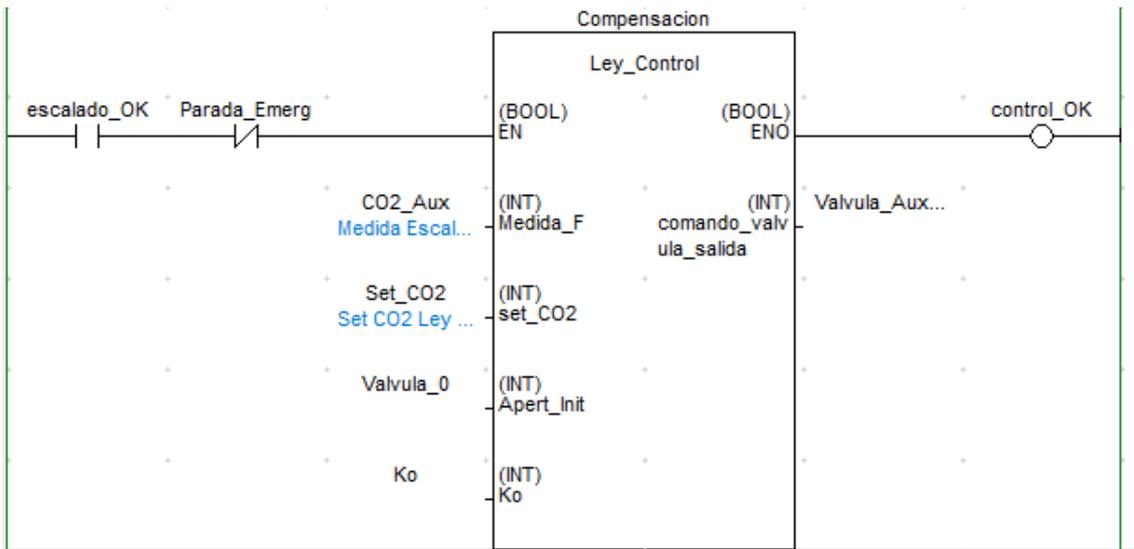


Figura 129. Línea de programa: ley de control.

El bucle de control es sencillo. Dada la medida de carbónico, su valor de referencia, y la apertura inicial de la válvula, el bloque de función calcula si debe abrir o cerrar la válvula y cuántas unidades -en porcentaje- debe hacerlo. Una vez realizado el cálculo dispara la señal control_OK, y se procede a escalar la salida.

c. Escalado de salidas.

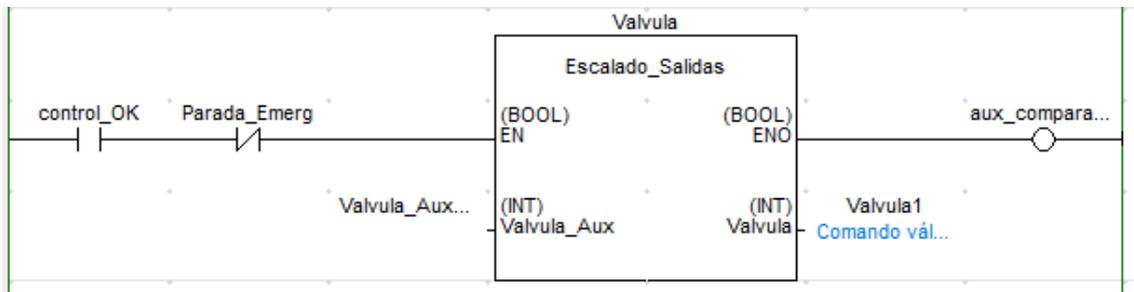


Figura 130. Línea de programa: escalado de salidas.

Al recibir la señal control_OK, que indica que ya se ha calculado la nueva apertura y se ha guardado en la variable Valvula_Aux_Esc, el sistema procede a escalarla. El nuevo valor escalado se escribe directamente en la variable de salida, Valvula1. Una vez realizada la operación, se activa la variable aux_comparacion, cuya activación resetea el contador, volviendo a empezar el bucle de control automático. Y así continúa hasta que se pulse el botón de paro en la pantalla.

•F2. Preparación del modo automático

Este modo se encarga de preparar todas las variables para el correcto funcionamiento del modo automático. Es una sección muy versátil, pues incluye desde la activación de los bits necesarios para el funcionamiento del modo automático hasta la asignación de los valores de las variables para el cálculo de la ley de control. Así, se va a proceder a la explicación detallada de las secciones.

- Activación de marcas de selección de producto.

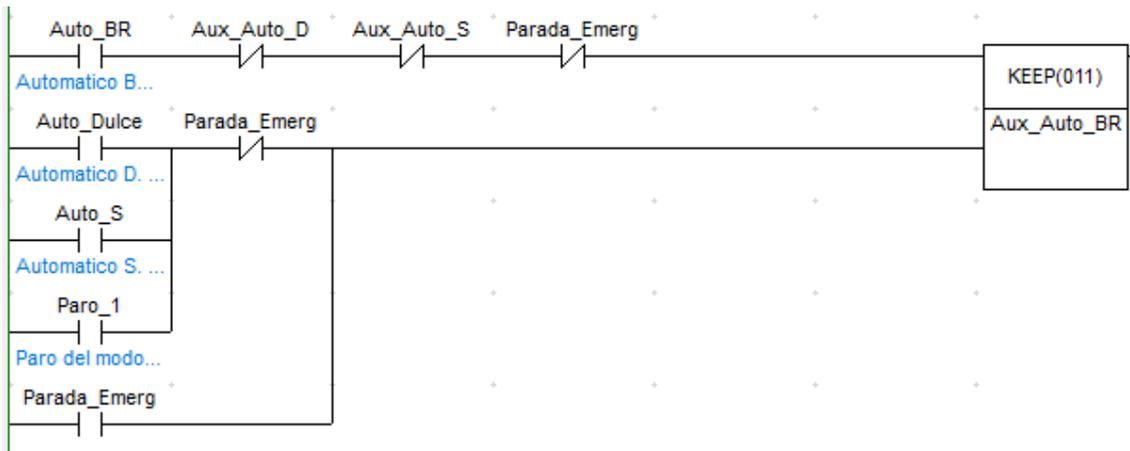


Figura 131. Línea de programa: ejemplo de activación de marcas de selección.

La función KEEP permite activar un bit, en caso de que se cumplan las condiciones de la rama superior, o desactivarlo, en caso de cumplir las de la rama inferior.

En este caso la activación viene dada por las siguientes condiciones: que un operario pulse en la pantalla el botón “SET PAR.” de la pantalla del modo automático de la variedad blanco-rosado, y que no estén activados ni el modo automático de ninguna otra tipología ni la parada de emergencia.

Para desactivarlo, basta con pulsar bien el botón “SET PAR.” de la pantalla del modo automático de cualquiera de las otras variedades, bien el botón de paro. En caso de parada de emergencia, también se desactiva el bit.

La activación de los otros dos modos viene dada por una línea de programa análoga a la aquí expuesta, pero con las variables correspondientes a cada una de las variedades.

- Asignación de valores a las variables implicadas en la ley de control.

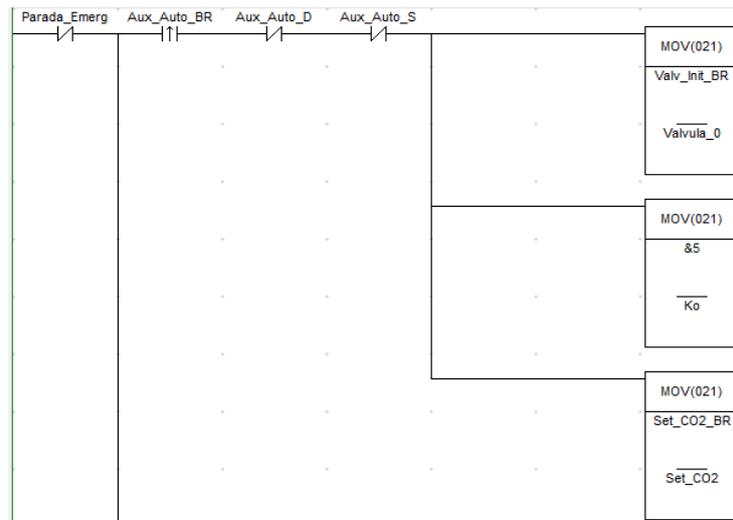


Figura 132. Línea de programa: movimiento de valores hasta las variables que usa la ley de control.

Una vez activado el bit anterior, que se encarga de guardar la selección de producto, se le asignan los valores correspondientes a las variables implicadas en la ley de control mediante la función MOV. En la imagen, se observan las tres asignaciones de valores correspondientes para el control de la adición de carbónico a la variedad blanco-rosado. El primer movimiento corresponde a la apertura inicial de la válvula, que en este caso equivale a un 25%. El segundo, corresponde a la asignación del valor 5 a la constante de proporcionalidad de la ley de control. Al explicar la ley de control se justifica la elección de este valor. El tercer movimiento corresponde a asignar el valor de referencia de carbónico de esta variedad en concreto a la variable de referencia con la que trabaja el bucle de control.

La asignación de variables se realiza de manera análoga para las otras dos variedades. En el caso de la variedad Sandara, los valores son 0, pues este producto ya lleva el carbónico añadido y, en caso de requerir más, el personal de laboratorio debe añadirlo de forma manual.

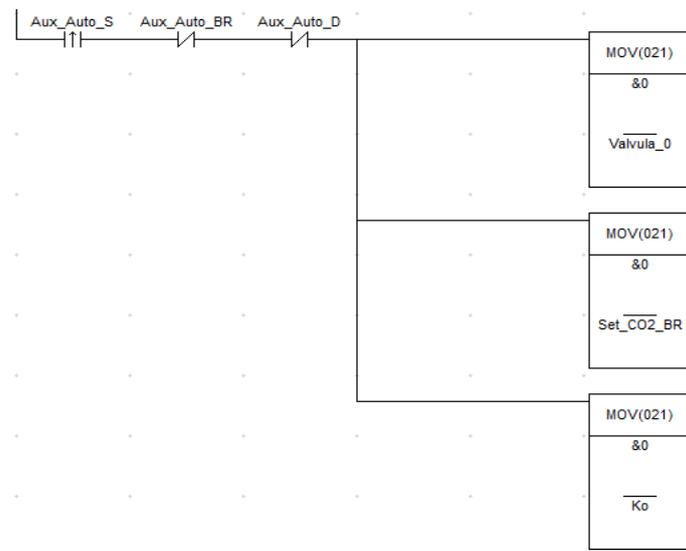


Figura 133. Línea de programa: valores de las variables de control para la variedad Sandara.

- Activación de variable de marcha.

La variable de marcha guarda el estado anterior del bit “Marcha”. Es decir, indica con un valor alto si el operario ha pulsado por última vez el botón “Marcha”, y con un valor bajo si por el contrario ha pulsado el botón paro.

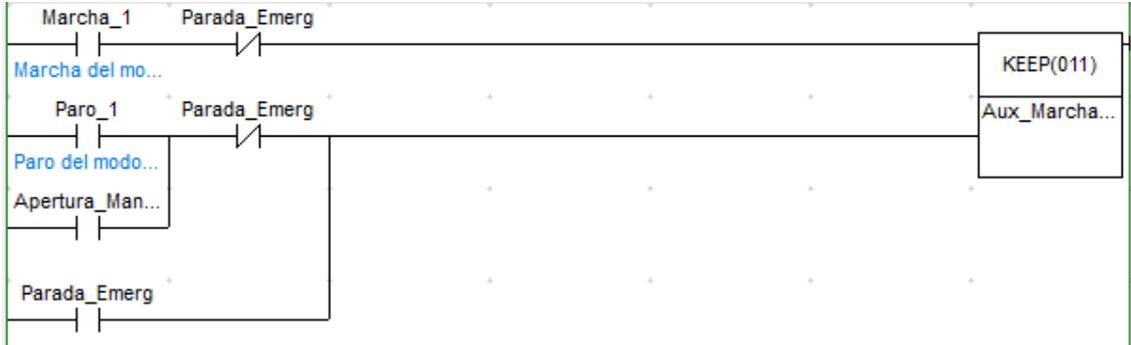


Figura 134. Línea de programa: activación de la marca auxiliar de marcha.

Así, las condiciones de activación de la marcha son: el operario pulsa el botón de marcha, y la parada de emergencia no está activada.

La desactivación de la marcha puede venir por dos motivos: el primero, en condiciones normales de funcionamiento, que el operario solicite la parada mediante el botón “Paro” de la pantalla, o que pase al modo de funcionamiento manual introduciendo un valor en la pantalla del modo manual y haciendo efectiva la operación; el segundo motivo es la interrupción de las condiciones normales de trabajo dada por una parada de emergencia del sistema.

Esta variable, como se ha visto en el apartado del modo automático, es la que permite realizar la cuenta que activa el bucle de control.

- Cambio de parámetros.

En esta sección se permite al operario cambiar los parámetros referentes al bucle de control, exceptuando el valor de la constante de proporcionalidad. Así, son modificables tanto el punto de funcionamiento, que viene dado por la apertura inicial de la válvula, y la referencia, que viene determinada por el set de CO2.

Para efectuar los cambios finalmente, en la pantalla del modo automático se deberá pulsar el botón “SET PAR.”, que transfiere los nuevos valores a las variables que usará el bucle de control en sus siguientes iteraciones.

- Punto de funcionamiento.



Figura 135. Línea de programa: asignación del valor de punto de funcionamiento a la variable que usa la ley de control.

En la pantalla, el nuevo valor se introduce en una entrada numérica y, posteriormente, se pulsa el botón SET. Al pulsar el botón se cierra el contacto que se ve en la imagen superior, SET_VALV_BR, que da paso al guardado del nuevo valor en la variable que corresponde al punto de referencia.

En el caso del vino dulce, el procedimiento es exactamente el mismo. Para el Sandara, en cambio, no existe tal proceso, pues a este vino, como ya se ha comentado, no se le añade carbónico.

- Referencia.



Figura 136. Línea de programa: asignación del valor de referencia a la variable que usa la ley de control.

En la pantalla, al introducir el nuevo valor de referencia de carbónico, éste se guarda en una variable auxiliar llamada Aux_Set_CO2_TipoDeVino -ya sea blanco/rosado o dulce-. De nuevo, al pulsar el botón SET a la derecha del cuadro de entrada numérica, el valor de la variable auxiliar modifica el valor de la variable del set del producto, SET_CO2_TipoDeVino. Una vez en la pantalla del modo automático, se debe pulsar el botón SET PAR. para establecer el nuevo valor en la variable de trabajo del bucle de control.

- Activación de testigo de marcha.



Figura 137. Línea de programa: activación de la variable testigo verde para su uso en la pantalla.

Mientras esté en marcha el modo automático, el testigo de la pantalla se mostrará de color verde. Es simplemente una herramienta visual, para facilitar el trabajo al operario.

•F3. Paro del modo automático.

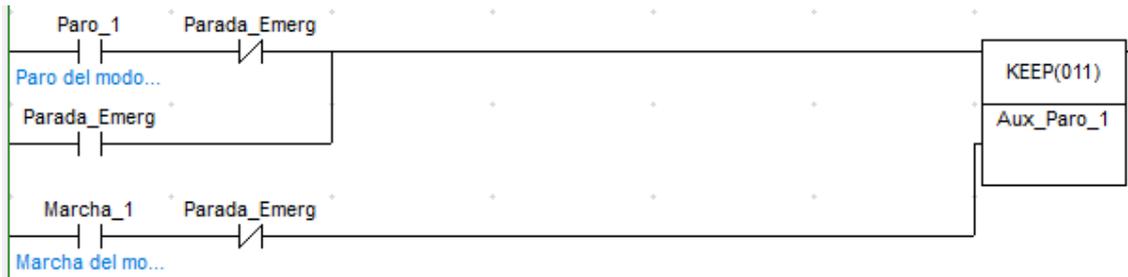


Figura 138. Línea de programa: activación de marca auxiliar de paro.

El paro del modo automático está gobernado por la variable Aux_Paro_1. Esta variable, como en el caso de la variable auxiliar de marcha, pone fin a todos los procesos del modo automático en la iteración siguiente a su activación. Existen dos condiciones para su activación: la primera, que un operario pulse el botón de paro en la pantalla del modo automático; la segunda, que se active el modo de parada de emergencia. Para su desactivación en condiciones normales, basta con pulsar el botón de marcha en la misma pantalla.

•F4. Modo manual.

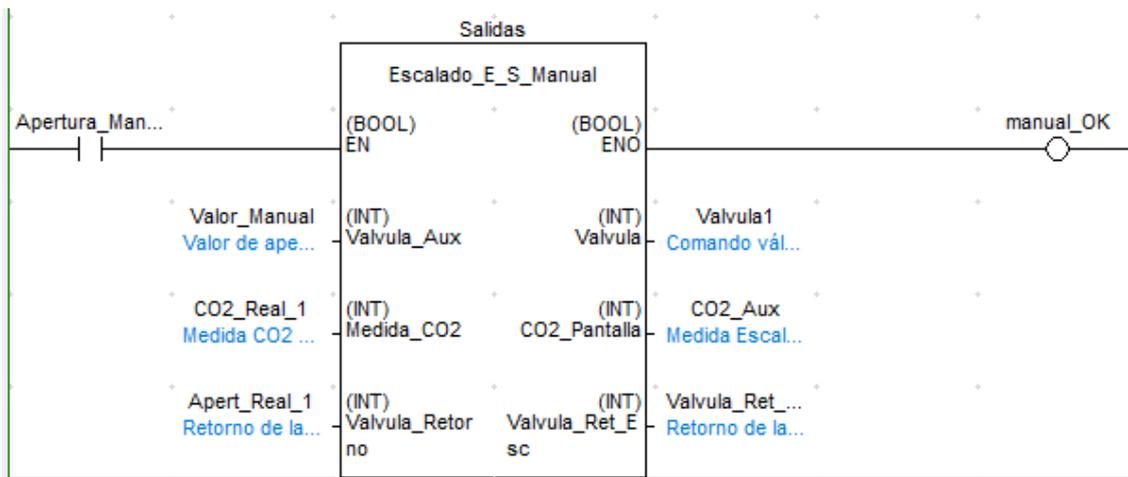


Figura 139. Línea de programa: modo manual.

El funcionamiento del modo manual es bien sencillo: la variable Valor_Manual guarda el valor de apertura que introduzca el operario en la entrada numérica de la pantalla del modo manual. El operario puede modificar este valor bien introduciendo un nuevo valor mediante el teclado emergente, o bien mediante los botones de sumar o restar valor situados a la derecha del campo de escritura. Una vez se tiene el valor deseado, se pulsa el botón SET de la pantalla. Este botón activa el bit W2.08, Apertura_Manual, que habilita al bloque de función de escalado de salidas, que se encarga de acondicionar el valor y enviarlo a la salida de la válvula.

El bloque de función también se encarga de escalar dos valores más. El primero corresponde a la medida real de CO2 que va a ser mostrada en pantalla. El segundo es el retorno de la válvula, que sirve como comprobante de que en efecto, se ha abierto el valor demandado por el operario.

•Control de históricos.

Los históricos los genera la pantalla mediante una herramienta llamada gráfico de tendencias, explicada en el punto 2.b.ii del presente documento. Para la programación del autómatas, lo que interesa saber es que, por defecto, siempre están activados. Pero se puede programar una variable en cada gráfico que pausa la toma de datos. En este caso, la variable se llama Pausa_Historico_TipoDeVino -como siempre, blanco/rosado, dulce, o Sandara-. Por tanto, cuando la variable muestre un estado alto, se detiene la toma de datos del gráfico correspondiente. Es una especie de lógica inversa. Así, se tiene:

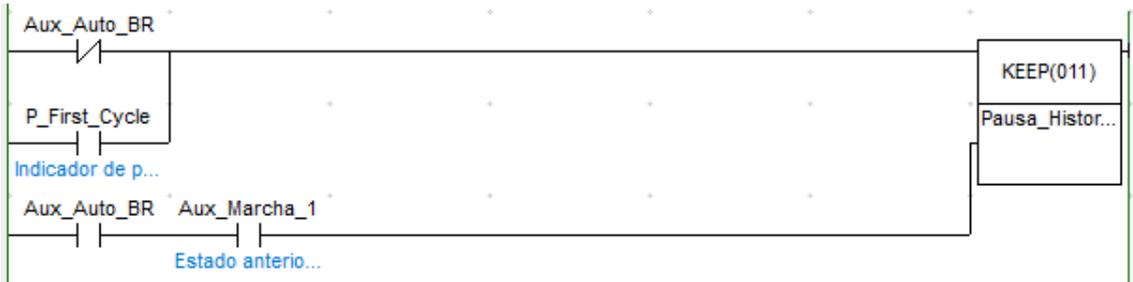


Figura 140. Línea de programa: control de históricos.

En el ejemplo se muestra la condición de activación del gráfico de tendencia de la variedad blanco-rosado. El primer ciclo del PLC escribe sobre la variable Pausa_Historico_BR un 1 lógico, para que no se guarde un histórico de ninguna de las variedades mientras la variedad en concreto no haya sido seleccionada. En caso de seleccionar una de las variedades e iniciar la marcha en modo automático, el gráfico de tendencias empieza a mostrar valores y a almacenarlos. Una vez se pulsa el botón de paro, el gráfico deja de tomar/almacenar valores.

•Bloques de función.

Los bloques de función se han creado con el fin de simplificar la programación de los escalados y la ley de control, pues estos incluyen operaciones aritméticas que, pese a poder ser programadas en ladder, resultan mucho más fáciles de programar en texto estructurado, ya que este lenguaje permite escribir las operaciones aritméticas como se haría sobre el papel.

i. Escalado de entradas.

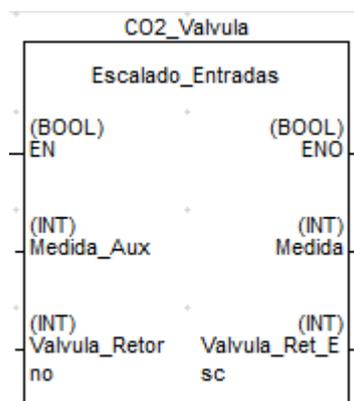


Figura 141. Bloque de función: escalado de la medida de CO2.

A la izquierda del bloque de escalado se sitúan las entradas. La primera entrada es el ENABLE del bloque de función. Esta entrada debe estar conectada al contacto que habilita la ejecución del bloque. La segunda corresponde a la medida del sensor de carbónico. La tercera y última entrada corresponde al retorno de la válvula, que se muestra en el indicador numérico de la pantalla.

1. Medida de CO2

En la hoja de datos del sensor de carbónico se especifica que tiene una resolución de 4000 puntos, para un rango de concentraciones entre 0 y 10 gramos de CO2 por litro de producto. Pero, después de una fase de prueba, se ha comprobado que esto no es así. Tal vez, al ser un sensor antiguo, pues ya lleva unos años en la empresa, el modelo no sea el mismo que el de la hoja de datos, pues esta ha sido encontrada por internet y parece más reciente. Al probar el sensor en vacío, detecta que se tiene una concentración de 0.0 g/L, como es de esperar. Para este valor, el sensor envía al terminal de entradas analógicas un valor de 384. Tomando diversas medidas se comprueba que el valor asciende de manera lineal a razón de 160 puntos por gramo. Si tiene un rango de 10 gramos, la resolución es de 1600 puntos. Por tanto, el valor máximo que ofrece el sensor es 1984.

Para realizar la función de escalado, se ha seguido el siguiente razonamiento matemático:

$$medida_{escalada} = (medida_{real} - medida_{[C]=0g/L}) \cdot \frac{valor\ máximo_{escalado}}{resolución};$$

Ecuación 20. Escalado de la medida.

Simplificando, se obtiene:

$$medida_{escalada} = \frac{25}{4} \cdot medida_{real} - 2400;$$

Ecuación 21. Valores de la recta de escalado.

La programación en el bloque de función queda de la siguiente forma:

```
4 □ (*MEDIDA CO2*)
5 □ Medida := ((25/4)*Medida_Aux) - 2400 ; (*mg/L*)
```

Figura 142. Implementación de la ecuación 18 en CX Programmer.

1. Apertura real de la válvula.

La válvula ofrece un retorno con una resolución de 4000 puntos. En pantalla, este valor se quiere mostrar en porcentaje, es decir, de 0 a 100. Por tanto, se tiene:

$$retorno_{escalado} = retorno_{real} \cdot \frac{valor\ máximo_{escalado}}{resolución};$$

Ecuación 22. Escalado del retorno de la válvula.

Sustituyendo,

$$retorno_{escalado} = retorno_{real} \cdot \frac{100}{4000};$$

Ecuación 23. Escalado del retorno de la válvula. Sustitución de valores.

Y, finalmente, simplificando,

$$retorno_{escalado} = \frac{retorno_{real}}{40};$$

Ecuación 24. Escalado del retorno de la válvula. Simplificación.

Escribiendo en texto estructurado:

```
(*APERTURA REAL*)
Valvula_Ret_Esc := Valvula_Returno/40; (***)
```

Figura 143. Implementación de la ecuación 21 en CX Programmer.

2. Escalado de salidas del modo automático

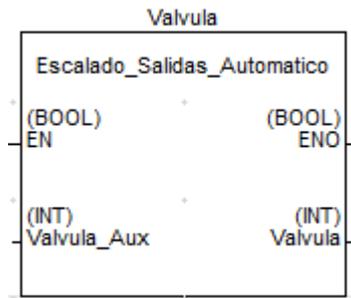


Figura 144. Bloque de función: escalado de las salidas en modo automático.

Puesto que la ley de control obtiene el valor de la apertura en unidades porcentuales, es necesario escalar este valor para que el terminal de salidas ofrezca un valor válido para la electroválvula o, mejor dicho, para el convertor PWM.

Dado que dicho convertor tiene una resolución de 4000 puntos, tenemos:

$$cálculo\ apertura_{real} = cálculo\ apertura_{escalado} \cdot \frac{resolución}{valor\ máximo_{escalado}};$$

Ecuación 25. Cálculo del valor de apertura aplicado a la salida.

Sustituyendo,

$$cálculo\ apertura_{real} = cálculo\ apertura_{escalado} \cdot \frac{4000}{100};$$

Ecuación 26 Cálculo del valor de apertura aplicado a la salida. Sustitución de valores.

Y, simplificando,

$$\text{cálculo apertura}_{real} = 40 \cdot \text{cálculo apertura}_{escalado};$$

Ecuación 27. Cálculo del valor de apertura aplicado a la salida. Simplificación.

Que, en texto estructurado, quedaría:

```
5 | (*ACCIÓN SOBRE LA VÁLVULA*)
6 | Valvula := Valvula_Aux*40; (*[0...4000]*)
```

Figura 145. Implementación de la ecuación 24 en CX Programmer.

3. Escalado de salidas del modo manual

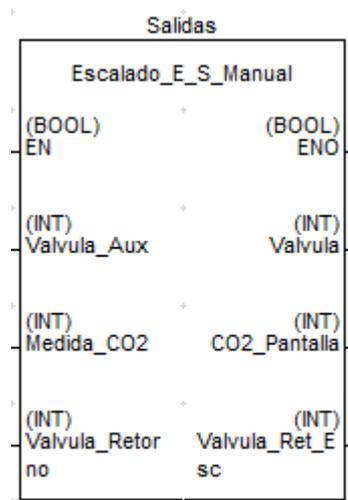


Figura 146. Bloque de función: escalado de entradas/salidas en modo manual.

En el modo manual se realizan tres escalados. Por un lado, se escala la salida de la válvula, pasando de valores porcentuales a una resolución de 4000 puntos, cuyo cálculo se ha visto en el apartado anterior. Por otro lado, se escalan las entradas analógicas, a saber, la medida de carbónico y el retorno de la válvula, para ser mostrados en pantalla. El razonamiento y los cálculos se han visto también en el apartado de escalado de entradas.

Por tanto, se pasa a exponer interior del bloque de función:

```
5 | (*ACCIÓN SOBRE LA VÁLVULA*)
6 | Valvula := Valvula_Aux*40; (*[0...4000]*)
7 |
8 | (*MEDIDA CO2*)
9 | CO2_Pantalla:= ((25/4)*Medida_CO2) - 2400 ; (*mg/L*)
.0 |
.1 | (*APERTURA REAL*)
.2 | Valvula_Ret_Esc := Valvula_Retorno/40; (*%*)
```

Figura 147. Código del bloque de la ilustración 96.

4. Ley de control

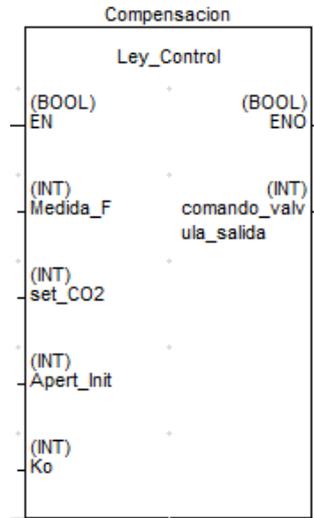


Figura 148. Bloque de función: ley de control.

La finalidad del programa es conseguir que el producto tenga la concentración de carbónico adecuada. Por tanto, se debe conseguir que, establecida una referencia, el sistema consiga añadir en cada momento la cantidad correcta para que la concentración coincida con dicha referencia. Es un caso típico en la programación, que suele solventarse con una herramienta llamada PID.

Sin entrar en más detalles acerca de la teoría del control PID, se procede a una breve explicación de esta herramienta.

El control PID ejerce tres acciones, sobre esta señal de error, de manera ordenada, de manera que no se aplica la siguiente si no es necesario. La primera es la acción proporcional, que aumenta o disminuye su amplitud. La siguiente es la acción integral, que disminuye o elimina el error en estado estacionario. La tercera y última es la acción derivativa, que corrige el error proporcionalmente a la misma velocidad a la que se produce.

Como se trata de un proceso lento y que no requiere una precisión extrema, con un control P es suficiente para seguir la referencia.

Para aplicar esta herramienta, es necesario realizar un control en lazo cerrado.

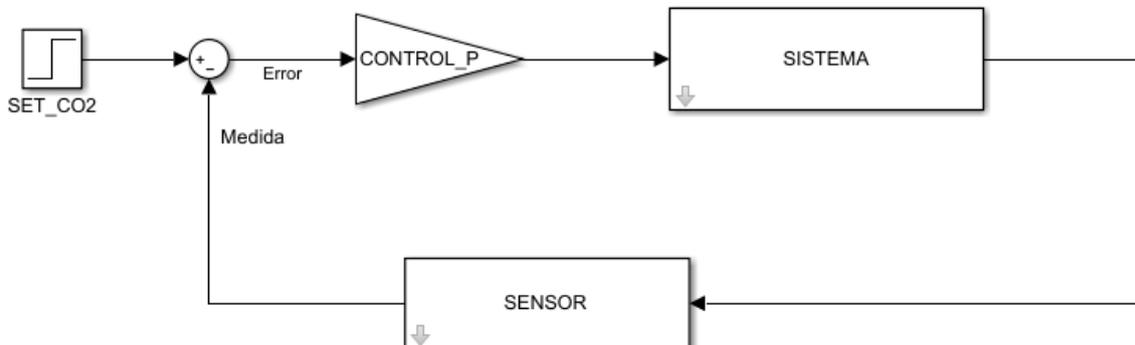


Figura 149. Bucle de control.

Como se ha comentado, el objetivo es seguir la referencia establecida en SET_CO2. Para ello, se establece una señal de error,

$$Error = (SET_{CO_2} - Medida_{SENSOR});$$

Ecuación 28. Cálculo del error.

A esta señal de error se le aplica la acción proporcional K,

$$Acción_{CONTROL} = K \cdot (SET_{CO_2} - Medida_{SENSOR});$$

Ecuación 29. Cálculo de la acción de control.

Y finalmente, la acción se le aplica al punto de trabajo, que en este proyecto corresponde al valor de apertura inicial de la válvula. Así, se obtiene finalmente:

$$Apertura_{FINAL} = K \cdot (SET_{CO_2} - Medida_{SENSOR}) + Apertura_{INICIAL};$$

Ecuación 30. Cálculo del nuevo valor de apertura.

Este nuevo valor de apertura es el que se debe escalar y enviar a la válvula.

Tanto los valores de referencia de carbónico, como los de apertura inicial de la válvula, han sido determinados por el personal de laboratorio. La medida del sensor es un valor tomado en tiempo real por el propio sensor. Por tanto, la tarea ahora consiste en determinar el valor de K que cumple con las especificaciones, a saber:

- Si la medida se desvía 100 mg/L de la referencia, la válvula debe abrirse un 5% respecto del valor total de apertura.

Si se toma el caso, por ejemplo, del vino dulce, cuyo valor de apertura inicial es del 18%, y con un valor de apertura máxima del 100%, se tiene:

$$Apertura_{INICIAL} = 18;$$

$$Apertura_{FINAL} = 0.05 \cdot 100 + 18 = 23;$$

Ecuación 31. Cálculo de la apertura deseada.

Sustituyendo estos valores en la ecuación X,

$$23 = K \cdot 100 + 18;$$

Ecuación 32. Cálculo de k.

Despejando K y resolviendo,

$$K = \frac{23-18}{100} = 0.05;$$

Ecuación 33. Valor de k.

Volviendo a la programación, se observa que el bloque de función tiene cinco entradas. La primera, como en los casos anteriores, corresponde al bit que habilita la ejecución de la función. Las otras cuatro corresponden a los parámetros de la última ecuación: K, la

referencia de carbónico, la medida del sensor, y la apertura inicial. Se procede a mostrar el interior del bloque de función:

```

) Error := (set_CO2 - Medida_F)/100;
) comando_valvula_salida := (Error*Ko) + Apert_Init;
)
) IF comando_valvula_salida > 100 THEN
) comando_valvula_salida := 100;
) ELSIF comando_valvula_salida < 0 THEN
) comando_valvula_salida := 0;
) END_IF;
```

Figura 150. Implementación de la ley de control en CX Programmer.

La primera línea de programa corresponde con el cálculo del error. Lo primero que salta a la vista es que el error se ha dividido entre 100. El motivo es que en este programa interesa trabajar con variables de tipo entero, pues así no hay que realizar conversiones de tipo de variable. Así, haciendo el error cien veces más pequeño es posible aumentar cien veces el valor de K, que pasa de 0.05 a 5.

La segunda línea aplica la ecuación de cálculo de la nueva apertura vista anteriormente.

Por último, se ha creado una instrucción del tipo IF, que simplemente indica qué valor debe tomar la nueva apertura de la válvula en caso de superarse el límite superior o el inferior. En lenguaje hablado, la instrucción viene a decir:

SI el nuevo valor de apertura calculado es mayor que 100 **ENTONCES**
el valor de apertura es igual a 100;
SI el nuevo valor de apertura es menor que 0 **ENTONCES**
el valor de apertura es igual a 0;

2. HMI Omron NB7W-TW01B

a. Configuración de las conexiones

La configuración de la conexión entre el autómatas y la pantalla es el primer paso para empezar el programa. El software funciona de manera muy intuitiva, por lo que simplemente arrastrando el tipo de conector desde la biblioteca al cuadro central se abre una ventana emergente.

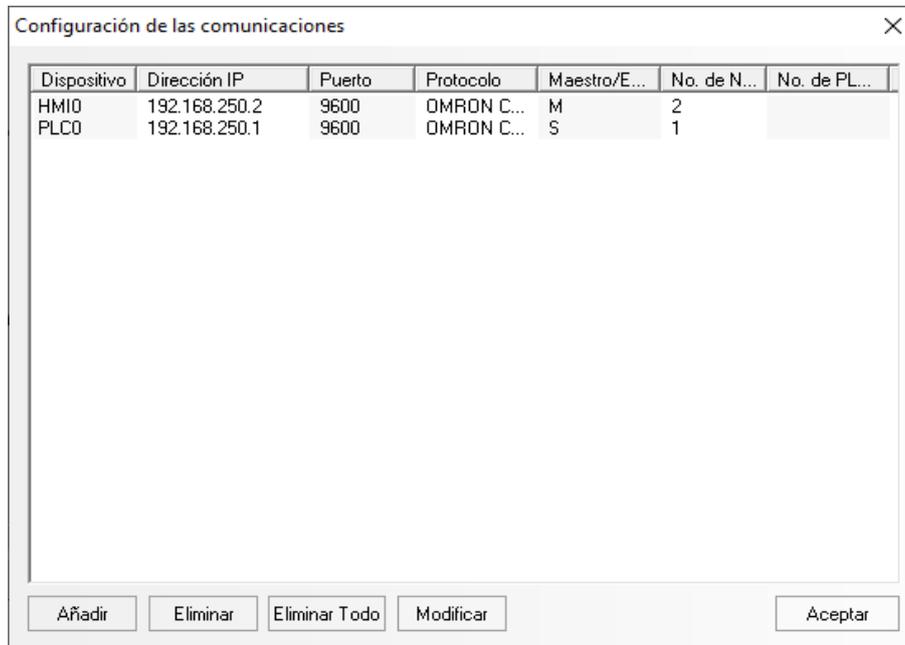


Figura 151. Direccionamiento IP en NB Designer.

Al pulsar “Añadir”, en la parte inferior izquierda se abre otra ventana donde se debe seleccionar el tipo de dispositivo, el nombre dentro del proyecto y asignarle una IP -dado que el tipo de conexión es Ethernet-. Se debe tener en cuenta que el ordenador desde el que se quiera realizar la programación y volcado de programas debe tener la misma IP, exceptuando los dos últimos números, que corresponden al número de dispositivo dentro de la red.

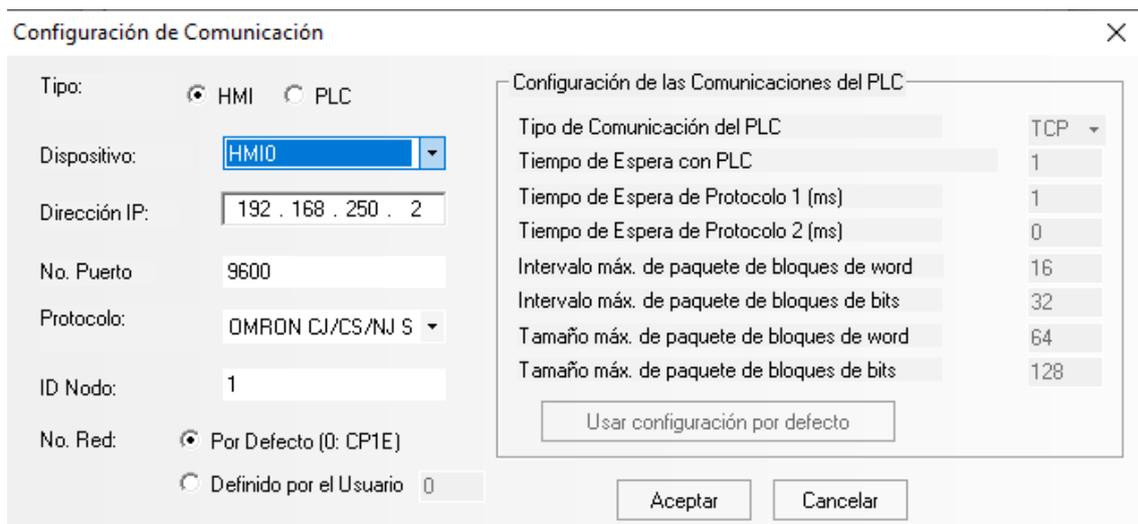


Figura 152. Configuración de la IP del HMI en NB Designer.

i. PLC

PLC

ID Nodo: Configuración de los nodos de la red

Configuración Puertos de Red

Dirección IP: Tipo de Comunicación del PLC:

Puerto:

Tiempo de Espera con PLC:

Tiempo de Espera de Protocolo 1 (ms):

Tiempo de Espera de Protocolo 2 (ms):

Intervalo máx. de paquete de bloques de word:

Intervalo máx. de paquete de bloques de bits:

Tamaño máx. de paquete de bloques de word:

Tamaño máx. de paquete de bloques de bits:

Usar Configuración Predeterminada

Figura 153. Configuración de la IP del PLC en NB Designer.

Se comprueba que el PLC tiene la configuración correcta.

ii. Pantalla

En la pantalla deben de realizarse algunos ajustes más una vez configurada la IP. Al pulsar sobre la pantalla se abre una ventana emergente que permite configurar las propiedades del HMI:

Propiedades del HMI

Configuración de Niveles de Seguridad | Configuración de los Permisos de Usuario | Configuración del Histórico de eventos

Configuración de Impresión | Configuración del COM1 | Configuración del COM2 | Memoria Externa

HMI | Barra de Tareas | Propiedades extendidas HMI | Configuración de la información de sistema

Luz de fondo mins Modo Video PAL Desactivar cambio automático del tamaño

La luz de fondo se enciende automáticamente cuando se produce una alarma / evento

Protector de pantalla mins Pantalla de Protector de pantalla No. de Idiomas

Volver a la pantalla original cuando el protector de pantalla finaliza Idioma Predeterminado

Permitir Recupe Contraseña Configuración de Idioma

Permitir Descompilar Contraseña

Altura del Cuadro de Fuente China

Ancho de la Barra de Desplazamiento del Sistema

Usar Macro al cargar el proyecto

Usar Zumbador

Usar reloj externo

Suavizar bordes de fuente vectorial

Pantalla invertida

Color del Cursor

Color de Componente Inválido/Deshabilitado

Configuración del almacenamiento del registro de operación

Dispositivo de almacenamiento

Subdirectorio

Tipo de almacenamiento

Buffer de almacenamiento Guardar msg

Periodo de almacenamiento Día

Nota: no hay límite cuando el periodo de almacenamiento es 0.

Propiedades de Pantalla solapada Mostrar debajo de la pantalla básica

Propiedades de Pantalla Mostrar sobre la capa superior

Pantalla Inicial

Pantalla Solapada

Pantalla Men

Aceptar Cancelar

Figura 154. Ventana de propiedades del HMI en NB Designer.

Las configuraciones que aquí interesan son las que hacen referencia a las propiedades extendidas. En concreto, se han modificado el dispositivo de almacenamiento, para seleccionar el lápiz USB y configurarlo para separar los archivos que va generando -históricos de concentración- por días, y la pantalla inicial, pues por defecto el programa tiene configurada una pantalla en blanco, que ha sido sustituida por la pantalla inicial.

La pantalla también permite crear niveles de seguridad accesibles mediante usuario y clave, y en un principio iban a ser usados, pero por comodidad la empresa prefirió prescindir de ellos, pues resulta más rápido y fácil que cualquier operario pueda modificar los valores de funcionamiento.

b. Componentes usados en la programación

Se procede a realizar una lista de los componentes utilizados en la programación del HMI.

i. Tecla de función.

El botón o tecla de función es un componente que realiza una acción sobre la propia pantalla, ya sea modificándola, cambiándola por otra, o abriendo una ventana emergente sobre la misma. También permite realizar otro tipo de acciones más complejas. Puede asignársele una tecla del teclado, de manera que al pulsarla realice la acción que realizaría esa tecla -por ejemplo, la función de tecla "intro"- . Permite borrar eventos, de manera que limpia el historial de recetas guardado en la memoria de la pantalla, e incluso abrir la pantalla de calibración.

En este caso, se ha utilizado tanto para cambiar entre pantallas, como para ejecutar macros.

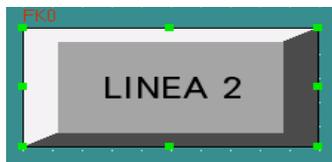


Figura 155. Tecla de función. Apariencia.

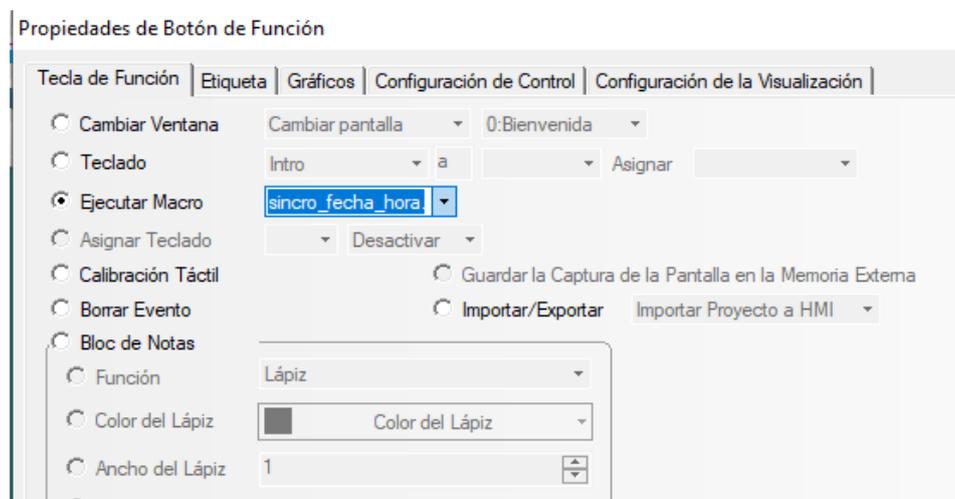


Figura 156. Tecla de función. Ventana de propiedades.

Es un componente realmente útil y muy versátil. Además, su aspecto es totalmente modificable, y se le puede incluir una etiqueta, como el texto "LINEA 2" en la tecla de la imagen superior.

ii. Fecha/hora.

Este componente permite visualizar la fecha y la hora en el formato que se desee -ya sea al estilo americano, año/mes/día, europeo, día/mes/año, o abreviado, día/mes-. Por defecto, el componente empieza la cuenta desde el 8 de agosto del año 2008, siendo necesario realizar una tarea de sincronización entre la fecha y la hora del PLC y la de la propia pantalla. A falta de una función que realice la sincronización automáticamente, ha sido necesario programar una macro, explicada en el apartado b de este documento.

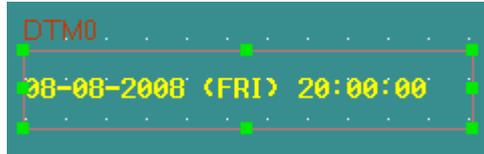


Figura 157. Fecha y hora. Apariencia.

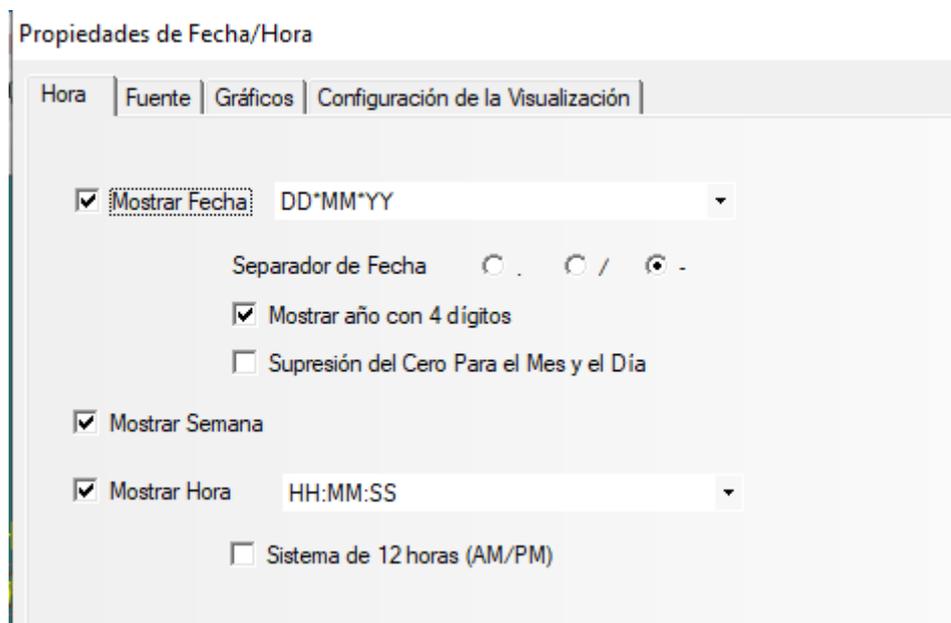


Figura 158. Fecha y hora. Propiedades.

Entre los atributos modificables se encuentran el tipo de fuente y el color de la misma, aparte del ya mencionado formato.

iii. Visualizador numérico

Este componente permite la visualización de un valor numérico incluido en una variable del PLC o de la propia pantalla. Al ser un visualizador, únicamente permite realizar una lectura, nunca una escritura.

Para su programación, es necesario indicar la variable -ya sea de la pantalla, o del PLC- sobre la que va realizar la lectura, así como el tipo de datos que va a recibir y su valor máximo y mínimo. Estos valores pueden ser escritos directamente en los atributos o se pueden establecer mediante dos variables. En caso de superarse cualquiera de los límites, es posible programar el parpadeo del visualizador a modo de alerta.

En el proyecto, se ha utilizado para visualizar los valores de concentración de CO₂ y apertura de la válvula en tiempo real.



Figura 159. Visualizador numérico. Apariencia.

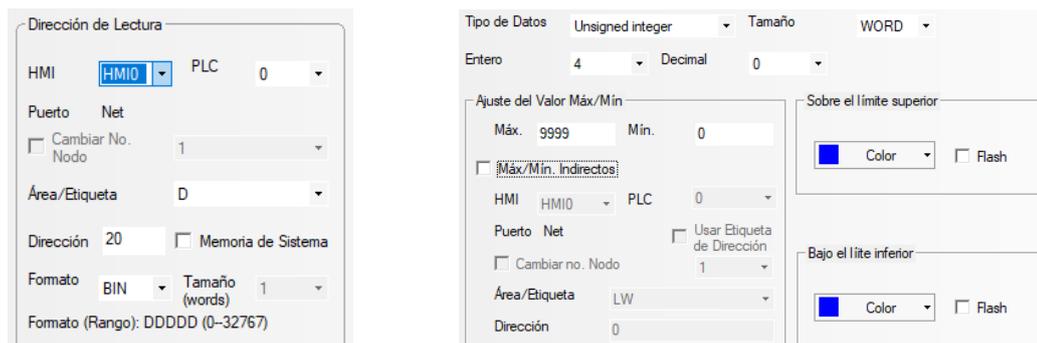


Figura 160. Visualizador numérico. Direccionamiento.

En el ejemplo, se puede ver la programación del visualizador encargado de mostrar en tiempo real la medida de carbónico, guardada en la posición 20 del área de memoria D. En la imagen de la derecha se observa el tipo de dato, un entero, cuyo máximo es 9999, pues las concentraciones pueden variar entre un mínimo de 0 y un máximo de 10000 mg/L.

iv. Entrada numérica

El componente de entrada numérica realiza una acción análoga al visualizador, permitiendo además introducir valores. Dichos valores se escriben bien sobre una variable del PLC, bien sobre una local, es decir, de la pantalla. El componente ofrece la posibilidad de leer una variable y escribir sobre otra distinta, aunque no se ha usado en la programación.

Como en el caso anterior, programarla significa especificar sobre qué área y posición de memoria va a actuar el componente, así como indicar el tipo de dato numérico -entero, hexadecimal, binario...-, su tamaño y formato -si se quiere mostrar como entero o decimal-. También es necesario especificar sus límites superior e inferior, siendo posible indicarlos mediante direccionamiento indirecto.

Una herramienta útil que incluye es la de realizar una conversión proporcional, es decir, un escalado de valores entre los valores que se le indiquen.

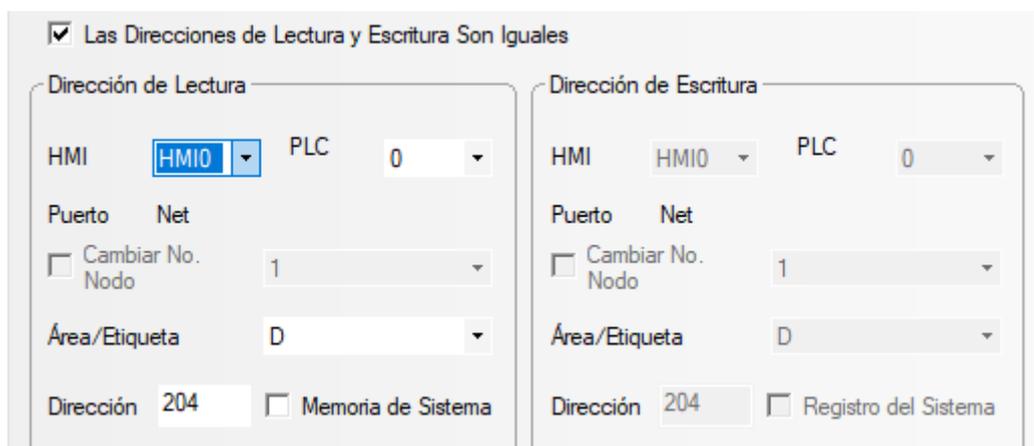


Figura 161. Entrada numérica. Direccionamiento.

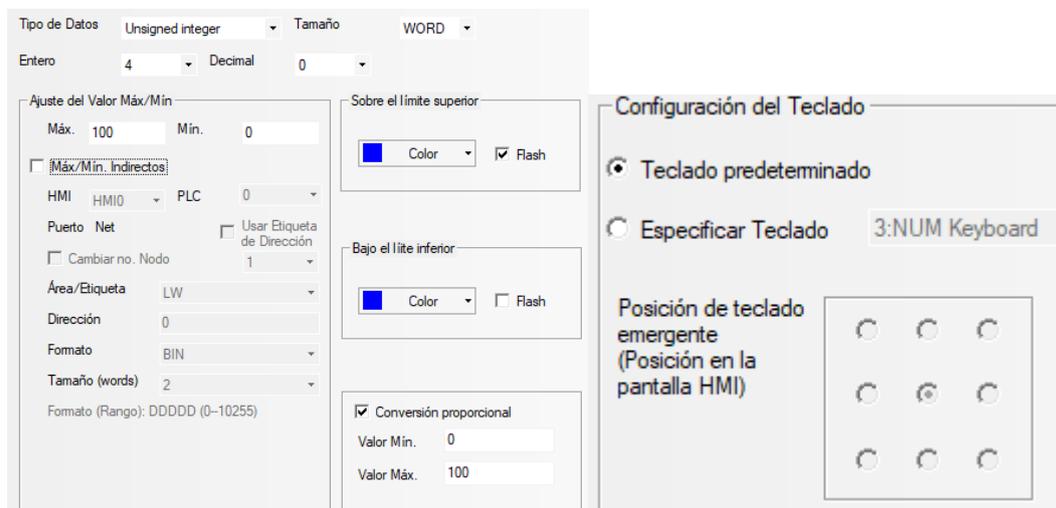


Figura 162. Entrada numérica. Asignación de panel numérico.

En las imágenes superiores se ejemplifica la programación de la entrada numérica que modifica la apertura de la válvula, dirección 204 del área de memoria D. Como se observa, en este caso -y en todos en este proyecto- las direcciones de lectura y escritura son iguales, pues esta variable corresponde a la apertura escalada de la válvula. La escritura se realiza en el panel numérico predeterminado, y siempre se ha usado el mismo.

v. Medidor analógico

El medidor analógico es un componente que simula un medidor de tipo manilla. Es un elemento visual que aporta comodidad y claridad a la lectura.

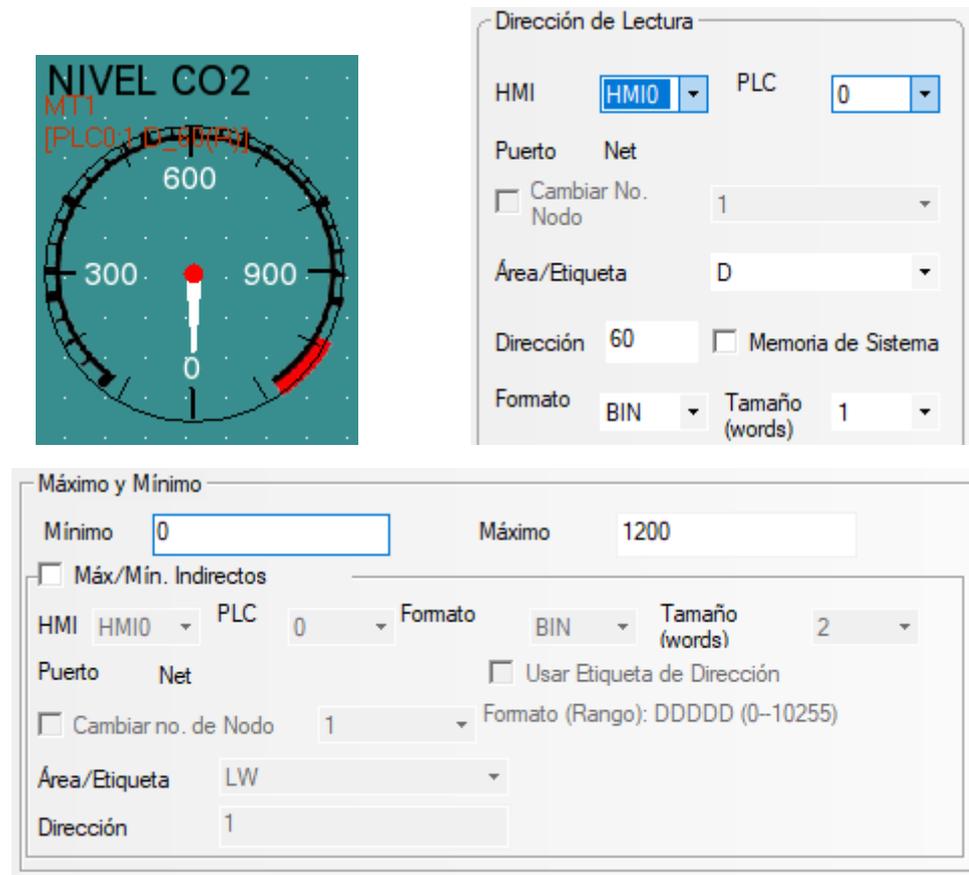


Figura 163. Medidor analógico. Apariencia (superior izda.). Direccionamiento (superior dcha.). Máximo y mínimo (inferior).

La programación del componente, en cuanto a variable de lectura, formato de la misma y máximos y mínimos, sigue los pasos del visualizador numérico. Además, este componente permite modificar su aspecto, es decir, utilizar otro tipo de manilla, o utilizar un fondo negro.

El software permite seleccionar otras imágenes de fondo de una biblioteca. Por lo que, si el programador es aficionado a la edición de imagen, puede crear sus propios indicadores.

En el ejemplo se muestra la programación del medidor de nivel de CO2 que, como se ha comentado en el caso del visualizador, toma el valor de la variable D60.

vi. Gráfico de tendencias

El gráfico de tendencias permite visualizar la evolución temporal del valor de una o más variables. Su condición de disparo, entendida como el inicio del registro, puede ser programada, así como su periodo de muestreo. Además, ofrece la opción de guardar los valores en una memoria externa, por lo que es la herramienta óptima para generar históricos de datos.

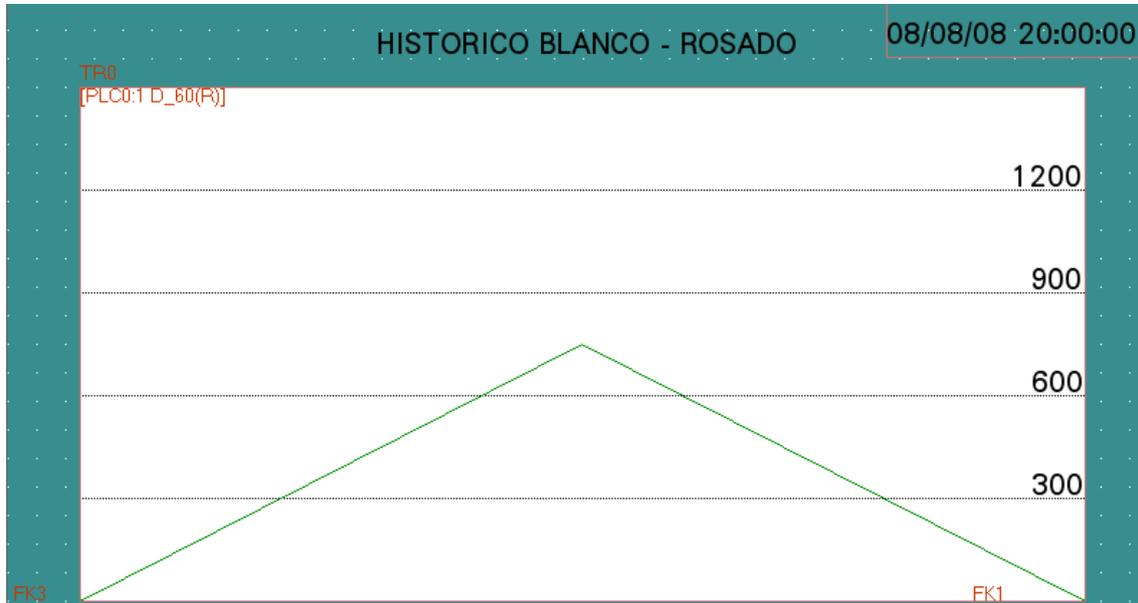


Figura 164. Gráfico de tendencia. Apariencia.

La programación de las variables de muestreo sigue en la línea de las anteriormente explicadas. Pero existe una diferencia: se puede mostrar más de una variable simultáneamente. Para poder hacerlo, se ha de seleccionar los canales deseados en las propiedades, y tener en cuenta que las variables que se deseen mostrar deben ser consecutivas, es decir, estar ordenadas en la tabla de símbolos, siendo la primera la variable dispuesta en la dirección de lectura.

La imagen muestra dos paneles de configuración. El panel izquierdo, titulado "Dirección de Lectura", incluye: HMI (HMIO), PLC (0), Puerto (Net), un checkbox "Cambiar No. Nodo" con valor 1, Área/Etiqueta (D), Dirección (60), un checkbox "Memoria de Sistema" desmarcado, Formato (BIN) y Tamaño (words) (1). El panel derecho, titulado "Pausa-Borrar (Dir.Borrar=Dir.Pausa+1)", incluye: un checkbox "Pausa-Borrar" marcado, HMI (HMIO), PLC (0), Área/Etiqueta (W_bit), Dirección (5.00), Formato (BIN), Tamaño (words) (2) y un checkbox "Usar Etiqueta de Dirección" desmarcado. El formato de rango se muestra como "DDD.DD (0.00-511.15)".

Figura 165. Gráfico de tendencia. Direccionamiento.

En el cuadro "pausar-borrar" se programa la variable de disparo, teniendo en cuenta que cuando la variable -binaria- muestre un nivel alto, se pausa la toma de datos. En este caso la variable de comando de pausa y disparo es el bit 5.00 del área de trabajo -W, de work-. En el apartado 1.b.vii del presente documento se describe más detalladamente el proceso.

Tipo **Una página** Propiedad **Empezar desde la izquierda** Tipo de Muestreo **Continuo**

Método de Muestreo **Muestreo periódico** Ciclo **20** X **1 s**

Puntos de Muestra **200** No. de **1** Canal **1**

Figura 166. Gráfico de tendencia. Configuración del muestreo.

No.	An...	Tipo de Datos	Y min.	Y máx.	Color
0	1	16-bit unsigned	0	1500	

Figura 167. Gráfico de tendencia. Tipo de datos.

Guardar en memoria exten

Dispositivo de almacenamiento **USB DISK1**

Restaurar tras pausa Cifrado de datos

Exportar a archivo CSV Guardar msg

Subdirectorio **Histórico_CO2**

Tipo de almacenamiento **Archivo Diario**

Buffer de almacenamiento **Default**

Periodo de almacenamiento **0** Día

Como se ha comentado arriba, la herramienta permite guardar el histórico de datos en una memoria externa, en este caso, el USB_DISK1. Debido a que la pantalla en cuestión sólo ofrece una ranura, el software no permite seleccionar otro almacenamiento pero, en caso de tener más, el desplegable mostraría las opciones. El subdirectorio es la carpeta donde se guardan los archivos, que el software separa según la etiqueta del gráfico. En este proyecto, los gráficos están configurados para generar un archivo diario.

vii. Interruptor de bit

El interruptor de bit es un componente que permite cambiar el valor de un determinado bit. Según el tipo seleccionado, puede realizar la función de puesta en estado ON, OFF, conmutar entre ambos estados, o mantener un estado ON mientras esté pulsado. Tanto la etiqueta como los gráficos son configurables y pueden ser distintos, en el caso de ser un conmutador, en el estado ON y el OFF.

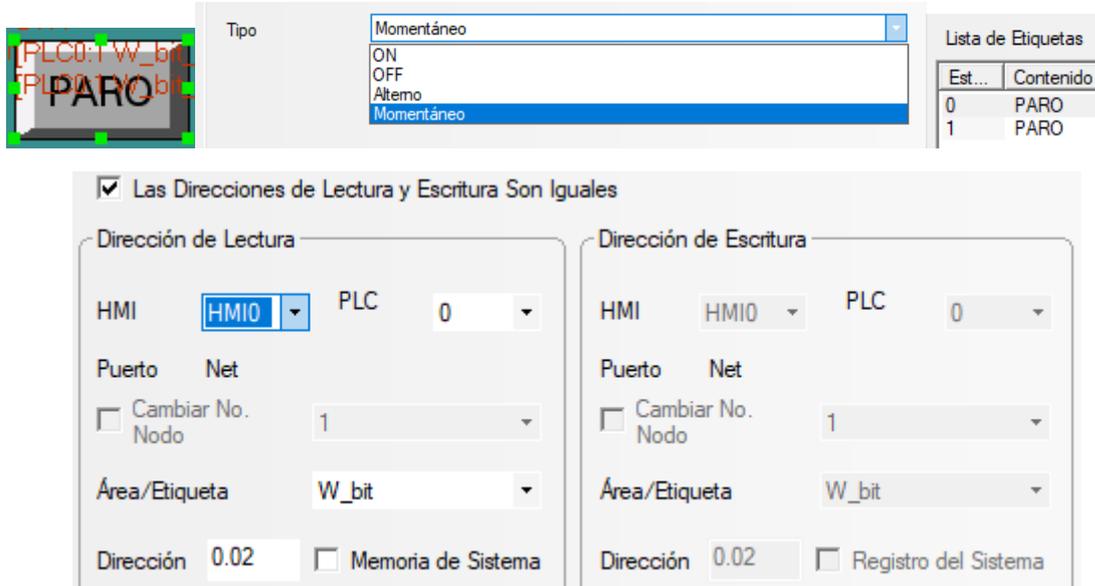


Figura 168. Interruptor de bit. Apariencia y configuraciones (tipo, direccionamiento).

Como en los anteriores componentes, la variable se define especificando área y dirección -en este caso el bit 0.02 del área de memoria de trabajo, W-, siendo posible especificar direcciones de lectura y escritura distintas. El tipo de interruptor define la acción que se realiza sobre el bit especificado, en este caso, una puesta en ON momentánea.

viii. Lámpara de bit

La lámpara de bit es un indicador de tipo luminoso que informa del estado de un determinado bit.

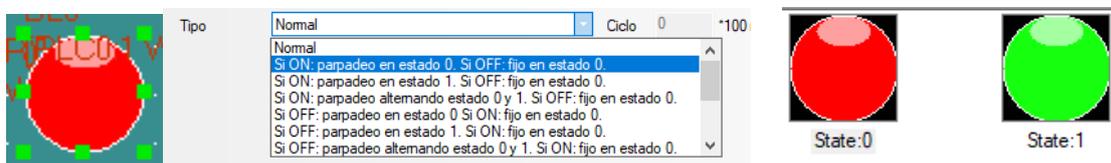


Figura 169. Lámpara de bit. Apariencia y tipo de funcionamiento.

La asignación de la variable se realiza de forma exactamente análoga a la vista más arriba, siendo posible seleccionar qué acción realiza el indicador en caso de detectar un estado ON o un estado OFF. Las opciones son variadas: desde luz fija a intermitencias a la frecuencia seleccionada, pudiendo intercambiar estados 1 y 0 a conveniencia.

En el programa, por simplicidad y facilidad visual, se ha optado por luces fijas, roja en caso de detectar un 0 y verde en caso de detectar un 1.

ix. Botón de bit

Este componente permite cambiar el valor de un bit, pero, a diferencia del interruptor de bit, sólo puede escribir sobre la variable, en ningún caso leerla.

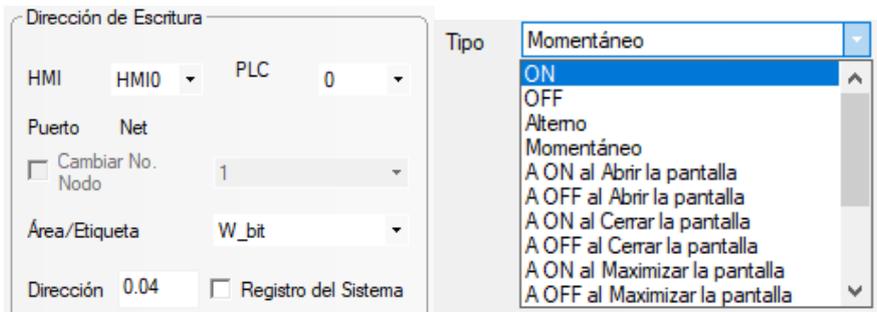


Figura 170. Botón de bit. Apariencia y configuraciones (tipo, direccionamiento).

Como en los casos anteriores, la programación se realiza asignando el bit correspondiente y determinando la acción que se realiza sobre él. Como se aprecia en la imagen de la derecha, esta herramienta puede realizar un número mayor de acciones que el interruptor. En esencia, son acciones relacionadas con la apertura, cierre, o tamaño de la pantalla.

En el proyecto, esta herramienta se encarga activar el bit que permite aplicar los valores correspondientes a los parámetros de referencia de CO2 y de apertura inicial de la válvula.

x. Botón de comando

Esta herramienta permite realizar una acción sobre el valor de una variable de tamaño word, ya sea de tipo binario o BCD. Las acciones pueden realizarse tanto al pulsar el botón como al cambiar el estado de la pantalla. Por ejemplo: establecer un valor al abrir la pantalla, incrementar el valor al mantener pulsado el botón, o simplemente establecer el valor al ser pulsado.

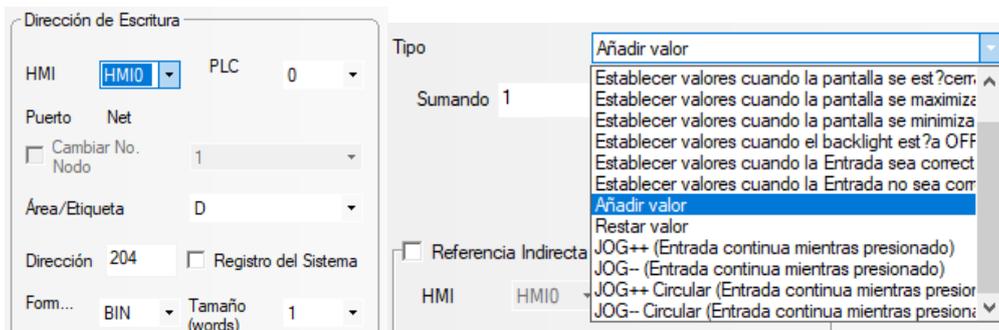


Figura 171. Botón de comando. Apariencia y configuraciones (tipo, direccionamiento).

Se designa el área y la dirección de la variable, y el tipo de acción a realizar sobre ella. En el presente programa, se ha utilizado para añadir o restar una unidad a la apertura de la válvula en el modo manual.

xi. Texto

Los cuadros de texto permiten escribir sobre la pantalla texto plano, en diferentes estilos.



Figura 172. Cuadro de texto. Apariencia.

En la programación se han utilizado para indicar unidades, títulos, o etiquetar indicadores, o entradas numéricas.

c. Macros

i. Sincronización de fecha y hora

Una macro es una serie de instrucciones cuya ejecución puede activarse pulsando un botón. En el proyecto se ha usado para sincronizar la fecha y la hora de la pantalla con las del autómata, ya que éstos no realizan la acción de manera automática. Éste es uno de los problemas de no haber usado el pack integrado CX-One. La solución tomada es la siguiente:

```
#include "macrotypedef.h"
#include "math.h"

int MacroEntry()
{
    short buf[8] = {0};

    buf[1] = (MinSec/100);
    buf[0] = MinSec - buf[1]* 100;
    buf[3] = (DayHour/100);
    buf[2] = DayHour - buf[3]*100;
    buf[5] = MonYear/100;
    buf[4] = MonYear - buf[5]*100;
    WriteLocal("LW",10000,8,(void*)buf,0);
    return 0;
}
```

Tabla de variables de Macro[sincro_fecha_hora.c]				
Tipo de Datos	Nombre	PLC	Área	Dirección
unsigned short	DayHour	0	A	352
unsigned short	MinSec	0	A	351
unsigned short	MonYear	0	A	353

Figura 173. Macro para la sincronización de la fecha y la hora con la del PLC.

Aquí se parte de saber que el PLC guarda la información de la fecha y la hora en tres variables de tipo entero, cuyas direcciones son: A351, A352 y A353. La primera incluye los minutos y los segundos. La segunda, el día y la hora. Y la última, el mes y el año. Sabiendo esto, el primer paso consiste en crear tres variables -en la tabla: MinSec, DayHour, MonYear-, y asignar a cada una la variable del PLC correspondiente.

Variable de Código de Macro

Nombre	MinSec	HMI	HMI0
Tipo de Datos	unsigned short	PLC	0
Área	A	Dirección	351
Formato	BCD	Formato (Rango):	DDDDD (0-11535)
Tamaño (words)	1	<input type="checkbox"/> Variable de array	
L/E	Lectura	Longitud de array	

Aceptar Cancelar

Figura 174. Macro. Configuración de las variables.

La pantalla guarda los datos referentes a la fecha y la hora en una palabra local con dirección LW10000. Pues bien, como se ve en las instrucciones de la imagen superior izquierda, el programa consiste en crear una palabra cuyo contenido sean los datos de las variables del PLC ordenados, y guardarla en la dirección especificada arriba. La instrucción para escribir la variable es WriteLocal, y en los argumentos, por orden, se debe escribir el área de memoria, la posición, la longitud, el buffer que guarda la información y el último dígito, 0, indica que son datos de tipo BIN.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE
ADICIÓN DE GAS CARBÓNICO EN LÍNEA
DE EMBOTELLADO PARA LA EMPRESA
BODEGAS GANDÍA PLA S.L.**

ANEXOS

TRABAJO FINAL DEL

**Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y
Automática**

REALIZADO POR

Pau Castellano Rioja

TUTORIZADO POR

Sergio García-Nieto Rodríguez

FECHA: Valencia, noviembre, 2019

Contenido

Anexo 1: Datasheets.....	150
1. CJ2M CPU31.	150
2. Entradas analógicas. Omron CJ1W-AD081-V1.	155
3. Salidas analógicas. Omron CJ1W-DA021.....	157
4. Entradas digitales. Omron CJ1W-ID211.	159
5. Salidas digitales. Omron CJ1W-OD212.....	161
6. Electroválvula. Preciflow de Asco Numatics.	162
7. Sensor Carbónico. Centec Carbotec.	164

Anexo 1: Datasheets.

1. CJ2M CPU31.

Product name	Specifications						Current consumption (A)		Model	Standards
	I/O capacity/ Mountable Units (Expansion Racks)	Program capacity	Data memory capacity	LD instruction execution time	EtherNet/IP function	Option board slot	5 V	24 V		
CJ2M (Built-in EtherNet/IP) CPU Units 	2,560 points/ 40 Units (3 Expansion Racks max.)	60K steps	160K words (DM: 32K words, EM: 32K words x 4 banks)	0.04 μs	YES	YES	0.7 (See note.)	-	CJ2M-CPU35	UC1, CE
		30K steps								
		20K steps	160K words (DM: 32K words, EM: 32K words x 1 bank)							
		10K steps								
		5K steps								

Note: Add 0.005A, 0.030A and 0.075A when using Serial Communications Option Boards (CP1W-CIF01/11/12), respectively.

General Specifications

Item	CJ2M-	
	CPU1□	CPU3□
Enclosure	Mounted in a panel	
Grounding	Less than 100 Ω	
CPU Rack Dimensions	90 mm × 75 mm × 31 mm	90 mm × 75 mm × 62 mm
Weight	130 g or less	190 g or less (see note)
Current Consumption	5 VDC, 0.5 A	5 VDC, 0.7 A
Use Environment	Ambient Operating Temperature	0 to 55°C
	Ambient Operating Humidity	10% to 90%
	Atmosphere	Must be free from corrosive gases.
	Ambient Storage Temperature	-20 to 70°C (excluding battery)
	Altitude	2,000 m or less
	Pollution Degree	2 or less: Conforms to JIS B3502 and IEC 61131-2.
	Noise Immunity	2 kV on power supply line (Conforms to IEC 61000-4-4.)
	Overvoltage Category	Category II: Conforms to JIS B3502 and IEC 61131-2.
	EMC Immunity Level	Zone B
Vibration Resistance	Conforms to IEC60068-2-6 5 to 8.4 Hz with 3.5-mm amplitude, 8.4 to 150 Hz Acceleration of 9.8 m/s ² for 100 min in X, Y, and Z directions (10 sweeps of 10 min each = 100 min total)	
	Shock Resistance	Conforms to IEC60068-2-27 147 m/s ² , 3 times in X, Y, and Z directions (100 m/s ² for Relay Output Units)
Battery	Life	5 years at 25°C
	Model	CJ1W-BAT01
Applicable Standards	Conforms to cULus and EC Directives.	

Note: Without a Serial Option Board.

Performance Specifications

Items		CJ2M-				
		CPU11/31	CPU12/32	CPU13/33	CPU14/34	CPU15/35
User Memory		5K steps	10K steps	20K steps	30K steps	60K steps
I/O Bits		2,560 bits				
Processing Speed	Overhead Processing Time	Normal Mode: CJ2M-CPU3□: 270 μs (If tag data links are used with EtherNet/IP, add the following to the above time: 100 μs + Number of transferred words × 1.8 μs) CJ2M-CPU1□: 160 μs				
	Execution Time	Basic Instructions : 0.04 μs min. Special Instructions : 0.06 μs min.				
	Interrupts	I/O Interrupts and External Interrupts	Interrupt task startup time: 31 μs Return time to cyclic task : 10 μs			
		Scheduled Interrupts	Minimum time interval : 0.4 ms (set in 0.1 ms increments) Interrupt task startup time: 30 μs Return time to cyclic task : 11 μs			
Maximum Number of Connectable Units		Total per CPU Rack or Expansion Rack: 10 Units max.; Total per PLC: 40 Units max.				
	Basic I/O Units	No limit However, a maximum of two CJ1W-INT01 Interrupt Input Units can be mounted.				
	Special I/O Units	Units for up to 96 unit numbers can be mounted. (Unit numbers run from 0 to 95. Units are allocated between 1 and 8 unit numbers.)				
	CPU Bus Units	CJ2M-CPU3□: 15 Units max. CJ2M-CPU1□: 16 Units max.				
	Slots for which interrupts can be used	Slots 0 to 4 on CPU Rack				
Maximum Number of Expansion Racks		3 max.				
CIO Area	I/O Area	2,560 bits (160 words) : Words CIO 0000 to CIO 0159				
	Link Area	3,200 bits (200 words) : Words CIO 1000 to CIO 1199				
	Synchronous Data Refresh Area	-				
	CPU Bus Unit Area	6,400 bits (400 words) : Words CIO 1500 to CIO 1899				
	Special I/O Unit Area	15,360 bits (960 words): Words CIO 2000 to CIO 2959				
	Serial PLC Link Words	1,440 bits (90 words) : Words CIO 3100 to CIO 3189				
	DeviceNet Area	9,600 bits (600 words) : Words CIO 3200 to CIO 3799				
	Internal I/O Area	3,200 bits (200 words) : Words CIO 1300 to CIO 1499 37,504 bits (2,344 words): Words CIO 3800 to CIO 6143 Cannot be used for external I/O.				
Work Area		8,192 bits (512 words): Words W000 to W511 Cannot be used for external I/O.				
Holding Area		8,192 bits (512 words): Words H000 to H511 Bits in this area maintain their ON/OFF status when PLC is turned OFF or operating mode is changed. Words H512 to H1535: These words can be used only for function blocks. They can be used only for function block instances (i.e., they are allocated only for internal variables in function blocks).				
Auxiliary Area		Read-only: 31,744 bits (1,984 words) • 7,168 bits (448 words): Words A0 to A447 • 24,576 bits (1,536 words): Words A10000 to A11535 * Read/write: 16,384 bits (1,024 words) in words A448 to A1471 * * A960 to A1471 and A10000 to A11535 cannot be accessed by CPU Bus Units, Special I/O Units, PTs, and Support Software that do not specifically support the CJ2 CPU Units.				
Temporary Area		16 bits: TR0 to TR15				
Timer Area		4,096 timer numbers (T0000 to T4095 (separate from counters))				
Counter Area		4,096 counter numbers (C0000 to C4095 (separate from timers))				
DM Area		32k words * • DM Area words for Special I/O Units: D20000 to D29599 (100 words × 96 Units) • DM Area words for CPU Bus Units: D30000 to D31599 (100 words × 16 Units) * Bits in the EM Area can be addressed either by bit or by word. These bits cannot be addressed by CPU Bus Units, Special I/O Units, PTs, and Support Software that do not specifically support the CJ2 CPU Units.				
EM Area		32k words/bank × 4 banks max.: E00_00000 to E3_32767 max. * * Bits in the EM Area can be addressed either by bit or by word. These bits cannot be addressed by CPU Bus Units, Special I/O Units, PTs, and Support Software that do not specifically support the CJ2 CPU Units.				
	Force-S/R Enabled Banks #1	32K words × 1 bank Bank 0 hex		32K words × 4 banks Bank 0 to 3 hex		
Index Registers		IR0 to IR15 These are special registers for storing PLC memory addresses for indirect addressing. (Index Registers can be set so that they are unique in each task or so that they are shared by all tasks.)				
Cyclic Task Flag Area		128 flags				
Memory Card		128 MB, 256 MB, or 512 MB				
Operating Modes		PROGRAM Mode: Programs are not executed. Preparations can be executed prior to program execution in this mode. MONITOR Mode: Programs are executed, and some operations, such as online editing, and changes to present values in I/O memory, are enabled in this mode. RUN Mode: Programs are executed. This is the normal operating mode.				

Function Specifications

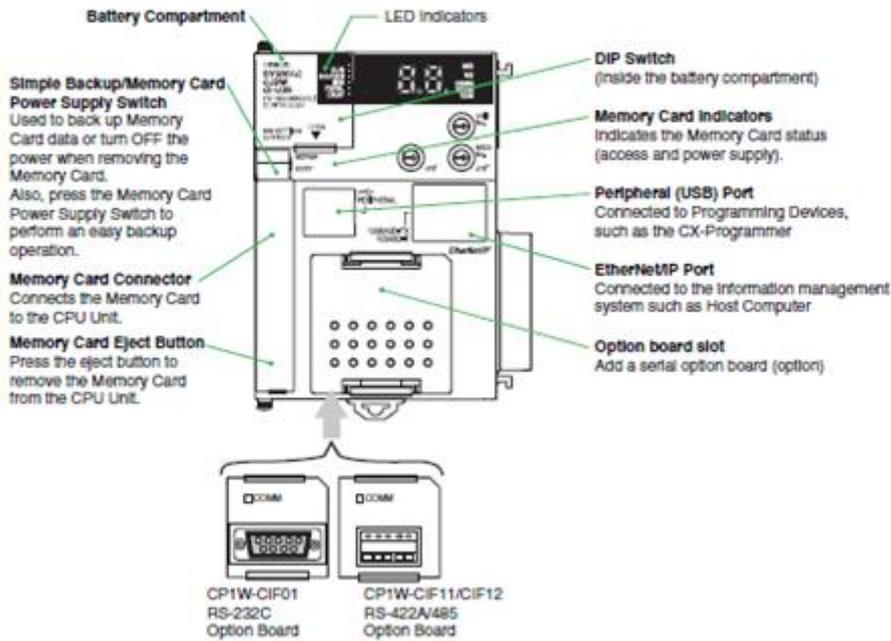
Functions		Description	
Cycle Time Management	Minimum Cycle Time	A minimum cycle time can be set. (0.2 to 32,000 ms; Unit: 0.1 ms) The minimum cycle time setting can be changed in MONITOR mode.	
	Cycle Time Monitoring	The cycle time is monitored. (0.01 to 40,000 ms; Unit: 0.01 ms)	
	Background Processing	Instructions with long execution times can be executed over multiple cycles to prevent fluctuations in the cycle time.	
Unit (I/O) Management	Basic I/O Units, Special I/O Units, and CPU Bus Units	I/O Refreshing	Cyclic Refreshing Cyclic refreshing of Basic I/O Units, Special I/O Units, and CPU Bus Units
		Immediate Refreshing	I/O refreshing by immediate refreshing instructions
		Refreshing by IORF	I/O refreshing by IORF instruction
		Unit Recognition at Startup	The number of units recognized when the power is turned ON is displayed.
	Basic I/O Units	Input Response Time Setting	The input response times can be set for Basic I/O Units. The response time can be increased to reduce the effects of chattering and noise at input contacts. The response time can be decreased to enable detecting shorter input pulses.
		Load OFF Function	All of the outputs on Basic I/O Units can be turned OFF when an error occurs in RUN or MONITOR mode.
		Basic I/O Unit Status Monitoring	Alarm information can be read from Basic I/O Units and the number of Units recognized can be read.
		Reading/writing data using instructions for specific Units	Special instructions can be used to read/write required data for specific Units at high speed.
	Special I/O Units and CPU Bus Units	Unit Restart Bits to Restart Units	A Special I/O Unit or CPU Bus Unit can be restarted.
	Configuration Management	Automatic I/O Allocation at Startup	I/O words can be automatically allocated to the Basic I/O Units that are connected in the PLC to start operation automatically without registering Units into I/O tables.
I/O Table Creation		The current unit configuration can be registered in I/O tables to prevent it from being changed, to reserve words, and to set words.	
Rack/Slot First Word Settings		The first words allocated to a Units on the Racks can be set.	
Memory Management	Holding I/O Memory when Changing Operating Modes	The status of I/O memory can be held when the operating mode is changed or power is turned ON. The forced-set/reset status can be held when the operating mode is changed or power is turned ON.	
	File Memory	Files (such as program files, data files, and symbol table files) can be stored in Memory Card, EM File Memory, or Comment Memory.	
	Built-in Flash Memory	The user program and Parameter Area can be backed up to an internal flash memory when they are transferred to the CPU Unit.	
	EM File Function	Parts of the EM Area can be treated as file memory.	
	Storing Comments	I/O comments can be stored as symbol table files in a Memory Card, EM file memory, or comment memory.	
	EM Configuration	EM Area can be set as trace memory or EM file memory.	
Memory Cards	Automatic File Transfer at Startup	A program file and parameter files can be read from a Memory Card when the power is turned ON.	
	Program Replacement during PLC Operation	The whole user program can be read from a Memory Card to CPU Unit during operation.	
	Function for Reading and Writing Data from a Memory Card	Data in I/O memory in the CPU Unit can be written to a Memory Card in CSV/TXT format. Data in CSV/TXT format in the Memory Card can be read to I/O memory in the CPU Unit.	

Function		Description	
Communications			
Peripheral (USB) Port	Peripheral Bus	Bus for communications with various kinds of Support Software running on a personal computer. High-speed communications are supported.	
	Serial Port (Option) #9		Application is possible when a Serial Communications Option Board is mounted.
	Host Link (SYSWAY) Communications		Host Link commands or FINS commands placed between Host Link headers and terminators can be sent from a host computer or PT to read/write I/O memory, read/control the operating mode, and perform other operations for PLC.
	No-protocol Communications		I/O Instructions for communications ports (such as TXD/RXD Instructions) can be used for data transfer with peripheral devices such as bar code readers and printers.
	NT Link Communications		I/O memory in the PLC can be allocated and directly linked to various PT functions, including status control areas, status notification areas, touch switches, lamps, memory tables, and other objects.
	Peripheral Bus		Bus for communications with various kinds of Support Software running on a personal computer. High-speed communications are supported.
	Serial Gateway		This gateway enables receiving and automatically converting FINS to the CompoWay/F.
	Serial PLC Links		Data is exchanged between CPU Units using serial ports without communications programming. PTs set to the 1:N NT Link protocol can be included in the network.
	EtherNet/IP Port #10		100Base-TX/10Base-T Protocols: TCP/IP, UDP, ARP, ICMP (ping only), BOOTP Applications: FINS, CIP, POP3, SMTP, SNMP, DNS (Client), FTP (Server)
	CIP Communications Service	Tag Data Links	Programless cyclic data exchanges with the devices on the EtherNet/IP network.
Message Communications		Any CIP commands can be received from the devices on the EtherNet/IP network.	
FINS Communications Service	Message Communications	Any FINS commands can be transferred with the devices on the EtherNet/IP network.	
Interrupt			
Scheduled Interrupts		Tasks can be executed at a specified interval (minimum of 0.2 ms, Unit: 0.1 ms).	
Resetting and restarting with MSKS(690)		When MSKS(690) is executed, the internal timer is restarted and the time to first interrupt is set to a fixed value.	
Reading present value of internal timer with MSKS(690)		MSKS(690) can be used to read the time that has elapsed until the schedule interrupt is started or since the previous scheduled interrupt.	
Power OFF Interrupts		A task can be executed when CPU Unit's power turns OFF.	
I/O Interrupt Tasks		A task can be executed when an input signal is input to an Interrupt Input Unit.	
External Interrupt Tasks		A task can be executed when interrupts are requested from a Special I/O Unit or a CPU Bus Unit.	
Clock			
Clock Function		Clock data is stored in memory. Accuracy (Accuracy depends on the temperature.) Ambient temperature of 55°C : -3.5 to +0.5 min error per month Ambient temperature of 25°C : -1.5 to +1.5 min error per month Ambient temperature of 0°C : -3 to +1 min error per month	
Operation Start Time Storage		The time when operating mode was last changed to RUN mode or MONITOR mode is stored.	
Operation Stop Time Storage		The last time a fatal error occurred or the last time the operating mode was changed to PROGRAM mode is stored.	
Startup Time Storage		The time when the power was turned ON is stored.	
Power Interruption Time Storage		The time when the power is turned OFF is stored.	
Total Power ON Time Calculation		The total time that the PLC has been ON is stored in increments of 10 hours.	
Power ON Clock Data Storage		A history of the times when the power was turned ON is stored.	
User Program Overwritten Time Storage		The time that the user program was last overwritten is stored.	
Parameter Date Storage		The time when the Parameter Area was overwritten is stored.	

External Interface

CJ2M-CPU3□ (CJ2M with Built-in EtherNet/IP)

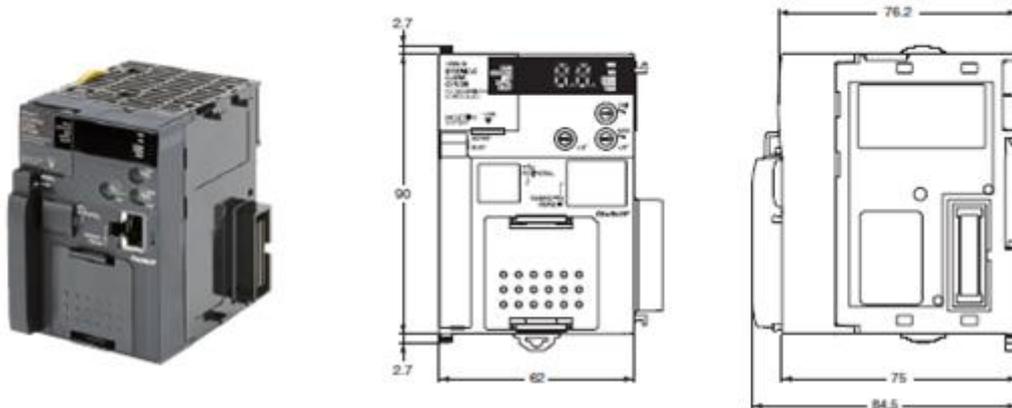
A CJ2M-CPU3□ provides two communications ports for external interfaces: a peripheral (USB) port and an EtherNet/IP port. Serial ports can be added by mounting a Serial Communications Option Board (sold separately) in an option slot.



Dimensions

(Unit: mm)

CJ2M-CPU3□



2. Entradas analógicas. Omron CJ1W-AD081-V1.

Analog Input Units

Unit type	Product name	I/O points	Signal range selection	Signal range	Resolution	Conversion period	Accuracy at ambient temperature of 25°C	External connection	No. of unit numbers allocated	Current consumption (A)		Model	Standards
										5 V	24 V		
CJ1 Special I/O Units	Analog Input Unit 	4 inputs	Set separately for each input	1 to 5 V (1/10,000), 0 to 10 V (1/20,000), -5 to 5 V (1/20,000), -10 to 10 V (1/40,000), and 4 to 20 mA (1/10,000)	1/4,000 (Settable to 1/8,000) *2	20 µs/1 point, 25 µs/2 points, 30 µs/3 points, 35 µs/4 points The Direct conversion is provided. *1	Voltage: ±0.2% of F.S. Current: ±0.4% of F.S.	Removable terminal block	1	0.52	---	CJ1W-AD042	UC1, CE
	Analog Input Units 	8 inputs 4 inputs								1 to 5 V, 0 to 5 V, 0 to 10 V, -10 to 10 V, 4 to 20 mA	1 ms/point (250 µs/point can also be set.) *2	Voltage: ±0.2% of F.S. Current: ±0.4% of F.S. *3	0.42

*1 With the Machine Automation Controller NJ-series, the direct conversion function using the AIDC instruction cannot be used.

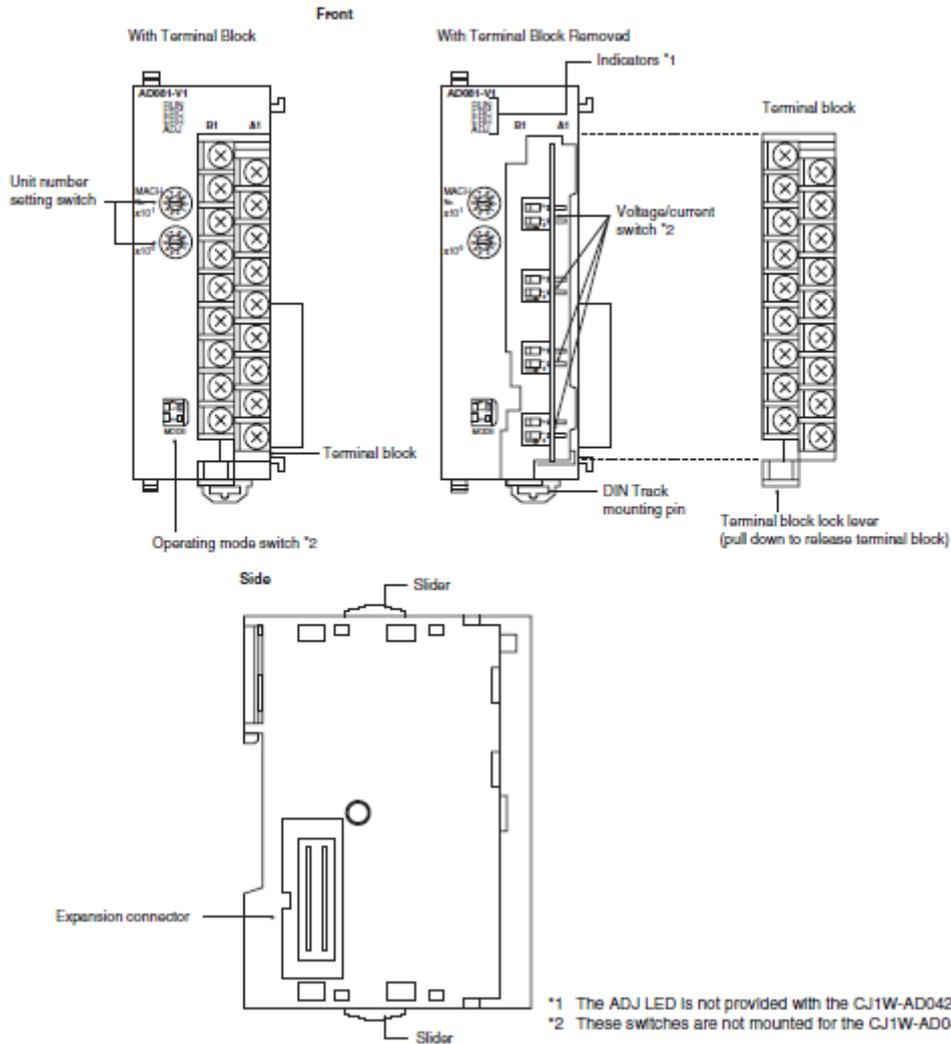
*2 The resolution and conversion speed cannot be set independently. If the resolution is set to 1/4,000, then the conversion speed will be 1 ms/point.

*3 At 23 ±2°C

Item	CJ1W-AD041-V1	CJ1W-AD081-V1	CJ1W-AD042	
Unit type	CJ-series Special I/O Unit			
Isolation *1	Between I/O and Controller signals: Photocoupler (No isolation between I/O signals.)		Between I/O and Controller signals: Digital Isolator (No isolation between I/O signals.)	
External terminals	18-point detachable terminal block (M3 screws)			
Power consumption	420 mA max. at 5 VDC		520 mA max. at 5 VDC	
Dimensions (mm)	31 × 90 × 65 mm (W × H × D)			
Weight	140 g max.		150 g max.	
General specifications	Conforms to general specifications for CJ Series.			
Input specifications	Number of analog inputs	4	8	
	Input signal range *2	1 to 5 V 0 to 5 V 0 to 10 V -10 to 10 V 4 to 20 mA *3	1 to 5 V 0 to 10 V -5 to 5 V -10 to 10 V 4 to 20 mA *4	
	Maximum rated input (for 1 point) *5	Voltage input: ±15 V Current input: ±30 mA		
	Input impedance	Voltage input: 1 MΩ min. Current input: 250 Ω (rated value)		
	Resolution	4,000/8,000 *6		1 to 5 V 10,000 0 to 10 V 20,000 -5 to 5 V 20,000 -10 to 10 V 40,000 4 to 20 mA 10,000
		Converted output data 16-bit binary data		
		Accuracy *7	25°C *8	Voltage input: ±0.2% of F.S. Current input: ±0.4% of F.S.
0°C to 55°C			Voltage input: ±0.4% of F.S. Current input: ±0.6% of F.S.	
A/D conversion period *9	1 ms/250 µs per point *6	20 µs/1 point, 25 µs/2 points, 30 µs/3 points, 35 µs/4 points		
Input functions	Mean value processing	Stores the last "n" data conversions in the buffer, and stores the mean value of the conversion values. Buffer number: n = 2, 4, 8, 16, 32, 64	Stores the last "n" data conversions in the buffer, and stores the mean value of the conversion values. Buffer number: n = 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512	
	Peak value holding	Stores the maximum conversion value while the Peak Value Hold Bit is ON.		
	Scaling	---	Setting values in any specified unit within a range of ±32,000 as the upper and lower limits allows A/D conversion to be executed and analog signals to be output with these values as full scale.	
	Input disconnection detection	Detects the disconnection and turns ON the Disconnection Detection Flag. *10		
	Offset/gain adjustment	Supported		
Direct conversion	---	A/D conversion is performed and the converted value is refreshed when the ANALOG INPUT DIRECT CONVERSION instruction (AIDC) is executed. This instruction is supported by the CJ2H-CPU□□ (-EIP) CPU Units with unit version 1.1 or later, and CJ2M-CPU□□. CJ1, NJ501, and CP1H CPU Units and NSJ Controllers do not support		

External Interface

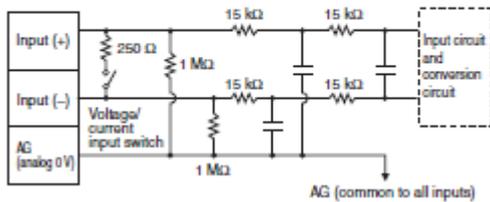
Analog Input Units CJ1W-AD041-V1/AD081-V1/AD042 Components



Input Circuits

The following diagrams show the internal circuit of the analog input section.

CJ1W-AD041-V1/AD081-V1



Input 2 (+)	B1	A1	Input 1 (+)
Input 2 (-)	B2	A2	Input 1 (-)
Input 4 (+)	B3	A3	Input 3 (+)
Input 4 (-)	B4	A4	Input 3 (-)
AG	B5	A5	AG
Input 6 (+)	B6	A6	Input 5 (+)
Input 6 (-)	B7	A7	Input 5 (-)
Input 8 (+)	B8	A8	Input 7 (+)
Input 8 (-)	B9	A9	Input 7 (-)

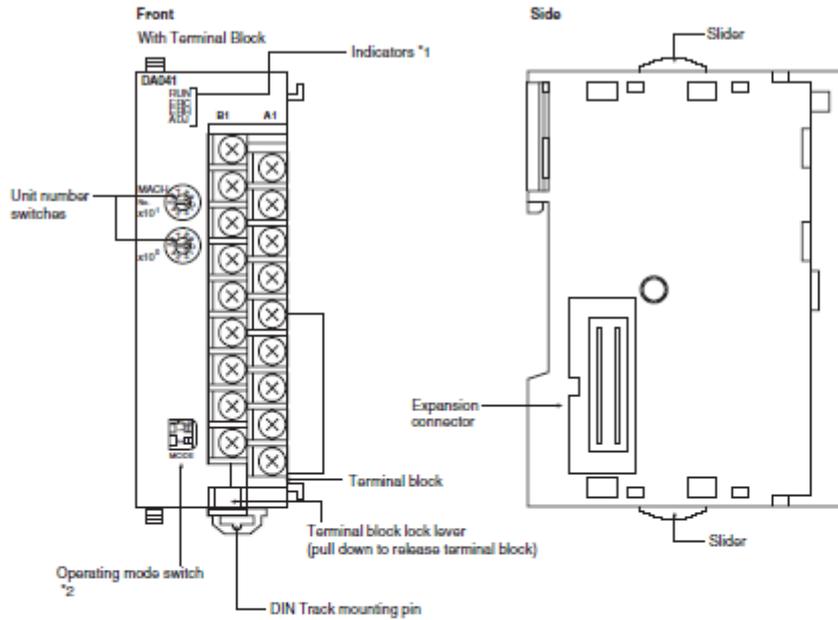
3. Salidas analógicas. Omron CJ1W-DA021.

Analog Output Units CJ1W-DA021/DA041/DA08V/DA08C/DA042V

Specifications

Item	CJ1W-DA021	CJ1W-DA041	CJ1W-DA08V	CJ1W-DA08C	CJ1W-DA042V		
Unit type	CJ-series Special I/O Unit						
Isolation *1	Between I/O and Controller signals: Photocoupler (No isolation between I/O signals.)			Between I/O and Controller signals: Digital isolator (No isolation between I/O signals.)			
External terminals	18-point detachable terminal block (M3 screws)						
Power consumption	5 VDC, 120 mA max.		5 VDC, 140 mA max.		5 VDC, 400 mA max.		
External power supply *2	24 VDC ^{+10%} / _{-15%} (inrush current: 20 A max., pulse width: 1 ms min.)		---		---		
Dimensions (mm)	31 × 90 × 65 mm (W × H × D)		140 mA max.		170 mA max.		
Weight	150 g max.						
General specifications	Conforms to general specifications for CJ-series Series.						
Output specifications	Number of analog outputs	2	4	8	8	4	
	Output signal range *3	1 to 5 V/4 to 20 mA 0 to 5 V 0 to 10 V -10 to 10 V		1 to 5 V 0 to 5 V 0 to 10 V -10 to 10 V		4 to 20 mA 1 to 5 V 0 to 10 V -10 to 10 V	
	Output impedance	0.5 Ω max. (for voltage output)		0.5 Ω max. (for voltage output)		0.5 Ω max. (for voltage output)	
	Max. output current (for 1 point)	12 mA (for voltage output)		2.4 mA (for voltage output)		2 mA (for voltage output)	
	Maximum permissible load resistance	600 Ω (current output)		---		350 Ω ---	
	Resolution	4,000		4,000/8,000 *8		1 to 5 V 0 to 10 V -10 to 10 V	
	Set data	16-bit binary data					
	Accuracy *4	25°C	Voltage output: ±0.3% of F.S. Current output: ±0.5% of F.S.		±0.3% of F.S.	±0.3% of F.S.	±0.3% of F.S.
		0°C to 55°C	Voltage output: ±0.5% of F.S. Current output: ±0.8% of F.S.		±0.5% of F.S.	±0.6% of F.S.	±0.5% of F.S.
	D/A conversion period *5	1.0 ms per point		1.0 ms or 250 μs per point *8		20 μs/1 point, 25 μs/2 points, 30 μs/3 points, 35 μs/4 points	
Output functions	Output hold function	Outputs the specified output status (CLR, HOLD, or MAX) under any of the following circumstances. • When the Conversion Enable Bit is OFF. *6 • In adjustment mode, when a value other than the output number is output during adjustment. *7 • When output setting value error occurs or Controller operation stops. • When the Load is OFF.					
	Scaling	---		Supported only for a conversion period of 1 ms and resolution of 4,000. Setting values in any specified unit within a range of ±32,000 as the upper and lower limits allows D/A conversion to be executed and analog signals to be output with these values as full scale.		Setting values in any specified unit within a range of ±32,000 as the upper and lower limits allows D/A conversion to be executed and analog signals to be output with these values as full scale.	
	Offset/gain adjustment	Supported				---	
	Direct conversion	---				D/A conversion is performed and the output value is refreshed when the ANALOG OUTPUT DIRECT CONVERSION instruction (AODC) is executed. This instruction is supported by the Cj2H-CPU□□ (.EIP) CPU Units with unit version 1.1 or later, and Cj2M-CPU□□. Cj1, Njs01, and CP1H CPU Units and NSJ Controllers do	

Analog Output Units CJ1W-DA021/041/08V/08C/DA042V Components



*1 The ADJ LED is not provided with the CJ1W-DA042V.

*2 This switch is not mounted for the CJ1W-DA08V, CJ1W-DA08C and CJ1W-DA042V.

Indicators

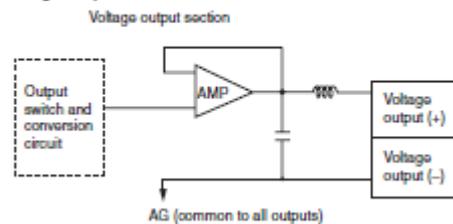
The Indicators show the operating status of the Unit. The following table shows the meanings of the Indicators.

LED	Meaning	Indicator	Operating status
RUN (green)	Operating	Lit	Operating in normal mode.
		Not lit	Unit has stopped exchanging data with the CPU Unit.
ERC (red)	Error detected by Unit	Lit	Alarm has occurred (such as disconnection detection) or initial settings are incorrect.
		Not lit	Operating normally.
ERH (red)	Error in the CPU Unit	Lit	Error has occurred during data exchange with the CPU Unit.
		Not lit	Operating normally.
ADJ (yellow) *	Adjusting	Flashing	Operating in offset/gain adjustment mode.
		Not lit	Other than the above.

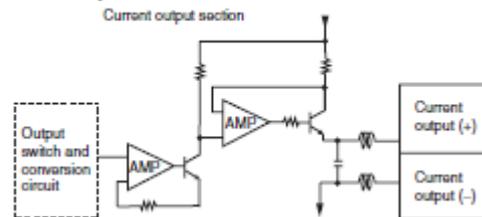
* The ADJ LED is not provided with the CJ1W-DA042V.

CJ1W-DA021/DA041/DA08V/DA08C

Voltage Output Circuits



Current Output Circuits



CJ1W-DA021

Voltage output 2 (+)	B1	A1	Voltage output 1 (+)
Output 2 (-)	B2	A2	Output 1 (-)
Current output 2 (+)	B3	A3	Current output 1 (+)
N.C.	B4	A4	N.C.
N.C.	B5	A5	N.C.
N.C.	B6	A6	N.C.
N.C.	B7	A7	N.C.
N.C.	B8	A8	N.C.
0 V	B0	A0	24 V

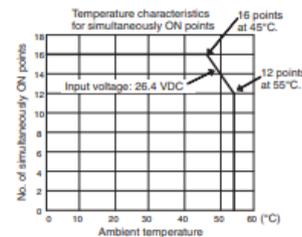
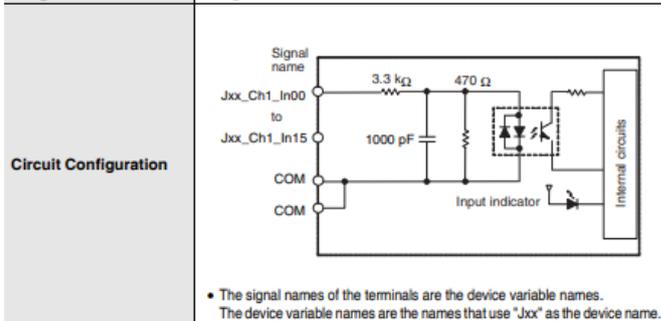
4. Entradas digitales. Omron CJ1W-ID211.

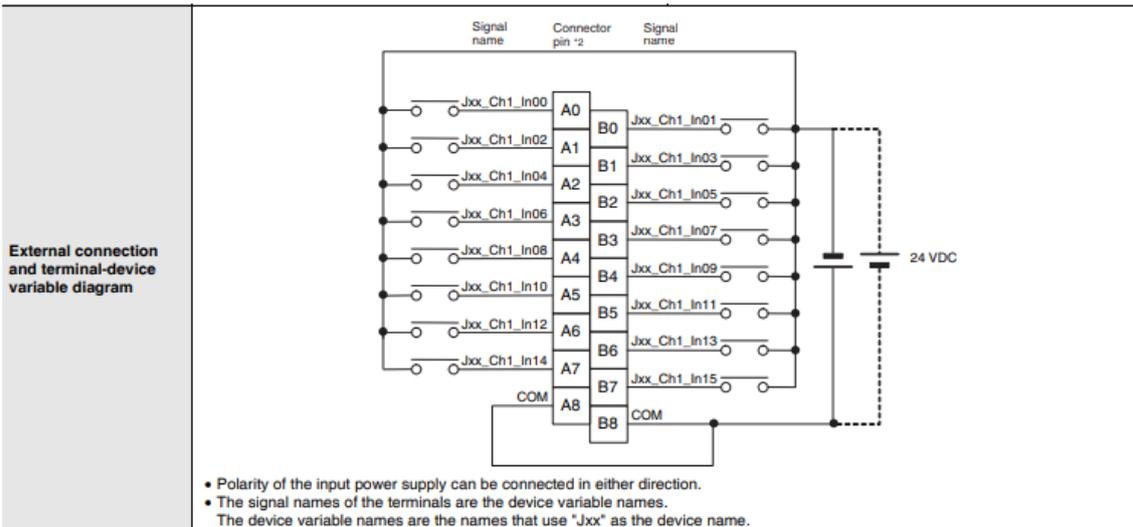
Input Units

Unit type	Product name	Specifications					Current consumption (A)		Model	Standards
		I/O points	Input voltage and current	Commons	External connection	No. of words allocated	5 V	24 V		
CJ1 Basic I/O Units	DC Input Units	8 inputs	12 to 24 VDC, 10 mA	Independent contacts	Removable terminal block	1 word	0.09	–	CJ1W-ID201	UC1, N, L, CE
		16 inputs	24 VDC, 7 mA	16 points, 1 common	Removable terminal block	1 word	0.08	–	CJ1W-ID211	
		16 inputs (High speed)	24 VDC, 7 mA	16 points, 1 common	Removable terminal block	1 word	0.13	–	CJ1W-ID212	N, L, CE
		32 inputs	24 VDC, 4.1 mA	16 points, 1 common	Fujitsu connector	2 words	0.09	–	CJ1W-ID231	UC1, N, L, CE
		32 inputs	24 VDC, 4.1 mA	16 points, 1 common	MIL connector	2 words	0.09	–	CJ1W-ID232	
		32 inputs (High speed)	24 VDC, 4.1 mA	16 points, 1 common	MIL connector	2 words	0.20	–	CJ1W-ID233	N, L, CE
		64 inputs	24 VDC, 4.1 mA	16 points, 1 common	Fujitsu connector	4 words	0.09	–	CJ1W-ID261	UC1, N, L, CE
	64 inputs	24 VDC, 4.1 mA	16 points, 1 common	MIL connector	4 words	0.09	–	CJ1W-ID262		
	AC Input Units	8 inputs	200 to 24 VAC, 10 mA (200 V, 50 Hz)	8 points, 1 common	Removable Terminal Block	1 words	0.08	–	CJ1W-IA201	UC1, N, L, CE
		16 inputs	100 to 120 VAC, 7 mA (100 V, 50 Hz)	16 points, 1 common	Removable Terminal Block	1 words	0.09	–	CJ1W-IA111	

CJ1W-ID211 DC Input Unit (24 VDC, 16 Points)

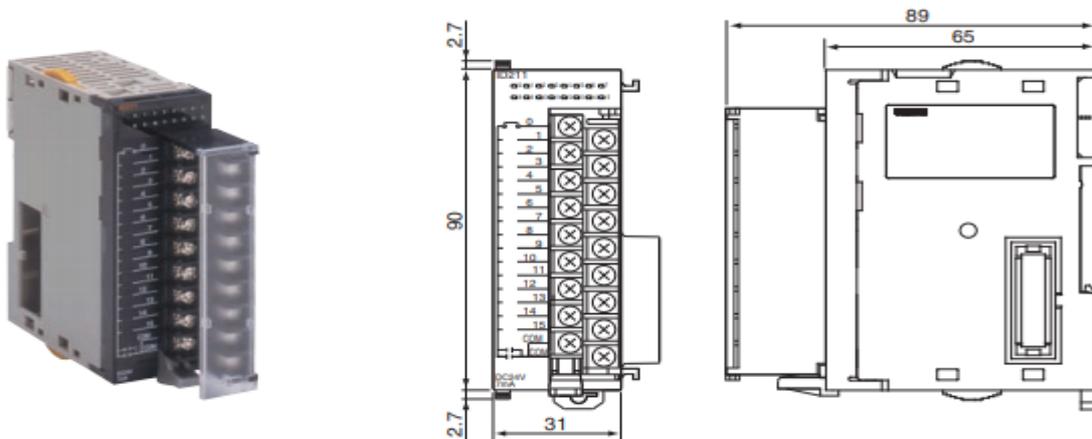
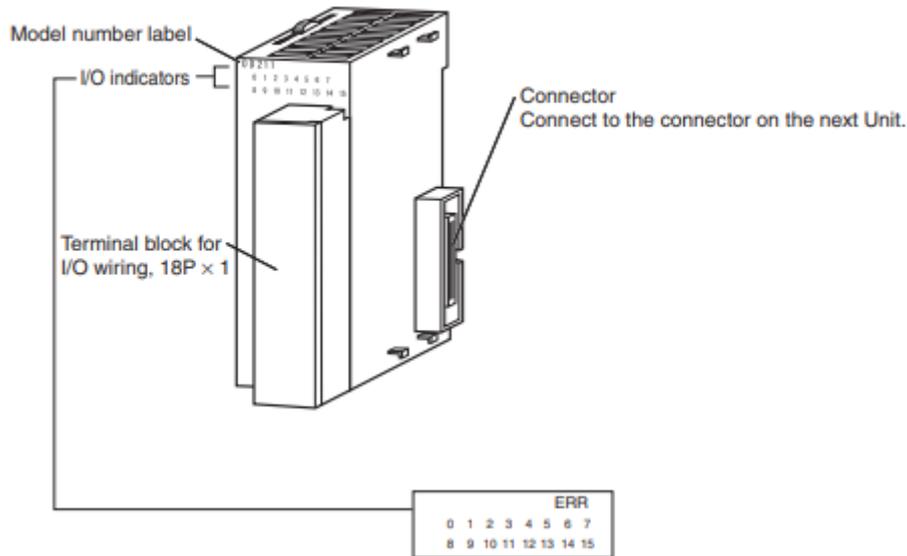
Name	16-point DC Input Unit with Terminal Block
Model	CJ1W-ID211
Rated Input Voltage	24 VDC
Rated Input Voltage Range	20.4 to 26.4 VDC
Input Impedance	3.3 k Ω
Input Current	7 mA typical (at 24 VDC)
ON Voltage/ON Current	14.4 VDC min./3 mA min.
OFF Voltage/OFF Current	5 VDC max./1 mA max.
ON Response Time	8.0 ms max. (Can be set to between 0 and 32 ms in the Setup.) *1
OFF Response Time	8.0 ms max. (Can be set to between 0 and 32 ms in the Setup.) *1
Number of Circuits	16 (16 points/common, 1 circuit)
Number of Simultaneously ON Points	100% simultaneously ON (at 24 VDC) (Refer to the following illustration.)
Insulation Resistance	20 M Ω min. between external terminals and the GR terminal (100 VDC)
Dielectric Strength	1,000 VAC between the external terminals and the GR terminal for 1 minute at a leakage current of 10 mA max.
Internal Current Consumption	80 mA max.
Weight	110 g max.





External Interface

8-point/16-point Units (18-point Terminal Blocks)

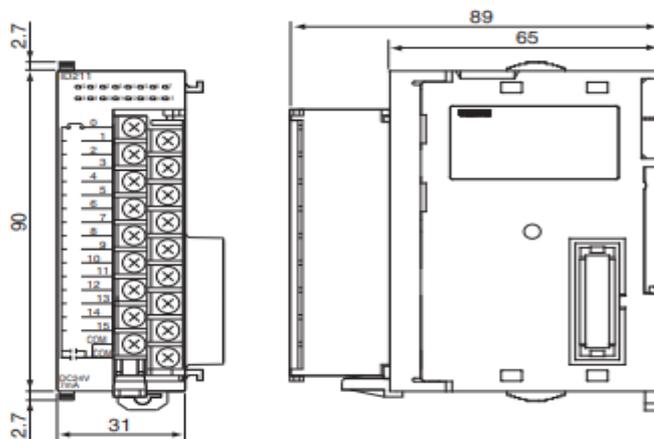
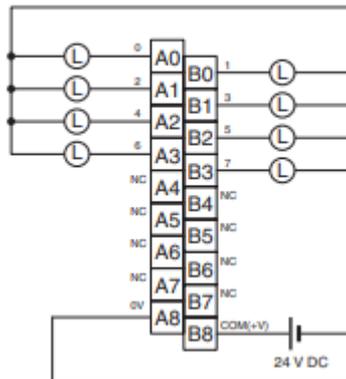


5. Salidas digitales. Omron CJ1W-OD212.

CJ1W-OD212 Transistor Output Unit (Terminal Block, 16 Points, Sourcing)

Rated Voltage	24 V DC
Operating Load Voltage Range	20.4 to 26.4 V DC
Maximum Load Current	0.5 A/point, 5.0 A/Unit
Maximum Inrush Current	0.1 mA max.
Leakage Current	1.5 V max.
ON Response Time	0.5 ms max.
OFF Response Time	1.0 ms max.
Load Short-circuit Prevention	Detection current: 0.7 to 2.5 A Automatic restart after error clearance. (Refer to page 590.)
Insulation Resistance	20 M Ω between the external terminals and the GR terminal (100 V DC)
Dielectric Strength	1,000 V AC between the external terminals and the GR terminal for 1 minute at a leakage current of 10 mA max.
Number of Circuits	16 (16 points/common, 1 circuits)
Internal Current Consumption	5 V DC, 100 mA max.
External Power Supply	20.4 to 26.4 V DC, 40 mA min.
Weight	120 g max.

Terminal Connections

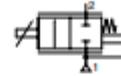


6. Electroválvula. Preciflow de Asco Numatics.

ASCO™

PROPORTIONAL SOLENOID VALVE PRECIFLOW 19 mm CARTRIDGE direct operated 1/8, pad-mount or inline version

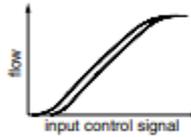
NC



2/2
Series
202

FEATURES

- Variable flow, proportional to the applied current
- Valves do not require a minimum operating pressure
- 2/2 NC function: fluid entry under the disc
- Suitable for the control of air and inert gases
- The solenoid valves satisfy all relevant EC directives



GENERAL

Differential pressure See «SPECIFICATIONS» [1 bar =100 kPa]
Max. overload pressure 15 bar
Maximum viscosity 50 cSt (mm²/s)

fluids (*)	temperature range (TS)	seal materials (*)
air, inert gas ⁽¹⁾	+10°C to +50°C	FPM (fluoroelastomer)

⁽¹⁾ Filtration: 5 µm



MATERIALS IN CONTACT WITH FLUID

(*) Ensure that the compatibility of the fluids in contact with the materials is verified

Body	Stainless steel
Subbases	POM (pad-mount version) Brass (inline version)
Core and plugnut	Stainless steel
Springs	Stainless steel
Seat	Stainless steel
Seals	FPM (EPDM and FFPM on request)
Disc	FPM (EPDM and FFPM on request)
Solenoid body	PPS

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

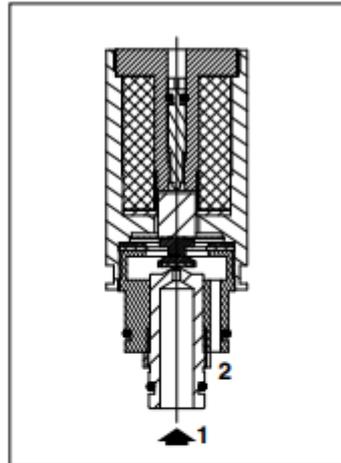
Coil insulation class F
Connection Cable leads (PTFE); 0,23 m length (AWG 24)
Electrical safety IEC 335
Electrical enclosure protection IP50 (EN 60529)
Standard voltages DC (-) : 6V - 12V - 24V
 (other voltages on request)

prefix option	voltage (V) =	current consumption (mA)	power ratings				operator ambient temperature range (TS) (C°)	type ⁽¹⁾
			inrush (VA)	holding (VA)	hot/cold (W)	(W)		
L	6	max. 90	-	-	-	0,5	0 to +50	01
		max. 420				2,5		
	12	max. 45				0,5		
		max. 210				2,5		
	24	max. 25				0,5		
		max. 110				2,5		

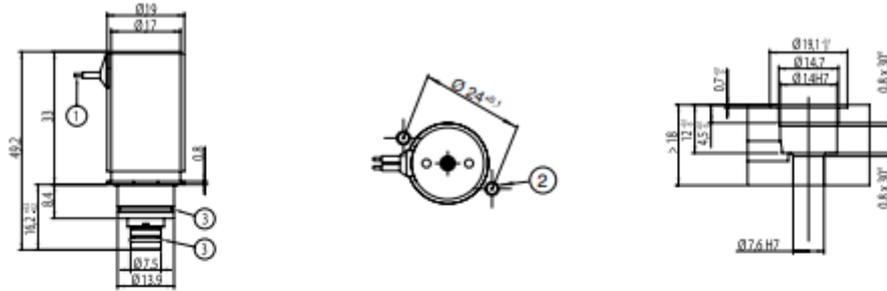
⁽¹⁾ Refer to the dimensional drawings on the following page.

Voltage regulation 0 - 6 V DC, 0 - 12 V DC, 0 - 24 V DC
 6 V, 12 V and 24 V DC pulse-width modulated (min. 2000 Hz)

Flow regulation characteristics Hysteresis < 5%; Repeatability 1%; Sensitivity < 1%

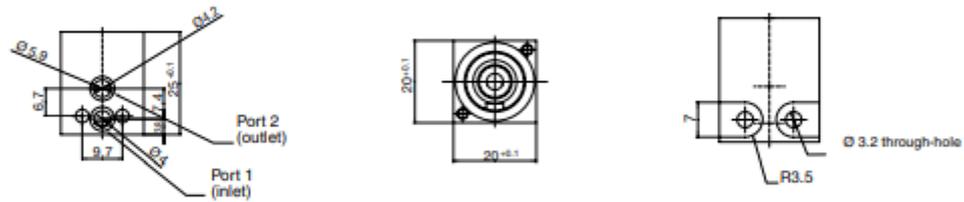


Preciflow 19 mm cartridge



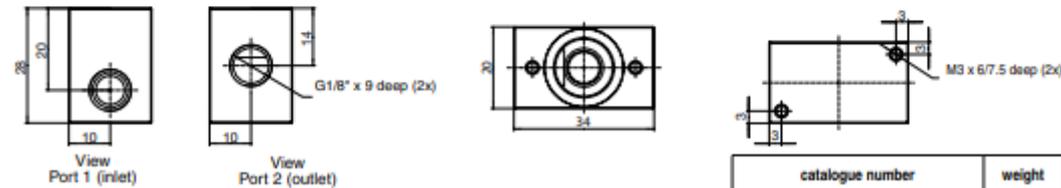
Pad-mount subbase 833-943762

POM (supplied with 2 screws M3x20 and O-rings)



Inline subbase 833-943675

Brass



- ① 2 electrical supply wires, length: 0,23 m
- ② Mounting: 2 screws M3 x 6 mm + washers
- ③ O-ring

catalogue number	weight
LS202A517/518/519/520/521/522	0,063 ⁽¹⁾
833-943675	0,120
833-943762	0,010

⁽¹⁾ Including leads, length 0,23 m

01/09/2025, 20:13:02
Availability, design and specifications are subject to change without notice. All rights reserved.

7. Sensor Carbónico. Centec Carbotec.

Technical Data <i>Technische Daten</i>		
Measuring Range	<i>Messbereich</i>	0 - 10 g/l
Accuracy	<i>Genauigkeit</i>	± 0,05 g/l
Repeatability	<i>Reproduzierbarkeit</i>	± 0,01 g/l
Response Time	<i>Ansprechzeit</i>	≤ 20 s
Pressure of Operation	<i>Betriebsdruck</i>	max. 10 bar
Temperature of Operation	<i>Betriebstemperatur</i>	- 10 - + 100 °C (Pt100)
Material	<i>Material</i>	1.4404/AISI 316L, EPDM (FDA), PTFE (FDA)
Input	<i>Eingang</i>	6 x digital (24 VDC)
Output	<i>Ausgang</i>	3 x digital (24 VDC) & 2 x analog (4 - 20 mA)
Profibus DP	<i>Profibus DP</i>	option
Enclosure Rating	<i>Schutzart</i>	IP65
Power Supply	<i>Spannungsversorgung</i>	24 VDC