

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE ORURO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA INDUSTRIAL
ELT 3932 – AUTOMATISMOS INDUSTRIALES
PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN

MEZCLADOR AUTOMÁTICO DE TINTAS

MSc. Ing. Ramiro Franz Aliendre García

INTRODUCCIÓN. Este proyecto pretende mostrar a los estudiantes, y personas interesadas en la automática, la forma en que debe encarar un proyecto de automatización con lógica programada, desde la concepción del programa del PLC con la metodología Grafcet¹, hasta el desarrollo de su interface hombre máquina. El trabajo muestra paso a paso las etapas que se deben seguir en la automatización de un pequeño proceso. Esta secuencia de etapas, también debe ser seguida para un proyecto de automatización más grande.

Se agradece todas las sugerencias que se realicen a fin de enriquecer este trabajo.

OBJETIVO GENERAL. Realizar la automatización de un proceso industrial real, aplicando la metodología Grafcet en la concepción del programa para el controlador lógico programable (PLC). Desarrollar además el interface hombre máquina para el proceso, con el fin de tener una visión clara de la forma en que en proceso se desarrolla en tiempo real.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS. Los objetivos específicos que se persiguen en la realización del proyecto son los siguientes:

- Determinación de las especificaciones funcionales del proceso.
- Desarrollo del grafcet del proceso.
- Desarrollo del logigrama.
- Desarrollo del diagrama escalera, es decir, la deducción de los programas para el controlador lógico programable (PLC).
- Desarrollo del interface hombre-máquina (MMI).

PLANTEAMIENTO DEL PROCESO. Un mezclador automático para dos colores de tinta debe ser comandado por medio de un PLC (ver figura 1). La operación transcurre de la siguiente forma: después de presionar un botón de partida C_0 (botonera que mantiene el contacto cerrado solamente cuando está presionada), la lámpara H_0 enciende, indicando el inicio de la operación, la válvula Y_1 abre y la bomba M_2 es conectada. Cuando el nivel de la primera tinta en el recipiente de mezcla alcanza al sensor B_1 , la válvula Y_1 es cerrada y la válvula Y_2 es abierta, mezclando una segunda tinta en el contenido del recipiente. Cuando el nivel total de la tinta alcanza al sensor B_2 , la válvula Y_2 es cerrada, la bomba M_2 es desactivado y el mezclador M_1 es activado. Después de 6 segundos el mezclador M_1 y la lámpara H_0 son desconectados y la tinta ya homogenizada puede ser vaciada (manualmente).

¹ *Grafcet* se escribirá con mayúscula la primera letra cuando se refiere a la metodología, y *grafcet* con minúscula, cuando se refiere al modelo de un sistema en particular

El mezclador puede ser desconectado en cualquier momento de la operación por medio de la botonera de parada de emergencia C₆, por los sensores térmicos F₁ o F₂ conectados a los motores del mezclador y de la bomba, respectivamente, o por el sensor B₄, que indica el llenado total del recipiente de mezcla. La figura 1 presenta el esquema del mezclador. Se debe elaborar un programa de mando del mezclador con PLC, usando los diagramas escalera.

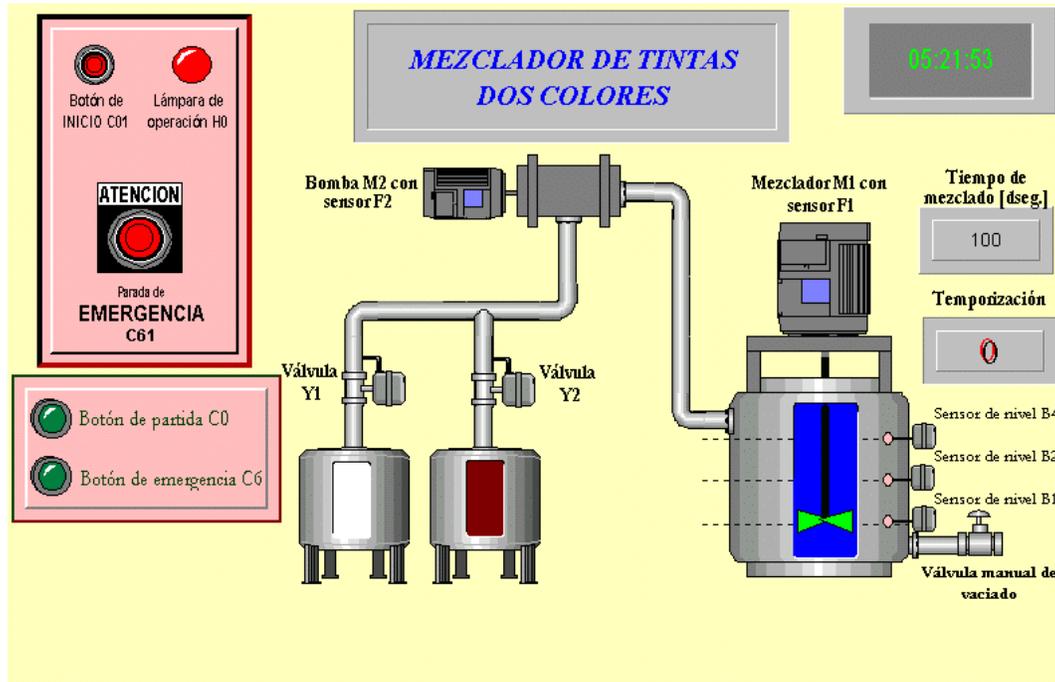


Figura 1. Mezclador de tintas (2 colores)

DESARROLLO DE LA AUTOMATIZACIÓN. En la resolución del problema se contempla, siguiendo el orden de los objetivos específicos, las siguientes etapas:

- Determinación de las especificaciones funcionales del proceso.
- Desarrollo del grafcet del proceso².
- Desarrollo del logigrama.
- Desarrollo del diagrama escalera: programas del PLC.
- Desarrollo del interface hombre máquina (MMI).
- Conexiones de campo del proceso.

El desarrollo de estas etapas en el orden especificado, permite una resolución metodológica en el problema de automatización planteado.

DETERMINACION DE LAS ESPECIFICACIONES FUNCIONALES DEL PROCESO. Las especificaciones funcionales del proceso fueron deducidas a partir del planteamiento, y

² *Grafcet* se escribirá con mayúscula la primera letra cuando se refiere a la metodología, y *grafcet* con minúscula, cuando se refiere al modelo de un sistema en particular

fueron agrupadas basándose en los requerimientos de seguridad que se establece, es decir, primero para un funcionamiento normal, y segundo para un funcionamiento de emergencia.

a) **Funcionamiento normal.** Las especificaciones en funcionamiento normal, de acuerdo con la evolución descrita en el planteamiento, son las siguientes:

1. Presionar botón de inicio C_0
2. Encender la lámpara de operación H_0 , abrir la válvula de entrada de la tinta 1 en el tanque Y_1 , activar el motor de la bomba M_2 .
3. El nivel de la tinta 1 en el tanque sube hasta que es accionado el sensor de nivel B_1 .
4. Cerrar la válvula Y_1 , y abrir la válvula de entrada de la tinta 2 en el tanque Y_2 .
5. El nivel en el tanque sube debido al ingreso de la tinta 2, hasta que es accionado el sensor de nivel B_2 .
6. Cuando es alcanzado el nivel, cerrar la válvula Y_2 , desactivar el motor de la bomba M_2 y activar el motor del mezclador M_1
7. Después de que el mezclador a funcionado 6 segundos, el motor M_1 y la lámpara de operación H_0 son desconectados.
8. Por ultimo se procede al vaciado manual del tanque.

b) **Funcionamiento de emergencia.** El proceso puede ser detenido si se cumple una o varias de las siguientes condiciones:

1. Es presionado el botón de emergencia C_6 .
2. Los relés térmicos F_1 y F_2 asociados a los motores del mezclador y la bomba, respectivamente, son activados.
3. El sensor de nivel B_4 , que mide el exceso de nivel en el tanque, es activado

Entradas. Las entradas son variables discretas o análogas del proceso, que representan los botones de mando, o los sensores de campo. Las entradas son:

- C_0 :** Botón de inicio. Sirve para que el proceso comience su funcionamiento, a través de un simple pulso.
- B_1 :** Primer sensor de nivel. Sirve para medir el nivel de la primera tinta en el tanque de mezclado.
- B_2 :** Segundo sensor de nivel. Sirve para medir el nivel de la segunda tinta, que se vierte encima de la primera tinta.
- B_4 :** Tercer sensor de nivel. Sirve para medir el nivel las tintas en el tanque, en caso de que exista una falla y el nivel de las tintas suba demasiado.
- C_6 :** Botón de parada de emergencia. Sirve para detener el proceso, en caso de que el operador decida aquello, por alguna razón.
- F_1 :** Relé térmico mezclador: Este sensor protege contra sobrecargas el motor que acciona el mezclador.
- F_2 :** Relé térmico bomba. Este sensor protege contra sobrecargas el motor que acciona la bomba.

Salidas. Las salidas son variables discretas o análogas del proceso que representan los contactores, señalizadores o señales de control de los actuadores de campo. Las salidas son:

- H₀:** Lámpara de operación. Este señalizador muestra que el proceso está en funcionamiento.
- Y₁:** Válvula tinta 1. Representa la válvula solenoide que permite el paso de la primera tinta al tanque de mezclado.
- Y₂:** Válvula tinta 2. Representa la válvula solenoide que permite el paso de la segunda tinta al tanque de mezclado.
- M₁:** Motor del mezclador. Es el motor asíncrono que acciona el mezclador de tintas dentro el tanque de mezclado.
- M₂:** Motor de la bomba. Es el motor asíncrono que acciona la bomba que lleva las tintas al tanque de mezclado.

La tabla 1 muestra las señales de entrada y salida utilizadas y describe su uso en ésta aplicación.

Entrada/Salida	Conexión externa	Comentarios
E0	C₀	Botón de inicio
E1	B₁	Sensor de nivel
E2	B₂	Sensor de nivel
E3	B₄	Sensor de nivel
E4	C₆	Botón de parada de emergencia
E5	F₁	Relé térmico mezclador
E6	F₂	Relé térmico bomba
S0	H₀	Lámpara de operación
S1	Y₁	Válvula tinta 1
S2	Y₂	Válvula tinta 2
S3	M₁	Motor del mezclador
S4	M₂	Motor de la bomba

Tabla 1. Entradas y salidas del PLC usadas en el mando del mezclador

Un diagrama de tiempos que muestra el comportamiento de entradas y salidas del proceso, se muestra en la siguiente figura

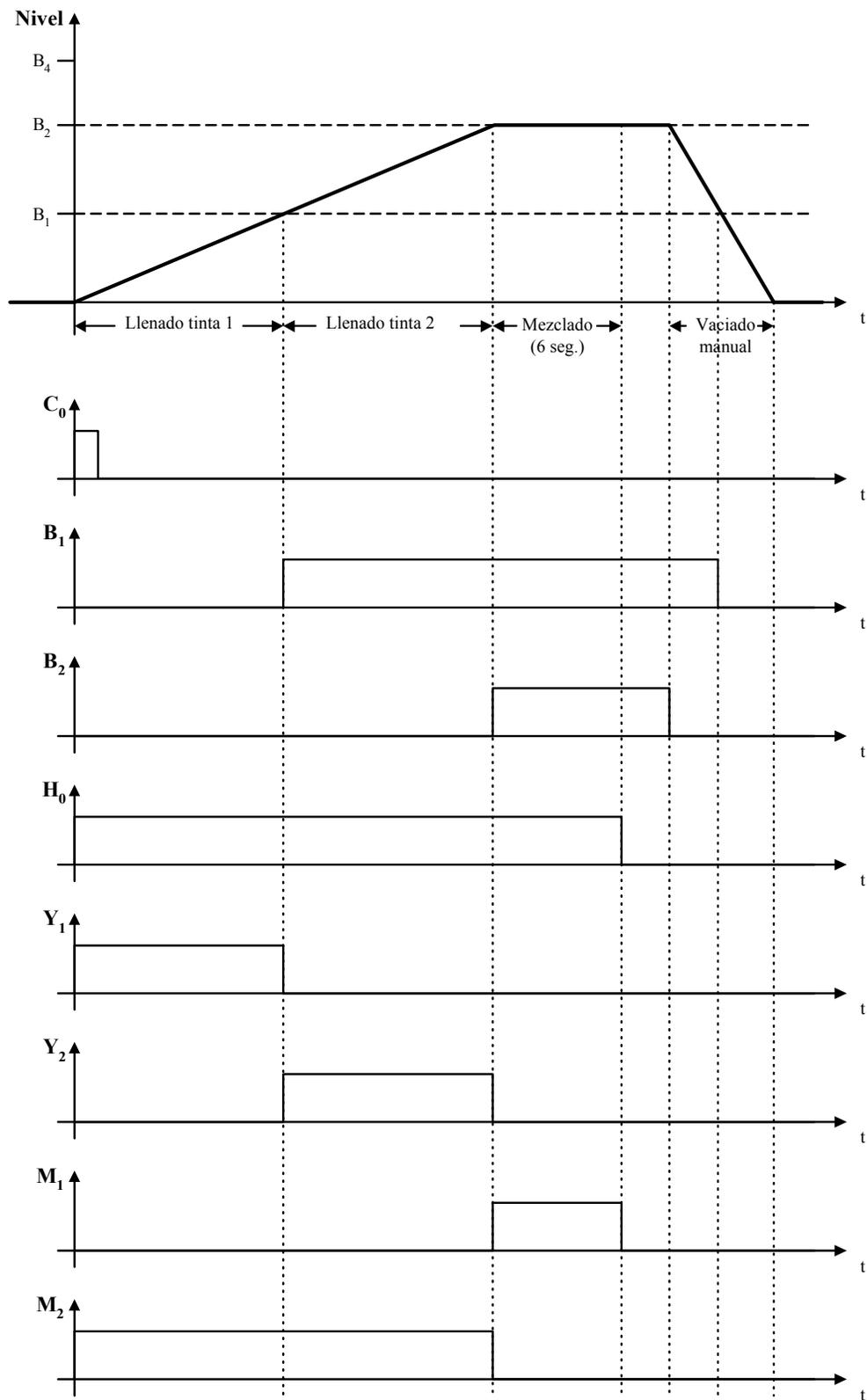


Figura 2. Diagrama de tiempos del proceso

DESARROLLO DEL GRAFCET DEL PROCESO. La utilización del Grafcet como metodología para expresar la secuencialidad de las acciones, en la evolución del sistema automatizado, permite pasar muy fácilmente de las especificaciones funcionales al grafcet del sistema, expresando un “modelo”, que luego permite llevar a un logigrama, el cual puede ser programado directamente en el PLC, o puede ser llevado a la forma de diagramas escalera. Los diagramas escalera son los más utilizados para la programación de PLC's.

En el caso particular del PLC Siemens S7 214, su software de programación MicroWin versión 3.02, permite tres formas de expresar los programas:

- Listado de instrucciones
- Logigrama
- Diagramas escalera

Que son tres de las cinco formas normalizadas por el estándar IEC 1131-3.

En los grafkets desarrollados para el problema en particular, el primero se deduce directamente de las especificaciones funcionales. Todas las condiciones de emergencia fueron agrupadas en un sola variable binaria denominada Emergencia (**Em**), cuya expresión lógica es:

$$\mathbf{Em} = \mathbf{C}_6 + \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{B}_4 \quad (1)$$

En la expresión anterior el signo + significa la operación lógica OR. Esto significa que presionando el botón de parada de emergencia **C₆**, o si se activa el relé térmico del mezclador **F₁**, o si se activa el relé térmico de la bomba **F₂**, o si el sensor de nivel muy alto **B₄** se activa, el proceso debe ser detenido.

El grafcet del proceso será entonces:

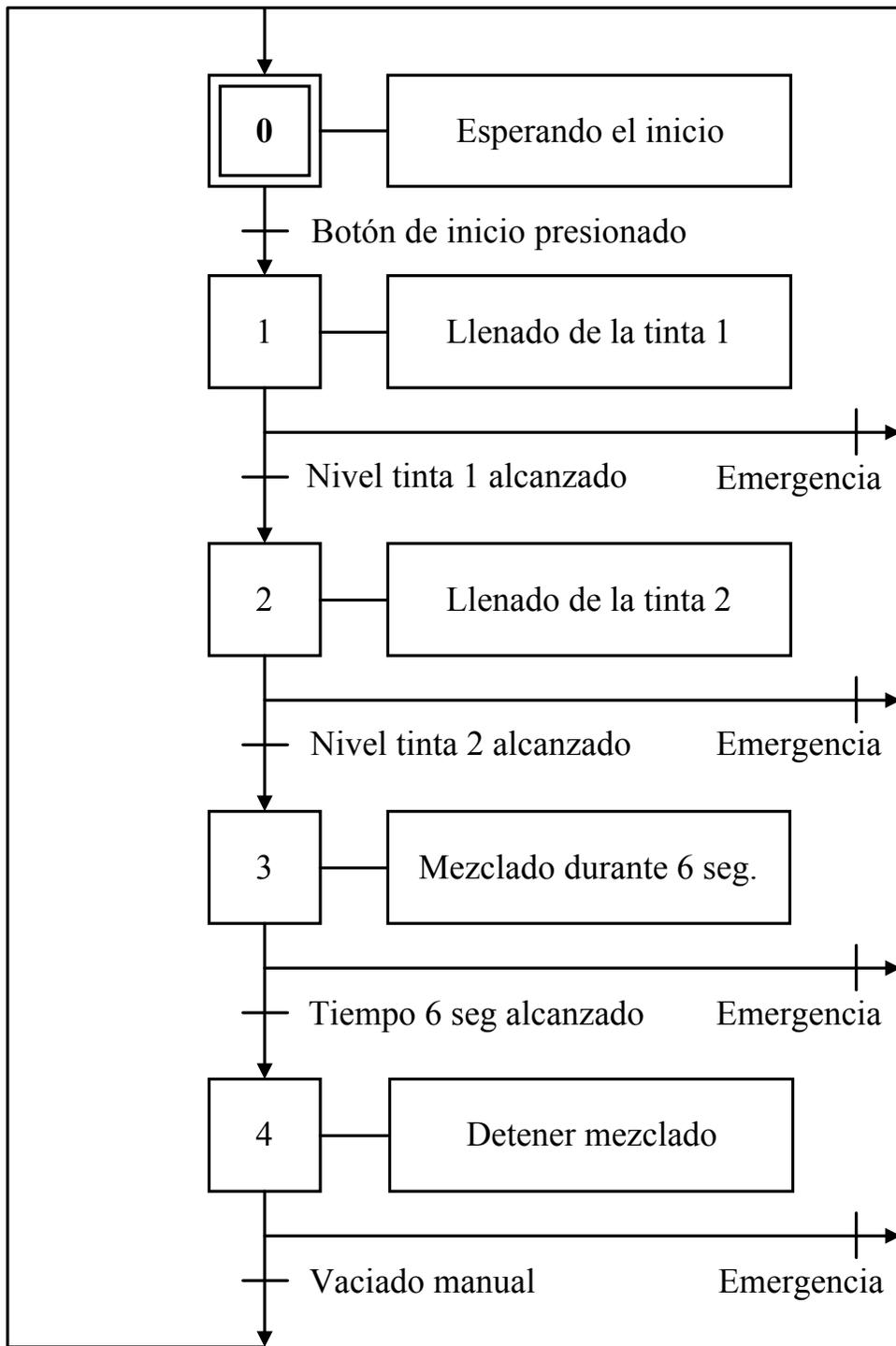


Figura 3. Graficet del proceso. Primer nivel.

A partir del graficet de nivel 1, se puede deducir el graficet de nivel 2, donde ya se especifican los elementos de entrada y salida del proceso. La figura 4 muestra el graficet de nivel 2 del proceso.

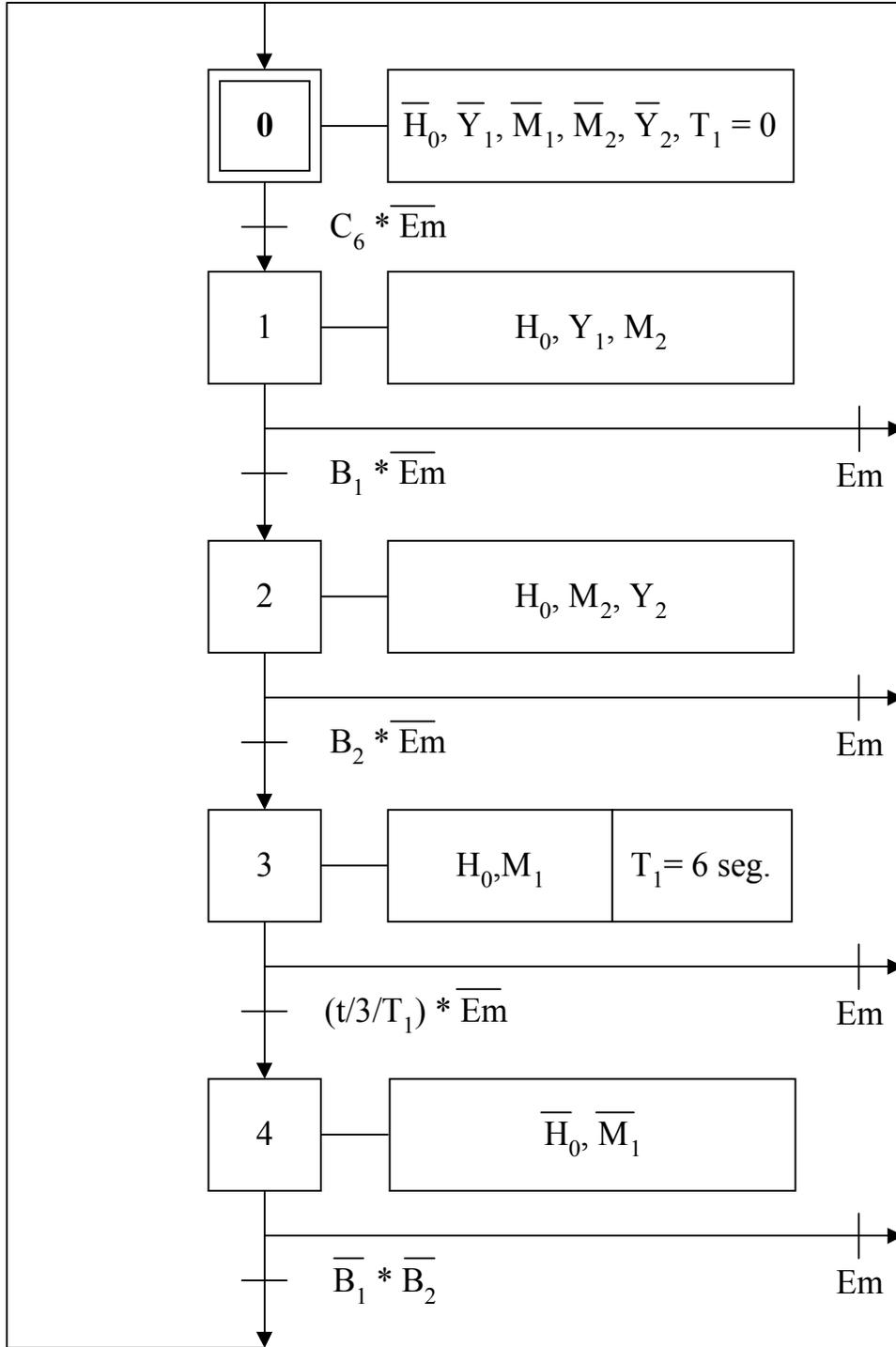


Figura 4. Graficet del proceso. Segundo nivel.

En la figura anterior, en la condición de transición entre las etapas 3 y 4, la notación $(t/3/T_1)$ significa una temporización a la conexión de la etapa 3, con el temporizador T₁. El temporizador T_1 , asociado a la etapa 3, tiene una duración de 6 segundos.

En todas las etapas existen acciones asociadas, las cuales significan que habilitarán o deshabilitarán salidas, por ejemplo: Y_1 significa que la salida será accionada, y $\overline{Y_1}$ significa que será desaccionada.

A fin de hacer más simple el graficet del proceso se puede simplificar las acciones asociadas a cada etapa, de la siguiente manera:

Acción **CI**: $\overline{H_0}, \overline{Y_1}, \overline{M_1}, \overline{M_2}, \overline{Y_2}, T_1 = 0$ (Condiciones Iniciales)

Acción **A**: H_0, Y_1, M_2

Acción **B**: H_0, M_2, Y_2

Acción **C**: $H_0, M_1, T_1 = 6$

Acción **D**: $\overline{H_0}, \overline{M_1}$

Luego, el graficet del proceso será:

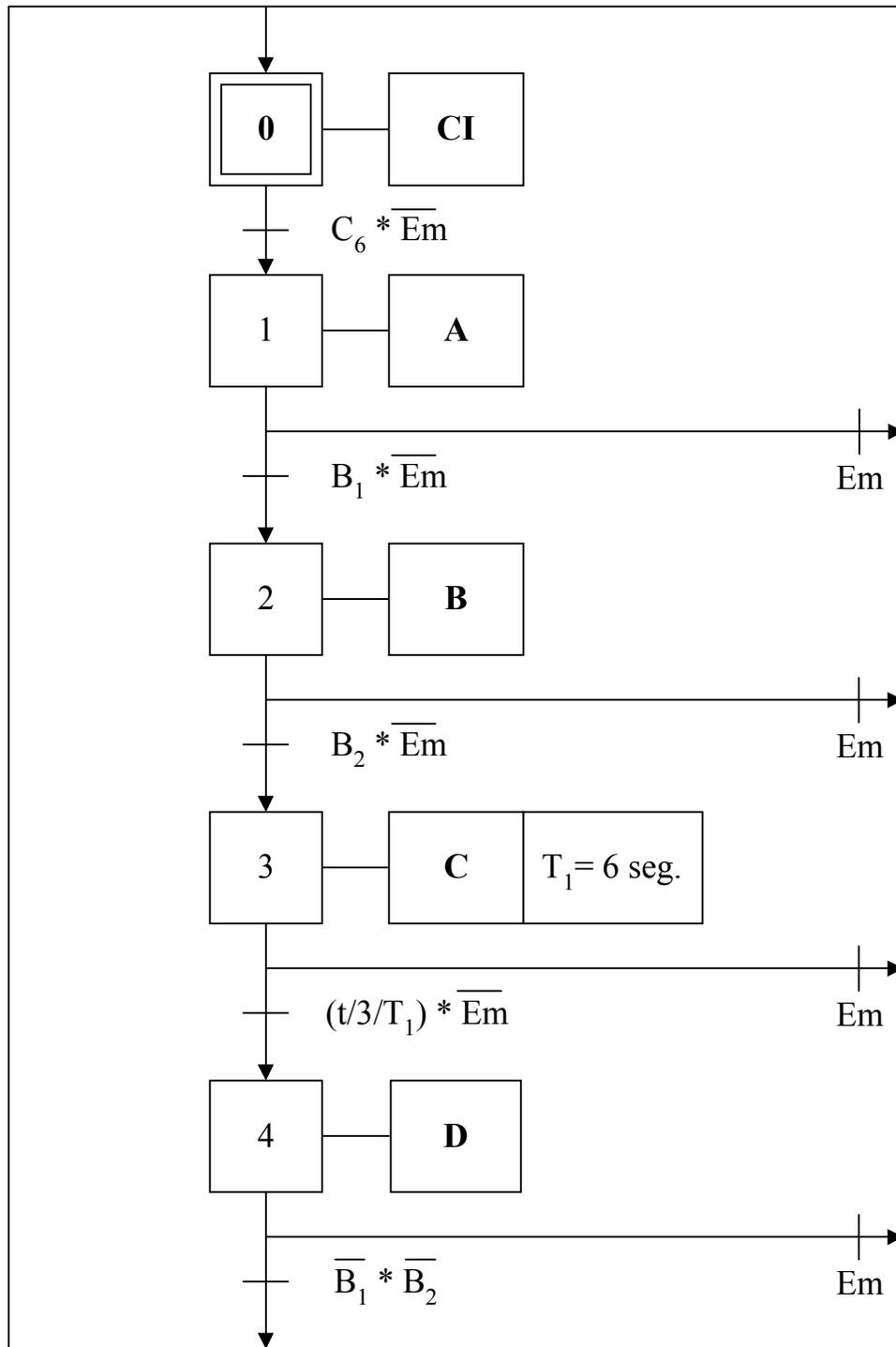


Figura 5. Grafcet del proceso simplificado. Segundo nivel.

Comparando los grafcets de nivel uno y nivel dos y observando qué salidas se accionan en cada una de las etapas, las expresiones que relacionan las etapas del grafcet con las variables de salida del proceso estarán dadas por:

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_0 &= \mathbf{A} + \mathbf{B} + \mathbf{C} & (2) \\ \mathbf{Y}_1 &= \mathbf{A} & (3) \\ \mathbf{Y}_2 &= \mathbf{B} & (4) \\ \mathbf{M}_1 &= \mathbf{C} & (5) \\ \mathbf{M}_2 &= \mathbf{A} + \mathbf{B} & (6) \end{aligned}$$

DESARROLLO DEL LOGIGRAMA. La forma de pasar del grafcet al logigrama, se desarrolla sobre la base del método de hacer corresponder cada etapa con un cerrojo SR asíncrono (flip-flop), que cumple con las condiciones del Grafcet. Esto se muestra en las figuras 6 y 7:

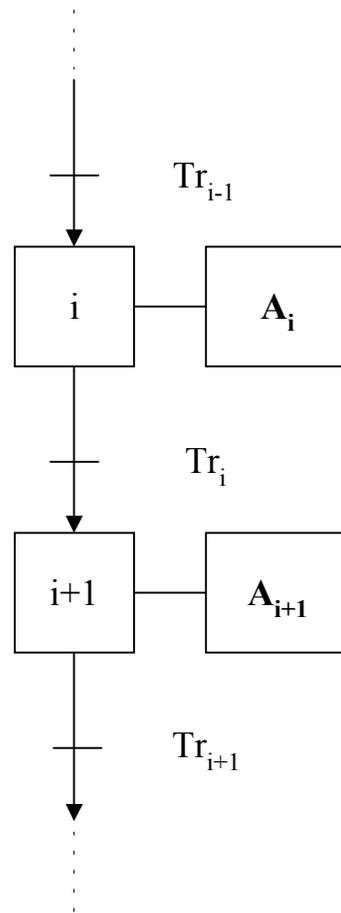


Figura 6. Grafcet general de dos etapas.

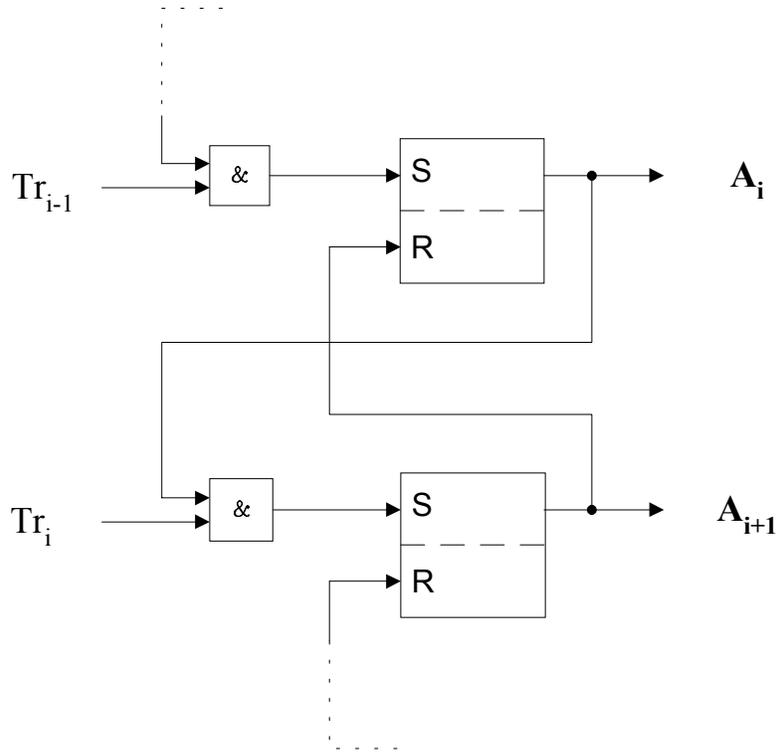


Figura 7. Logigrama del grafcet de la figura 6.

Por tanto, el logigrama del grafcet nivel dos del proceso, mostrado en la figura 5, será el siguiente:

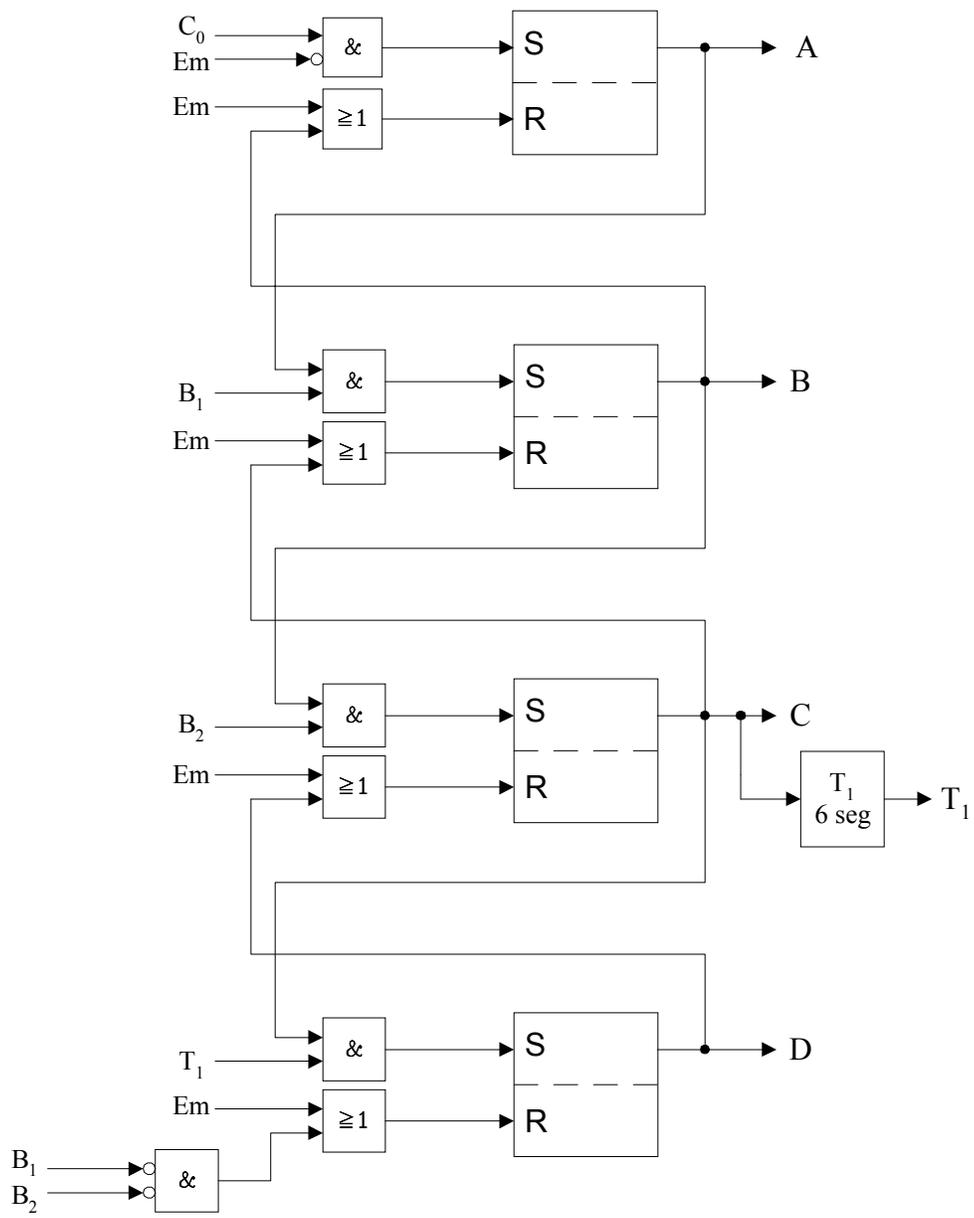


Figura 8. Logigrama del grafcet de la figura 5.

Los bloques del logigrama de las expresiones (1) a (6), con lo cual se completa el logigrama de todo el proceso, son los siguientes:

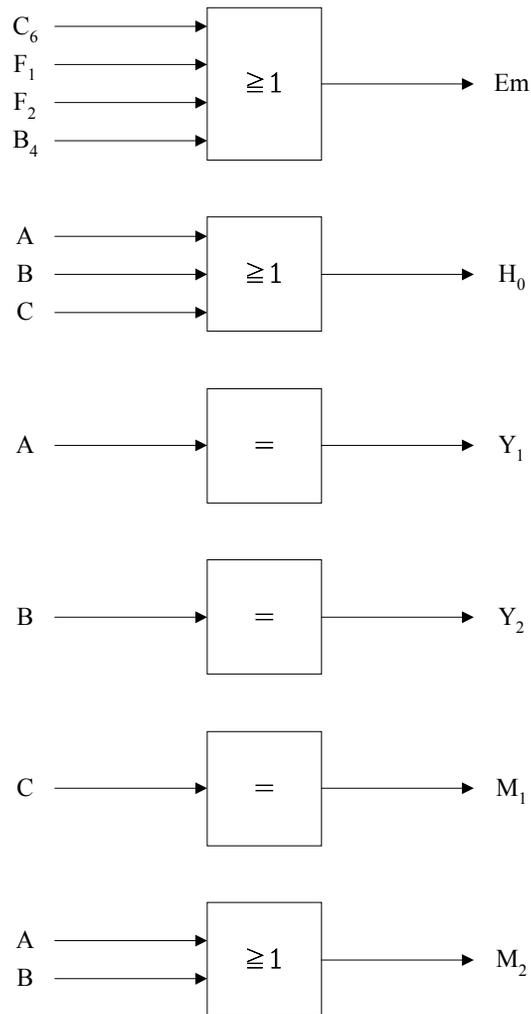


Figura 9. Logigrama de las expresiones (1) a (6).

DESARROLLO DEL DIAGRAMA ESCALERA: PROGRAMAS DEL PLC. Una vez que se ha obtenido el logigrama, se puede obtener fácilmente el diagrama escalera. Si el PLC cuenta con los comandos *set* y *reset* para un bit o bobina, como es el caso del PLC Simatic S7 214, entonces el paso al diagrama escalera es directo. En caso contrario se debe utilizar la implementación de los cerrojos SR mediante compuertas NOR, tal como se muestra en la siguiente figura:

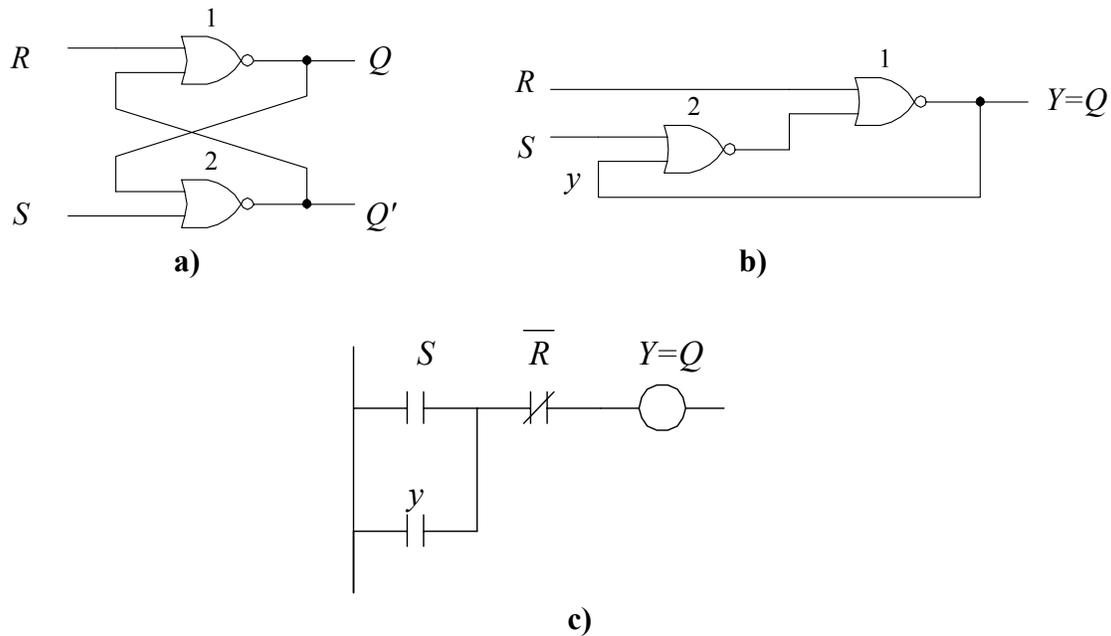


Figura 10. Implementación del cerrojo SR
a) Cerrojo SR con compuertas NOR
b) El mismo cerrojo reacomodado
c) Diagrama escalera

El gráfico c) de la figura 10 puede ser deducido, mediante la aplicación de uno de los teoremas de De Morgan, de la siguiente manera:

$$Y = [(S + y)' + R]' = (S + y)R'$$

Se puede implementar los cerrojos también con compuertas NAND.

Por tanto, para cada uno de los cerrojos que representan el graficet del proceso, se necesita deducir las expresiones lógicas para su *set* y su complemento de *reset*, de la siguiente manera:

$S_A = C_0 Em'$	$R_A = Em + B$	\Rightarrow	$R_A' = Em' B'$
$S_B = A B_1$	$R_B = Em + C$	\Rightarrow	$R_B' = Em' C'$
$S_C = B B_2$	$R_C = Em + D$	\Rightarrow	$R_C' = Em' D'$
$S_D = C T_1$	$R_D = Em + B_1' B_2'$	\Rightarrow	$R_D' = Em' (B_1 + B_2)$

Con todo lo anotado hasta ahora, se puede pasar a programar el PLC.

Programas del PLC. Se han desarrollado dos programas para implementar la automatización del proceso, que se explicarán a continuación. El formato de las variables utilizadas es el siguiente:

Entradas: Son denominadas por **In.m**, donde **n** identifica el octeto o byte de la imagen de proceso de entrada (memoria), y **m** el número de bit al que corresponde en el byte. Por ejemplo **I0.0** será el primer bit del primer octeto. El margen total de uso es de **I0.0** a **I7.7**. Las entradas físicas reales (a las que pueden conectarse los botones y sensores del proceso) son: **I0.0** a **I0.7** y **I1.0** a **I1.5**.

Salidas: Son denominadas por **Qn.m**, donde **n** identifica el octeto o byte de la imagen de proceso de salida (memoria), y **m** el número de bit al que corresponde en el byte. Por ejemplo **Q0.0** será el primer bit del primer octeto. El margen total de uso es de **Q0.0** a **Q7.7**. Las salidas físicas reales (a las que pueden conectarse los contactores del proceso) son: **Q0.0** a **Q0.7** y **Q1.0** a **Q1.1**.

Temporizadores: La operación temporizador de retardo a la conexión (TON) cuenta el tiempo al estar activada (ON) la entrada de habilitación. Si el valor actual (**Tn**) es mayor que o igual al valor de preselección (PT), se activa el bit de temporización (bit T). El valor actual del temporizador de retardo a la conexión se borra cuando la entrada de habilitación está en OFF. El temporizador continúa contando tras haber alcanzado el valor de preselección y para de contar cuando alcanza el valor máximo de 32767. La resolución viene determinada por el número del temporizador que muestra la tabla siguiente. El valor actual resulta del valor de conteo multiplicado por la base de tiempo. Por ejemplo, el valor de conteo 50 en un temporizador de 10 ms equivale a 500 ms.

Temporizador	Resolución	Valor máximo	Nº de temporizador
TON	1 ms	32.767 s	T32, T96
	10 ms	327.67 s	T33-T36, T97-T100
	100 ms	3276.7 s	T37-T63, T101-T255



Figura 11. Temporizador de retardo a la conexión

- a) En diagrama escalera y logigrama
- b) En listado de instrucciones

a) *Primer programa.* Denominado "Programa mezclado de tintas sin MMI Proyecto1", en el cual se han usado las acciones *set* y *reset* disponibles para el PLC. En la primera parte del programa (Networks 1 a 9) se implementa los cerrojos de las cuatro etapas del grafcet. En la segunda parte del programa (Networks 10 a 14) se establecen las salidas reales del proceso (expresiones (2) a (6)). En la tercera parte del programa (Network 15) se

establecen las condiciones de emergencia (expresión (1)). Después de presentarse el programa en forma de logigrama, diagrama escalera y listado de instrucciones, se presenta el glosario de variables utilizado en el programa, con respecto a las direcciones de memoria del PLC.

b) *Segundo programa.* Denominado "Programa mezclado de tintas sin MMI Proyecto2", en el cual se ha codificado los cerrojos sobre la base de las compuertas NOR. En la primera parte del programa (Networks 1 a 5) se implementa los cerrojos de las cuatro etapas del grafcet. En la segunda parte del programa (Networks 6 a 10) se establecen las salidas reales del proceso (expresiones (2) a (6)). En la tercera parte del programa (Network 11) se establecen las condiciones de emergencia (expresión (1)). Después de presentarse el programa en forma de logigrama, diagrama escalera y listado de instrucciones, se presenta el glosario de variables utilizado en el programa, con respecto a las direcciones de memoria del PLC.

Las conexiones reales de los dispositivos de campo al PLC son mostradas en la figura 12.

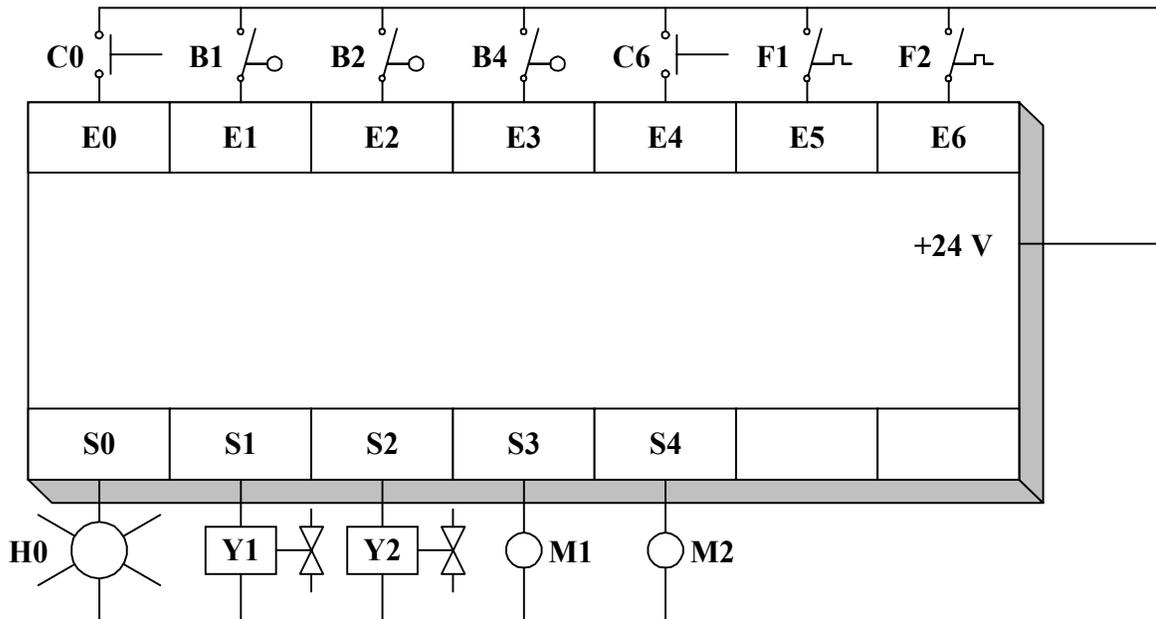


Figura 12. Conexiones de entradas y salidas del PLC

DESARROLLO DEL INTERFACE HOMBRE MÁQUINA MMI. El software que se utiliza para desarrollar el interface hombre máquina es el In Touch de Wonderware, en su versión Factory Suite 2000 [4]. Se han seguido los siguientes pasos en su desarrollo:

- Elaboración de los elementos gráficos y ventanas.
- Definición de las variables o "tags" y enlace de los elementos gráficos del MMI.
- Desarrollo del "script" o programa.
- Enlace del MMI con el PLC.

Los pasos anteriores serán descritos a continuación.

Elaboración de los elementos gráficos y ventanas. En la elaboración del interface hombre máquina ha sido necesario elaborar sólo una ventana denominada **Primera**, que es mostrada en la figura 13. Esta es una ventana del tipo "replace", es decir, que si hubiese otras ventanas en la aplicación, al abrirse la ventana **Primera**, cuando se está en el modo "runtime" (corriendo), se cerrarían todas aquellas ventanas que tocarse.

Los elementos gráficos que se encuentran en la ventana fueron dibujados u obtenidos de librerías denominadas "wizard".

Definición de las variables del proceso o "tags" y enlace con los elementos gráficos del MMI. Varios de los elementos gráficos que serán descritos, cambiarán sus propiedades (visibilidad, porcentaje de llenado, etc.), de acuerdo con la evolución del proceso real, produciéndose una "animación" de lo que está sucediendo en la realidad. Para lograr ésta animación se deben relacionar los elementos gráficos con variables de diferentes tipos (discretas o booleanas, enteras, etc.), denominadas "tags".

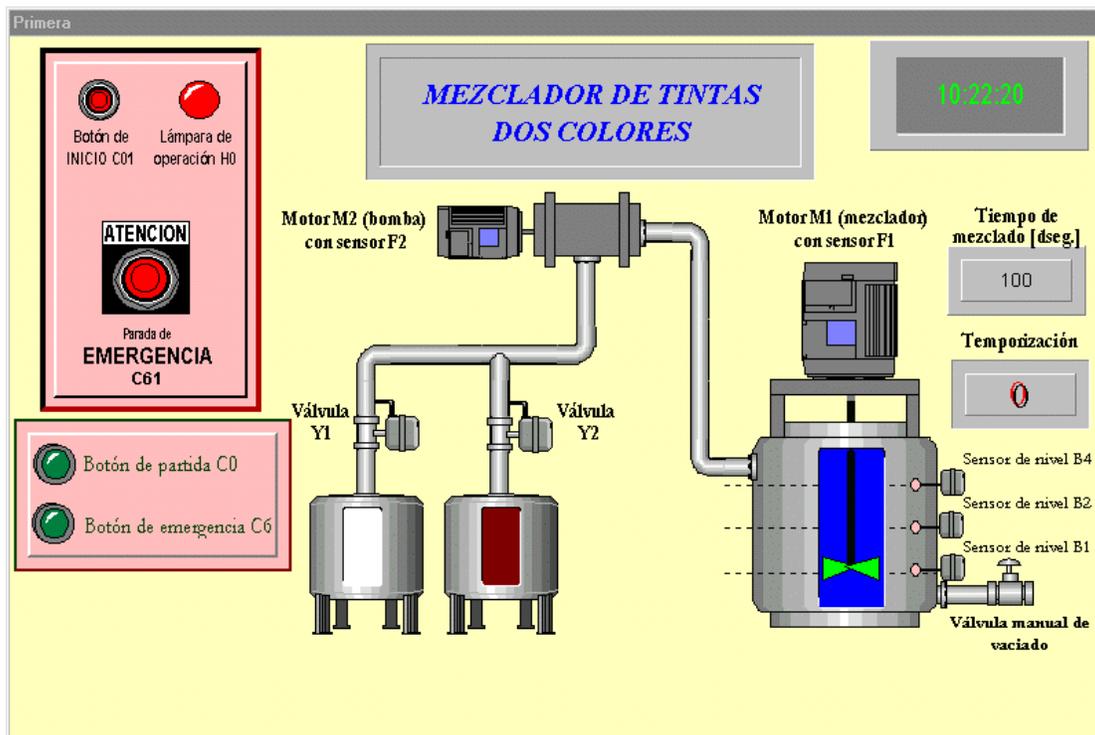


Figura 13. Ventana **Primera** del MMI.

En el presente proyecto se han utilizado los siguientes tipos de tags:

I/O discrete. Se trata de una variable que relaciona una entrada o salida digital real del PLC, tales como botoneras, fines de carrera, contactores, etc.

Memory discrete. Se trata de una variable digital que utiliza solamente el In Toeh para fines de animación.

I/O integer. Se trata de una variable que relaciona un registro o palabra de dos bytes del PLC. Con este tipo de variable se maneja números enteros positivos, tales como valores de temporización o contadores.

Memory integer. Se trata de una variable que maneja números enteros positivos que utiliza solamente In Touch.

En general, las propiedades posibles de cambiar de los elementos gráficos se resumen en la figura 14, que es la ventana de animación de In Touch:

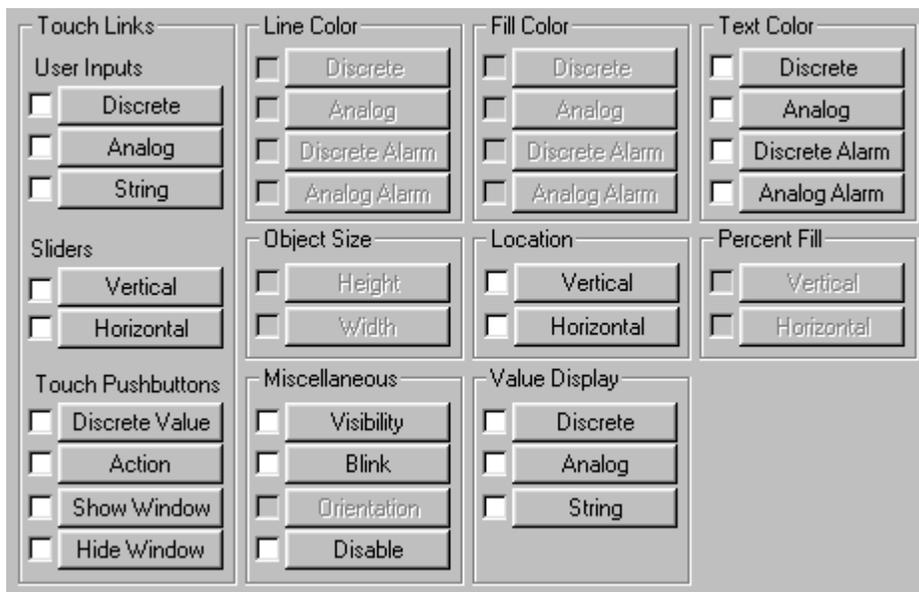


Figura 14. Ventana de animación de In Touch.

La definición de los tags, y su enlace con los elementos gráficos del proceso de mezclado de tintas, se ha realizado de la siguiente manera: en la parte izquierda de la ventana **Primera** se encuentran dos paneles, que son elementos gráficos utilizados sólo con fines de presentación. En el primero se encuentran los siguientes elementos gráficos:

Botón de INICIO C01, que es el botón de inicio "remoto", es decir, que permite iniciar el proceso desde la PC en la que funciona el MMI. Es un elemento wizard que cambia de color al estar accionado: rojo si no está accionado, verde si está accionado. El tag relacionado es: **C01**, del tipo I/O discrete, propiedad que se modifica: *Fill Color*, botonera con acción directa.

Lámpara de operación H0, permite ver si el proceso se está desarrollando. Es un elemento wizard, que cambia al color: rojo si el proceso está detenido, y al verde si el proceso se está desarrollando. El tag relacionado es: **H0**, del tipo I/O discrete, propiedad que se modifica: *Fill Color*

Parada de EMERGENCIA C61, que es el botón que permite detener el proceso, no importa en que estado se encuentre, desde el MMI. Es decir, es un botón de parada "remoto". Es un elemento wizard. Cambia de color al estar accionado: rojo si no está accionado, verde si está accionado. El tag relacionado es: **C61**, del tipo I/O discrete, propiedad que se modifica: *Fill Color*, botonera con acción directa.

En el segundo panel se encuentran los elementos gráficos:

Botón de partida C0, muestra el accionamiento del botón de inicio "local", es decir, el botón que se encuentra en campo. Es un elemento wizard. Cambia de color al estar accionado el botón de campo: rojo si no está accionado, verde si está accionado. El tag relacionado es: **C0**, del tipo I/O discrete, propiedad que se modifica: *Fill Color*.

Botón de emergencia C6, muestra el accionamiento del botón de parada "local", es decir, el botón que se encuentra en campo. Es un elemento wizard. Cambia de color al estar accionado el botón de campo: rojo si no está accionado, verde si está accionado. El tag relacionado es: **C6**, del tipo I/O discrete, propiedad que se modifica: *Fill Color*.

En la parte superior se encuentran el elemento gráfico que muestra el título de la aplicación: MEZCLADOR DE TINTAS DOS COLORES, y el elemento gráfico de reloj, que permanentemente estará mostrando la hora actual.

En la parte central de la ventana se muestra el proceso, cuyos elementos gráficos son:

Tanque de alimentación tinta 1, representa el recipiente de donde se provee la tinta blanca al mezclador. Es un elemento wizard. Sin animación.

Tanque de alimentación tinta 2, representa el recipiente de donde se provee la tinta café al mezclador. Es un elemento wizard. Sin animación.

Visor de nivel tanque de tinta 1, es el elemento que permite ver el nivel de la tinta blanca en el primer tanque. Es un elemento wizard. Disminuye de tamaño gradualmente en forma vertical, cuando se bombea la tinta del tanque de alimentación de la tinta 1, al tanque de mezcla. El tag relacionado es **NivTan1**, del tipo memory integer, propiedad que se modifica *Percent Fill Vertical*.

Visor de nivel tanque de tinta 2, es el elemento que permite ver el nivel de la tinta café en el segundo tanque. Es un elemento wizard. Disminuye de tamaño gradualmente en forma vertical, cuando se bombea la tinta del tanque de alimentación de la tinta 2 al tanque de mezcla. El tag relacionado es **NivTan2**, del tipo memory integer, propiedad que se modifica *Percent Fill Vertical*.

Válvula Y1, es la válvula solenoide que permite el paso de la tinta 1 al tanque mezclador. Es un elemento wizard. Muestra que la "llave de paso" cambia del lado izquierdo cuando está desaccionada, al lado derecho, cuando está accionada. El tag relacionado de **Y1**, del tipo I/O

discrete, propiedad que se modifica *Visibility*. En realidad se trata de dos objetos, puestos en forma gráfica en el mismo sitio, uno con la llave a la izquierda, el otro con la llave a la derecha que se hacen visibles de acuerdo a si la variable **Y1** está activada o desactivada, respectivamente.

Válvula Y2, es la válvula solenoide que permite el paso de la tinta 2 al tanque mezclador. Es un elemento wizard. Muestra que la "llave de paso" cambia del lado izquierdo cuando está desaccionada, al lado derecho, cuando está accionada. El tag relacionado de **Y2**, del tipo I/O discrete, propiedad que se modifica *Visibility*. En realidad se trata de dos objetos, puestos en forma gráfica en el mismo sitio, uno con la llave a la izquierda, el otro con la llave a la derecha que se hacen visibles de acuerdo a si la variable **Y2** está activada o desactivada, respectivamente.

Motor M2, es el motor que acciona la bomba de tintas. Es un elemento wizard. Cambia de color al estar accionado el motor: plomo si no está accionado, verde si está accionado. El tag relacionado es: **M2**, del tipo I/O discrete, propiedad que se modifica: *Fill Color*.

Sensor F2, es el sensor térmico de protección del *motor M2*. Es un elemento dibujado. Está representado por un pequeño cuadrado azul encima del elemento gráfico *motor M2*. Cuando se accione, comenzará a cambiar de color entre azul y rojo en forma intermitente. El tag relacionado es **F2**, del tipo I/O discrete, propiedad que se modifica *Blink*.

Motor M1, es el motor que acciona el mezclador (compuesto por el eje y las paletas). Es un elemento wizard. Cambia de color al estar accionado el motor: plomo si no está accionado, verde si está accionado. El tag relacionado es: **M1**, del tipo I/O discrete, propiedad que se modifica: *Fill Color*.

Sensor F1, es el sensor térmico de protección del *motor M1*. Es un elemento dibujado. Está representado por un pequeño cuadrado azul encima del elemento gráfico *motor M1*. Cuando se accione, comenzará a cambiar de color entre azul y rojo en forma intermitente. El tag relacionado es **F1**, del tipo I/O discrete, propiedad que se modifica *blink*.

Paletas del mezclador, es el elemento que realiza la mezcla de las tintas en el tanque. Es un elemento dibujado. Está representado por dos triángulos puestos juntos, a manera de "mariposa". En el tiempo que se realice el mezclado, cambia de color en forma intermitente entre rojo y verde. El tag relacionado es **M1**, el mismo de l elemento *motor M1*, del tipo I/O discrete, propiedad que se modifica *blink*.

Tanque de mezcla, es el recipiente donde se mezclarán las tintas de ambos colores. Es un elemento wizard. Sin animación.

Visor de nivel tanque de mezcla, es el elemento que permite ver el nivel de la tinta en el tanque de mezcla, y también el cambio de color a medida que se mezclan las tintas. Es un elemento wizard. Encima del visor, que es un elemento sin animación, se encuentran dibujados tres rectángulos del mismo ancho que el visor y de alto apropiado, coincidentes con

los sensores de nivel, que muestran la forma en que se llena y mezclan las tintas y se describen a continuación.

Tinta 1 en el tanque de mezcla, es el elemento que permite ver el nivel de la primera tinta en el tanque de mezcla. Está representado por un pequeño rectángulo de color blanco puesto encima del visor del tanque de mezcla. Es un elemento dibujado. Aumenta de tamaño gradualmente en forma vertical, cuando se bombea la tinta 1 del tanque de alimentación, al tanque de mezcla. Está ajustado de manera que su tamaño coincida con el sensor de nivel B1. El tag relacionado es **NivTan3**, cuando adopta valores entre 0 y 25, del tipo memory integer, propiedad que se modifica *Percent Fill Vertical*. De otro lado, se hará invisible cuando se realice el mezclado y el vaciado del tanque. El tag relacionado es la negación lógica de **Ax1**, del tipo memory discrete, propiedad que se modifica *Visibility*. El tag Ax1 adopta el valor de 1 cuando el sensor de nivel B2 ha sido accionado y se han vaciado los tanques de alimentación de la tinta 1 y la tinta 2, detectados por los tags **F11** y **F12**, respectivamente.

Tinta 2 en el tanque de mezcla, es el elemento que permite ver el nivel de la segunda tinta en el tanque de mezcla, que se vierte encima de la primera. Está representado por un pequeño rectángulo de color café puesto encima del visor del tanque de mezcla, a continuación hacia arriba, del elemento gráfico anterior. Es un elemento dibujado. Aumenta de tamaño gradualmente en forma vertical, cuando se bombea la tinta 2 del tanque de alimentación, al tanque de mezcla. Está ajustado de manera que su tamaño coincida entre el sensor de nivel B1 y el sensor de nivel B2. El tag relacionado es **NivTan3**, cuando adopta valores entre 25 y 50, del tipo memory integer, propiedad que se modifica *Percent Fill Vertical*. De otro lado, se hará invisible cuando se realice el mezclado y el vaciado del tanque. El tag relacionado es la negación lógica de **Ax1**, del tipo memory discrete, propiedad que se modifica *Visibility*. El tag Ax1 adopta el valor de 1 cuando el sensor de nivel B2 ha sido accionado y se han vaciado los tanques de alimentación de la tinta 1 y la tinta 2, detectados por los tags **F11** y **F12**, respectivamente.

Tinta mezclada en el tanque, una vez que comienzan a funcionar las paletas del mezclador, el color de la tinta cambiará al color de la mezcla. Esto está representado por un rectángulo que cubre los dos elementos gráficos anteriores. Es un elemento dibujado. Se hará visible cuando se realice el mezclado. El tag relacionado es **Ax1**, del tipo memory discrete, propiedad que se modifica *Visibility*. El tag Ax1 adopta el valor de 1 cuando el sensor de nivel B2 ha sido accionado y se han vaciado los tanques de alimentación de la tinta 1 y la tinta 2, detectados por los tags **F11** y **F12**, respectivamente. De otro lado, mostrará también la disminución del nivel en el tanque cuando se abra la válvula manual de vaciado, disminuyendo de tamaño gradualmente en forma vertical. Está ajustado de manera que su tamaño coincida con el sensor de nivel B2. El tag relacionado es **NivTan3**, cuando adopta valores entre 50 y 0, del tipo memory integer, propiedad que se modifica *Percent Fill Vertical*.

Sensor de nivel B1, representado por una pequeña caja metálica, a la cual se ha adicionado una boya a través de una varilla. La boya y la varilla tendrán un desplazamiento angular cuando el sensor de nivel B1 se accione. Es un elemento dibujado. El tag relacionado es **B1**, del tipo I/O discrete, propiedad que se modifica *Visibility*. En realidad se trata de dos objetos, puestos en forma gráfica en el mismo sitio, uno cuando la boya y la varilla están en forma horizontal, el

otro con la boya y la varilla en forma oblicua, que se hacen visibles de acuerdo a si la variable **B1** está activada o desactivada, respectivamente.

Sensor de nivel B2, representado por una pequeña caja metálica, a la cual se ha adicionado una boya a través de una varilla. La boya y la varilla tendrán un desplazamiento angular cuando el sensor de nivel B2 se accione. Es un elemento dibujado. El tag relacionado es **B2**, del tipo I/O discrete, propiedad que se modifica *Visibility*. En realidad se trata de dos objetos, puestos en forma gráfica en el mismo sitio, uno cuando la boya y la varilla están en forma horizontal, el otro con la boya y la varilla en forma oblicua, que se hacen visibles de acuerdo a si la variable **B2** está activada o desactivada, respectivamente.

Sensor de nivel B4, representado por una pequeña caja metálica, a la cual se ha adicionado una boya a través de una varilla. La boya y la varilla tendrán un desplazamiento angular cuando el sensor de nivel B4 se accione. Es un elemento dibujado. El tag relacionado es **B2**, del tipo I/O discrete, propiedad que se modifica *Visibility*. En realidad se trata de dos objetos, puestos en forma gráfica en el mismo sitio, uno cuando la boya y la varilla están en forma horizontal, el otro con la boya y la varilla en forma oblicua, que se hacen visibles de acuerdo a si la variable **B4** está activada o desactivada, respectivamente.

Válvula manual de vaciado, que se encuentra en la parte inferior izquierda del tanque de mezclado, y representa la válvula por la cual se vacía el tanque de mezclado. Es un elemento wizard. Cuando se presiona la parte superior de la válvula con el mouse, haciendo que el accionador se desplace hacia abajo, la válvula se abre, vaciando el tanque de mezclado. El tag relacionado es **ValEsc**, del tipo memory discrete, propiedad que se modifica *Location Vertical*.

Para poder animar la forma en que las tintas son llevadas de los tanques de alimentación al tanque de mezcla, se han desarrollado tres elementos gráficos sobrepuestos de las tuberías de conexión, que se describen a continuación

Tuberías de conexión del tanque de alimentación de la tinta 1 al tanque de mezclado, representan las conexiones por las cuales la tinta 1 fluirá del tanque de alimentación a la bomba, y de allí al tanque de mezclado. Se hacen visibles con color blanco cuando se está realizando el transporte de la tinta 1. Son elementos wizard. El tag relacionado es **Y1**, del tipo I/O discrete, propiedades que se modifican *Visibility* y *Fill Color*.

Tuberías de conexión del tanque de alimentación de la tinta 2 al tanque de mezclado, representan las conexiones por las cuales la tinta 2 fluirá del tanque de alimentación a la bomba, y de allí al tanque de mezclado. Se hacen visibles con color café cuando se está realizando el transporte de la tinta 2. Son elementos wizard. El tag relacionado es **Y2**, del tipo I/O discrete, propiedades que se modifican *Visibility* y *Fill Color*.

Tuberías de conexión de los tanques de alimentación al tanque de mezclado, representan las conexiones de ambos tanques de alimentación a la bomba, y de allí al tanque de mezclado. Se hacen visibles con color metálico cuando no se está realizando el transporte de ninguna de las tintas. Son elementos wizard. Los tags relacionados son **Y1** y **Y2**, del tipo I/O discrete, propiedad que se modifica *Visibility*. Se hace visible cuando ni **Y1** ni **Y2** están activados

Bomba de tintas, representa el impulsor o bomba en sí. Es un elemento dibujado. Su animación es la misma que para las tuberías de conexión.

Tiempo de mezclado, representa en tiempo que el mezclador estará funcionando. En las especificaciones iniciales del proceso se estableció este tiempo en seis segundos, sin embargo, a fin de darle flexibilidad al tiempo de mezclado, se puede introducir por teclado el valor de décimas de segundo que se desee funcione el mezclador. Es un elemento wizard. El tag relacionado es **DTemp1**, del tipo I/O integer, propiedad que se modifica *User Input Analog*. Este valor se encuentra sobre un panel sin animación.

Temporización, representa el valor de temporizado, cuyo límite se establece en el elemento gráfico anterior. Es un elemento wizard. El tag relacionado es **Temp1**, del tipo I/O integer, propiedad que se modifica *Value Display*. Este valor se encuentra sobre un panel sin animación.

En la tabla 2 se muestra una lista completa de los tags o variables utilizadas en el interface hombre máquina y su relación con las entradas o salidas del PLC

No.	Variable o tag	Tipo		Familia PLC	Dirección
1	Ax1	Memory	Discrete		
2	B1	I/O	Discrete	S7200	I0.1
3	B2	I/O	Discrete	S7200	I0.2
4	B4	I/O	Discrete	S7200	I0.4
5	C0	I/O	Discrete	S7200	I0.0
6	C01	I/O	Discrete	S7200	Q3.0
7	C6	I/O	Discrete	S7200	I0.3
8	C61	I/O	Discrete	S7200	Q3.4
9	Dtemp1	I/O	Integer	S7200	VW0
10	F1	I/O	Discrete	S7200	I0.5
11	F2	I/O	Discrete	S7200	I0.6
12	F11	Memory	Discrete		
13	F12	Memory	Discrete		
14	H0	I/O	Discrete	S7200	Q0.0
15	M1	I/O	Discrete	S7200	Q0.3
16	M2	I/O	Discrete	S7200	Q0.4
17	NivTan1	Memory	Integer		
18	NivTan2	Memory	Integer		
19	NivTan3	Memory	Integer		
20	Temp1	I/O	Integer	S7200	T37
21	ValEsc	Memory	Discrete		
22	Y1	I/O	Discrete	S7200	Q0.1
23	Y2	I/O	Discrete	S7200	Q0.2

Tabla 2. Variables o tags del MMI y su relación con el PLC

Desarrollo del "script" o programa. El "script" o programa fue desarrollado sobre la base de las especificaciones funcionales del proceso y puede ser dividido para su análisis, en cinco partes. La primera parte es:

```

IF NivTan3 == 0 THEN
  NivTan1 = 25;
  NivTan2 = 25;
  NivTan3 = 0;
  Ax1=0;
  F11=0;
  F12=0;
ENDIF;

```

Este segmento del programa considera las condiciones iniciales del sistema, es decir, el tanque de mezclado está vacío (**NivTan3** = 0), los tanques de alimentación de ambas tintas están

lentos (**NivTan1** = 25, **NivTan2** = 25). Las variables auxiliares Ax1, F11 y F12 adoptan el valor cero.

La segunda parte del programa es:

```
IF Y1 THEN
  NivTan1 = NivTan1 - 1;
  NivTan3 = NivTan3 + 1;
  IF NivTan1 <= 0 THEN
    NivTan1 = 0;
  ENDIF;
  IF NivTan3 >= 25 THEN
    NivTan3 = 25;
  ENDIF;
  IF NivTan1 == 0 THEN
    F11=1;
  ENDIF;
ENDIF;
```

Corresponde al vaciado del tanque de alimentación de la tinta 1 (**NivTan1** disminuyendo), en el tanque de mezcla (**NivTan3** aumentando). Esto ocurre cuando la variable **Y1**, que es la salida de la válvula de la tinta 1, es accionada por el programa del PLC. Cuando la tinta 1 del tanque de alimentación se ha vaciado completamente (**NivTan1** = 0), la variable auxiliar **F11** se pone en uno. El objetivo de esta variable es servir de bandera o flag para detectar cuando el tanque de alimentación 1 se ha vaciado.

La tercera parte del programa es:

```
IF Y2 THEN
  NivTan2 = NivTan2 - 1;
  NivTan3 = NivTan3 + 1;
  IF NivTan2 <= 0 THEN
    NivTan2 = 0;
  ENDIF;
  IF NivTan3 >= 50 THEN
    NivTan3 = 50;
  ENDIF;
  IF NivTan2 == 0 THEN
    F12 = 1;
  ENDIF;
ENDIF;
```

Corresponde al vaciado del tanque de alimentación de la tinta 2 (**NivTan2** disminuyendo), en el tanque de mezcla (**NivTan3** aumentando, encima del valor que dejo el segmento de programa anterior). Esto ocurre cuando la variable **Y2**, que es la salida de la válvula de la tinta 2, es accionada por el programa del PLC. Cuando la tinta 2 del tanque de alimentación se ha

vaciado completamente (**NivTan2** = 0), la variable auxiliar **FI2** se pone en uno. El objetivo de esta variable es servir de bandera o flag para detectar cuando el tanque de alimentación 2 se ha vaciado.

La cuarta parte del programa es:

```
IF ValEsc THEN
  NivTan3 = NivTan3 - 1;
  IF NivTan3 <= 0 THEN
    NivTan3 = 0;
  ENDIF;
ENDIF;
```

Corresponde al vaciado del tanque de mezcla (**NivTan3** disminuyendo), cuando se ha accionado manualmente la válvula de escape (**ValEsc** = 1, en este caso con un click en el ratón sobre la gráfica de la válvula de escape).

La quinta y última parte de l programa es:

```
IF B2 AND FI1 AND FI2 THEN
  Ax1 = 1;
ENDIF;
```

Esta parte tiene por finalidad hacer que la variable auxiliar **Ax1** se ponga en 1, después que se ha accionado el sensor de nivel **B2**, es decir el tanque de mezclado ha sido llenado; mediante el vaciado de la tinta 1 (**FI1** =1) y el vaciado de la tinta 2 (**FI2** = 1).

El listado del programa completo se muestra a continuación:

```
IF NivTan3 == 0 THEN
  NivTan1 = 25;
  NivTan2 = 25;
  NivTan3 = 0;
  Ax1=0;
  FI1=0;
  FI2=0;
ENDIF;

IF Y1 THEN
  NivTan1 = NivTan1 - 1;
  NivTan3 = NivTan3 + 1;
  IF NivTan1 <= 0 THEN
    NivTan1 = 0;
  ENDIF;
  IF NivTan3 >= 25 THEN
    NivTan3 = 25;
```

```

ENDIF;
IF NivTan1 == 0 THEN
    F11=1;
ENDIF;
ENDIF;

IF Y2 THEN
    NivTan2 = NivTan2 - 1;
    NivTan3 = NivTan3 + 1;
    IF NivTan2 <= 0 THEN
        NivTan2 = 0;
    ENDIF;
    IF NivTan3 >= 50 THEN
        NivTan3 = 50;
    ENDIF;
    IF NivTan2 == 0 THEN
        F12 = 1;
    ENDIF;
ENDIF;

IF ValEsc THEN
    NivTan3 = NivTan3 - 1;
    IF NivTan3 <= 0 THEN
        NivTan3 = 0;
    ENDIF;
ENDIF;

IF B2 AND F11 AND F12 THEN
    Ax1 = 1;
ENDIF;

```

Enlace del MMI con el PLC. Para que el proyecto de automatización funcione, tanto con el PLC, como con el MMI, ambos deben ser enlazados. El software In Touch, como otras aplicaciones que corren bajo el sistema operativo Windows, utiliza el DDE (Dynamical Data Exchange o Intercambio Dinámico de Datos) para el intercambio de la información. Esto significa que es necesario utilizar un programa que permita traducir la información de DDE al protocolo de comunicaciones PPI (Point to Point Interface o Interface Punto a Punto) que utiliza el PLC para comunicarse con la PC, a través del puerto serial. Esto se realiza mediante un programa denominado DDE Server, que para el PLC Simatic S7 200 se denomina S7200PPI, desarrollado por la compañía Integrated Software Solutions, Inc. La comunicación se realiza con las siguientes características:

```

9600 Baud
8 Data bits
1 Stop bit

```

Parity Even

El programa del PLC ha sido modificado en dos elementos, a fin de poder ser utilizado junto con el MMI. Se ha puesto en paralelo con el botón de partida, la entrada **Co0**, el contacto **Co01**, que representa el otro botón de partida que se ha dibujado en el MMI. Se ha puesto también en paralelo con el botón de parada, la entrada **Co6**, el contacto **Co61**, que representa el otro botón de parada que se ha dibujado en el MMI. Si el botón de parada es un contacto normalmente cerrado, el contacto **Co61** será un también un contacto normalmente cerrado en serie con el anterior. Los programas desarrollados en el PLC para la automatización, incluyendo el MMI son los siguientes:

- c) *Tercer programa.* Denominado "**Programa mezclado de tintas con MMI Proyecto1**", en el cual se han usado las acciones *set* y *reset* disponibles para el PLC. Después de presentarse el programa en forma de logigrama, diagrama escalera y listado de instrucciones, se presenta el glosario de variables utilizado en el programa, con respecto a las direcciones de memoria del PLC. El programa se encuentra al final del proyecto.
- d) *Cuarto programa.* Denominado "**Programa mezclado de tintas con MMI Proyecto2**", en el cual se ha codificado los cerrojos sobre la base de las compuertas NOR. Después de presentarse el programa en forma de logigrama, diagrama escalera y listado de instrucciones, se presenta el glosario de variables utilizado en el programa, con respecto a las direcciones de memoria del PLC. El programa se encuentra al final del proyecto.

El desarrollo por imágenes de la automatización se encuentra en las siguientes figuras. El inicio del proceso puede ser realizado mediante un click del mouse en el dibujo del *Botón de INICIO C01* (mando "remoto"), tal como se muestra en la figura 15, o mediante el accionamiento del botón de inicio "local", en cuyo caso el dibujo de una luz piloto en el MMI, cuya denominación es *Botón de partida C0*, cambiará de color de verde a rojo, tal como se muestra en la figura 16.

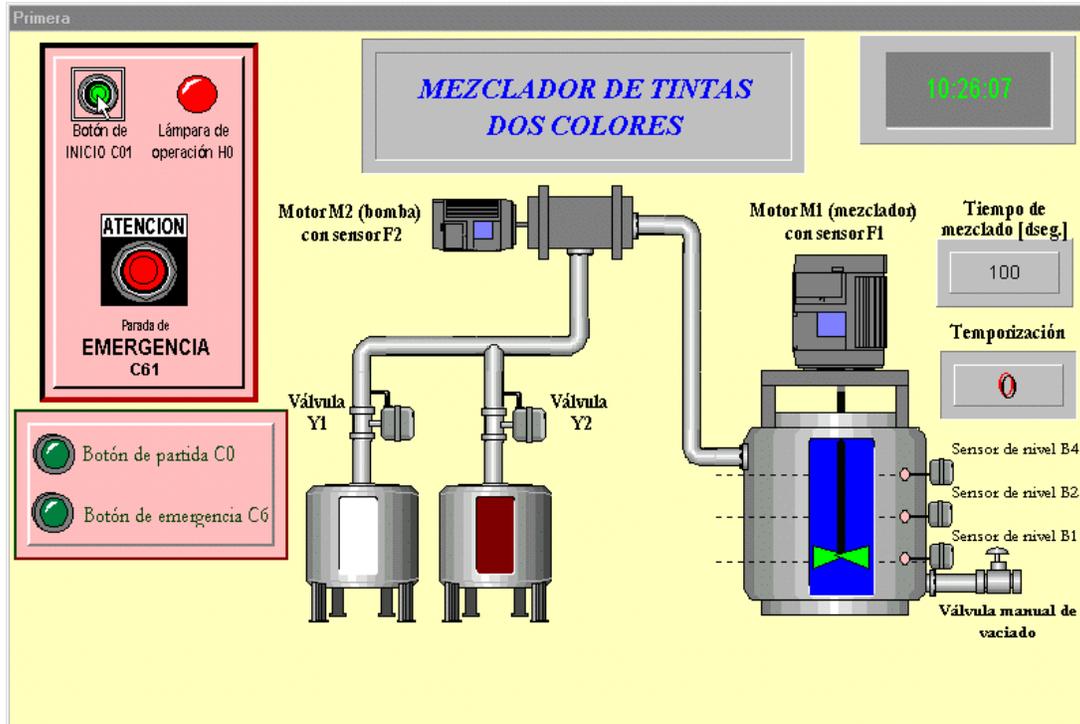


Figura 15. Inicio del proceso mediante mando "remoto".

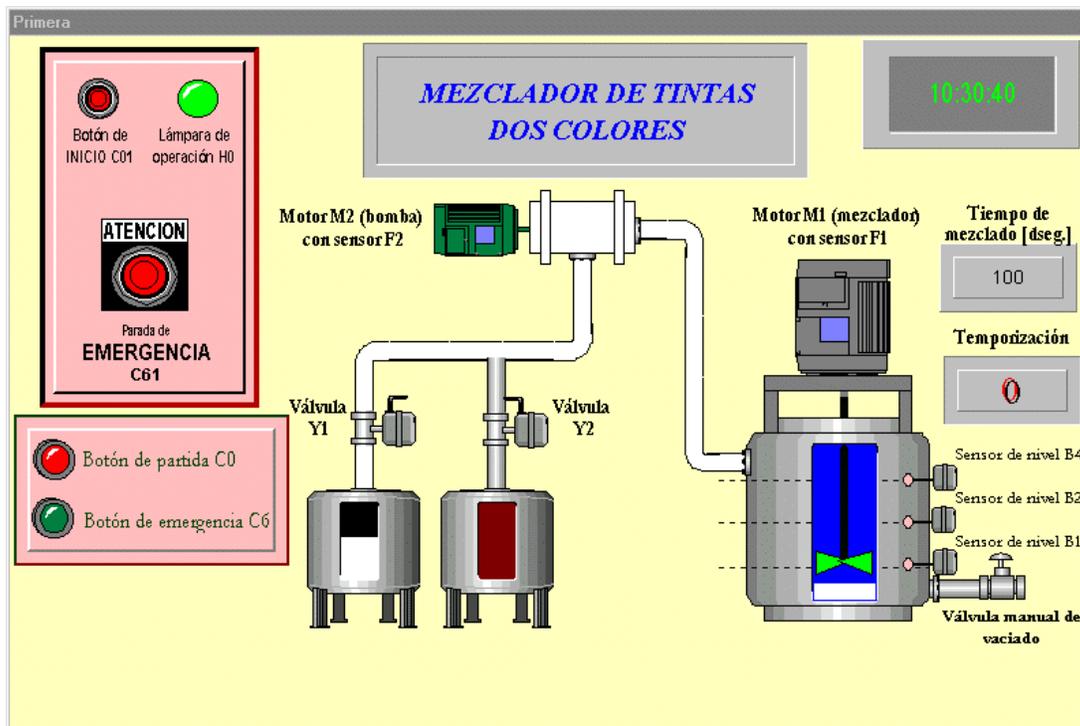


Figura 16. Inicio del proceso mediante mando "local".

Una vez que el sistema ha sido iniciado, la tinta blanca (primera tinta) es vaciada al tanque de mezclado, tal como se muestra en la figura 17 (esto su muestra también en la figura 15), el dibujo denominado *Lámpara de operación H0* cambiará de color rojo a verde, lo mismo que el dibujo *Motor M2 (bomba) con sensor F2* cambia a verde. El dibujo de las tuberías que conducirán la primera tinta cambiará al color blanco, y en el dibujo *Válvula Y1* el accionador de la válvula cambiará de lado.

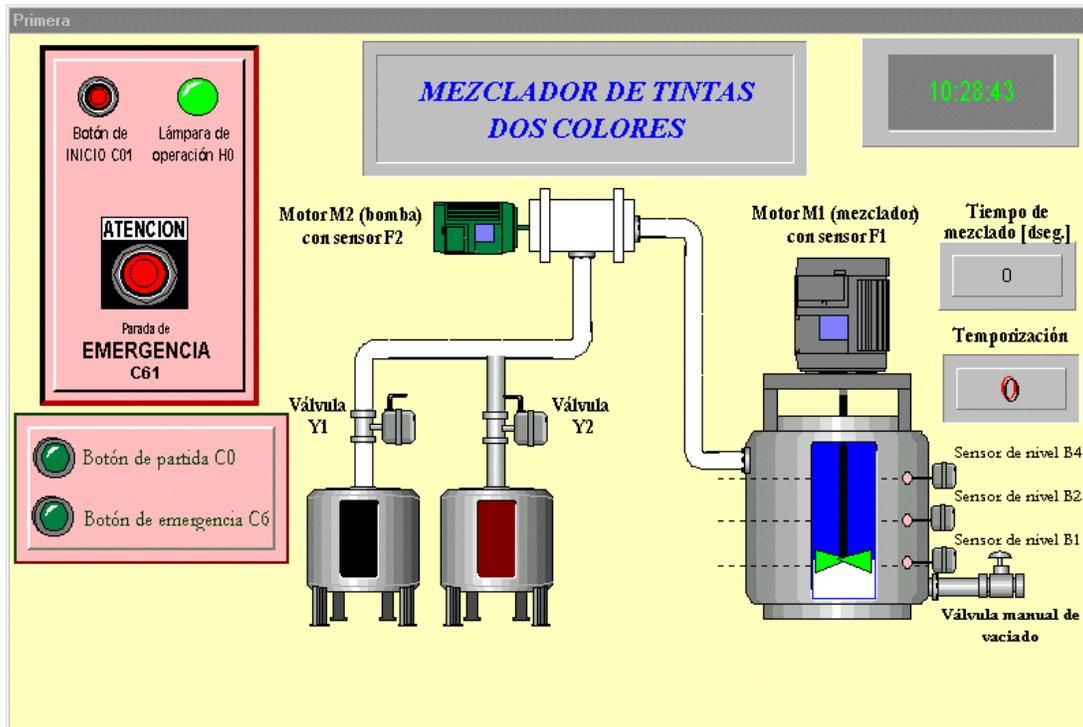


Figura 17. Vaciado de la primera tinta.

Cuando el sensor de nivel B1 ha sido accionado (la boya del dibujo sube), se inicia el vaciado de la segunda tinta (tinta café) al tanque de mezclado, tal como se muestra en la figura 18, el dibujo denominado *Lámpara de operación H0* sigue en verde, lo mismo que el dibujo *Motor M2 (bomba) con sensor F2*. El dibujo de las tuberías que conducen la segunda tinta cambiará al color café, y en el dibujo *Válvula Y2* el accionador cambiará de lado.

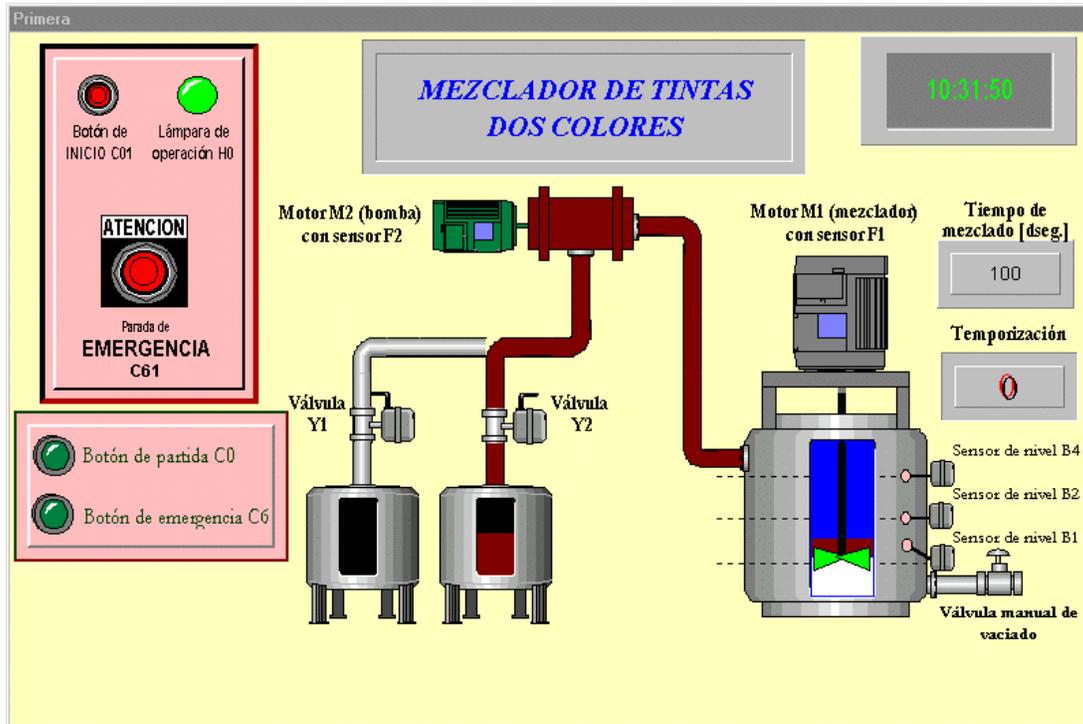


Figura 18. Vaciado de la segunda tinta.

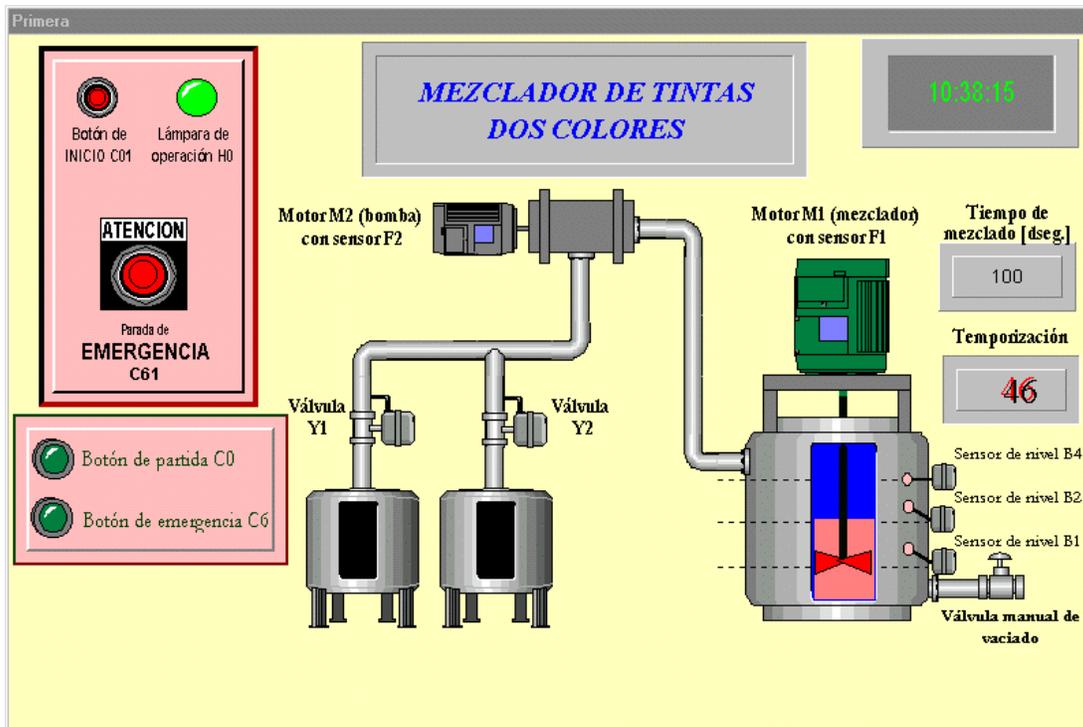


Figura 19. Mezclado de ambas tintas.

Una vez que se han vaciado las dos tintas, y que el *Sensor de nivel B2* ha sido accionado (la boya del dibujo sube), se inicia el mezclado. El dibujo *Motor M1 (mezclador)* con *sensor F1* cambia al color verde, la tinta en el tanque de mezclado cambia al color café claro, y la mariposa que representa el mezclador, que está dibujado dentro el tanque de mezcla, se pone de un color intermitente entre verde y rojo. Esto se muestra en la figura 19. La duración del mezclado, medido en décimas de segundo, está determinado por el valor que aparece en el dibujo *Tiempo de mezclado [dseg.]* y la forma en que transcurre el tiempo (valor del temporizador en el PLC), se muestra en el dibujo *Temporización*.

Terminada la mezcla, se deba hacer el vaciado manual del tanque. Esto se realiza pulsando con el mouse la válvula manual de vaciado, tal como se muestra en la figura 20.

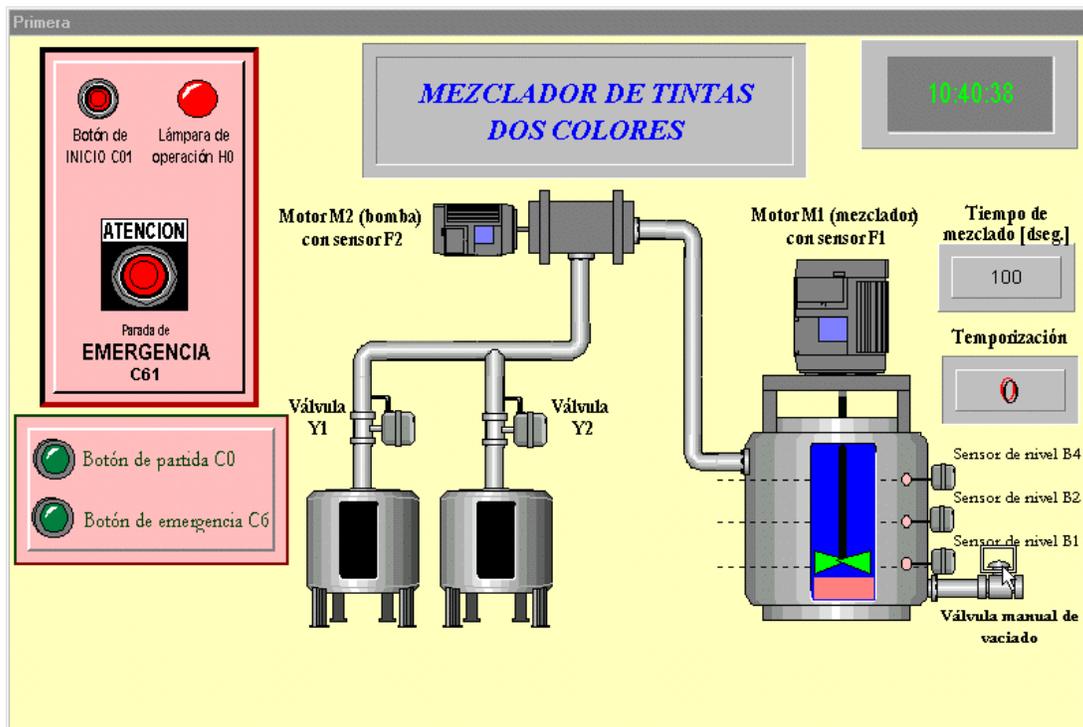


Figura 20. Vaciado manual del tanque de mezcla.

Las condiciones de emergencia que pueden presentarse en el desarrollo del programa, son descritas a continuación. Si se pulsa con el mouse el dibujo *Parada de EMERGENCIA C61*, (parada de emergencia "remota"), tal como se muestra en la figura 21, el programa será detenido sin importar en que estado se encuentre, y todas las salidas del PLC desactivadas. Para reiniciar el proceso, toda la tinta que quedó en el tanque de mezcla, debe ser vaciada manualmente.

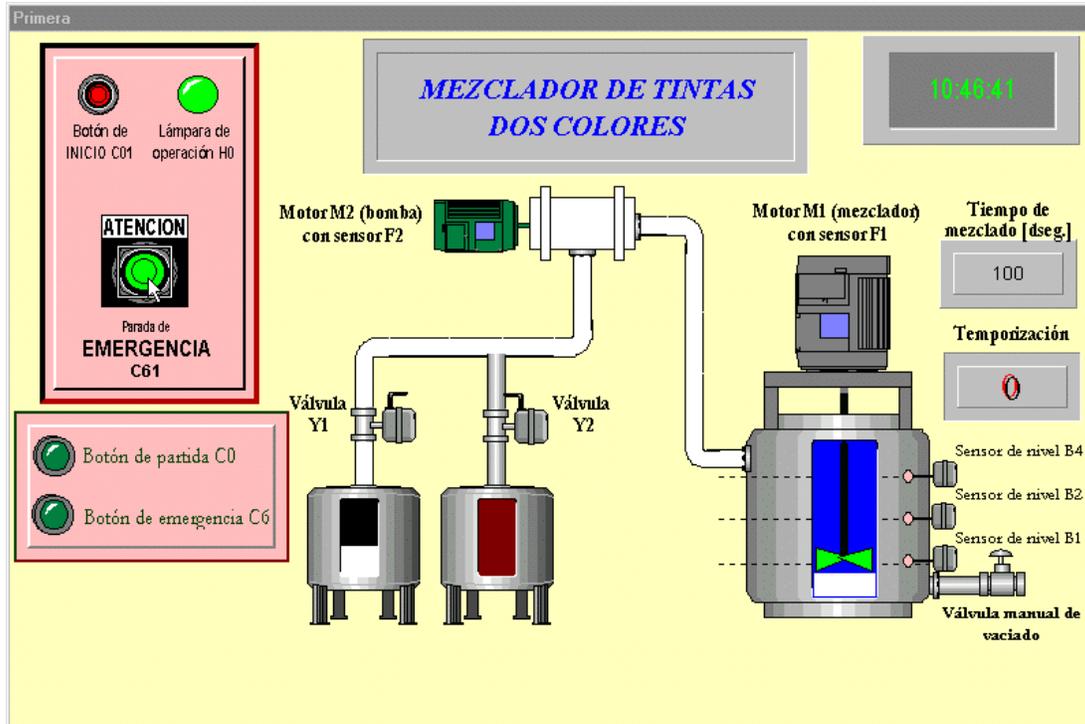


Figura 21. Parada de emergencia "remota".

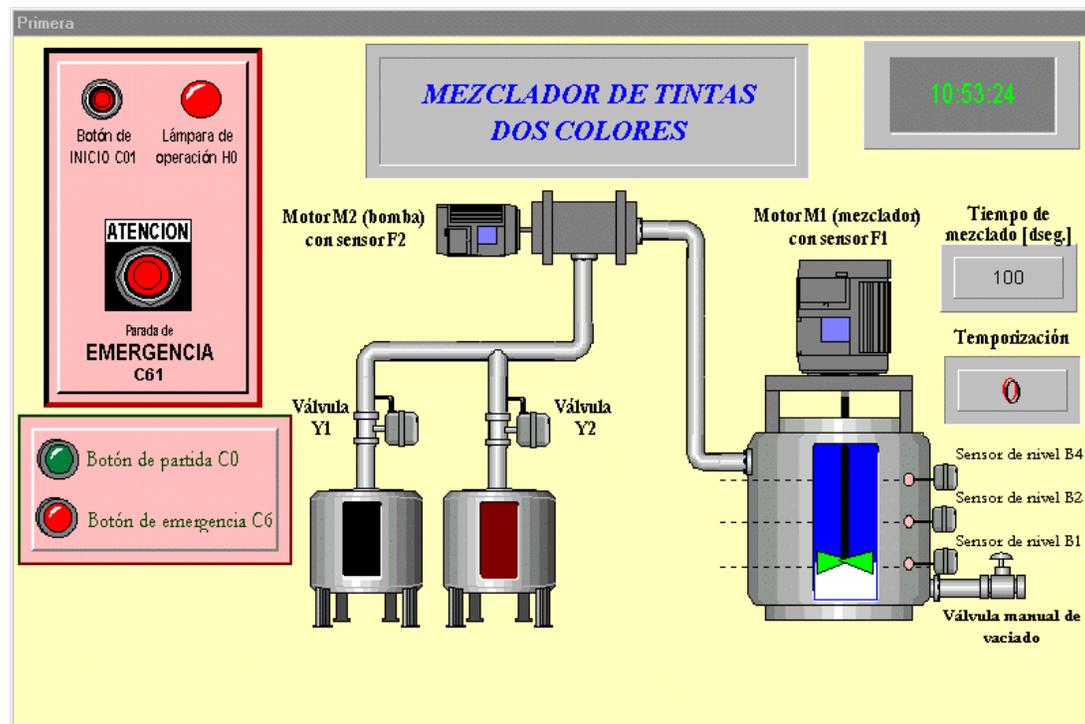


Figura 22. Parada de emergencia "local".

Si se pulsa la parada de emergencia "local", es decir, la botonera conectada como una entrada del PLC es accionada, entonces el color del dibujo *Botón de emergencia C6*, cambia de color verde a rojo. Esto se muestra en la figura 22. Como en el caso anterior, el programa será detenido sin importar en que estado se encuentre, y todas las salidas del PLC desactivadas. Para reiniciar el proceso, toda la tinta que quedó en el tanque de mezcla, debe ser vaciada manualmente.

Otra condición de emergencia se presenta si uno de los sensores térmicos de los motores es accionado. Cuando esto sucede, el pequeño cuadrado azul que se encuentra sobre el dibujo de cada uno de los motores, se mostrará intermitente entre rojo y azul, mostrando la falla. Esto se muestra en la figura 23. Nuevamente el programa será detenido sin importar en que estado se encuentre, y todas las salidas del PLC desactivadas. Para reiniciar el proceso, toda la tinta que quedó en el tanque de mezcla, debe ser vaciada manualmente.

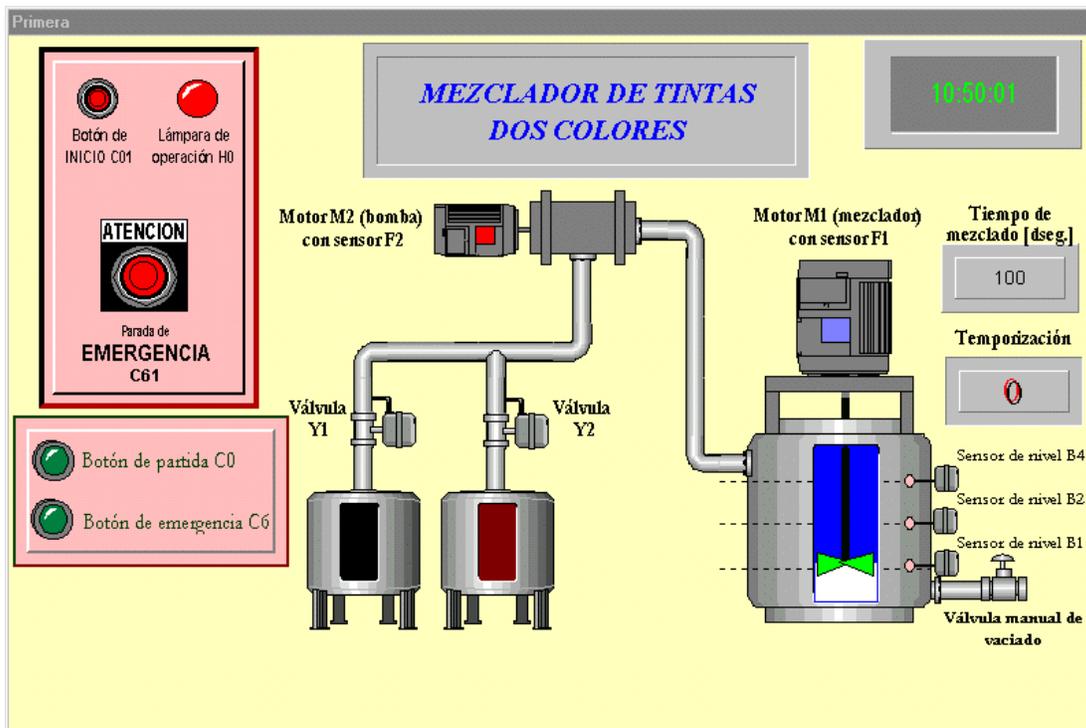


Figura 23. Sensor térmico del motor M2 activado.

A través de todas las gráficas anteriores se muestra la evolución de todo el sistema.

CONCLUSIONES. Se ha logrado desarrollar un proyecto de automatización que consta de dos partes: la programación del PLC, y el desarrollo del interface hombre máquina. El programa del PLC ha sido desarrollado utilizando el Grafcet, y codificado para un dispositivo siemens S7 214. Se han desarrollado dos programas: el primero utilizando los comandos *set - reset*, y el segundo exclusivamente utilizando los diagramas de contacto basados en compuertas nor.

El interface hombre máquina fue desarrollado en el software In Touch de Factory Suite 2000. Se ha desarrollado tanto los elementos gráficos, como el programa o "script" que permite la animación del proceso. Se han desarrollado también dos programas para el PLC, para su implementación con el MMI, tanto para comandos *set - reset* como para diagramas de contactos basados en compuertas nor.

Se han cumplido con los objetivos de realizar la automatización con la metodología Grafcet, en la realización del programa del PLC, y el desarrollo del interface hombre -máquina.

BIBLIOGRAFÍA.

- [1] René David, "Grafcet: A Powerful Tool for Specification of Logic Controllers", *IEEE Trans. on Control Systems Technology*, vol. 3, no. 3, pp. 253-268, September 1995.
- [2] René David, "Petri nets and Grafcet for specification of logic controllers", *IFAC Congress*, Sydney, vol. 3, pp. 335-340, July 1993.
- [3] Siemens AG, "Manual del sistema", *SIMATIC Sistema de automatización S7-200*, **6ES7298-8FA01-8DH0**, 1998.
- [4] Wonderware Corporation, *Wonderware Factory Suite InTouch User's Guide*, Revision B, May 1998.
- [5] André Simon, *Automatas Programables. Programación. Automatismo y Lógica Programada.*, Segunda Edición, Editorial Paraninfo S.A., 1991.
- [6] Elmer Ramirez Quiroga, *Controladores Lógicos Programables.*, CONCYTEC, Lima, Perú, 1997.
- [7] <http://www.dtr.fr/homepage/ydupont/grafcet/graf1.html>
- [8] <http://www.lurpa.ens-cachan.fr/grafcet/grafcet.html>
- [9] <http://www.unicous.com/html/1131.html>

NOTA IMPORTANTE. Este proyecto pretende mostrar al estudiante los pasos a seguir en la elaboración de un proyecto de automatización, con la metodología presentada en clases. Sin embargo, muchas de las explicaciones desarrolladas pueden ser obviadas, ya que se presentan en el trabajo con fines didácticos. Otros aspectos, como el plano de conexiones reales o de campo del proceso, debería estar realizado con normas de dibujo, y en una manera más detallada. En las conclusiones del proyecto se han anotado sólo las más obvias, por lo que en este punto debería introducirse todo la percepción personal del estudiante en la realización del proyecto. Un rubro que debe adicionar el estudiante y que no se presenta en este ejemplo es el referido a hacer un rápido balance del costo de implementación del proyecto.

BUENA SUERTE!!!!!!