



Universidad de Zaragoza



Centro Politécnico Superior

Proyecto de Fin de Carrera de Ingeniería Industrial

# **APLICACIÓN SCADA PARA EL CONTROL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN EN UNA PLANTA QUÍMICA**



Departamento de informática e Ingeniería de Sistemas

Área de Ingeniería de Sistemas y Automática

**AUTOR: IRENE DE LA VEGA ROMERO  
DIRECTOR: JAVIER MINGUEZ ZAFRA**

CURSO 2010-2011  
MAYO-2011

# APLICACIÓN SCADA PARA EL CONTROL DE PRODUCCIÓN EN UNA PLANTA QUÍMICA

## RESUMEN

El presente proyecto ha sido desarrollado durante el periodo de prácticas realizado en la empresa Entrerríos Automatización (S.A.). El objeto del mismo es el desarrollo de una aplicación Scada para el control de una nueva línea de producción dentro una planta química. Dicha empresa química solicita los servicios de Entrerríos para la creación e implantación del autómata.

El proceso productivo consiste en la elaboración de diferentes productos químicos, y es llevado a cabo en varias fases:

Carga de las materias primas y de los reactivos en los tanques de almacenamiento de la planta para su posterior utilización; elaboración de los diferentes productos finales mediante la mezcla de ciertas materias primas, reactivos y aditivos, en su cantidad exacta y bajo determinadas condiciones, dependiendo del producto que se desea conseguir en cada proceso; y descarga del producto final para su posterior venta.

Todo el conjunto de la instalación está controlado mediante la instrumentación de válvulas, tanques y demás elementos.

Las fases de ejecución del proyecto son:

- 1) Análisis de las exigencias y especificaciones del cliente y de los diferentes elementos de los que consta la planta. El cliente aporta la información de los ciclos del proceso productivo y de la instrumentación de la que ha de disponer la instalación. Con ello se elabora el diseño de automatización del proceso.
- 2) Diseño de la solución:  
Elaboración de la lista de parámetros de control que serán utilizados en la programación del interfaz hombre-máquina.  
Diseño de las líneas de programa mediante diagramas de flujo, que muestran la jerarquía de las acciones, las restricciones que ha de tener el sistema y los controles ante posibles fallos.
- 3) Diseño e implementación del interfaz visual Scada mediante una herramienta informática de Omron (CX-Supervisor). Su misión es la de ofrecer al operario una visión rápida y global de los procesos que están en funcionamiento, permitir la ejecución de otros y aportar seguridad ante posibles fallos en la instalación y las máquinas involucradas.
- 4) Elaboración de un plan de pruebas mediante el cual se verificará la correcta implementación de la aplicación, antes de su instalación en la propia planta.
- 5) El proyecto contendrá un manual de usuario que se entregará al cliente, explicando el funcionamiento del Scada.

El proyecto ha de ser fiel a las exigencias del cliente y ser resuelto dentro del plazo de entrega negociado.

La memoria recoge la explicación de cada una de las fases desarrolladas, y se encuentra más extensamente documentada en los diferentes anexos adjuntos.

# Índice

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	6
1.1.	Ámbito de desarrollo del proyecto	6
1.2.	Diagrama de Gantt	8
<b>2</b>	<b>Descripción de la instalación y nomenclatura</b>	10
2.1.	Redes de comunicación	10
2.2.	Depósitos y circuito hidráulico	11
2.3.	Válvulas	11
2.4.	Bombas	11
2.5.	Instrumentación	11
2.6.	Otros elementos	12
<b>3</b>	<b>Especificaciones: descripción del proceso</b>	12
<b>4</b>	<b>Diseño de la solución</b>	13
4.1.	Parámetros de control	13
4.2.	Diagramas de flujo	17
4.2.1.	Ejemplo: Proceso MP4 (Materias Primas 4)	19
<b>5</b>	<b>Implementación</b>	23
5.1.	Programación del autómata	23
5.2.	Creación de la aplicación Scada	23
5.2.1.	Ejemplo: Proceso “Producto acabado 4”	25
<b>6</b>	<b>Plan de pruebas</b>	28
<b>7</b>	<b>Conclusiones</b>	30
<b>8</b>	<b>Leyendas</b>	31
<b>9</b>	<b>Bibliografía</b>	32

<b>ANEXO I: Instrumentación y red de comunicación.....</b>	<b>34</b>
<b>ANEXO II: Procesos.....</b>	<b>41</b>
<b>ANEXO III: Diagramas de flujo .....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXO IV: Interfaz visual Scada .....</b>	<b>118</b>
<b>ANEXO V: Plan de pruebas.....</b>	<b>140</b>
<b>ANEXO VI: Manual de Usuario Scada.....</b>	<b>146</b>
<b>ANEXO VII: Planos de la planta.....</b>	<b>165</b>

# 1 Introducción

## 1.1. Ámbito de desarrollo del proyecto

El término SCADA significa *Supervisory Control and Data Acquisition*, es decir, supervisión, control y adquisición de datos. Se trata de una aplicación software generalmente diseñada para el control de producción industrial, proporcionando comunicación entre un ordenador y los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso desde la pantalla del ordenador. A su vez, aporta a los usuarios información sobre la producción.

Un sistema SCADA está destinado a realizar cuatro funciones principales:

1. Adquisición de datos
2. Comunicación de datos
3. Presentación de los datos – Visualización
4. Control

La principal característica de estos interfaces de visualización es que son flexibles, ya que pueden monitorear y controlar cualquier red que se les asigne. Además, aportan sencillez de control y manejo al usuario.

El presente proyecto consiste en el desarrollo de una aplicación Scada para el control del proceso productivo en una planta química, la cual ha contratado los servicios de la empresa Entrerríos Automatización S.A. para su realización.

La empresa química, de la cual se mantendrá el anonimato por razones de privacidad, se dedica a la elaboración de diferentes productos químicos y desea automatizar el proceso de producción de una nueva área de la planta. En el apartado 3 de esta sección se describen los ciclos de producción a implementar.

Asimismo, los nombres de las materias primas, reactivos o productos finales no son mostrados por el mismo motivo de confidencialidad, y son designados en función del tipo de sustancia y del proceso en el que se ven involucrados. Ver apartado 4.1.

El proyecto solicitado es amplio y abarca varias áreas de trabajo:

- Desarrollo del proyecto eléctrico y diseño del cuadro.
- Configuración del equipo de control y de las redes de comunicación.
- Confección y suministro de documentación. Incluye planos eléctricos, listado de programa, diseño del interfaz visual (Scada), parametrización de variadores y otros dispositivos.

La oferta incluye la instalación y puesta en marcha, su seguimiento y la posibilidad de realizar modificaciones en el futuro.

Este proyecto fin de carrera se centra en la parte de control y automatización de la planta. Desarrollo mediante una aplicación de OMRON, basada en un PLC CJ1M,

que abarca la programación del PLC y el diseño e implementación del interfaz máquina-usuario (Scada).

El soporte informático utilizado es una aplicación de OMRON. Su uso viene impuesto por deseo del cliente, pese a la propuesta de la empresa proyectista de utilizar otras aplicaciones más potentes para la realización del mismo.

El servidor Scada estará ubicado en el centro de control.

La aplicación Scada está destinada básicamente a controlar la producción, pudiendo visualizar qué productos han sido elaborados, qué cantidades existen de cada uno, qué fallos han aparecido en un instante determinado, cuáles se han producido en el pasado, etc. El punto fundamental es el crear una aplicación clara y sencilla de manejar.

El objeto de este proyecto es el de conseguir que la nueva ampliación de la planta química tenga un sistema de producción moderno y eficaz, así como fácil de utilizar por cualquier operario. El programa debe tener en cuenta posibles imprevistos y fallos que puedan aparecer durante el proceso productivo. Esto es, crear un sistema de control claro, rápido y seguro.

Las fases de realización del proyecto son:

1) Análisis de las exigencias del cliente y de los diferentes elementos de los que consta la planta. El cliente aporta la información de los pasos del proceso productivo y de la instrumentación de la que dispone la planta. Con ello se podrá elaborar el diseño de automatización del proceso.

2) Diseño de la solución.

Elaboración de la lista de parámetros de control que serán utilizados en la programación de la aplicación.

Diseño de las líneas de programa mediante diagramas de flujo, que muestran la jerarquía de las acciones, las restricciones que ha de tener el sistema y los controles ante posibles fallos.

3) Aplicación Scada. Este interfaz máquina-usuario será diseñado mediante una herramienta informática de OMRON (CX-Supervisor). Su misión es la de ofrecer al operario una visión rápida y global de los procesos que están en funcionamiento, permitir la ejecución de otros procesos configurados y aportar seguridad en su funcionamiento.

4) Simulación de su uso en oficina antes de su implantación en la planta. Diseño de un plan de pruebas para concluir que la aplicación ha sido implementada correctamente. Ver anexo V.

5) El proyecto contendrá además un manual de usuario para el cliente, explicando el manejo del Scada. Incluido en anexo VI.

El trabajo habrá de estar en concordancia con los requisitos solicitados por el cliente y deberá resolverse dentro del plazo de entrega negociado.

A partir del diseño de la solución, la programación se realiza en el soporte de Omron CX-Programmer y la elaboración del Scada, mediante CX-Supervisor, también de Omron.

El proyecto finaliza con la realización de un plan de pruebas que será implementado antes de la puesta en marcha del sistema, para asegurar el correcto funcionamiento del mismo ante el cliente y evitar posibles fallos que puedan dañar la instalación.

## 1.2. Diagrama de Gantt

El proyecto solicitado por el cliente dispone de un plazo de entrega. Esto implica una programación de las tareas que hay que realizar.

A la elaboración del proyecto en la empresa, hay que añadir el tiempo de documentación del mismo para realizar su presentación como proyecto de fin de carrera.

La programación del tiempo ha sido realizado mediante un diagrama de Gantt (ver Ilustración 1). Este diagrama no abarca sólo el tiempo dedicado al trabajo para el cliente, sino también el dedicado al trabajo personal de documentación.

El comienzo del periodo de prácticas en la empresa proyectista, Entrerríos Automatización, comienza en septiembre, coincidiendo con el inicio del proyecto en el cual trabajaré.

El primer paso, debido a la ausencia de formación en esta área, es el de aprendizaje en el uso de las herramientas informáticas que más adelante se utilizarán.

El “análisis de las especificaciones” implica comprender los deseos del cliente para realizar un correcto planteamiento de la solución y adecuada ejecución del proyecto.

El trabajo se divide en tres fases:

1. Diseño de la solución: análisis en profundidad de las especificaciones solicitadas; creación de los diagramas de flujo, a partir de los cuales se realizará la parte de programación del programa; diseño general de las pantallas Scada, para su posterior elaboración.
2. Implementación: elaboración del listado de parámetros de control del sistema; creación de la aplicación Scada a partir de lo diseñado en la fase anterior; programación del PLC para el control de la planta.

3. Fase de pruebas: creación de un plan de pruebas y comprobación de la correcta implementación del proyecto mediante las mismas.

Durante el periodo de realización del proyecto se acuerdan citas con el cliente, realizando visitas a la planta para concretar aspectos poco definidos y posibles modificaciones.

Una vez elaborado el proyecto, se crea un manual de usuario del interfaz Scada para el cliente, y se documenta para la presentación del proyecto fin de carrera.

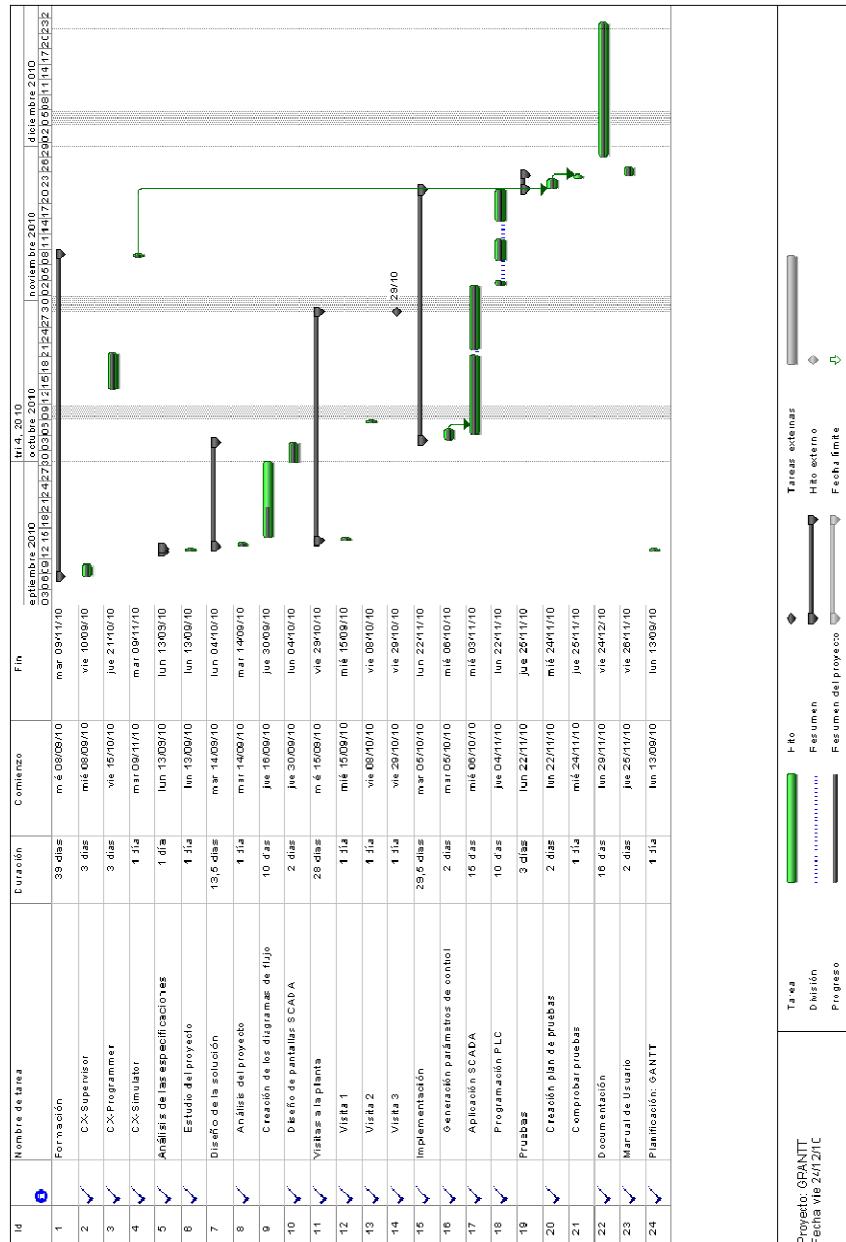


Ilustración 1. Diagrama de Gantt

## 2 Descripción de la instalación y nomenclatura

En el anexo VII se encuentran los planos facilitados por el cliente, los cuales aportan una visión general de cómo estará distribuida la planta, de los elementos que la componen y de su instrumentación.

La información detallada sobre los elementos que componen el sistema (apartados 2.2-2.6) se adjunta en el anexo I.

### 2.1. Redes de comunicación

La ilustración 2 muestra el esquema de la red que controlará la instalación.

Existe un único PC en el que se ejecuta y almacena la aplicación Scada, de control y supervisión de la planta.

El servidor Scada conecta con el PLC mediante red Ethernet. El PLC, modelo CJ1M, es elegido en función del volumen de parámetros de control que van a ser necesarios. Su elección va precedida de un estudio inicial del proyecto, que permite estimar el espacio de memoria que ha de tener el dispositivo. Siempre se implantará un PLC con más memoria que la estimada al inicio del proceso, en previsión de posibles modificaciones y ampliaciones que en un futuro pueda desear hacer el cliente.

Se trata de un sistema de lazo cerrado, ya que los datos fluyen desde el PLC hasta los elementos que componen la instrumentación, y viceversa, realimentando continuamente la información del sistema.

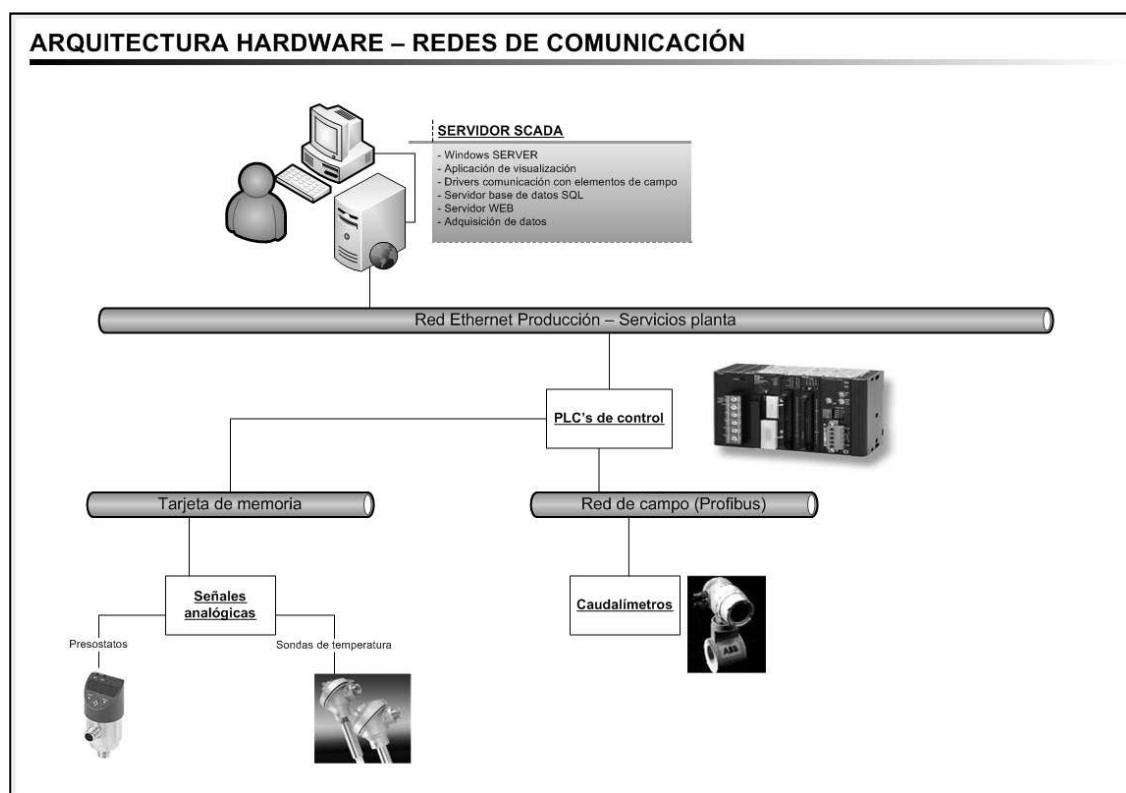


Ilustración 2. Red de comunicación

## 2.2. Depósitos y circuito hidráulico

La instalación está compuesta por quince tanques, dos de los cuales son externos a la planta. Otros dos son tanques de mezcla, T301 y T302, provistos de un agitador para la preparación de los diferentes productos. El tanque T315 dispone igualmente de agitador, sin embargo su función es la de almacenamiento, usando este elemento para evitar la compactación del producto almacenado.

Los tanques restantes son utilizados para el almacenamiento de producto en stock, de reactivos o de materias primas.

Los tanques están unidos mediante una red de tuberías. El paso de caudal por el circuito está regulado por válvulas y bombas, e instrumentado mediante caudalímetros y presostatos.

## 2.3. Válvulas

El paso de caudal por el circuito hidráulico está regulado por válvulas y bombas asociadas a cada uno de los tanques.

La automatización de las válvulas permite accionar su apertura y cierre. Asociándolo al control de las bombas y la lectura de los caudalímetros, permite regular el paso de producto por las tuberías deseadas.

## 2.4. Bombas

El sistema está dotado de once bombas, cada una de las cuales está situada a la salida de uno de los tanques. Su función es la de impulsar el producto de un tanque a otro a través del circuito hidráulico.

## 2.5. Instrumentación

El sistema está instrumentado mediante diferentes sensores que comunican analógicamente con el PLC, permitiendo el control del proceso y aportando seguridad a su funcionamiento. Los elementos que componen la instrumentación del sistema son:

- Caudalímetros magnéticos (FT)
- Transmisores de temperatura (TT)
- Transmisores de nivel (LT) o presostatos
- Interruptores de nivel (H, L)
- Detectores de giro (BG)

## 2.6. Otros elementos

- Cintas con motor o tornillo sinfín
- Elevadores de canjilones
- Botoneras de campo
- Células de carga
- Agitadores
- Vibradores

## 3 Especificaciones: descripción del proceso

Para la realización de este proyecto, el cliente informa sobre los diferentes procesos que se llevan a cabo en la planta y qué restricciones han de aplicarse para su correcto funcionamiento. El proceso productivo engloba varias fases, desde la recepción de materias primas, pasando por la elaboración de productos, hasta la venta de producto final.

Los procesos se pueden clasificar en cinco grupos diferentes:

- 1) Materias Primas: existen cuatro procesos dentro de este grupo. Todos ellos consisten en la descarga de producto (materia prima) desde un camión o desde una tolva, hasta un tanque de almacenamiento para su posterior uso en alguno de los procesos de producción de producto final.
- 2) Preparación de reactivos: grupo compuesto por dos procesos muy similares en los que se mezcla reactivo con una cantidad determinada de agua y se mezcla en un tanque. Posteriormente será empleado en la fase de reacción.
- 3) Reacciones: existen dos procesos, “Reacción 1” y “Reacción 3”, en cada uno de los cuales se preparan dos productos diferentes.

Estos procesos se llevan a cabo introduciendo en la aplicación Scada las cantidades que se quiere utilizar de reactivos, materias primas y aditivos, y el tiempo de agitación de la mezcla para su correcta compactación.

Las reacciones constan de dos procesos de seguridad, llamados “enfriamiento” y “calentamiento”, los cuales se encargan de que el tanque de reacción conserve una temperatura óptima establecida entre dos límites, máximo y mínimo, de temperatura.

El grupo “Reacciones” consta del mayor número de parámetros de control, elementos y restricciones, por lo que es el más complejo de crear que otras de las fases.

- 4) Vaciado de reactores a Stock: grupo formado por dos procesos que consisten, como su nombre indica, en trasvasar el producto formado en los reactores a otros tanques de almacenamiento. Con este proceso, se vacía el tanque de reacción para así poder elaborar en él otro producto.

El tanque se considera vacío, no cuando se ha extraído al completo el producto que contiene, sino al alcanzar el nivel de producto el valor límite previamente determinado en la aplicación Scada.

- 5) Producto acabado: es el último grupo. Está compuesto por cuatro procesos de descarga de producto final desde los tanques de almacenamiento de Stock hasta un camión u otro tanque. Con esta fase finaliza el proceso productivo, procediendo a la venta del producto elaborado.

Las especificaciones concretas de cada uno de estos procesos se encuentran en el Anexo I: “Procesos”.

## 4 Diseño de la solución

El diseño de la solución del proyecto acometido, consiste en la elaboración de un listado de parámetros de control y de los diagramas de flujo a partir de los cuales se acometerá la programación de la aplicación.

Ambos pasos se realizan a partir de las especificaciones de los procesos definidos por el cliente.

Un listado de parámetros de control bien elaborado es fundamental para la posterior programación e implementación de la aplicación Scada.

### 4.1. Parámetros de control

El listado de parámetros de control ha sido creado en una plantilla Excell debido a las posibilidades que ofrece y porque permite crear un formato de datos que posteriormente permitirá su transferencia a los programas de ejecución y diseño.

El procedimiento de transferencia de parámetros a CX-Programmer y CX-Supervisor, comienza con la creación en Excell de una tabla de datos de formato compatible con cada programa. Se especifican en cada caso las propiedades requeridas (nombre del parámetro, tipo de datos, descripción,...) y se insertan transfiriéndolos directamente (copiar-pegar) en el área destinada para ello en cada programa (ver ilustración 3 e ilustración 4.)

Se requieren diferentes tipos de datos para lograr un control eficaz y correcto. El PLC dispone de varias áreas de memoria, lo cual facilita la gestión de estos datos. Cada una de las áreas de memoria lleva a cabo una función diferente. Aquellas accesibles para su uso en programación se clasifican como áreas de datos. Las otras áreas de memoria se destinan al almacenamiento del programa de usuario y el archivo temporal de datos.

Existen diez áreas de memoria disponibles, de las cuales cuatro han sido utilizadas para almacenar los parámetros de control del proyecto:

ÁREA DE MEMORIA	DESCRIPCIÓN	CAPACIDAD
<b>CIO</b>	I/O Control Área de direccionamiento de Entradas/Salidas	6140
<b>D</b>	Data Área de memoria no volátil (todo tipo de datos)	32760
<b>H</b>	Holding Area Área de memoria no volátil (datos booleanos)	1535
<b>W</b>	Work Area Área de acceso rápido y volátil	510

Tabla 1. Áreas de memoria utilizadas

Criterios de almacenamiento y designación de los parámetros de control:

- *Generales*: alarmas o acciones globales del proceso
- *Analógicas*: entradas/salidas de las señales analógicas
- *Caudalímetros*: entradas/salidas vía Profibus o asignación de datos a estos elementos
- En función del *tanque* al que pertenecen
- En función del *proceso* en el que están involucrados
- Otros son: Válvulas y motores (Grupos definidos en el anexo I. Instrumentación y red)

La tabla 2 muestra el área utilizada por cada grupo. El procedimiento llevado a cabo en el proyecto es el de dejar reservas para posibilitar la inserción de más procesos, y dentro de cada proceso, se habilitan parámetros de reserva para tener la opción de insertar nuevas variables.

SECCION	AREA H:1535		AREA W:510		AREA D:32767		TIM
	INI	FIN	INI	FIN	INI	FIN	
Generales	0	9	0	9	0	49	0
Analógicas	50	82			100	260	
Caudalímetros area datos calculados de trabajo			50	82	500	820	
Caudalímetros area datos profibus DP-Hardware					8000	9000	
T103	100	119			10000	10049	20
T107	120	139			10050	10099	30
T126	140	159			10100	10149	40
T301	160	179			10150	10199	50
T302	180	199			10200	10249	60
T303	200	219			10250	10299	70
T304	220	239			10300	10349	80
T305	240	259			10350	10399	90
T306	260	279			10400	10449	100
T307	280	299			10450	10499	110
T308	300	319			10500	10549	120
T309	320	339			10550	10599	130
T310	340	359			10600	10649	140
T315	360	379			10650	10699	150
S311	380	399			10700	10749	160
S316	400	419			10750	10799	170
CINTAS	420	439			10800	10849	180
RESERVA TANQUE	440	459			10850	10899	190
RESERVA TANQUE	460	479			10900	10949	200
RESERVA TANQUE	480	499			10950	10999	210
FB Area no retenida					30000	31000	
VALVULAS	1000	1299	10	14			
MOTOR_SIMPLE	1300	1399	15	19			
MOTOR_SIMPLE_BG	1400	1459	20	24			
MOTOR_ARRANCADOR	1460	1489	25	29			
MOTOR_ARRANCADOR_BG	1490	1519	30	35			
Proceso 01: MP1: Descarga de cisterna Materia Prima 1 en T306	500	509			12000	12049	300
Proceso 02: MP2: Descarga de cisterna Materia Prima 2 en T307	510	519			12050	12099	310
Proceso 03: MP3: Descarga de cisterna Materia Prima 3 en T308	520	529			12100	12149	320
Proceso 04: MP4: Llenado de tolva de Materia Prima 4 en S-311	530	539			12150	12199	330
Proceso 05: MP5: reserva	540	549			12200	12249	340
Proceso 06: PR1: Reactivo 1 en T309	550	559			12500	12699	350
Proceso 07: PR2: Reactivo 2 en T309	560	569			12700	12899	360
Proceso 08: PR3: reserva	570	579			12900	13099	370
Proceso 09: PR4: reserva	580	589			13100	13299	380
Proceso 10: RE1: Producto 1 y Producto 2 en T301	590	609			13300	13699	390
Proceso 12: RE3: Producto 3 y Producto 4 en T302	610	629			13700	14099	410
Proceso 14: RE5: reserva	630	649			14100	14499	430
Proceso 15: VR1: trasvase de reactor T301 a stock T303	650	659			14500	14699	450
Proceso 16: VR2: trasvase de reactor T302 a stock T304-305	660	669			14700	14899	460
Proceso 17: VR3: reserva	670	679			14900	15099	470
Proceso 18: PA1: Carga cisterna desde T303	680	689			15100	15199	480
Proceso 19: PA2: Carga cisterna desde T304	690	699			15200	15299	490
Proceso 20: PA3: Carga cisterna desde T305	700	709			15300	15399	500
Proceso 21: PA4: Trasvase a T315 desde T303-T304	710	719			15400	15499	510
Proceso 22: PA5-PRODUCTO ACABADO 5: reserva	720	729			15500	15599	520
Proceso 23	730	739			15600	15699	530
Proceso 24	740	749			15700	15799	540
Proceso 25	750	759			15800	15899	550
Proceso 26	760	769			15900	15999	560
Proceso 27	770	779			16000	16099	570
CONTROLLER LINK					20000	20999	

Tabla 2. Asignación del área de memoria por procesos

Dentro de cada proceso se crean las tablas con los correspondientes parámetros de control. El formato de datos para su descripción, es diferente según el programa al que esté destinada su exportación (CX-Programmer o CX-Supervisor). El nombre y dirección deben ser, sin embargo, los mismos en ambos casos, para permitir el correcto direccionamiento. La definición para parámetros destinados a CX-Programmer se

muestra en la ilustración 3; la descripción para CX-Supervisor, en la ilustración 4. Ambos pertenecen al primer proceso de materias primas.

PROC	GRUPO	VARIABLE	DIR	INI	BYTE	BIT
MP1	CB	PAUSA	MP1CB_PAUSA	H	500	0 4

Ilustración 3. Definición de una variable para su transferencia a CX-Programmer

SIMBOLO	Tipo	DIRECCION	Comentario
MP1CB_PAUSA	BOOL	H500.4	MP1-COMANDO Pausar proceso

Ilustración 4. Definición de una variable para su transferencia a CX-Supervisor

A los productos involucrados en el proceso productivo, se les asigna un número para poder llamarlos en las líneas de programa. Por tanto, los parámetros asociados a los nombres de los productos son números enteros. La tabla 3 muestra cómo han sido definidos. Como en todos los casos, se crean reservas, en este caso, asignación para diferentes tipos de producto que puedan ser, en el futuro, involucrados en el proceso. Los aditivos no son designados mediante ningún valor, ya que su control es sencillo al estar almacenados siempre en el mismo tanque.

INDICE	TIPO	PRODUCTO
0		VACÍO
1	MATERIAS PRIMAS	Materia Prima 1
2	MATERIAS PRIMAS	Materia Prima 2
3	MATERIAS PRIMAS	Materia Prima 3
4	MATERIAS PRIMAS	Materia Prima 4
5	MATERIAS PRIMAS	
6	MATERIAS PRIMAS	
100	REACTIVOS	Reactivos 1
101	REACTIVOS	Reactivos 2
102	REACTIVOS	
103	REACTIVOS	
104	REACTIVOS	
200	PRODUCTO ACABADO	Producto Acabado 1
201	PRODUCTO ACABADO	Producto Acabado 2
220	PRODUCTO ACABADO	Producto Acabado 3
221	PRODUCTO ACABADO	Producto Acabado 4

Tabla 3. Denominación numérica de los productos

## 4.2. Diagramas de flujo

Los diagramas de flujo permiten implementar, de una manera esquemática, la solución del proceso para su posterior programación. Son de gran utilidad a la hora de, una vez creado el programa, resolver fallos, ya que su visualización es más clara que las líneas de programa.

Estos diagramas han sido elaborados a partir de los procesos especificados por el cliente (ver anexo I).

Todo proceso está dividido en cuatro procesos (ilustración 5):

- Condiciones Iniciales: al seleccionar un proceso en la pantalla general, comienza el control de las condiciones iniciales para comprobar si puede ser inicializado en función de las restricciones impuestas.
- Procesos: abarca cada una de las fases que han de ejecutarse consecutivamente.
- Control: hace referencia al control de defectos. Si se ejecuta una acción no deseada o se registra un valor no deseado que pueda dañar el sistema, se activa una alarma y se pausa el proceso.
- Visualización Scada: muestra los mensajes de estado que deben visualizarse en el interfaz usuario y que permiten realizar el seguimiento del proceso.

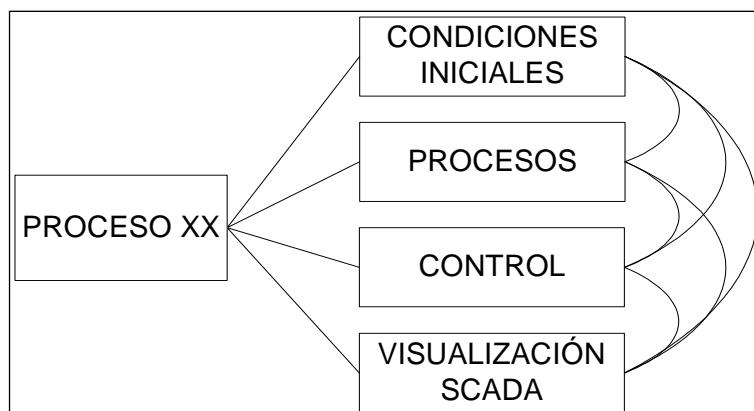


Ilustración 5. Estructura de programación de cada proceso

El programa está organizado por procesos, algunos de los cuales son incompatibles de ser ejecutados simultáneamente. Esta incompatibilidad se debe a, por ejemplo, involucrar un mismo tanque en varios procesos. Esto hace que, para no provocar fallos en el funcionamiento, haya que ejecutarlos uno a continuación del otro.

La ilustración 6 muestra el diagrama de la estructura global del programa, así como las incompatibilidades entre procesos.

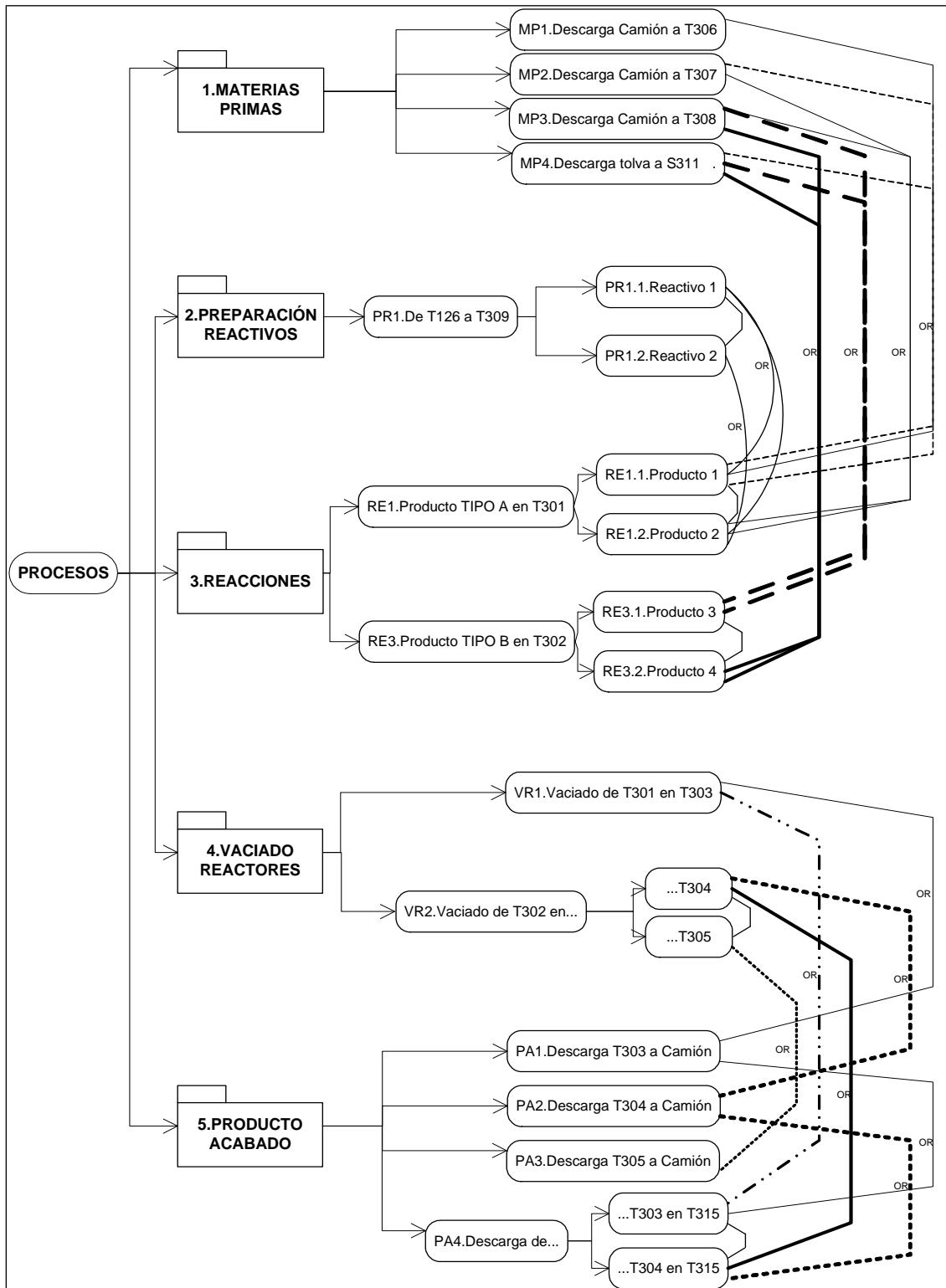


Ilustración 6. Estructura global del programa

El anexo III contiene los diagramas de flujo de cada uno de los procesos.

#### 4.2.1. Ejemplo: Proceso MP4 (Materias Primas 4)

El diseño de los diagramas de flujo de cada uno de los procesos se ha llevado a cabo tomando como referencia los procesos descritos en el anexo I. A continuación se muestra la implementación del proceso MP4. Los demás procesos siguen la misma estructura, cada uno cumpliendo con sus propias restricciones.

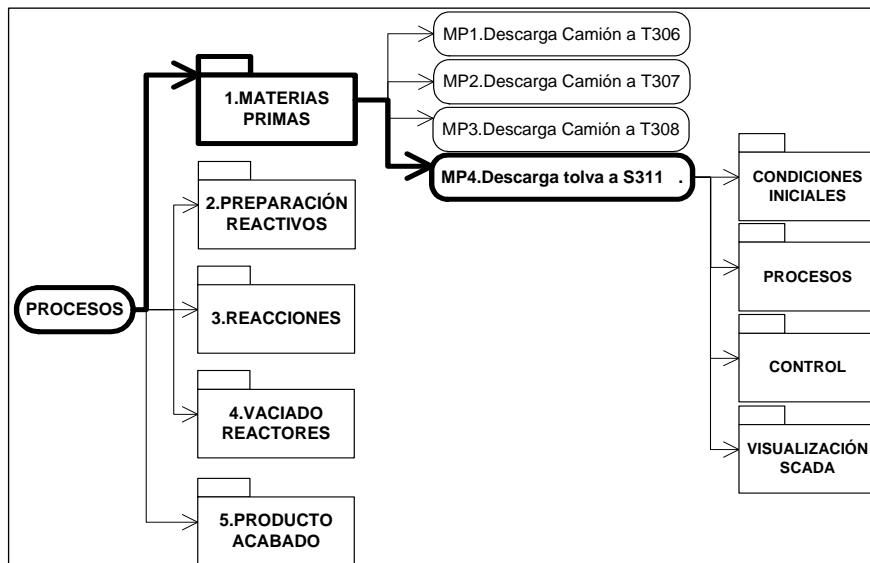


Ilustración 7. Estructura general del programa – Selección del proceso MP4.

El anexo I contiene la definición de los pasos a seguir en las diferentes fases de cada proceso.

En este caso (proceso de llenado de Materia Prima 4 en tanque S311) se describen las condiciones iniciales que ha de cumplirse para permitir el inicio del mismo (ilustración 7):

*El proceso consiste en un traspase desde una tolva hasta un tanque. El producto pasa de la tolva a un tornillo sin fin que conduce el producto hacia un elevador de canjilones, el cual descarga en el tanque S-311.*

Los pasos previos al inicio del proceso son:

- Comprobar que no hay otro proceso activo extrayendo producto del tanque, es decir, que las válvulas HV311B y C estén cerradas. Y, por seguridad, también la HV311;
- Comprobar que la célula de carga (CC-311) no registra un valor mayor que la cantidad máxima permitida en el tanque.

*Si alguno de estos casos se diera, el proceso deberá pausarse.*

*Si no hay ningún otro proceso activo, se habilitará la botonera de campo.*

Los pasos descritos son representados como acciones en el diagrama de flujo (ilustración 8). Las acciones implican la asignación de valores a los parámetros de control, o la ejecución de animaciones en Scada. Si la ejecución de “Condiciones

“Iniciales” finaliza sin errores, se direcciona al siguiente paso, en este caso la fase 1 del proceso (F1).

Los parámetros introducidos desde el Scada en el inicio se representan al pie del diagrama de flujo de “condiciones iniciales” y se denomina “receta”. En MP4 deberá asignarse un valor a la cantidad máxima de producto que ha de haber en el tanque para permitir la descarga de producto.

El seguimiento de los demás diagramas de flujo puede hacerse mediante la descripción adjunta en el anexo I.

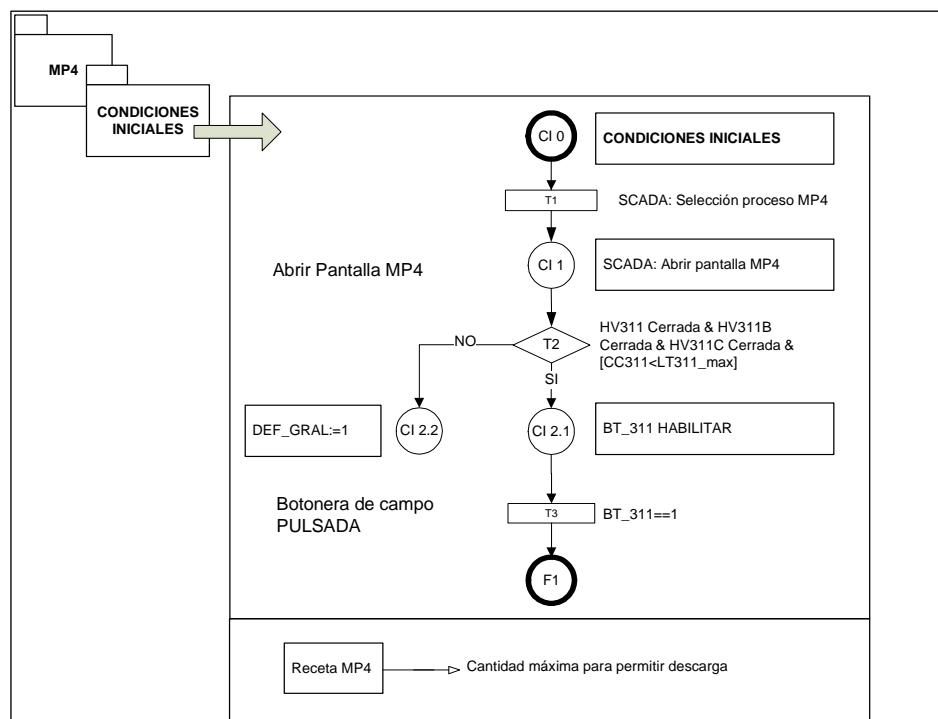


Ilustración 8. Diagrama de flujo Proceso MP4 – Fase: Condiciones iniciales

El proceso de MP4 se ejecuta en una sola fase (ilustración 9). Al finalizar la fase, se direcciona otra vez a su comienzo (F1), ya que se puede volver a ejecutar tantas veces como se quiera, siempre que no exista defecto.

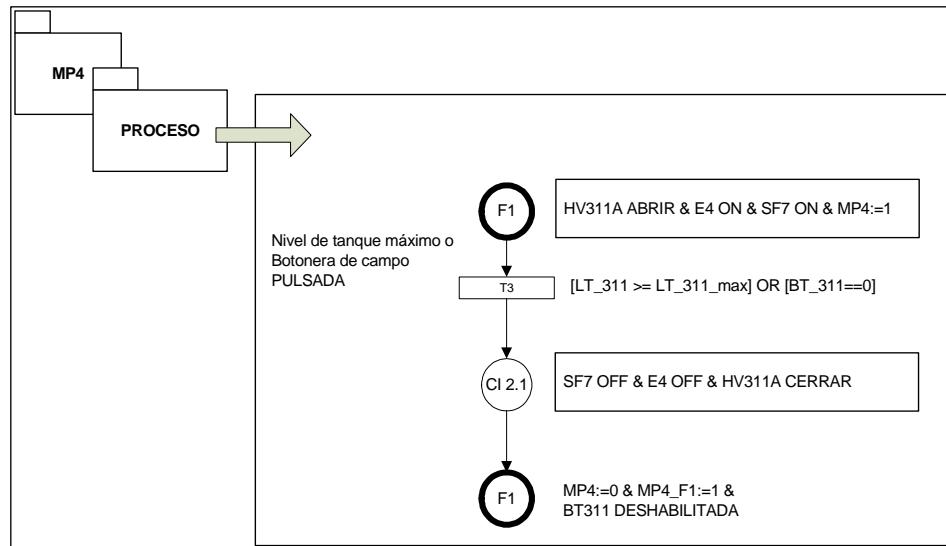


Ilustración 9. Diagrama de flujo Proceso MP4 – Fase: Proceso

En el proceso “control” (ilustración 10) se encuentran los defectos y las acciones que deben ejecutarse para proteger la instalación. En este caso se observa que si el nivel del tanque S311 supera al nivel definido como nivel máximo, se ejecuta un defecto general, y el proceso se pausa. A su vez, elimina el mensaje de defecto general si este ha sido solventado.

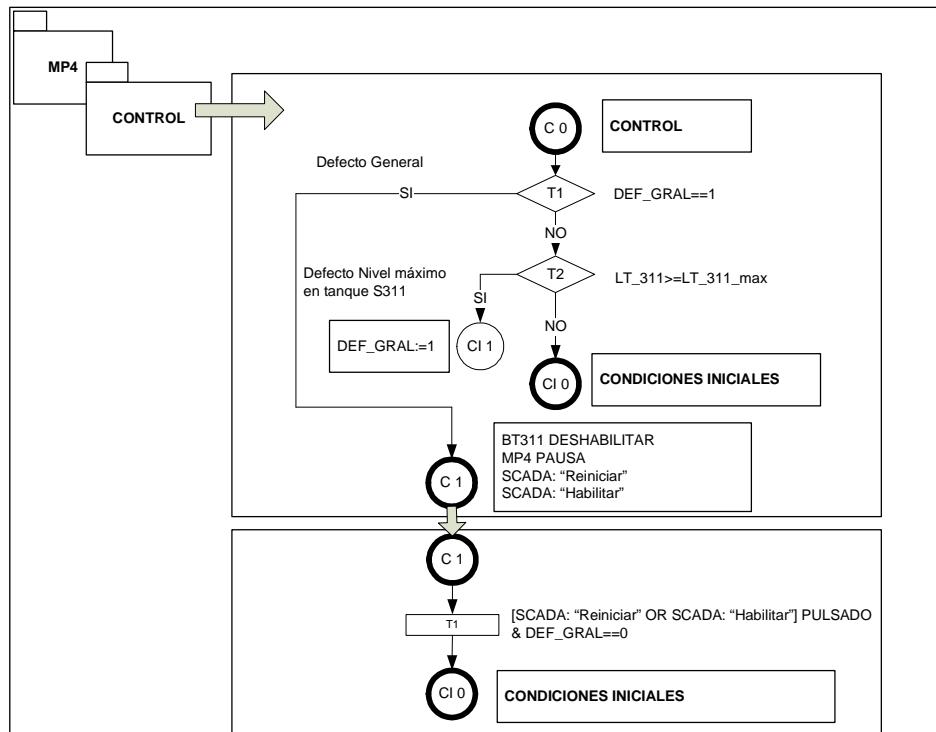


Ilustración 10. Diagrama de flujo Proceso MP4 – Fase: Control

La visualización del proceso en el interfaz usuario, tal y como se muestra en la ilustración 10, se ejecuta en el apartado siguiente “visualización Scada” (ilustración 11).

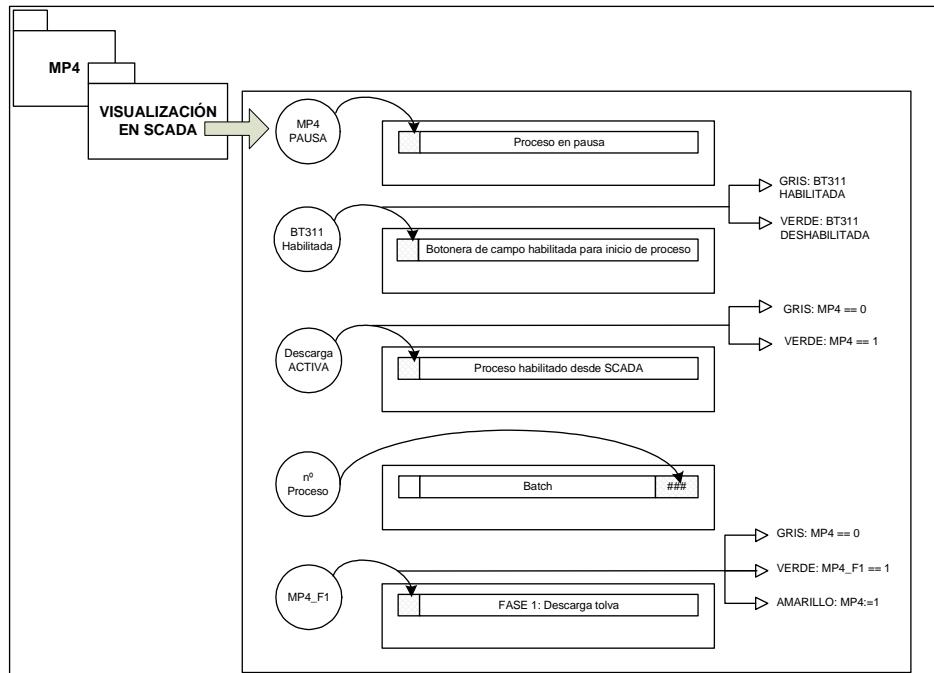


Ilustración 11. Diagrama de flujo Proceso MP4 – Fase: Visualización en Scada

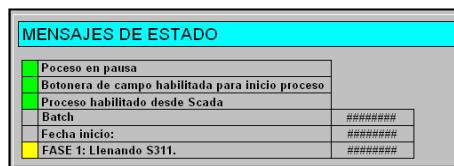


Ilustración 12. Área Scada – Mensajes de estado

El programa contendrá a su vez bloques que completan la correcta ejecución del conjunto de procesos:

- Rearme: anulación de defectos y alarmas. Esta acción es ejecutada desde el Scada o desde algún pulsador a pie de máquina.
- Lectura y habilitación o deshabilitación de variables analógicas y de profibus.
- Cambio de unidades. Esto es necesario para calcular cantidades de producto, ya que los niveles de los tanques se introducen en metros y los caudalímetros miden en litros. Para ello, el usuario introduce datos como el radio y la altura del tanque (en metros) o la densidad del producto.

El parámetro “Defecto General” es común a todos los procesos, por lo que afectará a todas las líneas de programa. Esta es una de las muchas medidas de seguridad que gobiernan la instalación.

## 5 Implementación

El control de la planta se realiza a través de la programación del PLC y del interfaz hombre-máquina (Scada).

### 5.1. Programación del autómata

Programación del PLC:

- Configuración hardware del equipo central y sus comunicaciones.
- Programación de eventos generales: fallos de alimentación, modos de funcionamiento, etc.
- Captación de sensores de campo: caudalímetros, sensores de nivel, etc.
- Modos de funcionamiento automático y manual para todos los accionamientos.

El PLC ha sido elegido de la marca OMRON, y programado mediante su aplicación CX\_Programmer.

La programación del autómata se divide en tres grandes grupos:

- El llamado “Generales”, engloba averías, fallos, etc., de carácter global; señales analógicas (niveles, células de carga, etc.); “Profibus”, destinado al control de las señales de los caudalímetros.
- El apartado “Tanques”, en el que cada uno de los tanques implicados en el proceso y todos sus elementos, como bombas y válvulas, son implementados para su control.
- El último, llamado “Procesos”, incluye, como su nombre indica, la programación de cada proceso, con todos los requisitos de ejecución requeridos por el cliente. En cada uno se definen las correspondientes condiciones que limitan la puesta en marcha, activan alarmas o pausan el proceso, evitando fallos en su ejecución o daños en la instalación.

### 5.2. Creación de la aplicación Scada

Programación del Scada:

- Desarrollo de las pantallas necesarias para el diagnóstico ampliado de toda la instalación.
- Desarrollo de pantallas para el mando de los accionamientos.
- Configuración de procesos y sus parámetros

- Visualización y gestión de alarmas. Registro de históricos.
- Visualización y registro de tendencias de señales analógicas y valores de proceso.
- Configuración de comunicaciones con el PLC.

Diseño del Scada:

La aplicación Scada es creada en función a los requisitos solicitados por el cliente y siguiendo la estructura de procesos definida en el apartado 3. Pantallas que la componen:

- Generales Instalación: página de inicio en la que se selecciona el proceso al que se quiere acceder.
- Una pantalla por cada proceso, clasificadas según tipo:
  - Materias Primas (MP): MP1, MP2, MP3 y MP4.
  - Preparación de reactivos (PR): PR1.
  - Reacciones (RE): RE1 y RE3.
  - Vaciado de reactores (VR): VR1 y VR2.
  - Producto acabado (PA): PA1, PA2, PA3 y PA4.
- En cada proceso, pantalla ejecutable que permite introducir los parámetros de control (receta).
- Pantallas emergentes que muestran información sobre los diferentes elementos (bombas, tanques, etc.).
- Elemento “plantilla”, visualizada siempre a pie de página, permitiendo el control de las alarmas y opciones comunes de manejo de la instalación.
- Pantallas de gráficos para el control de los valores más importantes de proceso.
- Opción de imprimir informes y gráficos. Pantalla emergente de acceso al archivo y de activación de la impresión. (Sólo en diseño.)

Las alarmas, definidas en el anexo IV, son los mensajes de fallo del sistema que se ejecutan en el interfaz usuario para su visualización durante la persistencia del error y para su registro en el apartado “histórico de alarmas”.

A continuación se muestra un ejemplo del interfaz de usuario (apartado 5.2.1). La explicación en profundidad de la creación del Scada y sus posibilidades se puede consultar en el Anexo III.

### 5.2.1. Ejemplo: Proceso “Producto acabado 4”

El diseño de las pantallas de proceso del interfaz hombre-máquina se realizan siguiendo una misma estructura de proceso.

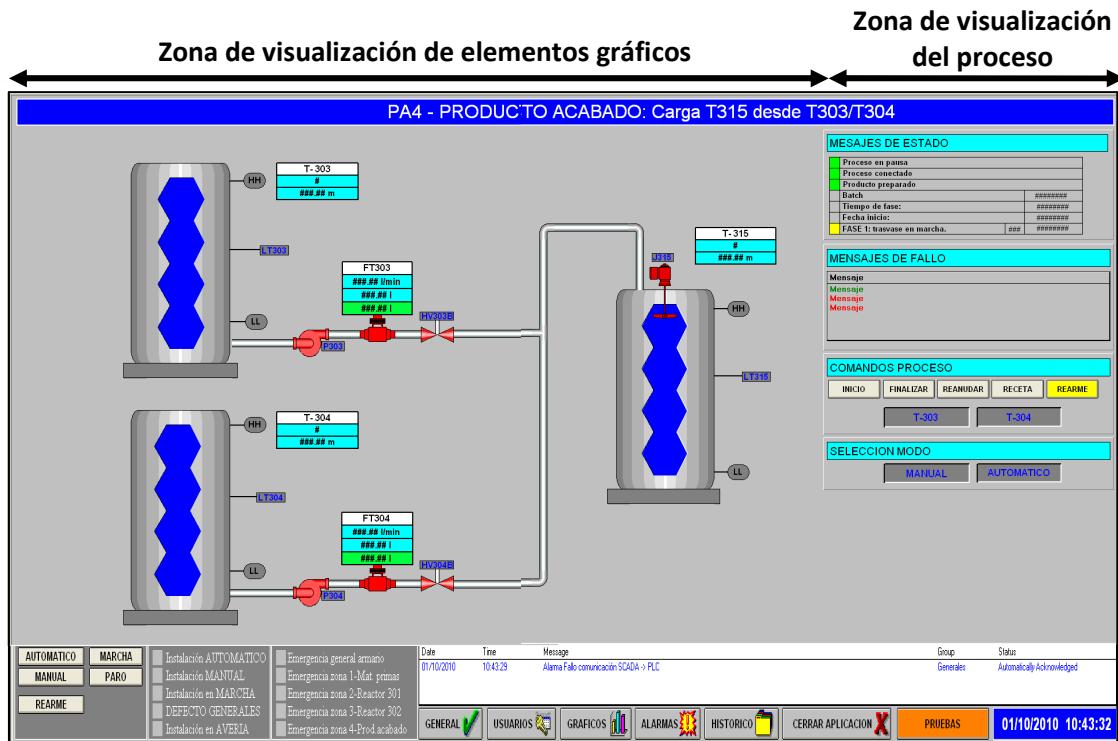


Ilustración 13. Pantalla Scada – Proceso PA4

Tomando como referencia los procesos definidos por el cliente (ver anexo II), se comienza por identificar los elementos que toman parte en el mismo. En este caso, para el proceso “Producto acabado 4 (PA4) – traspase a T315 desde T303 ó T304” (ilustración 13), se requieren los siguientes elementos:

- Tanque T315:
  - Tanque de reacción. Muestra una pantalla emergente al pulsar sobre su representación gráfica, para la asignación de los parámetros de control del mismo.
  - Elemento de visualización de información relativa al tanque.

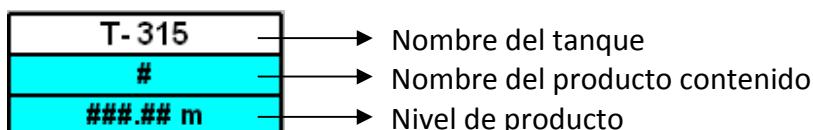


Ilustración 14. Propiedades de tanque

El nombre del producto contenido en el tanque se selecciona pulsando en el cuadro de información (ilustración 14). Esta acción ejecuta la visualización de la pantalla emergente “selección de producto”, para la selección del producto.

- Agitador J315.
- Válvula HV-303B, de paso de producto del tanque T303 a T315.

- Válvula HV-304B, de paso de producto del tanque T304 a T315:
  - Código de colores indicativo del estado de las válvulas:
    - VERDE: abierta
    - GRIS: cerrada
    - ROJO: en defecto
  - Elemento emergente para la asignación de parámetros de control de las válvulas (ver anexo IV).
- Bombas P303 y P304, de impulsión de producto desde T303 ó T304:
  - Código de colores para mostrar el estado de las válvulas y las bombas (ilustración 15):
    - VERDE: en marcha
    - GRIS: en paro
    - ROJO: en defecto
  - Elemento emergente para asignación y visualización de los parámetros de control de las bombas, en este caso son motores simples (ver anexo IV).
- Caudalímetros FT303 y FT304

FT303	Nombre del tanque
###.## l/min	Caudal instantáneo
###.## l	Flujo totalizado
###.## l	Flujo deseado

Ilustración 16. Caudalímetro

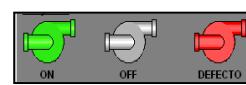


Ilustración 15. Motor bomba

- Elemento emergente denominado “caudalímetro” (ilustración 16) para la asignación de la cantidad que se desea trasvasar o *flujo deseado* (ver anexo IV).

El área de visualización del proceso, mediante la que se realiza el seguimiento de las fases, estado y fallos del mismo, se define igualmente en función de lo requerido por el cliente. En este caso, se diferencian cuatro apartados dentro de esta zona:

- Mensajes de estado (ilustración 17): área de visualización del estado del proceso:

- Estado de conexión: pausado, conectado y/o producto acabado. Según el color visualizado se interpretará un estado diferente:

▪ Verde: estado activo	
▪ Gris: estado no activo	

Ilustración 17. Visualización

- Parámetros del proceso: número de *mensajes estado* (.....), tiempo de duración de la fase del proceso activo (*tiempo de fase*) y *fecha de inicio* del proceso.

- Evolución de las fases del proceso: en este caso el proceso consta de una única fase. El control visual del estado se realiza por código de colores (ilustración 18):
  - Amarillo: la fase está activa, a la espera de ser ejecutada.
  - Verde: la fase ha sido ejecutada.
  - Gris: no hay posibilidad de ejecutar la fase.

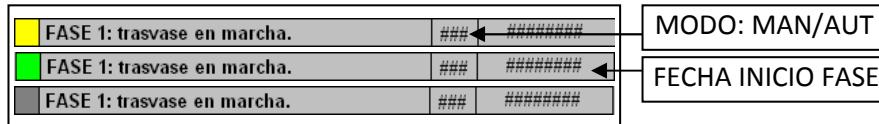


Ilustración 18. Visualización estados de fase

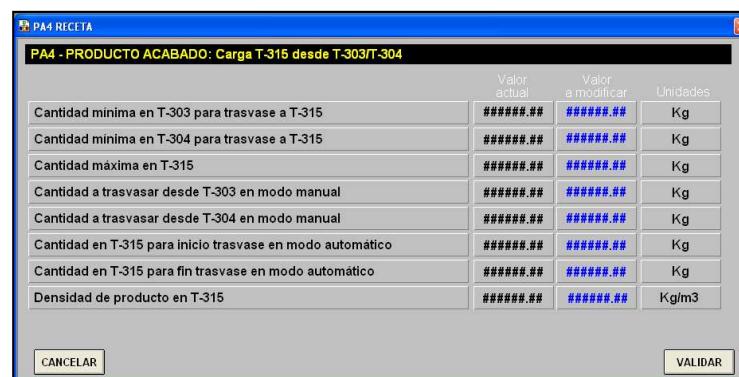
La fase queda definida a su vez por la información sobre el modo de operación, manual o automático, y la fecha de su inicio.

- Mensajes de fallo: muestra las alarmas activas.
- Comandos de proceso: área reservada para los pulsadores que activan las acciones del proceso:

- INICIO: inicializar el proceso. Al pulsar este botón, se ejecuta una pantalla emergente (Ilustración 19) en la que se muestran las opciones de selección de modo, selección de tanque de origen y asignación de la cantidad a cargar. Esta acción aporta seguridad al proceso.
- FIN: finalizar el proceso
- REANUDAR: cuando el proceso es pausado, permite volver a ponerlo en marcha. En el momento de la reanudación, se visualiza el pulsador PAUSAR, que permite pausar el proceso.
- RECETA: ejecuta la pantalla emergente “Receta” para la asignación de los parámetros del proceso. Ver ilustración 20.



Figura 19. Pantalla emergente “Inicio de proceso”



- Ilustración 20. Pantalla emergente “Receta”
- REARROLIE: permite, una vez corregidos los posibles fallos surgidos en el sistema, eliminar las alarmas y permitir así la reanudación del proceso.

- T303 y T304: selección del tanque origen desde el que se desea trasvasar producto.
- Selección de modo: ejecución del proceso en modo manual o automático.

Durante la ejecución de “Producto acabado 4”, mediante la pantalla descrita, se podrá visualizar el desarrollo del proceso:

- Tanque origen y modo de operación seleccionados
- Válvula y bomba activadas para realizar el traspaso
- Mediante el caudalímetro: caudal y cantidad de producto totalizado
- Niveles de producto en los diferentes tanques y producto que contienen
- Evolución del proceso, incluidas posibles alarmas por fallo en el proceso o en la instalación en general.

Por tanto, la aplicación permite controlar el proceso desde el PC instalado en el centro de control, sin necesidad de estar a pie de máquinas.

## 6 Plan de pruebas

Antes de la puesta en marcha, ha de realizarse una comprobación del programa para asegurarse que cumple con los requisitos impuestos. Este proceso es de vital importancia, ya que un error en el sistema o la ausencia de detección de un fallo, puede originar una avería catastrófica.

La simulación del funcionamiento del PLC conectado al Scada se realiza mediante otra aplicación de Omron, CX-Simulator. El primer paso será configurar la conexión entre CX-Programmer y CX-Supervisor, en CX-Simulator. Para realizar una simulación fiel a la realidad, habrá que proporcionarle el modelo de PLC que vamos a utilizar.

En CX-Programmer podremos forzar los parámetros de control que deseemos, obteniendo así una perfecta simulación de lo que será el funcionamiento de la planta. Esto quiere decir que, si por ejemplo, queremos simular que no existen defectos en la planta, podremos asignar a la variable *Defecto General* el valor “0”, y en el Scada visualizaremos que no hay defectos en la instalación.

Si, en otro caso, quisiésemos asignar un valor a la variable *Temperatura* de alguno de los tanques, bastaría con forzar el valor, escribiéndolo en CX-Programmer. En el interfaz visual estaría representado, y en caso de ser, por ejemplo, una temperatura demasiado elevada, se activaría el defecto correspondiente de *Temperatura Máxima*.

Este procedimiento es muy útil, ya que debido al elevado número de pantallas, objetos gráficos y variables que contiene el Scada, es frecuente que alguna variable no esté bien asignada en el correspondiente objeto. En ocasiones también puede ocurrir que exista un error en alguna línea de programación. Por ello, es interesante

llevar a cabo una serie de pruebas que nos permitan probar la eficiencia del programa y su correcta implementación, y encontrar posibles errores.

Para llevar a cabo la prueba del programa se crea un plan de pruebas (ver anexo V), debidamente formulado, que será ejecutado para asegurar la correcta implementación del proyecto.

Un plan de pruebas consiste en la definición de una serie de pasos de ejecución en los que se activan diferentes líneas de programa. Esta serie de pruebas puede ser más o menos exhaustiva, en función de la complejidad o alcance del proceso.

En este caso, debido a la similitud de ciertos grupos de procesos, se considerará suficiente la ejecución de pruebas en uno de los procesos de cada grupo.

El diseño del plan de pruebas está enfocado a poner a prueba el sistema frente a los posibles fallos definidos por el cliente. A su vez, es interesante adoptar el papel de usuario, es decir, del responsable de ejecutar el programa en la planta y de los factores externos que podrían afectar a esta.

Los posibles fallos que aparezcan al ejecutar el plan de pruebas deberán ser analizados para llevar a cabo la corrección del programa. Si en un proceso existe alguna línea de programa mal definida, es probable que exista el mismo fallo en otro proceso del mismo grupo.

Para abordar la corrección de un fallo, hay que pensar primero en la posible causa.

En el caso en el que el fallo sea que un botón u otro objeto gráfico de la pantalla Scada no lleven a cabo su operación asignada, habrá que comprobar los siguientes puntos:

- La variable asignada al botón que estamos pulsando es la correcta.
- La variable está guardada en la misma dirección tanto en el programa como en el PLD.
- La programación en CX-Programmer no está anulando la propia acción que queremos realizar.

Estos son los motivos más comunes de fallo, pudiendo existir otras muchas causas.

## 7 Conclusiones

Para la realización del proyecto se ha utilizado una aplicación OMRON por deseo del cliente, a pesar de que en la empresa proyectista se le aconsejó utilizar un programa más potente y con más posibilidades de simulación.

El proyecto se ha basado en el diseño de un interfaz visual Scada. El trabajo realizado se ha dividido en varias etapas.

En la primera parte se ha realizado un estudio del funcionamiento y estructura de la planta, así como de los procesos que en ella se van a llevar a cabo.

Tras este estudio se ha realizado un esquema de las diferentes pantallas que debería contener la aplicación, en función de los diferentes procesos. A su vez, se crean subpantallas emergentes para visualización y modificación de información de elementos involucrados en el proceso de producción (tanques, caudalímetros, etc.).

Para realizar la programación se ha utilizado el programa CX-Programmer. La programación se aborda a partir del diseño de la solución mediante diagramas de flujo y de la elaboración de la lista de parámetros de control necesarios para la implementación del mismo.

Tras la elaboración del programa y de su aplicación visual, se diseña y ejecuta un plan de pruebas, lo cual permite encontrar fallos de diseño e implementación.

A pesar de no haber sido solicitado por el cliente, se ha creído conveniente diseñar una aplicación que posibilita imprimir diferentes datos del sistema. Esto ha resultado interesante ya que el jefe de producción no va a ser el usuario del Scada, y deseará conocer el desarrollo del proceso.

A su vez, se ofrece la posibilidad de aportar seguridad al interfaz visual mediante la configuración de una o varias contraseñas que impidan el acceso al control del proceso productivo. Esto podrá ser configurado en el momento en el que el cliente así lo solicite.

Por último, en el marco del proyecto fin de carrera, se ha implementado un plan de pruebas. Su realización en la empresa en la que se ha realizado el proyecto no es usual, debido a que tienen amplia experiencia en este tipo de proyectos. Las pruebas las realizan intuitivamente, sin ningún plan prediseñado, tanto en la oficina como en la puesta en marcha. Sin embargo, creo que es interesante realizar un plan ordenado y elaborado para prevenir fallos a la hora de implantar el proyecto en la empresa y dar buena imagen ante el cliente.

Cabe destacar el gran complemento que ha supuesto para la formación académica este proyecto, dado que ha incorporado nuevos conocimientos en el manejo de programas que son ampliamente utilizados en el entorno de la automatización industrial y un interesante aprendizaje en el ámbito de la programación. Sin duda, un aprendizaje en un área de la ingeniería de plena actualidad.

## 8 Leyendas

Índices utilizados al nombrar los parámetros de control declarados en CX-Programmer y utilizados en CX-Supervisor.

BT	Botonera
LS	Level Switch
LSLL	Level Switch Low Low
LSHH	Level Switch High High
FT	Flow Transmitter
TT	Temperature Transmitter
LT	Level Transmitter
Y1	Electroválvula todo/nada simple efecto YP + FCP + PCQ
Y2	Electroválvula todo/nada doble efecto YP + YQ + FCP + PCQ
M1	Motor con arranque directo - Contactor
M2	Motor con arranque progresivo
M3	Motor con variador
CP	Control de par
BG	Control de giro

Tabla 4. Leyendas

## 9 Bibliografía

- [CEA] Libro blanco del Control Automático. CEA, 2009.
- [OMRON Manuals] CX-Supervisor Getting Started Software Release 3.0. OMRON, 2009.
- [OMRON Electronics S.A.] Guía Rápida: CJ1M-CPU1x-ETN
- [OMRON, CX-Supervisor] Tecnologías de automatización al servicio de la sociedad