

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ELCHE

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL



AUTOMATIZACIÓN DE UN PROCESO DE MEZCLADO INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Junio -2023

AUTOR: Manuel García Jiménez

DIRECTOR/ES: Adrián Peidro Vidal

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. Antecedentes	6
1.2. Objetivo	6
2. MATERIAL Y MÉTODOS	7
2.1. Métodos	7
2.1.1. Planteamiento	7
2.1.2. Solución y diagrama de estados	7
2.1.2.1. Solución	7
2.1.2.2. Diagrama de control	9
2.1.2.3. Explicación del proceso	9
2.2. Material	15
2.2.1. Autómata programable (PLC)	15
2.2.2. Tarjeta de ampliación	16
2.2.3. Actuadores	16
2.2.3.1. Motores	16
2.2.3.2. Bombas	17
2.2.3.3. Electroválvulas	17
2.2.3.4. Motor vibrador	18
2.2.3.5. Variador de frecuencia	18
2.2.5. Protecciones	20
2.2.5.1. Diferenciales	20
2.2.5.2. Magnetotérmicos	20
2.2.6. Fuente de alimentación de corriente continua	21
2.2.7. Fuente de alimentación de corriente alterna	21
2.2.8. Interruptores y pulsadores	21
2.2.9. Seta de emergencia	22
2.2.10. Software WinCC RT Profesional	22
3. IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN EN TIA PORTAL	23
3.1. Declaración de variables	23
3.2. Programa KOP	29
3.3. Implementación de la pantalla SCADA para el control	49
3.4. Cuadro de mando y control	50
4. RESULTADOS	52
5. CONCLUSIÓN Y PUESTAS A FUTURO	57
6. BIBLIOGRAFIA	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1	Proceso de producción antiguo.....	6
Ilustración 2	Diseño de la instalación I.....	8
Ilustración 3	Esquema de instalación II.....	9
Ilustración 4	Diagrama de control.....	9
Ilustración 5	Esquema GRAFCET.....	10
Ilustración 6	Bloque Inicial del GRAFCET.....	12
Ilustración 7	Bloque de proceso autónomo de GRAFCET.....	13
Ilustración 8	Bloque de selección de proceso de GRAFCET.....	14
Ilustración 9	Bloque de limpieza GRAFCET.....	15
Ilustración 10	S7-1214 AC/DC/RLY.....	16
Ilustración 11	SM1223 16DI/16DO.....	16
Ilustración 12	Motor monofásica con reductora.....	17
Ilustración 13	Bomba mono turbina monofásica.....	17
Ilustración 14	Electroválvula.....	18
Ilustración 15	Vibrador.....	18
Ilustración 16	Variador de frecuencia.....	19
Ilustración 17	Esquema de conexiones del variador de frecuencia.....	19
Ilustración 18	Contactador tripolar.....	20
Ilustración 19	Fuente de alimentación en corriente continua.....	21
Ilustración 20	Fuente de alimentación en corriente alterna.....	21
Ilustración 21	Interruptor ON/OFF.....	22
Ilustración 22	Seta de emergencia.....	22
Ilustración 23	Estado 0 GRAFCET.....	29
Ilustración 24	Estado 0 KOP.....	30
Ilustración 25	Estado 1 GRAFCET.....	30
Ilustración 26	Estado 1 KOP.....	31
Ilustración 27	Estado M2 GRAFCET.....	31
Ilustración 28	Estado 2 KOP I.....	32
Ilustración 29	Estado 2 monoestable KOP II.....	32
Ilustración 30	Estado 3', 7', 11' de GRAFCET.....	32
Ilustración 31	Estado 3', 7', 11' KOP.....	33
Ilustración 32	Estado 3 GRAFCET.....	33
Ilustración 33	Estado 3 KOP I.....	33
Ilustración 34	Estado 3 monoestable KOP II.....	34

Ilustración 35 Estado 4 GRAFCET	34
Ilustración 36 Estado 4 KOP.....	34
Ilustración 37 Estado 5 GRAFCET	35
Ilustración 38 Estado 5 KOP.....	35
Ilustración 39 Estado 5 monoestable KOP.....	35
Ilustración 40 Estado 6 GRAFCET	36
Ilustración 41 Estado 6 KOP I	36
Ilustración 42 Estado 7 GRAFCET	36
Ilustración 43 Estado 7 KOP.....	36
Ilustración 44 Estado 11 GRAFCET	37
Ilustración 45 Estado 11 KOP.....	37
Ilustración 46 Bloque tanque 2 GRAFCET	38
Ilustración 47 Salto del estado 7' al 10 KOP.....	38
Ilustración 48 Bloque tanque 3 GRAFCET	39
Ilustración 49 Salto del estado 11' al 14 KOP	39
Ilustración 50 Estado 15 GRAFCET	40
Ilustración 51 Estado 15 KOP.....	40
Ilustración 52 Estado 15' GRAFCET.....	40
Ilustración 53 Estado 15' KOP.....	41
Ilustración 54 Estado 16 GRAFCET	42
Ilustración 55 Estado 16 KOP II.....	42
Ilustración 56 Estado 17 GRAFCET	43
Ilustración 57 Estado 17 KOP II.....	43
Ilustración 58 Estado 18 GRAFCET.....	43
Ilustración 59 Estado 18 KOP.....	44
Ilustración 60 Estado 19 GRAFCET	45
Ilustración 61 Estado 19 KOP.....	45
Ilustración 62 Activación salidas KOP I.....	46
Ilustración 63 Activación salidas KOP II	47
Ilustración 64 Activación salidas KOP III.....	47
Ilustración 65 Activación salidas KOP IV	48
Ilustración 66 Activación salidas KOP V	48
Ilustración 67 Activación salidas KOP VI.....	49
Ilustración 68 Pantalla SCADA para control	50
Ilustración 69 Parte frontal del cuadro de mando	51
Ilustración 70 Interior del cuadro de mando	51
Ilustración 71 Imagen de planta I.....	52

Ilustración 72 Cuadro de mando EXTERIOR / INTERIOR.....	53
Ilustración 73 Instalación	54
Ilustración 74 Vertido de agua y agitación M01	54
Ilustración 75 Vertido macromolécula M3.....	55
Ilustración 76 Electroválvula 2	55
Ilustración 77 Vaciado del tanque.....	56



1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

MAGUEY TECHNOLOGY GREEN, S.L es una empresa dedicada a la fabricación de productos orgánicos y de aplicación en el campo cuya finalidad es dotar de nutrientes a la tierra y producir un ahorro del consumo de agua necesaria, evitando que esta se infiltre por los estratos inferiores de la tierra. Ahorrando según los estudios realizados por la propia empresa hasta un 40% del agua de riego que normalmente se emplearía.

1.2. Objetivo

El producto ha estado siendo realizado de manera puramente artesanal mediante el mezclado de agua, una macropartícula y unos aditivos para dotar a las plantaciones de nutrientes.



Ilustración 1 Proceso de producción antiguo

Por ello se pretende llevar el proceso de producción al siguiente nivel, siendo la finalidad de este trabajo fin de máster el desarrollar e implementar la automatización del proceso. Partiendo desde la idea de la formación del proceso hasta su instalación en un autómatas programable.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Métodos

2.1.1. Planteamiento

Para la automatización del proceso primero debemos de conocer el proceso de formación del producto. Los ingredientes que lo forman son agua, una macromolécula vegetal que vienen en forma de gránulos finos y unos aditivos que se preparan de manera autónoma.

Los pasos a seguir para la formación del proceso van a ser los siguientes:

1. Se añade agua al recipiente donde se va a realizar el producto.
2. Se añaden los aditivos una vez se haya llenado medio deposito.
3. Se mezclan con un agitador el agua y los aditivos.
4. Mientras se siga llenando el tanque se añade la macromolécula de manera dosificada para evitar la formación de grumos al entrar en contacto con el agua, ya que esta tiende a hincharse cuando entra en contacto con el agua.
5. Se termina de llenar el tanque con agua.
6. Se termina de agitar para integrar bien todos los elementos.
7. Se envasa el producto directamente desde el tanque de proceso.

Con los pasos conocidos para la formación del producto ahora pasaremos al planteamiento diseñado para la instalación.

Se desea que la instalación trabaje en tres tanques de manera automática y simultánea, de modo que, ajustándonos a las condiciones de producción, se pueda elegir trabajar con uno, dos o los tres tanques al mismo tiempo en función de las necesidades de producción. Además, contará con unos depósitos intermedios donde podremos almacenar el producto hasta que se envíe a su envasado.

2.1.2. Solución y diagrama de estados

2.1.2.1. Solución

Se ha planteado que la instalación estará repartida en dos niveles, en la parte de arriba o primer nivel se encontrará tres tanques de 1000 litros donde se dispondrán de agitadores

para realizar el proceso de mezcla, dichos tanques cuentan con entradas para el agua y los aditivos, además se añadirán unos alimentadores vibratorios de bajo caudal para impulsar de manera dosificada la macromolécula al tanque.

Cuando el producto haya terminado su formación se dispondrá de una boca en el fondo de cada tanque que se abrirá mediante el uso de una electroválvula y el producto caerá al almacenamiento interno. Dicho deposito intermedio será un GRG (Gran Recipiente para mercancías a Granel) con capacidad para 6000 litros. El producto almacenado se enviará a su envasado a través de una bomba.

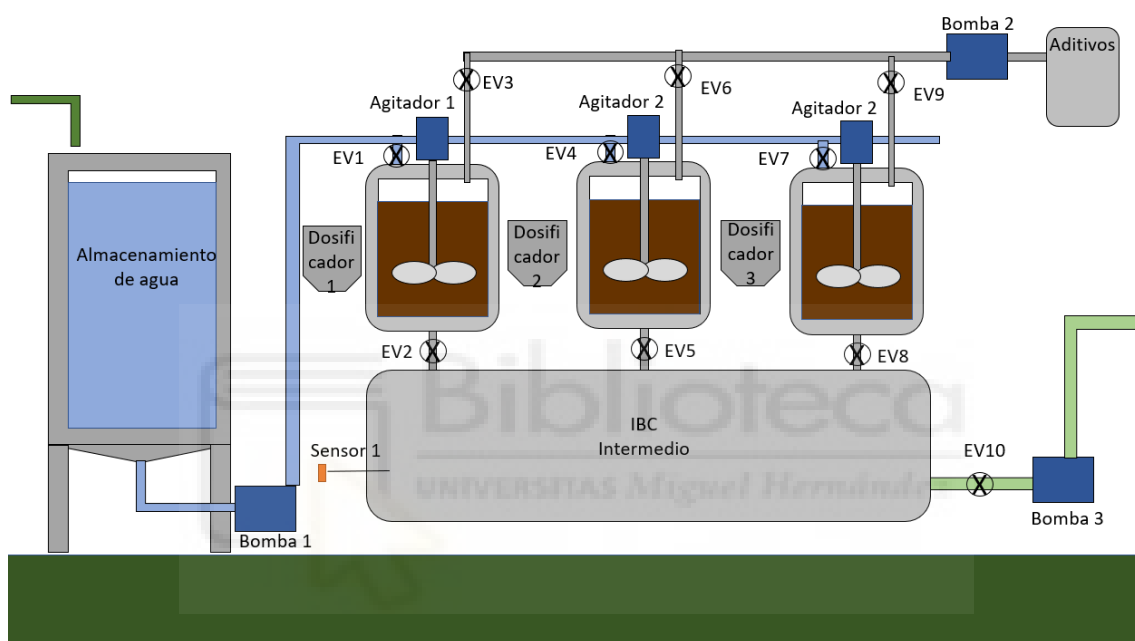


Ilustración 2 Diseño de la instalación I

La instalación constará de un depósito de agua desde el cual servirá como almacenamiento por si surge una avería en la red. El agua se impulsará mediante el uso de una bomba hacia los depósitos.

Está previsto que, al finalizar la jornada, como el producto realizado presenta cierta viscosidad es conveniente hacer una limpieza del tanque. Por ello, para no desperdiciar el agua con el que se limpia el tanque, se reutilizaría esa agua para hacer el primer producto del día, evitando el desperdicio.

Siendo el resultado deseado el siguiente:

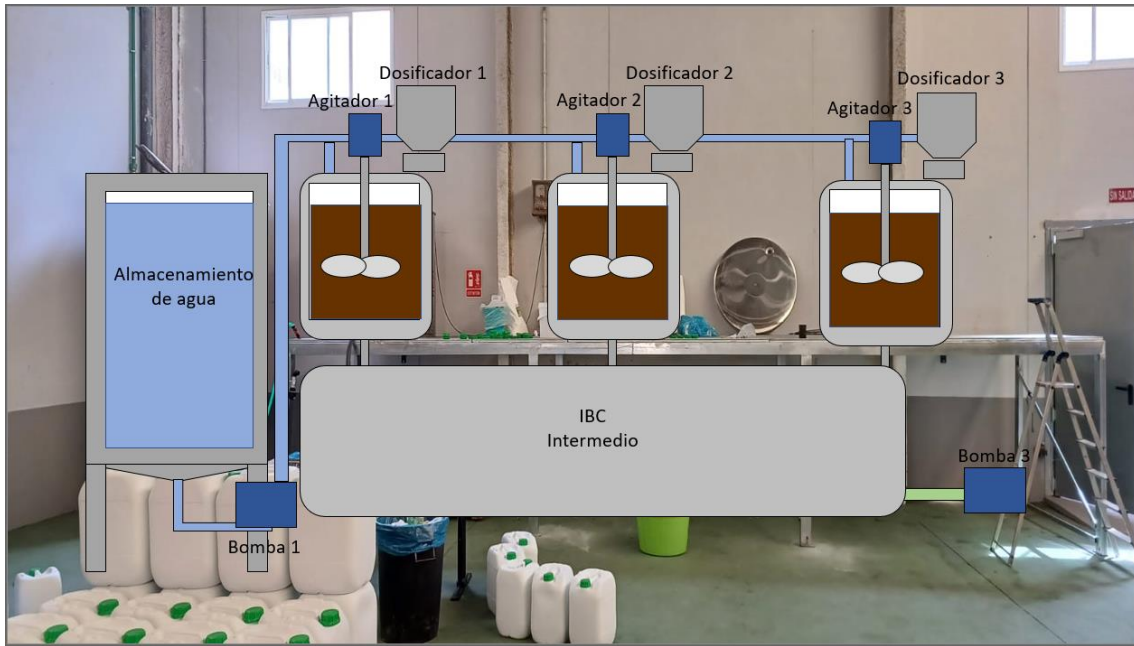


Ilustración 3 Esquema de instalación II

2.1.2.2. Diagrama de control

Para la resolución de la automatización emplearemos un controlador que será activado gracias a pulsadores o al uso de una pantalla HMI (Human Machines Interface) de modo que será el encargado de realizar la activación y desactivación de los actuadores que se han planteado.

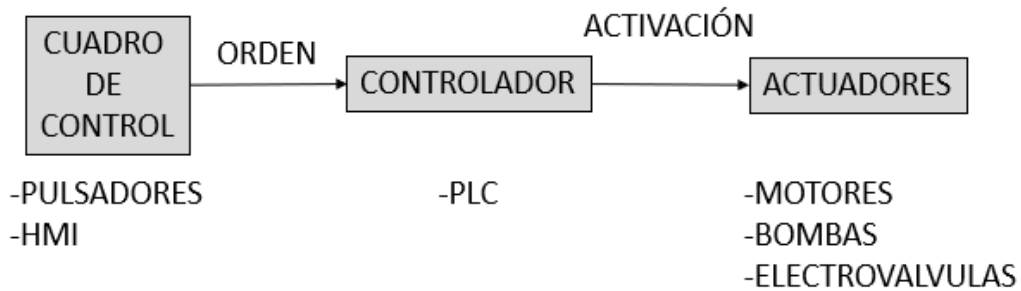


Ilustración 4 Diagrama de control

2.1.2.3. Explicación del proceso

Para poder plantear la automatización del proceso se ha usado la herramienta grafica GRAFCET, y se ha desarrollado el siguiente esquema para la ejecución del proceso:

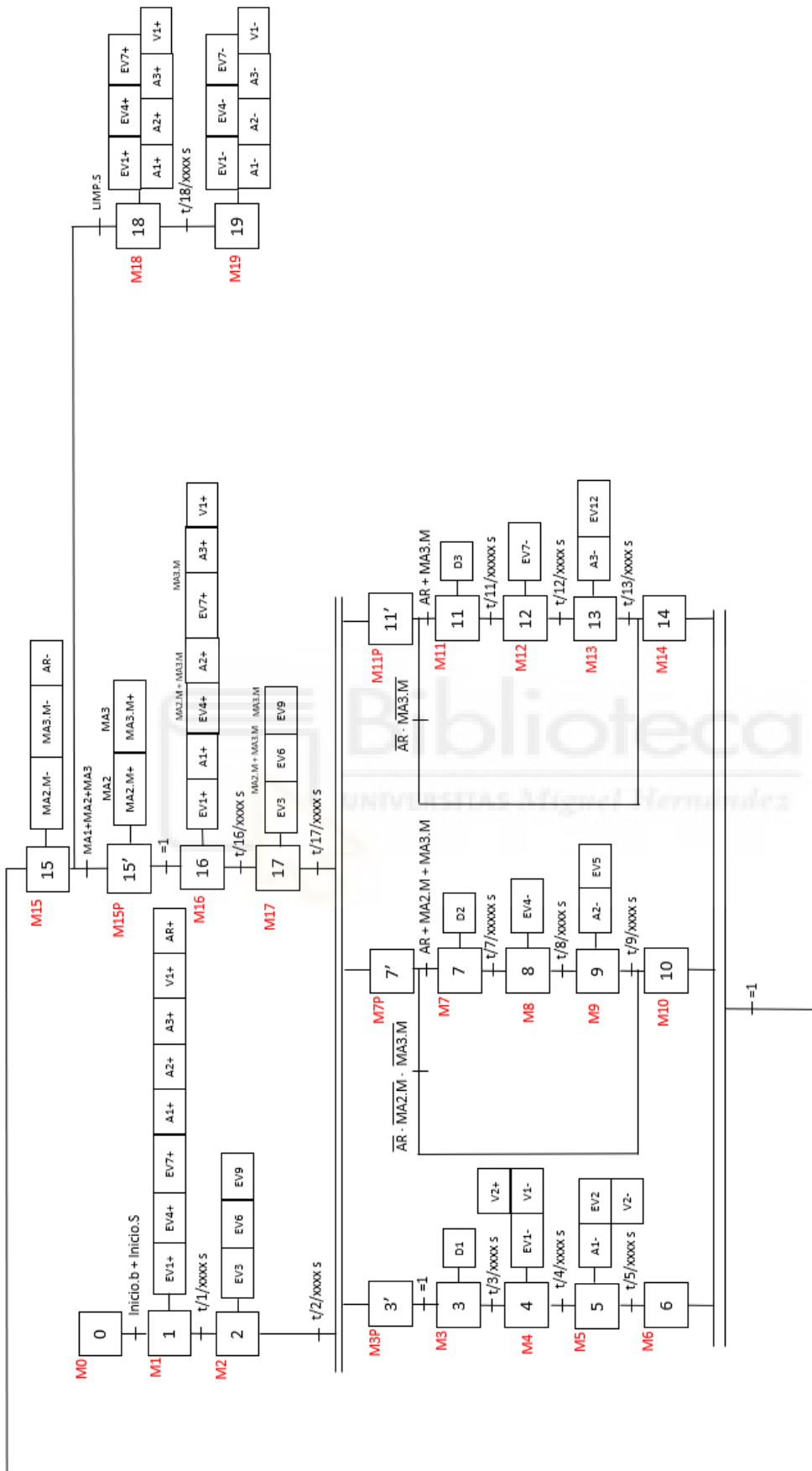


Ilustración 5 Esquema GRAFCET

Tabla 1 Nombre de actuadores y marcas del GRAFCET

Nombre	Descripción de la función
EV1	Electroválvula que va del depósito de agua al tanque 1
EV2	Electroválvula que va del tanque 1 al GRG
EV3	Electroválvula que va del depósito de los aditivos al tanque 1
EV4	Electroválvula que va del depósito de agua al tanque 2
EV5	Electroválvula que va del tanque 2 al GRG
EV6	Electroválvula que va del depósito de los aditivos al tanque 2
EV7	Electroválvula que va del depósito de agua al tanque 3
EV8	Electroválvula que va del tanque 3 al GRG
EV9	Electroválvula que va del depósito de los aditivos al tanque 3
EV10	Electroválvula que va del GRG al envasado
A1	Agitador del tanque 1
A2	Agitador del tanque 2
A3	Agitador del tanque 3
D1	Dosificador del tanque 1
D2	Dosificador del tanque 2
D3	Dosificador del tanque 3
MA1	Pulsador en SCADA para hacer el proceso del tanque 1
MA2	Pulsador en SCADA para hacer el proceso del tanque 1 y 2
MA3	Pulsador en SCADA para hacer el proceso del tanque 1,2 y 3
LIMPS	Pulsador en SCADA para hacer el proceso de limpieza
MA2.M	Marca interna para indicar que se ha accionado MA2
MA3.M	Marca interna para indicar que se ha accionado MA3
V1	Velocidad 1 para los agitadores
V2	Velocidad 2 para los agitadores

Este sería el esquema del conjunto y ahora analizaremos el esquema paso a paso:

- Bloque inicial

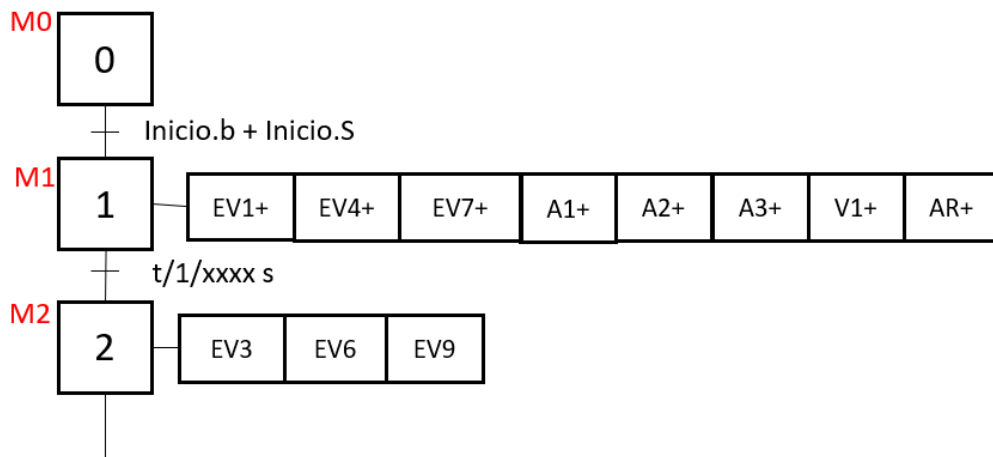


Ilustración 6 Bloque Inicial del GRAFCET

El estado 0 sería el arranque del autómatas donde se iniciaría con sus variables internas, para pasar al estado 1 deberemos de estar en el estado 0 y pulsar *Inicio.b* (botón físico para el arranque colocado en el cuadro de mando) o *Inicio.S* (botón colocado en la pantalla de control del SCADA).

El estado 1 activaría EV1, EV4, EV7, A1, A2, A3, V1 y AR. Esto impulsaría el agua al tanque y activaría los agitadores de cada tanque a la velocidad programada 1. Para pasar al estado 2 dispondremos de un temporizador con el tiempo equivalente al llenado del medio depósito.

El estado 2 activaría EV3, EV6, EV9. Donde impulsáramos los aditivos a los tanques de procesos. Para pasar al siguiente nivel se dispondrá de un temporizador con el tiempo equivalente a la cantidad necesaria de aditivos.

- Bloque de proceso autónomo de cada tanque

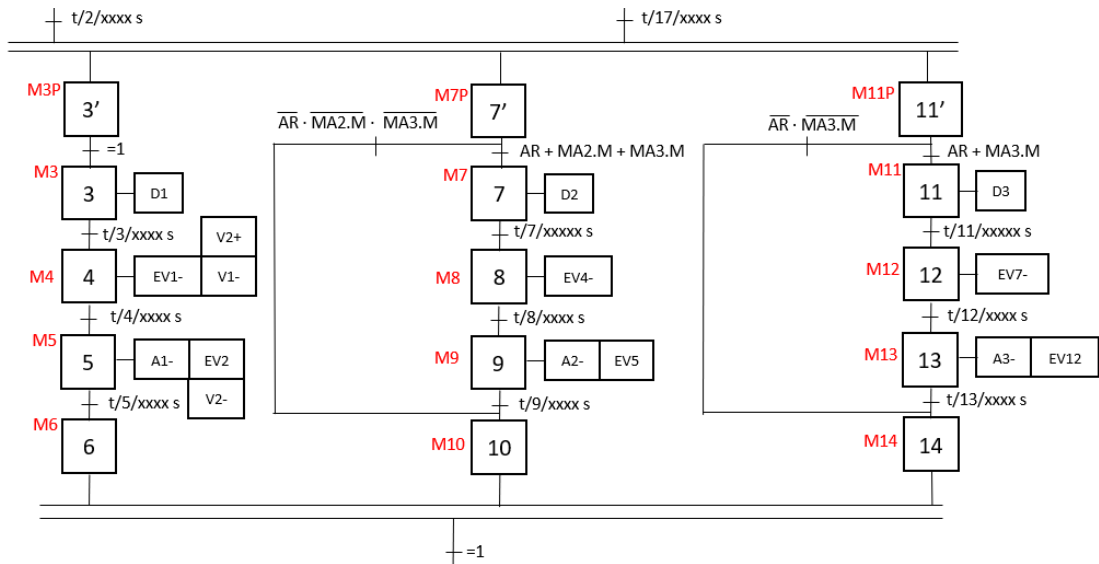


Ilustración 7 Bloque de proceso autónomo de GRAFCET

Una vez hayamos terminado el estado de inicio pasaríamos a la fase común que siempre se va a repetir en cada tanque y que va a llevar su proceso automático independiente respecto de los otros tanques.

La única diferencia de los procesos es que el tanque 1 siempre va a estar trabajando, independientemente de cuantos tanques estén trabajando.

En el estado 3' se inicia automáticamente después del estado de 2 o del estado 17 y pasaría automáticamente al estado 3. A diferencia de sus homólogos el estado 7' o el estado 11' estos pueden saltar directamente a los estados 10 y 14 si no están activas las marcas de AR, MA2.M ni MA3.M para el tanque 2, y para el tanque 3 no debe estar activa AR y MA3.M. En el caso de que alguna de estas condiciones esté encendida pasaría a los estados 7 y 11.

Como los procesos van a ser los mismos para los tres tanques, solamente se va a explicar el procedimiento para el tanque 1, es decir los estados que van de 3' a 6.

En el estado 3 tendremos la activación de D1. Los siguientes estados correspondientes al proceso es el 4, solo se podrá acceder cuando hayamos pasado el tiempo dispuesto, desactivando EV1 cerrando el agua procedente del depósito de agua y haciendo el cambio de V1 a V2. Para pasar al estado 5 tendrá que transcurrir un tiempo.

En el estado 5 se desactiva A1 y V2, y se activa EV2, para pasar al estado 6 tendremos otro temporizador para medir el tiempo de paso del producto desde el tanque al GRG intermedio, donde el producto caerá por gravedad.

El estado 6 esperará a que el resto de los tanques lleguen a los estados 10 y 14 para pasar al estado 15.

- Bloque de selección de proceso

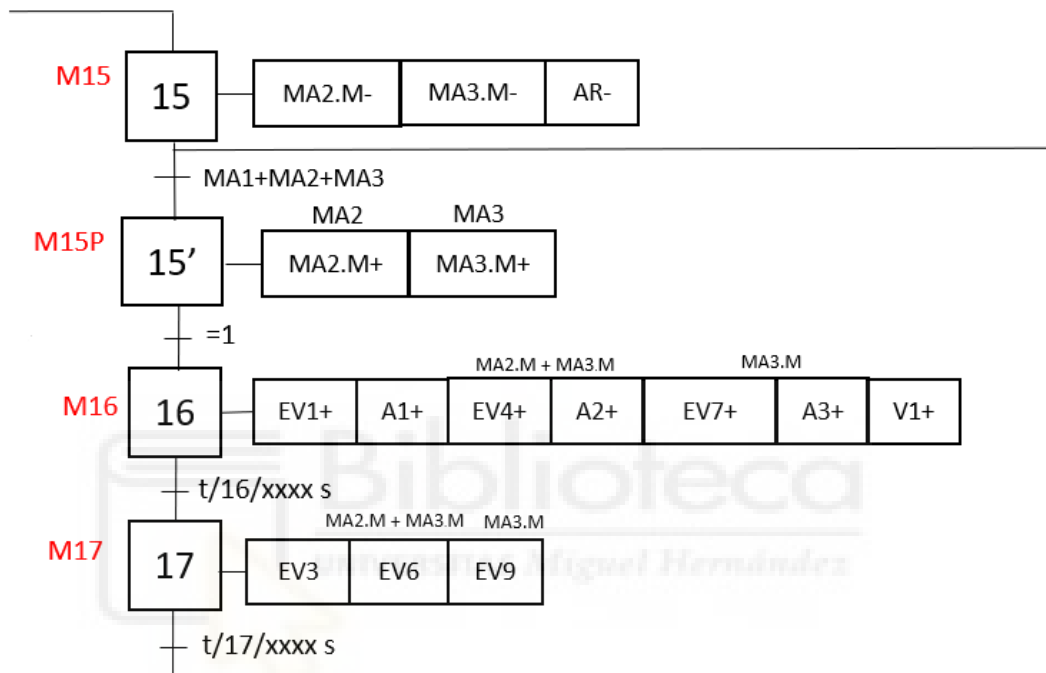


Ilustración 8 Bloque de selección de proceso de GRAFCET

En el estado 15 se desactivarían las marcas AR, MA2.M y MA3.M. Dependiendo del tipo de selección de procesos pasaremos al estado 15' si pulsamos algunos de los botones para inicio de proceso (MA1, MA2, MA3) o al estado de limpieza (estado 18) si pulsamos el botón de limpieza (LIMP.S).

Si pulsamos MA1 o MA2 o MA3 pasaremos al estado 15' en dicho estado se activará la marca MA2.M si hemos pulsado MA2 o se activará MA3.M si hemos pulsado MA3. Pasar al estado 16 será de manera directa, cuya única condición será estar en el estado 15'.

En el estado 16 activaremos EV1, A1, V1, EV4, A2 si se tiene activa la marca MA2.M o MA3.M y EV7, A3 si se tiene activa la marca MA3.M. Para pasar al siguiente estado será con un temporizador que cronometrará el llenado de medio tanque.

En el estado 17 se activarían EV6, si se tiene activa la marca MA2.M o MA3.M, EV9 si se tiene activa la marca MA3.M. Para pasar al siguiente estado será con un temporizador que cronometrará el llenado de medio tanque.

- Bloque de limpieza

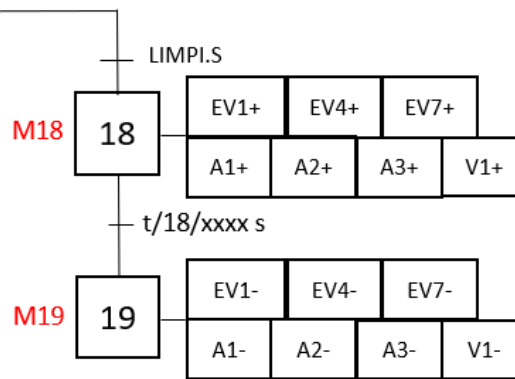


Ilustración 9 Bloque de limpieza GRAFCET

El estado de limpieza se inicia cuando hemos pulsado LIMP.S y pasaría al estado 18 donde se activarían EV1, EV4, EV7, A1, A2, A3 y V1. Para pasar al estado 19 será con un tiempo correspondiente a mitad de llenado del depósito donde se limpiará.

En el estado 19 se desactiva EV1, EV4, EV7, A1, A2, A3 y V1. Donde se terminaría la ejecución y se procedería al apagado de los equipos.

2.2. Material

Los elementos necesarios para la automatización vienen proporcionados por la empresa. Los materiales han sido elegidos en función de las necesidades actuales y futuras por si se plantea ampliar la instalación.

2.2.1. Autómata programable (PLC)

El autómata programable seleccionado es el S7-1214 AC/DC/RELES de la serie S7-1200 del fabricante SIEMENS. Este modelo cuenta con las siguientes características:

- 14 entradas digitales.
- 10 salidas digitales de relé.

- 2 entradas analógicas.
- La tensión de alimentación es de 85...264V AC.
- Dispone de un puerto PROFINET para la comunicación y programación.



Ilustración 10 S7-1214 AC/DC/RLY

2.2.2. Tarjeta de ampliación

Como vamos a tener una amplia gama de actuadores para la automatización del proceso es necesario ampliar las capacidades de entrada y salida de nuestro autómatas programables. Por ello se ha seleccionado el S7-1200, E/S DIGITAL SM 1223, 16DI/16DO. Este módulo nos proporciona 16 entradas digitales adicionales y otras 16 salidas digitales.



Ilustración 11 SM1223 16DI/16DO

2.2.3. Actuadores

Los actuadores van a ser los elementos que se encarguen de realizar el proceso de formación del producto, necesitaremos motores eléctricos que se encargan de la parte de mezcla (agitadores), bombas para la impulsión de agua y del producto una vez finalizado, electroválvulas para el cierre de los conductos, y vibradores que se encargarán de dosificar el producto.

2.2.3.1. Motores

El motor seleccionado para conseguir remover y mezclar el proceso será un motor monofásico de 1,2 kW de potencia con funcionamiento a 3000 RPM. Este llevará incorporada una reductora de 7,5:1 haciendo que la salida al eje de giro sea de unas 400 RPM.

Cada motor se apoyará sobre un soporte encima del tanque que ira soldado a los cantos de este.



Ilustración 12 Motor monofásica con reductora

2.2.3.2. Bombas

Las bombas empleadas planteadas para impulsar al agua desde el depósito hasta los tanques van a ser una bombas centrífugas horizontales mono turbina con potencia de 1,2 kW y caudal de 300 l/min.

Las bombas encargadas de impulsar el producto al tanque de almacenamiento serán bombas centrífugas horizontales mono turbina con potencia de 0,5 kW y caudal de 50 l/min.



Ilustración 13 Bomba mono turbina monofásica

2.2.3.3. Electroválvulas

Para poder automatizar el proceso se va a implementar electroválvulas para permitir el control del paso de fluidos a través de los conductos de circulación. Las electroválvulas funcionarán a 24 V en corriente alterna y tendrán un paso de 1,5 pulgadas.



Ilustración 14 Electrovalvula

2.2.3.4. Motor vibrador

Para el dosificador de las macromoléculas se van a emplear vibradores magnéticos colocados en bandejas vibratoras donde el producto avanzará lentamente hasta su incorporación al producto dentro del tanque de proceso.

El motor vibrador seleccionado será un motor vibrador monofásico 220 V 40 W 3.000 rpm de TAÜSEND.



Ilustración 15 Vibrador

2.2.3.5. Variador de frecuencia

Para realizar la activación y desactivación de los agitadores se hará uso de un variador de frecuencia monofásico donde podremos controlar la velocidad de estos mediante la regulación de la frecuencia del agitador. El variador empleado será:



Ilustración 16 Variador de frecuencia

El esquema de conexiones del variador es:

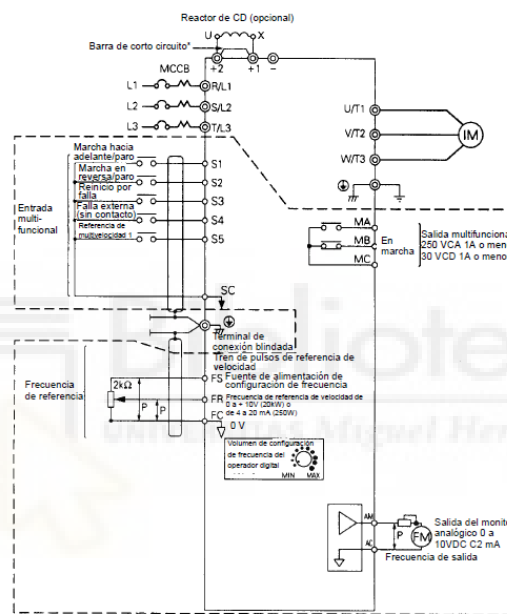


Ilustración 17 Esquema de conexiones del variador de frecuencia

En el esquema podemos ver que tenemos 5 entradas, donde S1 será la entrada que accionará el motor una vez le llegue una corriente continua y después tenemos las entradas desde la S2 hasta la S5 que configuraremos en el propio variador para que se ajuste a las velocidades que emplearemos.

Como en el proceso solamente vamos a emplear dos velocidades las entradas habilitadas serán S2 y S3. Cuando llegue la señal a S2 el variador pondrá una frecuencia de 40 Hz y cuando le llegue S3 tendremos una frecuencia de 55 Hz.

2.2.4. Contactores

Se van a emplear contactores para la activación y desactivación de las bombas, electroválvulas y vibradores, por ello los contactores empleados tendrán un bobinado de activación a 24 V en continua.



Ilustración 18 Contactor tripolar.

2.2.5. Protecciones

La instalación también cuenta con las protecciones eléctricas correspondientes para garantizar la seguridad de las personas y de los equipos que se emplean.

La instalación se ha diseñado partiendo de un cuadro secundario donde dentro se dispondrá de un interruptor general de alimentación cuyo objetivo es el apagado y encendido general de la instalación y el correspondiente diferencial para la protección de las personas.

A continuación, se dispondría de los correspondientes magnetotérmicos para cada equipo de alta potencia (bombas y agitadores) y uno general que abarcara las electroválvulas, vibradores y PLC.

Para el cálculo de las protecciones y el cableado de la instalación se ha empleado el software de ECODIAL ECOSTRUXURE de SCHNEIDER ELECTRIC.

2.2.5.1. Diferenciales

Se dispondrá de un diferencial de calibre 25 A con poder corte de 36 kA con conexionado de 4P4d y sensibilidad de 30mA.

2.2.5.2. Magnetotérmicos

Se dispondrán magnetotérmicos para todos los equipos:

- Para las bombas y agitadores se dispondrán de magnetotérmicos de 10 A.

- Para las electroválvulas y PLC se dispondrá de magnetotérmicos de 6 A.

2.2.6. Fuente de alimentación de corriente continua

Se hará uso de una fuente de tensión en corriente continua que suministrará 24 V y hasta 2 A en la salida para permitir una salida en continua por parte del autómatas y permitir la comunicación con el variador de frecuencia colocado.



Ilustración 19 Fuente de alimentación en corriente continua

2.2.7. Fuente de alimentación de corriente alterna

Se hará uso de una fuente de tensión en corriente alterna que suministrará 24 V y hasta 10 VA. Dicha fuente se empleará para la activación de las electroválvulas.



Ilustración 20 Fuente de alimentación en corriente alterna

2.2.8. Interruptores y pulsadores

Como se va a instalar un cuadro de mando para el control de los elementos de manera manual, se va a necesitar unos interruptores on/off para el encendido y apagado de los elementos. Estos interruptores se conectarán a las entradas de nuestro autómatas programable.



Ilustración 21 Interruptor ON/OFF

2.2.9. Seta de emergencia

En el cuadro de mando se incorporará una seta de emergencia para el paro ante cualquier imprevisto ocasionado o evitar una situación que ponga en riesgo la seguridad de los trabajadores.



Ilustración 22 Seta de emergencia

2.2.10. Software WinCC RT Profesional

Con SIMATIC WinCC Professional, Siemens ofrece un sistema SCADA perfectamente integrado en TIA Portal. Se trata de un sistema de manejo y visualización basado en PC para visualizar y manejar procesos, secuencias de fabricación, máquinas y plantas en todos los sectores. La gama abarca desde un sencillo sistema mono puesto (monousuario) hasta sistemas multipuesto (multiusuario) y soluciones diversificadas geográficamente con clientes web.

3. IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN EN TIA PORTAL

El programa utilizado para implementar la solución del proceso de automatización será TIA PORTAL de SIEMENS que ofrece soluciones de automatización en todos los sectores industriales del mundo, integrando todas las tareas de automatización de un proceso industrial. Se trata de una aplicación modular a la que se le pueden ir añadiendo nuevas funcionalidades según las necesidades concretas de cada sector.

3.1. Declaración de variables

Las variables implementadas en el autómatas vienen definidas en tres grupos, las entradas al PLC, las salidas del PLC y las marcas internas para el proceso de automatización.

Las entradas al PLC constan de:

Tabla 2 Entradas PLC

Nombre	Recorrido	Tipo de dato	Dirección lógica	Comentario
Inicio.b	Default tag table	Bool	%I0.0	Botón de inicio FISICO
S1	Default tag table	Bool	%I0.1	Sensor tanque IBC intermedio 1
E.b	Default tag table	Bool	%I0.2	Botón de Emergencia FISICO
Reset.b	Default tag table	Bool	%I0.3	Botón de reset FISICO
EV1.b	Default tag table	Bool	%I0.4	Botón de EV1 FISICO
EV2.b	Default tag table	Bool	%I0.5	Botón de EV2 FISICO
EV3.b	Default tag table	Bool	%I0.6	Botón de EV3 FISICO
EV4.b	Default tag table	Bool	%I0.7	Botón de EV4 FISICO
EV5.b	Default tag table	Bool	%I1.0	Botón de EV5 FISICO
Ev6.b	Default tag table	Bool	%I1.1	Botón de EV6 FISICO

Ev7.b	Default tag table	Bool	%I1.2	Botón de EV7 FISICO
EV8.b	Default tag table	Bool	%I1.3	Botón de EV8 FISICO
EV9.b	Default tag table	Bool	%I1.4	Botón de EV9 FISICO
EV10.b	Default tag table	Bool	%I1.5	Botón de EV10 FISICO
A1.b	Default tag table	Bool	%I8.0	Botón de A1 FISICO
A2.b	Default tag table	Bool	%I8.1	Botón de A2 FISICO
A3.b	Default tag table	Bool	%I8.2	Botón de A3 FISICO
D1.b	Default tag table	Bool	%I8.3	Botón de D1 FISICO
D2.b	Default tag table	Bool	%I8.4	Botón de D2 FISICO
D3.b	Default tag table	Bool	%I8.5	Botón de D3 FISICO

El número total de entradas que vamos a necesitar será de 20 entradas todas ellas siendo entradas digitales que alimentaremos mediante las salidas en corriente continua de 24 voltios proporcionado por el PLC.

Las salidas del PLC constan de:

Tabla 3 Salidas PLC

Nombre	Recorrido	Tipo de dato	Dirección lógica	Comentario
A1	Default tag table	Bool	%Q0.0	Salida A1
A2	Default tag table	Bool	%Q0.1	Salida A2
A3	Default tag table	Bool	%Q0.2	Salida A3

Velocidad_1	Default tag table	Bool	%Q0.3	Velocidad V1
Velocidad_2	Default tag table	Bool	%Q0.4	Velocidad V2
EV1	Default tag table	Bool	%Q0.5	Salida EV1
EV2	Default tag table	Bool	%Q0.6	Salida EV2
EV3	Default tag table	Bool	%Q0.7	Salida EV3
EV4	Default tag table	Bool	%Q1.0	Salida EV4
EV5	Default tag table	Bool	%Q1.1	Salida EV5
EV6	Default tag table	Bool	%Q8.0	Salida EV6
EV7	Default tag table	Bool	%Q8.1	Salida EV7
EV8	Default tag table	Bool	%Q8.2	Salida EV8
EV9	Default tag table	Bool	%Q8.3	Salida EV9
EV10	Default tag table	Bool	%Q8.4	Salida EV10
D1	Default tag table	Bool	%Q8.5	Salida D1
D2	Default tag table	Bool	%Q8.6	Salida D2
D3	Default tag table	Bool	%Q8.7	Salida D3
Bomba 1	Default tag table	Bool	%Q9.0	Activación Bomba 1
Bomba 2	Default tag table	Bool	%Q9.1	Activación Bomba 2
Bomba 3	Default tag table	Bool	%Q9.2	Activación Bomba 3

Las salidas del PLC son un total de 21 salidas. Serán salidas en corriente continua proporcionada por una fuente de alimentación externa. Estas salidas serán las encargadas de comunicarse con los variadores de frecuencia de cada agitador.

Las marcas internas del PLC constan de:

Tabla 4 Marcas internas PLC

Nombre	Recorrido	Tipo de dato	Dirección lógica	Comentario
M0	Default tag table	Bool	%M0.0	Marca interna
Inicio.S	Default tag table	Bool	%M0.1	Botón para SCADA
M1	Default tag table	Bool	%M0.2	Marca interna
M2	Default tag table	Bool	%M0.3	Marca interna
M3	Default tag table	Bool	%M0.4	Marca interna
M4	Default tag table	Bool	%M0.5	Marca interna
M5	Default tag table	Bool	%M0.6	Marca interna
M6	Default tag table	Bool	%M0.7	Marca interna
M7	Default tag table	Bool	%M1.0	Marca interna
M8	Default tag table	Bool	%M1.1	Marca interna
M9	Default tag table	Bool	%M1.2	Marca interna
M10	Default tag table	Bool	%M1.3	Marca interna
M11	Default tag table	Bool	%M1.4	Marca interna
M12	Default tag table	Bool	%M1.5	Marca interna

M13	Default tag table	Bool	%M1.6	Marca interna
M14	Default tag table	Bool	%M1.7	Marca interna
M15	Default tag table	Bool	%M2.0	Marca interna
M16	Default tag table	Bool	%M2.1	Marca interna
M17	Default tag table	Bool	%M2.2	Marca interna
M18	Default tag table	Bool	%M2.3	Marca interna
M19	Default tag table	Bool	%M2.4	Marca interna
M20	Default tag table	Bool	%M2.5	Marca interna
M3P	Default tag table	Bool	%M2.6	Marca interna
M7P	Default tag table	Bool	%M2.7	Marca interna
M11P	Default tag table	Bool	%M3.0	Marca interna
M15P	Default tag table	Bool	%M3.1	Marca interna
MA1.S	Default tag table	Bool	%M3.2	Botón de SCADA para proceso automático MA1
MA2.S	Default tag table	Bool	%M3.3	Botón de SCADA para proceso automático MA1
MA3.S	Default tag table	Bool	%M3.4	Botón de SCADA para proceso automático MA1
MA1.M	Default tag table	Bool	%M3.5	Marca interna de inicio de proceso MA1
MA2.M	Default tag table	Bool	%M3.6	Marca interna de inicio de proceso MA1
MA3.M	Default tag table	Bool	%M3.7	Marca interna de inicio de proceso MA1

LIMP.S	Default tag table	Bool	%M4.0	Marca interna de inicio del proceso LIMP
BOMBA1.M	Default tag table	Bool	%M4.1	Marca interna Bomba 1
BOMBA2.M	Default tag table	Bool	%M4.2	Marca interna Bomba 2
BOMBA3.M	Default tag table	Bool	%M4.3	Marca interna Bomba 3
EMERGENCIA	Default tag table	Bool	%M4.4	Marca interna Emergencia
RESUELTO	Default tag table	Bool	%M4.5	Marca interna Resuelto
EV1.M	Default tag table	Bool	%M4.6	Marca interna Ev1
EV2.M	Default tag table	Bool	%M4.7	Marca interna Ev2
EV3.M	Default tag table	Bool	%M5.0	Marca interna Ev3
EV4.M	Default tag table	Bool	%M5.1	Marca interna Ev4
EV5.M	Default tag table	Bool	%M5.2	Marca interna Ev5
EV6.M	Default tag table	Bool	%M5.3	Marca interna Ev6
EV7.M	Default tag table	Bool	%M5.4	Marca interna Ev7
EV8.M	Default tag table	Bool	%M5.5	Marca interna Ev8
EV9.M	Default tag table	Bool	%M5.6	Marca interna Ev9
EV10.M	Default tag table	Bool	%M5.7	Marca interna Ev10
A1.M	Default tag table	Bool	%M6.0	Marca interna A1
A2.M	Default tag table	Bool	%M6.1	Marca interna A2

A3.M	Default tag table	Bool	%M6.2	Marca interna A3
D1.M	Default tag table	Bool	%M6.3	Marca interna D1
D2.M	Default tag table	Bool	%M6.4	Marca interna D2
D3.M	Default tag table	Bool	%M6.5	Marca interna D3
Velocidad1.M	Default tag table	Bool	%M6.6	Marca interna Velocidad1
Velocidad2.M	Default tag table	Bool	%M6.7	Marca interna Velocidad2
AR	Default tag table	Bool	%M7.0	Marca interna Arranque

3.2. Programa KOP

La ejecución del programa como hemos visto se encuentra modelada en GRAFCET por ello vamos a hacer la conversión al lenguaje de programación KOP (lenguaje de contactos).

La activación de las salidas se hará al final mediante la activación de las marcas de cada proceso en el que nos encontremos.

- Inicio del autómata en estado M0

Esquema GRAFCET

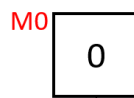


Ilustración 23 Estado 0 GRAFCET

Esquema KOP



Ilustración 24 Estado 0 KOP

El autómata se inicia automáticamente con la variable interna del autómata o lo podemos forzar si pulsamos el botón Reset. Este activa el estado M0 y ponemos en reset cualquier marca interna o cualquier salida del autómata.

- Estado M1

Esquema GRAFCET

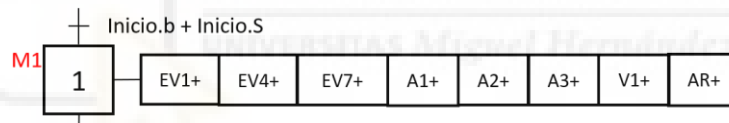


Ilustración 25 Estado 1 GRAFCET

Esquema KOP

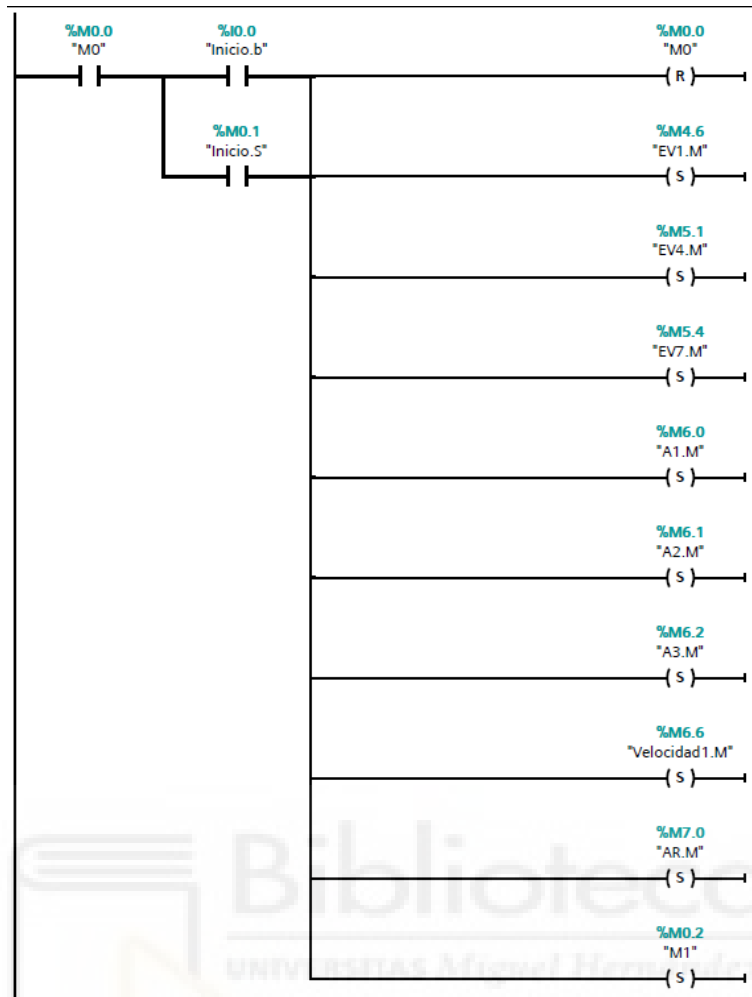


Ilustración 26 Estado 1 KOP

Pasamos al estado M1 donde pondremos en marcha las marcas biestables EV1, EV4, EV7, A1, A2, A3, V1, AR y M1 para indicar que estamos en dicho estado,

- Estado M2

Esquema GRAFCET

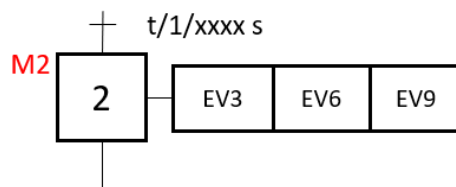


Ilustración 27 Estado M2 GRAFCET

Esquema KOP

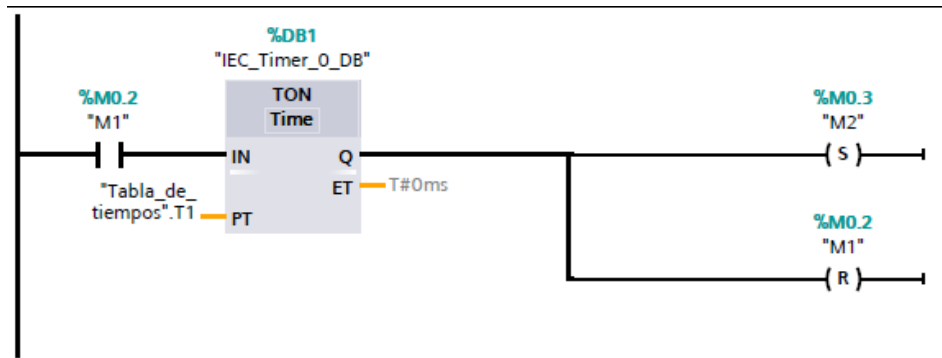


Ilustración 28 Estado 2 KOP I

Como vemos en el esquema KOP no encontramos las marcas para la activación de las salidas, esto se debe a que estas salidas son salidas monoestables (solo están activas en este estado) por ello la activación de las marcas de las salidas vendrá producidas aparte para evitar que dos estados estén funcionando al mismo tiempo.



Ilustración 29 Estado 2 monoestable KOP II

Aquí observamos que en otra línea la marca M2 activa las correspondientes marcas para la activación de dichas salidas.

- Estado M3', M7', M11'

Esquema GRAFCET

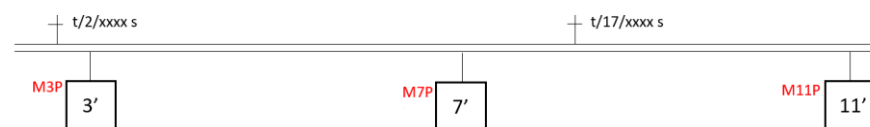


Ilustración 30 Estado 3', 7', 11' de GRAFCET

Esquema KOP

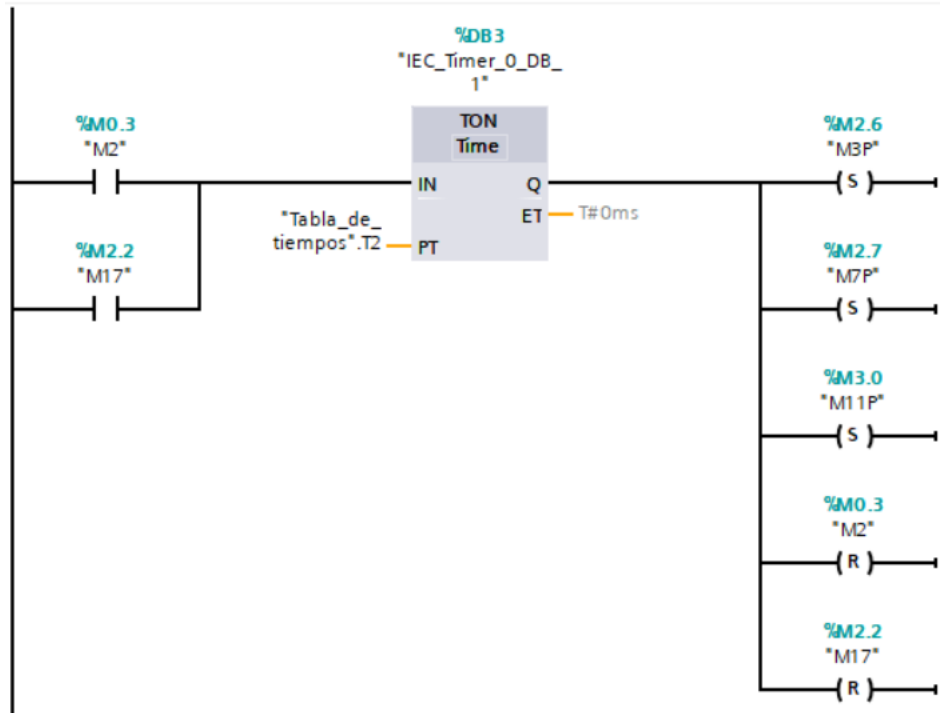


Ilustración 31 Estado 3', 7', 11' KOP

Como vemos aquí los procesos se separan para que cada tanque sea independiente y realicen los procesos de mezcla y vaciado independientemente.

- Estado M3

Esquema GRAFCET

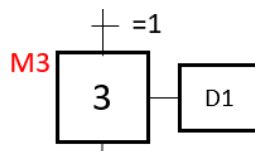


Ilustración 32 Estado 3 GRAFCET

Esquema KOP

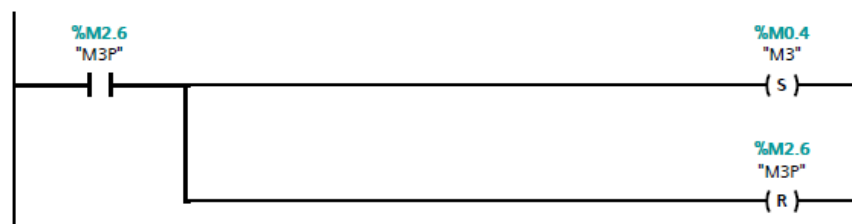


Ilustración 33 Estado 3 KOP I

El estado M3 no requerirá de ninguna condición para su activación.

Como también vemos la salida D1 es monoestable por lo tanto la activación de la marca de salida será independiente del flujo de proceso.

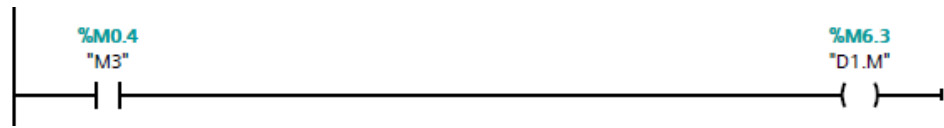


Ilustración 34 Estado 3 monoestable KOP II

- Estado M4

Esquema GRAFCET

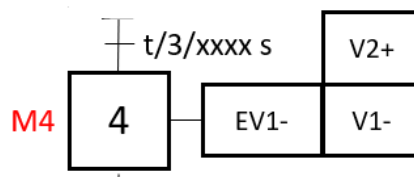


Ilustración 35 Estado 4 GRAFCET

Esquema KOP

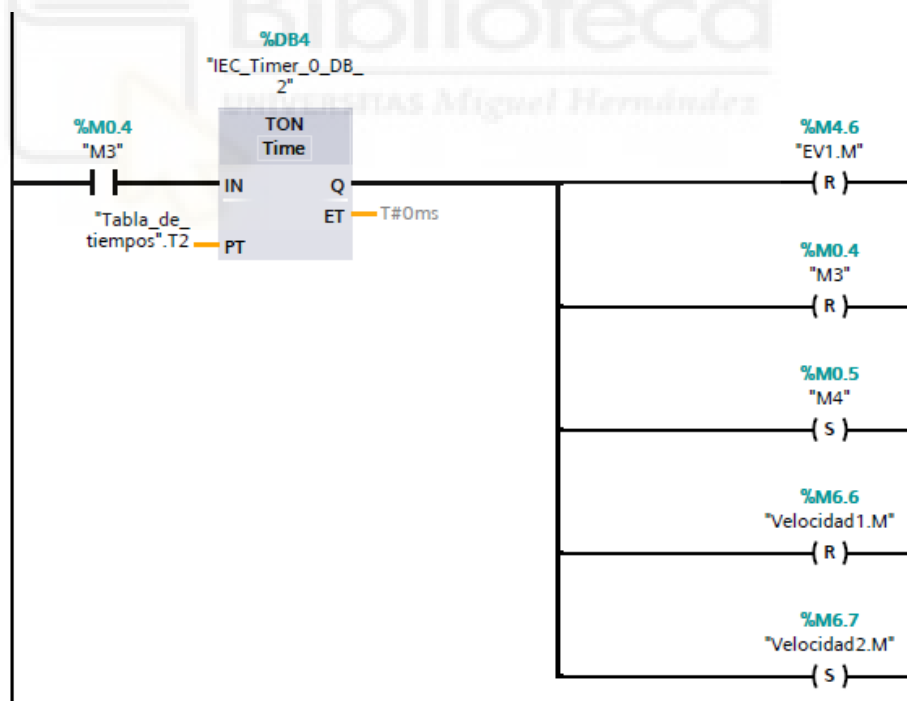


Ilustración 36 Estado 4 KOP

El estado se activará una vez transcurrido el tiempo que garantiza el llenado del tanque.

- Estado M5

Esquema GRAFCET

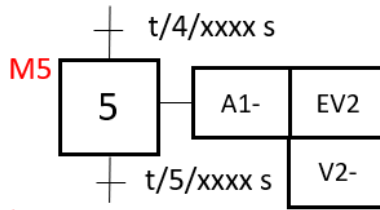


Ilustración 37 Estado 5 GRAFCET

Esquema KOP

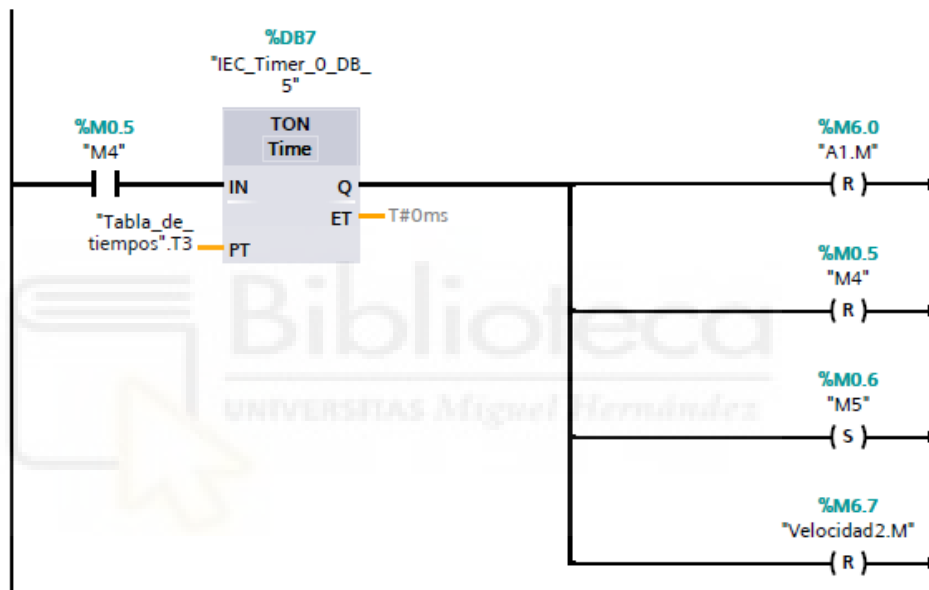


Ilustración 38 Estado 5 KOP

El proceso esperará un tiempo cuando se hayan cerrado las electroválvulas de aporte de agua y removerá el producto para garantizar su mezclado. Una vez ya terminado dicho tiempo desactivará el agitador A1.

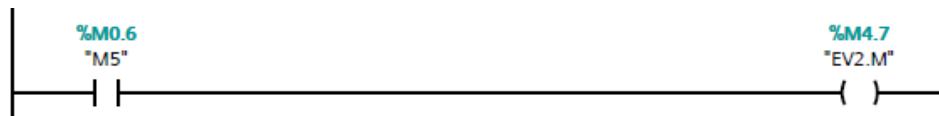


Ilustración 39 Estado 5 monoestable KOP

- Estado M6

Esquema GRAFCET

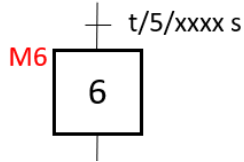


Ilustración 40 Estado 6 GRAFCET

Esquema KOP

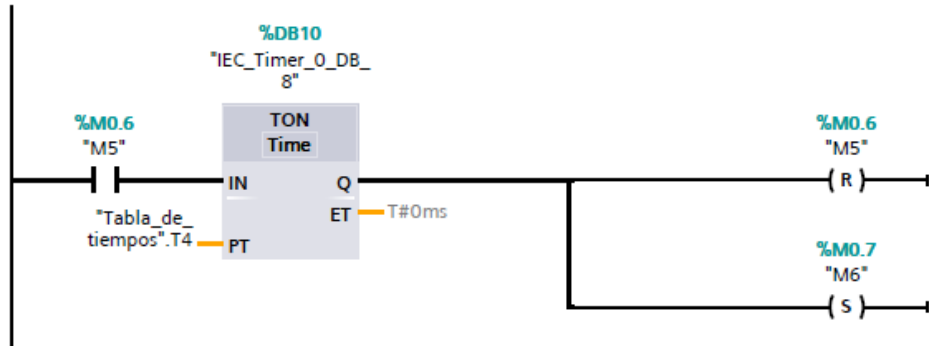


Ilustración 41 Estado 6 KOP I

Dicho estado tenemos la salida monoestable de EV2 donde vaciaríamos el tanque de proceso para verter el producto al GRG intermedio.

- Estado M7

Esquema GRAFCET

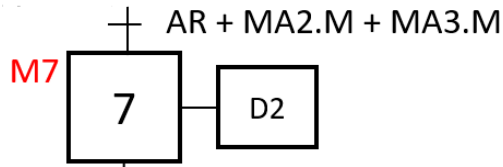


Ilustración 42 Estado 7 GRAFCET

Esquema KOP

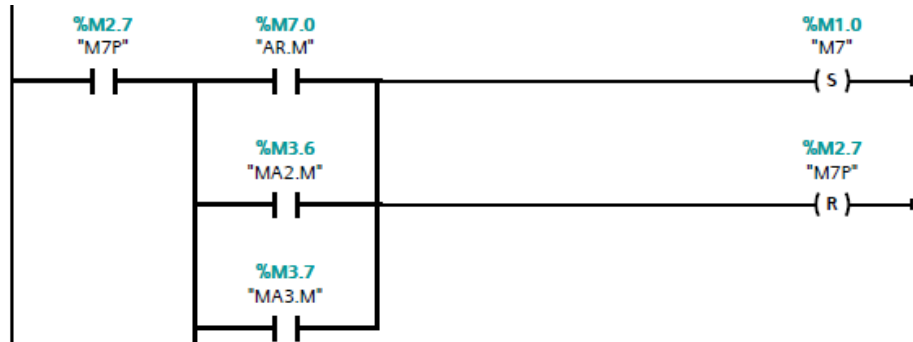


Ilustración 43 Estado 7 KOP

A diferencia de la etapa M3 la etapa M7 no pasa de manera automática, sino que debe cumplir algunas de las condiciones. Como que esté activado AR o MA2.M o MA3.M.

- Estado M13

Esquema GRAFCET

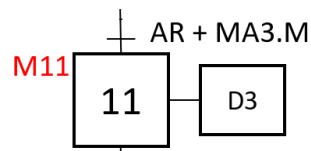


Ilustración 44 Estado 11 GRAFCET

Esquema KOP

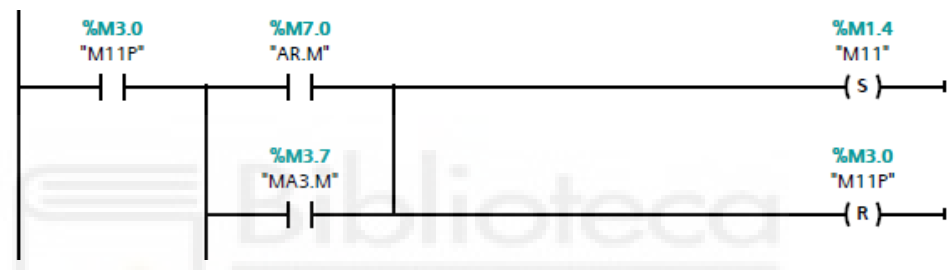


Ilustración 45 Estado 11 KOP

Al igual que en el estado M7 deben de activarse algunas de las condiciones como que esté activado AR o MA3.M.

- Estado M10

Esquema GRAFCET

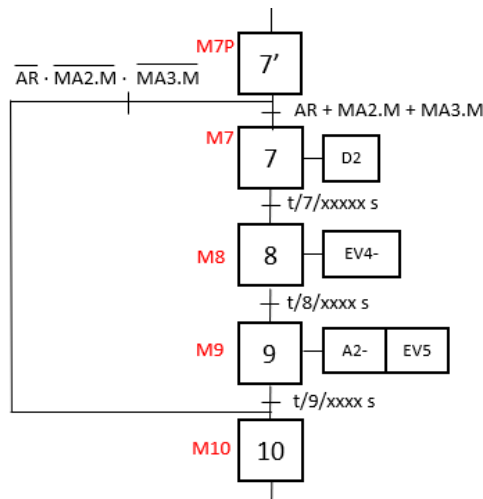


Ilustración 46 Bloque tanque 2 GRAFCET

Para acceder al estado M10 tenemos dos vías, a partir de M7' y cumpliendo que no queremos que el tanque 2 trabaje, por ello saltará directamente al estado M10. O tenemos el camino que podremos acceder a él en el caso que estemos tengamos activadas AR, MA2.M (que indica que estamos trabajando con dos tanques) o MA3.M (que indica que estamos trabajando con tres tanques).

Esquema KOP

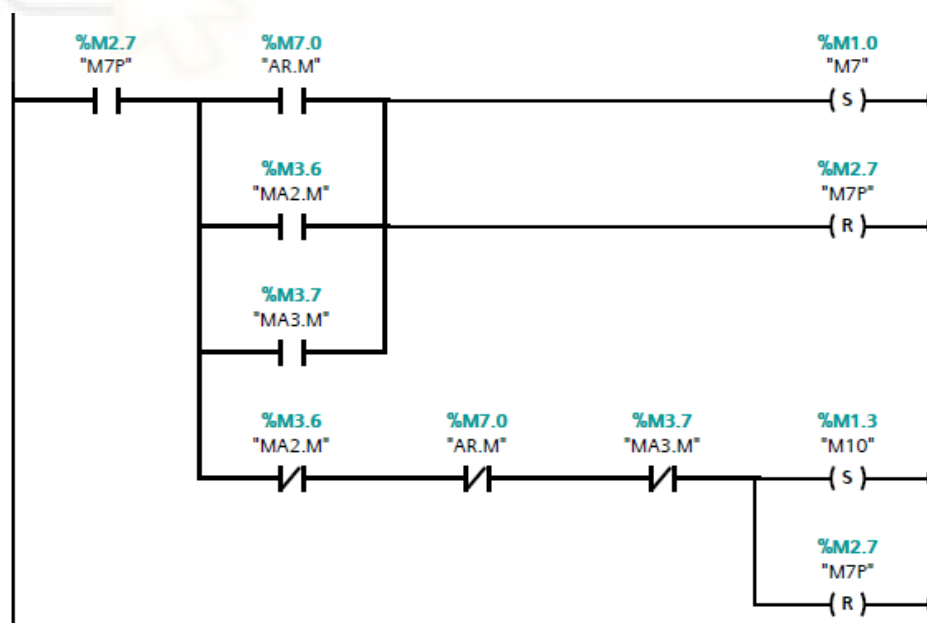


Ilustración 47 Salto del estado 7' al 10 KOP

- Estado M14

Esquema GRAFCET

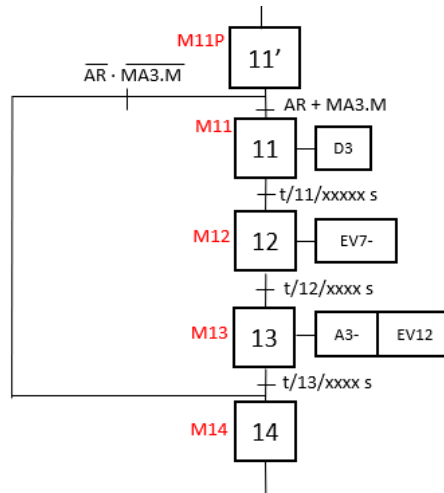


Ilustración 48 Bloque tanque 3 GRAFCET

Para acceder al estado M14 tenemos dos vías, a partir de M11' y cumpliendo que no querremos que el tanque 3 trabaje, por ello saltará directamente al estado M14. O tenemos el camino que podremos acceder a él en el caso que tengamos activadas AR o MA3.M (que indica que estamos trabajando con tres tanque).

Esquema KOP

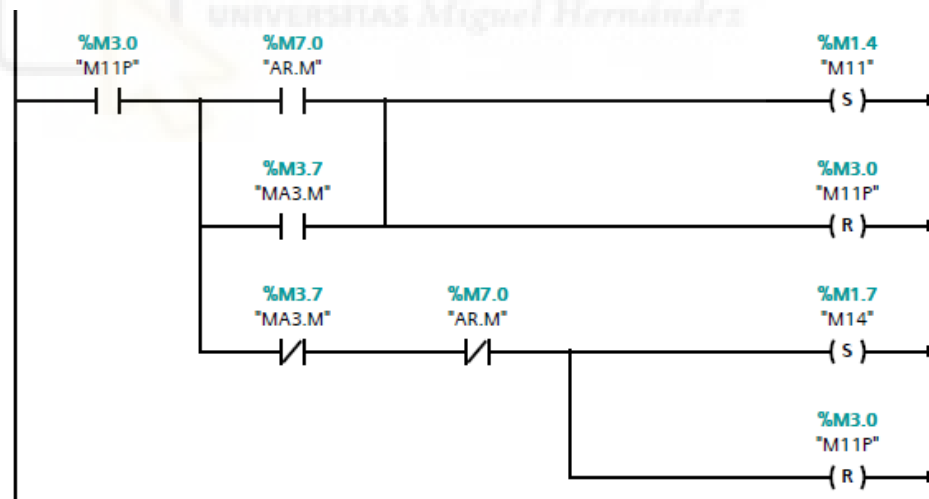
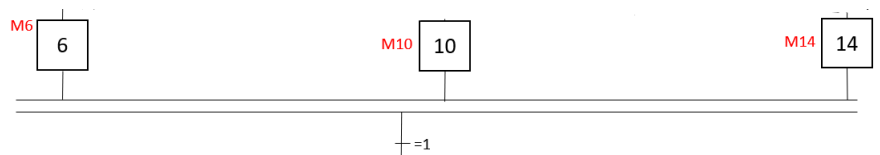


Ilustración 49 Salto del estado 11' al 14 KOP

- Estado M15

Esquema GRAFCET



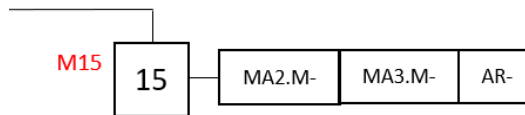


Ilustración 50 Estado 15 GRAFCET

Esquema KOP

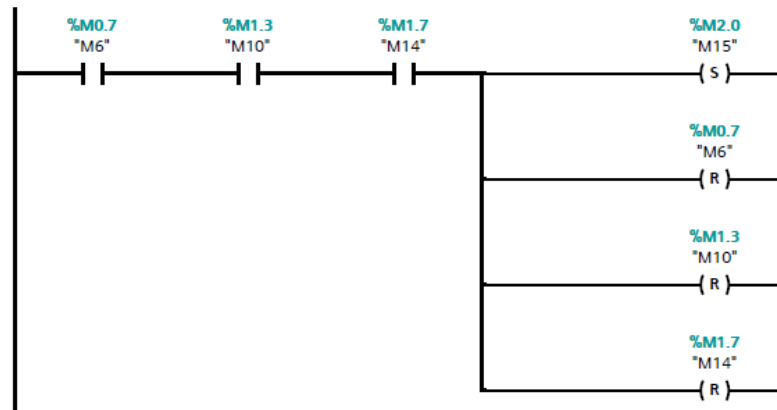


Ilustración 51 Estado 15 KOP

Para pasar al estado M15 tendremos que esperar a que todos los tanques se encuentren en el estado M6, M10 y M14 respecto de cada proceso para poder acceder a dicho estado.

- Estado M15'

Esquema GRAFCET

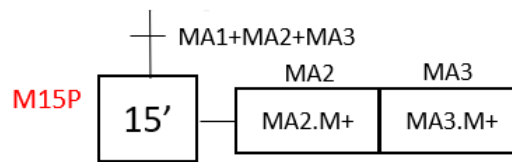


Ilustración 52 Estado 15' GRAFCET

Esquema KOP

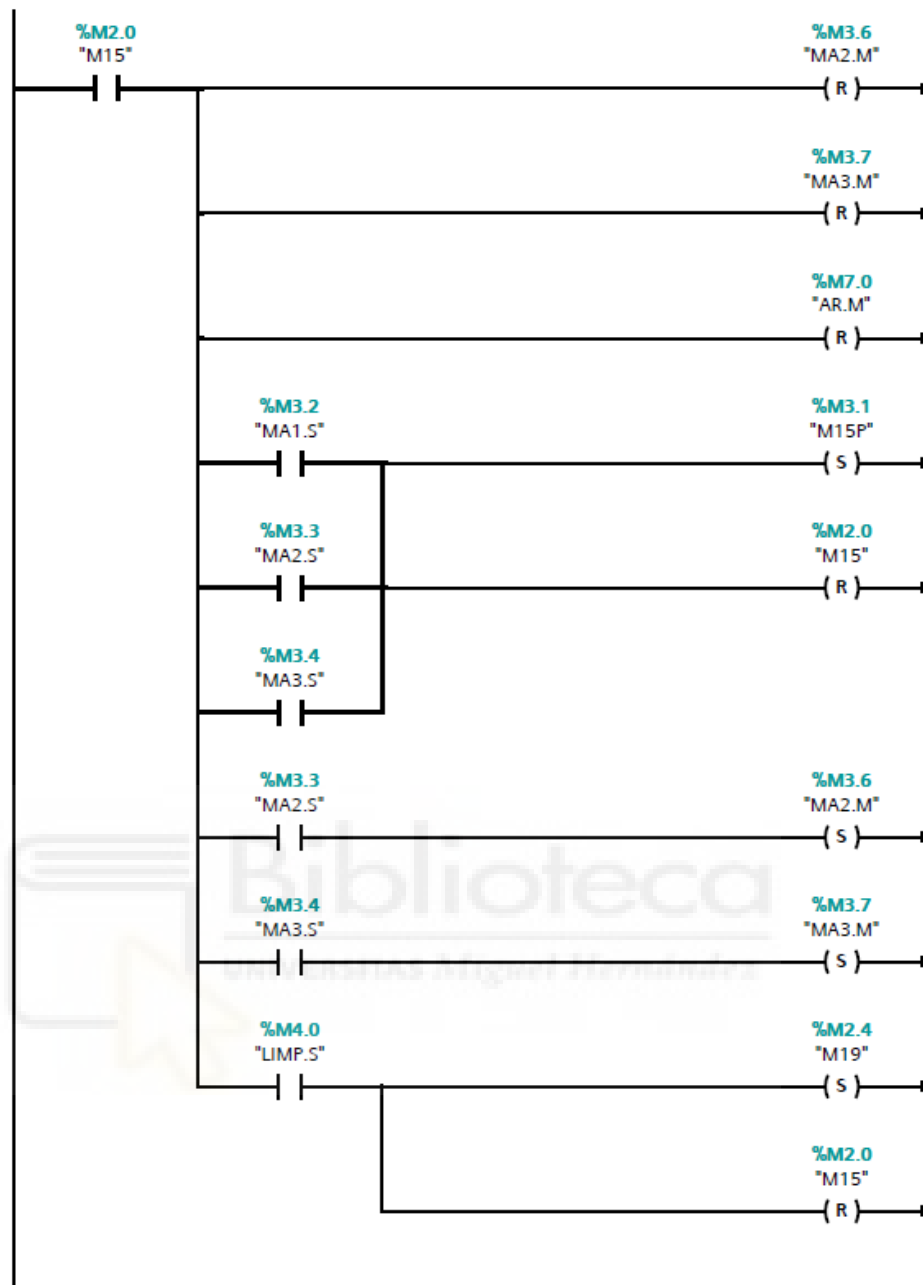


Ilustración 53 Estado 15' KOP

Para pasar al siguiente estado como vemos si pulsamos algunos de los botones que se encontrarán en el SCADA (MA1.S, MA2.S, MA3.S).

La marca interna MA2.M se activará única y exclusivamente si para pasar al estado M15' hemos pulsado MA2.S y lo mismo ocurre para la marca interna MA3.M.

- Estado M16

Esquema GRAFCET

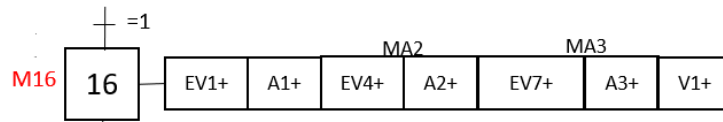


Ilustración 54 Estado 16 GRAFCET

Esquema KOP

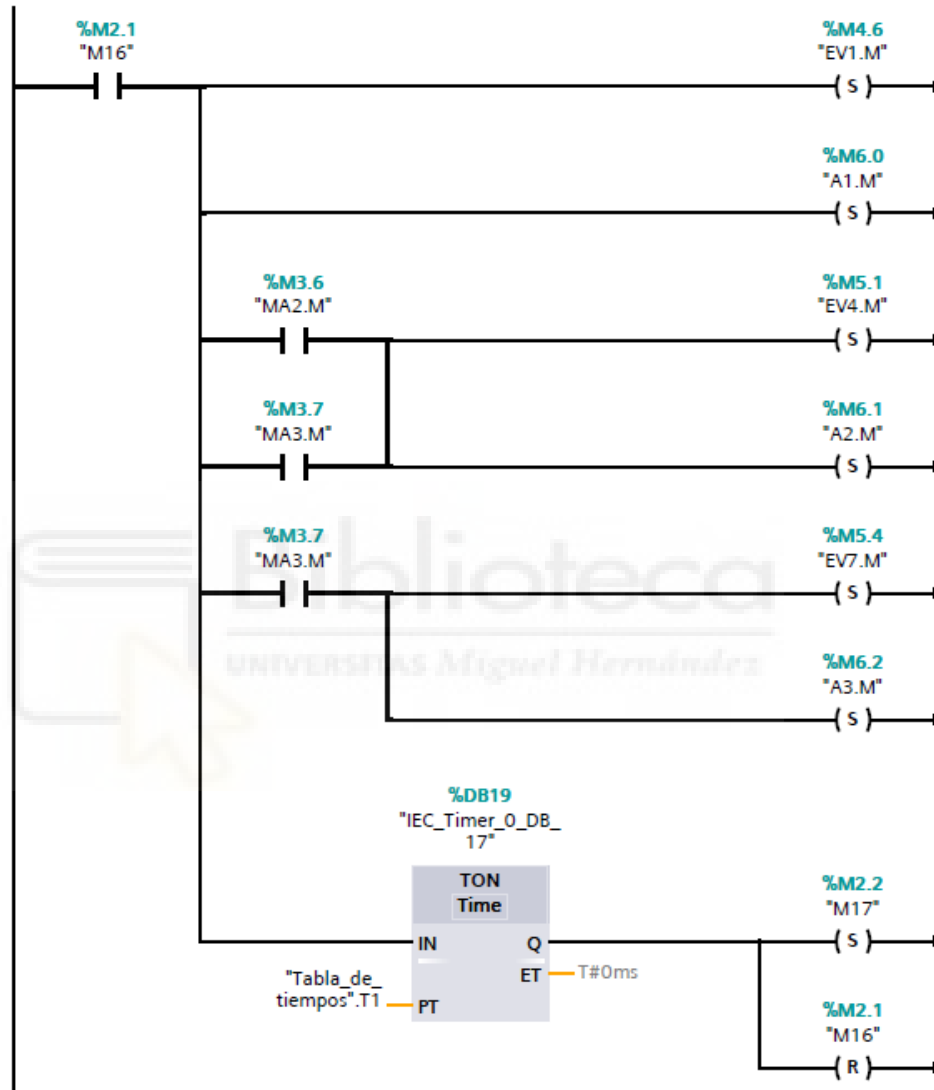


Ilustración 55 Estado 16 KOP II

Las marcas internas EV4 y A2 se activarán única y exclusivamente si para pasar al estado M16 hemos pulsado MA2 y lo mismo ocurre para las marcas internas EV7 y A3.

- Estado M17

Esquema GRAFCET

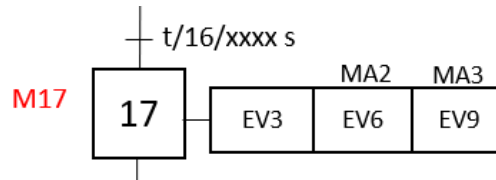


Ilustración 56 Estado 17 GRAFCET

Esquema KOP

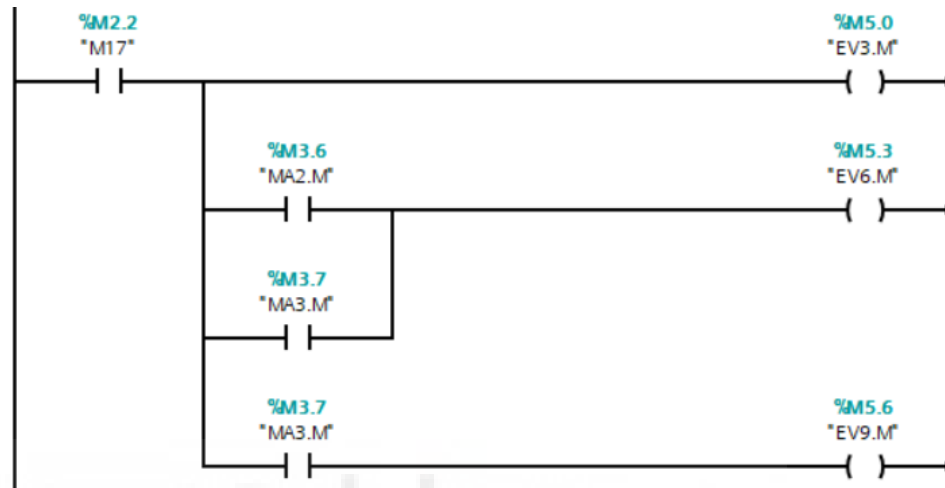


Ilustración 57 Estado 17 KOP II

Al igual que ocurría en el estado M2 se activarían las electroválvulas para los aditivos siendo estos monoestables. Al contrario que en el proceso de arranque EV6 y EV9 se activarán únicamente si las marcas MA2.M y MA3.M estén activas.

- Estado M18

Esquema GRAFCET

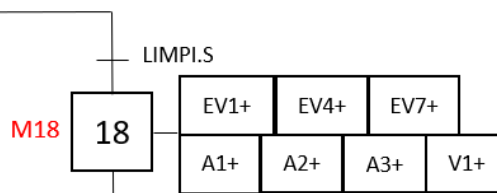


Ilustración 58 Estado 18 GRAFCET

El estado M18 se activará una vez pulsemos el botón de LIMPI.S.

Esquema KOP

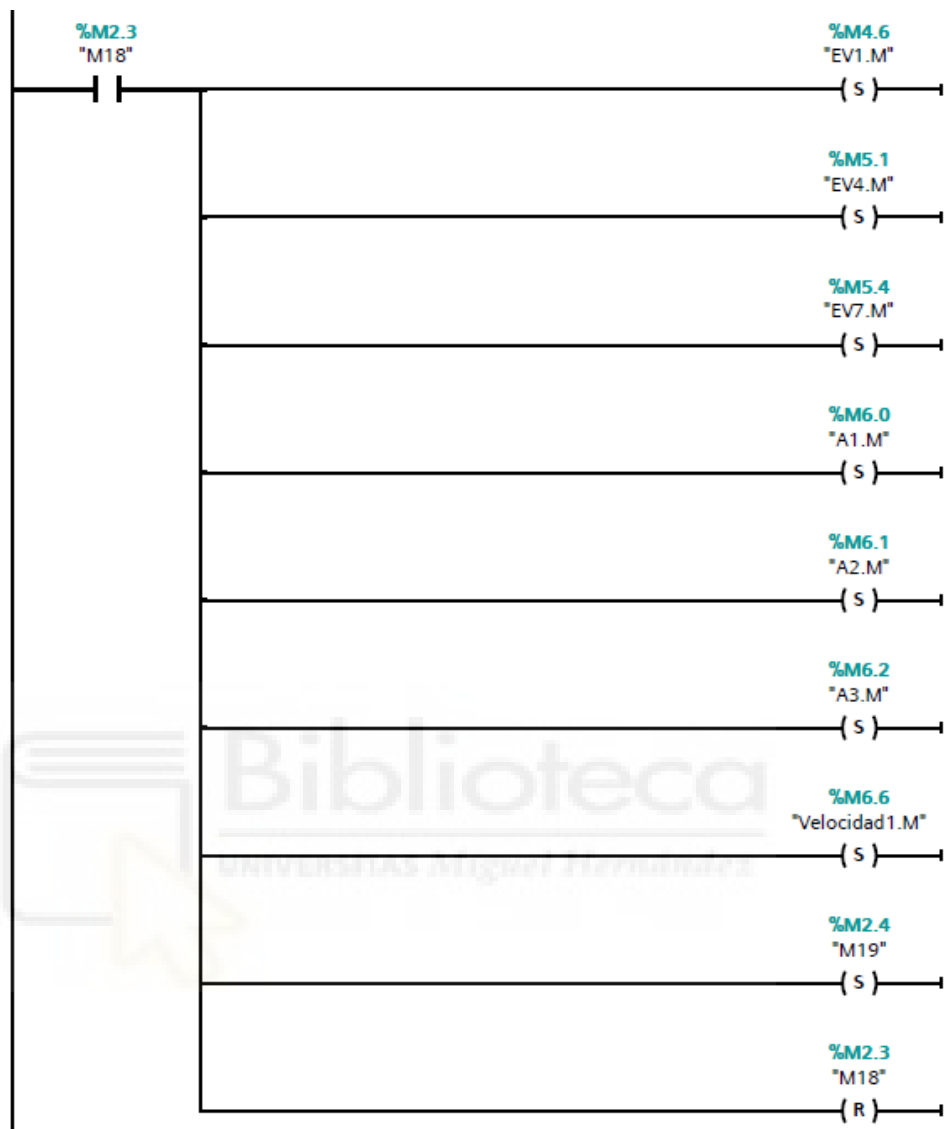


Ilustración 59 Estado 18 KOP

En dicho estado tendremos la activación de EV1, EV4, EV7, A1,A2, A3, y V1.

- Estado M19

Esquema GRAFCET

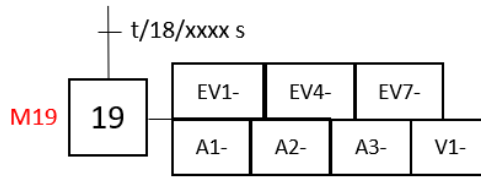


Ilustración 60 Estado 19 GRAFCET

Esquema KOP

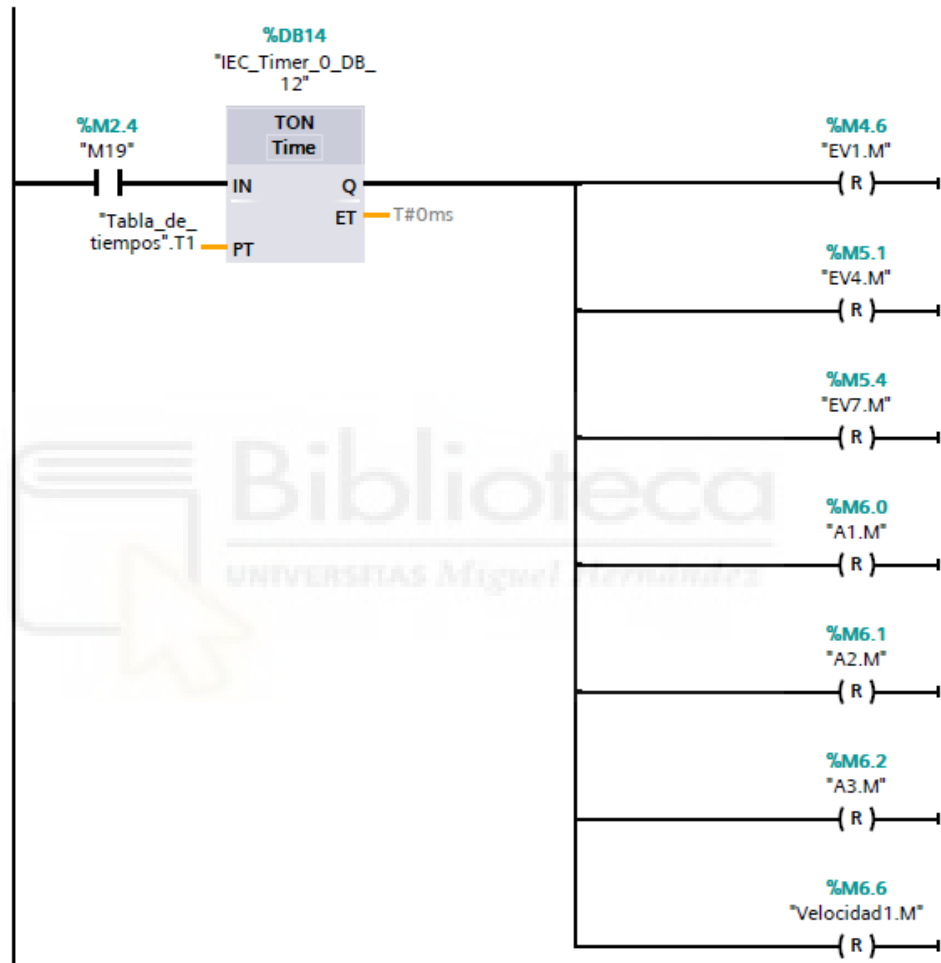


Ilustración 61 Estado 19 KOP

Se desactivan las marcas de EV1, EV4, EV7, A1, A2, A3 y V1.

Al finalizar este proceso se habrían terminado ya las ejecuciones del autómeta y se podría desconectar la instalación apagando todos los equipos o si quisiéramos podríamos pulsar el botón de reset lo que nos llevaría a la etapa M0 haciendo todo el proceso de nuevo.

Para la ejecución de las salidas de nuestro programa, como se ha trabajado con marcas, éstas activarán las salidas cuando estén activas y también

dispondremos de los correspondientes botones para la activación de las salidas como se muestra a continuación:

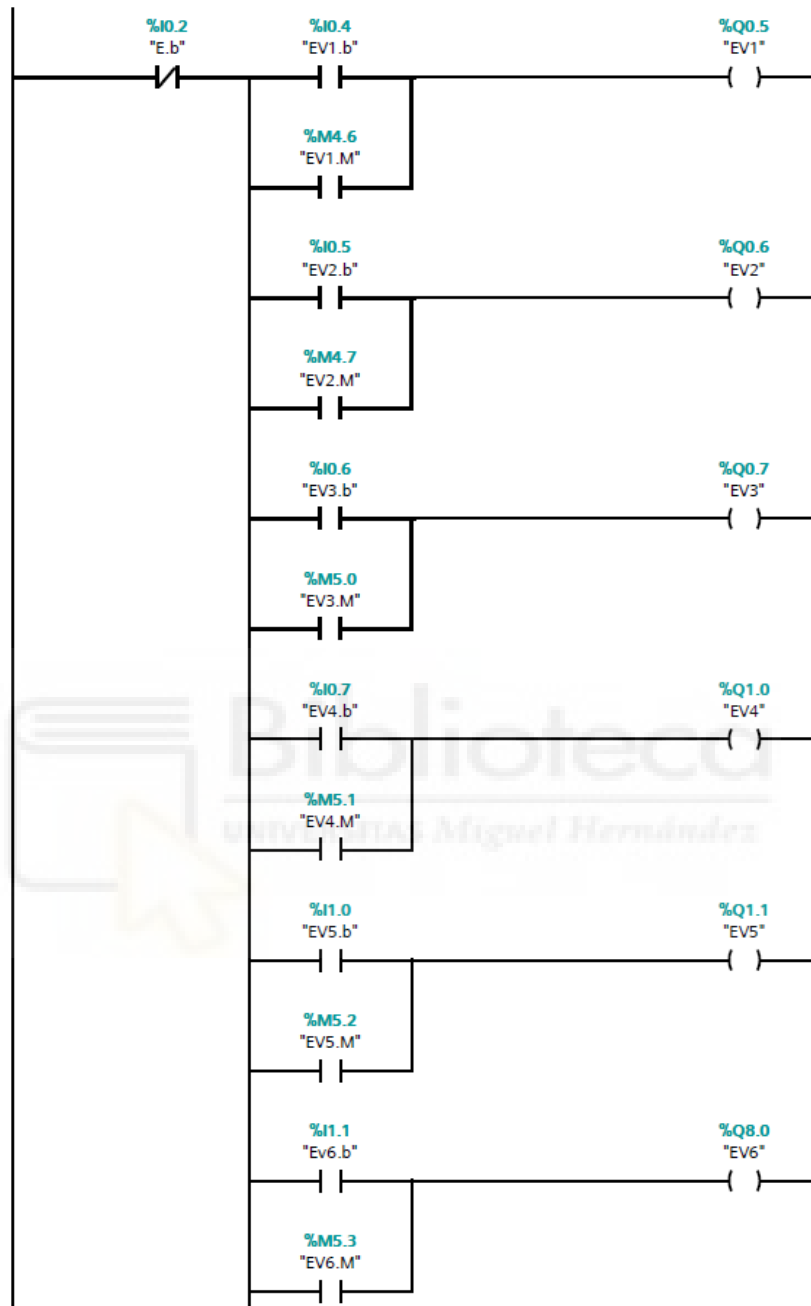


Ilustración 62 Activación salidas KOP 1

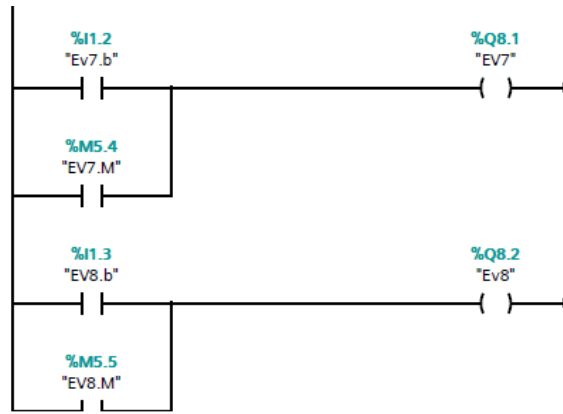


Ilustración 63 Activación salidas KOP II

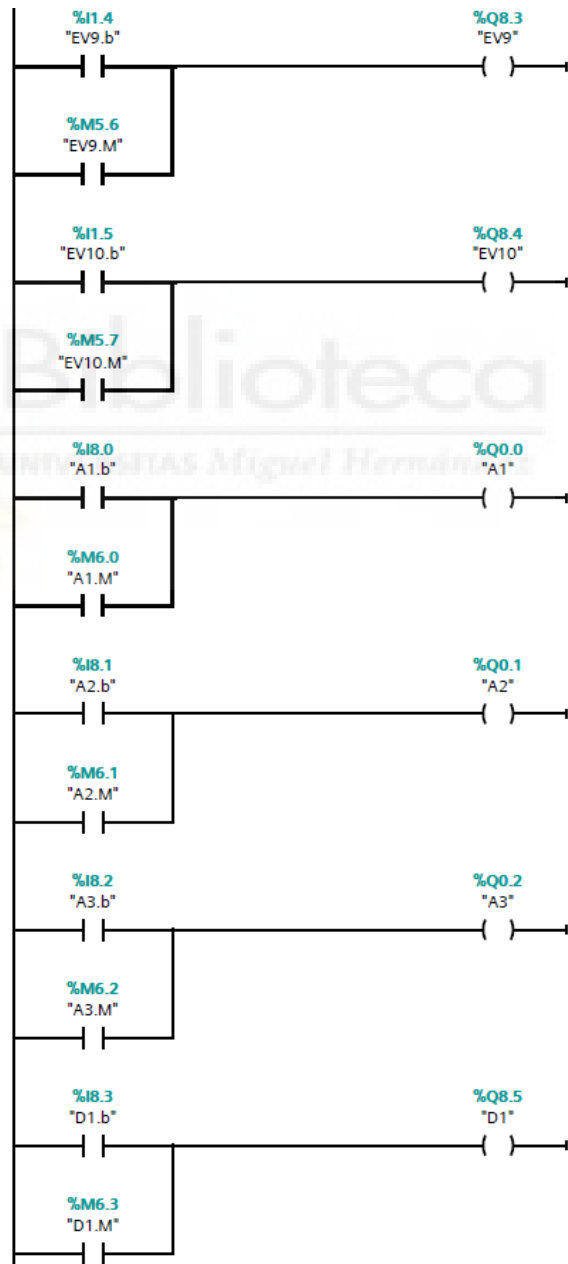


Ilustración 64 Activación salidas KOP III

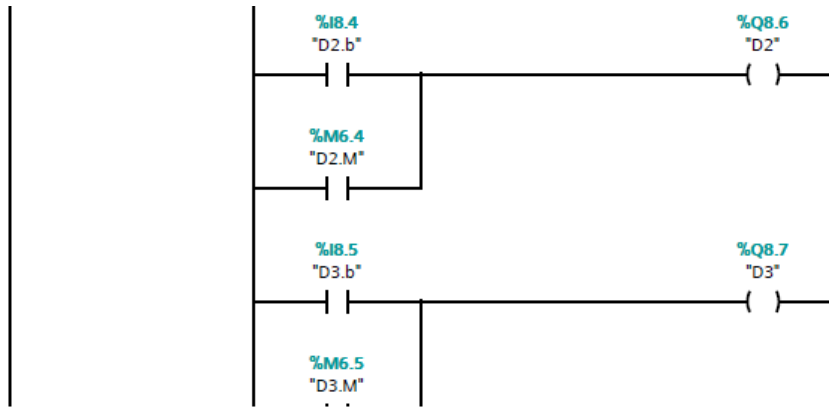


Ilustración 65 Activación salidas KOP IV

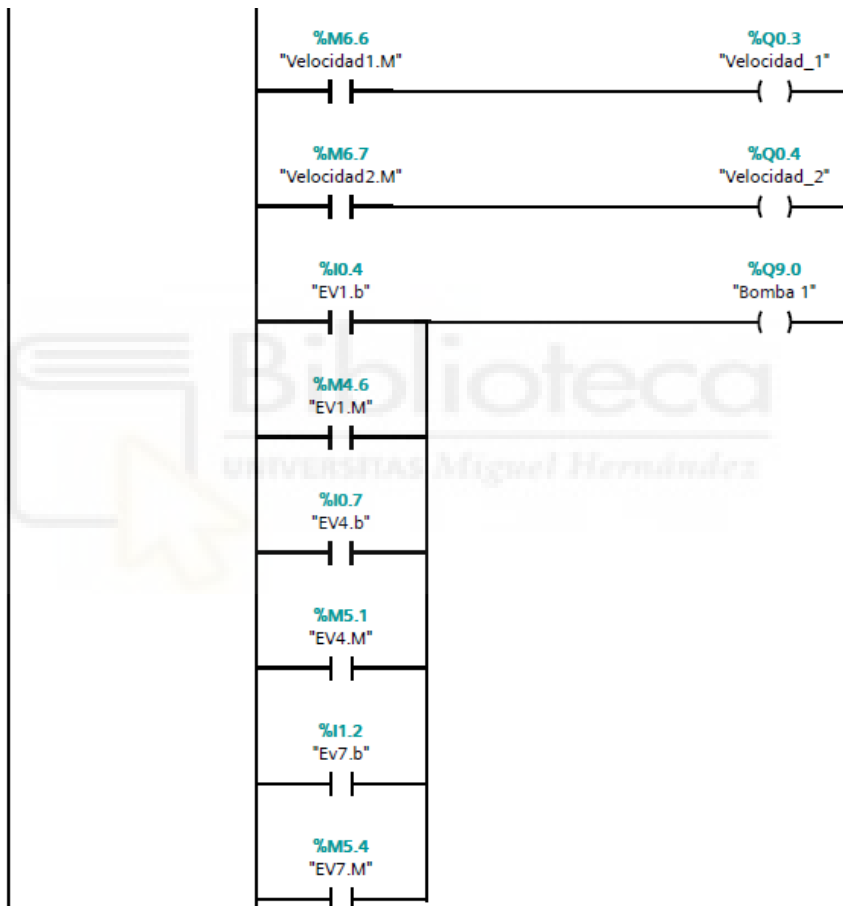


Ilustración 66 Activación salidas KOP V

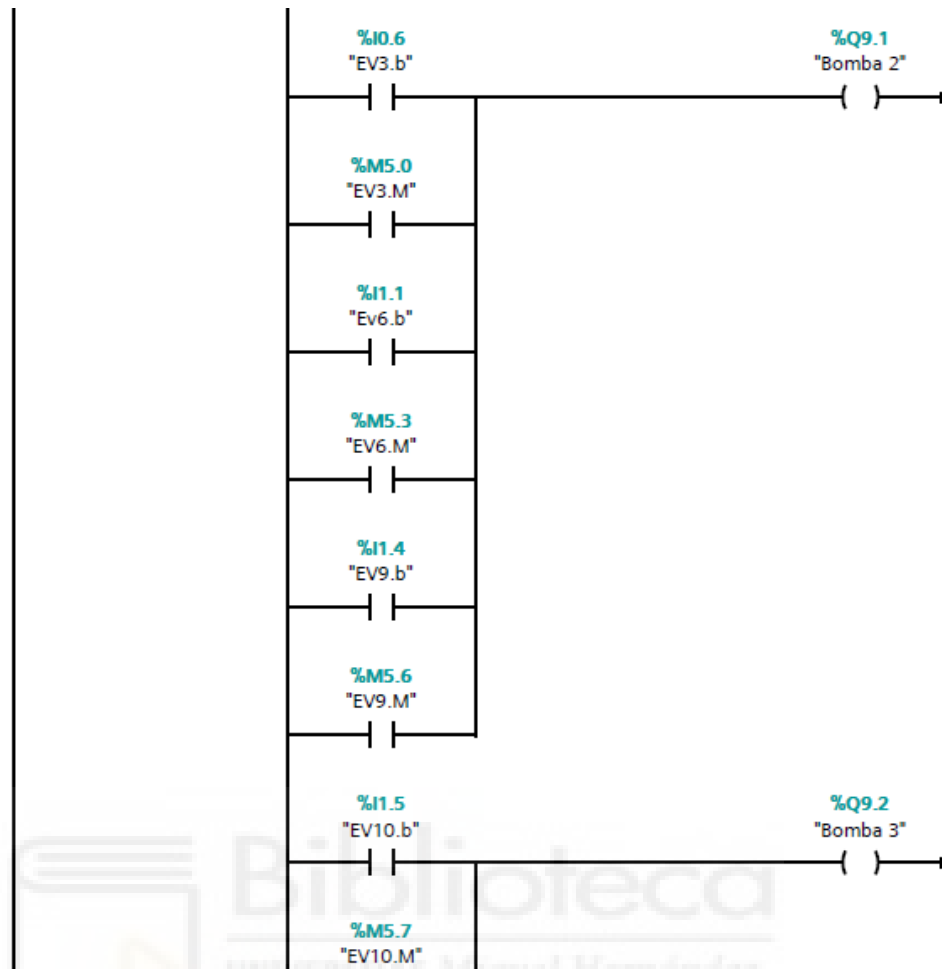


Ilustración 67 Activación salidas KOP VI

3.3. Implementación de la pantalla SCADA para el control

Como se ha mencionado se ha planteado una pantalla SCADA para dotar al personal de una interfaz desde la cual pueden monitorear toda la instalación, así como ejecutar las instrucciones de mando para la realización automática del producto en función de las necesidades de producción.

La interfaz se ha planteado para que sea lo más visual posible facilitando su uso. Constará de un esquema de situación de los tres tanques con todos los actuadores que conformarán cada proceso desde las electroválvulas, bombas, agitadores, dosificadores hasta los sensores incorporados a la instalación.

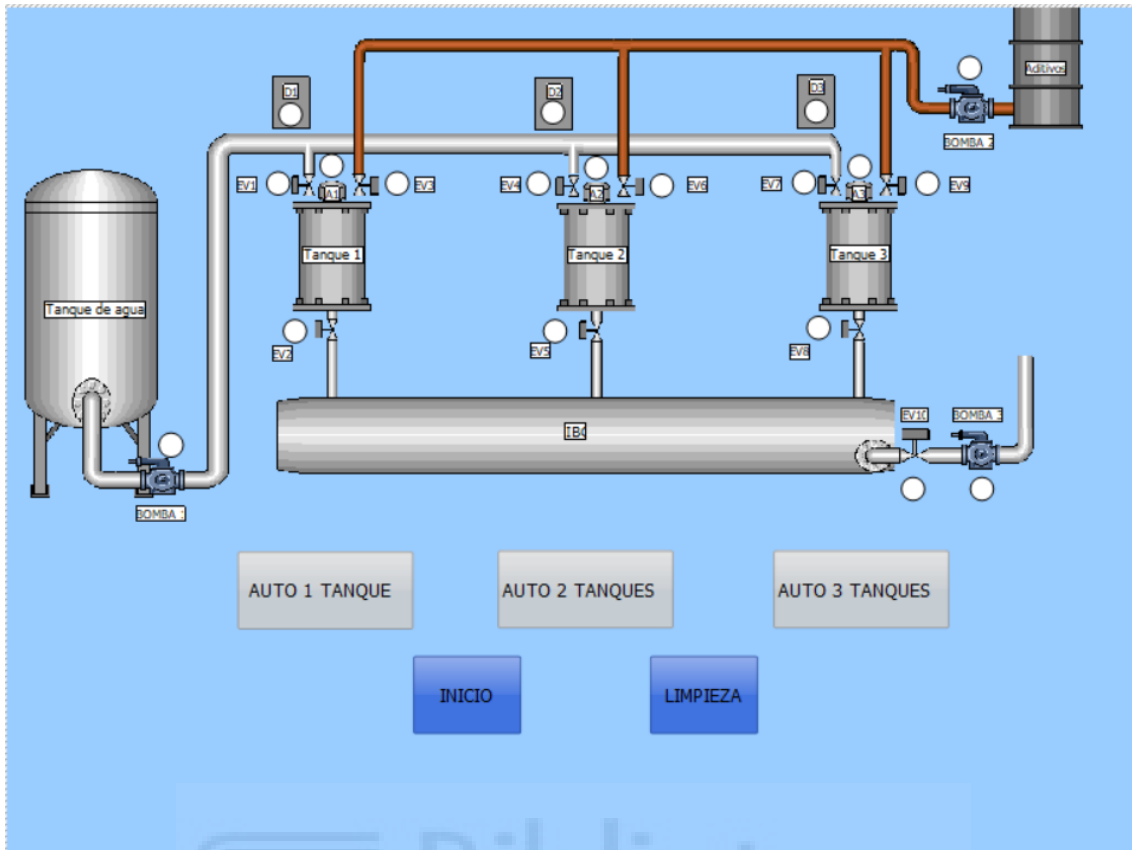


Ilustración 68 Pantalla SCADA para control

3.4. Cuadro de mando y control

Como es necesario vamos a necesitar de un armario donde podremos poner la instalación eléctrica correspondiente a la automatización donde irá colocado el PLC, las fuentes de alimentación, variadores y contactores entre otros, también se dispondrá de una pantalla incorporada para permitir el control del SCADA.

La parte frontal del cuadro de mando vendría comprendido por la botonera donde podremos accionar los dispositivos manualmente, en ella vendrán instalados los pulsadores, interruptores y seta de emergencia. Así como una pantalla táctil para operar de manera cómoda.

La distribución será la siguiente:

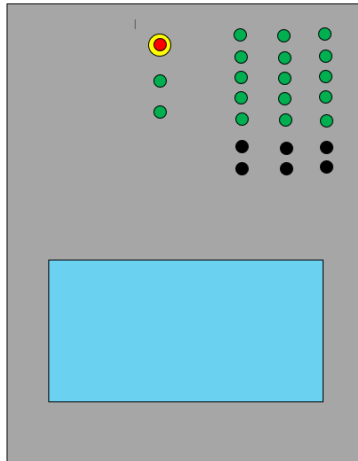


Ilustración 69 Parte frontal del cuadro de mando

En cuanto a la parte interior del cuadro, se mostrará un boceto de la distribución que tendrán los distintos componentes.

- Diferencial |4p4d |25 A | 10kA
- Magnetermico |2p1d | 10 A |6kA
- Magnetermico para PLC |2p1d | 10 A |6kA
- Fuentes de alimentacion continua y alterna
- PLC SIEMENS
- Variador de frecuencia

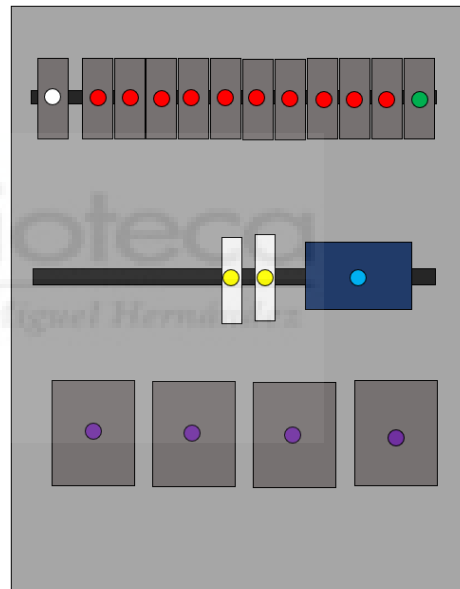


Ilustración 70 Interior del cuadro de mando

4. RESULTADOS

A continuación, vamos a mostrar todos los resultados que se han realizado, declarar que la instalación no ha sido terminada a falta de realizar la instalación de componentes del resto de tanques debido a falta de tiempo y plazos de entrega.

Primero se empezará por la estructura principal donde se desarrollará el producto y donde están instalados los tanques. Como se comentó al inicio de la memoria se dispone de un diseño en el que el tanque mezclador se encuentra situado arriba y el GRG intermedio situado en la zona inferior sirviendo como almacenamiento o carga de depósitos de GRG para la comercialización de grandes cantidades del producto.



Ilustración 71 Imagen de planta I

Aquí se muestra el cuadro de mando donde se ha realizado la instalación solamente para un depósito, dejando el suficiente espacio para terminar el resto de las protecciones y variadores.

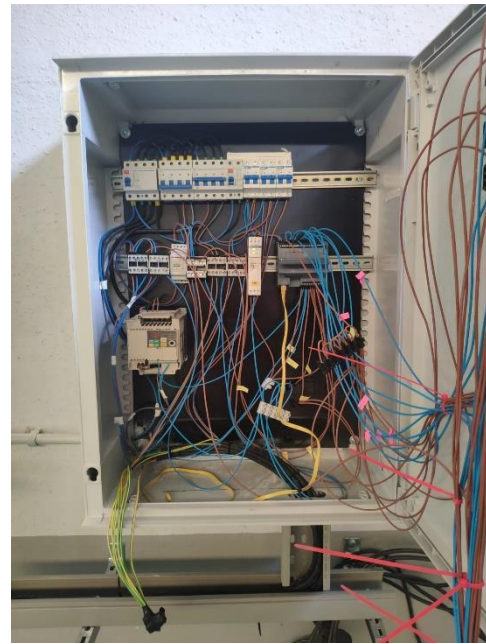
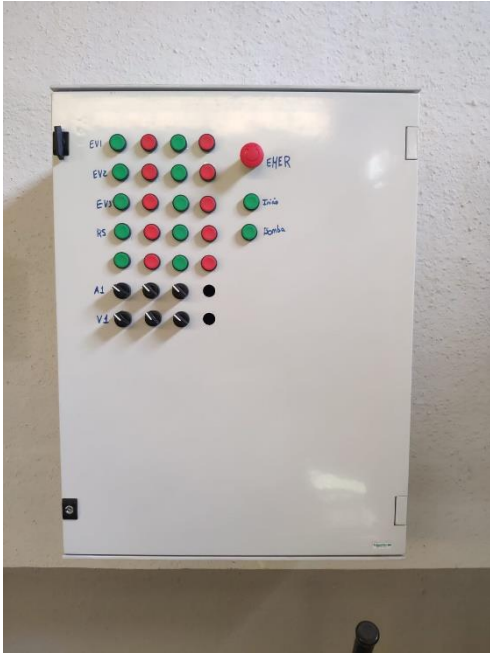


Ilustración 72 Cuadro de mando EXTERIOR / INTERIOR

Así destacar que falta por terminar la instalación que se encarga de suministrar el fertilizante al producto debido a falta de presupuesto y tiempo a la hora de implementar. Está pensado terminarse en el futuro ya que de momento se ha dado prioridad a la creación del resto de depósitos.





Ilustración 73 Instalación

Vamos a ver las siguientes imágenes de conformación del producto:



Ilustración 74 Vertido de agua y agitación M01



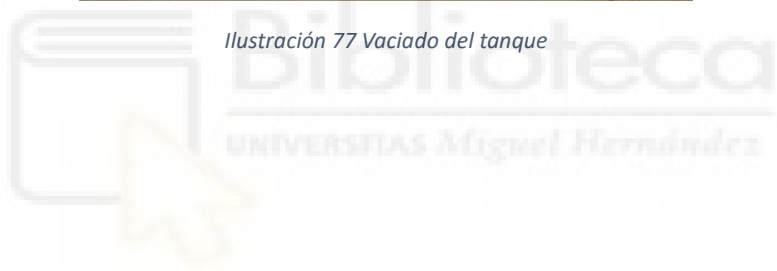
Ilustración 75 Vertdío macromolécula M3



Ilustración 76 Electroválvula 2



Ilustración 77 Vaciado del tanque



5. CONCLUSIÓN Y PUESTAS A FUTURO

Como conclusión de este TFM se ha realizado la automatización de tres tanques para la formación de un producto agrícola. Se ha partido de la base del desarrollo de un GRAFCET donde se ha planteado un modelo para la automatización y posterior programación en el lenguaje KOP para introducirlo en un PLC y se ha comenzado a materializar con equipamiento real, aunque aún será necesario terminar el montaje de todo el proceso.

Este TFM ha supuesto un reto debido a que normalmente los trabajos que se practican en la universidad son de carácter puramente teórico y gracias a la ayuda de este TFM he tenido la oportunidad de experimentar todo el proceso de automatización de una manera más práctica, desde elaborar un diseño con las especificaciones del cliente para cubrir el proceso de conformado del producto hasta llevar a un estado tangible todo lo diseñado.

Hoy en día todavía pueden identificarse detalles en los que mejorar u operar de forma distinta a la acontecida que se irán mejorando con el paso del tiempo en la instalación. Por ello como puesta a futuro de dicho trabajo se plantea incluir dos tanques más para prevenir las futuras demandas de producción y optimizar el proceso.

Como siguiente paso a seguir sería incorporar al proceso una envasadora automática para terminar de cerrar el ciclo de la automatización del proceso de modo que se produzca y empaquete sin la necesidad de mano de obra.

6. BIBLIOGRAFÍA

Autómatas Programables: Teoría y Práctica. Nicolás García, Miguel Almonacid, Roque Salterén, Rafael Puerto. **Editorial** Universidad Miguel Hernández. 2000

