



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Química

**DISEÑO Y CONFIGURACION DE UN SCADA
PARA UNA PLANTA DE LABORATORIO**

ADRIAN VACA NIETO

Valladolid, Septiembre 2015.



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Química

**DISEÑO Y CONFIGURACION DE UN SCADA
PARA UNA PLANTA DE LABORATORIO**

Autor:

Vaca Nieto, Adrián

Tutor:

**De la Fuente Aparicio, María Jesús
Departamento de Ingeniería de
sistemas y automática**

Valladolid, Septiembre 2015.

INDICE

- Resumen, palabras clave	3
- Introducción, objetivos	5
o Capítulo 1: Introducción	5
▪ 1.1 Introducción	5
▪ 1.2 Objetivos del proyecto	7
▪ 1.3 Organización de la memoria	8
- Desarrollo del TFG	11
o Capítulo 2: Introducción teórica	11
▪ 2.1 Sistemas SCADA	11
• 2.1.1 Arquitectura de un sistema SCADA	12
• 2.1.2 Prestaciones de los sistemas SCADA	14
▪ 2.2 OPC	17
• 2.2.1 Arquitectura y funcionamiento del OPC	20
• 2.2.2 Beneficios de OPC	21
▪ 2.3 Control estadístico de procesos (SPC)	22
• 2.3.1 PCA: Analisis de componentes principales	25
• 2.3.2 Programación PCA	28
▪ 2.4 Herramientas software utilizadas	31
• 2.4.1 INTOUCH	31
o 2.4.1.1 Creación de ventanas	31
o 2.4.1.2 Creación y animación de objetos	33
o 2.4.1.3 Creación de variables	37
o 2.4.1.4 Visualización de alarmas	40
o 2.4.1.5 Creación y configuración de gráficas	42
o 2.4.1.6 Configuración de la comunicación entre servidores OPC e INTOUCH.....	44
• 2.4.2 ECOSIMPRO	53
• 2.4.3 MATLAB, SIMULINK	55
o Capítulo 3: Descripción de la planta	57
▪ 3.1 Introducción.....	57
▪ 3.2 Principales componentes de la planta	59

• 3.2.1 Depósitos principales	59
• 3.2.2 Sensor de nivel	59
• 3.2.3 Amplificador	62
• 3.2.4 Bomba	63
• 3.2.5 Tarjeta de adquisición de datos	65
▪ 3.3 Modelo matemático de la planta	66
▪ 3.4 Sintonía de PI's	71
○ Capítulo 4: Funcionamiento de la aplicación	75
▪ 4.1 Menú Principal	75
• 4.1.1 Identificación de usuarios	75
• 4.1.2 Comprobación estado válvulas manuales	77
• 4.1.3 Menú desplegable	78
▪ 4.2 Proceso	80
• 4.2.1 Ventanas emergentes	81
▪ 4.3 Controlador	82
• 4.3.1 Gráficas en tiempo real	83
• 4.3.2 Panel de mandos del controlador	84
• 4.3.3 Ajustar PID	87
▪ 4.4 Ventana de Alarmas	89
▪ 4.5 Ventana de históricos	93
• 4.5.1 Menú	93
• 4.5.2 Gráfica y cuadro de control de la gráfica	94
• 4.5.3 Cuadros de visualización de variables	96
• 4.5.4 Histórico por ficheros	97
▪ 4.6 Simulación	100
▪ 4.7 SPC (PCA)	101
▪ 4.8 Pantallas de ayuda	104
- Conclusiones	107
○ Capítulo 5: Conclusiones	107
▪ 5.1 Conclusiones	107
▪ 5.2 Posibles mejoras	108
- Bibliografía.....	111
○ Capítulo 6: Bibliografía	111



RESUMEN, PALABRAS CLAVE

Este proyecto se enfoca en el estudio de una planta de laboratorio del departamento de ingeniería de sistemas y automática, que consiste en una planta con dos depósitos, equipados con sendos sensores de nivel, alimentados con dos bombas que captan agua de un cubeto común a los dos depósitos.

De esta forma, el objetivo principal es controlar el nivel en los dos depósitos a través de un Sistema SCADA con una interfaz gráfica amigable (HMI), desde la cual se pueda visualizar y controlar todo el proceso que se está ejecutando en la planta de laboratorio. Este sistema SCADA está programado en un ordenador capaz de comunicarse con la planta de laboratorio mediante tecnología OPC, el paquete de programas utilizado se llama Wonderware FactorySuite, en su última versión.

Palabras clave: SCADA, OPC, PCA, Planta real, Wonderware.



CAPITULO 1: INTRODUCCION.

1.1 INTRODUCCION

La automatización y el control de procesos empezaron a despertar interés entre las industrias alrededor de los años sesenta, donde se empezaron a implantar las primeras soluciones en automatización y control de procesos, mediante elementos electrónicos específicos. Cada industria trataba de solucionar sus problemas, lo que hacía que estas primeras soluciones fueran muy elementales y específicas para cada industria.

Ya durante los años setenta apareció una nueva generación de autómatas de fabricantes de equipos eléctricos como Siemens, Square-D o Allen-Bradley. Implementaron autómatas capaces de controlar grandes cantidades de entradas y salidas.

No se trataba de entornos amigables, lo que hacía que estos equipos ocuparan gran tamaño dentro de las industrias además de que su costo era muy elevado.

Con el paso de los años la evolución de la electrónica hizo que cada vez los componentes fueran cada vez menores lo que supuso una reducción en el tamaño, peso y coste en todos los niveles industriales de control.

El resultado de esta evolución hizo que aparecieran los primeros micro PLC durante la década de los ochenta, estos PLC incluyeron sistemas de programación genéricos lo que provoco un rotundo éxito en el ámbito industrial.

Pero el mayor boom en la automatización y el control industrial se dio con la llegada del ordenador, lo que nos permitía reducir los grandes armarios de control que contenían relés, luces indicadoras y agujas de medición analógica, en una simple pantalla de ordenador donde teníamos toda la información necesaria de nuestro proceso.

Debido a todo este auge con la llegada del ordenador y a las exigencias que se imponen a los procesos productivos en cuestión de rendimiento, calidad y flexibilidad hicieron necesario la introducción de nuevas tecnologías en el control y vigilancia de estos, con la finalidad de tener procesos más seguros, más productivos y con unas mínimas exigencias de calidad.

Por esta necesidad imperiosa aparecieron los primeros SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), software de monitorización y control, acceso a datos de proceso, e interacción entre el operario y el proceso.

El proyecto que se describe en esta memoria trata de desarrollar un sistema SCADA en una planta de laboratorio que se podría asemejar a una pequeña parte de una planta industrial de producción, además de cumplir todas las características que se esperan de un sistema SCADA de este tipo, que sea capaz de adquirir, registrar y manipular información de la planta, que además sea capaz de avisar al operario acerca de funcionamientos incorrectos de la misma y de anomalías en la planta y por supuesto que permita adaptar el comportamiento del sistema a unas condiciones deseadas de funcionamiento.

Para lograr satisfactoriamente este sistema integrado de adquisición y control es fundamental el elemento comunicador entre la planta industrial, en nuestro caso planta de laboratorio, y el centro de control en nuestro caso el ordenador. En este proyecto la transferencia de datos se realiza a través de OPC (Ole for Process Control), que permitirá tanto captar datos de la planta como enviar datos desde el ordenador. O lo que es lo mismo permite al usuario visualizar datos de la planta y enviar la información necesaria para el correcto funcionamiento de la misma.

La planta sobre la que se ha desarrollado la aplicación está situada en el laboratorio del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Escuela de Ingenierías Industriales, sede Dr. Mergelina de Valladolid. Esta planta es un sistema físico relativamente sencillo que consta de dos tanques que reciben líquido a través de dos bombas desde una bañera llena de líquido, esta planta nos permite regular el caudal que queremos que vaya a cada uno de los tanques, además podemos manipular las válvulas manuales para elegir como trabajar, si queremos que se puedan vaciar los depósitos, si queremos que trabajen como tanques comunicantes, etc.

El sistema diseñado ha de ser capaz de controlar el nivel de líquido en los dos tanques, y trabajaremos con los tanques como tanques comunicantes, además la válvula de vaciado permanecerá abierta.

Para realizar el Sistema SCADA se ha utilizado el paquete de aplicaciones FactorySuite 2014 de Wonderware. Con el cual somos capaces de crear el interfaz gráfico de forma intuitiva.

También hemos necesitado EcosimPro y Matlab para añadir funcionalidades a nuestro SCADA, el primero de ellos nos ha servido para realizar mediante programación un PID y para hacer un modelo de nuestra planta para poder simular el funcionamiento sin estar la planta encendida. Y el segundo nos va a permitir añadir un sistema de control estadístico del proceso para comprobar el correcto funcionamiento de nuestra planta. Conectaremos estos dos programas con Wonderware mediante OPC.

Por ultimo en esta introducción quiero mencionar porque me he decantado por este proyecto, la razón principal de esta elección reside en que es un software utilizado industrialmente en todas las partes del mundo, ya que aunque el avance de la tecnología es cada vez mayor los sistemas SCADA no han perdido nada de mercado, por supuesto que han evolucionado estos sistemas a lo largo de los años pero se mantienen como la solución perfecta para el control tanto local como remoto de plantas industriales.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Antes de comenzar el desarrollo del proyecto se han fijado unos objetivos del mismo, como objetivo principal tenemos el control local de una planta real de laboratorio. Este objetivo lo podemos subdividir en los siguientes objetivos:

- Conocer en profundidad la planta sobre la que vamos a trabajar, desde los sensores, actuadores, hasta el funcionamiento físico de la misma.
- Conocer el sistema de comunicación Planta-Ordenador, es decir saber cómo se produce la transferencia de datos a través de OPC de la planta a los diferentes programas utilizados.
- Realizar un interfaz gráfico amigable con Wonderware FactorySuite 2014, desde el que se pueda visualizar y controlar todo el proceso que se está ejecutando en la planta de laboratorio, además nos tiene que permitir realizar las siguientes funciones:
 - Permitir al usuario poder visualizar toda la información acerca de la planta tanto numérica como gráficamente, además debe permitir al operario realizar modificaciones en determinadas variables para que el funcionamiento de la planta sea correcto.
 - Incluir representaciones en tiempo real que permitan al operario visualizar la evolución actual de la planta.
 - Incluir graficas de tipo histórico que permitan al usuario observar la evolución de la planta en un periodo de tiempo anterior elegido por el operario.
 - Permitir al usuario elegir entre un control manual y un control automático basado en PID's.

- Incluir un sistema de ficheros que permita al usuario guardar los datos de la planta necesarios en un formato estándar que pueda ser leído por otras aplicaciones para su consulta posterior.
- Incluir un sistema de alarmas capaz de avisar al operario cuando alguna de las variables supera el valor límite fijado con anterioridad.
- Incluir un sistema de usuarios que solo permita acceder al software a personal debidamente cualificado, además de restringir ciertas opciones a usuarios que no tengan los privilegios suficientes.
- Incluir una opción de simulación que permita al operario simular la planta como si estuviera en funcionamiento.
- Incluir un Control estadístico del proceso que permita al usuario detectar fallos en la planta real.
- Incluir elementos de ayuda, ayudas contextuales de forma que, de una forma rápida y eficaz el operario comprenda el funcionamiento del SCADA.

1.3 ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA

La memoria de este trabajo se ha dividido en seis capítulos. Además de esta introducción, la memoria consta de los siguientes capítulos:

- **Capítulo 2. Introducción teórica.** En este capítulo nos centraremos en introducir al lector en los principios teóricos de los Sistemas SCADA, del sistema de comunicación utilizado OPC, del Control estadístico de procesos (SPC) y del análisis de componentes principales (PCA) y por ultimo una breve introducción a los programas utilizados EcosimPro, Intouch y Simulink.
- **Capítulo 3. Descripción de la planta.** En este tercer capítulo profundizaremos en nuestra planta real de laboratorio y en sus características tanto de la planta como de los componentes de la misma.



- **Capítulo 4. Funcionamiento de la aplicación.** En este capítulo explicaremos todos los entresijos de la aplicación desarrollada, explicando el funcionamiento de las diferentes ventanas y menús que contiene. Este capítulo cuarto puede considerarse como el manual de usuario de la aplicación.
- **Capítulo 5. Conclusiones.** A lo largo del capítulo 5 se analizarán las conclusiones a las que se ha llegado tras la realización del proyecto además se incluyen una lista de acciones futuras sobre este mismo proyecto.
- **Capítulo 6. Bibliografía.** Contiene la bibliografía consultada



CAPITULO 2: INTRODUCCION TEORICA

2.1 SISTEMAS SCADA

Podemos definir un sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) como un software industrial de monitorización y control. Que permite al acceso a los datos de un proceso y que nos da la posibilidad de interactuar con el proceso, de tal manera que con las herramientas de comunicación adecuadas se pueda gobernar el proceso desde cualquier lugar.

Atendiendo a la definición observamos que no se trata únicamente de un sistema de control sino de un software que nos permite la monitorización y la supervisión, que realiza las tareas de interfase entre los niveles de control (como por ejemplo un PLC que se encarga del control de una sección de una planta industrial) y los de gestión a un nivel superior (un puesto más directivo que solo necesite ciertos datos del proceso).

Los avances en la tecnología y las nuevas tendencias en las estrategias de negocio han forzado a un cambio sustancial en el alcance de la automatización y control de procesos industriales.

En el pasado el control se podía contemplar como una disciplina puramente de ingeniería, en la actualidad debido a la interrelación entre departamentos y unidades de negocio dentro de la empresa ha hecho que el enfoque del control de procesos sea mucho más amplio incluyendo la combinación de ingeniería, operación y dirección estratégica. La necesidad de integración de sistemas, así como facilitar la cantidad de información a diferentes niveles de la empresa, constituye la base de aplicación de los sistemas SCADA modernos.

La Pirámide de la Automatización

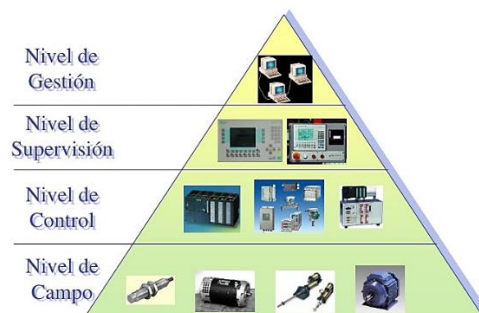


Ilustración 2.1: Pirámide de la automatización (principio de redundancia).

La pirámide de la ilustración 2.1 presenta la estructura corporativa dividida en tres niveles que engloban las funciones principales que se desarrollan en cada uno de ellos:

- **ERP** (Planificación de recursos empresariales) engloba todo el nivel de gestión, compras, ventas, logísticas.
- **MES** (Gestión de la producción) corresponde al nivel de supervisión de la pirámide y comprende la gestión de calidad, documentación, gestión de producción, mantenimiento y optimización.
- **Control**: Engloba tanto el nivel de control como el nivel de campo y está comprendido por toda la parte de automatización y control de procesos.

Los tres niveles no tienen límites claramente definidos, por ello los sistemas SCADA han interrelacionado cada uno de ellos, dotando a cada uno de ellos de toda la información necesaria acerca del proceso industrial con el que se trabaja. Ya que es posible transferir los datos del proceso y de producción hacia arriba dentro del sistema de información empresarial.

2.1.1 ARQUITECTURA DE UN SISTEMA SCADA

La estructura básica de un sistema SCADA se puede representar mediante el esquema de la ilustración 2.2.

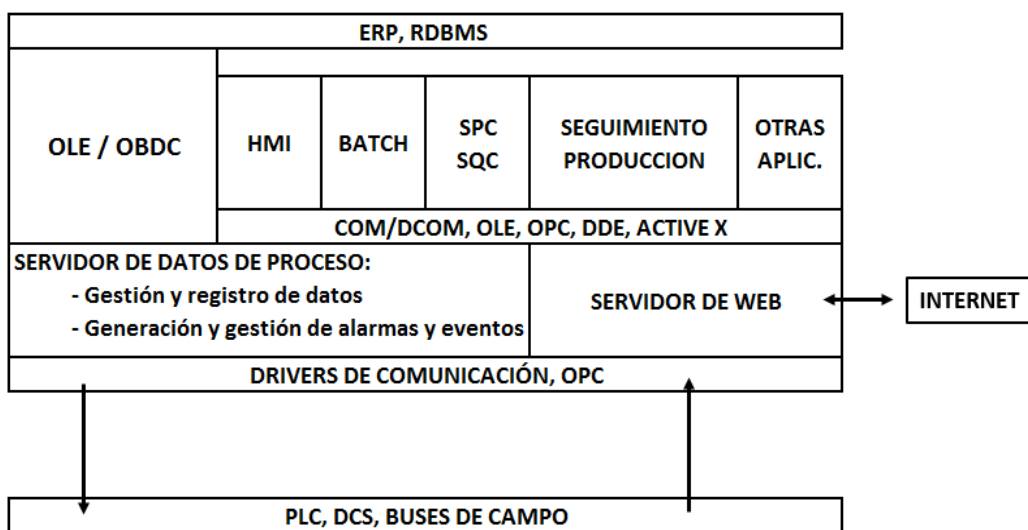


Ilustración 2.2: Arquitectura de un sistema SCADA

En la parte inferior tenemos los dispositivos de campo, es decir, toda la instrumentación de la planta, que suministra los datos del proceso y reciben consignas y señales de mando para su control.

En la parte central se encuentra el núcleo del SCADA, está constituido principalmente por:

- **Driver de comunicación**, encargado de gestionar las comunicaciones entre los dispositivos de campo y los servidores de datos, y que además implementa los protocolos de comunicación necesarios para que el funcionamiento sea correcto.
- **Servidor de datos del proceso**, es el encargado de detectar y gestionar alarmas, eventos, etc y de registrar los datos para su posterior análisis.
- **Servidor Web**, esta parte gestiona la disponibilidad y el acceso a datos mediante internet, en todos los casos permite recibir información de la planta desde equipos remotos, y en algunos ocasiones según esté diseñada la planta industrial permite enviar consignas y señales de mando desde estaciones remotas vía internet.

Este núcleo del sistema SCADA suele estar acompañado de diferentes aplicaciones, que mediante protocolos de comunicación como COM/DCOM, OPC, DDE, etc. Permiten la comunicación entre la aplicación y el SCADA produciéndose un intercambio de datos que dotará al SCADA de un sinfín de funcionalidades como las que se exponen a continuación:

- **HMI (Interfase Hombre-Máquina)**, se trata de la interfaz gráfica para la visualización del proceso mediante objetos animados, gráficos, textos, ventanas, etc. En definitiva se trata de las pantallas que componen la interfaz gráfica con la que podemos visualizar el estado del proceso.
- **OLE/ODBC, Open Data Base Compliance Interfase**, Interfase según estándar de Microsoft para la comunicación de datos entre distintos tipos de bases de datos. Esto es especialmente útil cuando se desea enlazar la base de datos del sistema SCADA con la base de datos de sistemas superiores de gestión de la empresa tipo ERPP o MRP, que hemos comentado con anterioridad.
- **Batch**, consiste en un tipo de aplicación específica diseñada para procesos Batch que permite aplicar y gestionar recetas y procesos por lotes.

- **SPC/SQC**, Static Process Control / Statics Quality Control, se trata de una aplicación para la gestión de calidad fundamentalmente, ya que nos permite el control y seguimiento de la calidad por variables o atributos, y la realización de diversos cálculos estadísticos para obtener curvas y graficas de calidad.
- **Seguimiento de producción**, Normalmente se trata de aplicaciones muy adaptadas a cada tipo de proceso y a cada empresa, por lo que son aplicaciones muy flexibles. Permite la generación de consultas sobre la base de datos del proceso y la generación de listados específicos, este tipo de aplicaciones también es muy útil para la gestión a niveles superiores como ERP o MES, ya que les permite obtener datos del proceso sin mayor dificultad.

2.1.2 PRESTACIONES DE LOS SISTEMAS SCADA

Entre las prestaciones de una herramienta de este tipo destacan:

- **La monitorización:** El seguimiento del proceso y la evolución del mismo son los que permitirán alertar del buen o mal funcionamiento a la vez que establecer criterios de ajuste y cambios dentro del proceso. Podemos definir la monitorización como la automatización de este proceso de vigilancia, dotando al operario de mecanismos tales como representación gráfica de datos en tiempo real del proceso, mecanismos de alarma, avisos, etc. que le permitan interactuar con el proceso de manera amigable.
Los pilares básicos en los que se sustenta la monitorización son los siguientes:
 - **Representación del proceso:** La representación visual de la información y su interactividad es lo que llamamos interfaz hombre-máquina. La información que suministramos debe ser clara y concisa.
 - **Gráficas y tendencias:** Se trata de la representación visual de la información del proceso a través de la evolución temporal de las variables mediante graficas en la pantalla.
Estas graficas pueden ser de dos tipos, gráficos en tiempo real para ver el estado actual del proceso y graficas históricas para ver la evolución del proceso en un determinado periodo.

- **Generación y gestión de alarmas:** Su objetivo es poner al operario sobre aviso de situaciones anormales, es decir cuando una variable del proceso supera unos límites específicos, una vez salta la alarma se pone fecha, se visualiza y se registra. Para una gestión de alarmas eficaz, cada alarma se le asocia un nivel de prioridad de tal manera que solo las alarmas de una cierta prioridad saltarán como aviso al operario.
- **Generación de informes:** Como hemos comentado anteriormente, es cada vez más común complementar las funcionalidades de adquisición, registro de datos y generación de alarmas con la capacidad de generar informes capaces de ayudar a la toma de decisiones. Estos informes nos pueden dar información acerca de la situación de la planta, de la producción, de la calidad, etc. Una de las herramientas más comunes para la generación de informes son las bases de datos relacionales SQL.
- **La supervisión:** Es el conjunto de acciones desempeñadas con el propósito de asegurar el correcto funcionamiento del proceso incluso en situaciones anómalas. El sistema de supervisión está por encima del sistema de control y es el encargado de:
 - Registrar la evolución del proceso y detectar desviaciones indeseadas en las variables.
 - Analizar estas desviaciones y deducir el motivo: Elaborar el diagnóstico.
 - Resolver situaciones conflictivas en línea.
 - Tomar medidas para que no vuelvan a suceder estas desviaciones.

Para ello se debe dotar al operario de las herramientas adecuadas para que sea capaz de detectar estos fallos y actuar de la manera más eficaz y responsable para conseguir que la planta vuelva a funcionar.

- **La adquisición de datos de la planta:** Todo sistema SCADA contiene un elemento encargado de la adquisición de datos, este elemento se encarga de comunicarse con la planta y captar todos los datos de la misma para posteriormente procesarlos y poder trabajar con ellos.

Existen varias posibilidades para la adquisición de datos:

- Tarjetas de adquisición de datos (TAD). Conexión directa al bus del ordenador.
 - Buses de instrumentación, sistemas basados en instrumentos externos unidos al ordenador mediante una interfase estándar de comunicación.
 - Comunicaciones en serie a través de interfaces RS-232/485.
- **El mando:** Los sistemas SCADA tienen que permitir al operario (dependiendo de la cualificación de este) cambiar ciertos parámetros de la planta, tales como consignas u otros datos claves del proceso directamente desde el ordenador (paro, marcha, variación de variables de proceso, etc.) Esto permite escribir datos sobre los elementos de control, es decir el operario visualiza en el proceso alguna anomalía, este cambia algún parámetro que se envía al elemento de control para que todo vuelva a la normalidad.
 - **Grabación de acciones o recetas:** En los procesos industriales hay determinadas acciones que se desarrollan todas en serie y siempre las mismas, los sistemas SCADA nos deben permitir ejecutar con un solo comando un sistema de recetas permitiéndonos configurar toda una planta de producción. Por ejemplo en el arranque de una planta industrial, se debe seguir escrupulosamente siempre el mismo guión, por tanto el sistema SCADA nos tiene que permitir guardar una configuración de arrancada que cuando la ejecutemos vaya arrancando todos los sistemas ordenadamente para poner en funcionamiento la planta industrial.
 - **Garantizar la seguridad de los datos:** Tanto el envío como la recepción de datos debe estar suficientemente protegido de influencias no deseadas, intencionadas o no. Esto se debe a que los sistemas SCADA son un punto crítico en cualquier planta industrial, un fallo en el sistema SCADA puede provocar graves desajustes en el proceso e incluso provocar graves daños. Además los sistemas SCADA guardan mucha información confidencial de las empresas, parámetros de control importantes que otorgan a los productos una calidad que no debe salir del entorno de la empresa.
Por eso este punto es fundamental para cualquier empresa que quiera implementar un sistema SCADA, la seguridad es fundamental.

- **Garantizar la seguridad de los accesos:** A la par del punto anterior, también es importante restringir el acceso de usuarios no cualificados, o no autorizados a determinadas secciones del software. Ya que no podemos permitir que alguien sin cualificar varíe algún parámetro del proceso, esto puede ser fatal y repercutir directamente en la calidad del producto final.
Para evitar esta problemática en este tipo de sistemas SCADA se les implementa un sistema de usuarios a los que se les da un nivel de acceso, dependiendo del nivel de acceso que tenga cada usuario se le permitirá entrar a una determinada sección del sistema o no.
- **Posibilidad de programación numérica:** El software nos permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador, de tal manera que podemos ejecutar comandos que nos faciliten el control del proceso, además de añadir alguna funcionalidad a través de la programación.

Además de todas estas prestaciones los sistemas SCADA tienen que ser escalables, permitiendo una ampliación por etapas, a medida de las necesidades de expansión de la producción, y flexibles para poder desarrollar y modificar las ampliaciones existentes.

Por encima de todo un sistema SCADA debe ser absolutamente fiable, procesando información en tiempo real, correspondiente a señales de control y demás mediciones del proceso, siendo capaz de responder a un sinfín de tareas y situaciones de forma simultánea, sin pérdida de datos, alarmas, avisos, etc.

2.2 OPC

En los sistemas de automatización hay múltiples elementos de control y monitorización, cada elemento posee su protocolo de comunicaciones (modbus, As-i, Ethernet, RS232, etc.) y un sistema operativo propio.

Cada conexión significa un programa exclusivo para las comunicaciones entre el elemento de control y el de monitorización. Cada fabricante proporciona este programa “Driver” que comunica su producto con un equipo determinado, como se muestra en la ilustración 2.3.

Esta manera de operar era muy problemática, sobre todo para grandes plantas industriales ya que existía una proliferación de drivers específicos para cada dispositivo, esto provoca una serie de fallos como los siguientes:

- Duplicación de esfuerzos, se deben escribir programas específicos para un hardware de un vendedor en particular.
- Inconsistencia entre vendedores de Driver. Las características de hardware en ocasiones no son soportadas por todos los drivers.
- Soporte para cambios de características de hardware, Un cambio en las capacidades del hardware puede ocasionar conflictos con el driver, y la empresa debe contactar con el proveedor para que modifique o cree un driver nuevo.
- Conflictos de acceso, dos paquetes, generalmente no pueden acceder simultáneamente al mismo dispositivo, puesto que cada uno contiene drivers independientes.

Los suministradores de software despilfarraban muchísimo dinero desarrollando y manteniendo interfaces propietarios que contenían todos los problemas mencionados, un trabajo inútil que se empezó a poner en cuestión.

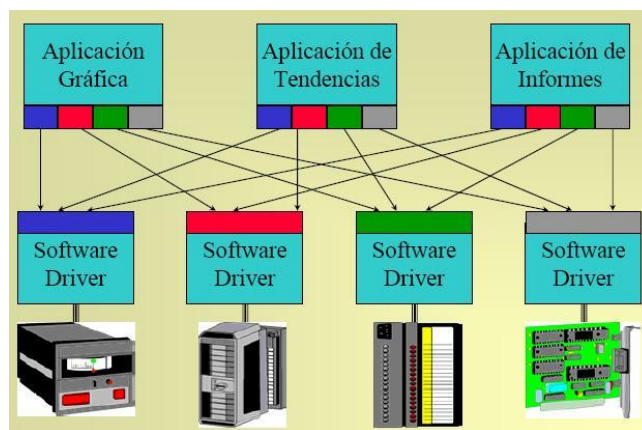


Ilustración 2.3: Problemática comunicación sin OPC.

OPC nació con la idea de suprimir este problema creando un estándar orientado al intercambio de datos independientemente de la tecnología utilizada. De esta manera se podrá intercambiar datos entre equipos que cumplan el estándar OPC lo que provocará una reducción de costes considerable.

La ISA (International Standards Association) hace el primer anuncio de OPC en 1995. Actualmente la fundación OPC, entidad sin ánimo de lucro, encargada

de administrar la especificación OPC. Agrupa a compañías de software, hardware y usuarios finales de todo el mundo, como Fisher-Rosemount, Rockwell Software, Opto 22, Intellution e Intuitive Technology, etc. La prioridad principal de esta tecnología es proporcionar un acceso flexible, poderoso y simple a datos.

OPC son las siglas de Ole for Process Control, corresponde a una serie de especificaciones basadas en estándares de Microsoft que cubren las necesidades de comunicación industrial entre aplicaciones y dispositivos en tiempo real.

- Es la base tecnológica para las comunicaciones industriales entre los componentes de automatización con los dispositivos de campo y el hardware de control.
- Es una especificación técnica no propietaria, es decir es una especificación abierta que puede utilizar cualquier aplicación, que define un conjunto de interfaces estándar en la tecnología OLE (Active X) y COM de Microsoft.
- Permite la interoperabilidad entre aplicaciones de automatización/control, dispositivos de campo y aplicaciones de gestión a un nivel superior como ERP o MES.

A continuación, se indica una breve introducción a estas tecnologías.

- **COM**, Modelo de objetos componentes se trata de un modelo de código binario desarrollado por Microsoft. Define la norma para la interacción de componentes software individuales y definen como dichos componentes comparten datos.
- **OLE** (Objet linking and embedding), Estándar de documentos compuesto, permite crear objetos con una aplicación y embeberlos en otra manteniendo su formato original y enlazando a la aplicación que los crearon
- **DCOM**, (Modelo de objetos componentes Distribuido) extiende a COM a redes (objetos remotos), es un protocolo altamente optimizado donde componentes remotos aparecen como si fueran locales.
- **ACTIVE X**, es un término paraguas para designar un amplio abanico de tecnologías. Control Active X supone añadir un objeto, con código

asociado, que realiza una determinada función y que aparece totalmente integrado dentro de la aplicación.

2.2.1 ARQUITECTURA Y FUNCIONAMIENTO DEL OPC

OPC permite definir una interfase estandarizada que, mediante el desarrollo de aplicaciones de tipo Cliente-Servidor, hace posible la comunicación entre diferentes dispositivos con OPC como se muestra en la ilustración 2.4.

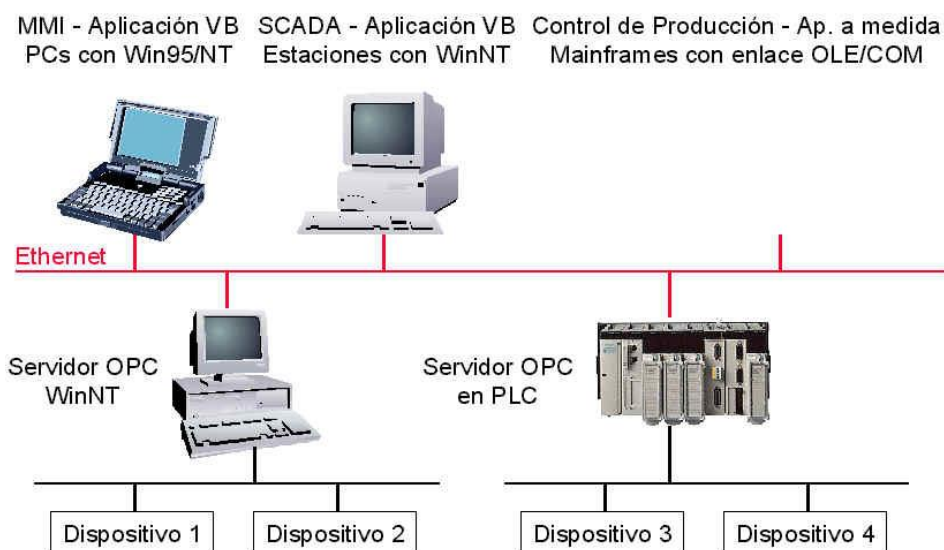


Ilustración 2.4: Integración de sistemas OPC

Un servidor OPC es un programa que se encarga de proveer interfaces de OPC. El servidor sabe en qué lugar se encuentran los datos y se encarga de suministrarlos a los clientes que lo soliciten, el funcionamiento entre Servidor/cliente es del tipo maestro-esclavo.

Un servidor soporta programación de bajo nivel de los objetos y posee varias capas:

- Capa externa (4): expone las diferentes interfaces OPC a los clientes para gestionar objetos y comunicarse con el servidor.
- Capa 3. Gestiona los objetos creados por los clientes.
- Capa 2. Memoria interna del servidor.
- Capa 1. Lógica de control de acceso al dispositivo.

Tipos de servidores OPC:

- **OPC DA** (Data acces), permite lectura y escritura de datos en tiempo real entre una aplicación y un dispositivo de control de proceso.
- **OPC AE** (Alarms & Events), permite que los clientes OPC sean avisados por el servidor de eventos y alarmas en el proceso.
- **OPC HDA** (Historical Data Access), permite suministrar datos históricos y estadísticos a clientes que lo soliciten.
- **OPC Batch**, servidor para procesos Batch.
- **OPC Security**, servidor que sirve para especificar como controlar el acceso de los clientes a los servidores.
- **OPC DX** (Data eXchange), permite el intercambio de datos entre servidores.
- **OPC XML-DA**, permite al servidor suministrar datos en formato XML.
- **OPC UA** (Unified Architecture), se desliga de la comunicación COM para pasar a comunicaciones basadas en servicios WEB.

Un Cliente OPC representa un destino de datos. Inician y controlan la comunicación con Servidores OPC basados en las peticiones recibidas desde la aplicación para la cual están hechos. Los Clientes OPC traducen las peticiones de comunicación de una aplicación dada en la petición OPC equivalente y la envían al Servidor OPC adecuado para que la procese. A cambio, cuando los datos OPC vuelven del Servidor OPC, el Cliente OPC los traduce al formato de la aplicación para que ésta pueda trabajar de forma adecuada con los datos. Técnicamente los Clientes OPC son módulos de software utilizados por una aplicación para permitirle comunicarse con cualquier Servidor OPC compatible, en la mayoría de ocasiones las aplicaciones que controlan al cliente OPC son HIM's, SCADAs, historiadores, etc.

2.2.2 BENEFICIOS DE OPC

Los principales beneficios de la tecnología OPC son los siguientes:

- Mayores posibilidades de elección, con la introducción de productos compatibles con OPC, los usuarios han adquirido la capacidad de

poder elegir y seleccionar los sistemas que mejor les convengan tanto económica como eficientemente, ya que cualquier producto que elijan para su planta industrial va a funcionar correctamente con la misma sin ningún problema de conectividad.

Además de esta clara mejora con esta mayor elección se obliga a los fabricantes a una mayor competitividad que a la larga ha desembocado en un mayor desarrollo tecnológico en automatización y control.

- Mejor acceso a datos de proceso, con la creación de estos estándares el acceso a datos de proceso mediante la tecnología OPC es rápida y eficiente, y permite desarrollar aplicaciones para cualquier entorno industrial.
- Facilidad de operación Plug and Play, esto quiere decir que componentes independientes pueden trabajar juntos eficientemente para resolver requerimientos inmediatos, además tanto el mantenimiento como la actualización de algunos de los componentes puede resolverse reemplazando directamente el componente por uno nuevo sin necesidad de tener que “unir” las nuevas piezas, mediante un nuevo protocolo de comunicación.
- Eficiente utilización de recursos de desarrollo sin pérdida de información y sin tener que ser repetitivo a la hora de captar y suministrar datos entre cliente y servidor.
- OPC elimina por completo problemas de compatibilidad entre aplicaciones de diferentes desarrolladores, permitiendo al usuario elegir los dispositivos y sistemas a implementar.

En resumen, OPC ofrece una interfaz clara, sencilla, consistente y sobre todo estándar, que sirve de punto de partida para todos los desarrolladores de aplicaciones.

2.3 CONTROL ESTADISTICO DE PROCESOS (SPC)

Un proceso industrial está sometido a una serie de factores de carácter aleatorio que hacen tremendamente difícil hacer dos productos exactamente iguales, es decir las características del producto fabricado no son uniformes y presentan una variabilidad indeseable. Uno de los objetivos de las industrias es reducir esta variabilidad manteniéndola dentro de unos límites.

Esta variabilidad la podemos asignar a distintas causas, estas pueden ser causas asignables o no asignables.

- **Causas asignables**, son causas que se pueden identificar, y eliminar del proceso. Esas causas pueden ser por diferentes motivos como por ejemplo un fallo en una máquina por desgaste puede hacer que el producto final no tenga la calidad exigida. También puede ser debido a fallos en la mano de obra, la materia prima que adquirimos para la fabricación ha cambiado, cambio en las condiciones de fabricación, etc.
- **Causas no asignables**, no se pueden identificar, son inherentes al proceso de producción y no se pueden reducir o eliminar sin cambiar el proceso de fabricación por completo.

El SPC, control estadístico de procesos nos permite distinguir si la variabilidad de las características del producto final se debe inherentemente al proceso (causas no asignables) o porque el mismo ya no funciona correctamente (causas asignables), podemos definir el SPC como una metodología utilizada para medir, monitorizar y controlar en tiempo real la calidad en los procesos productivos. El termino estadístico hace referencia a la capacidad de los procesos de producir un dato objetivo en su fabricación y a detectar las desviaciones producidas respecto a este dato objetivo, en muchas industrias este dato objetivo hace referencia a tolerancias, por ejemplo en industrias automovilísticas este parámetro hace referencia a tolerancias en fabricación de piezas. Por otra parte el término control de procesos hace referencia a la capacidad para ajustar el proceso en función de las variaciones producidas.

Para el SPC se realizan unos cálculos muy simples, se tiene que calcular la media μ y la varianza σ^2 del proceso en funcionamiento normal. Además si no existen causas asignables y la variabilidad del proceso sólo es debido a causas no asignable, la producción sigue una distribución normal de media μ y desviación σ como se muestra en la ilustración 2.5.

Para observar si el proceso está dentro del funcionamiento correcto utilizamos la desviación estándar σ . Un proceso con un funcionamiento correcto el 99.7% de la producción se encuentra en la región R, que calculamos de la siguiente manera.

$$R = [\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma]$$

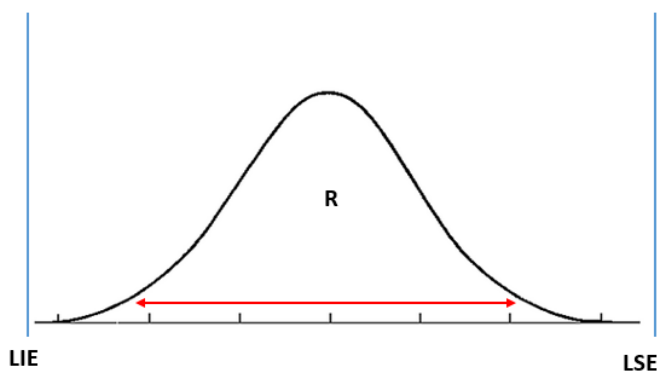


Ilustración 2.5: Distribución normal. R, LSE, LIE

Por ultimo si esta región R calculada se encuentra entre los limites superior e inferior de especificación respectivamente se puede decir que el proceso de fabricación está bajo control y es capaz de fabricar dentro de especificaciones, como se muestra en la ilustración 2.6.

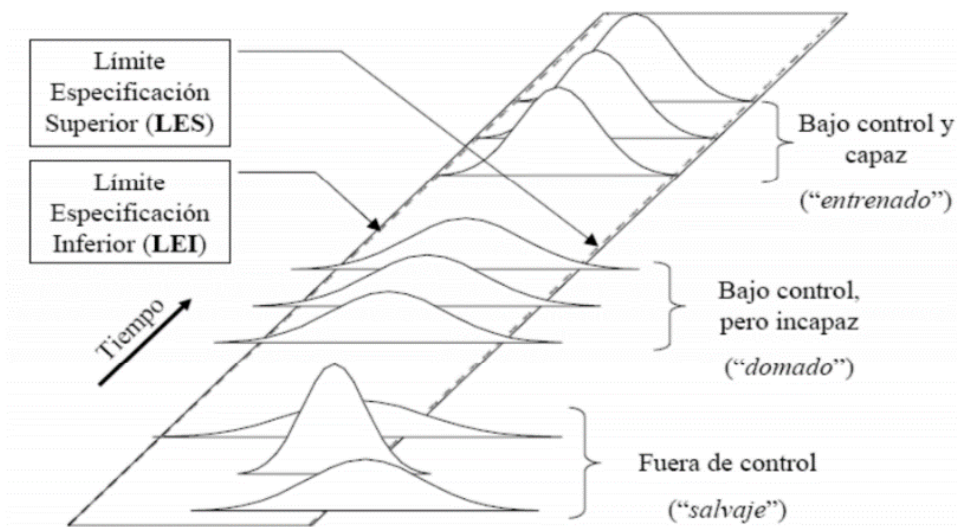


Ilustración 2.6: Control estadístico de procesos, análisis.

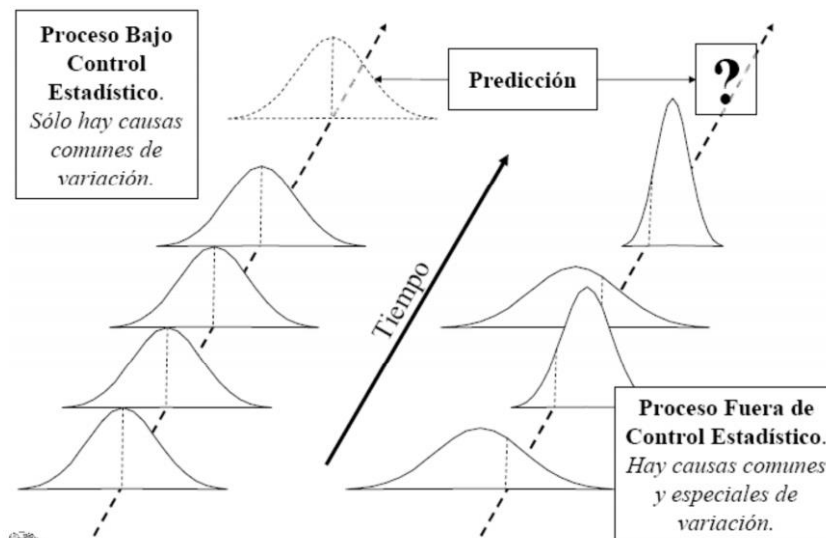


Ilustración 2.7: Ejemplo control estadístico de proceso.

Podemos decir que la metodología SPC se usa principalmente en la industria para:

- Mantener estabilizada la producción.
- Detectar problemas en el momento exacto de su aparición, de cara a poder solucionarlos pronto.
- Reducir los defectos y rechazos.

Podemos llegar a la conclusión que el principal beneficio del SPC es que permite realizar una identificación y detección temprana de las situaciones de mal funcionamiento de la planta, antes del que el producto se haya desviado de las especificaciones. Esto impacta directamente en la disminución de los rechazos y sobre todo en los costes de producción.

2.3.1 PCA: ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

En este proyecto se ha utilizado el control estadístico de procesos y en especial se ha utilizado la herramienta PCA, es una herramienta muy útil y muy utilizada en el entorno industrial ya que nos permite reducir el número de variables de un proceso, esto es muy útil como ya he dicho en procesos industriales con muchas variables ya que permite trabajar de una manera más cómoda y no por ello menos efectiva.

PCA son las siglas de Análisis de componentes principales, y lo podemos definir como una técnica estadística de síntesis de información, o reducción de la dimensión (número de variables). Es decir ante un banco de datos con muchas variables, el objetivo será reducirlas al menos número posible perdiendo la menor cantidad de información posible.

PCA nos permite dividir el espacio en dos subespecies diferentes, uno captura la tendencia del proceso y otro el ruido.

La estructura PCA es muy útil para identificar las variables responsables de los fallos y/o las variables que están más afectadas por estos. Por tanto un análisis de componentes principales tiene sentido si existen altas correlaciones entre las variables, ya que esto es indicativo de que existe información redundante y, por tanto, pocos factores explicarán gran parte de la variabilidad total.

Para la elaboración de un PCA seguimos las siguientes fases:

- **Análisis de la matriz de correlaciones**, en primer lugar necesitamos un conjunto de datos representativos del comportamiento normal del proceso para calcular el PCA. Por tanto ya tendremos la matriz X, con m variables y n observaciones.

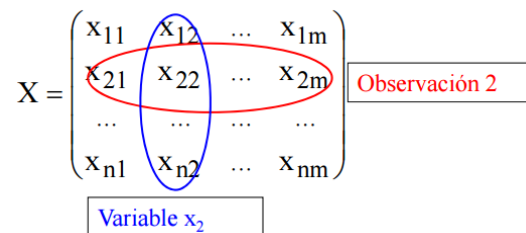
$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{pmatrix}$$


Ilustración 2.8: Matriz de datos. PCA

Una vez construida la matriz X, tenemos que normalizarla para eliminar las variables inapropiadas, escalarla para asegurar que cada variable tiene el mismo peso en la monitorización y eliminar datos espureos.

- **Selección de los factores**, La elección de los factores se realiza de tal forma que el primero recoja la mayor proporción posible de la variabilidad original, el segundo factor debe recoger la máxima variabilidad posible no recogida por el primero y así sucesivamente, del total de factores se elegirán aquellos que recojan el porcentaje de variabilidad que se considere suficiente. A estos se les denominara componentes principales.

- **Análisis de la matriz factorial**, una vez seleccionados los componentes principales se representan en forma de matriz, cada elemento de esta representa los coeficientes factoriales de las variables (las correlaciones entre las variables y los componentes principales). La matriz tendrá tantas columnas como componentes principales y tantas filas como variables.
- **Detección de fallos**, para la detección de fallos una vez calculado todo lo anterior con los datos del modelo, es decir con los datos de situación normal de la planta industrial, calculamos dos estadísticas para evaluar el estado de la planta.

Una de ellas la estadística de Hotelling's o T^2 , que puede interpretarse como la distancia de la observación al centro del modelo (media). Mientras esta estadística T^2 no supere un umbral diremos que el comportamiento de la planta es normal, cuando este umbral sea superado se detectará un fallo en el sistema. Para el cálculo de este umbral se utiliza una función dependiente del número de datos, los componentes principales y de la distribución estadística de alfa, un parámetro que nos indica el número de falsas alarmas en el sistema, es decir, el número de veces en que la estadística T^2 está por encima del umbral sin haber fallo. Por supuesto, queremos que este índice sea muy bajo.

La otra estadística Q , puede interpretarse como la variación debida al ruido. Esta estadística también se conoce como SPE (media de los errores al cuadrado, donde los errores son la diferencia entre los valores actuales de las variables de la planta y dichos valores proyectados sobre el PCA, es decir los residuos). Para detectar fallos esta estadística también tiene que compararse con un umbral, calculado en función de las variables despreciadas por el PCA.

Hay diferentes formas de trabajar con PCA, todas tienen en común el comienzo, necesitamos como ya expuse anteriormente una muestra representativa del proceso, calculamos todas las estadísticas y los componentes principales.

Una vez tenemos el modelo de funcionamiento normal podemos calcular los umbrales para las estadísticas de detección de fallos, tenemos dos opciones de trabajar.

- **Off-line**, tomamos cada cierto tiempo una muestra de datos del proceso y volvemos aplicar todo el proceso hasta que calculamos los parámetros de detección de fallos y vemos si para ese periodo de

tiempo se ha superado en algún momento los umbrales calculados con el modelo.

- **On-line**, obtenemos los datos en tiempo real y calculamos las estadísticas de detección de fallos, una vez calculadas comparamos con los umbrales calculados con el modelo y sabemos si el proceso funciona correctamente en ese instante, para este proyecto se ha trabajado con un PCA on-line, como se trabajaría en una planta industrial.

2.3.2 PROGRAMACION PCA

Para hacer funcionar el PCA en nuestro Intouch tenemos que programar todo lo descrito anteriormente en Matlab, únicamente para el modelo ya que para el PCA online tan solo calcularemos las estadísticas, los demás valores se utilizan los del modelo. Para la programación se han seguido los siguientes pasos.

- Una vez obtenida y normalizada la matriz X (ilustración 2.8) , se calculan los vectores de carga mediante la descomposición de valores singulares de:

$$\frac{1}{\sqrt{n-1}} \cdot X = U \sum V$$

Ecuación 2.1: Descomposición de valores singulares.

Lo cual es equivalente a calcular los valores y vectores propios de $A=X^T X$.

$$\frac{1}{n-1} \cdot X^T \cdot X = V \cdot \Lambda \cdot V^T$$

Ecuación 2.2: Valores y vectores propios.

Siendo $\Lambda=\Sigma^T \Sigma$, una matriz que contiene los valores propios reales no negativos de A .

V es una matriz ortogonal ($V^T V=I$). Las columnas de V son los vectores propios, llamados “scores”.

- Reteniendo solo los a vectores de carga (matriz P) correspondientes a los a valores singulares más grandes, podemos proyectar un vector de observación en un espacio de menor dimensión, aplicando esta transformación a todo el conjunto de datos ($X: n \times m$), tenemos:

$$T = X \cdot P \quad \text{siendo: } T: (n \times a) \quad X: (n \times m) \quad P: (m \times a)$$

Ecuación 2.3: Cálculo de la matriz P .

Para la reducción del orden del sistema (elección de a) se utiliza el test del porcentaje de la varianza, se selecciona a de forma que explique un porcentaje específico de la varianza total.

- Por último solo nos queda calcular las estadísticas para la detección de fallos, por un lado calculamos la estadística de Hotelling's.

$$T^2 = X^T \cdot P \cdot \sum_a^{-2} \cdot P^T \cdot X$$

Ecuación 2.4: Cálculo estadística de Hotelling's.

Se compara dicha estadística con un umbral calculado como:

$$T_a^2 = \frac{(n^2 - 1) \cdot a}{n \cdot (n - a)} \cdot F_\alpha(a, n - a)$$

Ecuación 2.5: Cálculo umbral estadística de Hotelling's

Si $T^2 > T_a^2 \rightarrow$ el sistema está fuera de control, es decir hay un fallo.
Por otro lado calculamos la estadística SPE

$$Q = r^T r \rightarrow r = (I - P \cdot P^T) \cdot X$$

Ecuación 2.6: Cálculo estadística SPE.

Cuando el sistema está bajo control Q es muy pequeño, para detectar un fallo se pone un umbral Q_α .

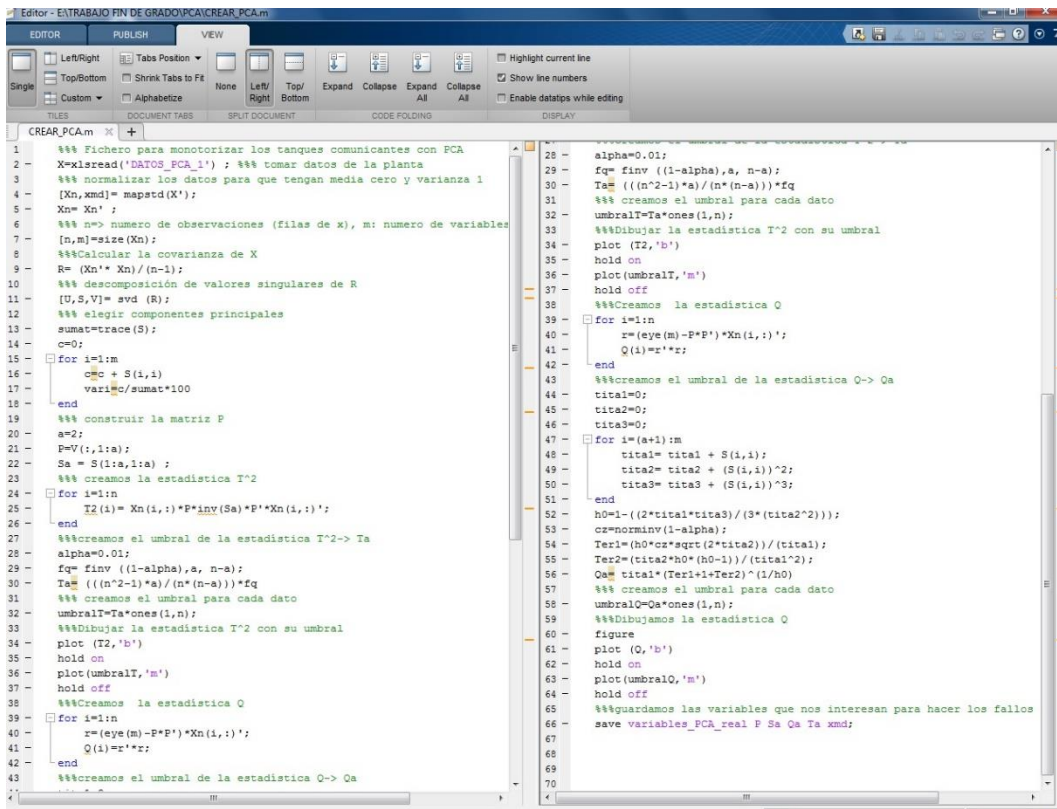
$$SPE_{\alpha} = \theta_1 \left[\frac{h_0 \cdot c_{\alpha} \cdot \sqrt{2 \cdot \theta_2}}{\theta_1} + 1 + \frac{\theta_2 \cdot h_0 \cdot (h_0 - 1)}{\theta_1^2} \right]^{\frac{1}{h_0}}$$

Ecuación 2.7: Cálculo umbral de la estadística SPE.

$$\theta_i = \sum_{j=a+1}^m \lambda_j^i \quad h_0 = 1 - \frac{2 \cdot \theta_1 \cdot \theta_2}{3 \cdot \theta_2^2}$$

Ecuación 2.8 y 2.9: Cálculo de parámetros umbral estadística SPE.

Una vez explicado el procedimiento a seguir para la programación del PCA, en la ilustración 2.9 se observa el código empleado para calcular el PCA del modelo. Como ya hemos dicho para el cálculo del PCA en modo online tan solo tenemos que calcular las estadísticas y normalizar la matriz X en ese momento, los demás parámetros se utilizan los del modelo.



```

1 %% Fichero para monitorizar los tanques comunicantes con PCA
2 X=xlswread('DATOS_PCA_1'); %% tomar datos de la planta
3 %% normalizar los datos para que tengan media cero y varianza 1
4 [Xn,xmd]=mapstd(X');
5 Xn= Xn' ;
6 %% n=> numero de observaciones (filas de X), m: numero de variables
7 [n,m]=size(Xn);
8 %%Calcular la covarianza de X
9 R= (Xn'* Xn)/(n-1);
10 %% descomposición de valores singulares de R
11 [U,S,V]= svd (R);
12 %% elegir componentes principales
13 sumat=trace(S);
14 c=0;
15 for i=1:m
16     c=c + S(i,i)
17     vari=c/sumat*100
18 end
19 %% construir la matriz P
20 a=2;
21 P=V(:,1:a);
22 Sa = S(1:a,1:a) ;
23 %% creamos la estadística T^2
24 for i=1:n
25     T2(i)= Xn(i,:) *P*inv(Sa) *P'*Xn(i,:);
26 end
27 %% creamos el umbral de la estadística T^2-> Ta
28 alpha=0.01;
29 fq= finv ((1-alpha),a, n-a);
30 Ta= (((n^2-1)*a)/(n*(n-a)))*fq
31 %% creamos el umbral para cada dato
32 umbralT=Ta*ones(1,n);
33 %%Dibujar la estadística T^2 con su umbral
34 plot (T2,'b')
35 hold on
36 plot(umbralT,'m')
37 hold off
38 %%Creamos la estadística Q
39 for i=1:n
40     z=(eye(m)-P*P')*Xn(i,:);
41     Q(i)=z'*z;
42 end
43 %% creamos el umbral de la estadística Q-> Qa
44 tital=0;
45 tita2=0;
46 tita3=0;
47 for i=(a+1):m
48     tital= tital + S(i,i);
49     tita2= tita2 + (S(i,i))^2;
50     tita3= tita3 + (S(i,i))^3;
51 end
52 h0=1- ((2*tital*tita3)/(3*(tita2^2)));
53 cz=norminv(1-alpha);
54 Ter1=(h0*cz*sqrt(2*tita2))/(tital);
55 Ter2=(tita2*h0*(h0-1))/(tital^2);
56 Qa= tital*(Ter1+Ter2)^(1/h0)
57 %% creamos el umbral para cada dato
58 umbralQ=Qa*ones(1,n);
59 %%Dibujamos la estadística Q
60 figure
61 plot (Q,'b')
62 hold on
63 plot(umbralQ,'m')
64 hold off
65 %%guardamos las variables que nos interesan para hacer los fallos
66 save variables_PCA_real P Sa Qa Ta xmd;
67
68
69
70
    
```

Ilustración 2.9: Código PCA.

2.4 HERRAMIENTAS SOFTWARE UTILIZADAS

Durante este proyecto hemos utilizado varias herramientas software para cumplir todos los objetos marcados durante el comienzo del mismo, en primer lugar el elemento principal para la elaboración del proyecto ha sido el SCADA, para ello hemos utilizado la herramienta Wonderware FactorySuite 2014, dentro de esta herramienta hemos utilizado la aplicación Intouch para la creación del HMI. Posteriormente para añadir funcionalidades al HMI hemos empleado Ecosimpro para hacer un modelo de la planta y poder simular la planta cuando esta esté sin conexión. Y por último hemos utilizado Matlab, Simulink para crear el análisis de componentes principales para poder controlar estadísticamente nuestra planta.

2.4.1 INTOUCH

Intouch es un programa del paquete FactorySuite 2014 que facilita un entorno gráfico para la información y control de una planta. De esta manera los usuarios pueden visualizar e interactuar con los procesos mediante representaciones gráficas de los mismos.

Dentro de intouch, tenemos dos aplicaciones WindowsMaker en el que se pueden crear, programar, configurar, etc. objetos táctiles, gráficos, alarmas, etc. y WidnowsViewer donde se ejecuta todo lo programado en WindowsMaker.

En este apartado se realizará una pequeña guía del programa muy básica centrándonos en la creación de ventanas y elementos fundamentales para la creación de un SCADA.

Para empezar a elaborar nuestro SCADA tenemos que crear una aplicación.

2.4.1.1 CREACION DE VENTANAS

En primer lugar para la creación de un SCADA con FactorySuite lo que tenemos que hacer es crear nuestras ventanas, crearemos varias ventanas en las cuales distribuiremos todas las partes de la planta y herramientas del tipo controlador, histórico, etc.

Para la creación de ventanas nos vamos al botón de creación de ventanas (ilustración 2.10) y nos aparece el siguiente cuadro de diálogo (ilustración 2.11).



Ilustración 2.10: Intouch, nueva ventana.

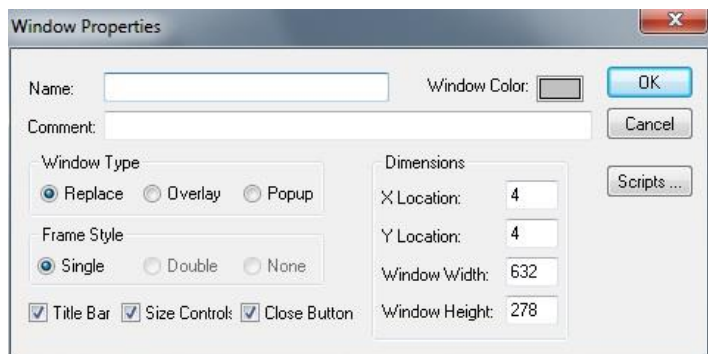


Ilustración 2.11: Intouch, configuración ventana.

En el tenemos que asignar un nombre a la ventana, podemos añadir un comentario explicando su contenido y tenemos que definir el color de la ventana. Además podemos configurar la ventana con las distintas opciones que nos da el cuadro de creación de ventanas.

- **Tipo de ventana**, podemos elegir entre varios tipos de ventana
 - **Replace**, este tipo hace que cuando esta ventana aparezca en pantalla, se cierran automáticamente todas las demás ventanas, incluidas las de tipo popup y las del tipo replace.
 - **Overlay**, una ventana de este tipo aparecerá por encima de todas las otras ventanas que estén abiertas, al cerrar esta ventana aparecerán las que estuvieran por debajo. Pinchando sobre una porción de ventana que está debajo de esta, la ventana se activará.
 - **Popup**, es igual al tipo Overlay, con la diferencia que aunque pinchemos sobre una porción de ventana que este por debajo, esta no se activará. Esta opción está pensada para aplicaciones en las que se obligue a cerrar la ventana manualmente.

- **Frame style**, con esta opción podemos cambiar el estilo del marco de la ventana, nos da a elegir entre poner un marco simple con una barra de título y controles de tamaño, un marco doble o no tener marco en la ventana.
- **Title bar**, permite quitar o poner la barra de título a la ventana.
- **Size control**, nos da la opción de activar o desactivar los controles de redimensionamiento de la ventana.
- **Dimensions**, en este cuadro se puede fijar la posición, la anchura y la altura de la ventana en pixels.
- **Scripts**, al pulsar este botón, se accede al editor de scripts de la ventana.

2.4.1.2 CREACION Y ANIMACION DE OBJETOS

Una vez creada la ventana o ventanas, de nuestro SCADA tenemos que diseñar el interior de ésta que va a contener, graficas, objetos, alarmas, etc.

En primer lugar lo más razonable es crear el sinóptico de la planta de esta manera a través de objetos representaremos gráficamente nuestra planta.

Para la creación de objetos pinchamos en el botón que indico a continuación (ilustración 2.12), una vez dentro seleccionamos la opción SymbolFactory y elegimos el objeto que queramos entre todos los que nos ofrece el programa.



Ilustración 2.12: Intouch, wizards.

Una vez creado el objeto podemos animarlo, de tal manera que podemos hacer que cambie la apariencia del objeto para reflejar el cambio de una variable, por ejemplo una bomba cuando está en funcionamiento que se ponga de color verde y que cambie a rojo cuando este en parada, para animarlo seleccionamos a través del menú Special y dentro de él, Animation

links, o bien haciendo doble clic sobre el objeto seleccionado (ilustración 2.13).

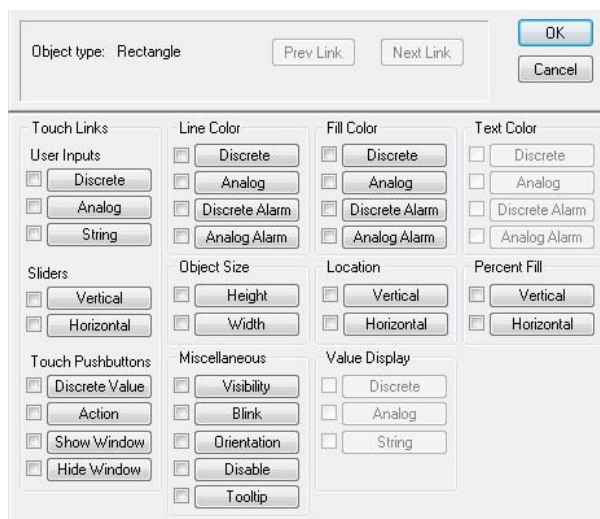


Ilustración 2.13: Intouch, Animation links.

Las posibles animaciones que nos permite realizar el programa son las siguientes:

- **Touchs Links** (enlaces táctiles), este tipo de animación se dará en aquellos casos en los que los objetos aparezcan configurados como sensibles al tacto, de tal manera que permita al usuario introducir datos dentro del sistema. Existen varios tipos de animaciones dentro de esta categoría.
 - **Entradas de usuario**, estos elementos se utilizarán dentro de la aplicación para permitir al usuario introducirse dentro del sistema, por ejemplo botones para cambiar estados discretos, valores analógicos, etc. Existen tres tipos de animaciones de entrada de usuario:
 - ❖ **Discreta**, utilizado para controlar el valor de una variable discreta.
 - ❖ **Analógica**, utilizado para introducir el valor de una variable analógica. Cuando se activa esta animación aparece un cuadro donde el nuevo valor podrá ser introducido por el usuario.

- ❖ **Cadena de texto**, utilizado para crear un objeto dentro del cual puede ser introducido un mensaje. Cuando la animación se activa aparecerá un cuadro de forma que el mensaje pueda ser introducido.
- **Elementos deslizantes**, se pueden utilizar este tipo de animación para aquellos objetos o símbolos que pueden ser desplazados dentro de la ventana utilizando elementos de tipo puntero. A la vez que el elemento se está desplazando, el valor de la variable asociada se modifica, lo que permite crear elementos a través de los cuales se establezcan determinados valores dentro del sistema.
- **Botones**, este tipo de animaciones permiten crear objetos que inmediatamente llevarán a cabo una determinada operación cuando sean presionados. Estas operaciones corresponden a los cuatro tipos de botones que pueden ser creados:
 - ❖ **Valor discreto**, se utiliza para crear objetos o símbolos dentro de un botón, para controlar el estado de una variable de tipo discreto.
 - ❖ **Acción**, permite a cualquier objeto, símbolo o botón disponer de funciones de acción enlazadas.
 - ❖ **Mostrar/ocultar ventana**, se utiliza para construir un símbolo u objeto dentro de un botón que permita abrir u ocultar una o más ventanas presionando dicho botón.
- **Enlaces de display**, existen diferentes tipos de enlaces de display, que proporcionan información acerca de lo que está pasando internamente en el sistema.
 - **Animaciones de color**, este tipo de animación se puede utilizar para animar los atributos de color de línea, de llenado y de color de texto de un objeto. Estas animaciones pueden ser de diferentes tipos:

- ❖ **Discreto**, utilizado para controlar los atributos de color asociado al valor de una variable discreta.
 - ❖ **Analógico**, de la misma forma que el anterior, pero asociado a una variable analógica.
 - ❖ **Alarma discreta**, los atributos de color asociados al estado de alarma de una variable o de un grupo de alarmas.
 - ❖ **Alarma analógica**, de la misma forma que el caso anterior, pero utilizando los estados de alarma de una variable analógica.
- **Animaciones de tamaño de objeto**, este tipo de animaciones se podrán utilizar en aquellos casos en los que se desee modificar la altura y/o anchura de un objeto de acuerdo al valor de una variable o de una expresión analógica.
 - **Animaciones de localización**, las animaciones de localización permiten que un objeto se desplaza por la pantalla en respuesta a los cambios de valor de una variable analógica o de una expresión.
 - **Animaciones de porcentaje de llenado**, se pueden utilizar esta clase de animaciones sobre todo para observar el nivel de un tanque ya que permite variar el nivel de llenado de un objeto, forma, símbolo, etc. de acuerdo al valor de una variable analógica o una expresión.
 - **Animaciones misceláneos**, existen cuatro tipos de animaciones de dentro de esta categoría.
 - ❖ **Visibilidad**, permite controlar la visibilidad de un objeto basándose en el valor de una expresión o variable de tipo discreta.
 - ❖ **Parpadeo**, controla el parpadeo de un objeto a través del valor de una expresión o variable discreta.

- ❖ **Orientación**, utilizado para hacer que un objeto efectúe rotaciones de acuerdo al valor de una variable o expresión.
- ❖ **Deshabilitación**, se utiliza para deshabilitar la funcionalidad táctil de un objeto de acuerdo con el valor de una variable o expresión.
- **Animaciones de display de un valor**, esta opción nos posibilita para utilizar un objeto para mostrar el valor de una variable del sistema, esta variable puede ser del tipo:
 - ❖ **Discreto**, utiliza el valor de una expresión discreta para enviar un mensaje predefinido por el usuario para los estados de ON y de OFF.
 - ❖ **Analógico**, muestra el valor de una expresión analógica o de una variable dentro de un objeto de texto.
 - ❖ **Cadena de texto**, muestra el valor de una expresión de cadena de caracteres dentro de un objeto de texto.

2.4.1.3 CREACION DE VARIABLES.

Para la animación de objetos, representación de gráficas, alarmas, etc. Necesitamos crear variables para comprobar el estado de nuestra planta.

Para la creación de variables tenemos que ir al diccionario de variables (TagName dictionary), (ilustración 2.14) que consiste en una pequeña base de datos donde está toda la información de las variables que se están usando en la aplicación, además existen unas variables internas de Intouch como la fecha, hora, variables de seguridad, etc. las cuales pueden ser leídas, pero no pueden ser escritas de forma directa.

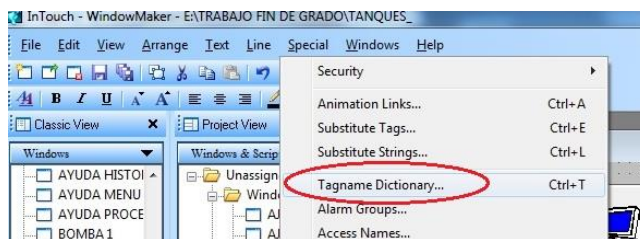


Ilustración 2.14: Intouch, Tagname dictionary

Cuando vamos a crear una variable nos sale el siguiente cuadro de dialogo para configurar la misma (ilustración 2.15).

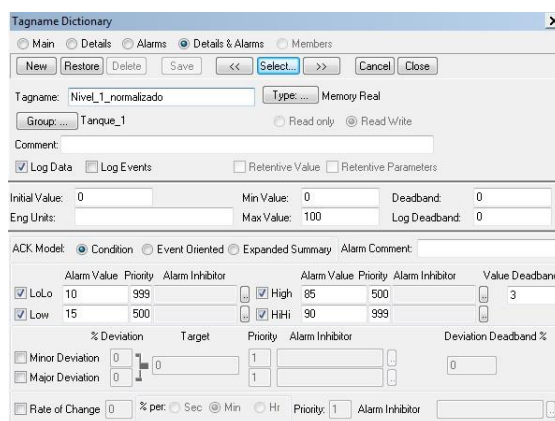


Ilustración 2.15: Intouch, configuración de variables.

En primer lugar tenemos que elegir el tipo de variable que tenemos. Cada tipo de variable tiene unas características propias que paso a enumerar.

- **Tipo memoria**, las variables de tipo memoria son variables internas de Intouch.
- **Tipo Input/Output**, variables de tipo entrada y salida son aquellas que pueden mandar o recibir datos desde otros programas. Como por ejemplo las variables del proceso Intouch las capta de la tarjeta de adquisición de datos y son variables del tipo I/O.
- **Tipo Especial**, son un tipo de variable especial que pueden usarse para conseguir funciones más complejas, tales como displays dinámicos para alarmas, gráficos de tipo histórico y control de variables que se están usando en los objetos gráficos. Existen también variables de tipo indirecto con las que se puede conseguir

reassignar una variable a múltiples datos. Dentro de esta categoría hay cinco tipos de variable. Son estos:

- **Group Var**, este tipo de variables es usado en las alarmas para asignar un grupo de alarmas a una variable, para crear displays dinámicos, almacenamiento de datos, impresión de ellos, etc.
- **Hist trend**, estas variables son necesarias para la creación de una gráfica de tipo histórico.
- **Tag ID**, este tipo de variable especial se usa para los objetos gráficos, su utilidad es recuperar información acerca de las variables que se están representando.
- **Indirect tagname**, las variables de tipo indirecto son aquellas que permiten crear una ventana y reasignar las variables que se encuentran en ella a múltiples fuentes de datos.
- **Supertags**, los supertags sirven para definir tipos de variables compuestos, se pueden definir supertags de 64 variables y 2 niveles anidados.

Para las variables de tipo Memoria, I/O, especiales del tipo indirecto, hay que seleccionar a mayores el tipo de variable que es entre las siguientes:

- **Discretas**, variable discreta, también llamada booleana. Solo pueden tener dos valores, 1 o 0.
- **Entero**, tagname de 32 bits con signo. Su valor va desde - 2.147.483.648 hasta 2.147.483.648.
- **Real**, variable en coma flotante, su valor va entre $\pm 3,4e^{38}$. Todos los cálculos son hechos en 64 bits de resolución, pero el resultado se almacena en 32 bits.
- **Mensaje**, variable alfanumérica de hasta 131 caracteres de longitud.

A parte de seleccionar todos estos atributos ya mencionados, el SCADA nos permite configurar más valores, como el valor inicial de la variable, el máximo y el mínimo de esta, la banda muerta (Deadband) para la cual la variable no cambia para evitar problemas con la instrumentación cuando el proceso sufre muchas oscilaciones, así como configurar las alarmas para esa variable, desde los valores límites (lo, Lo.Lo, Hi, Hi-Hi), la prioridad de la alarma, el porcentaje de desviación (% Deviation) permitido respecto de una referencia (Tarjet) y también podemos seleccionar Rate of Change para que nos detecte si el valor de la alarma varía en exceso de acuerdo a una cantidad de tiempo.

Si posteriormente vamos a querer registro de la variable que estamos creando tendremos que marcar las opciones de Log Data o Log Events, que nos permitirá representar y registrar nuestra variable en históricos.

2.4.1.4 VISUALIZACION DE ALARMAS

Una vez tenemos configuradas las variables con sus límites asociados podemos añadir a nuestro SCADA un display para visualización de alarmas, este display nos permitirá ver tanto las alarmas actuales como las históricas, además podremos animar objetos para que hagan una determinada acción, ya sea un parpadeo, que cambie de color, que sea visible, etc.

Para agregar el display de alarmas a una de las ventanas tenemos que ir a la siguiente ruta, entramos a Wizards y dentro seleccionamos Alarms display, como nuestro a continuación (ilustración 2.16).

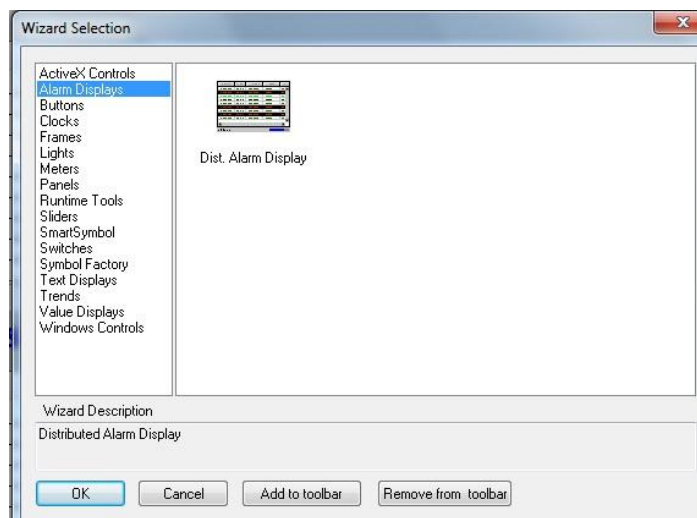


Ilustración 2.16: Intouch, Display Alarmas.

Y nos aparecerá un recuadro como el siguiente (ilustración 2.17), el cual podemos configurar (ilustración 2.18).



Ilustración 2.17: Intouch, Alarmas.

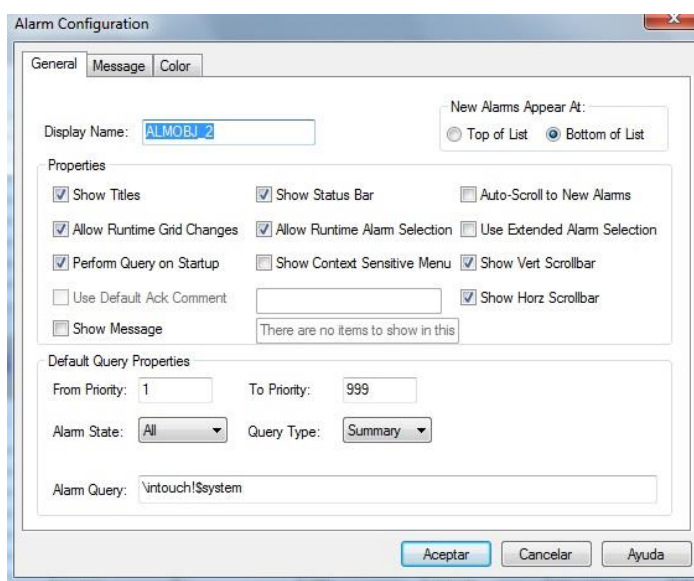


Ilustración 2.18: Intouch, Configuración de alarmas.

En este recuadro nos aparecen las siguientes opciones.

- **Display Name**, seleccionamos el nombre de display que estamos parametrizando.
- **New Alarms appear At**, nos permite seleccionar el orden en el que aparecerán las alarmas, si aparecerán las alarmas más recientes arriba (top of list) y queremos que las más recientes aparezcan al final (bottom of list).
- **Property**, propiedades tales como mostrar o no títulos, mostrar o no la barra para desplazarse por el listado de alarmas, posicionamiento automático si aparece una nueva alarma, etc.

- **From..To priority**, aquí podemos elegir la prioridad de las alarmas que queremos mostrar, en industrias grandes alarmas de prioridad muy baja no se muestran ya que suelen ser inherentes al proceso.
- **Alarm State**, nos permite seleccionar si queremos ver todas las alarmas o solo las que no han sido reconocidas por el usuario.
- **Query Type**, en este desplegable podemos definir si queremos que en la lista de alarmas solo nos salga las alarmas actuales (Alarm Summary), o si queremos que nos salgan el historial de alarmas (Alarm history).

En las otras dos pestañas, Message y color, nos da distintas opciones en cuanto a la apariencia del cuadro de alarmas, entre otras opciones podemos seleccionar los campos que queremos que nos muestre la lista de alarmas, el color de las alarmas según su tipo, la fuente, etc.

2.4.1.5 CREACION Y CONFIGURACION DE GRAFICAS.

Por último uno de los elementos principales a la hora de crear un sistema SCADA es la posibilidad de representar gráficamente variables en tiempo real y poder representar la evolución de variables en un periodo de tiempo anterior con gráficos históricos.

Para crear gráficas en Intouch, tenemos que ir al siguiente botón (ilustración 2.19) y nos aparecerá una gráfica como la que vemos a continuación (ilustración 2.20).

Una vez hemos creado nuestra gráfica pasamos a configurarla, dando doble click sobre ella nos aparece el siguiente cuadro de configuración (ilustración 2.21).



Ilustración 2.19: Intouch, Crear gráficas.

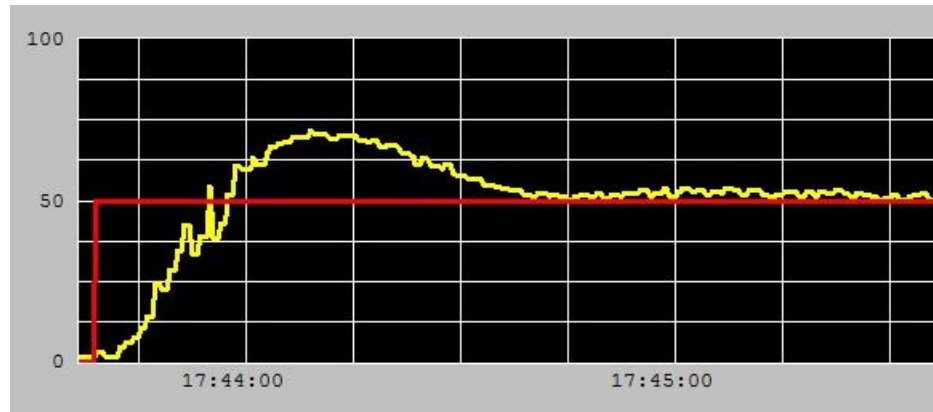


Ilustración 2.20: Intouch Gráficas.

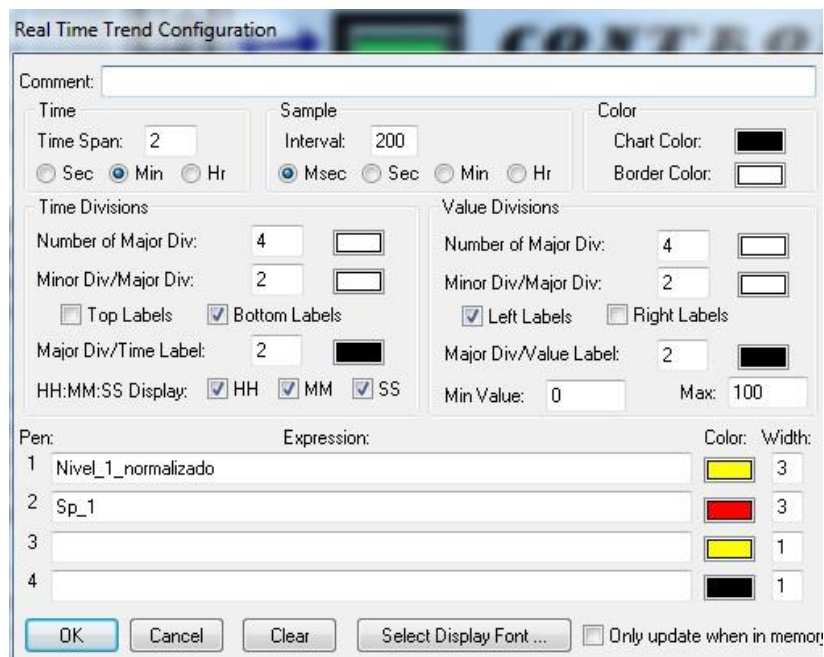


Ilustración 2.21: Inotuch, Configurar gráficas en tiempo real.

En la parte de arriba del cuadro de dialogo podemos seleccionar el time span, que se refiere al tiempo que queremos que muestre nuestra grafica en el eje horizontal, también introduciremos el tiempo entre dos tomas de datos sucesivas.

La apariencia de la gráfica la podemos modificar cambiando el color, el número de divisiones en los ejes, el formato de los mismos, etc.

Y por último tenemos que definir las variables que queremos que se representen en la gráfica seleccionando el color y el grosor de la línea de tendencia de la variable.

Como ya he dicho no solo existen gráficas en tiempo real sino también tenemos graficas de tipo histórico cuya configuración es similar, seleccionando a mayores el periodo de tiempo que queremos representar.

Por ultimo decir que Intouch además de todas las opciones que hemos descrito anteriormente, tiene infinidad de herramientas, opciones, displays a mayores que podemos utilizar para desarrollar nuestro sistema SCADA. En esta memoria no entraremos en más detalles ya que considero que con una breve introducción que nos permita conocer los elementos más básicos y esenciales del programa nos da una idea del software Intouch y de las posibilidades que nos proporciona.

2.4.1.6 CONFIGURACION DE LA COMUNICACIÓN ENTRE SERVIDORES OPC E INTOUCH

Para la realización de este trabajo hemos necesitado crear varios servidores OPC para que diferentes aplicaciones suministren datos al SCADA en Intouch, entre estos servidores están: los servidores OPC del PID, el servidor OPC de la tarjeta de adquisición de datos, el servidor OPC de la simulación y el servidor OPC del PCA.

Para realizar esta comunicación tenemos que seguir una serie de pasos para comunicar satisfactoriamente el servidor OPC e Intouch.

Los pasos a seguir se explican a continuación.

En primer lugar tenemos que abrir el programa System Management Console incluido en el paquete FactorySuite. Una vez abierto nos aparece la siguiente ventana. (Ilustración 2.22).

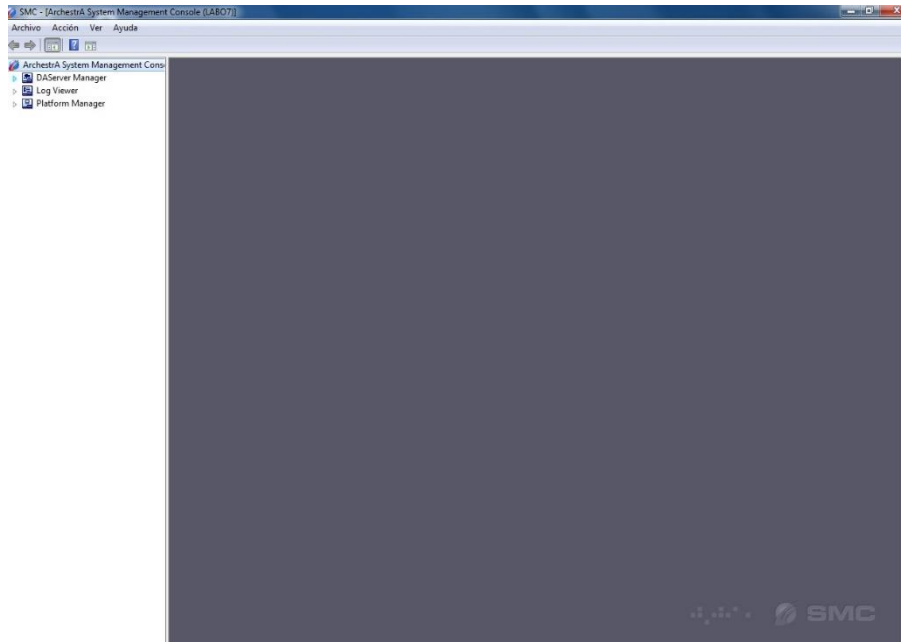


Ilustración 2.22: System Management Console.

En el menú de la izquierda hay que ir abriendo el árbol, con un doble click en cada nombre que va apareciendo en el árbol, empezando por DAServer Manager, hasta que aparezca la ventana de configuración.

Ahora sobre configuración, hacer click con el botón derecho del ratón y añadir un objeto OPC como se observa en la ilustración 2.23, una vez añadido le podemos poner un nombre o dejar el que viene por defecto.

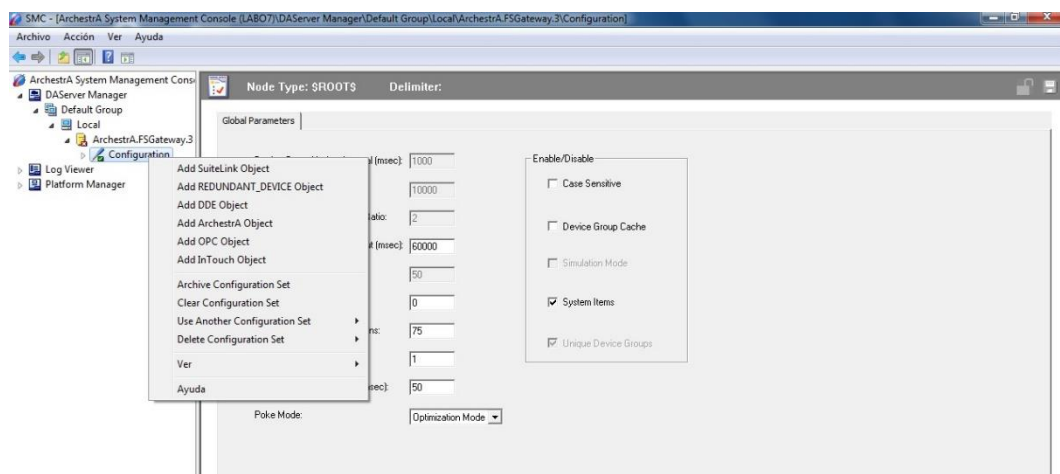


Ilustración 2.23: Añadir Objeto OPC

Una vez pulsado “Add OPC Object” nos aparece la ventana siguiente (ilustración 2.24), donde hay que definir el servidor OPC que estamos configurando.

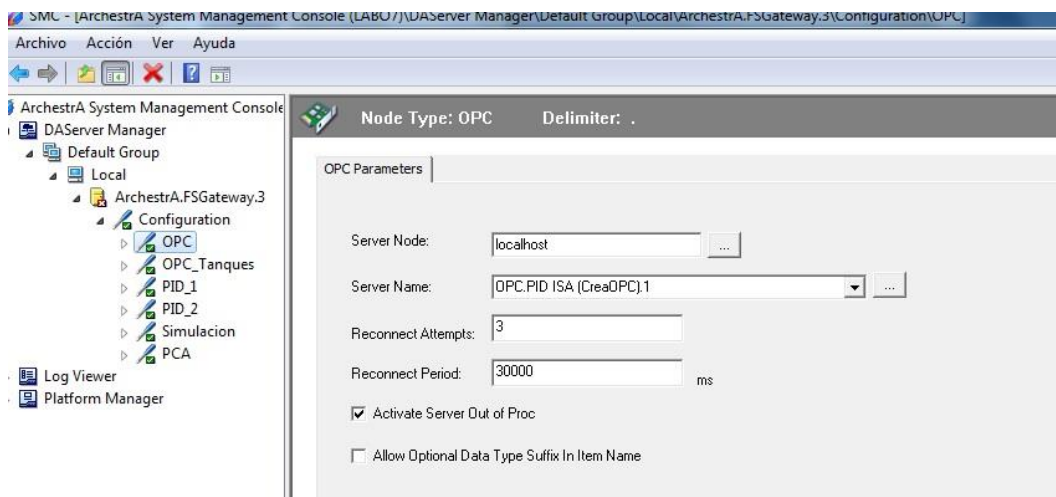


Ilustración 2.24: Ventana de creación del OPC.

En esta ventana hay que rellenar los siguientes campos:

- **Server node:** en este espacio hay que definir el nodo donde está el servidor OPC, por si están los sistemas en red, y el servidor esta en otro nodo distinto, en nuestro caso dejar localhost.
- **Server Name:** Poner el servidor OPC que estemos configurando.

Los demás puntos hay que dejarles tal cual vienen configurados en el programa.

Una vez definido el OPC, de nuevo nos ponemos en el nombre del OPC creado y haciendo un click con el botón derecho del ratón añadiremos un grupo OPC. (Ilustración 2.25). Una vez añadido igual que el objeto OPC, para el grupo OPC podemos poner el nombre que queramos o dejarlo por defecto.

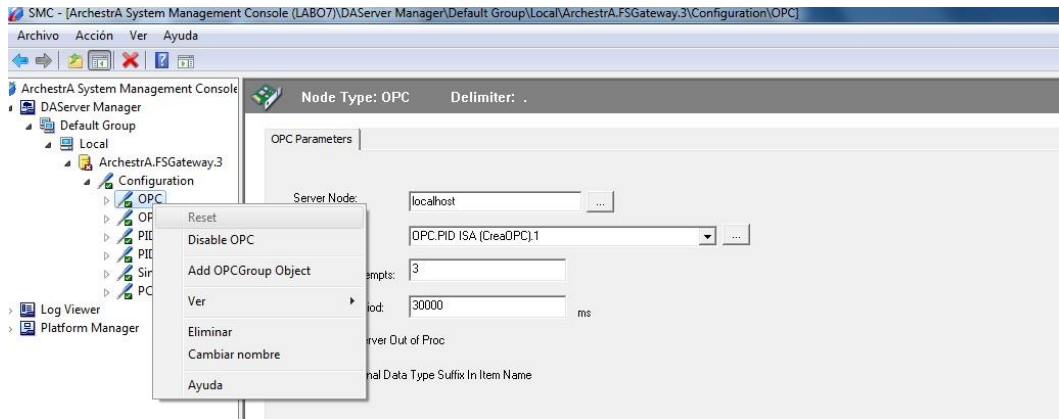


Ilustración 2.25: Añadir un grupo OPC nuevo.

Una vez pulsado “Add OPCGroup Object” nos aparece la ventana siguiente (ilustración 2.26), donde seleccionaremos los ítems del OPC, es decir las variables que vamos a comunicar entre el servidor OPC e Intouch, para ello pinchamos en “Browse OPC ítems” que aparece en la ventana que vemos a continuación (ilustración 2.26).

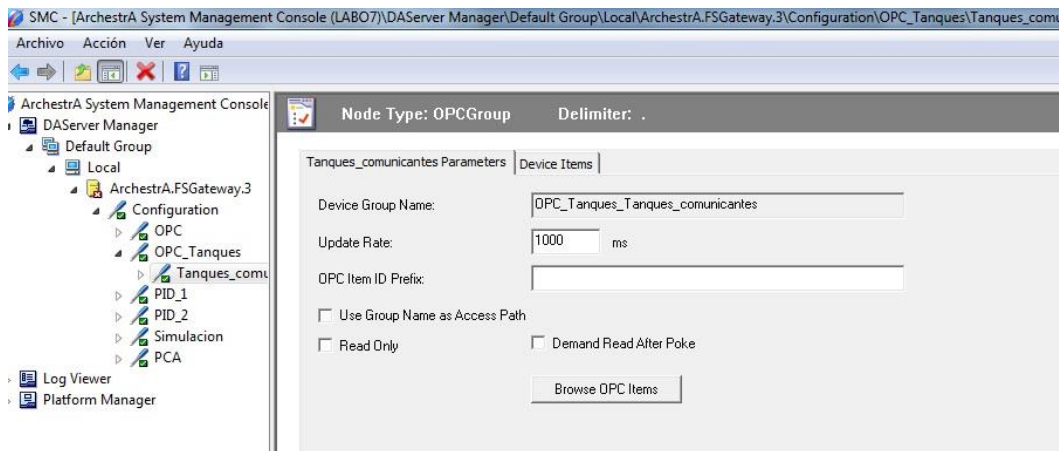


Ilustración 2.26: Ventana de creación del Grupo de OPC.

Una vez pulsado el botón “Browse OPC ítems” nos aparece la siguiente ventana (ilustración 2.27) donde aparecen todas las variables definidas en el servidor OPC y solo tenemos que seleccionarlas y arrastrarlas como se ve en la ilustración 2.27.

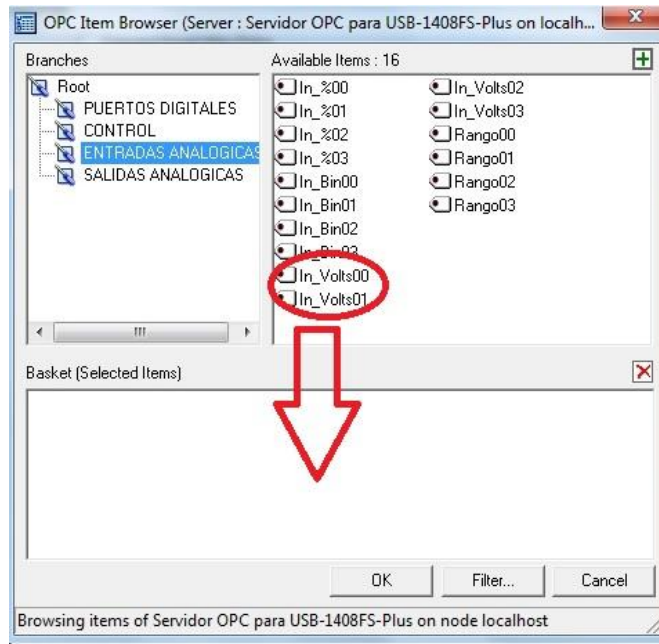


Ilustración 2.27: Ventana de definición de los Items de OPC.

Una vez dado Ok, si seleccionamos la pestaña Device Items que aparece en la ilustración 2.26, nos lleva a la siguiente ventana (ilustración 2.28) donde podemos cambiar el nombre de las variables seleccionadas. Haciendo doble click sobre el nombre de la variable que aparece en Name o en Item Reference.

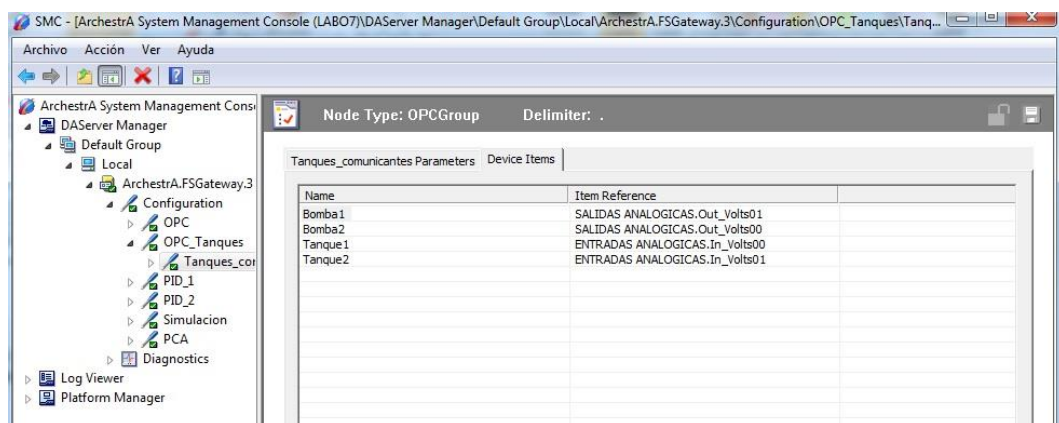


Ilustración 2.28: Device Items TAD

Ahora ya tenemos definida la comunicación entre el servidor OPC e Intouch. Para finalizar basta con arrancar la aplicación para ello nos ponemos sobre ArchestraFSGateway y presionamos sobre “Actívate server” como se ve en la ilustración 2.29. El servidor se activa y empieza a recibir datos de la planta,

además aparece un nuevo icono en el menú de la parte izquierda: Diagnostics que tiene varias opciones entre las que destaca la opción “statistics” que nos proporciona información sobre los ítems y grupos OPC creados (Ilustración 2.30). Otra pestaña importante es la de “device ítems” que nos da información global sobre todos los servidores OPC activos (ilustración 2.31) o individual del servidor OPC que seleccionemos (ilustración 2.32)

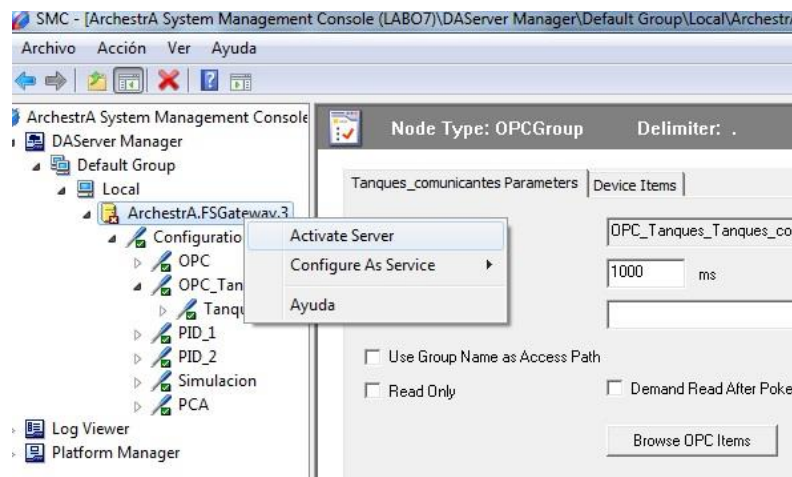


Ilustración 2.29: Activar servidores OPC.

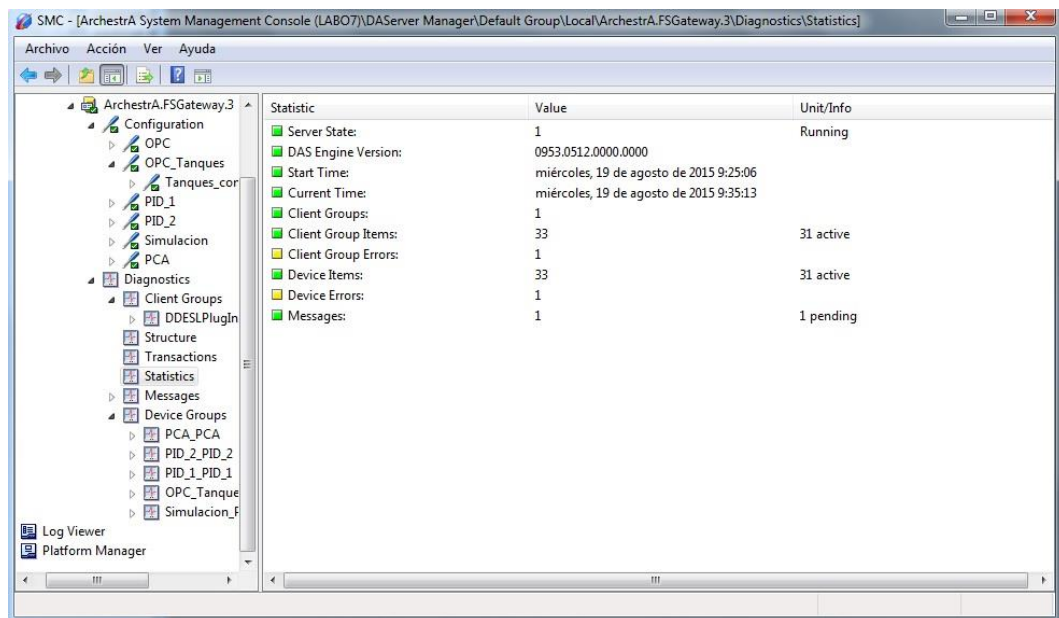


Ilustración 2.30: Diagnostics/Statistics OPC.

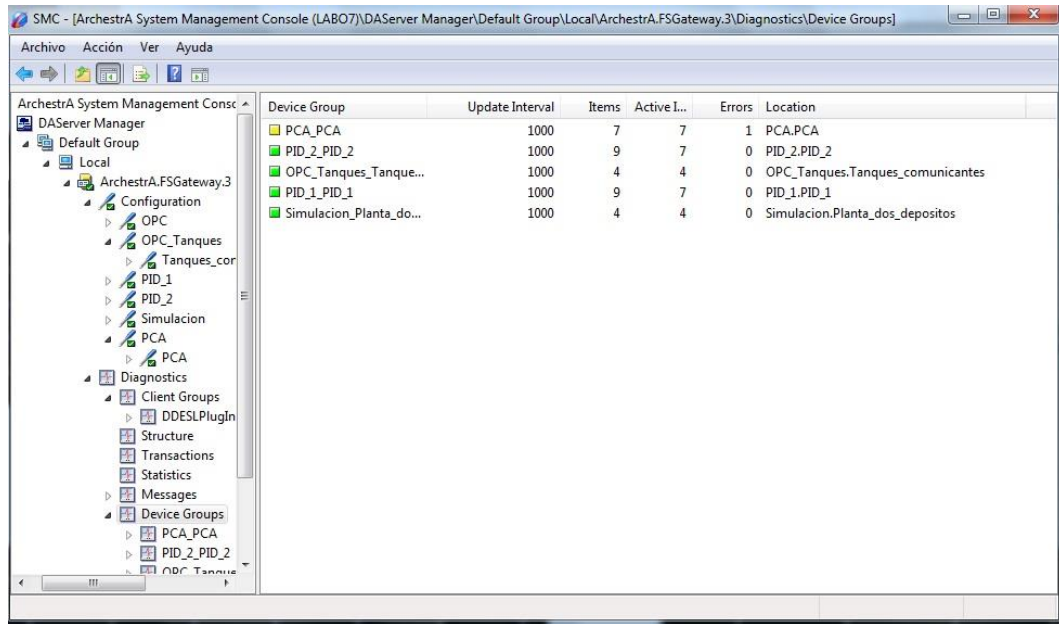


Ilustración 2.31: Device Group, información servidores OPC activos.

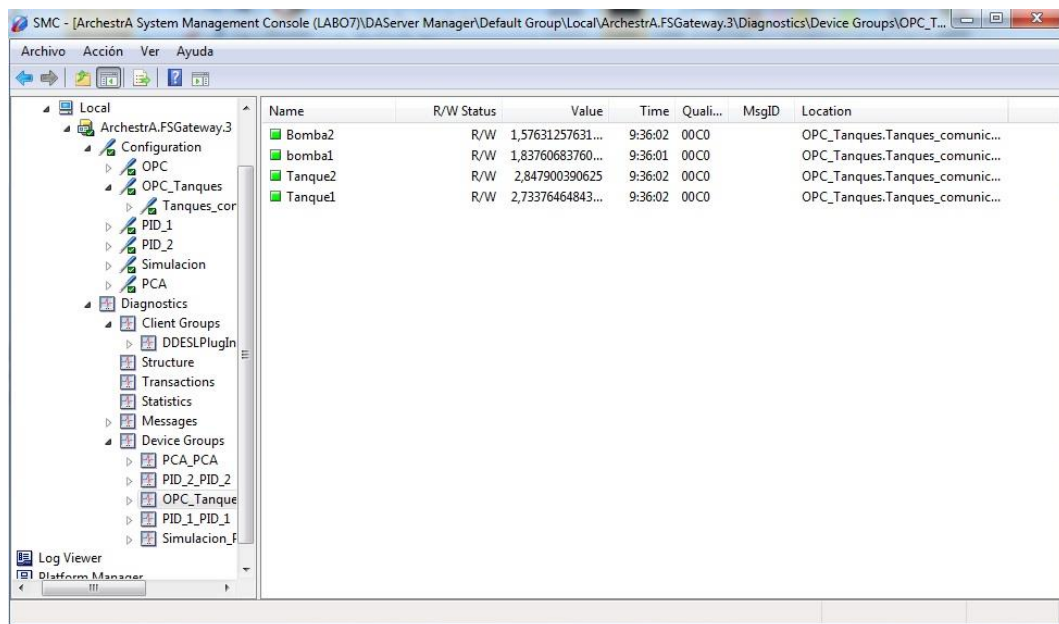


Ilustración 2.32: Información items servidor OPC de la TAD

Una vez configurado los servidores OPC en System Management Console, tenemos que comunicar estos ítems de OPC con variables que podamos ver y/o modificar desde Intouch para ello se tiene que definir un AccesName y definir las variables, para realizarlo hay que seguir los siguientes pasos.

En primer lugar ya dentro de la aplicación creada en Intouch, en la barra de Menu hay que ir a Special -> Acces Name. Se abrirá la ventana que vemos a

continuación (ilustración 2.33) aquí se gestionan todos los Acces Name creados además se pueden añadir o eliminar según nos interese.

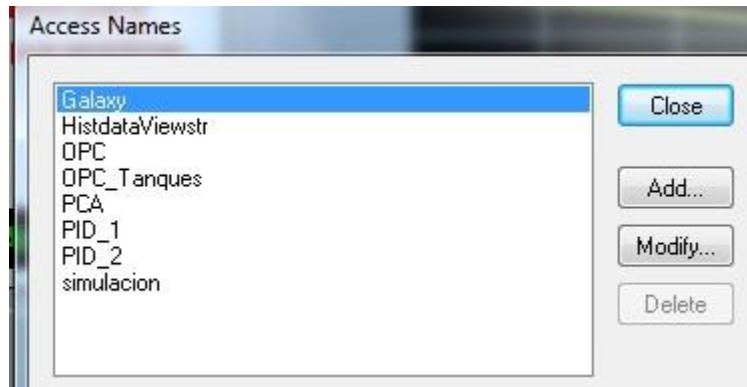


Ilustración 2.33: Gestión Acces Name.

En la ventana anterior (ilustración 2.33) pulsamos el botón Add para configurar un nuevo Acces Name. Al pulsar nos aparece la siguiente ventana (ilustración 2.34).

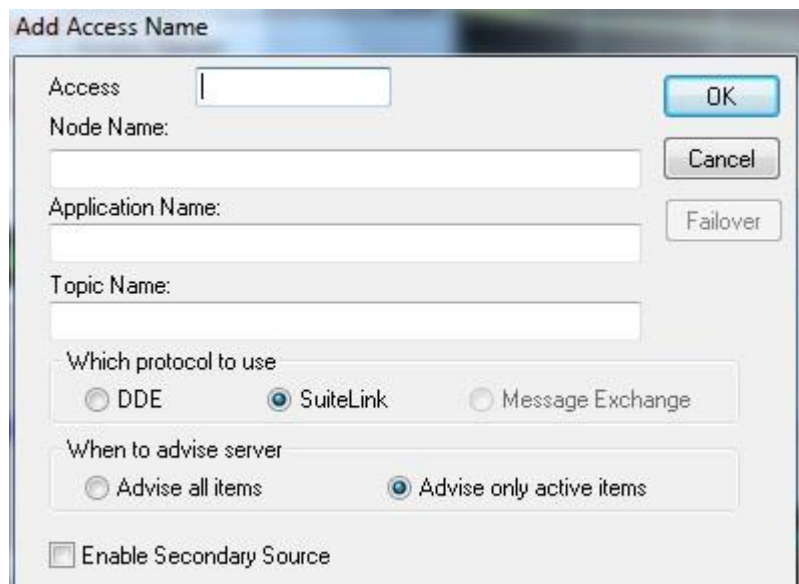


Ilustración 2.34: Ventana de configuración de Acces Name.

En esta ventana hay que cumplimentar los siguientes campos:

- **Acces:** En este campo hay que poner un nombre, tiene que ser el mismo que dimos al servidor OPC en la ilustración 2.24.

- **Node Name:** Poner la etiqueta que queramos en este campo, en nuestro caso podemos poner la etiqueta que aparece en los ordenadores o simplemente poner localhost.
- **Application Name:** FSGateway (este es el nombre de la aplicación en Intouch que comunica con el OPC que hemos creado)
- **Topic Name:** Poner el nombre del grupo que hemos creado en OPC.
- **Which Protocol to use:** Seleccionamos el protocolo de comunicación que deseemos, dependiendo el Acces Name que estemos configurando seleccionaremos SuiteLink o DDE.

Una vez rellenado todos los campos pulsamos OK para confirmar el Acces Name creado.

Una vez creado el Access Name tenemos que definir las variables del servidor OPC en el TagNameDictionary de la aplicación creada en Intouch. Para ello nos vamos a la pestaña Special -> Tagname Dicttionary y aparece la siguiente ventana. (Ilustración 2.35).

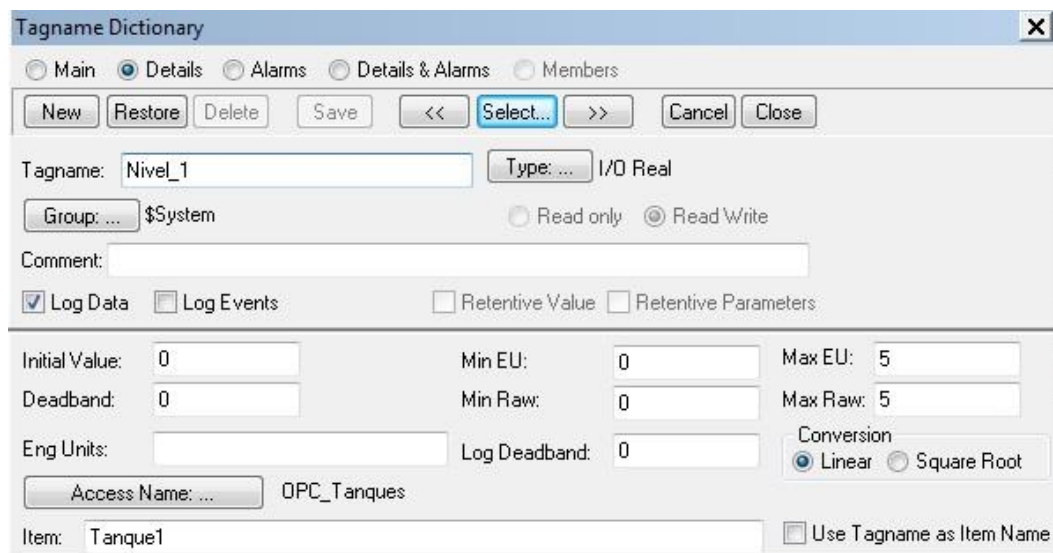


Ilustración 2.35. Configuración variable del servidor OPC.

Este apartado se explicara con más detalle posteriormente, para este apartado basta con comentar que para poder comunicar esta variable con la variable del servidor OPC, se tiene que presionar en Acces Name y

seleccionar el Acces Name definido anteriormente. Y por último en el campo de Item, tenemos que poner el mismo nombre de variable que hemos puesto en la ventana de la ilustración 2.28.

Por último y de manera gráfica se aprecia en la ilustración 2.36 como se comunicaría la tarjeta de adquisición de datos con intouch mediante OPC.

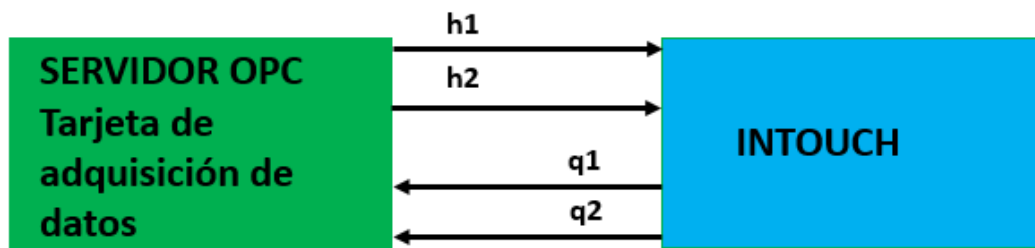


Ilustración 2.36: Comunicación Intouch-TAD.

2.4.2 ECOSIMPRO

Para la realización de modelos para nuestro SCADA hemos utilizado EcosimPro, es una herramienta de modelado y simulación multidisciplinar de última generación, con un lenguaje de modelado (EL, EcosimPro Language) orientado a objetos. La descripción del modelo puede hacerse usando EL o usando el editor gráfico. Este dispone de un interfaz hombre-máquina que facilita la labor de creación de modelos de una manera intuitiva.

EL es un lenguaje de programación para la resolución automática de sistemas de ecuaciones diferenciales, todo lo que el diseñador del modelo tiene que hacer consiste en definir las ecuaciones del modelo, usando un lenguaje orientado a objetos. Además los componentes pueden “heredar” características de otros y pueden ser agregados, una vez probados, para crear componentes más complejos (modularidad). Una vez que los modelos han sido creados, se pueden realizar experimentos con ellos. EL posee un lenguaje para los experimentos muy similar al lenguaje de modelado que se utiliza para integrar el modelo, calcular estados estacionarios y, en definitiva, resolver el experimento.

EcosimPro dispone de asistentes matemáticos para:

- Definir el diseño de los problemas.
- Definir las condiciones de contorno.
- Reducir los problemas de índice superior de las DAE's.

En nuestra planta no hemos utilizado demasiado este software, solamente lo hemos utilizado para hacer el modelo de nuestra planta para poder simular su funcionamiento, como veremos en el capítulo 3, este modelo es muy sencillo ya que tiene pocas ecuaciones y de escasa complejidad, por lo que apenas se ha aprovechado todas las funcionalidades que tiene EcosimPro.

También se ha utilizado EcosimPro para implementar los controladores PID's para hacer funcionar la planta en automático, este programa está desarrollado por el departamento de ingeniería de sistemas, el funcionamiento de este PID es sencillo, el algoritmo de control PID digital calcula en cada periodo de muestreo la salida del proceso, $OP(t)$, output to process, en función de la señal de error $e(t)$ calculada como la diferencia entre los valores filtrados y normalizados del set-point, $Sp(t)$, la variable de proceso $PV(t)$, process variable y los parámetros del controlador, K_p , T_i y T_d . Esta es la funcionalidad principal del PID pero además, dispone de más opciones como poder elegir entre automático y manual, varios tipos de PID, con distintas ecuaciones que mostraremos en el capítulo 4, el PID dispone de filtros de señales, antiwind-up, para evitar la saturación del T_i , etc.

Para poder comunicar el sistema SCADA y EcosimPro, tanto para la implementación del PID como para la simulación de la planta, necesitamos desarrollar un servidor OPC capaz de intercambiar datos entre las dos aplicaciones, para ello se ha utilizado OPCToolbox del mismo entorno, que permite generar de manera muy sencilla un servidor OPC asociado al programa creado en EcosimPro.

Como hemos mencionado anteriormente un servidor OPC viene definido por el espacio de nombres que ofrece a los clientes y por la lógica de ejecución en base a los valores que tengan los ítems. Por tanto para el servidor OPC del PID, el espacio de nombres incluirá todas las variables propias del algoritmo de control, K_p , T_i , T_d , OP , PV , SP , etc. y para el servidor OPC de la simulación, las variables serán las bombas, los niveles de los tanques, etc.

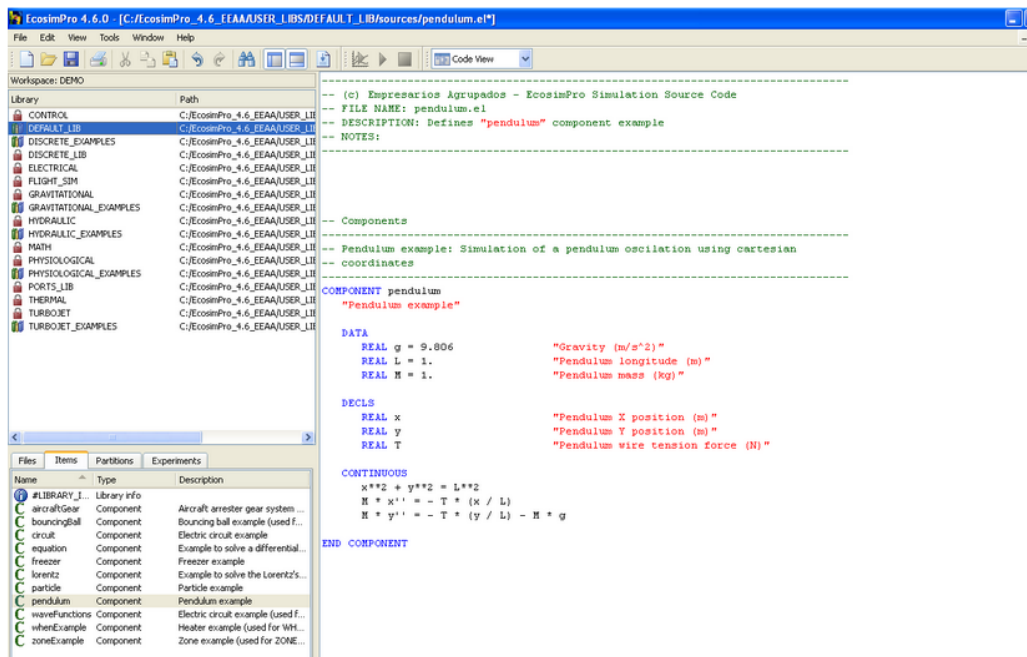


Ilustración 2.37: Ejemplo pantalla EcosimPro.

2.4.3 MATLAB, SIMULINK.

MATLAB (abreviatura de Matrix Laboratory, laboratorio de matrices) es una herramienta informática y matemática que ofrece un entorno de desarrollo integrado.

Destacan como prestaciones básicas: la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, el uso de algoritmos, el diseño de interfaces de usuario y la comunicación con otros dispositivos y lenguajes. Matlab crea archivos para manipulación con extensión .m, archivos para interfaz gráfica del usuario .gui, archivos gráficos .fig, además el usuario puede crear sus variables y funciones.

Pero nosotros para confeccionar nuestro SCADA solo hemos utilizado una extensión de Matlab, simulink.

Simulink es una extensión grafica de MATLAB para diseñar y simular sistemas dinámicos no lineales que aparecen representados mediante un conjunto de diagramas de bloque. Existe una gran variedad de estos bloques como funciones de transferencia, uniones sumadoras, etc.

Se integra con MATLAB, lo que permite incorporar algoritmos de MATLAB en los modelos y exportar los resultados de la simulación a MATLAB para llevar a cabo más análisis, en definitiva, se pueden intercambiar fácilmente datos entre ellos.

Para este proyecto hemos utilizado Matlab/Simulink y la toolbox de OPC de Matlab (ilustración 2.39) para la creación del PCA y tiene una configuración particular, para saber si la planta falla necesitamos captar datos en tiempo real por eso Matlab al ser un cliente OPC, y con la ayuda de un servidor de datos OPC (ilustración 2.38) creado en Ecosimpro para hacer de intercambiador de datos entre Matlab e Intouch, nos proporciona toda la herramienta necesaria para la implantación del PCA.

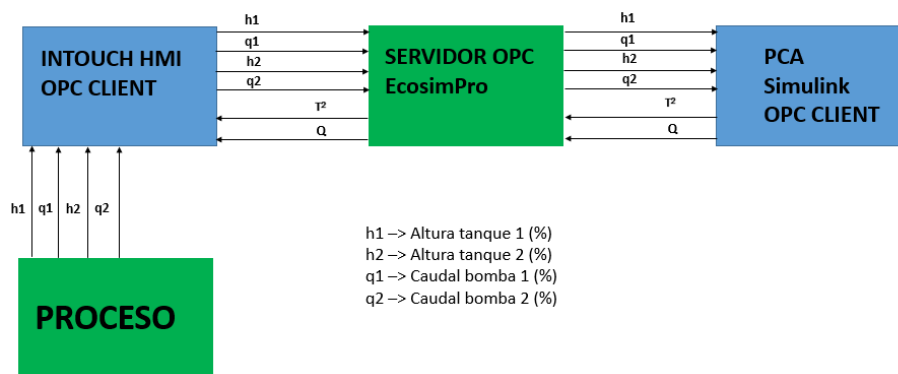


Ilustración 2.38: Integración sistemas servidor-cliente OPC.

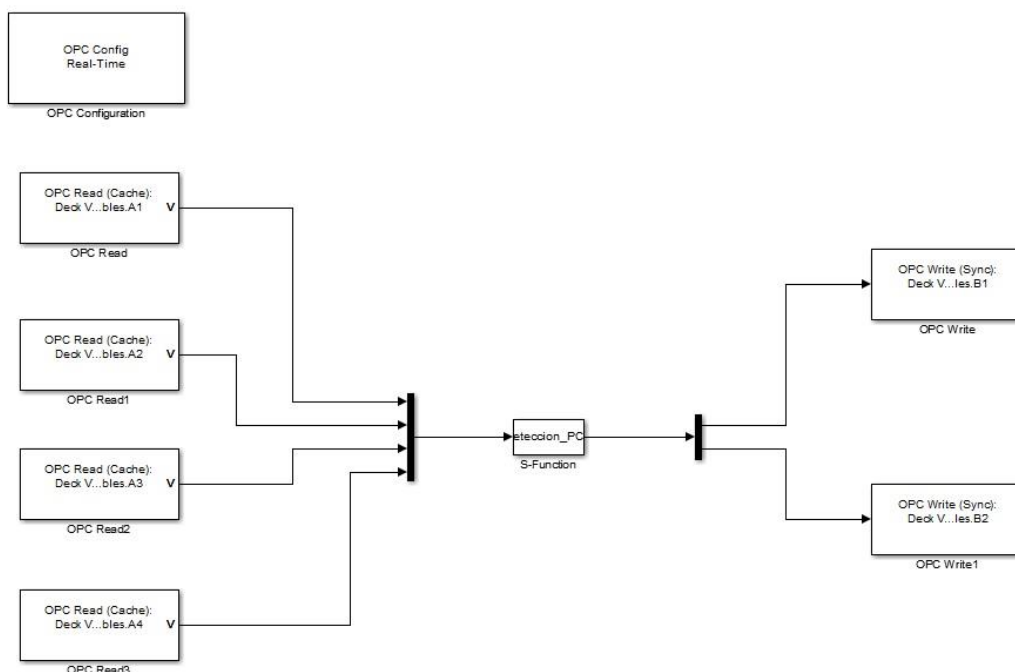


Ilustración 2.39: Simulink planta de laboratorio

CAPITULO 3: DESCRIPCION DE LA PLANTA.

3.1 INTRODUCCION

La planta sobre la que se desarrolla este trabajo consta de dos tanques, ambos con sensor de nivel, que se alimentan de un recipiente común por medio de dos bombas. Como se aprecia en la ilustración 3.1 los tanques están comunicados a través de dos conductos y ambos contienen dos desagües, uno en la base y otro en el extremo superior para evitar desbordamientos.

El objetivo del sistema es controlar el nivel de dos tanques (ilustración 3.1), para ello disponemos de un cubeto con agua que suministrará el agua a todo el sistema.

En este sistema tenemos dos variables de control, que son los niveles de los dos tanques, el nivel de líquido en los tanques se mide en un sensor de nivel que da un valor de corriente proporcional a la altura del líquido en el depósito.

La salida del transmisor de nivel se lleva al ordenador donde esta implementado un controlador que calcula la señal de control para mantener el nivel de los depósitos.

Las señales de control necesarias para mantener el nivel de líquido en los dos depósitos las reciben los amplificadores, que reciben la señal y la amplifican para mandársela a las dos bombas de tipo membrana del sistema. La velocidad de las bombas y por tanto la cantidad de líquido que se introduce en los depósitos dependerá de esta tensión de alimentación recibida de los amplificadores y por tanto del controlador.

Como se aprecia, este sistema es multivariable, ya que tenemos varias salidas o variables a controlar (nivel en los depósitos) y varias entradas o variables manipuladas (Bombas), por tanto necesitamos varios sensores y actuadores que describiremos a continuación.

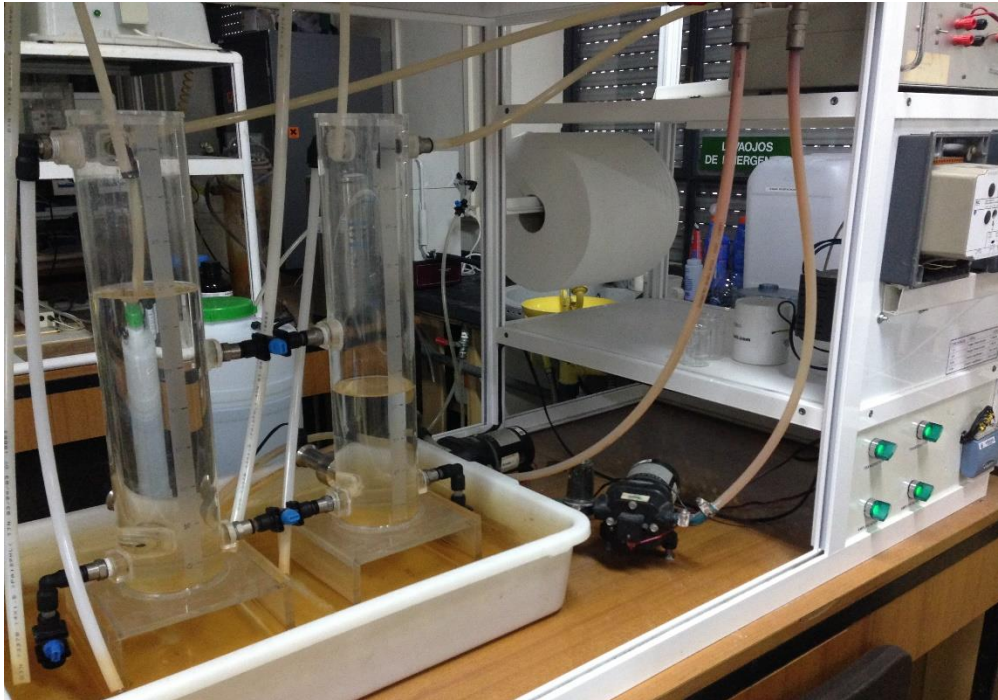


Ilustración 3.1: Planta de laboratorio.

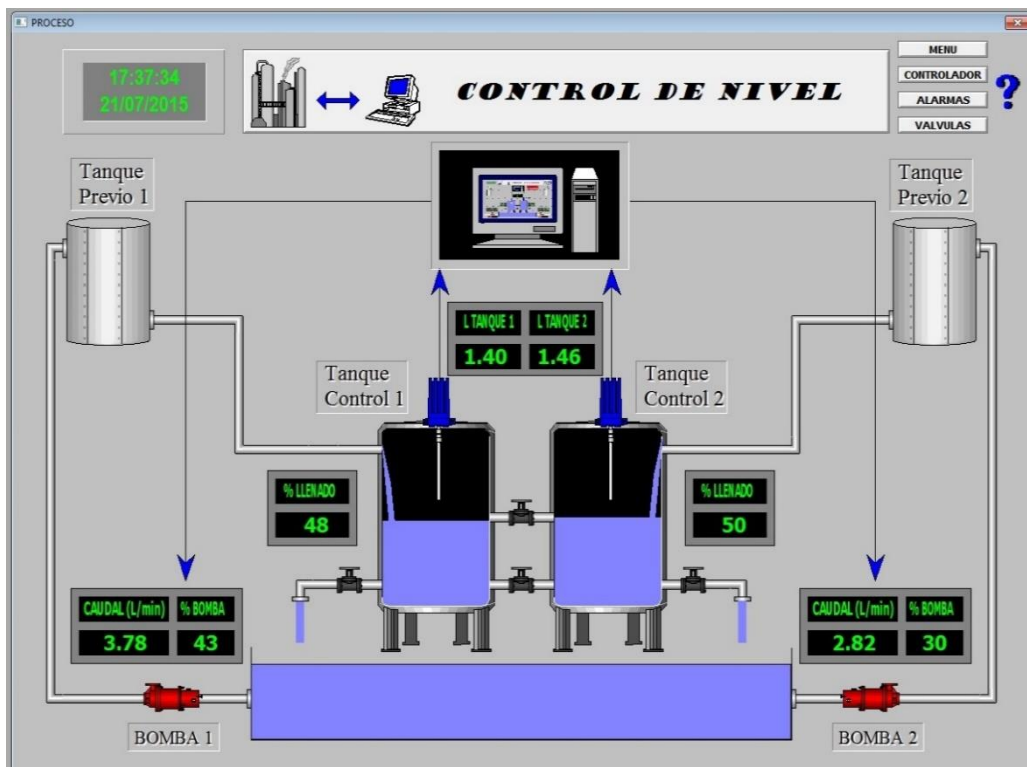


Ilustración 3.2: Esquema de la planta.

3.2 PRINCIPALES COMPONENTES DE LA PLANTA.

Como ya hemos dicho la planta consta de dos depósitos, dos bombas de tipo membrana y dos sensores, además de otros elementos como convertidores I/V, amplificadores, etc. También como vemos en la ilustración 3.2, la planta tiene dos depósitos intermedios a los depósitos principales que no tienen mayor funcionalidad que esa.

3.2.1 DEPOSITOS PRINCIPALES

Son dos cilindros de plástico transparente, interconectadas por dos tubos uno situado a 5 cm de la base y otro a 15 cm de esta, a la altura de 5 cm de la base están colocadas dos válvulas de desagüe manuales, a 49 cm de la base hay otro desagüe para evitar desbordamientos, es entre estos dos desagües donde se considera la altura de trabajo, que es de 44 cm, con un diámetro de 9.2 cm y el volumen es de 2,9 Litros para cada depósito.

3.2.2 SENSOR DE NIVEL

Los sensores de nivel que tenemos en la planta son de tipo indirecto, es decir obtienen la medida del nivel del depósito de manera indirecta al determinar la presión ejercida por una columna de líquido, equivalente al nivel del fluido del tanque.

Dentro de los medidores de presión los que utilizamos en este proyecto son medidores de presión diferencial, un medidor de presión diferencial consiste en un diafragma en contacto con el líquido del tanque, que permite medir la presión hidrostática en un punto del fondo del tanque. La diferencia de presión entre el nivel de referencia y la superficie libre del líquido, está relacionada con el nivel en el depósito mediante la densidad del fluido.

La precisión de estos instrumentos de presión diferencial es bastante buena en depósitos líquidos, no así en depósitos líquidos con sólidos en suspensión.

El sensor forma parte de un transmisor electrónico de presión diferencial que manda la señal al ordenador.

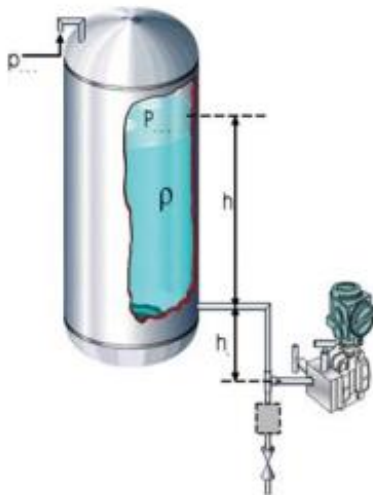


Ilustración 3.3: Ejemplo medidor de presión diferencial.



Ilustración 3.4: Sensor de nivel planta

TPR-18 para aplicaciones generales

Es un transmisor de presión relativa con sensor cerámico. Montado en caja inoxidable de pequeño formato con salida a 4-20 mA por conector normalizado.

- MEDICION DE PRESIÓN RELATIVA
- COMPATIBLE CON A-316 L
- SENSOR CERÁMICO DE ALUMINA
- RANGOS HASTA 600 bar
- PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES E INVERSIÓN DE POLARIDAD
- SALIDA 4-20 mA 2 HILOS (0/10 Vcc EN OPCIÓN)
- CAJA INOX. PROTECCIÓN IP-65
- CONECTOR SEGÚN DIN 43650
- VERSIÓN CON SEGURIDAD INTRÍNSECA EExi II T6 (ó T5)



Ilustración 3.5: Propiedades sensor TPR-18

Para su funcionamiento el sensor necesita una fuente externa entre 12 y 45 V de tensión continua. En este caso será de 24 V. La salida será en corriente con un rango de 4 a 20 mA.

Para tener un rango de tensiones aceptable por el ordenador hacemos pasar esta salida por una resistencia de 220 Ω , así se tiene un rango de salida de 0.8 a 5 V de tensión continua.

Para poder visualizar correctamente el valor del nivel de los depósitos en el sistema SCADA necesitamos convertir el valor de la señal que se recibe de la tarjeta de adquisición de datos que es en voltios a unidades de ingeniería ya que es la manera más adecuada para visualizar un proceso. En nuestro proyecto hemos medido el total del depósito y hemos hecho tramos de 10% del total, por tanto debemos linealizar para saber el % de altura del tanque que corresponde con cada señal en voltios que recibimos.

Para la calibración he tomado datos para todos los tramos tanto en llenado como en vaciado en repetidas ocasiones, ya que al ser una planta real la medición oscila y he realizado la media ajustando con un ajuste lineal con Excel. También hemos calculado los litros para cada tramo de tanque, sabiendo cuantos cm de depósito tiene cada tramo y midiendo el diámetro del depósito lo calculamos, como ambos depósitos son de igual tamaño los litros que alberga cada tramo de depósito son los mismos, en la tabla 3.1 observamos todas las calibraciones realizadas.

TANQUE 1			TANQUE 2		
% Tanque	Voltios Tanque	Litros Tanque	% Tanque	Voltios Tanque	Litros Tanque
0	0.7837	0.00	0	0.70	0.00
10	1.19	0.29	10	1.11	0.29
20	1.59	0.59	20	1.53	0.59
30	2	0.88	30	1.93	0.88
40	2.4	1.17	40	2.34	1.17
50	2.80	1.46	50	2.74	1.46
60	3.21	1.76	60	3.13	1.76
70	3.59	2.05	70	3.55	2.05
80	4.01	2.34	80	3.94	2.34
90	4.41	2.63	90	4.32	2.63
100	4.84	2.93	100	4.72	2.93

Tabla 3.1: Calibración sensores.

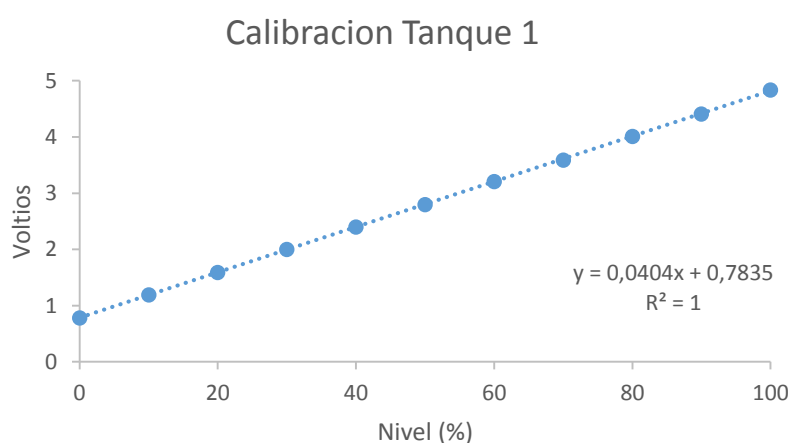


Ilustración 3.6: Linealización tanque1

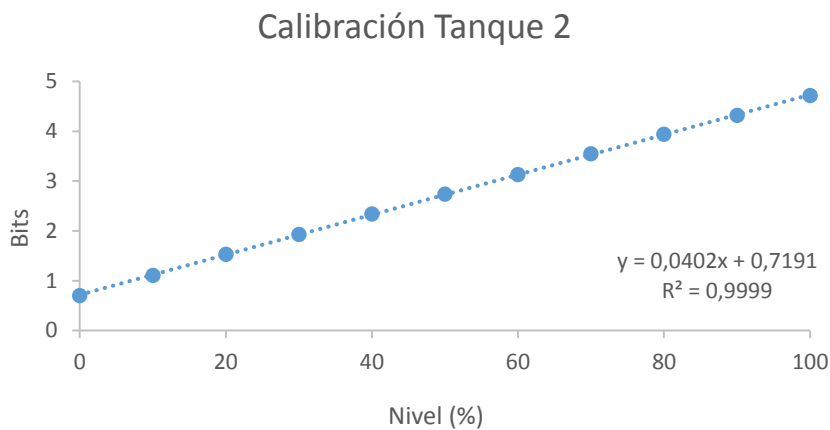


Ilustración 3.7: Linealización tanque 2

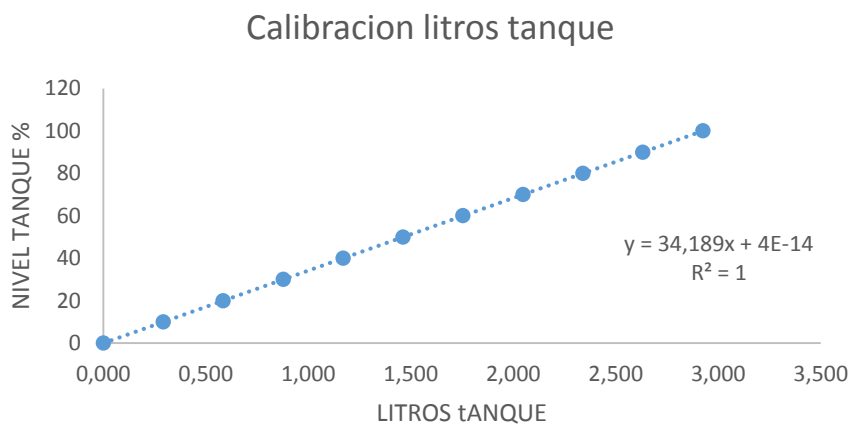


Ilustración 3.8: Calibración litros-Tanque

Estas linealizaciones se implantan en Intouch mediante Scripts para que los datos recibidos por la tarjeta de adquisición de datos se correspondan con la realidad y puedan ser mostrados al usuario para su fácil lectura.

3.2.3 AMPLIFICADOR

Hay también dos uno por cada depósito, permite amplificar tanto tensión como corriente. El rango de amplificación de tensión es para entradas entre 0 y 5 voltios obteniéndose salidas entre 0 y 24 voltios, como puede apreciarse la relación es lineal.

3.2.4 BOMBA

Hay una bomba para cada depósito, son de la marca Flojet modelo 4400 quad diaphragm son bombas de tipo membrana, su característica principal es que pueden dar un flujo continuo de agua por su diseño especial de bombeo consistente en la disposición de cuatro diafragmas que permiten un bombeo continuo y sin alteración de caudal. Está dotada de un filtro de impurezas a la entrada y esa preparada para trabajar a la señal continua que le llega desde el amplificador.

En cuanto a su funcionamiento, la bomba funciona con corriente continua a una tensión nominal de 24 V y 3.5 A con un caudal de 2 a 25 l/min, a una altura de 0 a 8 m. Sin embargo se alimenta a una tensión continua menor que la nominal, puesto que de lo contrario el caudal extraído sería tan elevado que nos imposibilitaría realizar cualquier tipo de control en los depósitos. Por tanto tenemos una fuente de alimentación variable de hasta 24 V, gracias al amplificador que se explicara posteriormente, y así poder elegir la tensión de la bomba más conveniente, en este proyecto hemos elegido una tensión para la cual nos permite obtener un caudal máximo de 10 l/min.



Ilustración 3.9: Bomba Flojet Planta

Para la calibración de la bomba se ha actuado de la siguiente manera, como la relación entre la tensión que envía el ordenador a la bomba y el porcentaje de funcionamiento de la bomba es lineal, se pone la bomba en cada tramo de funcionamiento, se marca un tiempo y se observa cuanto se llena el depósito, con la altura del depósito (% nivel) que alcanza a un determinado nivel de funcionamiento de la bomba, sabemos cuántos litros han entrado en el depósito, calculándolo gracias a la ilustración 3.8, por tanto ya tenemos el caudal, mostramos los resultados en la tabla 3.2.

BOMBA 1				BOMBA 2			
Bomba (%)	% Nivel	Tiempo (min)	Caudal (L/min)	Bomba (%)	% Nivel	Tiempo (min)	Caudal (L/min)
10	5.48	1.00	0.16	10	13.53	1	0,00
20	22.9	0.50	1.33	20	54.92	1	0,46
30	43.45	0.50	2.54	30	92.66	1	1,68
40	60.81	0.50	3.56	40	63.65	0.50	2,79
50	39.86	0.25	4.66	50	82.81	0.50	3,87
60	48.60	0.25	5.69	60	67.35	0.33	5,00
70	36.86	0.17	6.47	70	59.68	0.25	6,14
80	42.19	0.17	7.40	80	43.77	0.17	7,28
90	48.68	0.17	8.54	90	49.57	0.17	8,10
100	52.68	0.17	9.25	100	55.08	0.17	9,13

Tabla 3.2: Calibración bombas

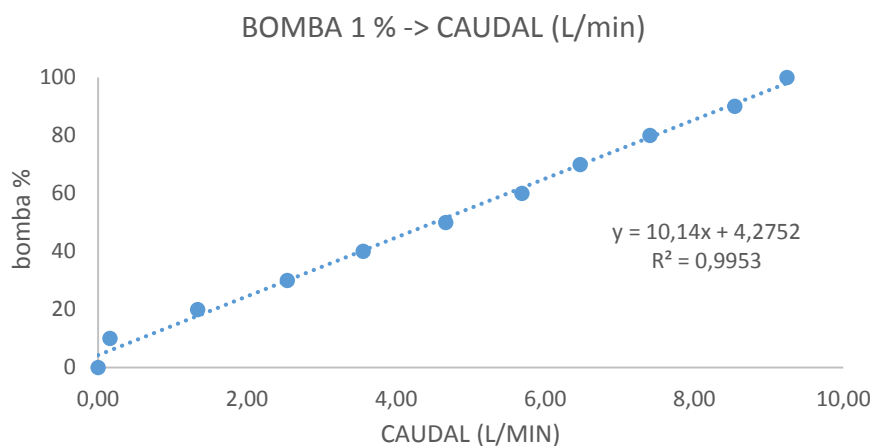


Ilustración 3.10: Calibración caudal bomba 1

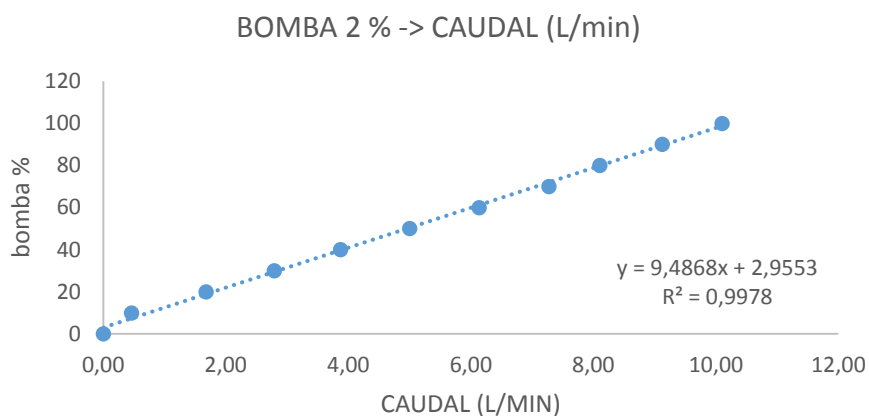


Ilustración 3.11: Calibración caudal bomba 2

3.2.5 TARJETA DE ADQUISICION DE DATOS

Para el intercambio de datos entre la planta y el ordenador tenemos una tarjeta de adquisición de datos conectada al PC mediante un puerto USB, el modelo de la tarjeta de adquisición de datos es USB-1048FS-PLUS de la marca Measurement Computing como la que vemos en las ilustraciones 3.12.



Ilustración 3.12: Tarjeta de adquisición de datos planta.

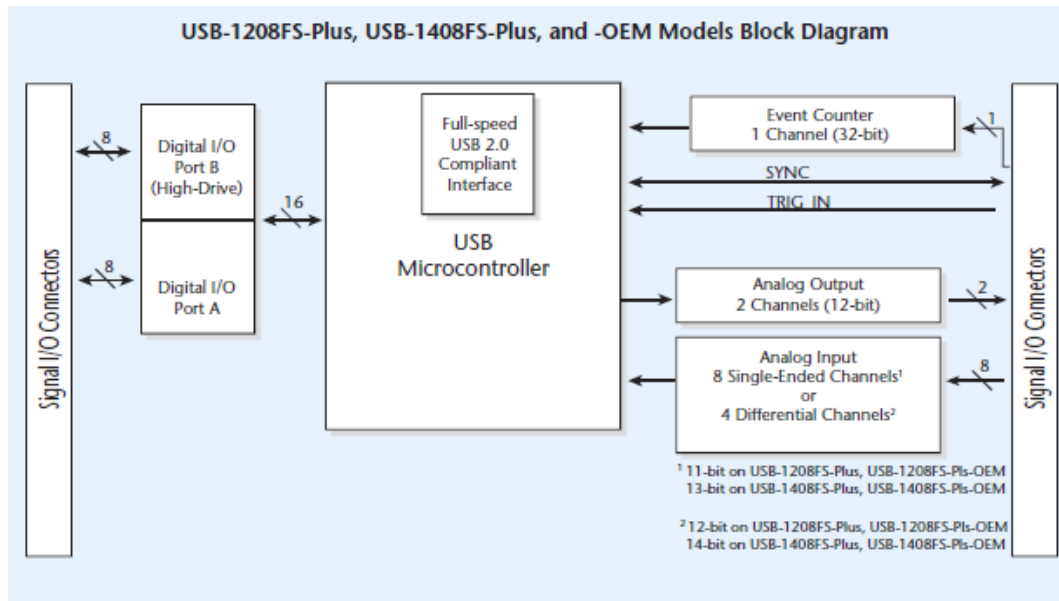


Ilustración 3.13: Configuración TAD.

Las características principales de nuestra TAD son:

- Bajo coste, dispositivo multifunción con 8 entradas analógicas ya sean 8 simples o 4 diferenciales.
- Proporciona una resolución de entrada analógica de 12 o 14 Bits.
- Velocidad máxima de muestreo de 1.2 kS/s a 50 kS/s.
- 2 salidas analógicas.
- 16 entradas/salidas digitales.

3.3 MODELO MATEMATICO DE LA PLANTA

Para la elaboración del modelo en ecosimpro que nos servirá de servidor OPC para la posterior comunicación entre el sistema SCADA y dicho servidor, necesitamos las ecuaciones matemáticas que nos permiten simular el proceso.

En la ilustración 3.14, observamos los caudales a los cuales tenemos que dar forma con las ecuaciones del modelo.

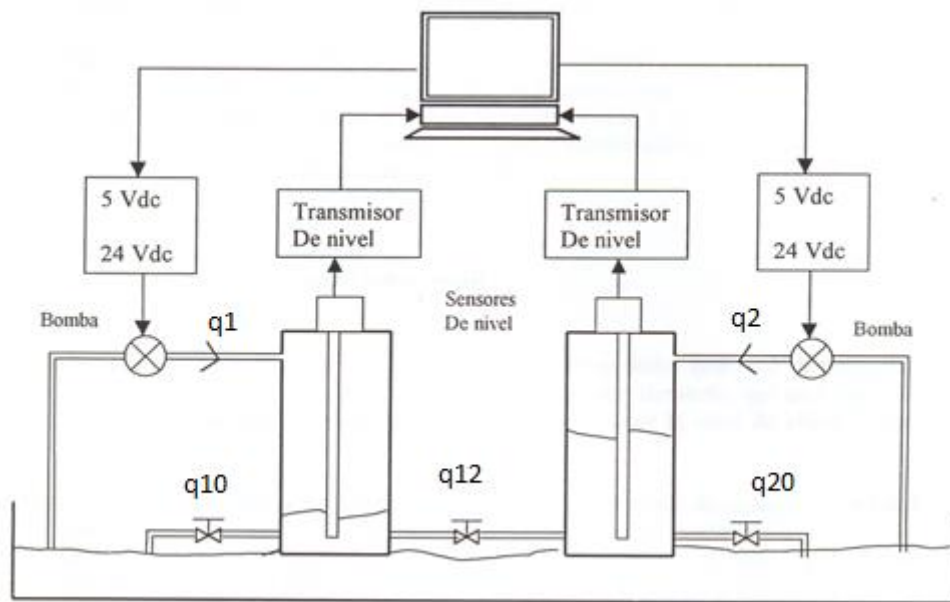


Ilustración 3.14: Esquema planta, caudales.

El modelo matemático general de la planta tiene un comportamiento regido por las siguientes ecuaciones:

$$A \frac{dh1}{dt} = q_1 - q_{12} - q_{10}$$

Ecuación 3.1: Cálculo nivel tanque 1.

$$A \frac{dh2}{dt} = q_2 + q_{12} - q_{20}$$

Ecuación 3.2: Cálculo Nivel tanque 2.

Estas ecuaciones representan las relaciones de entrada y salida de caudales en cada uno de los dos tanques. Para el tanque 1 como observamos en la ilustración 3.14 entra el caudal q1 y sale por el desagüe un caudal q10, y también sale o entra un caudal dependiendo de las alturas tanto del depósito 1 y 2 un caudal q12. Para el tanque 2 tenemos el mismo esquema, entra un caudal q2 procedente de la bomba 2, sale un caudal q20 hacia el desagüe común y sale o entra como ya hemos dicho un caudal q12.

Debido a que el modelo es no lineal, la representación más apropiada para los caudales viene dada por la aplicación del teorema generalizado de

Toricelli que conduce a las siguientes expresiones que completan las ecuaciones que definen cada uno de los tanques.

$$q_{12} = az_1s_3 \text{sign}(h_1 - h_2) \sqrt{2g|h_1 - h_2|}$$

Ecuación 3.3: Cálculo caudal q_{12} , entre los dos tanques

La función “sign” representa el sentido de flujo del caudal, que de acuerdo a si la diferencia entre las alturas de los tanques es positivo tendrá un valor igual a uno, si la diferencia es cero, tendrá un valor igual a cero, y si es negativa tendrá un valor igual a menos uno, cambiando el sentido del caudal.

$$q_{10} = az_1s_3 \sqrt{2gh_1}$$

Ecuación 3.4: Cálculo caudal q_{10} , Tanque 1 a desagüe.

$$q_{20} = az_2s_3 \sqrt{2gh_2}$$

Ecuación 3.5: Cálculo caudal q_{20} , Tanque 2 a desagüe.

Para los caudales q_1 y q_2 vienen dados por la bomba y en nuestro caso como el sistema SCADA es el que nos proporciona esta información ya sea porque está la planta en automático o si está en manual la meterá el usuario directamente al SCADA y esta se la pasara EcosimPro como servidor/cliente OPC. El modelo generado en EcosimPro está representado en la ilustración 3.15.

Cada una de estas variables que nos encontramos en las ecuaciones corresponden a:

- h_1 y h_2 , corresponden a la altura de trabajo de cada tanque, está en un margen de 0 a 44 cm.
- q , todos los caudales que participan en el sistema.
- $A = 73.898 \text{ cm}^2$, corresponde al Área del tanque.

- $s3 = 1.767 \text{ cm}^2$, corresponde a la superficie del orificio de salida de las tuberías.
- $az = 0.1$, este es un parámetro de ajuste del modelo a la planta real, tras prueba y error le hemos ajustado a este valor.
- $g = 980 \text{ cm/s}^2$, aceleración de la gravedad.

```

1  USE MATH
2
3  COMPONENT Tanques
4
5  DATA
6
7  REAL A = 73.898    UNITS u_cm2
8  REAL s3 = 1.767   UNITS u_cm2
9  REAL az = 0.1     UNITS no_units
10 REAL g = 980      UNITS u_cm_s2
11
12 DECLS
13
14 REAL h1           UNITS u_cm
15 REAL h2           UNITS u_cm
16 REAL q1           UNITS u_cm3_s
17 REAL q2           UNITS u_cm3_s
18 REAL q10          UNITS u_cm3_s
19 REAL q20          UNITS u_cm3_s
20 REAL q12          UNITS u_cm3_s
21 REAL Nivel1
22 REAL Nivel2
23
24 CONTINUOUS
25
26 h1' = ((q1 - q12 - q10) / A)
27 h2' = ((q2 + q12 - q20) / A)
28 q10 = az * s3 * sqrt(2 * g * h1)
29 q20 = az * s3 * sqrt(2 * g * h2)
30 q12 = az * s3 * sign(h1 - h2) * sqrt(2 * g * abs(h1 - h2))
31 Nivel1 = h1 * 2.7548
32 Nivel2 = h2 * 2.7548
33
34 END COMPONENT

```

Ilustración 3.15: Modelo planta Ecosimpro.

Para comprobar el buen funcionamiento del modelo, se ha realizado una prueba con las mismas condiciones y se ha obtenido los resultados que observamos en las ilustraciones 3.16 y 3.17.

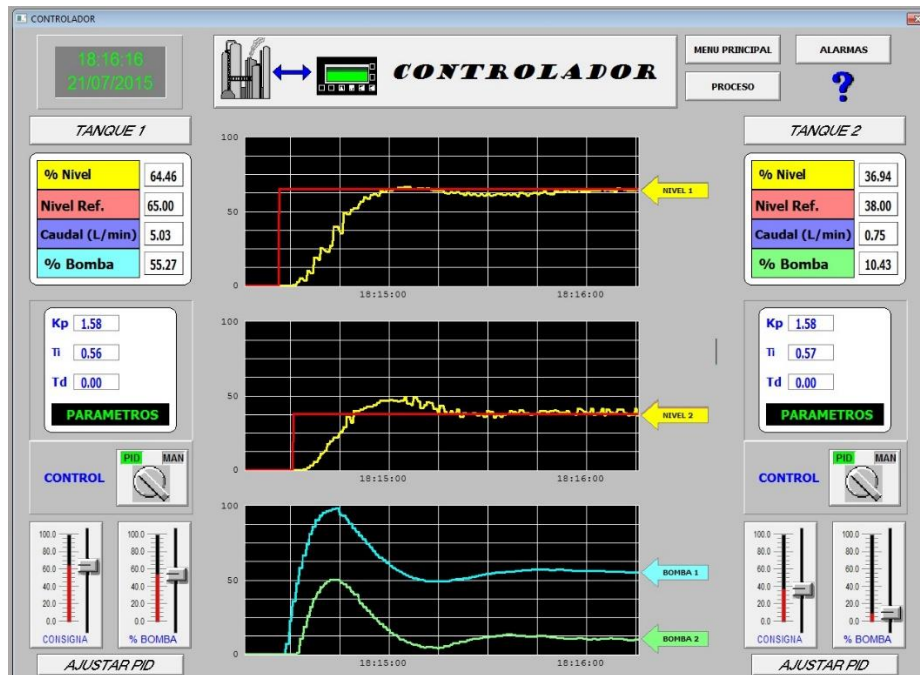


Ilustración 3.16: Comportamiento planta en real.

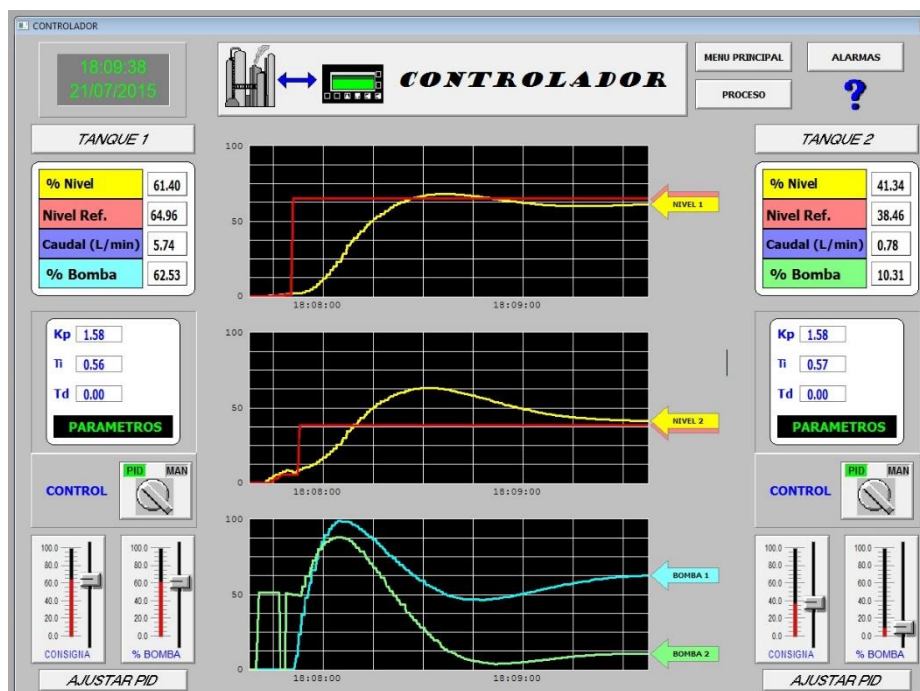


Ilustración 3.17: Comportamiento planta en simulación

Como observamos en las ilustraciones anteriores, el comportamiento es casi idéntico, de hecho el tanque 1 se comporta casi igual y aunque el tanque 2, en simulación al alcanzar la consigna sufre más amortiguación (también

puede ser debido a oscilaciones en el PID, sensores en planta real, etc.) la simulación es realmente buena.

3.4 SINTONIA DE PI's

Otro parámetro inherente de la planta es la sintonía de los PI's, es decir obtener los parámetros adecuados para que la planta pueda funcionar en automático a la perfección.

El PI como ya hemos comentado anteriormente está programado en EcosimPro y se ha realizado un servidor OPC con este programa para poder comunicar el PID con la planta a través de OPC.

Hemos utilizado PI's, ya que el termino derivativo nos creaba oscilaciones en la planta y no funcionaba correctamente, así que se tomó la determinación de hacer el control con Pi's.

Para el cálculo de los parámetros, K_p , termino proporcional, T_i , termino integral, se ha utilizado las tablas de Rovira y posteriormente se han ajustado los parámetros con prueba y error, para lograr dos tipos de sintonía, una en la que la respuesta sea más lenta pero sin apenas oscilaciones para preservar la bomba ya que si tenemos un proceso con muchas oscilaciones a la larga los actuadores darán problemas, esta sintonía la denominamos "Estabilidad de la bomba" y tenemos otra sintonía denominada "Velocidad de reacción" en la que prima la velocidad con la que se llega a la consigna por encima de la estabilidad en las bombas. Se ha elegido la tabla de Rovira para la sintonía porque es una de las mejores para cambios en la consigna que es lo que principalmente tendremos en nuestra planta, también tendremos alguna perturbación pero serán menores, lo más importante es que el PI responda con fiabilidad a cambios en la consigna de las variables controladas.

Las ecuaciones utilizadas son las siguientes, siendo $K(\%) = \Delta y / \Delta u$:

$$K_p K = a \left(\frac{d}{\tau} \right)^b$$

Ecuación 3.6: Cálculo K_p .

$$\frac{\tau}{T_i} = a \left(\frac{d}{\tau} \right) + b$$

Ecuación 3.7: Cálculo T_i

CRITERIO	PROPORCIONAL	INTEGRAL
MIAE	a = 0.758 b = -0.861	a = -0.323 b = 1.020

Tabla 3.3: Parámetros Tabla de Rovira.

Los demás parámetros que aparecen en las ecuaciones se obtienen del proceso, para ello tenemos que dar un salto en la variable manipulada para sacar estos parámetros, en la ilustración 3.18 y 3.19, observamos cómo se calculan para el tanque 1 y 2, respectivamente.

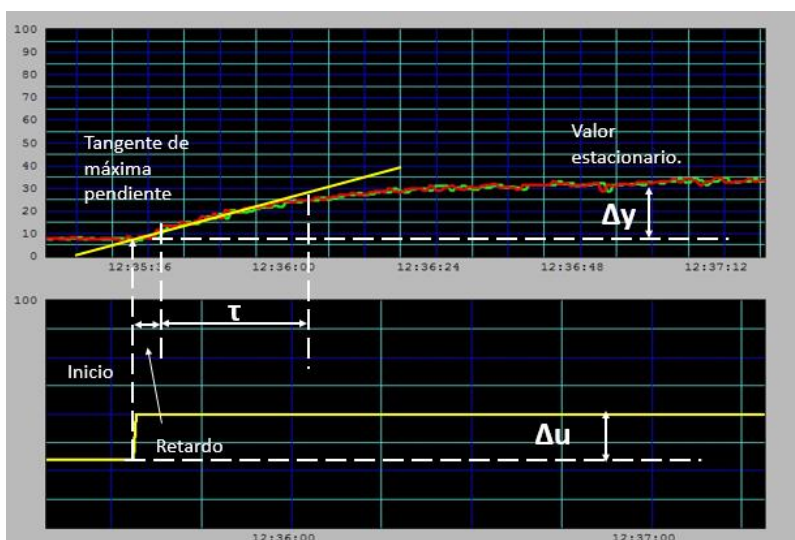


Ilustración 3.18: Sintonía PI tanque 1.

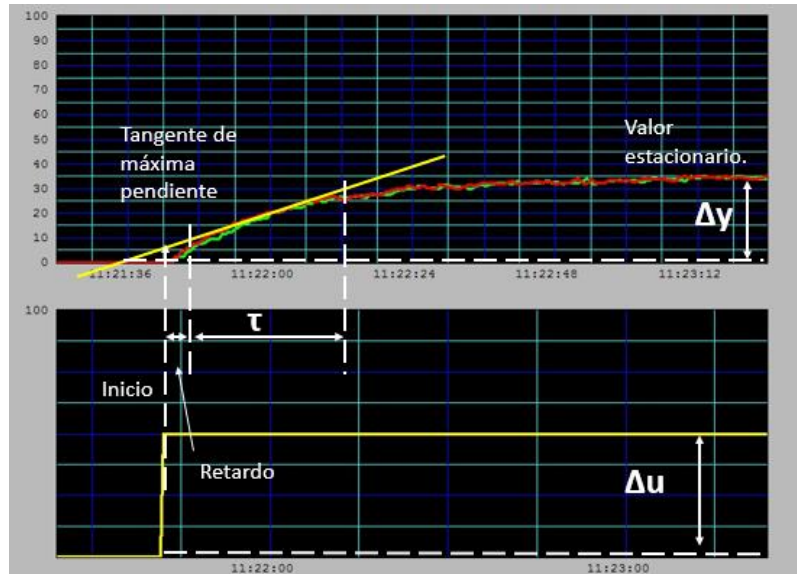


Ilustración 3.19: Sintonía PI tanque 2.

Resultados obtenidos:

Tanque 1.

- $K = 1.2 \%$
- $\text{Tau} = 0.325 \text{ min}$
- $d \text{ (retardo)} = 0.025 \text{ min}$
- $K_p = 5.75$
- $T_i = 0.33$

Tanque 2.

- $K = 0.7 \%$
- $\text{Tau} = 0.275 \text{ min}$
- $d \text{ (retardo)} = 0.058$
- $K_p = 4.12$
- $T_i = 0.29$

Estos resultados han sido obtenidos individualmente aislando cada depósito cerrando las válvulas manuales del sistema, y nos sirven de orientación ya que al abrir las válvulas el PI se distorsionará un poco, así que lo mejor para ajustarlo con válvulas abiertas y con los dos tanques funcionando es ajustando estos parámetros con prueba y error. Así hemos obtenido las dos sintonías mencionadas anteriormente para los dos tanques.

- Sintonía “velocidad de reacción”: $K_p = 5.75$ $T_i = 0.33$
- Sintonía “ Estabilidad de la bomba”: $K_p = 1.58$ $T_i = 0.58$

CAPITULO 4: FUNCIONAMIENTO DE LA APLICACION.

En este capítulo se describe el funcionamiento de la interfaz gráfica de la aplicación realizada, cada una de las pantallas que incluye con todas sus opciones y algún punto destacable de la programación que contiene.

4.1 MENU PRINCIPAL

Esta es la pantalla (ilustración 4.1) que aparece nada más iniciar la aplicación WindowsViewer. Desde este menú principal podremos desplazarnos a cada una de las ventanas de la aplicación, desde las alarmas, históricos, pantalla del proceso, etc. En los siguientes puntos describiré cada uno de las partes en las que podemos dividir este menú principal.

4.1.1 IDENTIFICACION DE USUARIOS

Nada más iniciar la aplicación tenemos que identificarnos en la aplicación, si no, no podremos acceder a las distintas funcionalidades que nos ofrece el sistema SCADA, al entrar en la aplicación nos encontramos con la siguiente pantalla (ilustración 4.1).

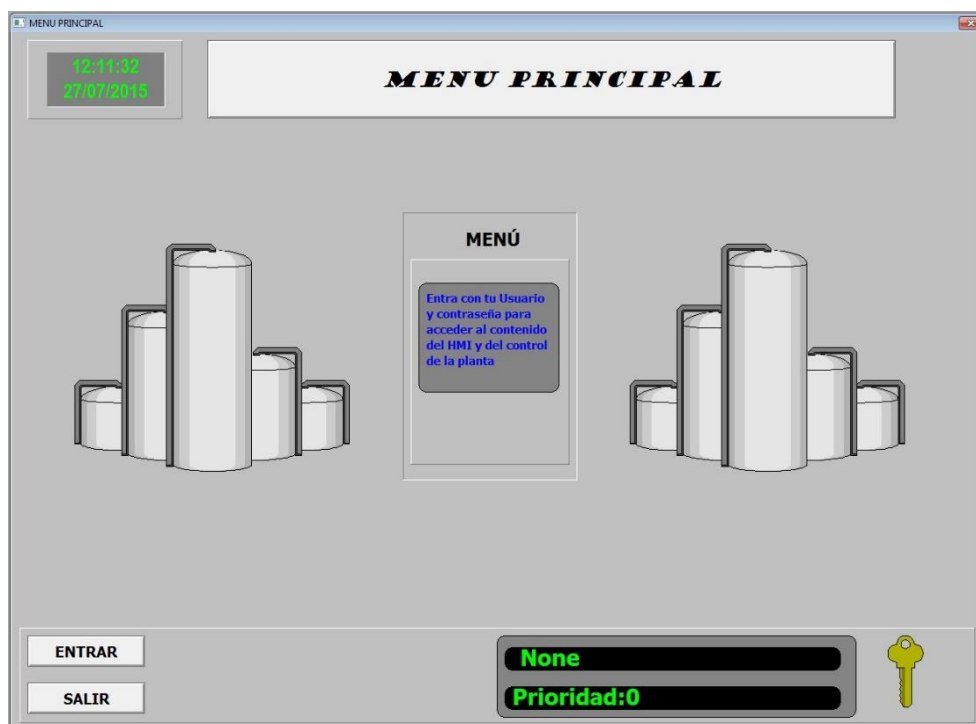


Ilustración 4.1: Menú principal sin usuario.

Al pulsar en el botón entrar que observamos en la ilustración 4.1, nos aparece en pantalla una ventana donde nos pedirá el usuario y contraseña (ilustración 4.2)

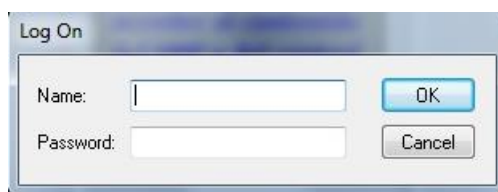


Ilustración 4.2: Ventana de identificación.

Si el usuario escribe correctamente estos dos campos, aparecerá en el menú principal todas las opciones que nos ofrece esta ventana (ilustración 4.3).

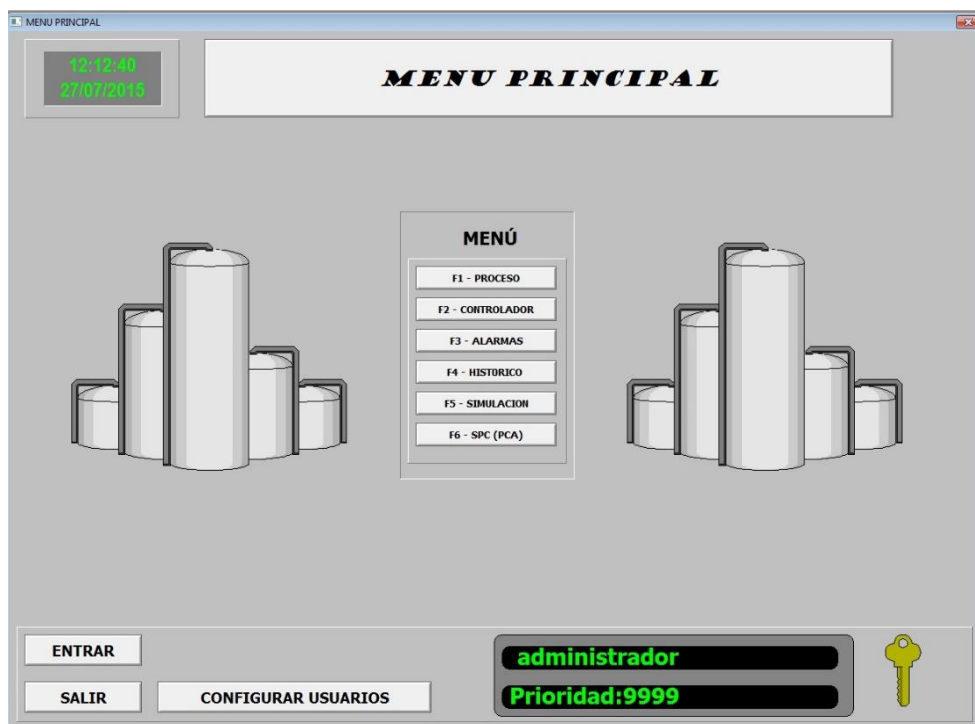


Ilustración 4.3: Menú principal.

Ahora observamos en la parte inferior derecha del menú principal un recuadro que nos indica el nombre de usuario y el nivel de prioridad de este, la prioridad puede variar entre 0 a 9999 en función de los privilegios que tenga el usuario a la hora de ejecutar ciertas acciones, como sintonizar el PI, cambiar la consigna, etc. En nuestro caso el usuario es el administrador y se

le otorga la prioridad máxima, y se le permite manipular la lista de usuarios y contraseñas y la prioridad que les corresponde, por eso en este caso en la ilustración 4.3, vemos un botón que dice “CONFIGURAR USUARIOS”, al pulsarle nos aparece la siguiente ventana (ilustración 4.4) donde podremos administrar a todos los usuarios que tendrán acceso al sistema SCADA.

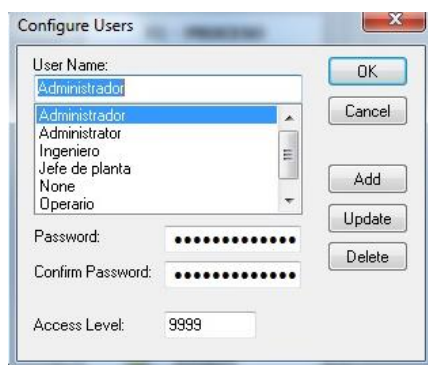


Ilustración 4.4: Configuración de usuarios.

Con este sistema de usuarios que incluye la aplicación se consigue que en una situación real, aquellos operarios que no estén cualificados para acceder a partes importantes del control de la planta se vean sin acceso a ellas.

4.1.2 COMPROBACION ESTADO VALVULAS MANUEALES

Una vez que el usuario se ha identificado en la aplicación el sistema SCADA nos redireccionara directamente a una ventana en el que se pide una comprobación de las válvulas manuales (ilustración 4.5), ya que estas no se pueden controlar mediante la aplicación.

Esta ventana es importante ya que la planta está diseñada para una posición determinada, y si no está en esta posición el SCADA puede fallar. Cada vez que se entre a la aplicación comprobaremos las válvulas y su posición, y daremos al botón siguiente (ilustración 4.5) que nos devolverá al menú principal.

Con esta ventana se consigue que en una situación real como por ejemplo en un cambio de turno de operario se revisen los puntos principales de la zona de la planta controlada por el operario, cerciorándose que todo está correcto y que la planta funciona correctamente.

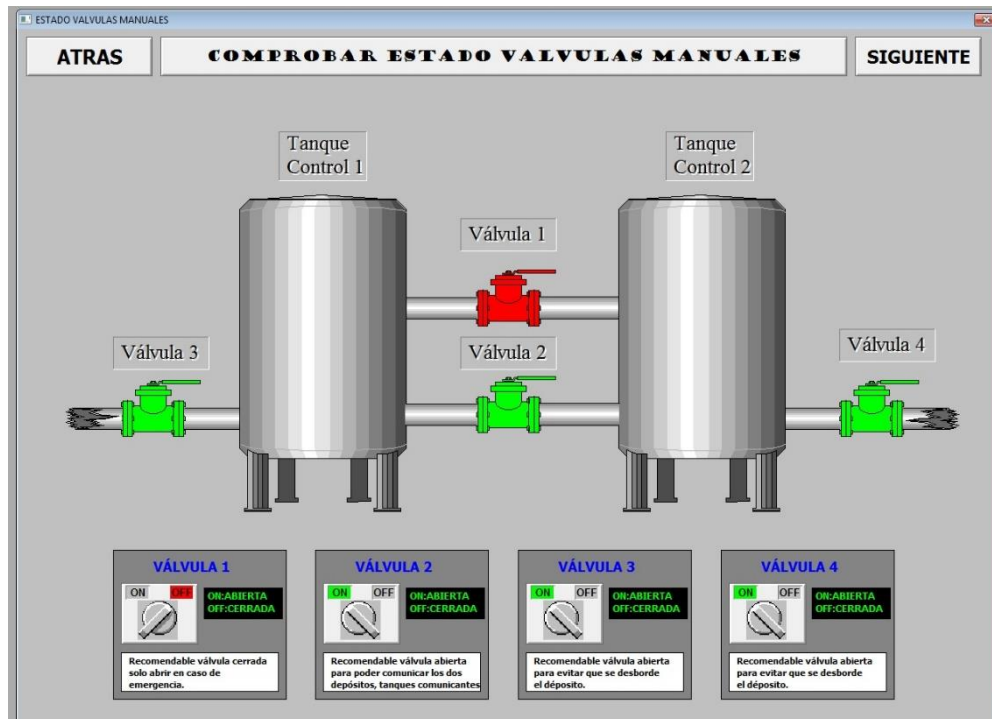


Ilustración 4.5: Comprobación estado válvulas manuales.

4.1.3 MENU DESPLEGABLE

Una vez que la aplicación nos devuelve al Menú principal, observamos (ilustración 4.3) un menú desplegable en el centro de la pantalla, desde este menú se podrá acceder a las demás pantallas de la aplicación, bien pulsando con el ratón en los distintos botones (ilustración 4.6) o bien utilizando las teclas de rápido acceso que se indican en él.

- **F1:** pantalla de proceso.
- **F2:** pantalla de controlador.
- **F3:** pantalla de alarmas.
- **F4:** pantalla de histórico.
- **F5:** pantalla de simulación.
- **F6:** pantalla de control estadístico de proceso (SPC)

Todas estas teclas están activas en todas las pantallas, por lo que con ellas se puede cambiar de forma rápida y directa entre una pantalla y otra.



Ilustración 4.6: Menú desplegable

A continuación se da una breve descripción de cada una de estas ventanas.

- **Proceso**, esta ventana contiene una representación de la planta de forma esquemática (tanques, bombas, válvulas, sensores, etc.) e incluye visualizadores que indican las medidas tomadas de la planta.
- **Controlador**, esta ventana incluye gráficas en tiempo real y todo lo relativo al controlador PI de la planta.
- **Alarmas**, desde aquí se observa de una manera fácil e intuitiva todas las alarmas activas en ese instante de tiempo y también todas las alarmas que se han producido anteriormente (histórico de alarmas).
- **Histórico**, un histórico es una gráfica en la que se representan las variables leídas de la planta y su evolución a lo largo de periodos de tiempo que pueden ser largos, esta ventana incluye principalmente esta clase de gráficas y además nos dará acceso a la ventana de ficheros, donde podremos guardar datos de las variables que seleccionamos en un determinado periodo de tiempo.
- **Simulación**, desde aquí podemos activar o desactivar la opción de simular la planta para aquellos casos en los que no esté disponible algún elemento de la planta real en el ordenador en el que este instalada la aplicación. La simulación funciona igual que si estuviéramos trabajando con la planta real.
- **SPC (PCA)**, esta ventana consta de varias gráficas en tiempo real que nos permite saber si la planta está operando correctamente o si por el contrario está operando con fallos. Para determinar la calidad del proceso.

4.2 PROCESO

Para acceder a esta pantalla ha de pulsarse el botón correspondiente en el menú principal o bien la tecla F1 desde cualquier otra pantalla.

La ventana del proceso (ilustración 4.7) es una representación esquemática de la planta de laboratorio sobre la que se está trabajando, como ya se ha dicho el objetivo es el control de nivel de la planta. Desde esta ventana se puede observar el nivel de ambos tanques de una manera intuitiva ya que según se van llenando los tanques la representación de estos en el SCADA también se llenan, avisándonos también si los tanques están vacíos (ilustración 4.8). Además tenemos visualizadores (ilustraciones 4.9, 4.10 y 4.11) para las variables principales de la planta como lo son el nivel y el porcentaje de funcionamiento de la bomba, y para variables dependientes de estas últimas dos como los litros en el tanque o el caudal.

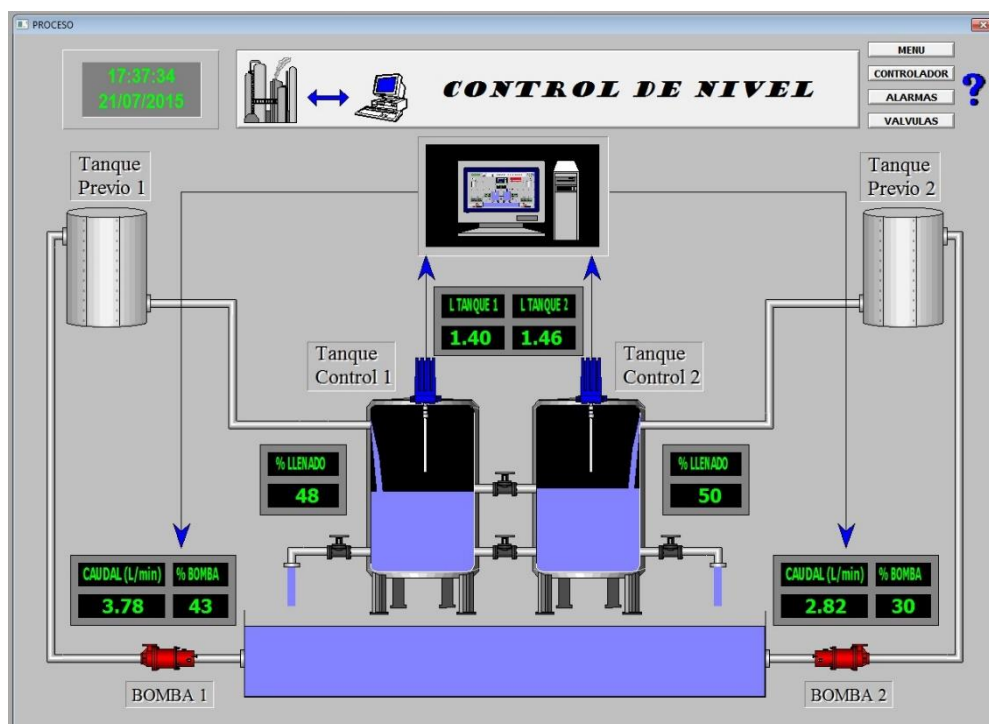


Ilustración 4.7: Ventana del proceso.



Ilustración 4.8: Tanque vacío.



Ilustración 4.9: Visualizador caudal y nivel funcionamiento bomba.

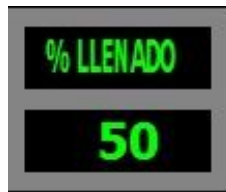


Ilustración 4.10: Visualizador % llenado.

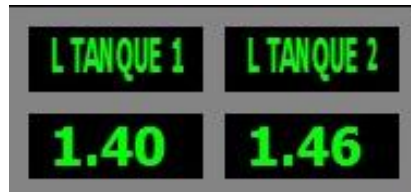


Ilustración 4.11: Visualizador litros tanque.

4.2.1 VENTANAS EMERGENTES

Otra de las funcionalidades que nos ofrece esta ventana es darnos información detallada de alguno de los elementos de la planta ya sea uno de los tanques o una de las bombas. Para ver esta información tenemos que clicar en uno de estos elementos por ejemplo si pinchamos sobre la bomba 1 nos aparece la siguiente ventana emergente (ilustración 4.12).



Ilustración 4.12: Información bomba 1.

En esta ventana se observa que la bomba está en parada, lo indica el piloto rojo que está en OFF, y además se observa que el caudal es 0 y el porcentaje de funcionamiento de la bomba también es 0%.

Si pinchamos en el tanque 1 nos aparece la siguiente ventana de información (ilustración 4.13)

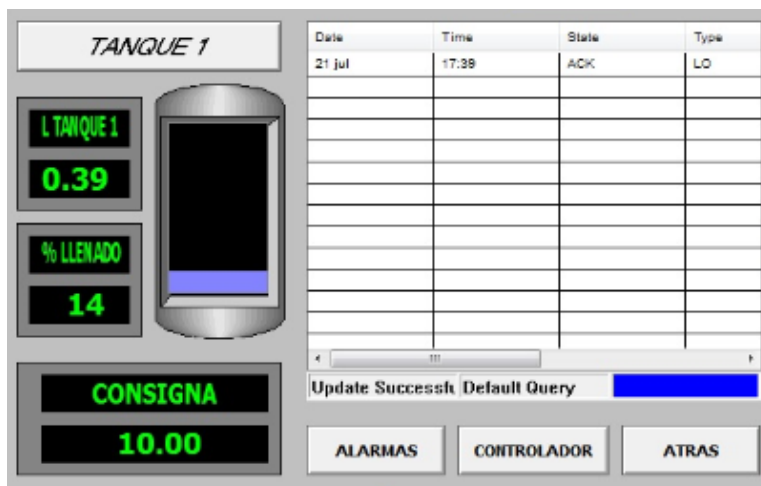


Ilustración 4.13: información tanque 1.

Desde esta ventana se puede cambiar la consigna (siempre y cuando el usuario tenga la prioridad adecuada), se visualizan los litros que contiene el tanque, el nivel en porcentaje, también tiene un listado de alarmas que indica las alarmas que están activas en el momento actual, todas que estén activas en relación con ese tanque, en la ilustración 4.13 por ejemplo se aprecia como hay una alarma de nivel bajo para ese tanque. También hay unos botones que permite el acceso directo a otras ventanas, en este caso a la ventana de alarmas, a la del controlador o a la ventana anterior.

4.3 CONTROLADOR

Para acceder a esta pantalla (ilustración 4.14) ha de pulsarse el botón correspondiente en el menú principal o en alguna de las ventanas de la aplicación o bien la tecla F2.

La ventana del controlador puede dividirse en dos partes principales, las gráficas en tiempo real y la parte del controlador. Tendremos dos paneles de control ya que como hay dos tanques, necesitamos un PI para cada tanque.

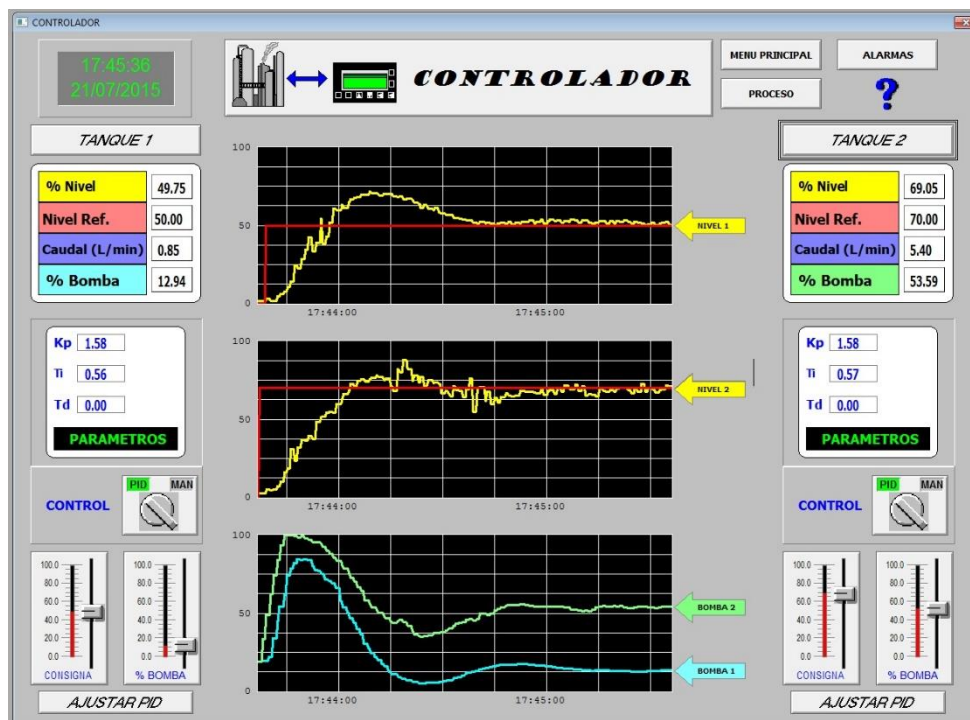


Ilustración 4.14: Ventana del controlador.

4.3.1 GRAFICAS EN TIEMPO REAL

En el centro de la pantalla del controlador se encuentran las gráficas en tiempo real (ilustración 4.15), que representan en cada instante las variables con los datos leídos de la tarjeta de adquisición.

En la primera grafica se representa el nivel real del tanque 1 (amarillo) y el nivel de referencia de este fijado por el usuario (rojo). Esta grafica nos permite ver claramente la evolución del nivel del tanque 1 respecto al nivel de referencia de tal manera que podemos evaluar el correcto funcionamiento del sistema de control.

La segunda grafica es similar a la primera, pero en este caso se representan el nivel del tanque 2 en tanto por ciento (amarillo) y el nivel de referencia para este tanque (rojo).

Por ultimo en la tercera grafica se representan la evolución de la bomba 1 (Azul) y de la bomba 2 (verde).

Todas las gráficas son en tiempo real, lo cual significa que representan la situación de la planta en cada instante. Puede fijarse el rango de representación de la gráfica desde 1 segundo hasta 4 minutos. En la aplicación, el rango de representación es de 2 minutos. Cada gráfica contiene unas flechas que nos indican a que variable corresponde cada curva.

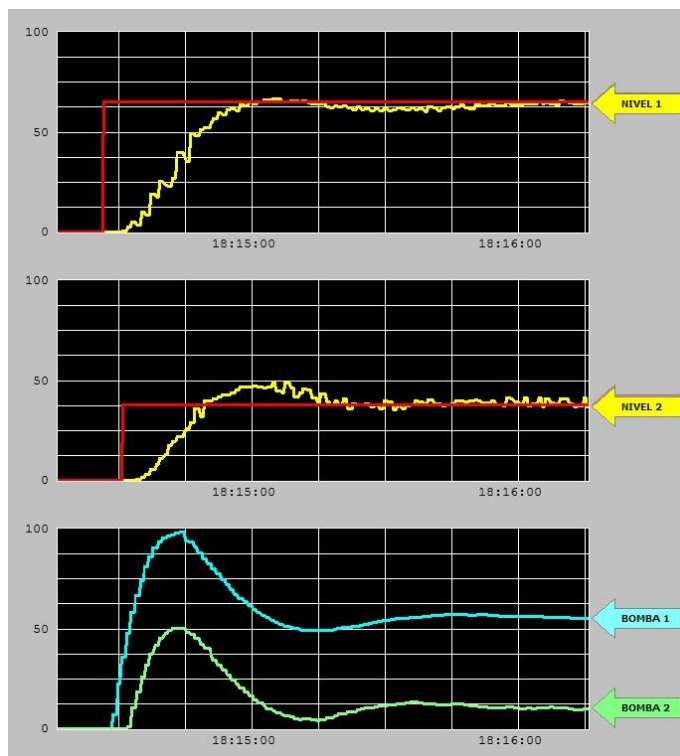


Ilustración 4.15: Gráficas en tiempo real.

4.3.2 PANEL DE MANDOS DEL CONTROLADOR

El objetivo principal de este proyecto es controlar el nivel en los depósitos, en este panel de mandos se encuentra todo lo necesario para llevar a cabo este control.

Esta parte está comunicada con el servidor OPC creado a partir del programa de control desarrollado en EcosimPro. Como ya se ha expuesto anteriormente, este controlador necesita variables de entrada (Nivel de los tanques), variables de referencia (set-point de los tanques), y a partir de la diferencia entre estos dos se devuelve una variable de control (Caudal bombas).

En la ilustración 4.16 podemos ver los botones y cuadros que a continuación se comentan.

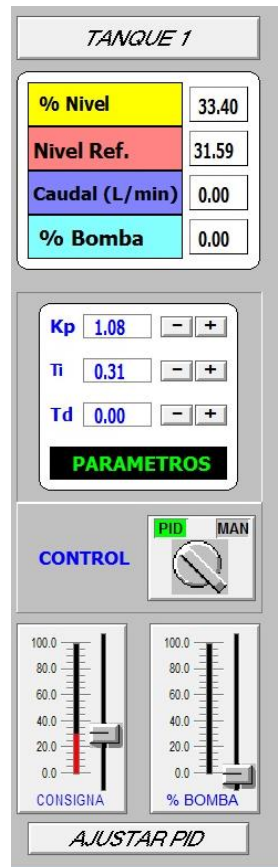


Ilustración 4.16: Panel de mandos del controlador.

- **Identificador**, Si pinchamos sobre el nombre del tanque con el que estamos tratando nos aparecerá la ventana emergente que se vio en la ilustración 4.13.
- **Cuadro de variables**, aparece en la zona superior en él se pueden visualizar las variables referentes a uno de los tanques (en este caso tanque 1), porcentaje de nivel, nivel de referencia, caudal y porcentaje de funcionamiento de la bomba.
- **Mandos deslizantes**, en la parte inferior nos encontramos con unos mandos deslizantes, moviendo estos mandos podemos cambiar la consigna si el control es automático o el porcentaje de funcionamiento de la bomba si se está trabajando en manual. Si el usuario no tiene la prioridad requerida el deslizador de consigna quedara inutilizado.
- **Control PID/MAN**, cambia el método de control entre manual y automático

- **Cuadro de constantes del PID**, permite fijar el valor numérico de cada una de las constantes del PID (K_p , T_i , T_d). Este cuadro cambiara como se ve a continuación.
 - Usuario sin a prioridad adecuada.



Ilustración 4.17: Sin permiso, prioridad insuficiente.

- Sintonía PI: Estabilidad de la bomba.



Ilustración 4.18: Sintonía PI -> Estabilidad de la bomba.

- Sintonía PI: Velocidad de reacción.



Ilustración 4.19: Sintonía PI -> Velocidad de reacción.

- Sintonía PI: Definido por el usuario.

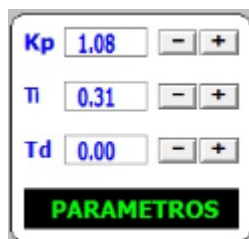


Ilustración 4.20: Sintonía PI -> Definida por el usuario.

4.3.3 AJUSTAR PID

Si se pincha en el botón “AJUSTAR PID” que aparece en el panel de control (ilustración 4.16) aparece la siguiente ventana (ilustración 4.21). Este botón será inaccesible si no se tiene una prioridad elevada.

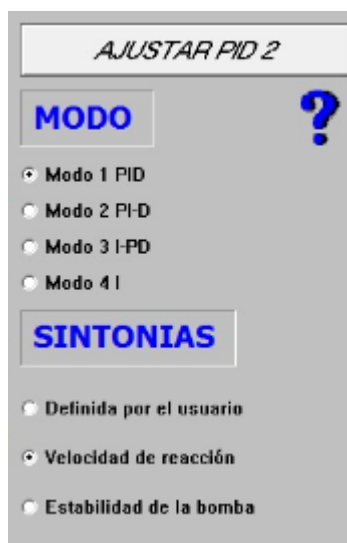


Ilustración 4.21: Ventana ajustar PID.

Como se comentó en el anterior capítulo el PID programado en EcosimPro da la posibilidad de elegir entre cuatro modelos de PID, cada uno con una ecuación propia.

- **Modo 1: PID**

$$OP(t) = Kp \left(e(t) + \frac{1}{Ti} \int e(t) dt + Td \frac{de(t)}{dt} \right)$$

Ecuación 4.1: PID

- **Modo 2: PI-D**

$$OP(t) = Kp \left(e(t) + \frac{1}{Ti} \int e(t) dt - Td \frac{dPV_{\%}(t)}{dt} \right)$$

Ecuación 4.2: PI-D

- **Modo 3: I-PD**

$$OP(t) = Kp \left(-PV_{\%} + \frac{1}{Ti} \int e(t) dt - Td \frac{dPV_{\%}(t)}{dt} \right)$$

Ecuación 4.3: I-PD

- **Modo 4: I**

$$OP(t) = \frac{Kp}{Ti} \int e(t) dt$$

Ecuación 4.4: I

Por ultimo en la parte inferior esta ventana da la opción de elegir la sintonía del PI entre varias opciones, estabilidad de la bomba, velocidad de reacción y definida por usuario. (Ilustraciones 4.18, 4.19 y 4.20). Como se ha explicado anteriormente la sintonía “estabilidad de la bomba” permite una sintonía con una respuesta más lenta pero que no compromete la integridad de la bomba, la sintonía “velocidad de reacción” por el contrario nos da una repuesta más rápida y por último la sintonía “definida por el usuario” permite al usuario decidir los parámetros del controlador.

Para hacer que la planta se controle automáticamente se pueden seguir los siguientes pasos.

- Acceder a la pantalla del controlador.

- Fijar las constantes deseadas para el PI. Esto puede hacerse más fácilmente utilizando el botón “Ajustar PID”.
- Cambiar al método de control a automático.
- Fijar el nivel de referencia al que se desea que se mantenga los tanques.

4.4 VENTANA DE ALARMAS

En la aplicación, se han programado varias alarmas, cinco para cada tanque, que corresponden respetivamente a nivel muy alto, nivel alto, nivel bajo, nivel muy bajo y tanque vacío. El valor límite para las alarmas de nivel (alto, bajo, etc.) se pueden cambiar por el usuario. En el sistema cada alarma esta agrupada al tanque al que pertenece.

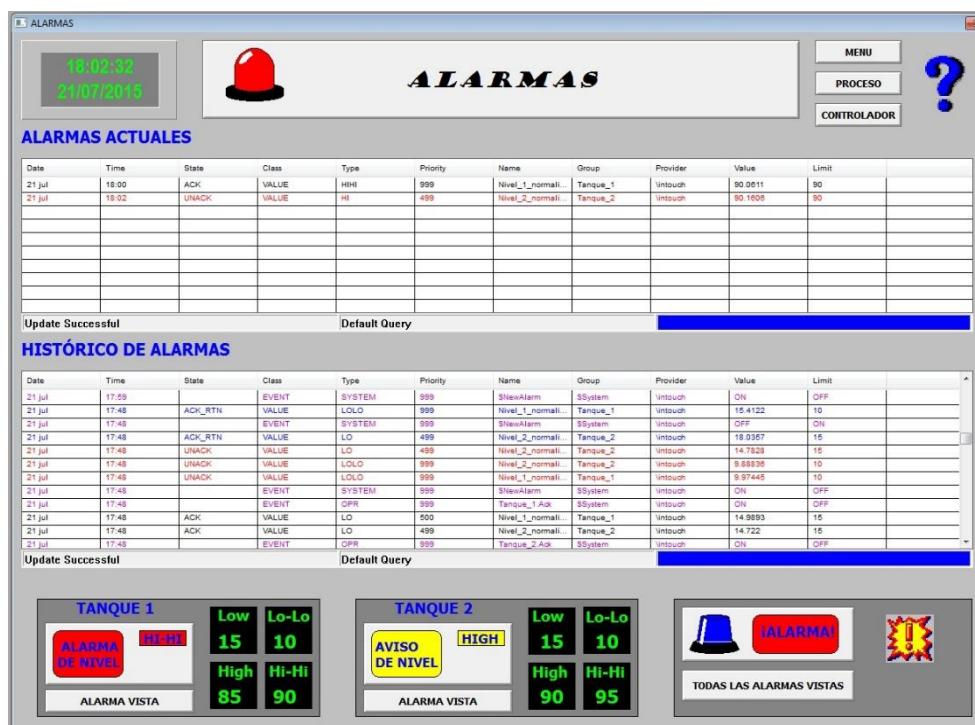


Ilustración 4.22: Ventana de alarmas.

La ventana (ilustración 4.22) se puede dividir en tres partes, en primer lugar un primer listado de alarmas donde se puede observar todas las alarmas activas en ese preciso instante. En él pueden observarse la fecha y la hora en la que se ha producido la alarma, el estado actual de la alarma, es decir si ha

sido reconocida o no por el usuario, la clase, el tipo de alarma si es de nivel alto, muy alto, una alarma discreta, etc. la prioridad asignada a esa alarma, el nombre de la variable que ha provocado la alarma, al grupo al que pertenece si corresponde al tanque 1 o al 2, el valor actual de la variable y el límite establecido.

En segundo lugar tenemos un listado de alarmas históricas, es decir una vez la alarma ha pasado, la alarma deja de mostrarse en la lista de alarmas actuales y pasa a mostrarse en la lista de alarmas históricas, en este listado aparte de aparecer todas las alarmas que han estado activas anteriormente, aparecen eventos internos del programa, del tipo de “log on”, “log off”, reconocer alarmas, etc.

En estos dos listados existe un código de colores que indica como se ha tratado la alarma.

- **Rojo**, la alarma no ha sido reconocida por el usuario.
- **Negro**, la alarma ha sido reconocida por el usuario.
- **Azul**, la alarma ha pasado sin ser reconocida por el usuario.
- **Morado**, eventos del sistema.

Por ultimo en la parte inferior tenemos unos visualizadores del estado de las alarmas. Disponemos de tres cuadros visualizadores, uno para cada tanque y otro general de la planta.

Los visualizadores de cada tanque (ilustraciones 4.23, 4.24 y 4.25) se dividen en dos partes, a la izquierda esta los rectángulos parpadeantes indicadores de alarma, y el botón para reconocer las alarmas, por parte del usuario del sistema SCADA, referidas a ese tanque, y a la derecha se tienen unos recuadros donde se permite cambiar los límites para que a cuando el nivel del tanque supere ese límite salte una alarma.

Para la situación normal en uno de los tanques (ilustración 4.23) nos aparece que todo está correcto.



Ilustración 4.23: Situación normal en el tanque 2.

Si por el contrario tenemos una alarma ya sea de nivel bajo o muy bajo o si los tanques están vacíos este visualizador cambiara como se observa en los ejemplos mostrados en las ilustraciones 4.24, 4.25 y 4.26, apareciendo los rectángulos parpadeantes que nos informan que existe alarma y el tipo de esta, en color amarillo las alarmas con prioridad media y en rojo las alarmas con prioridad elevada, en esta caso coinciden con alarmas de nivel alto o bajo prioridad media y alarmas de nivel muy alto o muy bajo con una elevada prioridad.



Ilustración 4.24: Alarma Tanque vacío.



Ilustración 4.25: Alarma de nivel alto tanque 2.



Ilustración 4.26: Alarma de nivel muy alto tanque 1.

Los visualizadores de estado general de alarma permiten saber si la planta está funcionando correctamente (ilustración 4.27) o si por el contrario existen alarmas (ilustración 4.28), si existen alarmas los indicadores y la sirena parpadeara para que se visualice con mayor facilidad el estado de alarma. Este visualizador es útil cuando existen varias alarmas en el sistema ya que permite reconocer todas a la vez presionando el botón de reconocer alarmas.

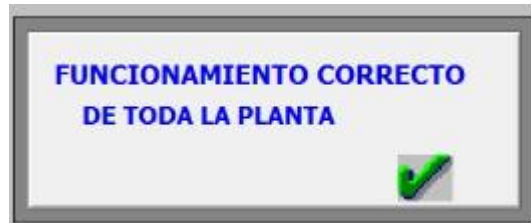


Ilustración 4.27: Situación normal en la planta.



Ilustración 4.28: Situación de alarma en la planta.

Si se produjese una situación de alarma pero el usuario no tuviese abierta la pantalla de alarmas, aparecerá una pequeña ventana (ilustración 4.29) dando cuenta de esta situación y ofreciendo dos opciones: pasar a la pantalla de alarmas para visualizar la alarma, recabar información y tomar medidas para acabar con esta situación de alarma y permanecer en la pantalla en la que estuviera el usuario reconociendo la alarma.



Ilustración 4.29: Ventana de aviso de alarma.

4.5 VENTANA DE HISTORICOS.

Para acceder a esta pantalla ha de pulsarse el botón correspondiente en el menú principal, o bien la tecla F3 desde cualquier otra pantalla. La pantalla de gráficos históricos puede verse en la ilustración 4.30.



Ilustración 4.30: Ventana de histórico.

Los históricos son graficas que representan la evolución de las diferentes variables a lo largo de periodos de tiempo que pueden llegar a ser varias horas o días. Al activarse un histórico, los datos se guardan automáticamente en unos archivos especiales propios de Intouch (.lgh y .idx), y son cargados automáticamente al elemento grafico para posteriores consultas y representaciones sin necesidad de programar nada en Intouch.

4.5.1 MENU

Contiene las opciones que a continuación se explican:

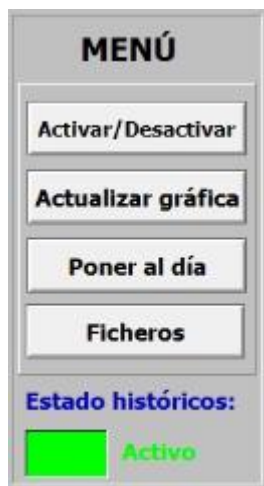


Ilustración 4.31: Menú, ventana de históricos.

- **Activar/Desactivar**, este es el botón que hay que pulsar para que el histórico comience la toma de datos, si la toma de datos esta activa en la parte inferior del menú, el panel estará verde de lo contrario estará rojo y nos indicara que esta desactivado.
- **Actualizar gráfica**, los históricos toman datos y los almacenan, pero para que estos datos sean representados hay que actualizar la gráfica. Al pulsar este botón, la gráfica se actualiza con todos los datos almacenados hasta ese mismo instante.
- **Poner al día**, este botón tiene la utilidad de poner al dia el histórico, es decir ajusta al borde derecho del histórico al dia y la fecha actual. Esto es útil porque al entrar en esta pantalla por primera vez el histórico pude no estar centrado en la fecha actual.
- **Ficheros**, al presionar este botón, nos aparecerá la ventana de ficheros históricos para poder guardar datos del proceso en ficheros, esta ventana se explicara en el punto 4.5.4.

4.5.2 GRAFICA Y CUADRO DE CONTROL DE LA GRAFICA

En la gráfica (ilustración 4.32) se ven representados los datos tomados. En la parte superior aparecen las fechas de los datos representados en la gráfica. Tiene también unos posicionadores (derecho e izquierdo) que se pueden mover a lo largo de la gráfica e indican los valores de las variables en los

cuadros de visualizadores que explicaremos su funcionamiento posteriormente.

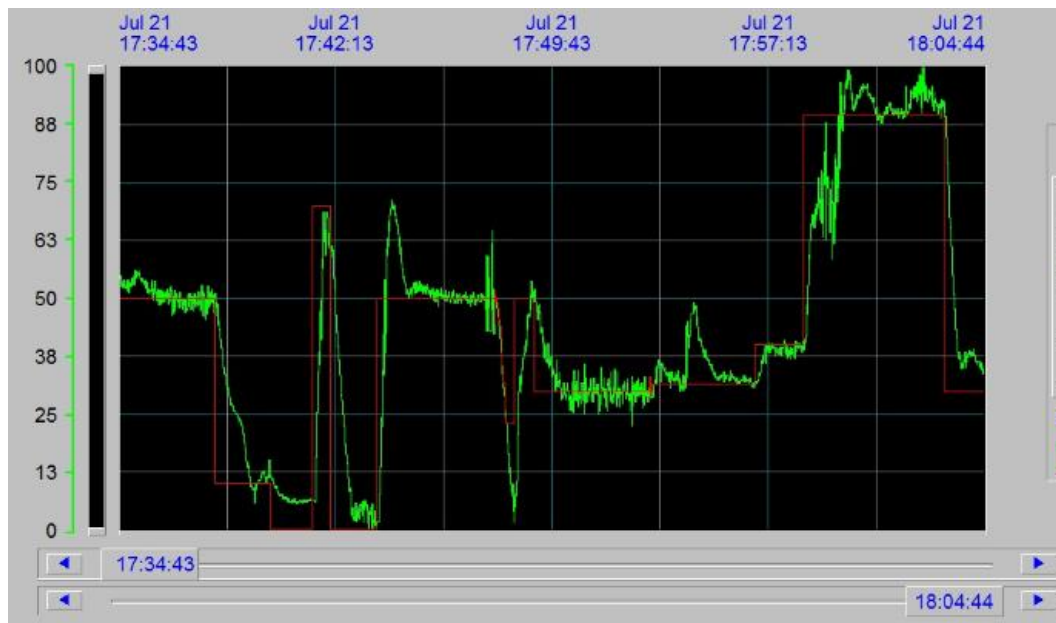


Ilustración 4.32: Gráfica histórica.

Si se pulsa sobre la gráfica aparecerá una ventana (ilustración 4.33) donde se podrá configurar diferentes aspectos:

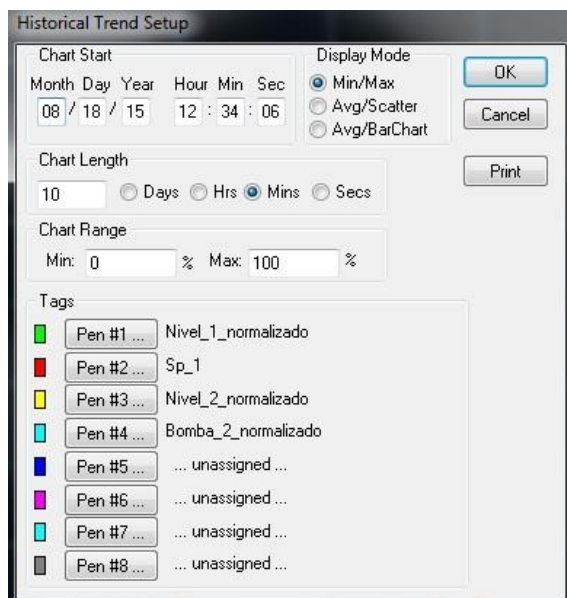


Ilustración 4.33: Configuración grafica histórico.

- **Chart Start**, desde aquí se puede configurar el día y la hora que se quiere visualizar.
- **Display Mode**, permite elegir el tipo de visualización de la gráfica entre los siguientes tipos:
 - **Min/Max**, muestra el min/max por cada periodo de muestreo.
 - **Avg/Scatter**, muestra el valor medio por cada periodo de muestreo usando un diagrama “scatter” (dispersión).
 - **Avg/BarChart**, muestra el valor medio por cada periodo de muestreo usando un diagrama “bar chart” (gráfico de barras).
- **Chart Leng**, se utiliza para elegir el rango de representación de la gráfica.
- **Chart Range**, desde aquí se puede seleccionar el porcentaje de visualización de las variables.
- **Tags**, se seleccionan las variables que queremos representar en la gráfica.

Por otra parte el cuadro de control de la gráfica (ilustración 4.34) está situado debajo de la gráfica después de los cuadros de visualización de variables. Este recuadro sirve para manipular el eje horizontal y vertical de la gráfica e indica el tiempo que está siendo representado en la gráfica, la fecha inicial y la fecha final del eje horizontal.

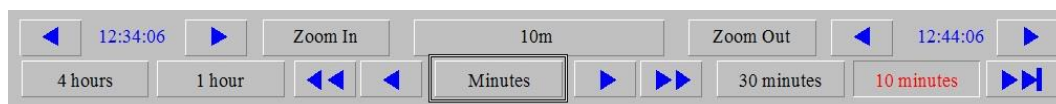


Ilustración 4.34: Cuadro de control de la gráfica histórica.

4.5.3 CUADROS DE VISUALIZACION DE VARIABLES

Están situados justo debajo de la gráfica. Indican el color de las variables representadas en el histórico, su nombre, y los valores de las variables en los puntos sobre los que están situados los posicionadores izquierdo y derecho

del histórico. En la ilustración 4.35 se observa el cuadro de visualizaciones para el nivel del tanque 1 y la consigna del mismo.



Ilustración 4.35: Cuadro visualización de variables de grafica histórica.

4.5.4 HISTORICO POR FICHEROS

A esta pantalla (ilustración 4.36) se accede a través de la ventana de histórico pulsando el botón correspondiente. Contiene todo lo necesario para guardar ficheros en formato CSV, por lo que es la mejor forma de tomar y guardar datos de la planta. Además, el formato en el que se guardan, coma flotante, pueden ser abiertos por cualquier editor de texto, y especialmente por Excel, que reconocerá distintas variables y tiempos y las colocara en distintas columnas y filas.

Ilustración 4.36: Ventana histórico por ficheros.

En los siguientes puntos se describen los campos a rellenar por el usuario para guardar ficheros.

- Fecha de inicio de fichero, introducimos la fecha de inicio para la cual queremos que se empiecen a guardar datos en el fichero.
- Hora de inicio de fichero, fijamos la hora exacta para la cual se comenzara a guardar datos en el fichero.
- Duración del fichero, se establece la duración del fichero que vamos a guardar.
- Duración de tiempo entre los intervalos de recopilación de datos, el usuario puede elegir cada cuanto tiempo se va a guardar un dato en el fichero.
- Variables cuyos datos aparecerán en el fichero, lo más importante será seleccionar las variables que queremos que salgan en nuestro fichero.
- Nombre y ubicación del fichero, por ultimo hay que dar un nombre y una ubicación para el fichero que estamos creando.
- Mensaje de error, si al iniciar el fichero ocurre algún error el panel se pondrá rojo y aquí nos aparecerá un mensaje de error indicando que ha fallado.

En cada uno de los campos a rellenar aparece debajo o a continuación información para que se introduzcan los datos en el formato correcto.

Una vez cumplimentado todos los datos pulsamos el botón “Save to file” y se empezara a tomar datos de la planta, durante la grabación del fichero el usuario puede cambiar de pantalla y navegar por todas las pantallas que desea, simplemente una vez se ha terminado el periodo establecido para el fichero lo único que hay que hacer es volver a pulsar el botón “Save to file” para que una vez se han tomado todos los datos necesarios se vuelquen al fichero CSV. En la misma ventana aparece una NOTA a través de la cual se nos explica el funcionamiento y por supuesto tenemos un menú de ayuda en cada ventana accesible para si nos surge cualquier duda la consultemos.

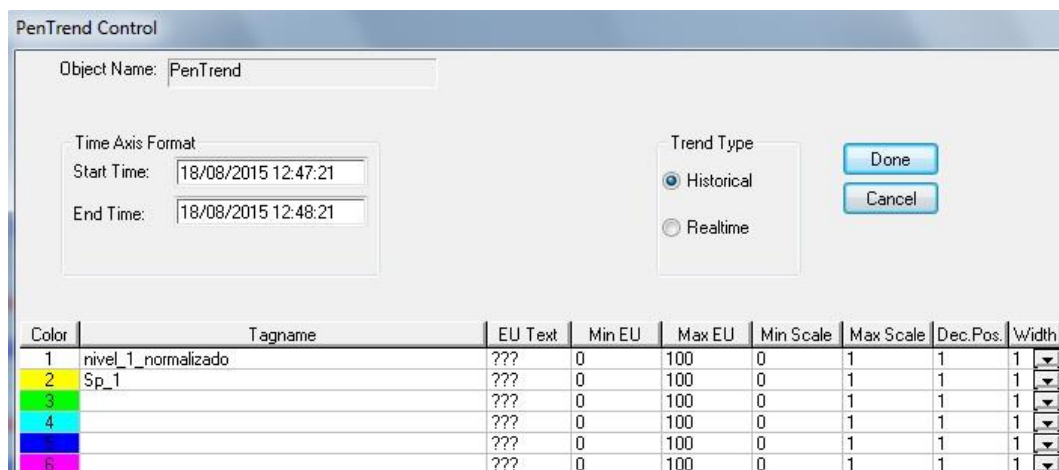
Una vez acabado de guardar y grabar el fichero, podemos visualizarlo en Excel pulsando el botón situado en la esquina inferior izquierda de la ventana, abrimos el archivo buscándolo en la ruta seleccionada previamente y nos aparecerá un fichero Excel como el que vemos a continuación (ilustración 4.37).

	A	B	C	D	E	F
1	\$Date	\$Time	NIVEL_1_NORMALIZADO	SP_1	NIVEL_2_NORMALIZADO	SP_2
2	05/04/2015	12:08:00	49,98755	50	49,66727	50
3	05/04/2015	12:08:10	51,01468	50	49,15046	50
4	05/04/2015	12:08:20	50,19902	50	49,59127	50
5	05/04/2015	12:08:30	49,2323	50	50,71608	50
6	05/04/2015	12:08:40	50,04797	50	50,12327	50
7	05/04/2015	12:08:50	49,91202	50	50,51848	50
8	05/04/2015	12:09:00	49,67034	50	48,63365	50
9	05/04/2015	12:09:10	50,87874	50	49,02886	50
10	05/04/2015	12:09:20	49,8365	50	49,59127	50

Ilustración 4.37: Fichero guardado, Excel.

En el fichero se aprecia que el intervalo es de 10 segundos, se empezó a grabar el fichero el 5 de marzo de 2015 a las 12:08 de la mañana y tomamos datos de los dos tanques y de sus niveles de referencia. A partir de estos datos podemos trabajar con el fichero para crear gráficas, anotaciones, estudios, etc.

Por ultimo tenemos la opción de visualizar la evolución de las variables que vamos a guardar en un fichero a través de una gráfica especial que nos permite usarla en tiempo real o en histórico, al pulsar sobre ella aparece una ventana (ilustración 4.38) desde la cual podemos configurarla.



PenTrend Control

Object Name: PenTrend

Time Axis Format

Start Time: 18/08/2015 12:47:21

End Time: 18/08/2015 12:48:21

Trend Type

Historical

Realtime

Done

Cancel

Color	Tagname	EU Text	Min EU	Max EU	Min Scale	Max Scale	Dec.Pos.	Width
1	nivel_1_normalizado	???	0	100	0	1	1	1
2	Sp_1	???	0	100	0	1	1	1
3		???	0	100	0	1	1	1
4		???	0	100	0	1	1	1
5		???	0	100	0	1	1	1
6		???	0	100	0	1	1	1

Ilustración 4.38: Configuración gráfica histórico por ficheros.

4.6 SIMULACION

Desde menú principal pulsando el botón correspondiente o pulsando el botón F5 accederemos a la ventana de simulación (ilustración 4.39), una ventana simple que nos permite desconectar la toma de datos de la planta y conectar el SCADA con el servidor OPC creado a partir del modelo de la planta en EcosimPro, por tanto estaremos trabajando en simulación. Esto es realmente útil para probar el SCADA principalmente y para testar los problemas que pueda tener la planta sin estar trabajando con la planta real, evitando un mal funcionamiento de esta.

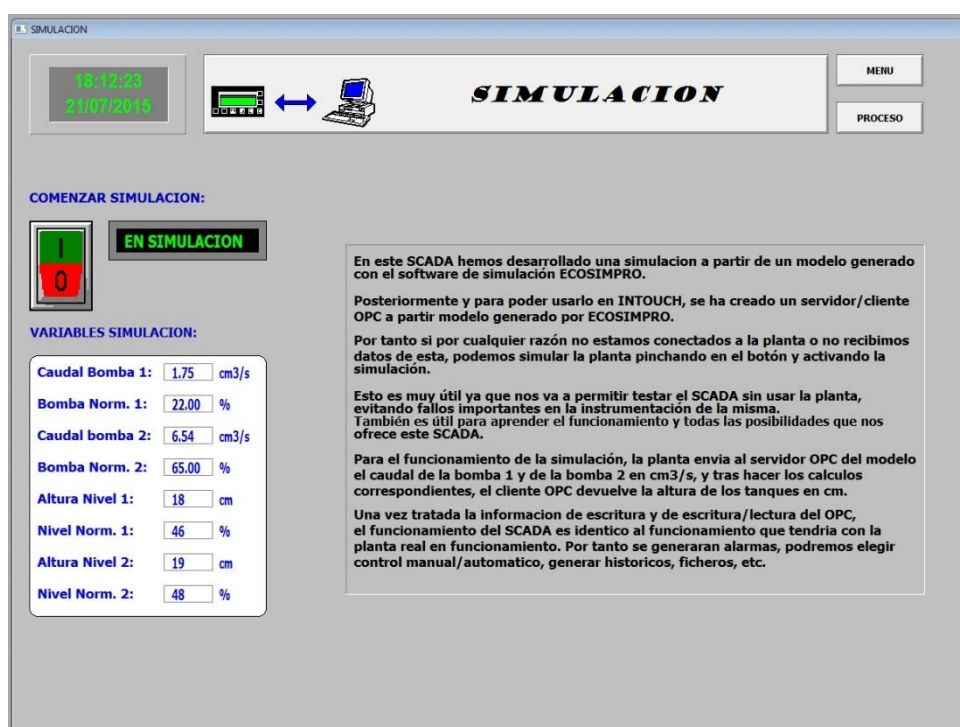


Ilustración 4.39: Ventana de simulación.

Para iniciar la simulación basta con pulsar el interruptor de la parte izquierda, al lado del mismo aparece un recuadro que nos informa si estamos en simulación o en planta real, en este caso estamos en simulación. Debajo de este interruptor tenemos un cuadro de variables entre las cuales están el caudal de las bombas, el porcentaje de funcionamiento de estas, la altura de los tanques y los niveles en porcentaje de estos tanques.

Esta ventana no tiene ninguna ventana de alarma ya que dentro de la misma ventana nos da unas pequeñas nociones del funcionamiento de la misma y lo único que hace falta para hacer funcionar la simulación es activar el interruptor como ya se ha comentado.

El funcionamiento del SCADA en simulación es idéntico al funcionamiento en planta real, tenemos controlador, alarmas, históricos, etc. Como ya he dicho esto sirve como toma de contacto y aprendizaje para nuevos operarios antes de ponerles a trabajar con la planta real y que pueda haber inconvenientes. En la ilustración 4.40, tenemos un ejemplo de la planta en simulación con una alarma activa para comprobar que el funcionamiento es el mismo.

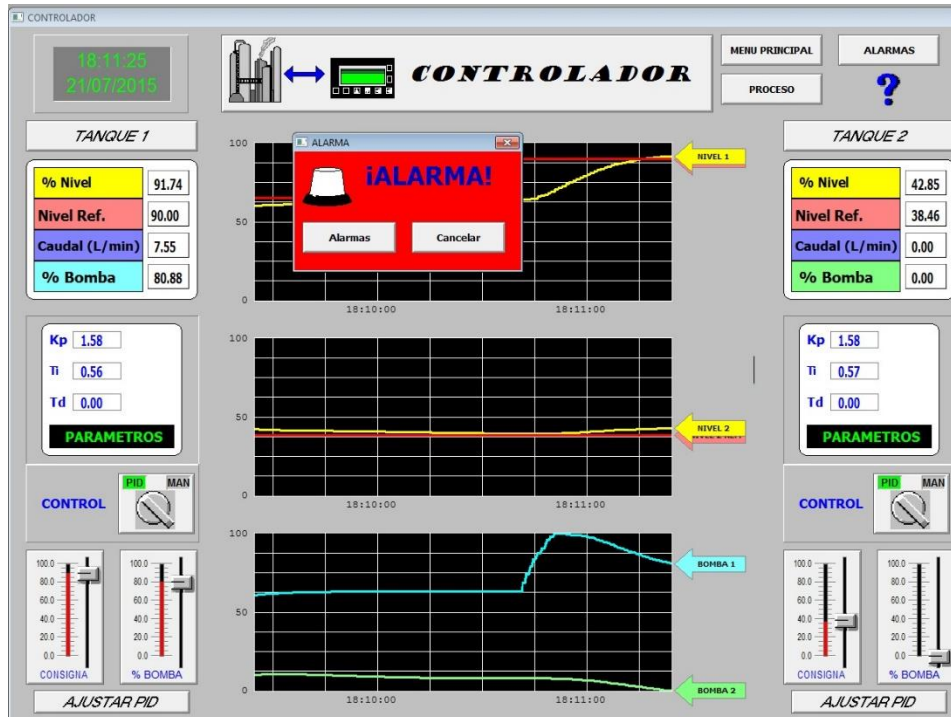


Ilustración 4.40: Ejemplo planta en simulación.

4.7 SPC (PCA)

Para acceder a esta ventana basta con presionar el botón F6 o pulsar sobre el botón SPC (PCA) del menú principal.

En esta ventana (ilustración 4.41) se ve reflejada la información obtenida a través de Simulink como se explicó en el capítulo 2. Se observan dos gráficas que corresponden con las dos estadísticas explicadas, la T^2 y la Q , que nos informan del buen o mal funcionamiento de la planta. Las gráficas son en tiempo real por lo que nos avisan rápidamente de fallos en la planta, en ambas gráficas se representan tanto las dos estadísticas descritas en el capítulo 2, como sus límites, para apreciar si están dentro o fuera de estos y por tanto saber si la planta tiene un buen o mal funcionamiento. En la ilustración 4.41, observamos que la planta funciona correctamente, ya que ambas estadísticas están dentro de los límites.

Además en la parte derecha tenemos un recuadro con información y con un panel de color que nos informa del estado de la planta. Por otro lado en la propia ventana hay un botón por el cual se puede testar el PCA, si presionamos sobre el botón, automáticamente se genera un fallo en el sensor de nivel h1, el fallo que está programado es una simulación de un fallo de comunicación entre la planta e intouch, por lo que el PCA detectara fallo en la planta, también se puede programar otro tipo de fallos como puede ser poner un bias al sensor para que el PCA detecte el fallo, etc.

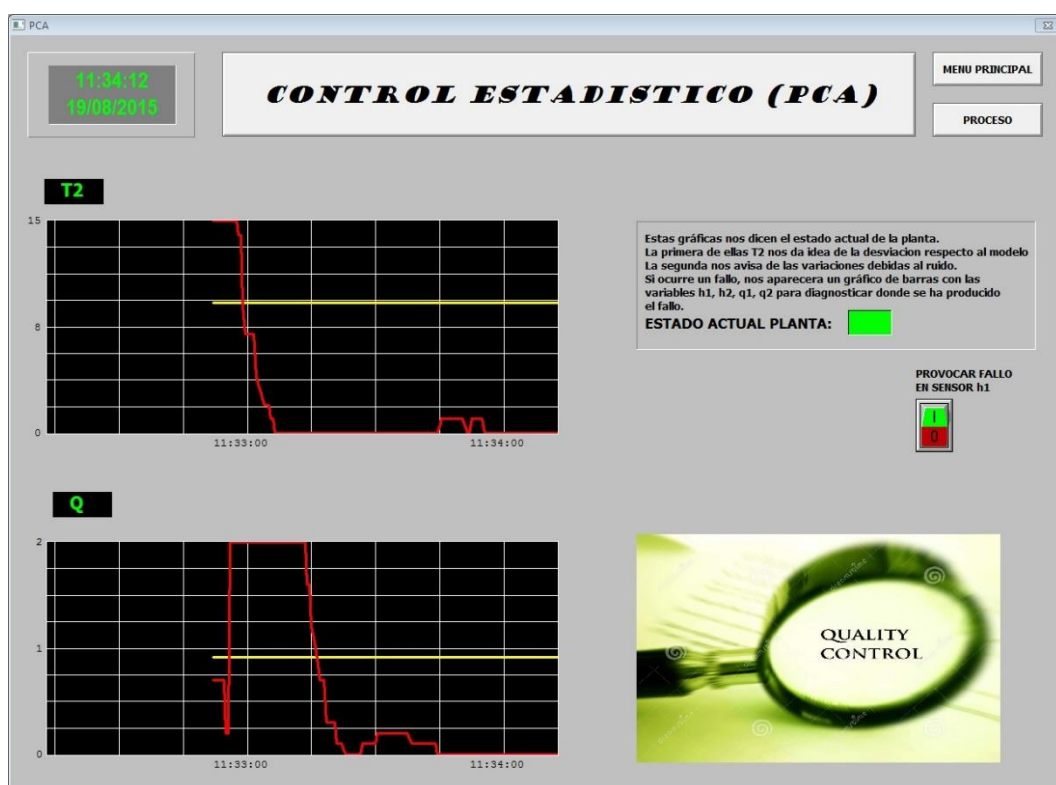


Ilustración 4.41: Ventana de control estadístico de procesos (PCA) sin fallo.

Como estamos ante una planta de tanques comunicantes, El modelo utilizado para crear el PCA tiene poca variación es decir los niveles de los tanques 1 y 2 son parecidos no puede haber grandes diferencias y el aumento o descenso en consignas es gradual no drástico, por tanto nos saltaran errores si hacemos un cambio en la consigna muy elevado o si tenemos descompensados el nivel de los tanques uno en 80 % y otro en 30% de llenado por ejemplo. Si estamos ante uno de estos casos nos saltara fallo en la planta ya que se considera mal funcionamiento. Otro fallo que nos puede saltar es debido a la oscilación de variables debido a un mal funcionamiento

en la instrumentación. En definitiva el PCA nos va a informar de cualquier anomalía que sufra la planta.

Si hay un funcionamiento incorrecto en la planta el panel de la parte superior derecha estará en rojo y además saltará un mensaje parpadeante de alarma como vemos en la ilustración 4.42, esta alarma no está considerada en la ventana de alarmas. También al saltar fallo nos aparecerá como se observa en la ilustración 4.42 una nueva gráfica en forma de barras con el valor de las cuatro variables principales del proceso, esta gráfica aparece para poder hacer un rápido diagnóstico del fallo ocurrido en la planta, de tal manera que con un simple vistazo a la gráfica sepamos que variable es la que ha provocado el fallo en la planta.

En la ilustración 4.41 se aprecia que la planta tiene un mal funcionamiento, y es debido a que hay una gran diferencia entre los dos niveles de los tanques, el tanque 1 está a un 70% de nivel y el otro solo al 30%, por tanto al ser una planta de tanques comunicantes nos salta fallo.

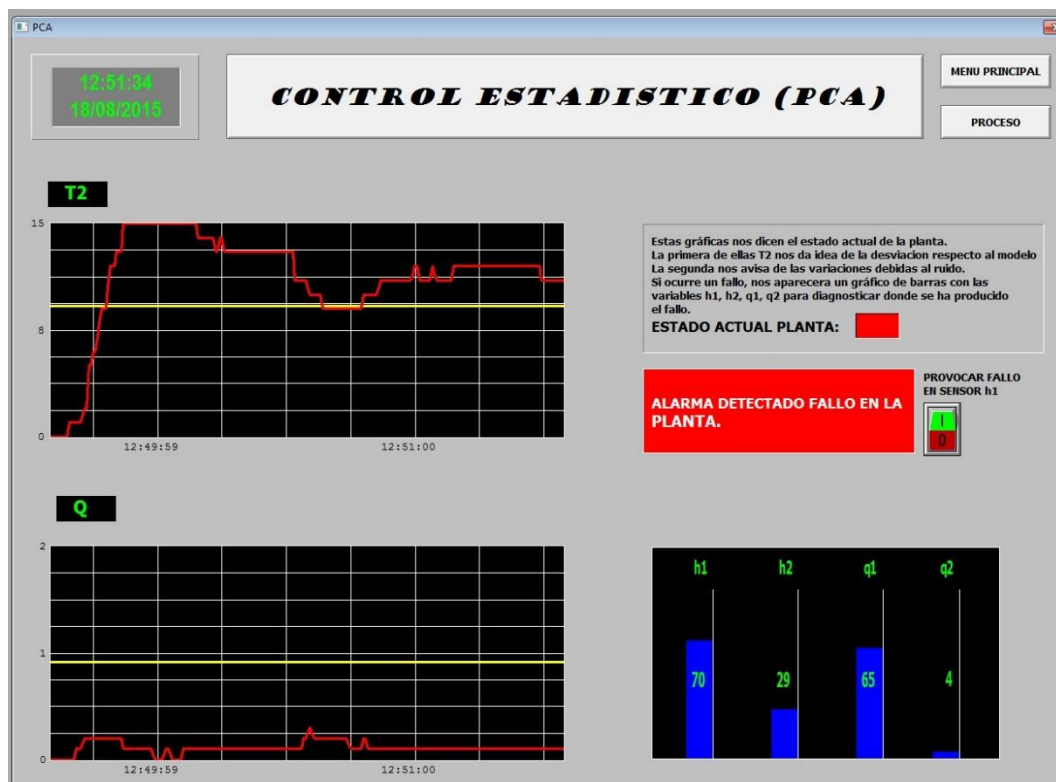


Ilustración 4.42: Ventana PCA, fallo en la planta.

En la ilustración 4.43 observamos un mal funcionamiento de la planta debido a que hemos provocado un fallo en el sensor de nivel h1, el error provocado

es un fallo de comunicación, intouch ha dejado de captar datos de nivel de la tarjeta de adquisición de datos para ese sensor, y el PID se vuelve loco trata de llevar a la consigna de nivel al tanque 1 pero es incapaz debido al error, y por eso la bomba que alimenta el tanque 1 esta al máximo nivel de funcionamiento, en esta ilustración 4.43 también se ve como el nivel del tanque 2 y de la bomba que le alimenta funciona correctamente. Por tanto se aprecia como la gráfica de barras nos da un rápido diagnóstico del problema que está haciendo fallar a la planta.

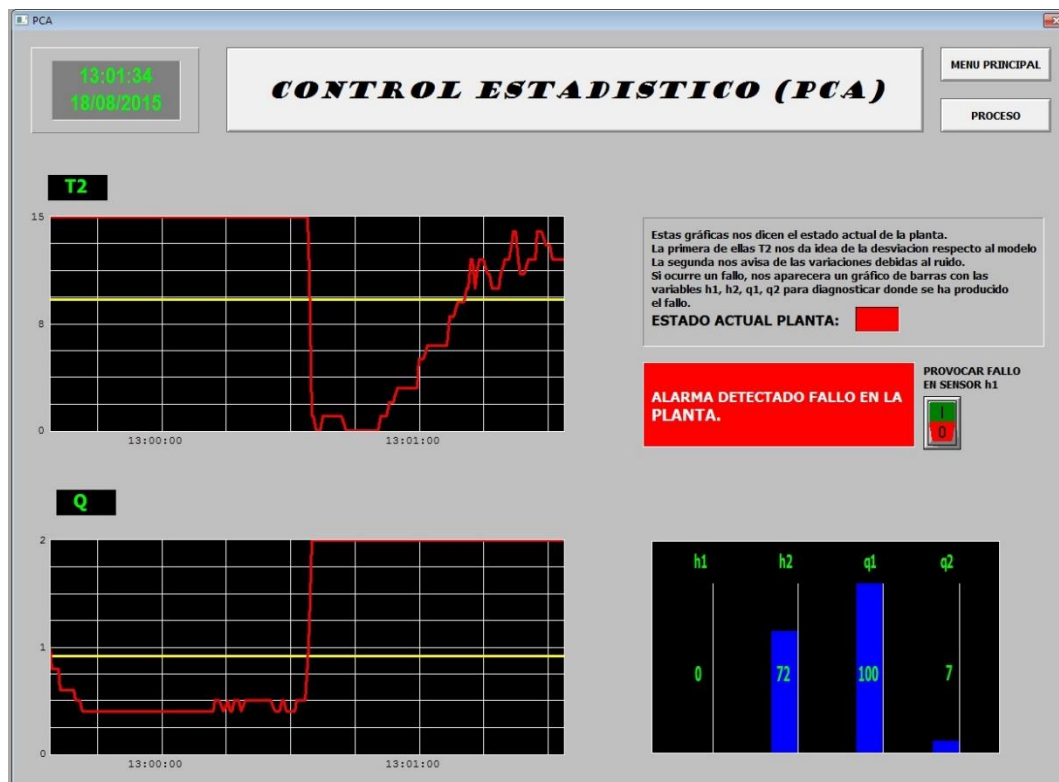


Ilustración 4.43: Ventana de PCA, fallo de comunicación en sensor de nivel h1.

4.8 PANTALLAS DE AYUDA

Cada pantalla de la aplicación tiene su propia pantalla de ayuda, salvo la ventana de simulación y de control estadístico ya que son ventanas con poca interacción usuario-SCADA, en donde se explica detalladamente cada botón, menú y recuadro. Son pantallas independientes que se abren al pulsar el icono de ayuda (ilustración 4.44).



Ilustración 4.44: Icono de ayuda.

Las pantallas de ayuda se diferencian de las demás por tener el fondo blanco, y porque los únicos objetos táctiles que contienen son los botones para cerrar la ventana. Por ejemplo en la ilustración 4.45 tenemos la ayuda de la ventana de controlador y en la ilustración 4.46 tenemos la ayuda de la ventana de proceso.

AYUDA CONTROLADOR

CONTROLADOR

Nos encontramos en la ventana del controlador. Desde esta ventana podemos gobernar la planta, ya que nos permite cambiar y ajustar todos los parámetros de la misma, desde cambiar el nivel de funcionamiento de ambas bombas, así como seleccionar las consignas de los tanques y configurar el PID.

1º En primer lugar: tenemos tres gráficas que nos permiten visualizar en tiempo real todas las variables importantes de la planta.

- 1º Gráfica: Nivel tanque 1 y consigna del mismo
- 2º Gráfica: Nivel tanque 2 y consigna del mismo
- 3º Gráfica: Nivel de funcionamiento de las dos bombas

2º En segundo lugar: tenemos un pequeño menú desde el cual podemos realizar diversos cambios en las variables del proceso.

Desde aquí, podemos cambiar el nivel de funcionamiento de una de las dos bombas, dependiendo del tanque sobre el que queramos actuar nos iremos a la columna de la izquierda o de la derecha. También podemos configurar la consigna de cualquiera de los dos tanques. Y visualizar tanto el nivel como el caudal que afecta al tanque seleccionado.

Pulsando en el botón "Ajustar PID"

Nos aparece una ventana emergente que nos permite configurar el PID de los tanques. Para más información clicar en la interrogación dentro de esta ventana emergente.


Solo personal cualificado podrá acceder a esta ventana emergente. Si no tiene la prioridad de usuario necesaria, no podrá acceder a esta ventana ya que el botón estará inutilizado.

Desde aquí podemos cambiar los parametros del PID, siempre y cuando en la ventana de "Ajustar PID" esté seleccionada la opción de sintonía del PID " Definido por el usuario". Si está otra opción marcada los parametros estarán por defecto y no se podrán cambiar. Al igual, tambien podemos configurar el control de cada tanque configurandolo en automático o manual según nos interese. Solo personal cualificado puede cambiar los parámetros del PID si no tienes la prioridad de usuario necesaria, no podras cambiar los parámetros.

Estos Sliders nos permiten cambiar la consigna si el control es automático y también nos permite cambiar el nivel de funcionamiento de la bomba, si el control del tanque es manual.


Ilustración 4.45: Ayuda de la ventana del Controlador.

AYUDA PROCESO
33




1º En Primer lugar, tenemos el esquema de nuestra planta. Con todo lujo de detalle, este esquema nos muestra el nivel de llenado de los tanques, los litros que contiene cada tanque, así como el nivel de funcionamiento de cada bomba y el caudal que transporta en ese momento.


2º El propio esquema nos indica el nivel de los tanques, a medida que aumenta el volumen contenido en el tanque, aumenta el color azul y disminuye el color negro.



3º Podemos observar más detalles del proceso si clicamos en uno de los dos tanques o en una de las dos bombas. De esta manera se nos despliegan las siguientes ventanas:



Esta ventana nos indica el estado de la bomba, encendida o apagada mediante una luz. Si la luz esta verde la bomba estará funcionando y si la luz está roja, la bomba estara parada. Además, desde esta ventana podemos cambiar el nivel de funcionamiento de la bomba. Para salir de ella solo hace falta tocar con el ratón fuera de la misma.



Por último, tenemos los botones que nos permitirán acceder a otras ventanas. Desde aquí podemos acceder a las siguientes ventanas: Menu principal, controlador, alarmas y Válvulas.

En esta ventana podremos cambiar la consigna del tanque seleccionado, podremos ver las alarmas activas en ese instante que afecten al tanque. También, podremos desplazarnos a las ventanas del controlador y de alarmas. Para cerrar esta ventana solo hace falta clicar con el ratón fuera de la misma.

Ilustración 4.46: Ayuda de la ventana de Proceso.

CAPITULO 5: CONCLUSIONES.

En este capítulo se desarrollaran las conclusiones que se han sacado de la realización de este proyecto, así como posibles mejoras que pueden realizarse en el proyecto.

5.1 CONCLUSIONES

Tras un largo periodo de investigación y trabajo en la elaboración de este proyecto y tras haber superado problemas de configuración y diseño, el resultado obtenido cumple con los objetivos planeados en un principio, puesto que el sistema diseñado se constituye como una herramienta eficaz a la hora de realizar la supervisión y control de una planta específica de laboratorio.

Además, en el transcurso de este trabajo he tomado contacto y he ampliado mis conocimientos en materias que no conocía con tanta profundidad. Por un lado me he enfrentado a la tarea de diseñar una aplicación informática utilizando un paquete software totalmente orientado a plantas industriales, como es el caso del paquete FactorySuite, con sus aplicaciones incorporadas y se ha podido comprobar su potencia y grado de complejidad. Por otro lado he podido ampliar conocimiento en otras áreas como las comunicaciones OPC, el control estadístico de datos, modelado y simulación de procesos. Además he aplicado todo lo aprendido durante la carrera en materia de control automático para el control de la planta.

La aplicación desarrollada cumple con las siguientes características:

- Se ha creado una interfaz gráfica amigable de manera que su utilización por parte del usuario es sencilla, ya que de una forma muy intuitiva es posible extraer el máximo rendimiento del diseño, no obstante a pesar de esta sencilla interfaz gráfica se ha logrado una aplicación potente y altamente configurable.
- Realiza la adquisición de datos desde una planta, datos que se pueden utilizar para realizar análisis posteriores utilizando herramientas estándar como Microsoft Excel.
- Incluye un sistema de usuarios que permite limitar el acceso a ciertas opciones a los usuarios que no tengan privilegios suficientes.

- Permite al usuario poder visualizar toda la información referente a la planta tanto numérica como gráficamente mediante la inclusión de representaciones en tiempo real y representaciones de tipo histórico.
- Además se lleva a cabo el control de la planta, es decir permite controlar el nivel de los dos tanques con sendos PI. Además permite al usuario elegir entre un control manual o un control automático.
- Se puede almacenar datos dentro de archivos de un tipo como es el formato .csv, el cual resulta de fácil manejo por programas como Excel.
- Dispone de un sistema de alarmas, a través del cual el operario puede corregir situaciones de funcionamiento no deseadas, como por ejemplo desbordamiento de los tanques.
- Se ha incluido una opción para simular la planta para poder hacer pruebas sin utilizar la planta real.
- Contiene un control estadístico de procesos con análisis de componentes principales, que detecta errores en la planta.
- Los menús que se han implementado permiten una navegación rápida y sencilla por toda la aplicación.
- El diseño dispone de ayudas contextuales a través de las cuales se explica el funcionamiento de los elementos contenidos dentro de las ventanas.

5.2 POSIBLES MEJORAS

Todo proyecto, en especial si se trata de una aplicación informática, siempre es apto para futuras ampliaciones o modificaciones. Por ello he adjuntado aquí las posibles mejoras que se pudieran acometer con mayor interés.

- En cuanto a posibles mejoras de la planta propiamente dicho, se puede añadir instrumentación como sería un caudalímetro con válvulas automáticas a la salida de los tanques de tal manera que podamos implementar un control en cascada para evitar comportamientos incorrectos debido a perturbaciones y así hacer un control más eficaz. El funcionamiento sería sencillo tendríamos un

nuevo lazo de control de caudal cuya consigna vendría dada por el lazo de control de nivel.

- Por otra parte se podría añadir funcionalidades a la planta como por ejemplo que el agua u otro producto que contiene los tanques vaya a otra operación sencilla, como podría ser un sistema para determinar la calidad del agua en el que se necesite la dosificación de algún producto químico, o simplemente con un sensor de conductividad, etc. las posibilidades son infinitas. De esta manera se tendría que ampliar el SCADA y añadir instrumentación, pero no sería muy costoso.
- Se podría añadir otros tipos de control además del realizado y del mencionado en el anterior punto como es por ejemplo el control predictivo.
- También podemos cambiar la tarjeta de adquisición de datos por un PLC que contenga programado el PID y así no sería necesario comunicarse con el servidor OPC programado.
- Resultaría útil la creación de sistemas de bases de datos más potentes, como pueden ser bases de datos SQL aprovechando las aplicaciones que incluye el paquete FactorySuite, esto conllevaría un consumo de recursos muy superior, no se ha estimado oportuno establecerlo puesto que, en definitiva el sistema a controlar es bastante simple.
- Otra opción que se podría instaurar sería configurar un acceso remoto vía web a la aplicación realizada, esto sería interesante para una planta de laboratorio como la nuestra pero en entornos industriales esta opción ha ido a menos ya que requiere mucha seguridad este tipo de acceso ya que pueden ser pirateados con facilidad por intrusos informáticos.
- Lo que si sería una mejora visto los tiempos actuales y el auge de los Smartphone y tablets, sería buscar un paquete SCADA que nos permita desarrollar la aplicación y posteriormente poder controlar nuestra planta mediante Wireless u otro tipo de comunicación, con un cifrado especial, desde nuestro Smartphone o Tablet.
- Por ultimo una mejora significativa podría ser hacer un control distribuido incluyendo todas las plantas del laboratorio, haciendo un único sistema SCADA con varias secciones referidas a cada una de las



plantas del laboratorio. Para ello se podría trabajar con buses de campo y un control centralizado en un PLC y comunicar este con el SCADA, de esta manera nos bastaría un solo ordenador para controlar todo el laboratorio, sería una mejora muy vistosa porque podríamos hacer funcionar todas las plantas simultáneamente y comprobar el estado de cada una con una simple navegación por el SCADA. Esta ampliación sería muy costosa también y consumiría muchos recursos la aplicación informática necesitando un potente ordenador, por ello esta mejora es un poco una quimera, pero es una posibilidad que se podría llevar a cabo.

CAPITULO 6: BIBLIOGRAFIA

- Libros.

- RODRIGUEZ PENIN, A. (2007). “Sistemas SCADA”, S.A. MARCOMBO
- VAZQUEZ, F. (2010). “Introduction to modeling and simulation with EcosimPro”. Madrid: Pearson Educación.

- Proyectos fin de carrera.

- ARROYO R, CABALLERO J. L. (2001). “Implementación de un SCADA en una planta de laboratorio”. [Proyecto fin de Carrera]. Valladolid: Universidad de Valladolid.

- Artículos y apuntes de clase.

- DE LA FUENTE, M.J. (2012) “Diseño, sintonía e implementación de controladores PID”. Trabajo presentado en clase de Fundamentos de Automática, Abril, Universidad de Valladolid.
- DE LA FUENTE, M.J. (2014) “Tema 4. SCADAS”. Trabajo presentado en clase de Informática Industrial, Abril, Universidad de Valladolid.
- DE LA FUENTE, M.J (2014) “Tema 7. Control estadístico de proceso”. Trabajo presentado en clase de Informática Industrial, Mayo, Universidad de Valladolid.
- DE LA FUENTE, M.J. (2014) “Explicación de la planta, el controlador y la generación de fallos”. Trabajo presentado en clase de Informática Industrial, Mayo, Universidad de Valladolid.
- GUTIERREZ G. (2013) “Instrumentación”. Trabajo presentado en clase de Control y Simulación de Procesos Químicos, Marzo, Universidad de Valladolid.

- GUTIERREZ G. (2013) “Actuadores”. Trabajo presentado en clase de Control y Simulación de Procesos Químicos, Marzo, Universidad de Valladolid.
- GUTIERREZ G. (2013) “Controladores PID”. Trabajo presentado en clase de Control y Simulación de Procesos Químicos, Marzo, Universidad de Valladolid.
- GUTIERREZ G. (2013) “Estructuras de control”. Trabajo presentado en clase de Control y Simulación de Procesos Químicos, Abril, Universidad de Valladolid.
- URUEÑA M.A. (2013) “Instrumentación: Tema 12b.Medidores”. Trabajo presentado en clase de Procesos Químicos Industriales, Diciembre, Universidad de Valladolid.
- ZAMARREÑO J.M, DE LA FUENTE M.J & Luis F. ACEBES L.F (2015) “Desarrollo de un controlador PID accesible como servidor OPC” Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Valladolid.

- **Referencias electrónicas.**

- RIVERA, J. (2012). “Introducción al control estadístico de procesos o SPC”. <<http://www.articuloz.com/management-articulos/introduccion-al-control-estadistico-de-procesos-o-spc-6300216.html>> [Última consulta: 14 de Julio de 2015]
- TERRADEZ GURREA, M. (2002) “Análisis de componentes principales” Proyecto E-Math, “Uso de las Tic en asignaturas cuantitativas aplicadas” Universidad abierta de Catañuña <http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Componentes_principal_es.pdf>. [Última consulta: 15 de Julio de 2015]

- **Páginas Web.**

- Desin instruments (2015) <www.desin.com> [Ultima consulta: 10 de Julio de 2015]



-
- EcosimPro (2015) <<http://www.ecosimpro.com>> [Última consulta: 25 de Mayo de 2015].
 - Info PLC (2015) <<http://www.infoplcn.net>> [Ultima consulta: 2 de Agosto de 2015]
 - Measurement Computing (2015) <<http://www.mccdaq.com>> [Última consulta: 25 de julio de 2015].
 - OPC Foundation (2015) <<https://opcfoundation.org>> [Última consulta: 10 de Julio de 2015]
 - Técnica fluidos (2015) <<http://www.tecnicafluidos.es>> [Última consulta: 10 de Julio de 2015]
 - Wonderware Spain (2015) <<http://www.wonderware.es>> [Última consulta: 14 de Agosto de 2015]