

# PROYECTO DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN. ESTACIÓN PARA LLENADO Y TRANSPORTE DE LÍQUIDO.

## 1. RESUMEN

Con el objetivo de cubrir las etapas en el diseño e implementación de la programación en proyectos de automatización basados fundamentalmente en controladores del tipo de autómatas programables industriales, se presenta el ejemplo para la mezcla y transporte de líquido.

Inicialmente se presenta el proceso a automatizar, con sus componentes y especificaciones fundamentales.

Las siguientes fases en el desarrollo del proyecto van encaminadas al diseño y realización del programa de control. Se utiliza una aplicación para la simulación del proceso (PROSIMAX), otra que permite la realización del diseño basado en Grafset y su depuración (MEDISS con Visgraf) y una tercera que permite la simulación del programa de control completo para el autómatas programable utilizado, Simatic S5 (WINSS-5).

En la figura 1 se muestra donde se sitúan las citadas aplicaciones desarrolladas por el grupo GENIA (Entornos Integrados de Automatización) del Área de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad de Oviedo:

- PROSIMAX: simulador de procesos industriales.
- MEDISS: diseño de automatismos basados en Grafset.
- WINSS-5: simulador STEP-5 (Simatic S5).
- SCALIBUR: software SCADA para supervisión de procesos (en fase de depuración).

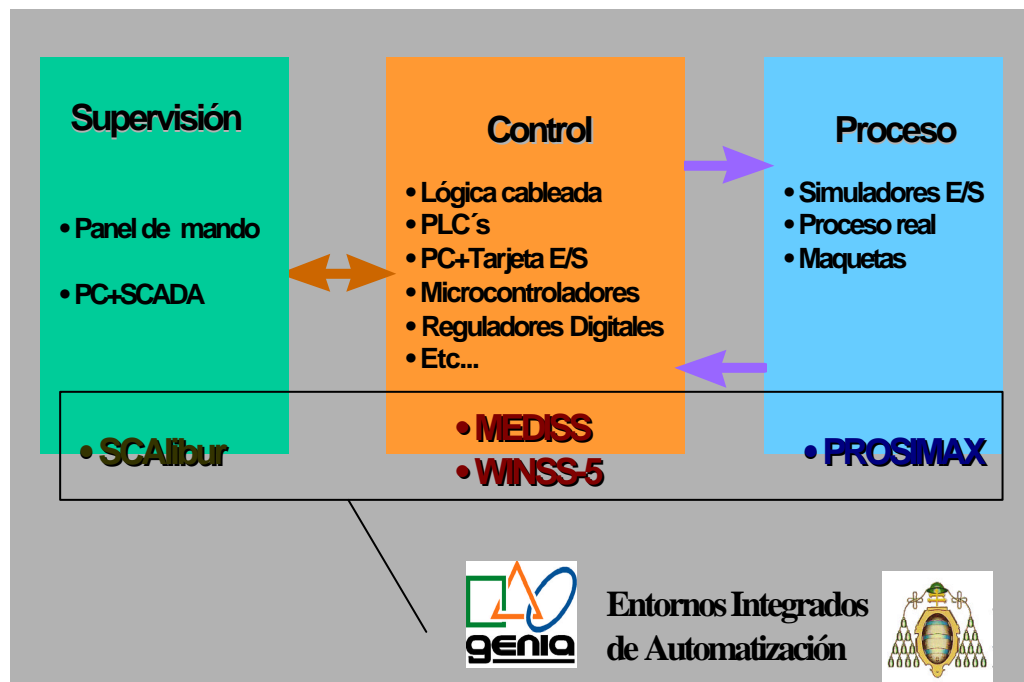


Fig. 1. Laboratorio de Automatización

## 2. ESTRUCTURA DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO

Todo sistema automatizado comprende dos partes:

- Una Parte Operativa (P.O.) cuyos accionadores actúan sobre el sistema automatizado.
- Una Parte de Mando (P.M.) que coordina las acciones de la Parte de Operativa.

La figura 2 esquematiza la organización de la Parte de Mando respecto a la Parte operativa.

La Parte Operativa es la que opera sobre la máquina y el producto. En general comprende:

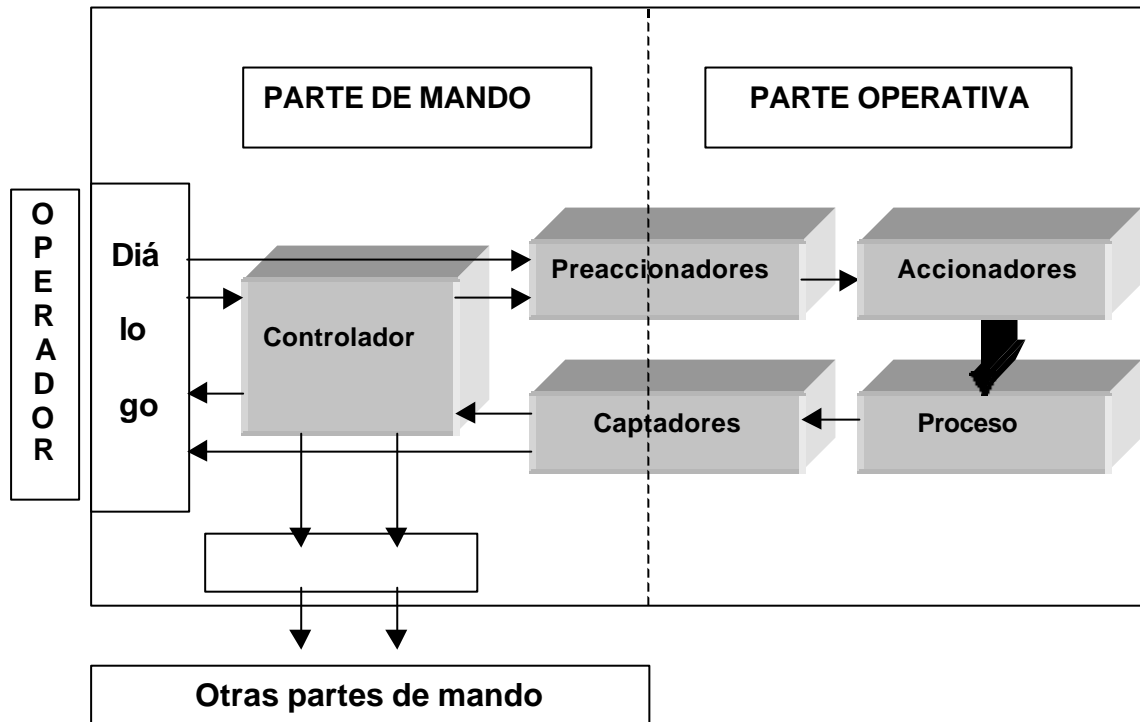


Fig. 2. Esquema funcional de un sistema automatizado

- Los útiles y medios diversos que se aplican en el proceso de elaboración, por ejemplo moldes, útiles de estampar, herramientas de corte, bombas, etc.
- Los accionadores destinados a mover el proceso automatizado, por ejemplo:
  - Motor eléctrico para accionar una bomba.
  - Cilindro hidráulico para cerrar un molde.
  - Cilindro neumático para mover una cabeza de marcado.

La Parte de Mando es la que emite las órdenes hacia la Parte Operativa y recibe las señales de retorno para coordinar sus acciones. En el centro de la Parte de Mando está el "controlador" que coordina la información que a él converge:



### *Interface con la máquina.*

Mandos de los accionadores (motores, cilindros) a través de los preaccionadores (contactores, distribuidores, variadores, ...), adquisición de las señales de retorno por los captadores que informan de la evolución de la máquina.

### *Relación hombre-máquina.*

Para utilizar, ajustar, reparar la máquina, el personal emite consignas y recibe informaciones en retorno.

### *Conexión con otras máquinas.*

Varias máquinas pueden cooperar en una misma producción. Su coordinación está garantizada por el diálogo entre sus Partes de Mando.

## **3. DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS A UTILIZAR**

### **PROSIMAX: Simulador de Proceso Industriales.**

PROSIMAX permite diseñar y simular el proceso en conexión directa con el equipo de control.

#### COMPONENTES:

- Módulo de Edición: permite seleccionar, configurar y conectar los objetos de la planta.
- Módulo de Dibujo: permite diseñar la parte estática de la planta.
- Módulo de Simulación: selecciona el interfase de comunicación y arranque de la simulación. Los objetos generan las salidas adecuadas y responden a las entradas de forma automática.

#### OTRAS CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS:

- Más flexible y barato que las convencionales maquetas.
- Mayor rapidez y fiabilidad en el desarrollo de proyectos de automatización: fácil detección de errores y programación robusta.
- Seguimiento visual e inmediato de la evolución del proceso automatizado.
- No precisa periferia de E/S en el equipo de control.
- Entornos: Windows 3.1, Windows Trabajo en Grupo, Windows 95, Red Novell, Red punto a punto.

### **MEDISS: Diseño de Automatismos Secuenciales (Grafcet).**

MEDISS ofrece una herramienta de diseño de automatismos basada en Grafcet, flexible y de sencillo manejo.

#### COMPONENTES:

- Módulo Mediss: permite construir el grafcet con las estructuras disponibles y obtener las ecuaciones booleanas del sistema y el programa de control de modo automático.
- Módulo Comgraf: estructura y transfiere el código generado al equipo de control de forma inmediata.



- Módulo Visgraf: visualiza el estado de las variables de proceso y la evolución del mismo a nivel de Gracef.

#### OTRAS CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS:

- Dispone de funciones para la documentación del proyecto desarrollado.
- Opcionalmente incorpora un módulo de control digital directo, mediante una tarjeta de E/S, convirtiendo su PC en un equipo de control guiado por el Grafcet diseñado.
- El módulo Comgraf presenta las características de un editor de textos estándar para la escritura de programas STEP5 en lista de instrucciones y permitiendo la corrección de errores y la transferencia al autómeta.
- Entornos: Windows 3.1, Windows Trabajo en Grupo, Windows 95, Red Novell, Red punto a punto.

#### **WINSS-5: Simulador de STEP-5 bajo entorno Windows.**

WINSS-5 es un programa para entorno Windows que permite la edición y la simulación de programas STEP-5 en lista de instrucciones para los autómetas programables Simatic S5. Constituye un entorno integrado para la depuración y prueba de programas de control y posterior transferencia al PLC (en preparación).

#### COMPONENTES:

- Ventana de edición en modo texto del programa STEP-5.
- Selección de módulos de entrada y salida con los que configurar el autómeta en pantalla.
- Ventana de observadores en el formato deseado para E/S, marcas, temporizadores, contadores, etc.
- Ventana de registros internos del autómeta.
- Distintos modos de operación: continua, ciclo a ciclo y paso a paso.
- Editor de símbolos.

## 4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN

Se pretende realizar un automatismo que permita efectuar el llenado y transporte de cierto líquido formado por la mezcla de dos componentes A y B. Para ello se dispone de una instalación tal como la representada en la figura 3.

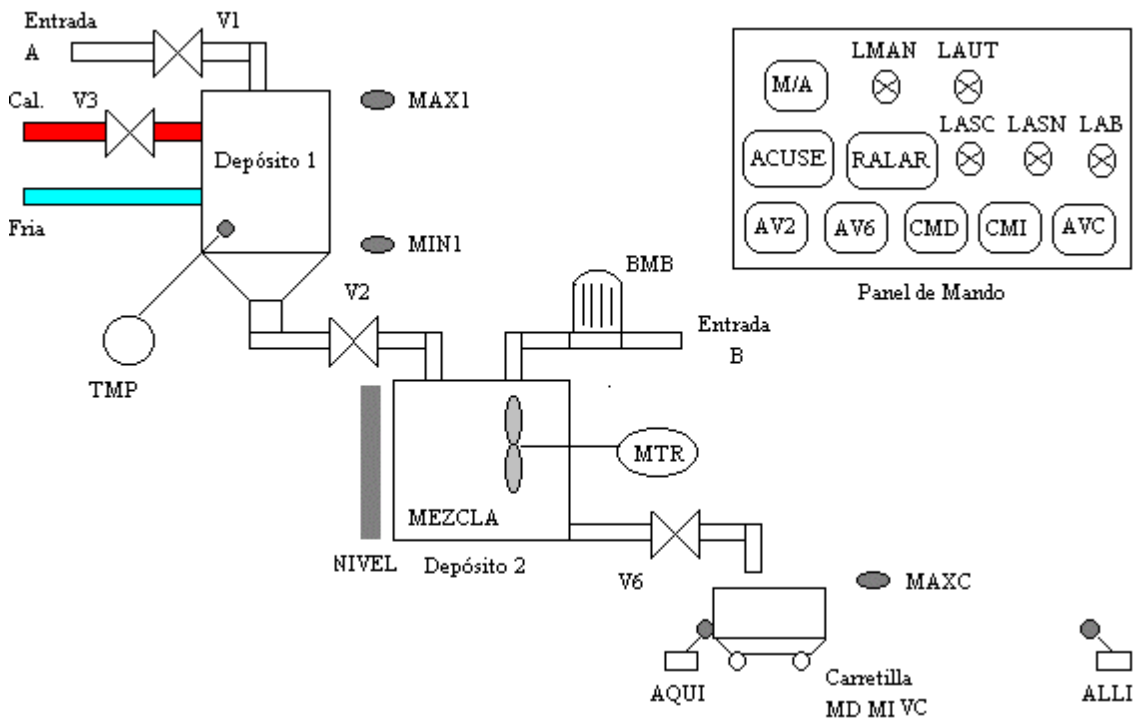


Fig. 3. Esquema de proceso

## 5. COMPONENTES

- Se dispone de dos depósitos:
  - El primero de ellos lleva asociado tres sensores, dos de ellos capacitivos, uno de nivel mínimo (normalmente cerrado) y otro de nivel máximo, y un tercero de temperatura de tipo termostato. Asimismo consta de tres electroválvulas monoestables: V1 permite realizar el llenado, V3 introduce el vapor de calentamiento y V2 permite el vaciado hacia el segundo depósito.
  - El segundo incorpora un sensor de nivel capacitivo cuyo transmisor envía una señal analógica entre 0 y 10 V proporcional al volumen contenido en el depósito (0-1000 litros). La aportación de líquido A se realiza a través de la válvula V2 y del líquido B por medio de una bomba accionada por un motor eléctrico con dos señales de retorno (contactor y defecto). La descarga de la mezcla hacia la carretilla se efectúa mediante la electroválvula monoestable V6. Asimismo el depósito dispone de un agitador motorizado.
- Una carretilla de transporte de líquido que incorpora un sensor capacitivo para detectar el nivel máximo. Para desplazar la carretilla se dispone de un motor eléctrico con



inversión de giro controlado a través de las señales MI (Mover Izquierda) y MD (Mover Derecha). Además existen dos finales de carrera electromecánicos (AQUI y ALLI) que marcarán las posiciones de carga y descarga respectivamente de la carretilla. El vaciado de la carretilla se realiza mediante la electroválvula monoestable VC.

- El panel de mando, formado por:
  - Los pulsadores M/A, ACUSE, RESET ALARMA, AV6, AV2, CMD, CMI y AVC.
  - Las lámparas LMAN, LAUT, LASC, LASN, LAB, para la supervisión del sistema.

## 6. FUNCIONAMIENTO

### 6.1. ACONDICIONAMIENTO DEL LÍQUIDO A

En funcionamiento automático, el ciclo comienza con el llenado del depósito 1 por el componente A que antes de ser utilizado debe alcanzar una determinada temperatura. Los pasos son:

1. Con el sensor de nivel mínimo (MIN1) activo y las válvulas de salida del depósito 1 (V2) y de entrada de vapor (V3) cerradas, se abre V1 para permitir la entrada del líquido A.
2. Cuando se alcance el nivel máximo (MAX1) debe cerrarse V1.
3. Comienza entonces la etapa de calentamiento con vapor, en la que se abre la válvula V3. Cuando la temperatura alcanza el valor marcado en el termostato se produce una señal digital (TMP) que debe cortar la entrada de vapor, iniciándose el proceso de vaciado y mezcla sobre el depósito 2.

### 6.2. MEZCLA DE A y B

En modo automático, mientras exista líquido en el depósito 1, y el depósito 2 contenga menos de 50 litros se produce la mezcla de ambos componentes A y B según el siguiente proceso:

1. Se abre la válvula V2 de modo que el líquido A alcance 400 litros de nivel en el depósito 2, cerrando entonces dicha válvula. Si durante esta fase, no hay suficiente líquido A, debe activarse el ciclo de acondicionamiento de A. El motor de mezcla (MTR) debe accionarse desde el comienzo de la operación de mezcla.
2. A continuación se acciona la bomba (BMB) permitiendo que el líquido B consiga llenar el depósito 2 hasta 900 litros.
3. Durante 50 segundos más debe estar funcionando el motor de mezcla (MTR) dejando el líquido en condiciones de ser transportado.

### 6.3. TRANSPORTE DEL PRODUCTO FINAL

El vaciado del depósito 2 una vez realizada la mezcla se efectúa sobre la carretilla y a través de la válvula V6. La carretilla evoluciona entre los puntos AQUÍ, donde se carga, y ALLÍ donde se descarga. Los movimientos a derecha (MD) e izquierda (MI), y la operación de descarga (VC), que dura 20 segundos, deben ser activados automáticamente. Para indicar el llenado de la carretilla se dispone de un sensor de nivel máximo, MAXC.

### 6.4. PASO MODO MANUAL/AUTOMÁTICO

El paso de modo de funcionamiento manual a automático y su funcionamiento depende de que se cumplan las condiciones iniciales (sistema en modo manual, depósitos 1 y 2 vacíos y carretilla AQUÍ). La única forma de proceder a dicho paso es a través del pulsador M/A; si se pulsa pasa a automático, posteriormente a manual y así sucesivamente.

El paso de automático a manual se puede realizar con el pulsador M/A o porque se produzca alguna alarma.

### 6.5. GESTIÓN DE ALARMAS

Las situaciones en las que se debe producir una alarma en el sistema son:

- **SOBRECALENTAMIENTO.** Si estando en la fase de calentamiento del depósito 1 se detecta que el termostato (TMP) no responde antes de 100 segundos. El sistema debe pasar a manual cerrando V3 y encendiendo la lámpara LASC con frecuencia de 2 Hz.
- **SOBRENIVEL.** Si durante la fase de llenado del depósito 2, el nivel supera 950 litros, el sistema debe pasar a modo manual cerrando las entradas de líquido e iluminando la lámpara LASN con frecuencia 2 Hz.
- **DEFECTO EN LA BOMBA.** Debido a que no se reciba la señal de retorno del contactor cuando está activado o porque se produzca un defecto de funcionamiento. La lámpara LAB debe lucir con frecuencia 2 Hz.

Cuando se produce una alarma el operador puede actuar sobre el pulsador ACUSE para confirmar las alarmas, quedando la lámpara correspondiente encendida. Solucionado el problema el operador actúa sobre el pulsador de RESET ALARMA para apagar las lámparas de alarma.

### 6.6. PANEL DE MANDO

Está formado por los siguientes componentes:

1. El pulsador M/A y dos lámparas LAUT y LMAN que se iluminan cuando el sistema está en modo automático o manual respectivamente.
2. Los pulsadores de ACUSE y RESET ALARM y las lámparas LASC, LASN y LAB.

3. Los pulsadores para comandar el funcionamiento de la instalación en modo manual AV2, AV6, CMD, CMI y AVC para comandar el accionamiento de V2, V6, MD, MI y VC respectivamente. Estos pulsadores quedan sin efecto cuando el sistema está en modo automático.

## 7. SELECCIÓN DEL AUTÓMATA PROGRAMABLE

FUNCIONES	SENSORES	PRE-ACCIONADORES	AUTÓMATA PROGRAMABLE INTERFACES
PASO MODO MANUAL/AUTOMÁTICO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 pulsador: M/A.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 pilotos: LAUT y LMAN.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 entrada 24 Vcc.</li> <li>• 2 salidas 24 Vcc 0,5 A</li> </ul>
ACONDICIONAMIENTO DEL LÍQUIDO A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 sensores de nivel capacitivos: MIN1 y MAX1.</li> <li>• 1 sensor de temperatura (termostato): TMP.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 electroválvulas monoestables: V1 y V3.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 entradas 24 Vcc.</li> <li>• 2 salidas 24 Vcc 0,5 A</li> </ul>
MEZCLA DE A y B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 sensor de nivel capacitivo analógico: NIVEL.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 electroválvula monoestable: V2.</li> <li>• 2 contactores: MTR y BMB.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 entrada analógica de 0-10 V.</li> <li>• 3 salidas 24 Vcc 0,5 A</li> </ul>
TRANSPORTE DEL PRODUCTO FINAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 sensores fin de carrera electromecánicos: AQUÍ y ALLÍ.</li> <li>• 1 detector de nivel máximo en la carretilla: MAXC.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 electroválvulas monoestables: V6 y VC.</li> <li>• 2 contactores para movimiento a derecha e izquierda: MD y MI.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 entradas 24 Vcc.</li> <li>• 4 salidas 24 Vcc 0,5 A</li> </ul>
MODO MANUAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5 pulsadores: AV2, AV6, CMD, CMI y AVC.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5 entradas 24 Vcc.</li> </ul>
SOBRECALENTAMIENTO		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 piloto: LASC.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 salida 24 Vcc 0,5 A.</li> </ul>
SOBRENIVEL		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 piloto: LASN.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 salida 24 Vcc 0,5 A.</li> </ul>
DEFECTO DE LA BOMBA		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 piloto: LAB.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 entradas para detección de defectos: ABMB y DB.</li> <li>• 1 salida 24 Vcc 0,5 A.</li> </ul>
ACUSE Y RESETEADO DE ALARMAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 pulsadores: ACUSE y RALAR.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 entradas 24 Vcc.</li> </ul>
COMUNICACIONES			<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 puerto de comunicación serie entre PLC y PC.</li> </ul>

Tabla 1



## 7.1. CONFIGURACIÓN DEL PLC NECESARIO

De la columna “AUTÓMATA PROGRAMABLE INTERFACES” de la tabla 1, resulta la configuración del PLC siguiente:

Entradas, salidas y puertos de comunicaciones necesarios:

- 16 entradas digitales de 24 Vcc.
- 1 entrada analógica de 0-10 V.
- 14 salidas digitales de 24 Vcc, 0,5 A.
- 1 puerto de comunicaciones serie asíncrono.

Si se toman como referencia los autómatas programables de la serie SIMATIC S5 de SIEMENS, y en concreto el S5-95U que dispone al menos de la siguiente periferia integrada:

- 16 entradas digitales, 24 Vcc
- 16 salidas digitales, 24 Vcc 0,5 A
- 8 entradas analógicas, 0-10 V
- 1 salida analógica, 0-10 V ó 0-20 mA
- 1 puerto de comunicación serie para programación y entrada/salida de datos

Podemos comprobar que este equipo cumple perfectamente las especificaciones impuestas por el sistema de control a implementar.

En la figura 4 se representan las entradas y salidas al autómata SIMATIC S5-95U elegido, así como el direccionamiento.

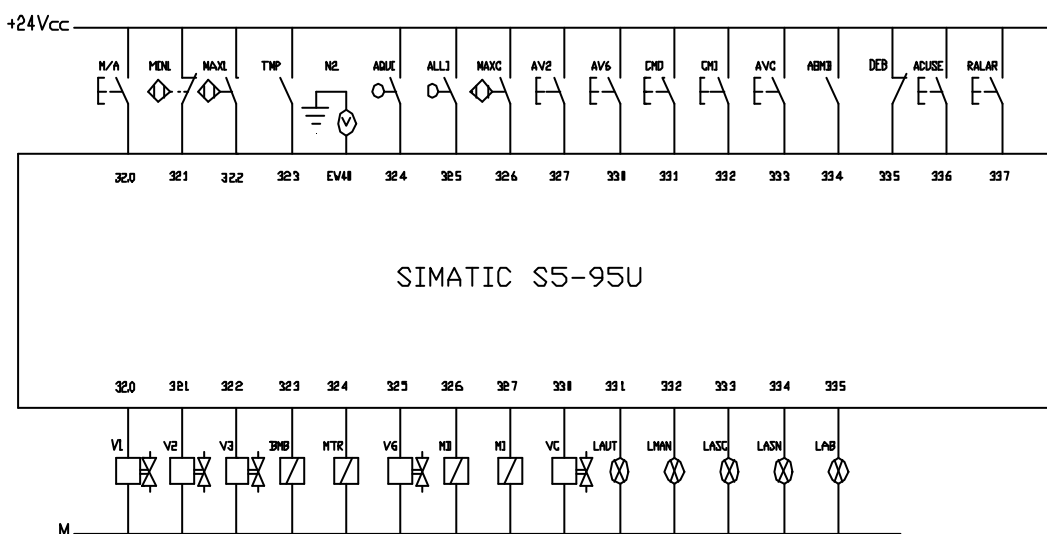


Fig. 4. Esquema de conexiones al PLC

## 8. ESTRUCTURAS DE PROGRAMACIÓN

En los autómatas programables SIMATIC S5 un programa de mando puede ser lineal o estructurado.

### 8.1. PROGRAMACIÓN LINEAL

Para procesar tareas simples de automatización basta con programar las diferentes instrucciones en el módulo de organización OB1. Este módulo se procesa cíclicamente.

### 8.2. PROGRAMACIÓN ESTRUCTURADA

Es aquella que divide la tarea a programar en módulos, que corresponden a tratamientos parciales, y que son llamados durante el escrutinio desde el programa raíz OB1. En la tabla 2 se muestran los diferentes tipos de módulos, así como las características de cada uno de ellos, para el SIMATIC S5-95U elegido para la realización del automatismo.

Módulo	OB	PB	FB	SB	DB
<b>Cantidad</b>	256 OB 0 ..... 255	256 PB 0 ..... 255	256 FB 0 ..... 255	256 SB 0 ..... 255	256 DB 0 ..... 255
<b>Longitud</b>	8 Kbytes	8 Kbytes	8 Kbytes	8 Kbytes	8 Kbytes
<b>Juego de Operaciones</b>	Operaciones básicas	Operaciones básicas	Operaciones básicas, complementarias y de sistema	Operaciones básicas	Configuraciones binarias, números, textos
<b>Formas de Representación</b>	AWL, FUP, KOP	AWL, FUP, KOP	AWL	AWL, FUP, KOP	

Tabla 2

## 9. EL GRAFCET

El GRAFCET (gráfico de mando etapa transición) es un diagrama funcional, es decir una representación gráfica de las secuencias a efectuar por el controlador.

Para la representación de las secuencias de control mediante el GRAFCET se parte de la base de considerar el sistema descompuesto en una parte operativa y en una parte de mando, que se relacionan entre sí mediante órdenes e informaciones.

El GRAFCET se compone de:

- ETAPAS o ESTADOS a las que van asociadas ACCIONES.

- TRANSICIONES a las que van asociadas RECEPTIVIDADES.
- UNIONES ORIENTADAS que unen las ETAPAS a las RECEPTIVIDADES y las TRANSICIONES a las ETAPAS.

### 9.1. REGLAS DE MATERIALIZACIÓN DEL GRACET MEDIANTE LA ASOCIACIÓN ETAPA-BÁSCULA

- A cada ETAPA va asociada una báscula. Si la ETAPA  $n$  está activa, la salida de la báscula asociada  $X_n$  es uno, mientras que si está inactiva,  $X_n$  es cero.

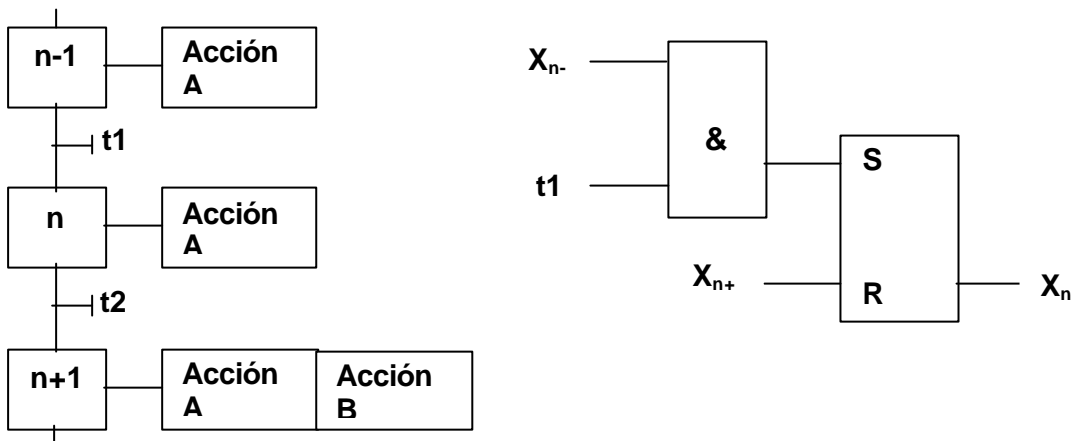


Figura 5. Activación y desactivación de una etapa

- La puesta a uno de  $X_n$  está asegurada por la ecuación lógica  $S_n = X_{n-1} * t_1$  donde  $t_1$  es la receptividad asociada a la TRANSICIÓN de la ETAPA (n-1) a la n, figura 5.
- La puesta a cero de  $X_n$  por la ecuación  $R_n = X_{n+1}$ , figura 5.
- La salida **A** (acción a realizar) será materializada mediante suma lógica de las salidas  $X_i$  de la báscula correspondiente a las ETAPAS en las que **A** es activa, figura 6.

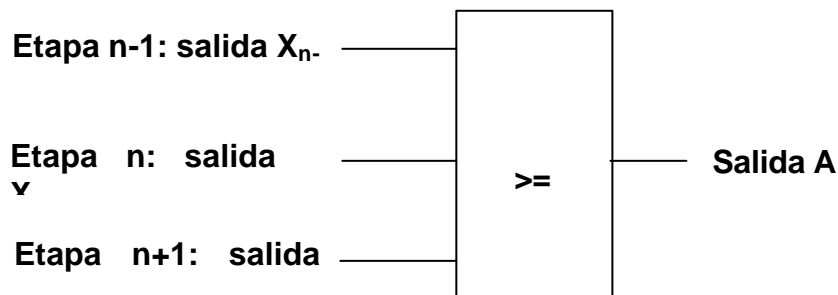


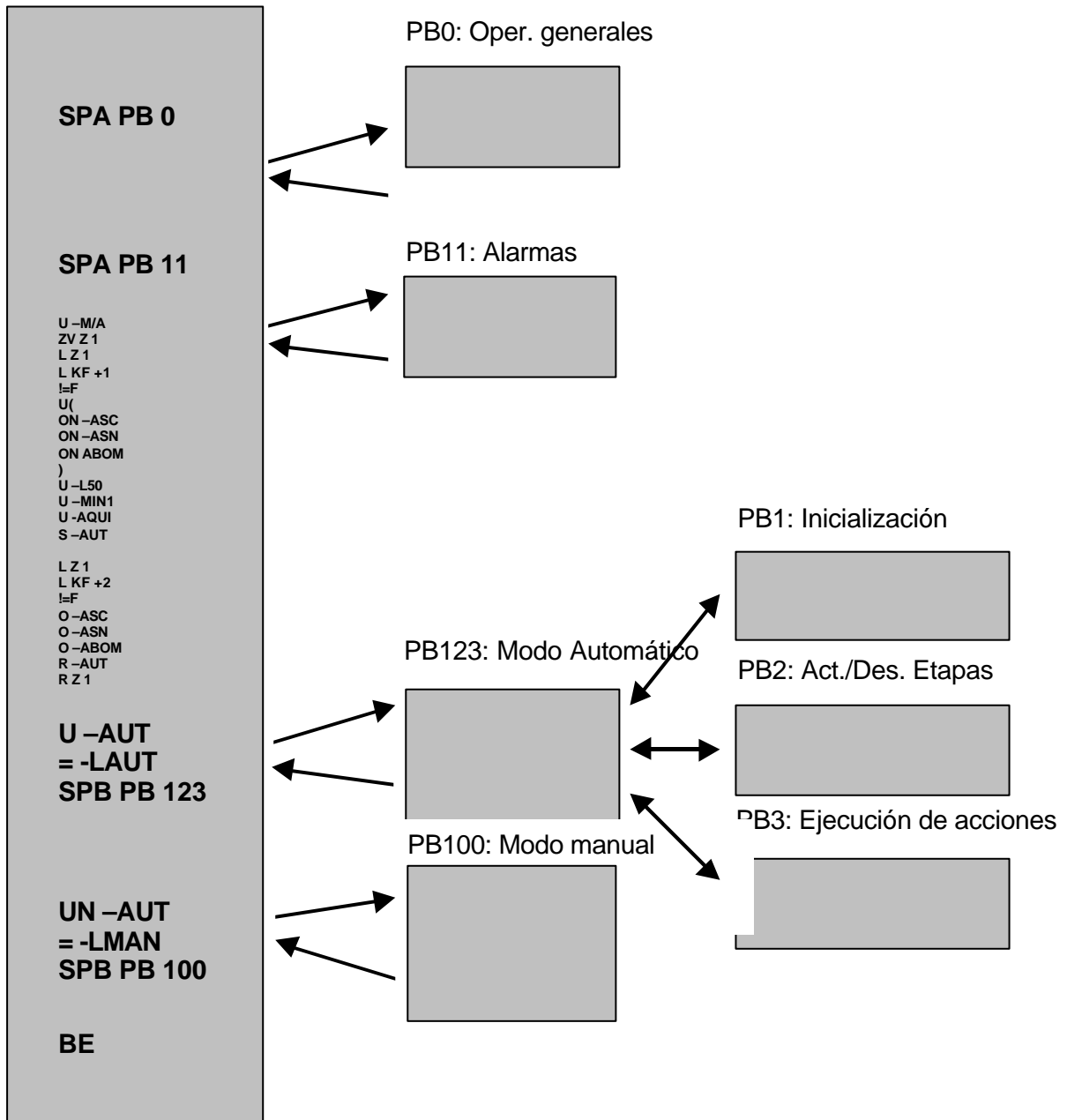
Figura 6. Activación de la salida A

# PROGRAMA DE CONTROL

## ESQUEMA DE MÓDULOS

Como STEP-5 admite programación estructurada, se organiza el programa según el siguiente esquema de llamadas de la figura .

OB1:Módulo



Esquema de módulos



Normalmente el desarrollo del programa de control y la depuración del mismo suelen realizarse íntegramente en el entorno de programación suministrado por el fabricante del autómeta. En este caso el software de programación STEP 5 de Siemens.

Sin embargo MEDISS y WINSS-5 aportan posibilidades para la realización y prueba del programa de control diseñado, incluso sin necesidad de disponer del equipo de control.

## **10.2. MEDISS: DISEÑO DE LA PARTE SECUENCIAL**

La aplicación MEDISS se utiliza en este caso para generar el programa de control para la parte secuencial del automatismo (modo de funcionamiento automático de la instalación). El punto de partida es el grafcet que se muestra en la figura 8.

De esta forma se pasa de una programación convencional a bajo nivel a una programación gráfica y fácil de mantener, lo que conlleva un ahorro considerable en los tiempos de desarrollo y depuración.

En la figura 9 se muestra la pantalla de MEDISS con el grafcet anterior y en una ventana auxiliar la información obtenida automáticamente a partir del mismo (en concreto el programa de control para Simatic S5). Opcionalmente se pueden visualizar las ecuaciones para las etapas y las acciones a ejecutar, así como el direccionamiento de entradas y salidas, que es configurable.

El resto del programa de control no se realiza en Grafcet puesto que no tiene un claro carácter secuencial.

En este caso hay que completar el programa de control con las instrucciones para el funcionamiento en modo manual, la gestión de alarmas y algunas funciones generales (lectura de variable analógica y comparación de valores, temporizadores para generar frecuencias, etc.). Para ello se puede utilizar el simulador de los autómetas Simatic S5, denominado WINSS-S5.

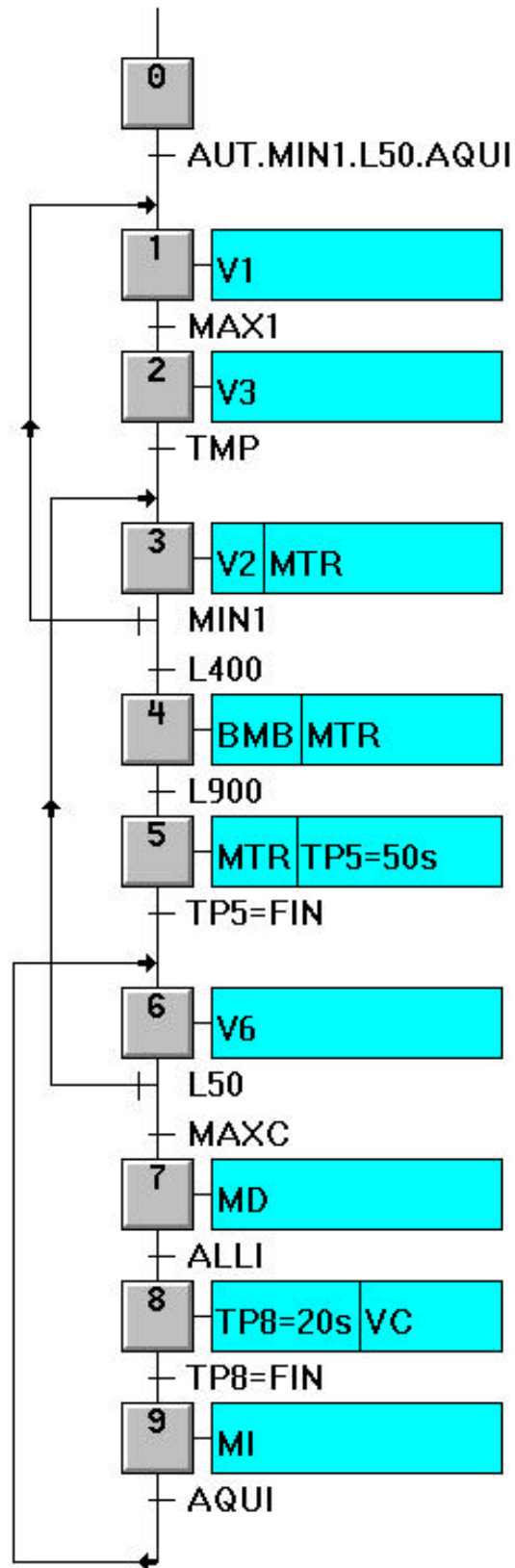


Fig. 8. Grafcet del modo automático

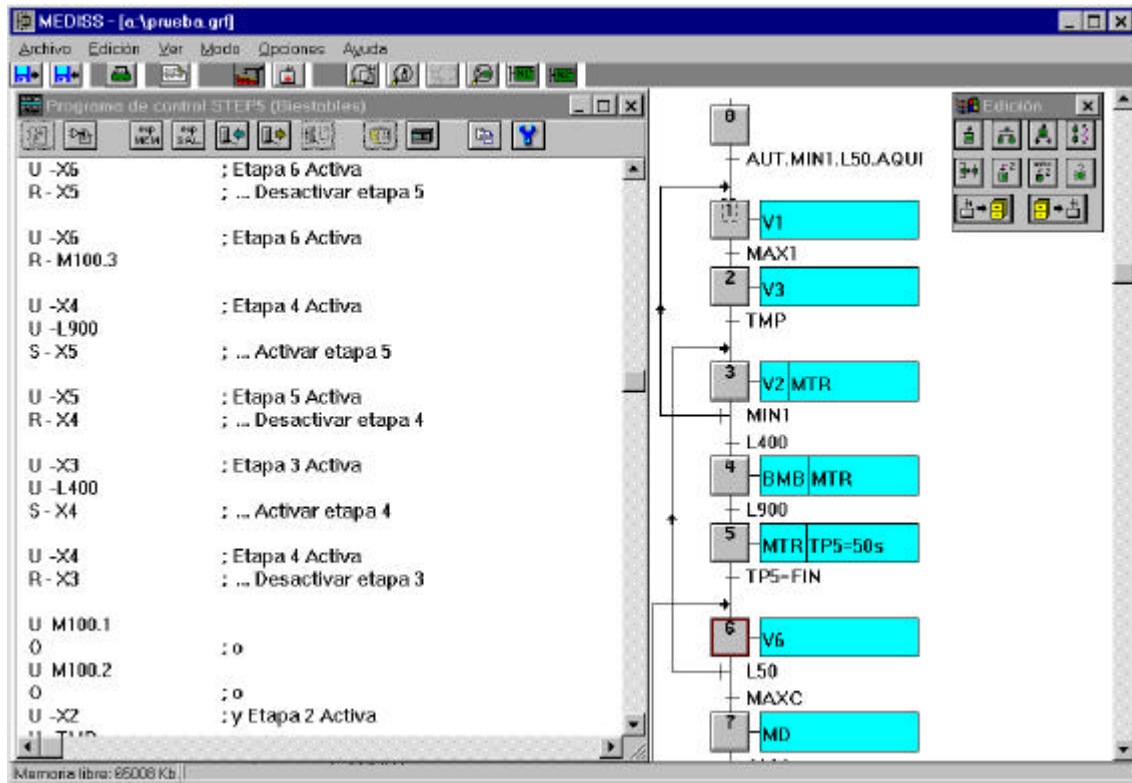


Fig. 9. Aspecto de la aplicación MEDISS

## PROGRAMA DE CONTROL STEP-5

### OB 1 ; MÓDULO PRINCIPAL

```

SPA PB 0 ;----- Llamada módulo general

SPA PB 11 ;----- Llamada módulo gestión de alarmas

;----- Gestión pulsador M/A
U -MA ; Pulsando una vez
ZV Z 1
L Z 1
L KF +1
!=F
U(
ON -ASC ; y sin alarma
ON -ASN
ON -ABOM
)
U -L50 ; y condiciones mínimas
U -MIN1
U -AQUI
S -AUT ; ... activa el modo AUTomático

;----- Cond. modo Manual
L Z 1 ; Pulsando otra vez
L KF +2
!=F
O -ASC ; o bien con alarma
; sobrecalentamiento

```



O -ASN ; sobrenivel  
O -ABOM ; alarma de bomba  
R -AUT  
R Z 1

;----- Llamada módulo automático  
U -AUT ; en modo AUTomático  
= -LAUT ; ... enciende luz de automático  
SPB PB 123 ; ... llama al módulo de gestión en automático

;----- Llamada módulo manual  
UN -AUT ; En modo MANual  
= -LMAN ; ... enciende luz de manual  
SPB PB 100 ; ...llama al módulo de gestión en manual

BE

### **PB 11 ; MÓDULO GESTIÓN DE ALARMAS**

;----- Alarma Temperatura  
U -V3 ; Si se abre la válvula de vapor  
UN -TMP ; y pasan más de 100 s.  
L KT 100.2  
SE T 10  
U T 10 ; terminando el temporizador  
UN -TMP ; sin que el termostato se active  
S -ASC ; ... activa alarma por sobrecalentamiento  
R -V3 ; Cierra V3 (vapor)

;----- Alarma Nivel  
L -NIVEL ; Si el NIVEL  
L KF 950 ; supera los 950 litros  
>=F  
S -ASN ; ... activa alarma de sobrenivel  
R -V2 ; Cierra V2 y para BMB y MTR  
R -BMB  
R -MTR

;----- Alarma bomba  
U -BMB ; Si se da la orden de arranque de bomba  
L KT 3.2 ; y pasan 3 s.  
SE T 3  
U -BMB  
UN -ABMB ; sin que se active el contacto auxiliar  
U T 3  
O ; o bien  
U -BMB  
UN -DEB ; salta el relé térmico  
S -ABOM ; ... activa alarma de bomba  
R -BMB ; ... parando la bomba y el motor de mezcla  
R -MTR

;----- Acuse alarmas  
U -ACUSE ; Pulsando ACUSE de alarmas  
S -PACUSE ; ... activa pulsó acuse

;----- Gestión luz alarma  
U -ASC ; Con alarma de sobrecalentamiento  
U M 50.0 ; (frecuencia de 2 Hz)  
O





U -PACUSE ; Pulsando ACUSE (fija)  
U -ASC  
= -LASC ; ... luz de alarma sobrecalentamiento: 2Hz ó fija

U -ASN ; Con alarma por sobrenivel  
U M 50.0 ; frecuencia 2Hz  
O  
U -PACUSE ; pulsando ACUSE (fija)  
U -ASN  
= -LASN ; ... luz de alarma sobrenivel: 2Hz ó fija

U -ABOM ; Con alarma de bomba  
U M 50.0 ; frecuencia 2Hz  
O  
U -PACUSE ; pulsando ACUSE  
U -ABOM  
= -LAB ; ... luz de alarma de bomba: 2Hz ó fija

;----- Reseteado de alarmas  
U -RESET ; Pulsando RESET alarmas  
R -ASC ; ... se borran todas la alarmas (apagando las lámparas)  
R -ASN  
R -ABOM  
R -PACUSE ; y se resetea "pulsó acuse"

BE

#### **PB 0 ; MÓDULO GENERAL**

;----- Generador de frecuencias con T 0, Z 0 y MB 50  
UN T 0  
L KT 5.0  
SE T 0  
ZV Z 0

L Z 0  
T MB 50 ; M 50.0 = 2 Hz., M 50.1 = 1 Hz, ...

U M 50.7 ; por ejemplo, con Z 0 = 128, reset del contador.  
R Z 0

; Lectura de señal de NIVEL  
U M 34.0 ; Activamos exploración selectiva del FB 250  
ON M 34.0  
= M 34.0

SPA FB 250 ; Llamada al módulo integrado de lectura analógica  
NOMB: RLG:AE  
BG: KF +8 ; Periferia integrada: 0-10Vdc  
KNKT: KY 0,4 ; Canal 0, unipolar  
OGR: KF +1000 ; Valor máximo, 1000 litros  
UGR: KF +0 ; Valor mínimo, 0 litros  
EINZ: M 34.0 ; Exploración selectiva  
XA: -NIVEL ; Valor analógico normalizado: MW 10 = 0-1000  
FB: M 34.1 ; Rotura de hilo, error parametrización  
BU: M 34.2 ; Entrada superior a 10Vdc.

;----- Comparaciones NIVEL  
L -NIVEL ; Depósito casi vacío



L KF 50 ; menos de 50 litros  
<=F  
= -L50

U( ; Entre 400 y 900 l.  
L -NIVEL  
L KF 400  
>=F  
)  
U(  
L -NIVEL  
L KF 900  
<=F  
)  
= -L400

L -NIVEL ; Mayor de 900 l.  
L KF 900  
>F  
= -L900

BE

#### **PB 123 ; MÓDULO AUTOMÁTICO**

UN M 64.0 ; Inicialmente M 64.0 = "0"  
S M 64.0 ; ... puesta a "1"; asegura llamar sólo una vez al PB 1  
SPB PB 1 ; Llamada módulo INICIALIZACIÓN Grafcet

SPA PB 2 ; Llamada módulo SECUECIAL  
SPA PB 3 ; Llamada de EJECUCION DE ACCIONES

BE

#### **PB 1 ; MÓDULO INICIALIZACION GRAFCET**

L KF 1 ; X0 = "1", Reset las demás  
T MB 0 ; -X0=Etapa 0, ....  
L KF 0  
T MB 1 ; -X8=Etapa 8, ....

BE

#### **PB 2 ; MÓDULO SECUENCIAL: ACT/DESACT. ETAPAS**

U -X3 ; Generado por MEDISS a partir del Grafcet  
U -MIN1 ; Con la etapa 3 activa  
S M 100.0 ; y nivel mínimo  
; ... activa etapa salto hacia atrás

U M 100.0  
R -X3 ; y desactiva etapa 3

U -X8 ; Con la etapa 8 activa  
U T 8 ; y Temp. 8 Fin  
S -X9 ; ... activa etapa 9

U -X9  
R -X8 ; ... y desactiva etapa 8



U -X7 ; Con la etapa 7 activa  
U -ALLI ; y la carretilla ALLI  
S -X8 ; ... activa etapa 8

U -X8  
R -X7 ; ... y desactiva etapa 7

U -X6 ; Con la etapa 6 activa  
U -MAXC ; y la carretilla llena  
S -X7 ; ... activa etapa 7

U -X7  
R -X6 ; ... y desactiva etapa 6

U M 100.2 ; Desde la etapa 9 (salto)  
O ; o bien  
U -X5 ; desde la etapa 5  
U T 5 ; y Temp. 5 Fin  
S -X6 ; ... activa etapa 6

U -X6  
R -X5 ; ... y desactiva etapa 5

U -X6  
R M 100.2 ; ... y la etapa auxiliar (salto)

U -X4 ; Con la etapa 4 activa  
U -L900 ; y nivel superior a 900 litros  
S -X5 ; ... activa etapa 5

U -X5  
R -X4 ; ... y desactiva etapa 4

U -X3 ; Con la etapa 3 activa  
U -L400 ; y nivel entre 400 y 900 litros  
S -X4 ; ... activa etapa 4

U -X4  
R -X3 ; ... y desactiva etapa 3

U M 100.1 ; Desde la etapa 6 (salto)  
O ; o bien  
U -X2 ; desde la etapa 2  
U -TMP ; y señal del termostato  
S -X3 ; ... activa etapa 3

U -X3  
R -X2 ; ... y desactiva etapa 2

U -X3  
R M 100.1 ; ... y etapa auxiliar de salto.

U -X1 ; Con la etapa 1 activa  
U -MAX1 ; y nivel máximo en depósito 1  
S -X2 ; ... activa etapa 2

U -X2  
R -X1 ; ... y desactiva etapa 1



U M 100.0 ; Desde la etapa 3 (salto)  
O ; o bien  
U -X0 ; desde la etapa 0  
U -AUT ; y en modo AUTomático  
U -MIN1 ; y con las condiciones iniciales: MIN1  
U -L50 ; y nivel menor de 50 litro en depósito 2  
U -AQUI ; y carretilla AQUI  
S -X1 ; ... Activa etapa 1  
U -X1  
R -X0 ; ... y desactiva etapa 0  
  
U -X1  
R M 100.0 ; y marca auxiliar de salto  
  
U -X9 ; Con la etapa 9 Activa  
U -AQUI ; y carretilla AQUI  
S M 100.2 ; ... activa etapa auxiliar de salto a etapa 6  
  
U M 100.2  
R -X9 ; ... y desactiva etapa 9  
  
U -X6 ; Con la etapa 6 activa  
U -L50 ; y nivel del depósito 2 casi vacío  
S M 100.1 ; ... activa etapa auxiliar de salto a etapa 3  
  
U M 100.1  
R -X6 ; ... y desactiva etapa 6  
BE

### **PB 3 ; MÓDULO EJECUCION DE ACCIONES**

U -X7 ; Etapa 7 Activa  
= -MD ; ... mover carretilla derecha  
  
U -X6 ; Etapa 6 Activa  
= -V6 ; ... vaciar depósito 2  
  
U -X9 ; Etapa 9 Activa  
= -MI ; ... mover carretilla izquierda  
  
U -X8 ; Etapa 8 Activa  
= -VC ; ... vaciar carretilla  
  
U -X5 ; Etapa 5 Activa  
O ; o  
U -X4 ; y Etapa 4 Activa  
O ; o  
U -X3 ; y Etapa 3 Activa  
= -MTR ; ... activar motor de mezcla  
  
U -X1 ; Etapa 1 Activa  
= -V1 ; ... llenar depósito 1 (abrir V1)  
U -X3 ; Etapa 3 Activa  
= -V2 ; ... vaciar depósito 1  
  
U -X4 ; Etapa 4 Activa  
= -BMB ; ... arrancar bomba  
  
U -X2 ; Etapa 2 Activa  
= -V3 ; ... abrir válvula de vapor



U -X8 ; Etapa 8 Activa  
L KT 20.2  
SE T 8 ; Arrancar temp. de vaciado con 20seg.

U -X5 ; Etapa 5 Activa  
L KT 50.2  
SE T 5 ; Arrancar temp. de mezcla con 50 seg.

BE

## **PB 100 ; MÓDULO MANUAL**

R M 64.0 ; Permite activar posteriormente el modo automático

U -AV2 ; Operaciones en modo MANual  
UN -L950 ; Pulsando AV2  
= -V2 ; y depósito 2 no lleno  
; ... abre V2

U -AV6 ; Pulsando AV6  
U -AQUI ; con la carretilla AQUÍ  
UN -MAXC ; y no llena  
= -V6 ; ... abre V6

U -CMD ; Pulsando CMD  
UN -ALLI ; y carretilla no ALLI  
= -MD ; ... mover carretilla a la derecha

U -CMI ; Pulsando CMI  
UN -AQUI ; y carretilla no AQUÍ  
= -MI ; ... mover carretilla a la izquierda

U -AVC ; Pulsando AVC  
U -ALLI ; y la carretilla en la posición de vaciado  
= -VC ; ... vaciar carretilla

BE

## **SYM ; SIMBÓLICO**

### **Entradas**

E 32.0 -MA ; Pulsador Manual/Automático  
E 32.1 -MIN1 ; Sensor de nivel mínimo depósito 1  
E 32.2 -MAX1 ; Sensor de nivel máximo depósito 1  
E 32.3 -TMP ; Termostato  
E 32.4 -AQUÍ ; Final de carrera carretilla zona llenado  
E 32.5 -ALLI ; Final de carrera carretilla zona vaciado  
E 32.6 -MAXC ; Sensor nivel máximo carretilla  
E 32.7 -AV2 ; Pulsador de control cierre/apertura válvula 2  
E 33.0 -AV6 ; Pulsador de control cierre/apertura válvula 6  
E 33.1 -CMD ; Pulsador de control movimiento derecha carretilla  
E 33.2 -CMI ; Pulsador de control movimiento izquierda carretilla  
E 33.3 -AVC ; Pulsador de control vaciado carretilla  
E 33.4 -AUX\_BMB ; Interruptor de accionamiento de bomba  
E 33.5 -TER\_BMB ; Relé térmico de defecto de bomba  
E 33.6 -ACUSE ; Pulsador de acuse del panel de mando  
E 33.7 -RESET ; Pulsador de reseteado de alarmas

### **Salidas**

A 32.0	-V1	; Válvula 1
A 32.1	-V2	; Válvula 2
A 32.2	-V3	; Válvula 3
A 32.3	-BMB	; Contactor de accionamiento del motor de bomba
A 32.4	-MTR	; Contactor de accionamiento del motor de mezcla
A 32.5	-V6	; Válvula 6
A 32.6	-MD	; Contactor movimiento carretilla derecha
A 32.7	-MI	; Contactor movimiento carretilla izquierda
A 33.0	-VC	; Contactor vaciado carretilla
A 33.1	-LAUT	; Luz de modo automático
A 33.2	-LMAN	; Luz de modo manual
A 33.3	-LASC	; Luz de alarma de sobrecalentamiento
A 33.4	-LASN	; Luz de alarma de sobrenivel
A 33.5	-LAB	; Luz de alarma de defecto de bomba

### **VARIABLES AUXILIARES**

MW 10	-NIVEL	; Palabra nivel depósito 2
M 20.0	-L50	; Marca depósito 2 vacío
M 20.4	-L400	; Marca depósito 2 entre 400 y 900 litros
M 20.7	-L900	; Marca depósito 2 superior a 900 litros
M 56.0	-AUT	; Marca modo automático
M 56.1	-ASC	; Marca alarma sobrecalentamiento
M 56.2	-ASN	; Marca alarma sobrenivel
M 56.3	-ABOM	; Marca alarma defecto funcionamiento bomba
M 56.4	-PACUSE	; Marca de pulso de acuse
M 0.0	-X0	; Etapa 0
M 0.1	-X1	; Etapa 1
M 0.2	-X2	; Etapa 2
M 0.3	-X3	; Etapa 3
M 0.4	-X4	; Etapa 4
M 0.5	-X5	; Etapa 5
M 0.6	-X6	; Etapa 6
M 0.7	-X7	; Etapa 7
M 1.0	-X8	; Etapa 8
M 1.1	-X9	; Etapa 9

### **Temporizadores**

T 0	T 0	; Temporizador del generador de frecuencias
T 3	T 3	; Temporizador de contacto auxiliar de bomba
T 5	T 5	; Temporizador para motor de mezcla
T 8	T 8	; Temporizador para vaciado de carretilla
T 10	T 10	; Temporizador para alarma de temperatura

### **Contadores**

Z 0	Z 0	; Contador generador de frecuencias
Z 1	Z 1	; Contador para paso Manual/Automático

BE

## 11.4. WINSS-5. SIMULACIÓN DEL PROGRAMA COMPLETO

WINSS-5 es una aplicación Windows que permite la edición y la simulación de programas STEP-5 en lista de instrucciones para los autómatas programables Simatic S5 de Siemens.

En la figura 10 se muestra el aspecto que presenta la aplicación con el entorno construido en WINSS-5 para la prueba del programa de control del proyecto de automatización planteado.

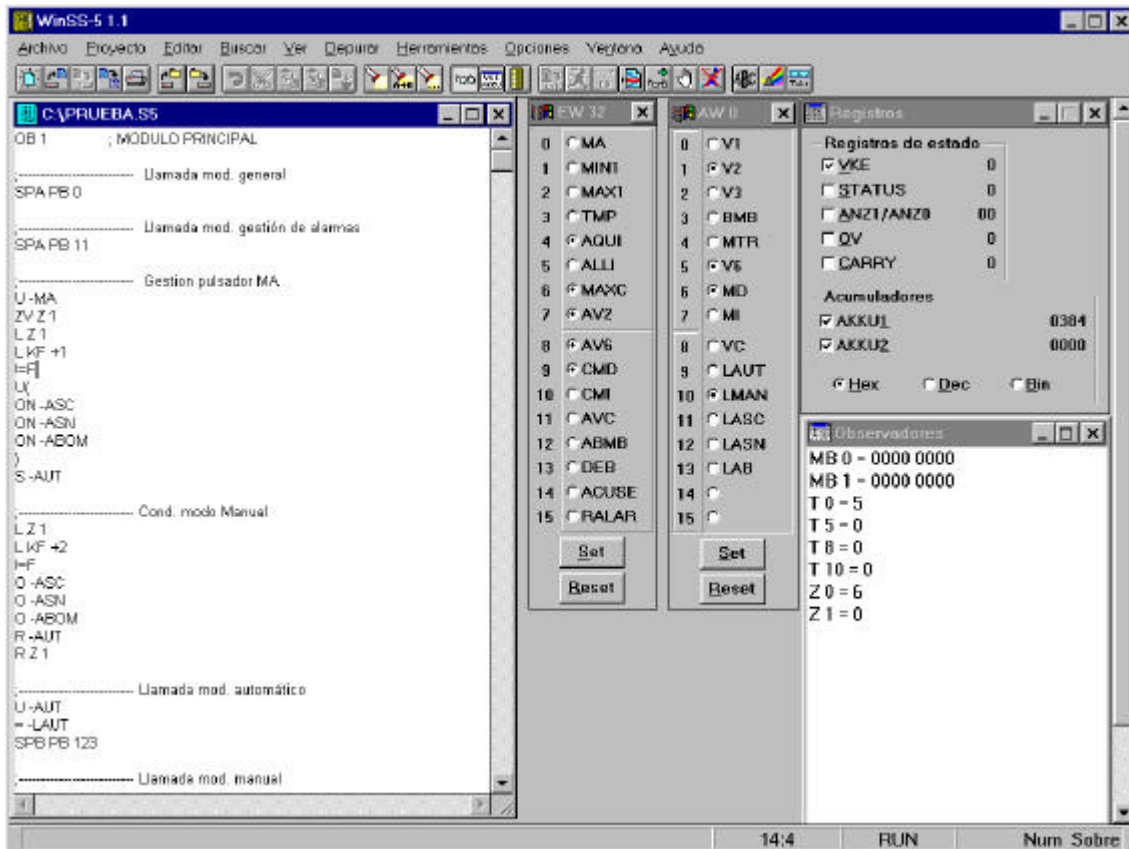


Fig. 10. Aspecto de la aplicación WINSS-5

Contiene diferentes tipos de ventanas: para edición del código, visualización de los módulos de entrada y salida del autómata, ventana de variables internas y registros del autómata.

Los mecanismos de depuración son muy potentes, permitiendo la ejecución de un ciclo completo de programa, inclusión de puntos de ruptura o la ejecución instrucción a instrucción. Al tratarse de un programa Windows resulta muy sencillo la introducir código en formato texto realizado desde otras aplicaciones. Posteriormente se puede transmitir el programa al PLC.

## 12. SIMULACIÓN DEL PROCESO

### 12.1. WINSS-5 Y VISGRAF

Si bien la realización y depuración del programa de control pueden realizarse empleando las herramientas anteriores, se hecha de menos, en no pocas ocasiones, por un lado el controlador real a través del cual se ejecute el programa de control y también alguno de los mecanismos de simulación del proceso y sus componentes, o lo que sería mejor, el proceso propiamente dicho.

Estos aspectos inciden sobre todo en la fase de depuración final, normalmente la que más tiempo consume. Esta fase de depuración, como se ha dicho puede realizarse con WINSS-5 que simula el comportamiento de un autómatas Simatic S5, pudiendo detectar muchos de los errores de programación cometidos.

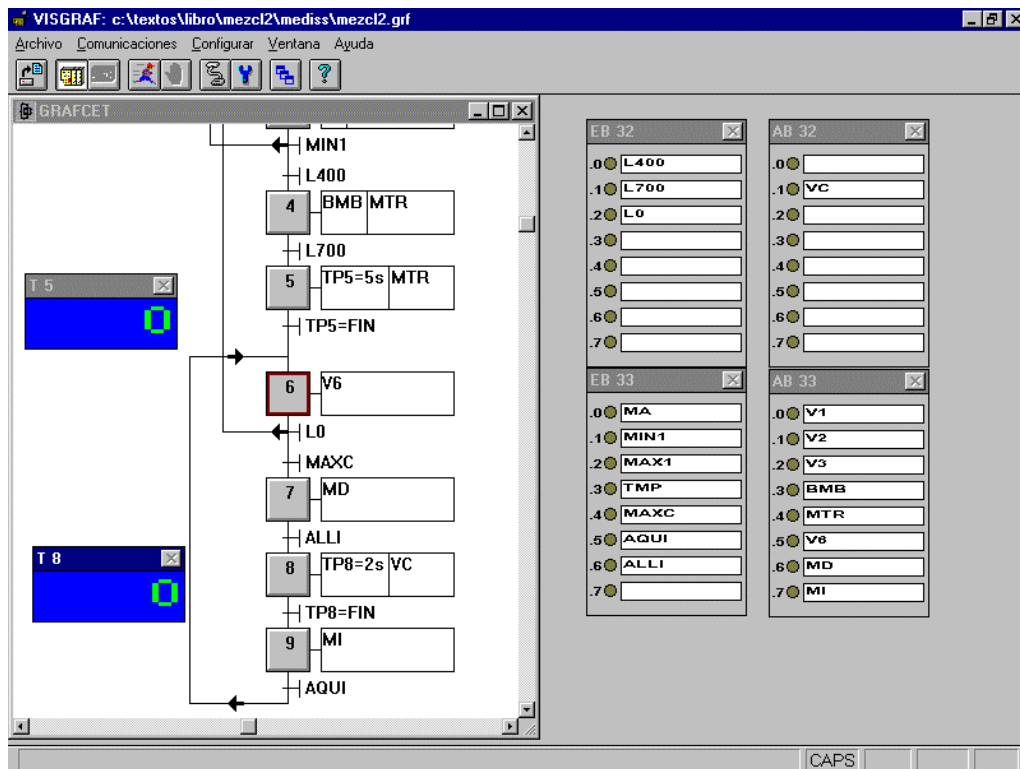


Fig. 11. Aspecto de Visgraf (MEDISS)

También es posible utilizar un módulo software llamado Visgraf, que forma parte de la aplicación MEDISS para depurar el Grafcet., aunque el código generado puede asegurarse que se ajusta al diagrama funcional construido. Visgraf, ver figura 11, es de gran ayuda puesto que evita el análisis del código generado por MEDISS y permite realizar la depuración a nivel del Grafcet., conectándose al PLC y mostrando los estados activos a medida que el automatismo evoluciona.



## 12.2. PROSIMAX: SIMULADOR DE PROCESOS

La detección de errores en los programas de control, aún teniendo estas herramientas, sigue siendo costosa en tiempo y recursos. El principal problema es la dificultad en pasar por todos los estados posibles en que se puede encontrar el proceso, cuando éste no existe físicamente. Por lo general, a nivel de laboratorio, es el propio usuario quien simula el comportamiento de la planta modificando las entradas a través de interruptores y pulsadores conectados a la periferia de entradas del autómatas.

Para solventar este problema se ha desarrollado la aplicación Windows PROSIMAX que permite diseñar procesos y efectuar la simulación en conexión directa con el autómatas programable. En el modo de edición, se diseña la planta a simular mediante la selección de objetos dinámicos. Se configuran comportamientos, conexiones y representaciones gráficas de los objetos de planta sin necesidad de programación. Opcionalmente permite incorporar un dibujo estático de la planta o proceso diseñado.

En el módulo de simulación, mediante la conexión al autómatas a través del cable serie de programación, se pueden comprobar las reacciones del proceso guiado por el programa de control *real* en el PLC. Asimismo, el usuario puede intervenir de igual manera que lo haría en una instalación real.

Las ventajas son claras: mayor realismo, sencilla determinación de errores de programación, flexibilidad, economía, complemento de las rígidas y costosas maquetas, rapidez de operación y fácil aprendizaje.

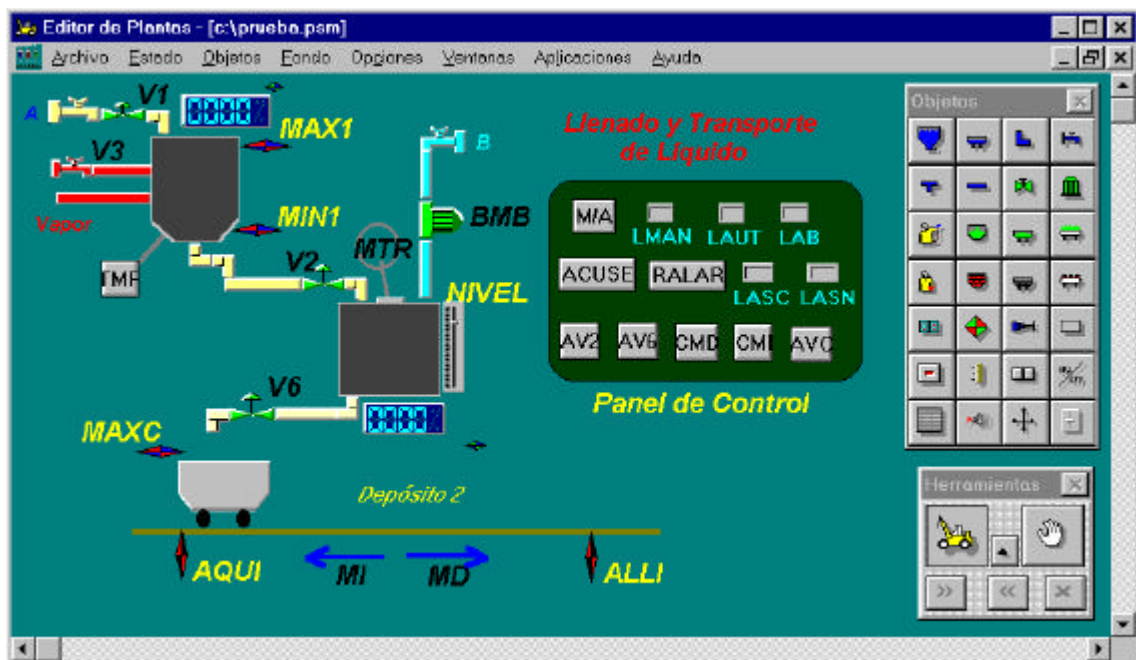


Fig. 12. Módulo Editor (PROSIMAX)

En la pantalla de la figura 12 se muestra un aspecto del proceso diseñado en el módulo de edición para el proyecto de mezclado y transporte de líquido.

Sólo se utiliza el cable serie suministrado por el fabricante para comunicar la planta PROSIMAX con el programa de control que se ejecuta en el autómeta, lo que facilita la prueba del automatismo. Sin embargo, como resulta evidente se necesita establecer la comunicación y por tanto modificar ambos participantes (PROSIMAX y programa en el PLC) para la correcta sincronización. Todo ello se puede realizar de forma automática a través de PROSIMAX con la configuración del cuadro de diálogo de la figura 13.



Fig. 13. Comunicaciones en PROSIMAX