



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

**Aplicación del software Wonderware a
simuladores industriales de procesos**

Autor:

Sáez Serrano, Alonso

Tutor:

**Acebes Arconada, Luis Felipe
Departamento de Ingeniería de
Sistemas y Automática**

Valladolid, Julio 2017.

Resumen, palabras clave:

El presente trabajo de fin de grado se enfoca en la adquisición de los conocimientos necesarios para poder implementar sistemas SCADA mediante el entorno de desarrollo Wonderware System Platform 2014 R2.

Con dicho entorno, se han desarrollado todos los elementos necesarios para poder gestionar y monitorizar el proceso de control de un simulador de una caldera industrial acuatubular de alta presión, en donde las comunicaciones con las fuentes de datos, (Matlab y la simulación de la caldera) se han establecido siguiendo los estándares OPC.

Con todo ello se busca además, que la aplicación sirva como herramienta didáctica y formativa para aquellas personas que antes de enfrentarse al control de una planta real, puedan adquirir ciertos conocimientos sobre el control de la misma por medio de un simulador.

Palabras clave: SCADA, Wonderware, InTouch, OPC y Programación Orientada a Objetos.

Abstract, keywords:

The present Final-Degree-Project focuses on the acquisition of the necessary skills for SCADA systems to be implemented using Wonderware System Platform 2014 R2 as a development environment

With this environment, the required elements have been developed in order to manage and monitor the processing control of a simulator of a high pressure watertube boiler, where communications with data sources (Matlab and the simulation of the process) have been established following the standar OPC.

This approach ensures the application to serve as a training tool for those users who, before dealing with the control of a real unit, can adquire the necessary skills to control the unit through the help of a simulator.

Keywords: SCADA, OPC, Wonderware, InTouch, Object Oriented Modelling Language

Índice general:

Resumen, palabras clave:	3
Abstract, keywords:	5
Índice de figuras:	11
Índice de tablas:	15
Introducción:	17
Objetivos:	19
Desarrollo del TFG	21
Capítulo 1: Introducción Teórica	23
1.1 SCADA	23
1.2 Industria 4.0	25
1.3 Protocolo OPC.....	26
Capítulo 2: Calderas industriales de producción de vapor	29
2.1 Introducción:.....	29
2.2 Objetivos sistema agua – vapor:.....	30
2.2.1 Seguridad:	30
2.2.2 Suministro continuo:.....	30
2.3 Objetivos sistema combustible – aire – gases:	31
2.3.1 Objetivos subsistema aire – gases:	31
2.3.2 Objetivos subsistema combustible:	33
2.4 Objetivo económico.....	34
2.5 Sistemas de control:.....	35
2.6 Sistema de control combustible – aire – gases:.....	37
2.6.1 Aumento de la carga:	37
2.6.2 Disminución de la carga:	40
2.7 Sistema agua - vapor.....	41
2.8 Sistema de control del precio del combustible.....	44
2.9 Sistemas de enclavamiento:	45

Capítulo 3: Desarrollo de la aplicación SCADA	47
3.1 Introducción:.....	47
3.2 Application Server:.....	50
3.2.1 InTouch Window Maker:.....	50
3.2.2 Archestra Symbol Editor:	57
3.3 Simulink – Módulo de cálculo externo.....	62
3.4 Data Adquisition Server (DA Server):.....	64
3.4.1 Comunicación FS Gateway – InTouch:	67
3.4.2 Comunicación FS Gateway – Matlab.	69
Capítulo 4: Funcionamiento de la aplicación.....	73
4.1 Introducción:.....	73
4.2 Menú principal:.....	74
4.2.1 Información:.....	74
4.2.2 Variables principales:	74
4.2.3 Alarmas:	75
4.2.4 Históricos Globales:.....	76
4.3 Identificación:	76
4.4 Arranque y parada de emergencia.	82
4.5 Cajetines de variables:	82
4.6 Controladores PID:.....	82
4.7 Gráficos históricos:.....	86
4.8 Wonderware Online Insights.	88
4.9 Ejemplo de funcionamiento.....	90
Capítulo 5: Conclusiones.....	93
Capítulo 6: Bibliografía	95
ANEXO 1: GUÍA SOBRE EL MANEJO DE INTOUCH Y SOFTWARES ASOCIADOS.....	97
MÓDULO 1: InTouch.....	97
1. ¿Qué es InTouch? Creación de una aplicación:	97

Stand-Alone Applications:.....	97
Managed Applications:	98
Modern Applications:.....	98
1.1 Creación de una aplicación:	98
2. Entorno de WindowMaker.	101
2.1 Creación de una nueva ventana:	101
2.2 Objetos gráficos:	102
2.3 Animación de InTouch Symbols:	104
2.4 Animación de Orchestra Symbols:	105
3. Tagname Dictionary:	107
3.1 ¿Qué es?.....	107
3.2 Creación de un tagname:	108
3.2.1 Variables de tipo entero y real:.....	110
3.2.2 Variables de tipo discreto:	111
3.2.3 Variables de entrada/salida:	112
4. Scripts:	113
4.1 ¿Qué son?	113
4.2 Tipos de Scripts:	113
5. Alarmas y eventos:	115
5.1 Alarmas	115
5.2 Eventos:.....	117
6. Access Name:	119
6.1 ¿Qué es?.....	119
6.2 Creación de un Access Name.....	119
7. Seguridad:	123
8. Gráficas.	125
8.1 Gráficas de tipo tiempo-real:	125
8.2 Gráficas de tipo tiempo-histórico:	125
9. Window Viewer:	129
MÓDULO 2: Softwares asociados.....	131
10. FS Gateway	131

10.1	¿Qué es?.....	131
10.2	Conexión a un servidor OPC.....	131
11.	Wonderware Historian.....	137
11.1	Historian:.....	137
11.2	Historian Client:	137
11.2.1	Wonderware Historian Client Trend:.....	138
11.2.2	Wonderware Historian Client Query:	141
11.2.3	Historian Client Workbook y Wonderware Historian Client Report:	143
Anexo 2: Algoritmo de control PID.....		145
	Otros bloques de cálculo:	147
Anexo 3: Código del sistema de control de combustible		151
Anexo 4: Variables		153
Anexo 5: Elementos ISA.....		157
5.1	Letras de identificación.....	157
5.2	Símbolos ISA:.....	158

Índice de figuras:

Figura 1: Arquitectura con drivers específicos.....	27
Figura 2: Comunicaciones hardware – software via OPC.	27
Figura 3: Esquema comunicaciones OPC.	28
Figura 4: Sistema de control completo de la caldera.	36
Figura 5: Subsistema aire – gases.	38
Figura 6: Subsistema combustible.	39
Figura 7: Esquema básico del calderín.	41
Figura 8: Fenómenos de contracción y esponjamiento.	42
Figura 9: Control a tres elementos.....	42
Figura 10: Efecto de la presión de suministro sobre el sistema.	43
Figura 11; Componentes de Wonderware System Platform.	47
Figura 12: Componentes de Wonderware Client.	48
Figura 13: Esquema global de la aplicación.	49
Figura 14: Parámetros de configuración Tagname Dictionary.	52
Figura 15: Estructura del nombre de las variables.	53
Figura 16: Asociación de variables a objetos gráficos.	54
Figura 17: Script de tipo <i>Application</i>	55
Figura 18: Alarmas configuradas para la variable Presión_FC2_PV	56
Figura 19: Entorno de Archestra Symbol Editor.	57
Figura 20: Elementos gráficos objeto “caldera”	58
Figura 21: Objeto gráfico “caldera”.	59
Figura 22: Controlador PID.....	59
Figura 23: Barra horizontal OP.....	60
Figura 24: Programación de un “Fill Horizontal”	60
Figura 25: Programación de un “Value Display”	61
Figura 26: Programación de un “Slider Horizontal”	61
Figura 27: Programación de un “User Input”.....	62
Figura 28: Otros elementos gráficos diseñados.....	62
Figura 29: Modelo en Simulink para el control del caudal de combustible.	63
Figura 30: Estructura de las comunicaciones.....	64
Figura 31: Parámetros de configuración del nodo OPC.....	65
Figura 32: Nodo y grupos OPC.	66
Figura 33: Propiedades del nodo OPC presión.	66
Figura 34: Variables asociadas al grupo OPC presión	67
Figura 35: Access Names creados.	68
Figura 36: Configuración del acces name TFG_Presion.	68
Figura 37: OPC toolbox.....	69

Figura 38: Configuración bloque “OPC configuration” .	70
Figura 39: COnfiguracion del bloque OPC configuration.	70
Figura 40: Bloques OPC Read y OPC Write.	71
Figura 41: Configuración del bloque OPC Write.	71
Figura 42: Comunicaciones en una planta real.	72
Figura 43: Conexiones Window Viewer y Window Maker.	73
Figura 45: Ventana “Información” .	74
Figura 44: Menú principal	74
Figura 46: Variables principales.	75
Figura 47: Display de alarmas.	76
Figura 48: Aspecto de la aplicación al ser iniciada.	77
Figura 49: Ventana de identificación.	78
Figura 50: Identificación de usuarios.	78
Figura 51: Modificación de contraseña.	79
Figura 52: Modificación de permisos de los usuarios.	79
Figura 53: Interfaz control de presión.	80
Figura 54: Interfaz control de nivel.	81
Figura 55: Botones START y STOP.	82
Figura 56: Cajetin fondo Amarillo.	82
Figura 57: Cajetín fondo gris.	82
Figura 58: Interfaz gráfica controlador PID.	83
Figura 59: Desplegable para seleccionar el tipo de ecuación.	84
Figura 60: Desplegable para seleccionar el tipo de algoritmo.	84
Figura 61: Valores P, I y D.	84
Figura 62: Boton de acceso conf. avanzada.	84
Figura 63: Interfaz gráfica controlador PID con configuración avanzada.	85
Figura 64: Gráfico histórico.	86
Figura 65: Ajuste de eje de ordenadas en gráficos históricos.	87
Figura 66: Herramientas de tiempo de gráficos históricos.	87
Figura 67: Control de tiempo de visualización en graficos históricos.	87
Figura 68: Control de desplazamiento en gráficos históricos.	88
Figura 69: Vista general de las variables definidas en el grupo TFG.	89
Figura 70: Vista general de las variables del subsistema de control del nivel de la caldera.	89
Figura 71: Salto escalón en la presión, de 20 a 24 bares.	90
Figura 72: Concncración de oxígeno en los humos. (%)	90
Figura 73: Caudal de fuel oil (T/h).	91
Figura 74: Caudal de fuel gas (m ³ /h).	91
Figura 75: Nivel de agua en el calderín (%).	92

Figura 76: Icono InTouch.....	98
Figura 77: Ventana principal InTouch.	99
Figura 78: Proceso de creación de una nueva aplicación.	99
Figura 79: Pestaña File.	101
Figura 80: Configuración de propiedades de las nuevas ventanas.....	101
Figura 81: Barra de herramientas de dibujo.	103
Figura 82: Barra de herramientas de los Wizards.....	103
Figura 83: InTouch Symbols.	103
Figura 84: ArchestrA Symbols.	104
Figura 85: Animation Links.....	105
Figura 86: Slider circular.....	105
Figura 87: Configuración animaciones ArchestrA Symbol.	105
Figura 88: Funcionamiento de las variables de tipo indirecto.....	107
Figura 89: Window Maker, acceso al Tagname Dictionary.....	108
Figura 90: Botón New.....	109
Figura 91: Propiedades básicas de un tagname.....	109
Figura 92: Tipos de variables.....	109
Figura 93: Propiedades de variables enteras y reales.	110
Figura 94: Deadband.	110
Figura 95: Log Deadband	111
Figura 96: Propiedades de las variables de tipo discreto.	111
Figura 97: WindowMaker, Configuración variables E/S.	112
Figura 98: Tipos de Scripts	114
Figura 99: Windows Maker, Discrete Alarms.....	115
Figura 100: Windows Maker, Value alarms.	115
Figura 101: Desviation alarm.	116
Figura 102: Alarma rate of change.....	116
Figura 103: Creación de visualizador de alarmas.....	117
Figura 104: Activar Log Events.	117
Figura 105: Acceso a la creación de un Access Name.....	119
Figura 106: Creación de un Access Name.	120
Figura 107: Configuración de un Acces Name.	120
Figura 108: Acceso a la configuración de la seguridad	123
Figura 109: Creación y configuración de usuarios.	124
Figura 110: Gráfica de tiempo real.	125
Figura 111: Graficas de tipo tiempo-histórico.	126
Figura 112: Complementos de control para gráficas de tiempo-histórico.....	126
Figura 113: Configuración gráficos históricos.....	126
Figura 114: Selecccion de las variables que se desea representar.....	127

Figura 115: Configuración de la herramienta de control de tiempo.	128
Figura 116: Botón runtime.	129
Figura 117: Acceso a WindowViewer desde InTouch.	129
Figura 118: SMC, Jerarquía de acceso a FS Gateway.	131
Figura 119: SMC, Añadir objeto OPC.	132
Figura 120: SMC, propiedades de un objeto OPC.	132
Figura 121: Creación Grupo OPC.	133
Figura 122: Propiedades grupo OPC.	133
Figura 123: Botón Browse OPC Items	134
Figura 124: Ventana OPC Item Browser.	134
Figura 125: SMC, Pestaña Device Items.	135
Figura 126: Distintas formas de acceso al Server List Configuration.	137
Figura 127: Server List Configuration.	138
Figura 128: Trend, ventana principal.	139
Figura 129: Valores históricos y estadísticos.	139
Figura 130: Desplazamientos temporales.	139
Figura 131: Ajuste de rangos de tiempos.	139
Figura 132: Herramientas de zoom.	140
Figura 133: Servers.	140
Figura 134: Tags.	140
Figura 135: Filter.	141
Figura 136: Informacion de las variables.	141
Figura 137: Query, ventana principal.	142
Figura 138: Query Toolbar	142
Figura 139: Query, panel columns	142
Figura 140: Query, panel results.	143
Figura 141: Microsoft Excel, herramientas de Wonderware Historian.	143
Figura 142: Microsoft Word, herramientas de Wonderware Historian.	143
Figura 143: Bloque ISA con su respectiva identificación.	158

Índice de tablas:

Tabla 1: Valores límite de las alarmas.....	56
Tabla 2: Objetos gráficos creados.	58
Tabla 3: Símbolos matemático y su significado.	158
Tabla 4: Código de identificación de instrumentos ISA.	160

Introducción:

La automatización y el control de procesos, comenzaron a despertar interés entre las industrias alrededor de los años cincuenta, donde se empezaron a implantar las primeras soluciones en automatización y control de procesos. Durante estos años, cada industria trataba de solucionar sus propios problemas, lo que hacía que estas primeras soluciones fueran muy concretas y específicas para cada industria.

A medida que estos sistemas de control se fueron desarrollando, se hicieron cada vez más complejos y con un carácter más generalista, pero cuanto más grandes se hacía los sistemas de control, el número de variables que se hacía necesario controlar, también aumentaba.

Debido a ello, surgieron los primeros cuadros de control, donde multitud de luces indicaban las diferentes situaciones previstas de la máquina. Cualquier situación imprevista, o pasada por alto, podía significar varias horas de trabajo de electricista para llevar la señal olvidada al panel de control.

La aparición de los primeros ordenadores, supuso un punto de inflexión en cuanto al control de procesos. Los antiguos y costosos cuadros de control dieron paso a pioneros “sistemas informáticos” que permitían realizar algunas acciones muy concretas de control.

A pesar de la aparición de los primeros ordenadores en los años sesenta, el verdadero punto de inflexión llegó en la década de los setenta, con la aparición del microprocesador, que permitía la integración de todos los elementos básicos del ordenador en un sólo circuito integrado. En esa misma década, la aparición de técnicas de intercambio de información entre aplicaciones, como DDE (Dynamic Data Exchange), simplificó en gran medida el desarrollo de software.

De este modo en la década de los ochenta, la mayoría de las empresas disponían de herramientas software que permitían el control y la supervisión de las variables de los procesos, que es lo que se conoce actualmente como SCADAs.

Con el paso del tiempo, los sistemas SCADA se fueron mejorando hasta que se convirtieron en herramientas indispensables dentro de la automatización industrial. Ello se debía, a que estos sistemas permitían (y permiten) a los ingenieros de cualquier empresa llevar un control exhaustivo de todos los dispositivos en tiempo real y, además, crear alarmas y advertencias para corregir las posibles desviaciones.

En este sentido, con el presente trabajo de fin de grado se busca adquirir los conocimientos necesarios para poder desarrollar un sistema SCADA mediante

el paquete software, Wonderware System Platform. Con él se busca desarrollar un sistema SCADA totalmente funcional, es decir, que sea capaz de adquirir, registrar y manipular información procedente de procesos de control de plantas reales.

Dado que la posibilidad de disponer de una planta industrial real no es viable, se ha utilizado un simulador de una caldera de vapor industrial la cual dispone de una capa de comunicación OPC. A pesar de ello, la funcionalidad de la aplicación no se ve mermada, dado que bastaría con sustituir la simulación por un servidor OPC que recibiera los valores de los sensores y actuadores del proceso, y automáticamente la aplicación SCADA sería capaz de controlar y supervisar el proceso real.

Objetivos:

1. Conocer el manejo de Wonderware, que se trata de uno de los líderes en el mercado de los softwares orientados a la gestión de operaciones industriales en tiempo real.
2. Conocer el estándar de comunicación OPC, que se trata de uno de los estándares más importantes en el campo del control y supervisión de procesos industriales.
3. Profundizar en el conocimiento de los controladores PID, una de las formas de control presente en prácticamente cualquier tipo de industria.
4. Conocer los distintos sistemas de control involucrados en el funcionamiento de una caldera industrial.
5. Desarrollar un sistema SCADA destinado al aprendizaje del manejo y gestión de los sistemas de control de una caldera acuatubular de alta presión.

Desarrollo del TFG

Capítulo 1:

Introducción Teórica

1.1 SCADA

El término SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) es un término muy utilizado hoy en día en prácticamente cualquier sector industrial, e incluso también en sectores no industriales como el control del tráfico, en los sistemas de transmisión y distribución o sistemas de generación de energía. Pero detrás de este concepto, existe un proceso histórico de más de 50 años de desarrollo.

Es difícil determinar el origen de este término, pero la mayoría de los autores consideran su origen en los años 60. En esta época, la necesidad de controlar y monitorizar procesos cada vez más grandes, llevó a los ingenieros a buscar soluciones para conseguir estos objetivos.

La aparición de los primeros ordenadores vino de la mano con la aparición de los primeros SCADA, que inicialmente requerían en gran medida de la acción humana para poder llevar a cabo las acciones de control. Esto, unido al poco desarrollo de la informática, hacía que los sistemas fuesen caros, muy voluminosos, difíciles de operar y en definitiva, ineficientes.

Hoy en día gracias al desarrollo tecnológico, los sistemas SCADA proporcionan grandes beneficios y ventajas en los sistemas de control industrial, y pueden definirse como softwares de monitorización y control, que permiten gestionar sistemas industriales automáticos por medio de la adquisición y el análisis de datos procedentes de dispositivos remotos.

Dentro de los componentes principales que se pueden identificar en un SCADA son:

1. **MTU (Master Terminal Unit):** Es el corazón de un sistema SCADA. Es el encargado de iniciar la comunicación, recoger la información, almacenar la información en la base de datos y enviar información a otros sistemas. Permite a los usuarios llevar a cabo tareas de control sobre los dispositivos de campo en función de la información recopilada.

2. **RTU (Remote Terminal Unit):** Son las encargadas de recopilar la información de los sensores a los que se encuentran conectados, proporcionársela a la MTU y posteriormente llevar a cabo las acciones de control establecidas por la MTU. En muchas ocasiones, las RTUs almacenan la información procedente de los sensores en bases de datos propias y esperan una solicitud de la MTU para proporcionarle dicha información. El ejemplo más típico de una RTU sería un PLC.
3. **Elementos de comunicación:** Proporcionan la conexión entre las RTUs y la MTU. Esta comunicación es de tipo bidireccional e ininterrumpida y puede ser cableada, inalámbrica o bien, vía internet. El tipo de topología adoptada dependerá del tipo de sistema o de aplicación a la que se aplique. En ciertos casos, como sistemas críticos se dispondrá de topologías redundantes.
4. **HMI (Human Machine Interface):** Se trata de una parte muy importante de los sistemas SCADA, ya que presenta la información del proceso al usuario pero también permiten al usuario interactuar con el proceso. Es por ello que se encuentran conectados a la base de datos de la MTU con el fin de poder proporcionar valores estadísticos del proceso, representar gráficamente la evolución de las variables, gestionar alarmas, etcétera.

Los sistemas SCADA realizan gran cantidad de funciones, pero de todas ellas se podrían destacar las siguientes funciones principales:

1. **Control supervisor:** En los sistemas SCADA, la MTU es la encargada de proporcionar las instrucciones de control como puntos de consigna o comandos de control discreto a las RTUs para que estas lleven las acciones de control correspondientes.
2. **Almacenamiento de la información y elaboración de informes:** La información recibida de las RTUs se almacena en bases de datos de forma periódica. Estas bases de datos permiten disponer de información de la evolución pasada del proceso con el fin de poder ser analizada y facilitar la toma de decisiones.
3. **Procesamiento de alarmas:** Un SCADA debe alertar al operario ante situaciones no planificadas, proporcionando para ello información del lugar de ocurrencia de la alarma, fecha, hora, dispositivo/s involucrado/s, naturaleza del error, entre otros. Estas alarmas se

programan en la MTU por medio de comparaciones entre el valor del proceso y los límites asociados a cada una de las variables.

4. **Representación gráfica de variables:** Un requisito indispensable de los sistemas SCADA es la capacidad de representar variables en tiempo real o bien variables de las bases de datos. Estos gráficos permiten analizar de forma sencilla la evolución del valor de las variables a lo largo del tiempo.
5. **Garantizar la seguridad de los datos:** Tanto el envío como la recepción de datos debe estar suficientemente protegido de influencias no deseadas. Esto se debe a que los sistemas SCADA son un punto crítico en cualquier planta industrial, ya que un fallo en el sistema SCADA puede provocar graves desajustes en el proceso e incluso provocar graves daños. Además los sistemas SCADA guardan en sus bases de datos mucha información de carácter confidencial de las empresas o parámetros de control importantes que otorgan a los productos una calidad que no debe salir del entorno de la empresa.

1.2 Industria 4.0

Desde el comienzo de la era industrial, se han experimentado una serie de puntos de inflexión, donde la introducción de una nueva invención ha cambiado radicalmente los procesos de fabricación y de producción. Hoy en día, el sector industrial y de alta tecnología se encuentra en uno de estos importantes puntos de inflexión y es la Industria 4.0.

La Industria 4.0 se trata de una era en la que la tecnología de los sensores y la interconectividad de las máquinas (el internet de las cosas) están impulsando la industria. La industria 4.0, que se encuentra actualmente en sus comienzos, promete nuevos niveles de eficiencia de proceso, tiempos de inactividad de la maquinaria nulos y la capacidad de fabricar a "tamaño de lote uno", es decir, productos altamente personalizados producidos a un costo razonable para el consumidor.

Mientras que los fabricantes están de acuerdo en que la industria 4.0 trae avances beneficiosos, se pasa por alto lo que debería ser un elemento crucial de la estrategia de cualquier empresa; y es el manejo de la información. Son los datos los que están en el corazón de industria 4.0, cuantos más dispositivos sean capaces de comunicarse o más sensores estén instalados, más datos se generarán. Este volumen de datos y la variedad de fuentes, es

algo a lo que la comunidad industrial nunca antes ha tenido que enfrentarse. Es por ello que existen un conjunto de puntos clave a la hora del tratamiento de la información:

1. **Almacenamiento de datos.** Los sensores proporcionan una gran cantidad de datos, no todos los cuales serán inminentemente útiles. Es por ello que las empresas necesitan tomar decisiones sobre la tecnología y la filosofía de almacenamiento apropiado, es decir, qué datos se necesitan, cuándo, dónde y con qué rapidez, ya que estos factores influyen en el costo del almacenamiento.
2. **Manejo estratégico de los datos:** Las decisiones sobre preguntas como qué información compartir, con quién y qué beneficio se obtiene compartiendo dicha información son cada vez más importantes. Es por ello que encontrar el equilibrio entre compartir y proteger la información será un aspecto estratégico clave para cualquier empresa.
3. **Obtener informes de los datos.** La posibilidad de poder analizar e interpretar los datos obtenidos permitirá un ahorro de los costes de producción y el aumento de la eficiencia de los procesos.

1.3 Protocolo OPC

Hoy en día, la automatización se utiliza prácticamente en la totalidad de las industrias existentes. Cada una de estas industrias utilizan a menudo diferentes dispositivos especializados, sistemas de control y aplicaciones; pero todas ellas comparten un desafío común y es el hecho de compartir toda esta información entre todos estos componentes y el resto de la empresa.

Antiguamente, los vendedores de estos instrumentos, utilizaban protocolos de comunicación propios, que estaban destinados a la comunicación de dispositivos concretos. Esto provocaba que cada aplicación requiriera de un driver específico para comunicarse con cada uno de sus respectivos dispositivos. Además estos drivers no tenían un carácter genérico dado que cada aplicación utilizaba su propio formato de datos.

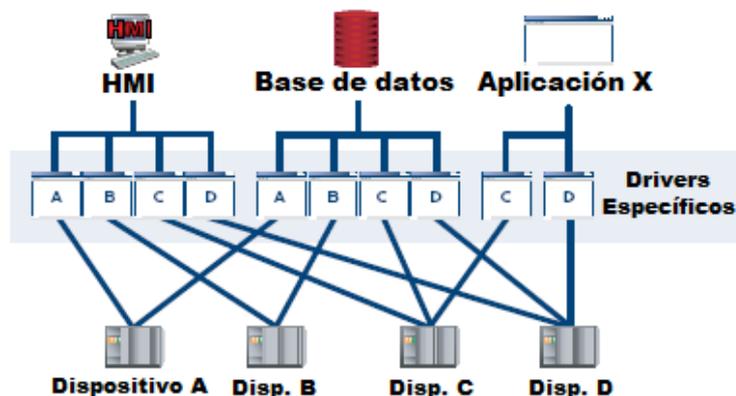


Figura 1: Arquitectura con drivers específicos.

Esta situación por tanto, suponía un gran problema de integración, sobre todo para grandes plantas industriales ya que existía una proliferación de drivers específicos para cada dispositivo, lo que se traducía en problemas como:

- Duplicación de esfuerzos.
- Inconsistencias entre fabricantes.
- Problemas de compatibilidad.
- Conflictos de acceso.

Bajo estas circunstancias nació OPC, que son las siglas de OLE for Process Control, y que buscaba dar una solución al problema de comunicar distintos dispositivos, controladores o aplicaciones, evitando los problemas de conectividad debidos a los múltiples protocolos existentes.

En este sentido, OPC define un estándar de comunicación en el campo del control y supervisión de procesos industriales a través de una arquitectura basada en una tecnología Microsoft.

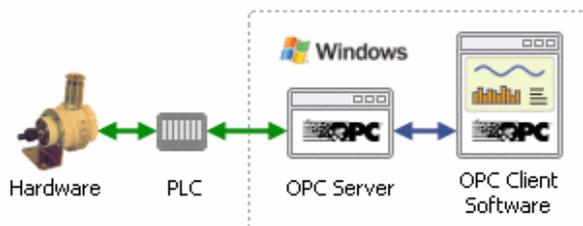


Figura 2: Comunicaciones hardware – software via OPC.

Este tipo de comunicación, se realiza a través de una arquitectura cliente-servidor, en la que el servidor OPC actúa como un driver estandarizado llevando a cabo tareas de traducción entre el protocolo de la fuente de datos y el protocolo OPC, y por otro lado el cliente OPC, que también se puede considerar como un driver estandarizado, pero que lleva a cabo una

traducción de protocolos entre el protocolo OPC y el protocolo del dispositivo o aplicación, que actúa como receptor de datos.

Es por esta razón por la que OPC puede entenderse como una capa entre una fuente y un receptor de datos, que permite que ambos se comuniquen sin que uno sepa nada sobre el formato de datos que presenta el otro.

El valor del estándar OPC reside en que se trata de un estándar abierto, lo que se traduce en menores costes para los fabricantes y un mayor abanico de posibilidades para los usuarios.

Los fabricantes de elementos hardware sólo necesitan proporcionar un único servidor OPC para que sus dispositivos se comuniquen con cualquier cliente OPC y los fabricantes de software, sólo tienen que incluir capacidades de cliente OPC en sus productos y se convierten de este modo en compatibles con cualquier dispositivo hardware.



Figura 3: Esquema comunicaciones OPC.

Capítulo 2:

Calderas industriales de producción de vapor

2.1 Introducción:

La planta sobre la que se desarrolla este trabajo de fin de grado se trata de una caldera de vapor de alta presión de tipo acuotubular, la cual se encuentra alimentada por dos combustibles, fuel oil y fuel gas. La combustión de ambos, permite obtener el calor necesario para aumentar la temperatura del agua hasta su punto de ebullición y así poder obtener un determinado caudal de vapor.

A la hora de diseñar cualquier sistema de control de forma adecuada, se deben tener claros los objetivos que se persiguen con dicho sistema de control. Para el caso concreto de las calderas de vapor, existen dos objetivos básicos que son:

1. El arranque, la parada y el funcionamiento de la caldera, deben realizarse siempre de forma segura. Es por ello, por lo que la posibilidad de vigilar y detectar condiciones inseguras, será un requisito indispensable a la hora del diseño del sistema de control.
2. La caldera debe ser capaz de proporcionar un suministro continuo de vapor a la presión requerida.

Para la consecución de los mencionados objetivos, la totalidad del sistema de control se encuentra dividido en dos sistemas principales:

1. Sistema combustible - aire - gases.
2. Sistema agua-vapor.

Cabe mencionar que los sistemas que se describen en el presente trabajo de fin de grado están desarrollados desde el punto de vista del control de procesos, por lo que sólo se hace alusión a aquella instrumentación que es necesaria para el correcto funcionamiento del sistema de control.

2.2 Objetivos sistema agua – vapor:

De acuerdo con los objetivos básicos que debe cumplir el sistema de control de la caldera, se procede a analizar el sistema de agua – vapor:

2.2.1 Seguridad:

Desde el punto de vista de la seguridad, el conjunto de variables que se deben vigilar para poder garantizar un funcionamiento correcto son las siguientes:

- a) **Nivel de agua en el calderín:** El agua contenida en el calderín permite llenar el conjunto de tubos por los que circula el agua que será evaporada. Una excesiva disminución del nivel, puede dejar vacíos algunos de estos tubos de la caldera, los cuales pueden verse sometidos a sobrecalentamiento y por ende a su deterioro. Por el contrario, un excesivo aumento del nivel de agua, puede provocar una contaminación por agua líquida del vapor que se dirija hacia elementos posteriores.

Con el fin de evitar las mencionadas situaciones, el calderín dispone de un medidor de presión diferencial, el cual permite calcular el nivel del agua dentro del calderín.

- b) **Presión en el calderín:** Una caldera se trata de un dispositivo que trabaja a presión, es por ello que debe cumplir el conjunto de normas que se encuentran recogidas en [10]. Entre otras normas, se establece que ante situaciones en las que la presión dentro del calderín exceda los límites de diseño de la caldera, se debe cortar de inmediato la aportación energética en cualquiera de sus formas.

Para evitar este tipo de situaciones ante un fallo en el sistema de control, el calderín dispone de un sensor de presión conectado a un sistema de alarmas, las cuales se activan si se superan los valores de presión máximos permitidos y generan una señal con el fin de cortar el suministro de combustible.

2.2.2 Suministro continuo:

Una vez analizadas las variables que permiten asegurar un funcionamiento de la caldera en condiciones de seguridad, se procede a evaluar cuales son aquellas variables que se hace necesario controlar para poder mantener un caudal de vapor continuo en las condiciones establecidas:

- a) Para poder mantener el nivel de agua del calderín en el punto de consigna establecido, se deberá controlar:
- Caudal de vapor de salida.
 - Caudal de alimentación de agua fresca.
 - Caudal de purga.
 - Nivel del calderín

Se deberá realizar un balance de los caudales que entran y salen del calderín, con el fin de mantener constante dicho nivel de agua.

- b) El vapor producido debe poder cumplir las condiciones de caudal y presión fijadas, para ello se hace necesario controlar:
- La presión de salida del vapor.
 - La presión dentro del calderín.
 - El caudal de salida de vapor.

La presión del calderín se mantendrá con la aportación de combustible y oxígeno necesario, y tanto el caudal como la presión de salida, se regularán por medio de una válvula a la salida de la caldera en función de la presión del calderín.

2.3 Objetivos sistema combustible – aire – gases:

Este sistema, por tratarse de un sistema algo más complejo que el anterior y con el fin de proporcionar una mayor claridad en la exposición, se ha dividido a su vez en dos subsistemas:

- 1 Subsistema aire – gases.
- 2 Subsistema de combustible.

Del mismo modo que para el caso del sistema agua – vapor, se va a analizar cada uno de los subsistemas mencionados en base a los objetivos básicos de cumplimiento de sistemas de control de calderas de vapor:

2.3.1 Objetivos subsistema aire – gases:

2.3.1.1 Seguridad:

En este subsistema sólo se hace necesario vigilar una única variable para poder garantizar un funcionamiento seguro:

- a) **Concentración de oxígeno en los humos:** Una reacción de combustión se basa en la reacción química exotérmica, de una sustancia (o sustancias) llamada combustible, con el oxígeno. Para el caso concreto de esta caldera de vapor, el oxígeno se proporciona por medio del aire el cual contiene aproximadamente un 21% de oxígeno.

Cada uno de los diferentes tipos de procesos de combustión existentes, requiere de una cantidad de oxígeno mínima para que se pueda producir la oxidación completa del combustible. Esta cantidad mínima de oxígeno, viene fijada por las relaciones estequiométricas que se establecen en la reacción.

Si la cantidad de oxígeno se encuentra por debajo del valor estequiométricamente requerido por la reacción, se producirá una combustión incompleta del combustible, lo que provocará la presencia de productos como monóxido de carbono en los humos así como de combustible inquemado.

Con el fin de evitar esta situación, a la salida de los gases de combustión se dispone de sensor de oxígeno el cual analiza la concentración de oxígeno en los humos. Si dicha concentración es superior al 0%, esto indicará que la combustión está siendo teóricamente completa.

Puede parecer lógico pensar en base a las afirmaciones anteriores, que interesará que el porcentaje de oxígeno en los humos sea lo mayor posible para tener así más garantías de que la combustión está siendo completa, y realmente esto es así. Pero al introducir una mayor cantidad de aire en la caldera, ese aire también deberá calentarse y por tanto también se necesitará una mayor cantidad de combustible.

Otra opción podría haber sido controlar el porcentaje de CO_2 en los humos, pero el control del porcentaje de CO_2 , presenta el problema de que su valor puede ser idéntico tanto en condiciones óptimas como inseguras (ver figura 4) por lo que su uso como índice de la calidad de la combustión se descarta.

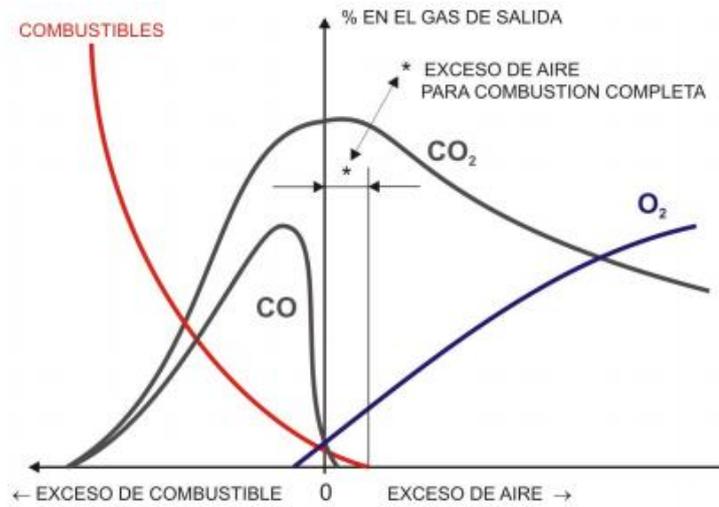


Figura 4: Relación O₂ con CO₂ y CO.

2.3.1.2 Suministro continuo:

Para poder garantizar un caudal continuo de vapor a la presión deseada es necesario controlar:

- Caudal de entrada de aire:** El aire de entrada a la caldera proporciona el oxígeno necesario para poder llevar a cabo la combustión. La energía liberada en la reacción es la encargada de evaporar el agua para mantener la presión en el calderín. Si la cantidad de aire entrante no es la suficiente, no se liberará la energía suficiente y no se conseguirá alcanzar la presión deseada. Es por ello que el caudal de aire de combustión, debe ser ajustado a las condiciones de combustión en cada instante.

Para la consecución de este objetivo se necesitará un caudalímetro para conocer el valor del caudal de aire de combustión que está entrando en la caldera, así como de un actuador que permita regular la apertura de la válvula que permite la entrada de aire en la caldera.

2.3.2 Objetivos subsistema combustible:

Para el caso del subsistema de control del combustible, las variables asociadas tanto a la seguridad como al suministro continuo son las mismas, por lo que en este caso se analizan ambos apartados al mismo tiempo:

2.3.2.1 Seguridad y suministro continuo:

Las consideraciones de seguridad y suministro continuo asociadas al subsistema de control de combustible están vinculadas a las consideraciones de seguridad del sistema agua – vapor. Las variables que deben ser vigiladas son:

- a) **Caudal de fuel gas y fuel oil:** La cantidad de combustible entrante en la caldera influye de manera directa en la presión en el calderín, por lo que para controlar dicha presión, se hará necesario controlar el caudal de combustible entrante. Para ello se dispone de un sensor de caudal y una válvula de control, con el objetivo de modificar la aportación de caudal en función del grado de apertura de la válvula.

Ante situaciones en las que la presión del calderín supere ciertos límites, se deberá cortar por completo el suministro energético a la caldera, por lo que las válvulas deberán estar totalmente cerradas.

2.4 Objetivo económico.

Una vez analizadas las variables para la consecución de los objetivos de seguridad y de suministro continuo, se ha fijado un tercer objetivo, el cual busca minimizar el coste del combustible utilizado.

Este nuevo objetivo no puede entrar en conflicto con los dos objetivos principales fijados al inicio del capítulo, por lo que en todo momento se debe priorizar la seguridad y un caudal continuo de vapor, antes de evaluar aspectos económicos relacionados con el combustible.

Para la consecución de este nuevo objetivo se deberá evaluar las variables:

- Caudal de fuel oil.
- Caudal de fuel gas.
- Apertura válvula de fuel oil.
- Apertura válvula de fuel gas.
- Poder calorífico fuel oil.
- Poder calorífico fuel gas.
- Precio fuel oil.
- Precio fuel gas.

Con este objetivo lo que se busca es, que antes cambios en la demanda de vapor, las variaciones del combustible entrante en la caldera produzcan el mayor beneficio económico posible, es decir:

- Si la demanda de combustible aumenta, se aumentará el caudal del combustible más barato.
- Si la demanda de combustible disminuye, se disminuirá el caudal del combustible más caro.

Tras haber analizado la totalidad de las variables que se deben controlar para garantizar un funcionamiento seguro, continuo y económicamente eficiente, se hace necesario fijar un sistema de control para poder manipular dichas variables y poder cumplir así con los objetivos fijados.

2.5 Sistemas de control:

Antes de profundizar en el sistema de control utilizado, se deben dejar claros una serie de conceptos para poder facilitar al lector el entendimiento del proceso:

- **Control feedforward:** Tipo de control automático cuyo objetivo radica en la compensación de una perturbación antes de que llegue a afectar a la variable controlada. Dado que este tipo de control no es perfecto, van siempre acompañados por un control feedback (control en lazo cerrado).
- **Damper:** Elemento que proporciona una resistencia variable para regular el caudal de aire a través de un conducto.
- **FOE:** Son las siglas de fuel oil equivalente. Representa la suma ponderada de los caudales con respecto al poder calorífico del fuel oil y el fuel gas.
- **FOE entrante:** Representa FOE que está entrando en la caldera.
- **FOE demandado:** Representa el FOE necesario para satisfacer la demanda de vapor a una determinada presión.
- **FOE posible:** Representa la máxima cantidad de FOE que puede entrar en la caldera. Su valor viene limitado por el caudal de aire, ya que es necesario mantener la combustión con exceso de aire.

El sistema de control de la caldera es la herramienta mediante la cual se consiguen los equilibrios de masa y energía ante variaciones en la demanda del caudal de vapor. Es por ello que deberá existir un control sobre la cantidad de energía y masa que entran en la caldera. La medida de las distintas variables que interfieren en el proceso, permitirá llevar a cabo el mencionado control.

En la figura 5 se muestra un esquema de la totalidad del sistema de control de la caldera:

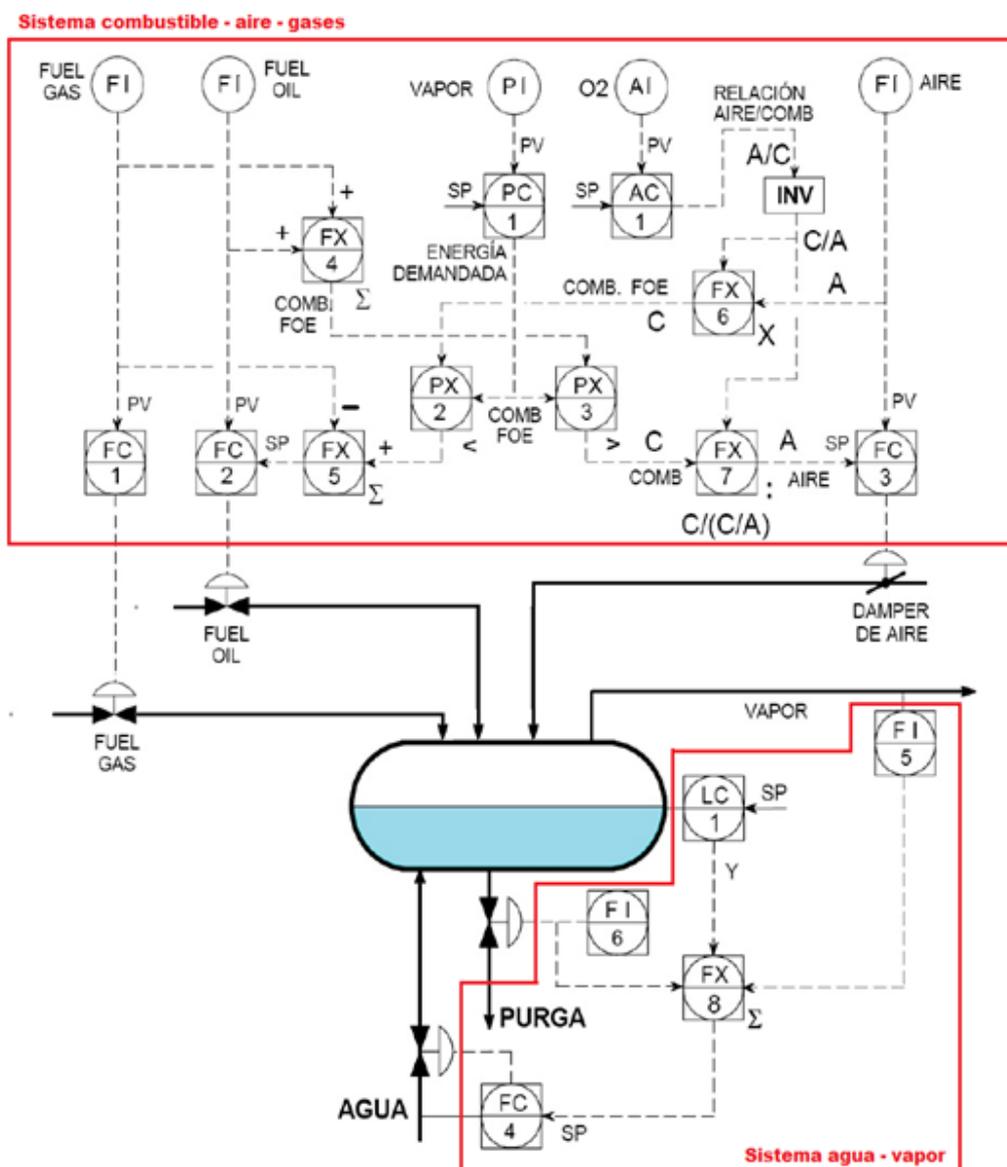


Figura 4: Sistema de control completo de la caldera.

2.6 Sistema de control combustible – aire – gases:

En la actualidad existe una gran variedad de diseños para el control de la combustión, lo que viene marcado por la gran diversidad de combustibles existentes.

El diseño que aquí se expone está limitado a combustibles de tipo líquido o gaseoso, debido a que la aportación de ambos combustibles a la caldera, se regula mediante válvulas de control.

El control implementado en este caso, se conoce con el nombre de selectores cruzados (también límites cruzados o control antihumo). Este tipo de control se caracteriza porque la cantidad de aire introducida en la caldera para el proceso de combustión, es siempre mayor a la cantidad estequiométricamente requerida. Es decir, el proceso de combustión transcurre siempre con exceso de oxígeno.

Se considera como estado inicial, un estado estacionario del sistema en el cual los controladores de combustible, concentración de oxígeno, presión y aire, se encuentran ajustados para mantener en equilibrio los valores de energía demandada y suministrada. La energía demandada viene representada por la cantidad de vapor demandado a una presión específica, mientras que la energía suministrada viene representada por el caudal de combustible entrante en la caldera.

Se pueden producir dos situaciones que alejen al sistema de su estado estacionario y que hagan necesario reajustar los caudales de combustible. Estas dos situaciones son:

- Un aumento de carga.
- Una disminución de carga.

Se analizan ambas situaciones a continuación:

2.6.1 Aumento de la carga:

Para poder entender mejor el proceso, se va a dividir este sistema en dos subsistemas, de modo que por un lado tenemos el subsistema aire – gases, que se encarga de regular la entrada de aire en la caldera y por otro lado, el subsistema de combustible, que se ocupa del cálculo del caudal de combustible que debe entrar en la caldera.

2.6.1.1 Subsistema aire – gases:

Este subsistema presenta el esquema que se muestra en la figura 6:

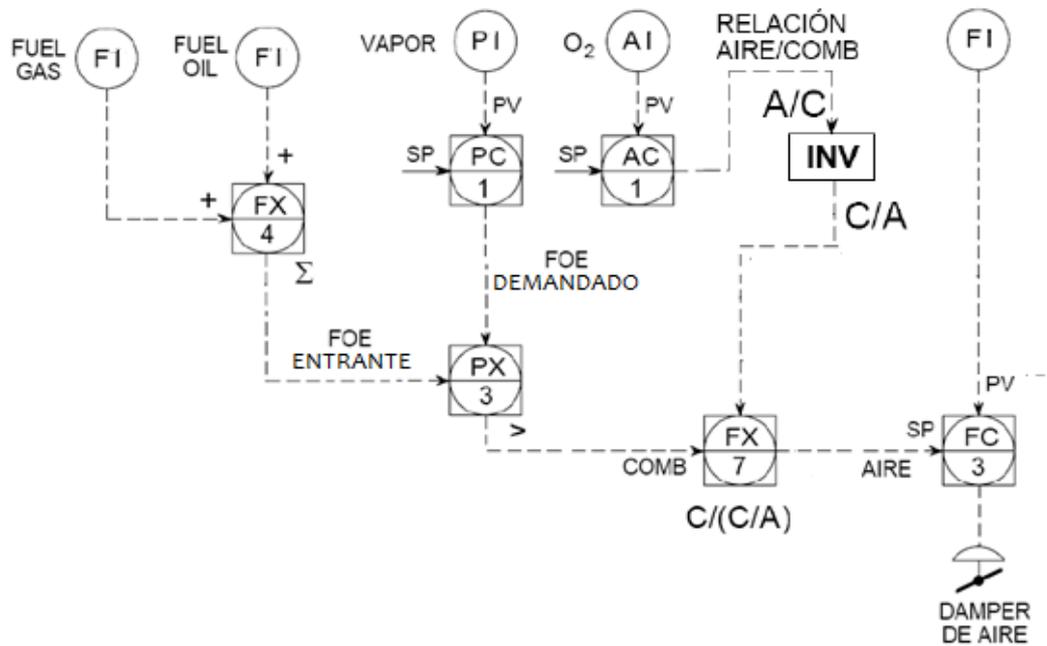


Figura 5: Subsistema aire – gases.

Un aumento de la carga, o lo que es lo mismo, un aumento de la cantidad de vapor demandada, provoca una disminución de la presión en el calderín. El controlador PC1, que se encuentra conectado al sensor de presión del calderín, detecta esta disminución y responde con un aumento del FOE demandado para poder mantener la presión.

La señal del FOE demandado llega, junto con la señal del FOE entrante, al bloque PX3. Este bloque, se trata de un bloque selector de máxima señal, por lo que dejará pasar aquella señal (variable de entrada) que sea de mayor valor e ignorará las demás. En este caso será mayor, el valor del FOE demandado que el valor del FOE entrante en la caldera.

Por otro lado, el controlador incremental AC1, a partir del análisis de la concentración de O₂ en los humos, establece la relación de aire/FOE_{entrante} con la que se va a producir la combustión en la caldera.

La salida del bloque AC1 junto con la del bloque PX3 constituyen la entrada al bloque FX7 donde se realiza el cociente de dichas entradas, obteniendo por tanto la cantidad de aire necesaria a introducir en la caldera para la cantidad demandada de combustible.

Esta señal se lleva al controlador FC3 que regula la apertura del dámper.

2.6.1.2 Subsistema combustible:

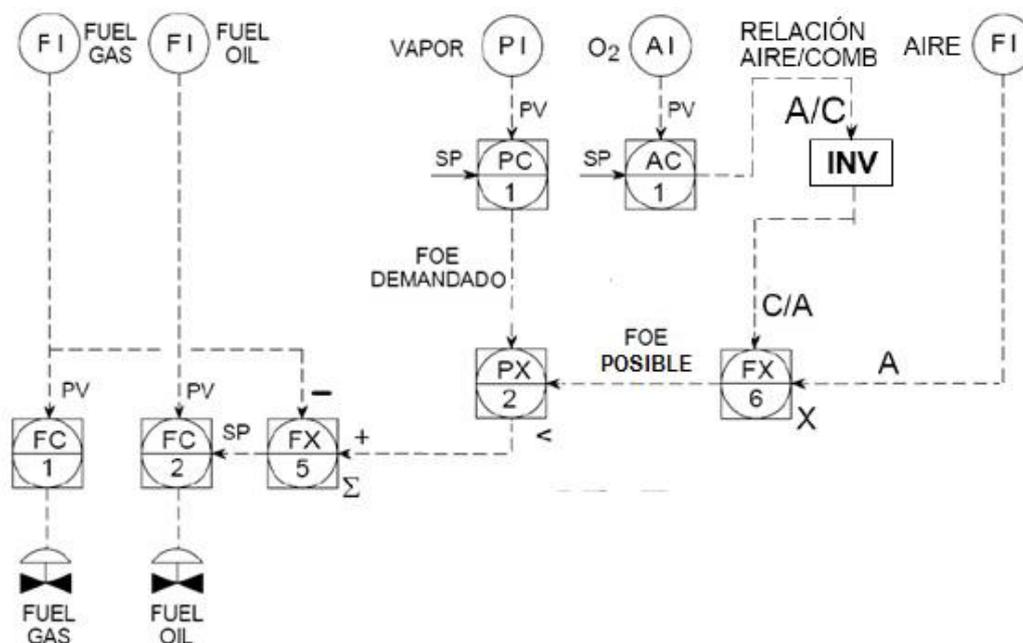


Figura 6: Subsistema combustible.

En el caso del subsistema de combustible, el punto de partida es el mismo: Ante un aumento del caudal de salida de vapor, el FOE demandado por el controlador PC1 aumenta.

Por otro lado, el cálculo del FOE posible (limitado por la cantidad de aire que está entrando en ese momento) se calcula en el bloque FX6 por medio del producto de la relación $FOE_{entrante}/aire$, fijado por AC1 y el caudal de aire que está entrando en la caldera.

El valor obtenido en FX6 junto con el valor de salida de PC1 constituyen las entradas del bloque PX2. Este bloque se trata de un selector de mínima señal, por lo que en su salida proporcionará la entrada de menor valor. La importancia de este bloque es crucial si se quiere cumplir la condición de combustión con exceso de aire, ya que las válvulas que controlan la entrada de combustible se regulan en función de la cantidad de aire que está entrando y no por medio de la energía demandada por PC1.

Finalmente, al valor de la salida de PX2 se le resta el valor del caudal de fuel gas de entrada, y se obtiene el valor del caudal de fuel oil necesario.

2.6.2 Disminución de la carga:

Ante una disminución en la carga, es decir una disminución de la cantidad de vapor demandada, el funcionamiento de ambos lazos de control es idéntico, pero se debe tener en cuenta ciertos matices:

- **Bloque PC1:** Al producirse una disminución de la carga, la presión en el calderín aumenta, por lo que la energía demandada por este controlador disminuye.
- **Bloque PX3:** Como se había dicho anteriormente este bloque se trata de un selector de mínima señal. En este caso al producirse una disminución de la energía demandada, la señal de mayor valor que llega a este bloque, será la del FOE entrante, por lo que será esta señal la que continúe hacia el bloque FX7. La importancia del bloque PX3 es de vital importancia en los casos de disminución de carga, ya que no permite que entre un caudal de aire menor al exigido por el FOE que está entrando en la caldera, es decir, la válvula de aire se regula en función del valor del caudal de FOE entrante y no mediante el valor de la energía demandada.

A modo de resumen y para facilitar un mejor entendimiento del proceso, se puede concluir que:

- Ante un **aumento de carga**, el FOE entrante no puede aumentar hasta que haya aumentado el caudal de aire.
- Ante una **disminución de carga**, el aire no puede disminuir hasta que no haya disminuido el FOE entrante
- El proceso de combustión, independientemente de la variación de carga que se produzca, siempre transcurre con **exceso de aire**.

2.7 Sistema agua - vapor.

El control de nivel de agua dentro del calderín es un proceso de control más complejo de lo que a simple vista puede parecer, ya que existen particularidades que pueden provocar un falseamiento de las medidas, lo cual puede llevar a un control ineficiente.

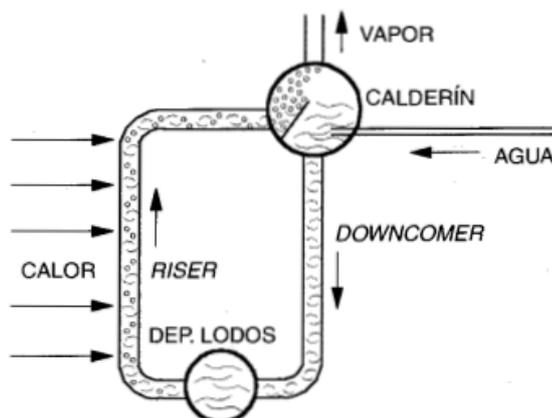


Figura 7: Esquema básico del calderín.

Dentro de estas particularidades las más importantes son la contracción y el esponjamiento que se producen en el nivel ante cambios en la demanda de vapor, y que provocan una variación inicial del nivel de agua del calderín en el sentido opuesto al que intuitivamente pueda parecer lógico.

Se explica a continuación cada una de estas particularidades:

- a) **Esponjamiento:** Fenómeno que se produce cuando la demanda de vapor aumenta de manera brusca. Este aumento de la demanda provoca una disminución de la presión dentro del calderín lo que a su vez provoca un aumento de la evaporación. Al aumentar la evaporación tanto el número de burbujas como el tamaño de las mismas aumenta y por ende el nivel de agua sube. Es decir, si el caudal de salida de vapor aumenta, el nivel de agua del calderín también aumenta inicialmente.
- b) **Contracción:** Se trata del fenómeno contrario al esponjamiento. Tiene lugar cuando se produce una disminución brusca de la demanda de vapor, lo que provoca un aumento de la presión en el calderín. Al disminuir la presión, disminuye la evaporación, lo que lleva a la disminución del número de burbujas y de su tamaño y por tanto una disminución del nivel de agua. Es decir, si el caudal de salida de vapor disminuye, el nivel de agua del calderín también disminuye inicialmente.

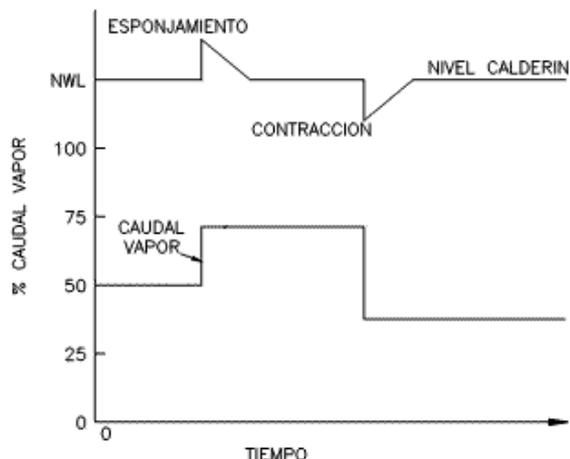


Figura 8: Fenómenos de contracción y esponjamiento.

Ambos procesos tienden a equilibrarse en relativamente pocos tiempo, pero en los primeros momentos pueden provocar que el sistema responda en dirección inversa a la correcta.

Es por ello, que en base a todo lo anterior, se debe diseñar un sistema de control del nivel de agua que responda rápida y suavemente a los cambios de carga, para mantener constante el agua almacenada.

En función del uso de la caldera, existen diferentes sistemas de control más o menos eficientes. En este caso, al tratarse de una caldera industrial que puede llegar a trabajar con presiones de hasta 60 bares y donde existe la posibilidad de cambios de carga bruscos, se ha optado por el denominado control a tres elementos. Su estructura se muestra en la figura 10:

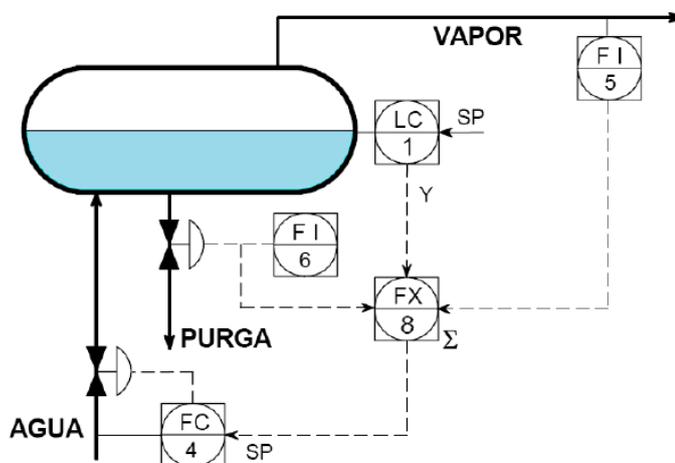


Figura 9: Control a tres elementos.

Este sistema utiliza como variables de proceso: el caudal de vapor, el nivel del calderín y el caudal de agua de alimentación.

La variable de caudal de vapor (FI5) es utilizada como señal feedforward para anticipar las necesidades de aportación de agua, siendo la señal procedente del controlador de nivel de agua (LC1) la señal de feedback. Por medio del mencionado control feedforward se establece una relación entre el caudal de vapor de salida (FI5) y la posición de la válvula de agua de alimentación (FC4).

Es importante que está relación no cambie, ya que de hacerlo se producirían errores en el sistema de control. Es por ello que se hace necesario controlar la presión del caudal de agua de alimentación (PI2), ya que para un mismo valor de apertura de la válvula, el caudal que circula a través de ella dependerá de dicha presión.

El efecto que la variación de la presión de suministro produce, se puede observar en la figura 11:

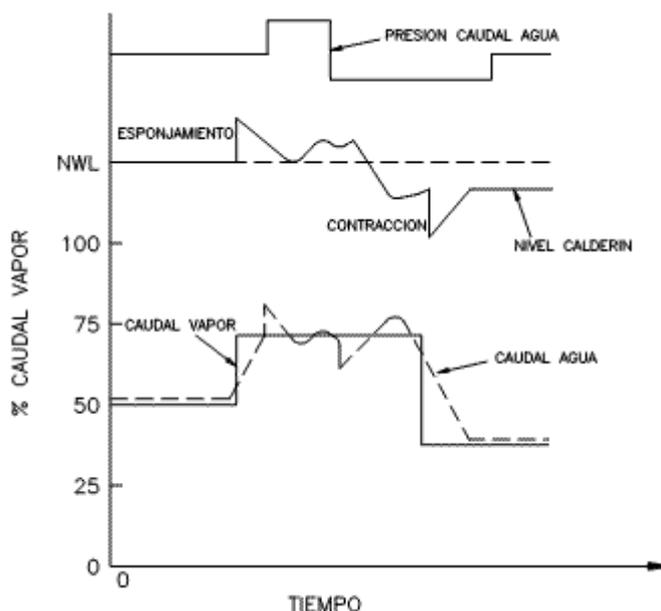


Figura 10: Efecto de la presión de suministro sobre el sistema.

El caudal de purga de purga (FI6); suele ser un caudal de un valor muy reducido y en caso de ser distinto de cero, a efectos de control su valor se suma al caudal de vapor.

Finalmente el conjunto de estas variables se lleva al bloque FX8 y se genera se señal de control de apertura de la válvula de alimentación de agua.

Si se desea conocer el algoritmo de control PID del proceso, así como el restos de operaciones para el calculo de variables intermedias, puede consultarse el Anexo 2.

2.8 Sistema de control del precio del combustible.

Este sistema de control se ocupa de calcular el caudal que tiene que entrar de cada combustible en función de su precio con el objetivo de obtener el mayor rendimiento económico.

Como punto de partida utiliza el valor de FOE demandado por la caldera; en función del tipo de variación que se produzca en el caudal de vapor pueden producirse dos situaciones:

- a) **Aumento del caudal de vapor:** Ante esta situación, se va a requerir un aumento de la cantidad de combustible entrante en la caldera, por lo que se aumentará el caudal de combustible más barato en función de su poder calorífico.
- b) **Disminución demanda de vapor:** En esta ocasión, la cantidad de combustible entrante en la caldera se debe reducir, es por ello que se reducirá el caudal del combustible más caro.

Para la implantación de este sistema de control se ha hecho uso del software Matlab y en concreto de la extensión Simulink. Simulink incluye una toolbox específica para la comunicación vía OPC denominada “OPC toolbox” cuya configuración para poder conectarse con el servidor OPC se describe en el apartado 3.4.2.

El sistema de control implementado consta por un lado de cinco variables procedentes del servidor OPC que son:

- **FC1_SP:** Punto de consigna de la válvula de fuel gas.
- **FC1_PV:** Caudal de fuel gas entrante.
- **FC2_PV:** Caudal de fuel oil entrante.
- **FC2_SP_local:** Punto de consigna de la válvula de fuel oil.
- **PX2:** Caudal de FOE demandado.

Y por otro lado dispone de dos variables constantes que son:

- **P_fueloil:** Precio del fuel oil en €/L.
- **P_fuelgas:** Precio del fuel gas en €/L.

Otras variables como densidades o poderes caloríficos de los combustibles se han implementado como ganancias en el sistema de control.

Respecto a las variables de salida se dispone de FC1_SP.

2.9 Sistemas de enclavamiento:

La norma UNE-EN 1088:1996 (Vease referencia [3]) define dispositivo de enclavamiento como *“Un dispositivo de protección mecánico, eléctrico o de cualquier otra tecnología, destinado a impedir el funcionamiento de ciertos elementos de una máquina bajo determinadas condiciones”*.

Es por ello que en toda caldera debe existir siempre un sistema de protección o enclavamiento que garantice unas condiciones de operación. Generalmente, este sistema se encuentra vinculado de forma directa con la combustión.

Los sistemas de enclavamiento asociados a calderas industriales de combustión son sistemas muy complejos que requieren de un profundo estudio. Es por ello que a continuación, y de forma más simplificada, se describen las acciones más importantes que se deben cumplir antes de encender una caldera:

- Es necesario efectuar una purga con aire a un caudal especificado y durante una duración también especificada. Esto se realiza con el fin de asegurar que no existen combustibles en la cámara de combustión que puedan crear una atmósfera explosiva.
- Las posiciones de las válvulas de combustible deben encontrarse en las posiciones que especifique la normativa vigente.
- El nivel de agua en el calderín debe encontrarse entre unos límites fijados.
- Los valores de presión de entrada de combustible deben encontrarse dentro de los rangos definidos.

Habitualmente todas estas condiciones, así como otras muchas más, están predefinidas en el sistema de enclavamiento, el cual incluye además detectores de llama y secuencias de arranque y parada de la caldera, así

como corte o paro de la caldera en caso de falta de llama o condición insegura.

Si se desea mayor información sobre los sistemas de enclavamiento, puede consultarse la normativa BMS (Burner Management System).

Capítulo 3: Desarrollo de la aplicación SCADA

3.1 Introducción:

Para la implementación de la aplicación SCADA del presente trabajo de fin de grado, se ha hecho uso del entorno de desarrollo Wonderware System Platform 2014 R2. Dicho entorno, se basa en una arquitectura denominada ArchestrA, la cual se fundamenta a su vez en la arquitectura tecnológica .NET de Microsoft.

Wonderware System Platform incluye distintos programas, pero todos ellos se encuentran articulados en torno al software “*Industrial Application Server*”, el cual permite desarrollar el entorno HMI y actúa como motor de ejecución de la totalidad del paquete, interconectando:

- **Wonderware Historian:** Proporciona servicios de almacenamiento y gestión de la información. Se trata de una base de datos.
- **Information Server:** Proporciona distintos servicios vía web.
- **Data Acquisition Server:** Conjunto de drivers que permiten la comunicación con los dispositivos de campo. Se le suele denominar DA Server.

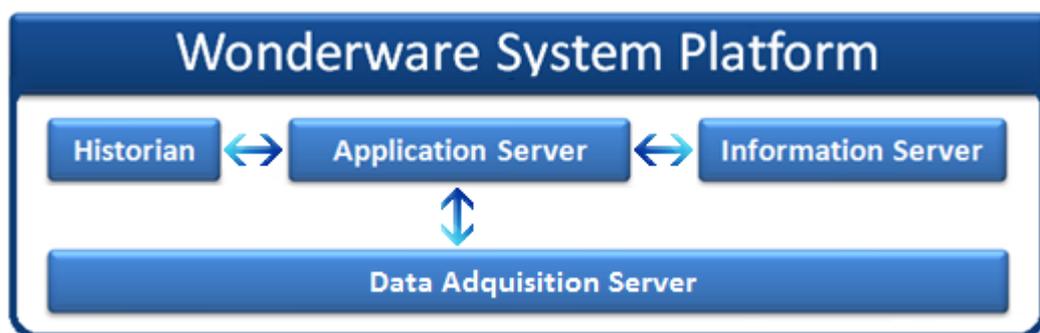


Figura 11; Componentes de Wonderware System Platform.

Por otro lado, se dispone también de otro paquete software denominado Wonderware Client. Este paquete, como su nombre indica, está destinado al cliente e incluye:

- **InTouch Window Viewer:** Permite la visualización e interacción con el HMI.
- **Wonderware Historian Client:** Se trata a su vez de otro paquete de programas destinados a la consulta, el análisis y la interpretación de las bases de datos. En función de cómo se desee visualizar esta información, se puede distinguir:
 - **Historian Client Trend:** Visualización de los datos en forma de gráficos.
 - **Historian Client Query:** Visualización de los datos en forma de tablas.
- **Information Server:** Permite el acceso a los servicios web.



Figura 12: Componentes de Wonderware Client.

Cada uno de los programas que forman ambos paquetes (Wonderware System Platform y Wonderware Client) no actúan de forma independiente, sino que todos ellos se encuentran interconectados de una forma u otra en función del tipo de aplicación SCADA que se implemente.

Para el caso de la aplicación SCADA desarrollada en el presente trabajo de fin de grado, el esquema de las interconexiones existentes entre los distintos programas puede verse en la figura 13:

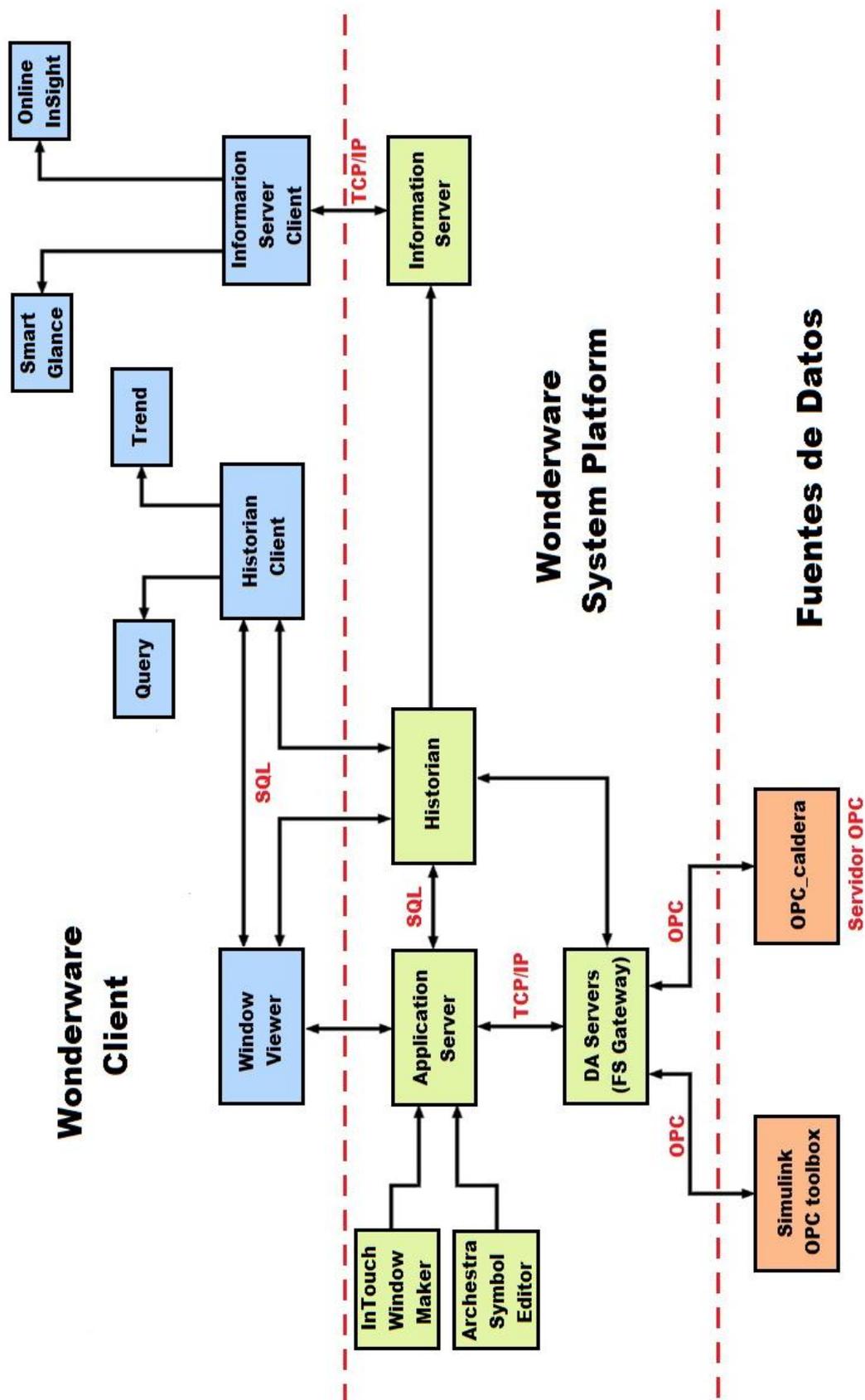


Figura 13: Esquema global de la aplicación.

Una vez descrita la estructura general de la aplicación SCADA, en este capítulo se va a explicar el proceso de creación de la aplicación mediante Wonderware System Platform y Matlab, y en el capítulo 4, se va a explicar el modo de utilización de la aplicación por medio de Wonderware Client.

Dada la complejidad en el manejo de algunos de estos softwares, la realización de este TFG, se vio complementada con la asignatura “*Prácticas en empresa*” y “*Ampliación de prácticas en empresa*”. Las 300 horas de duración de dichas prácticas tuvieron como objetivo la familiarización y el aprendizaje en el manejo de cada uno de estos softwares, con el fin de desarrollar un primer entorno SCADA más sencillo, que sirviera como base de conocimientos para el desarrollo del entorno SCADA del presente trabajo de fin de grado.

3.2 Application Server:

Como se mencionó en la introducción, Application Server constituye el eje central de Wonderware System Platform. Dentro de Application Server se encuentra InTouch Window Maker y Orchestra Symbol Editor:

3.2.1 InTouch Window Maker:

InTouch Window Maker proporciona un entorno gráfico para poder llevar a cabo el desarrollo e implementación de entornos SCADA. La versión utilizada ha sido la 11.1, que se trata de la última versión disponible.

En función del tipo de SCADA que se desee desarrollar, Window Maker permite crear tres tipos de aplicaciones: Stand-alone applications, modern applications y managed applications.

Para el caso concreto de este trabajo de fin de grado, se ha hecho uso del tipo modern applications. Si se desea conocer más acerca de las funcionalidades y herramientas de las que dispone cada uno de los tipos de aplicaciones, así como de su proceso de creación, puede consultarse el apartado 1: “*¿Qué es InTouch? Creación de una aplicación*”, del Anexo 1.

Una vez que la aplicación fue creada y se había accedido a ella mediante WindowMaker, los pasos que se siguieron para la creación del HMI fueron:

Paso 1: Se evaluó qué elementos gráficos se necesitaban. De los elementos gráficos necesarios, se comprobó de cuáles se disponía ya de ellos en las librerías del programa y cuáles requerían ser creados desde cero por ser más específicos.

Paso 2: Con todos los elementos gráficos ya disponibles, se crearon las distintas ventanas de las que iba a disponer la aplicación.

Paso 3: A continuación se crearon las variables del proceso y se asociaron las variables a los elementos gráficos correspondientes

Paso 4: Se programaron los scripts y alarmas necesarias.

Paso 5: Por último se configuraron aspectos finales como distintos permisos de acceso a la aplicación y tiempos de inactividad.

Se analiza a continuación cada uno de estos pasos con mayor detenimiento:

Paso 1: Elementos gráficos.

El interfaz gráfico requería de una caldera, un calderín, tuberías, válvulas, símbolos de la ISA, gráficas, interfaz de control PID y numerosos elementos de menor importancia.

Prácticamente todos ellos tuvieron que ser, o bien modificados a partir de símbolos ya existentes, o ser creados desde cero. Dado que la creación o modificación de objetos gráficos, se realiza con Archestra Symbol Editor, se aborda este aspecto en el apartado correspondiente a este programa (Apartado 3.2.2 – “*Archestra Symbol Editor*”).

Durante el proceso de diseño gráfico, con el fin de tratar de manera uniforme la identificación de los distintos sistemas de control, se han respetado las definiciones y símbolos de los estándares recogidos en [7].

Paso 2: Creación de ventanas.

Una ventana se trata de un elemento que permite albergar en su interior un conjunto de objetos gráficos. Existen diversos tipos de ventanas en función del uso que se las vaya a dar o del comportamiento que se desee que tengan. Si se desea saber más acerca del proceso de creación de nuevas ventanas así como de los aspectos de configuración de los que disponen, puede consultarse el apartado 2.1: “*Creación de una nueva ventana*” del Anexo 1.

La aplicación SCADA desarrollada cuenta con un total de 42 ventanas, las cuales se estructuraron en 6 grupos:

- Ventanas asociadas a la representación del proceso (2).
- Ventanas asociadas a gráficas en tiempo real (28).
- Ventanas asociadas a los controladores (9).

- Ventana de información del proceso (1).
- Ventana de alarmas (1).
- Ventana de gráficos históricos (1).

Paso 3: Creación de variables del proceso.

La aplicación cuenta con un total de 334 variables entre variables internas y variables de entrada/salida. En InTouch a las variables se las denomina *tagnames* o simplemente *tags* y su creación y gestión, se realiza desde la herramienta denominada *Tagname Dictionary*.

El proceso de creación de nuevas variables es un proceso complejo, por lo que si se desea conocer más acerca del modo de creación de nuevas variables, pueden consultarse los apartados 3.1 y 3.2 del Anexo 1. En la figura 14 se muestran los elementos de configuración principales de los que dispone la herramienta Tagname Dictionary.

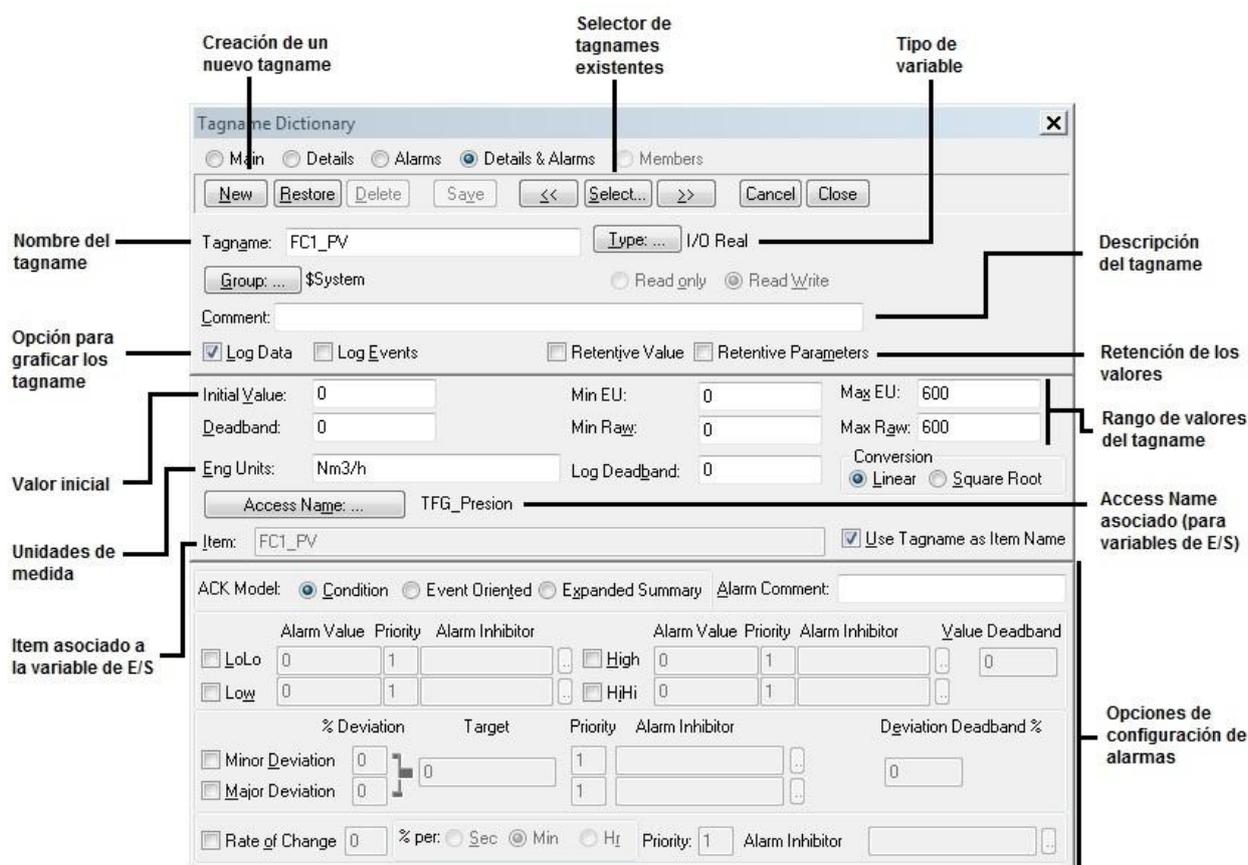


Figura 14: Parámetros de configuración Tagname Dictionary.

Para nombrar las variables necesarias para realizar el control del proceso y facilitar su identificación, se ha utilizado una codificación por la cual el nombre de cada variable se estructura en tres partes:

- **Primera parte:** Prefijo asociado al sistema de control. Las variables asociadas al control de la presión del vapor llevan el prefijo “presión” y del mismo modo las asociadas al control del nivel de agua en el calderín llevan el prefijo “nivel”. Existe un tercer prefijo, “aux” utilizado para variables como tiempo de simulación, poderes caloríficos, densidades, constantes, etc.
- **Segunda parte:** Identifica al instrumento o función al que pertenece la variable. Se ha seguido la estándar descrito en [7].
- **Tercera parte:** Sólo se usa en aquellos casos en los que un instrumento o bloque funcional tiene más de una variable asociada.

Finalmente, cada una de las partes que constituyen la totalidad del nombre de la variable, se encuentra separadas por un guión bajo. A continuación se muestra un ejemplo de cómo quedaría el nombre completo de una de las variables:



Figura 15: Estructura del nombre de las variables.

En el Anexo 4, puede consultarse un listado completo de las variables existentes.

Una vez creadas todas las variables se asociaron a sus objetos gráficos correspondientes. Para que a un objeto gráfico se le pueda asociar una variable, debe ser configurado de manera adecuada. Esta configuración se realiza con Orchestra Symbol Editor (Apartada 3.2.2) y es en ese apartado donde se describe este proceso de configuración.

En la figura 16 se puede ver la asociación de variables a cada una de las propiedades del objeto PC1.

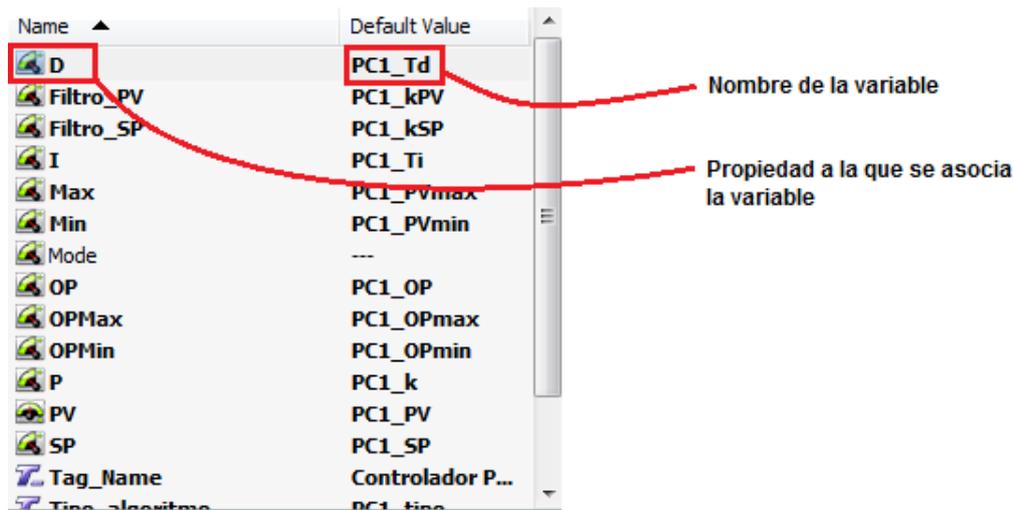


Figura 16: Asociación de variables a objetos gráficos.

Paso 4: Programación de scripts y alarmas.

Los scripts son un conjunto de instrucciones/líneas de código que permiten gestionar, administrar y monitorizar aplicaciones InTouch.

En el desarrollo de la aplicación se han utilizado tres tipos diferentes de scripts:

- **Application Scripts:** Se trata de scripts asociados a una ventana concreta.
- **Window Scripts:** Son scripts que afectan a toda la aplicación.
- **Action Scripts:** Se trata de scripts asociados a los símbolos gráficos de la aplicación.

Existen más tipos de scripts, si se quiere profundizar en el conocimiento de cada uno de ellos así como de las opciones de las que disponen, puede consultarse los apartados 2.3 y 4.2 del Anexo 1.

A modo ilustrativo, en la figura 17 se muestra parte de uno de los scripts desarrollados:

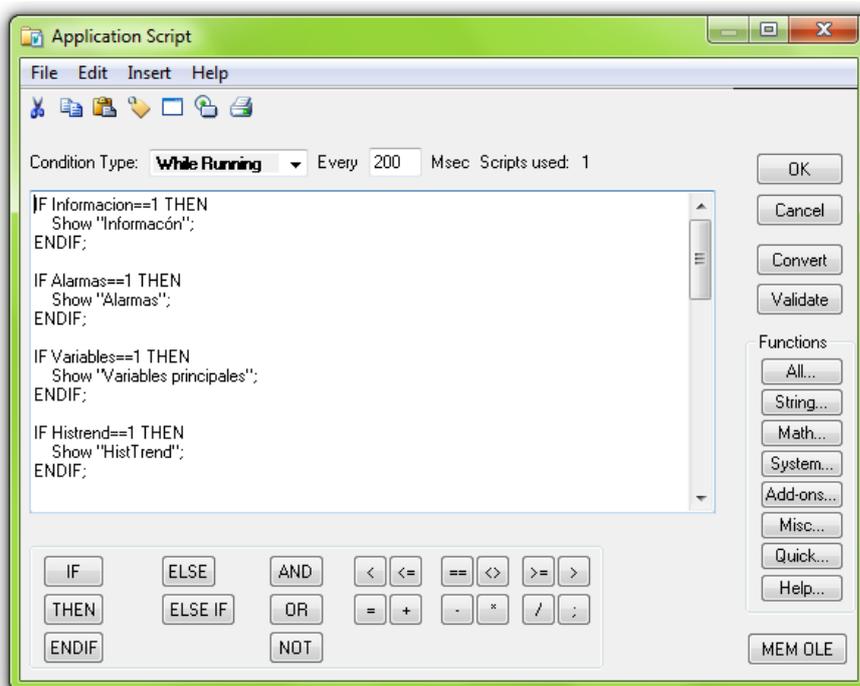


Figura 17: Script de tipo Application.

Una vez que los scripts estaban programados y configurados, se crearon las alarmas. Las alarmas actúan como avisos ante situaciones que pueden llevar al sistema a condiciones peligrosas. Su creación se gestiona desde el Tagname Dictionary (la misma herramienta que se mencionó en el paso 3).

Existen tres tipos de alarmas diferentes: Deviation Alarms, Value Alarms y Rate of change Alarms. De todas ellas, sólo se ha hecho uso de las Value Alarms. En ellas, el valor de la variable se compara con uno o más límites preestablecidos y si se superan dichos límites, la alarma se activa.

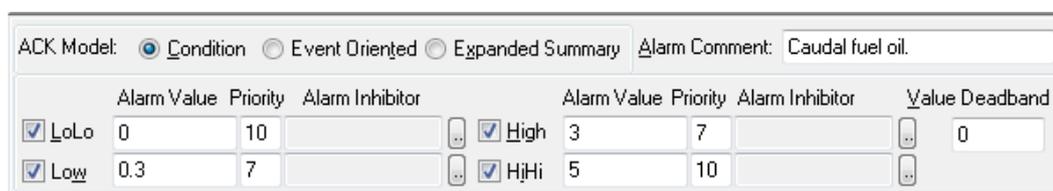
Las variables que disponen de alarmas así como los límites fijados para cada una de ellas pueden verse en la Tabla 1.

Presión calderín	Alarma máx.	65 bar
	Alarma min.	5 bar
Caudal fuel oil	Alarma máx.	3 T/h
	Alarma min.	0.3 T/h
Caudal fuel gas	Alarma máx.	3 T/h
	Alarma min.	0.3 T/h

Concentración O ₂ humos	Alarma máx.	5%
	Alarma min.	1%
Nivel	Alarma máx.	45 %
	Alarma min.	55 %

Tabla 1: Valores límite de las alarmas.

En la figura 18 se muestra a modo de ejemplo los valores configurados para las alarmas asociadas a la variable Presión_FC2_PV, que representa el caudal de fuel oil:



Alarm Type	Alarm Value	Priority	Alarm Inhibitor	Alarm Value	Priority	Alarm Inhibitor	Value Deadband
<input checked="" type="checkbox"/> LoLo	0	10		<input checked="" type="checkbox"/> High	3	7	0
<input checked="" type="checkbox"/> Low	0.3	7		<input checked="" type="checkbox"/> HiHi	5	10	

Figura 18: Alarmas configuradas para la variable Presión_FC2_PV

Para saber más acerca de la configuración de cualquiera de los tipos existentes de alarmas, puede consultarse el apartado 5.1: “Alarmas” del Anexo 1.

Paso 5: Aspectos finales:

La aplicación está programada de modo que para poder ser usada, los usuarios deben identificarse. Se han configurado tres niveles de permisos diferentes asociados a cada tipo de usuario. En función de los permisos que disponga el usuario, podrá interactuar con la aplicación de un modo u otro. Los tres niveles de permisos son:

- **Nivel operario:** Dispone de permisos para actuar sobre las variables del proceso. No puede actuar sobre los parámetros de configuración de los PIDs.
- **Nivel ingeniero:** Mismos permisos que el operario pero puede modificar la configuración avanzada de los PIDs.

- **Nivel director:** Mismos permisos que el ingeniero, pero además es capaz de modificar los permisos del resto de usuarios.

Por último se configuraron los tiempos de inactividad, es decir, si trascurrido un determinado tiempo, el usuario no ha desplazado la posición del ratón, automáticamente ese usuario es desconectado por el sistema. El tiempo de inactividad es de 20 minutos.

3.2.2 Archestra Symbol Editor:

Se trata de un software que se encuentra dentro del Application Server y que está destinado a la creación de los elementos gráficos utilizados en InTouch.

Estos objetos pueden ser programados con animaciones o propiedades, mediante un lenguaje de programación propio de Wonderware y que está orientado a objetos.

En la figura 19 se puede ver una imagen del entorno de desarrollo de este programa.

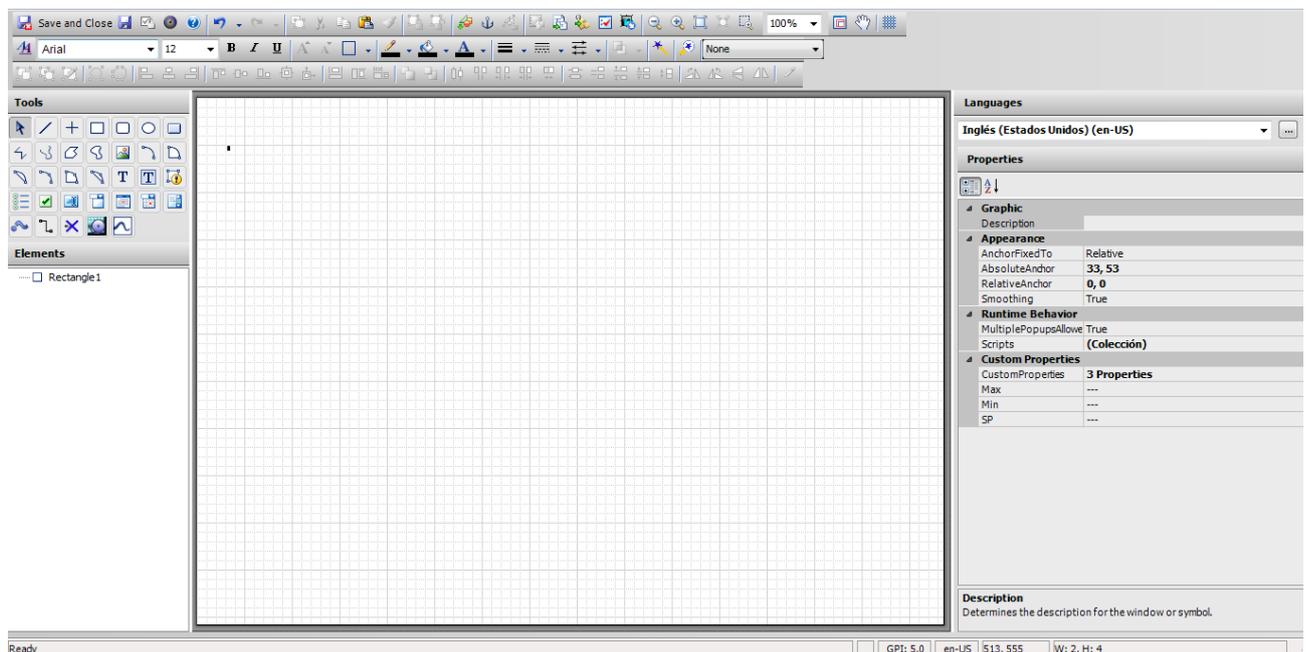


Figura 19: Entorno de Archestra Symbol Editor.

En total se han diseñado un conjunto de 34 elementos gráficos, los cuales se citan a continuación:

Botón gráficas	ISA_amarillo
Cajetín_editable	ISA_azul
Cajetín_no_editable	Logo_EII
Cajetín_PID_G	Panel
Cajetín_PID_M	Panel_pequeño
Cajetín_PID_P	Pestaña_principal
Cajetín_simple	Pestaña_secundaria
Cajetín_x3	PIDs
Caldera	Reloj
Calderín	Salto_discont
Color	Símbolo_cerrar
Empalme	Tubería_amarilla
Flecha	Tubería_azul
Ganancia	Tubería_fuel_gas
Identificación	Tubería_fuel_oil
Identificación_OK	Tubería_morada
ISA_rojo	Tubería_verde

Tabla 2: Objetos gráficos creados.

De todos ellos cabe destacar la caldera y el interfaz de control de los PID debido a su mayor complejidad:

- a) **Caldera:** La complejidad de este objeto reside en la gran cantidad de elementos gráficos simples por lo que está formado. Concretamente dispone de 326 elementos, una parte del total puede verse en la figura 20:

El resultado final del objeto “caldera” es el que se puede ver en la figura 21 en la siguiente página:

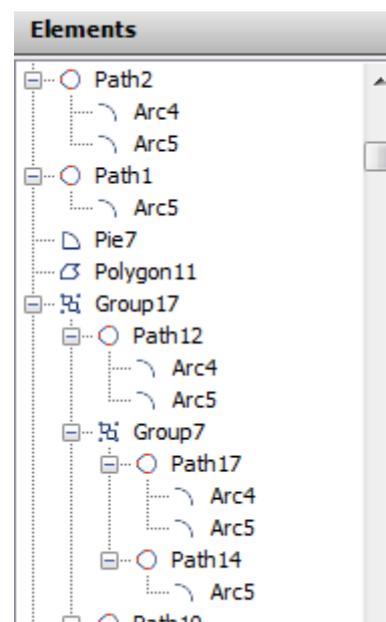


Figura 20: Elementos gráficos objeto “caldera”

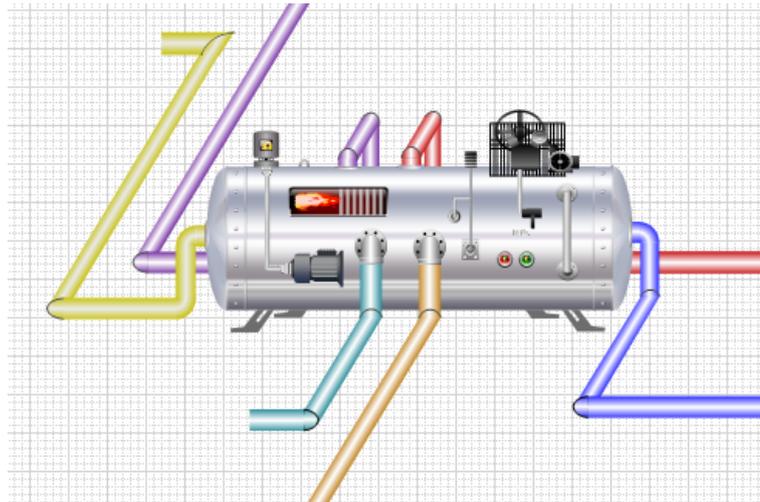


Figura 21: Objeto gráfico “caldera”.

- b) **Controladores PID:** Este objeto gráfico permite realizar el control de los parámetros de configuración de los PID. A diferencia de la caldera no se trata de un objeto con una gran cantidad de elementos, sin embargo su complejidad reside en la programación del conjunto de variables que lleva asociado.

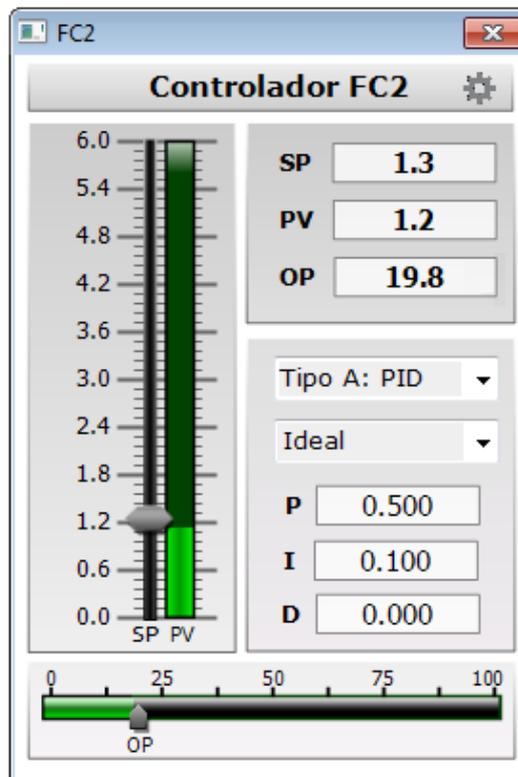


Figura 22: Controlador PID.

En total lleva asociado 17 variables, cada una de las cuales requiere de una programación específica para proporcionar un correcto funcionamiento. Se describe a continuación, el proceso de programación de la variable OP del PID, para que el lector pueda percibir la gran cantidad de operaciones que requiere la programación de una variable en general.

La variable OP tiene dos grupos gráficos asociados:

- Por un lado una barra horizontal cuyo porcentaje de llenado varía en función del valor de la variable.



Figura 23: Barra horizontal OP.

Para configurar este efecto visual, se debe programar una animación como la que se muestra en la figura 24:

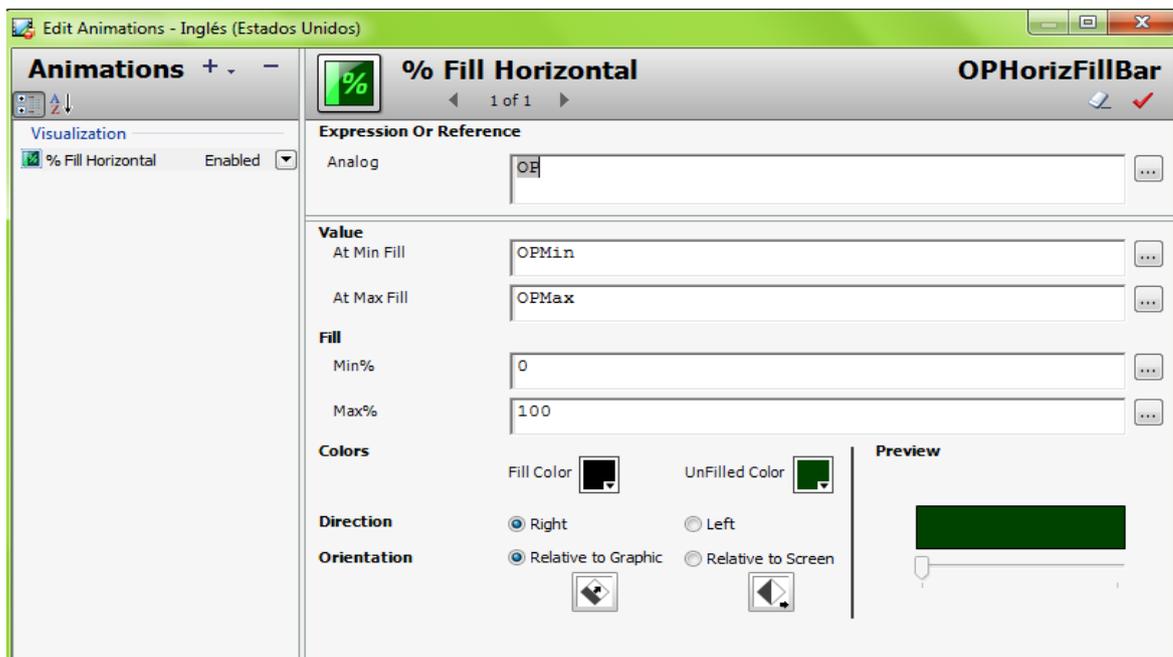


Figura 24: Programación de un "Fill Horizontal"

Las escalas asociadas a la barra horizontal, también deben ser programadas, su programación se muestra en la figura 25:

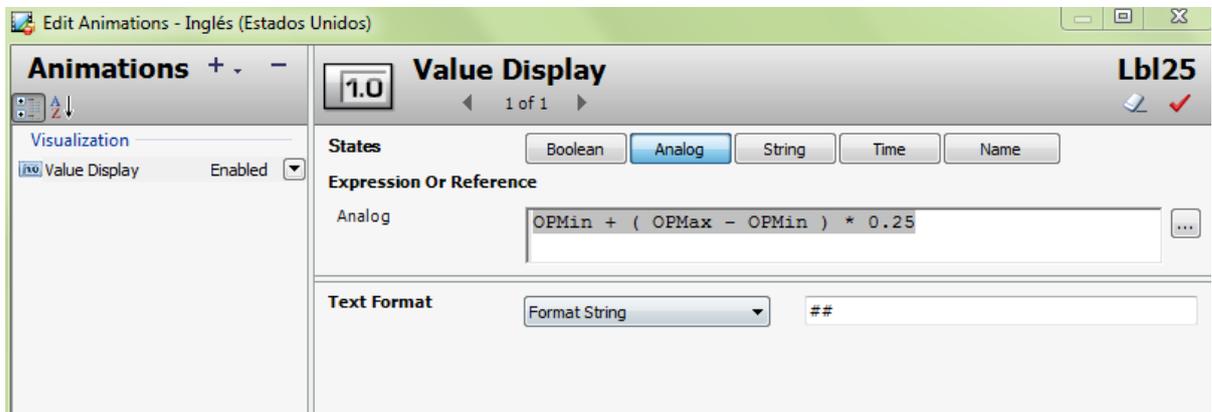


Figura 25: Programación de un “Value Display”

Por último, el slider que indica la posición de OP también debe ser programado, su configuración se muestra en la figura 26:

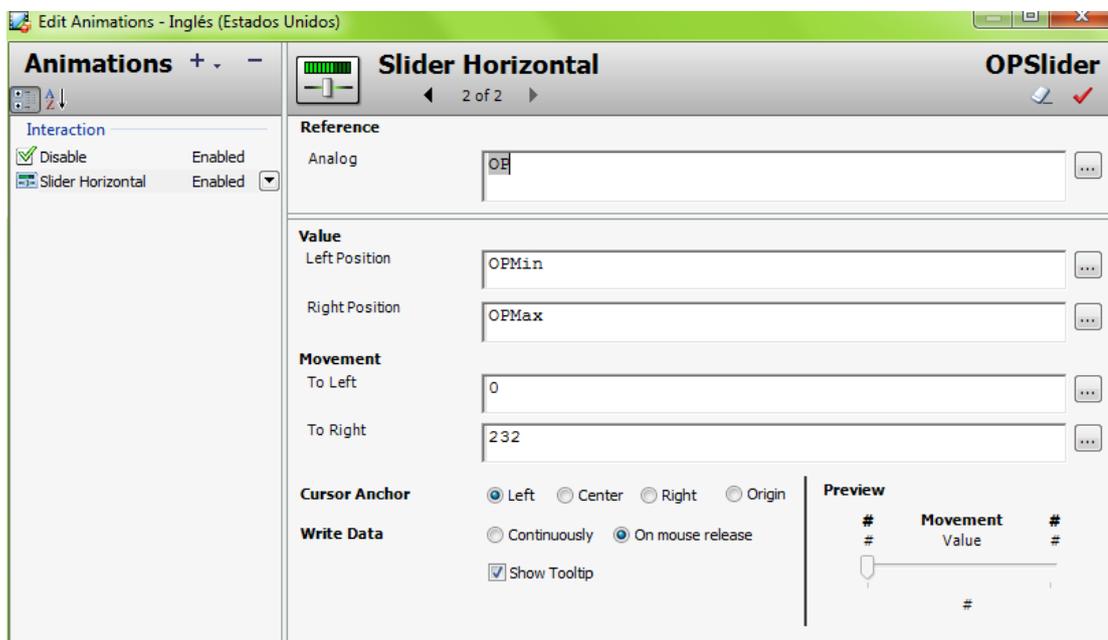


Figura 26: Programación de un “Slider Horizontal”

El otro grupo gráfico asociado a la variable OP es el cajetín. Su programación es más sencilla ya que sólo debe proporcionar la posibilidad de que el usuario

modifique su valor en tiempo de ejecución de la aplicación. La programación creada se muestra en la figura 27:

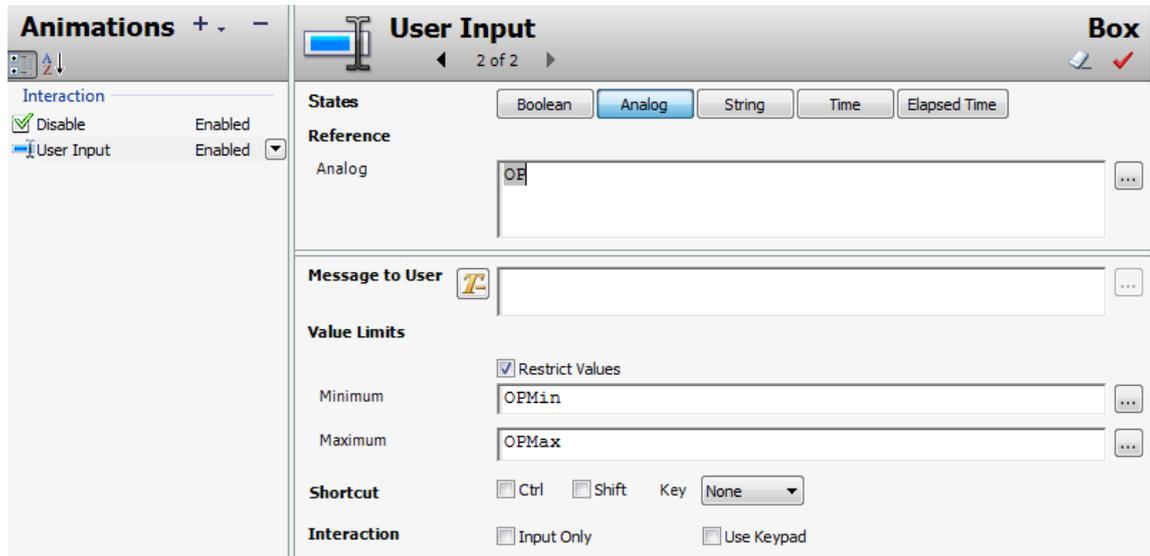


Figura 27: Programación de un "User Input".

Al margen de la caldera y el PID, existen otros gráficos mucho más sencillos en cuanto a programación y diseño, se muestran algunos de ellos a continuación:

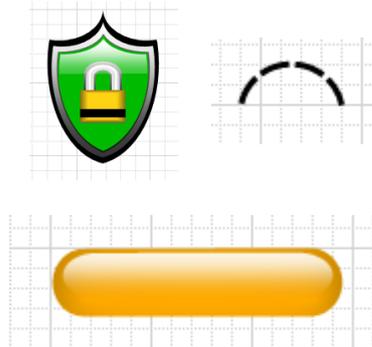


Figura 28: Otros elementos gráficos diseñados.

3.3 Simulink – Módulo de cálculo externo.

Simulink se trata de una extensión gráfica de Matlab que ofrece un entorno para modelizar, simular y analizar sistemas dinámicos. El modelaje de los sistemas se lleva a cabo mediante un conjunto de bloques los cuales en su

gran mayoría se encuentran predefinidos en las denominadas toolbox o bibliotecas.

Permite modelar tanto sistemas lineales como no lineales ya sea en tiempo continuo o discreto. Además se integra con MATLAB, lo que permite incorporar algoritmos programados en MATLAB a los modelos y exportar de los modelos los resultados de la simulación.

A pesar de que InTouch Window Maker se trata de una herramienta muy potente a la hora de diseñar entornos HMI, presenta ciertas limitaciones como herramienta matemática. Es por ello que para la consecución del objetivo de eficiencia económica se ha hecho uso del software Matlab.

El modelo implementado en Simulink es el que se puede observar en la figura 29:

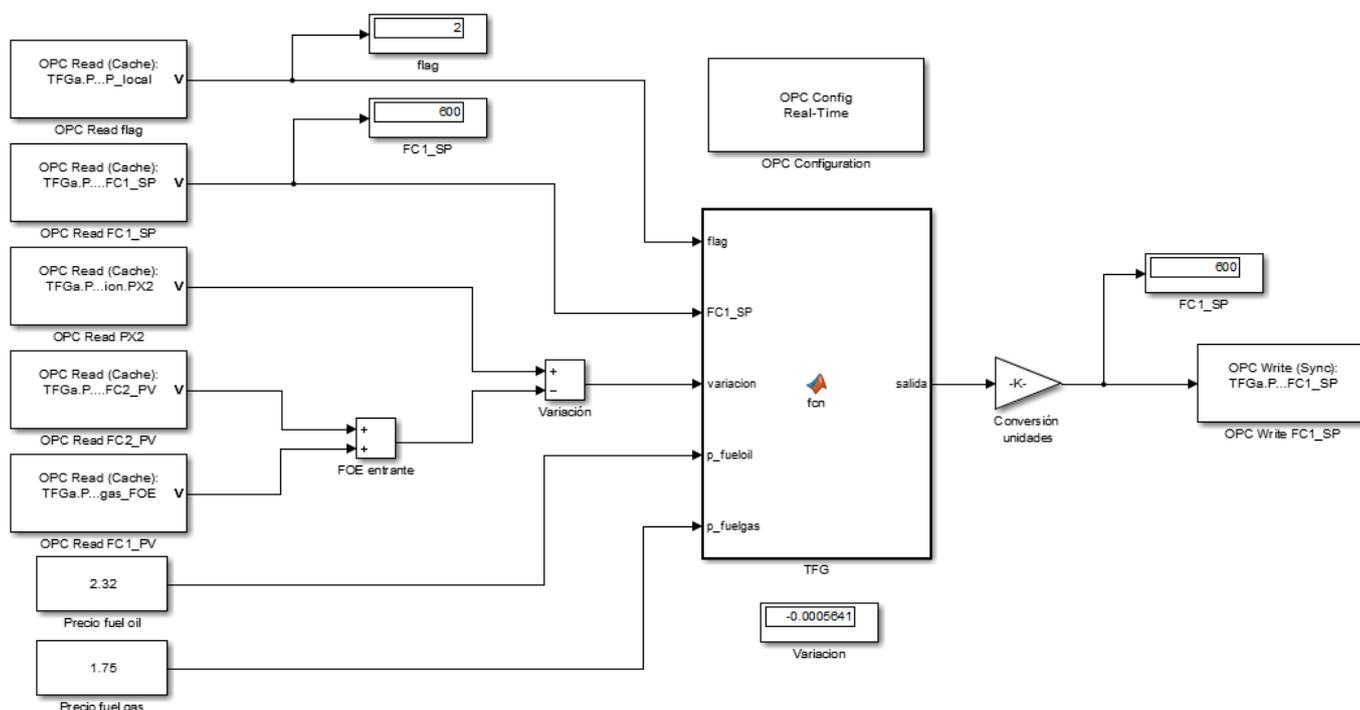


Figura 29: Modelo en Simulink para el control del caudal de combustible.

Dispone de un total de siete bloques diferentes que son:

- OPC Read
- OPC Write
- OPC Configuration
- Ganacia
- Display

- Bloque constante
- Bloque suma
- Bloque Matlab Function.

Es en este último bloque donde se define el código del programa para poder determinar la cantidad de cada combustible entrante en función de su precio. El código desarrollado puede observarse en el Anexo 3.

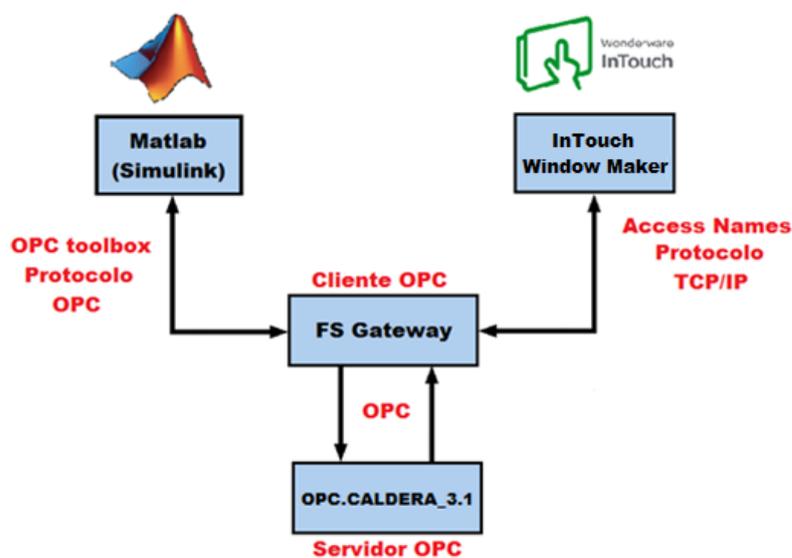
3.4 Data Acquisition Server (DA Server):

Como se comentó en la introducción, los DA Servers son un conjunto de drivers que permiten la comunicación con los dispositivos de campo. Estos driver actúan como convertidores de protocolos de comunicación, permitiendo así, conectar clientes y fuentes de datos que utilicen distintos protocolos.

De todos los drivers disponibles se ha utilizado FS Gateway. La configuración de FS Gateway se lleva a cabo desde el DA Server Manager que se encuentra localizado dentro del System Management Console (SMC).

Para el caso concreto de este trabajo de fin de grado, la fuente de datos de la que se dispone es un servidor OPC (OPC.CALDERA_3.1) la cual se comunica con FS Gateway que actúa como cliente OPC. Finalmente FS Gateway realiza las conversiones de protocolo pertinentes para comunicarse con Matlab e InTouch. En la figura 30 se puede ver un esquema de las comunicaciones:

Figura 30: Estructura de las comunicaciones.



Para poder comunicar el servidor OPC con FS Gateay, en primer lugar se debe crear un canal de comunicación entre ambos. La creación de dicho canal de comunicación, se gestiona desde System Management Console como se describe a continuación:

1. Crear un nodo OPC vinculado al servidor OPC deseado: Para este caso concreto, al grupo OPC se le ha llamado “TFG” y se ha configurado como se puede ver en la figura 31:

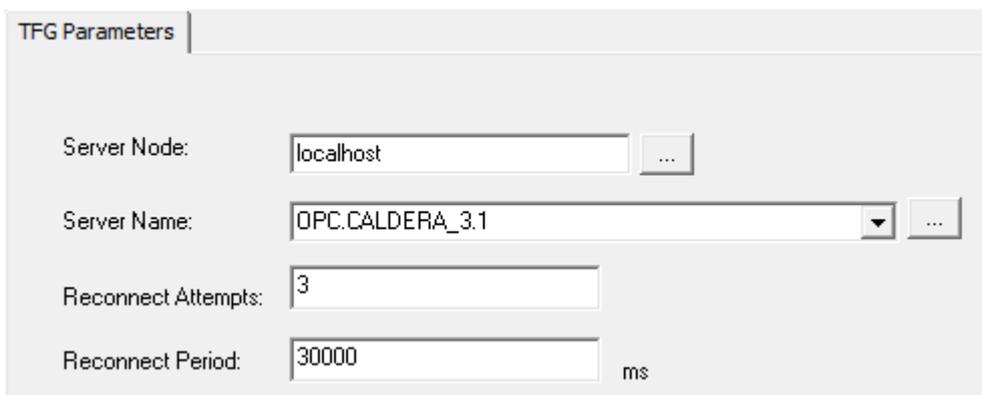


Figura 31: Parámetros de configuración del nodo OPC.

La configuración de la imagen 31 indica que se va a establecer una comunicación con un servidor OPC denominado *OPC.CALDERA_3.1* que se encuentra ubicado en el propio ordenador y que en caso de error en la conexión, se llevarán a cabo un máximo de tres intentos de reconexión con el servidor con un intervalo de tiempo entre cada intento de reconexión de treinta segundos.

2. Una vez creado el nodo OPC se deben crear los grupos OPC. Estos grupos permiten estructurar la información proporcionada por el servidor OPC. En este sentido, se han creado un total de tres grupos OPC: presión, nivel y aux, de modo que en el primer grupos se encuentran las variables asociadas al control de la presión, en el segundo grupo las variables asociadas al control del nivel y el último grupo está formado por un conjunto de variables auxiliares para la simulación como son el tiempo, la fecha, variables del sistema, etcétera.

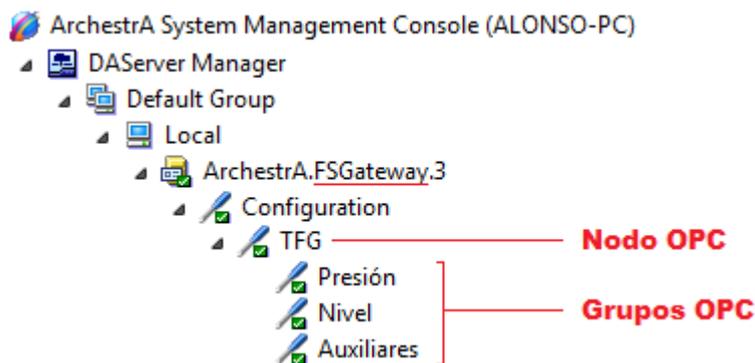


Figura 32: Nodo y grupos OPC.

Cada uno de los grupos OPC también deber ser configurado, la configuración fijada ha sido la misma para cada uno de los grupos y a modo de ejemplo, en la figura 33 se muestra la configuración del grupo OPC presión:

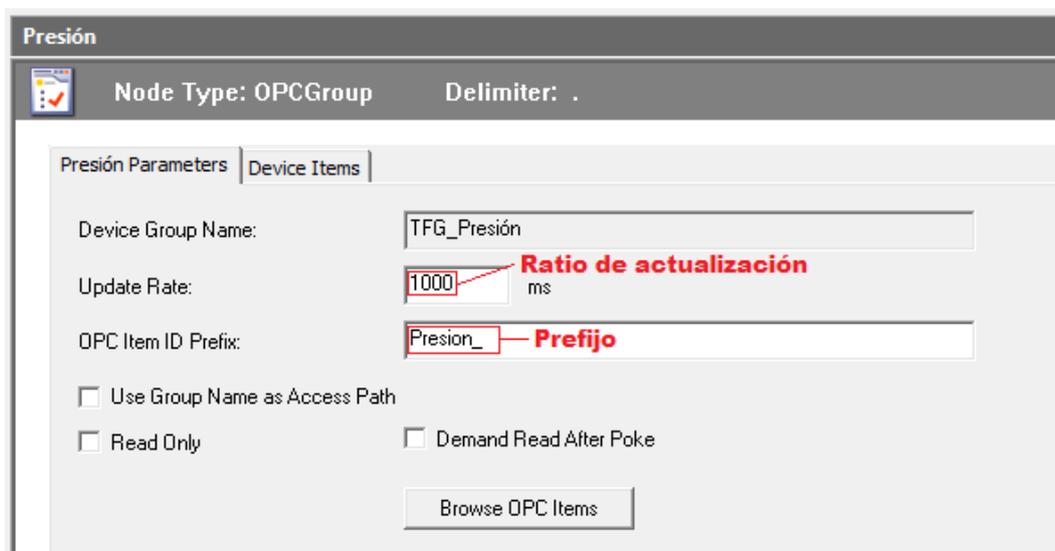
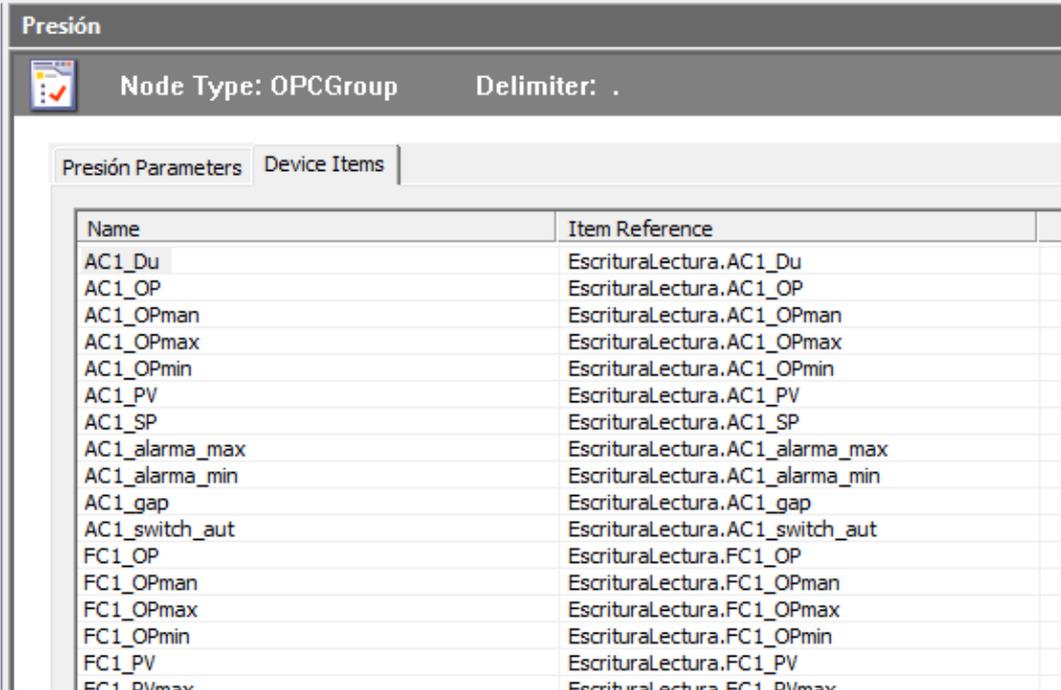


Figura 33: Propiedades del nodo OPC presión.

Los parámetros de la configuración indican que el valor de las variables que constituyen el grupo OPC se actualizan con un periodo de un segundo y que a todas ellas en el nombre de la variable se les añade como prefijo "Presión_"

Finalmente en la pestaña "Device Items" que se puede ver en la figura 34 se seleccionan el conjunto de variables que se quiere añadir al grupo OPC.



Name	Item Reference
AC1_Du	EscrituraLectura.AC1_Du
AC1_OP	EscrituraLectura.AC1_OP
AC1_OPman	EscrituraLectura.AC1_OPman
AC1_OPmax	EscrituraLectura.AC1_OPmax
AC1_OPmin	EscrituraLectura.AC1_OPmin
AC1_PV	EscrituraLectura.AC1_PV
AC1_SP	EscrituraLectura.AC1_SP
AC1_alarma_max	EscrituraLectura.AC1_alarma_max
AC1_alarma_min	EscrituraLectura.AC1_alarma_min
AC1_gap	EscrituraLectura.AC1_gap
AC1_switch_aut	EscrituraLectura.AC1_switch_aut
FC1_OP	EscrituraLectura.FC1_OP
FC1_OPman	EscrituraLectura.FC1_OPman
FC1_OPmax	EscrituraLectura.FC1_OPmax
FC1_OPmin	EscrituraLectura.FC1_OPmin
FC1_PV	EscrituraLectura.FC1_PV
FC1_PVmax	EscrituraLectura.FC1_PVmax

Figura 34: Variables asociadas al grupo OPC presión

Una vez hecho todo esto, la comunicación entre el cliente OPC y el servidor OPC está terminada y deben definirse las comunicaciones entre InTouch y FS Gateway y entre Simulink y FS Gateway.

3.4.1 Comunicación FS Gateway – InTouch:

La comunicación entre FS Gateway e InTouch se establece de acuerdo con el protocolo TCP/IP.

TCP/IP es el lenguaje básico de comunicación o protocolo de Internet. Presenta dos capas, la capa más alta, Transmission Control Protocol, administra la división de los mensajes o archivos en pequeños paquetes (bits) que son transmitidos a través de Internet y finalmente recibidos por otra capa TCP que unifica los diferentes paquetes en el mensaje original. La capa más baja, Internet Protocol, administra lo relativo a la dirección de cada paquete, para que el mismo pueda llegar a su destino correcto.

Para establecer el canal de comunicación entre FS Gateway e InTouch se hace uso de los Access Names, los cuales se configuran desde InTouch. En total se dispone de un total de tres Access Names, uno por cada grupo OPC creado (Ver figura 35). Los otros Access Names que se pueden ver en la imagen, son creados de forma automática cuando se realizan

representaciones gráficas de variables y no requieren de ningún tipo de configuración por parte del usuario.

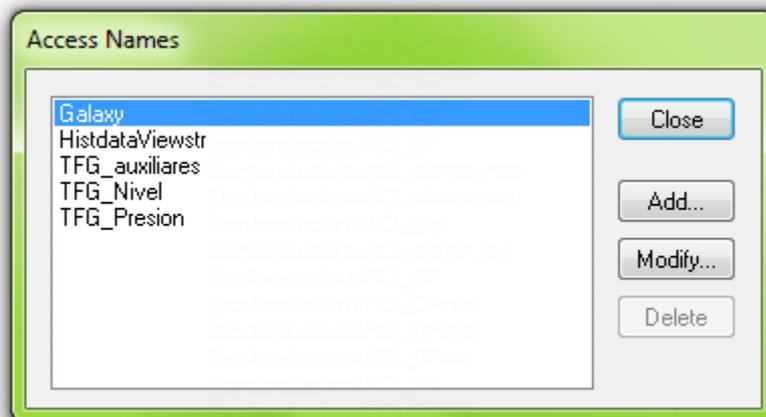


Figura 35: Access Names creados.

La configuración adoptada para los Access Names se muestra en la figura 36.

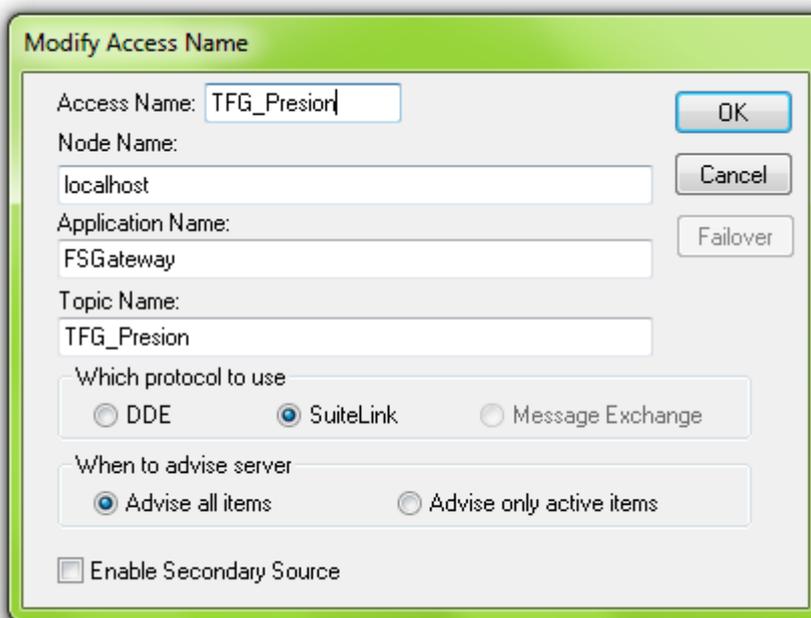


Figura 36: Configuración del acces name TFG_Presion.

Los parámetros configurados indican que el nodo OPC con el que se va a establecer la comunicación reside en el propio ordenador (localhost), que el

nombre del cliente OPC es FS Gateway, que el protocolo de comunicación adoptado es SuiteLink (TCP/IP) y que todas las variables se van actualizar independientemente si están siendo usadas o no (Advise all ítems). La misma configuración se ha establecido para el resto de Access Names creados, con la salvedad de que a cada uno de ellos, en el campo “topic name” se ha indicado el nodo OPC con el que se va a establecer la comunicación.

Si el lector desea conocer más en detalle la configuración de Access Name, puede consultar el apartado 10.2: “Conexión a un servidor OPC” del Anexo 1.

3.4.2 Comunicación FS Gateway – Matlab.

La comunicación entre FS Gateway y Matlab (Simulink) se establece siguiendo el protocolo OPC, de modo que FS Gateway actúa como servidor OPC y Simulink como cliente OPC. Simulink dispone de una toolbox denominada “*OPC toolbox*” la cual permite la creación del canal de comunicación. Se trata de una toolbox sencilla que dispone únicamente de cuatro bloques los cuales se muestran en la figura 37:

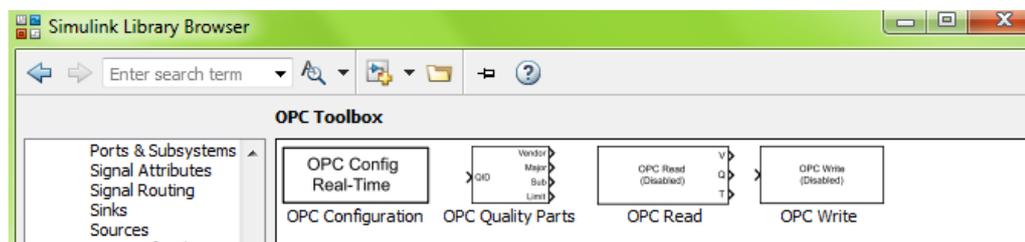


Figura 37: OPC toolbox.

Para poder llevar a cabo esta comunicación se deben realizar una serie de configuraciones las cuales se describen a continuación:

- **Bloque “OPC configuration”:** Se trata de un bloque indispensable ya que permite especificar al servidor OPC al que nos vamos a conectar para obtener datos, en este caso FS Gateway.

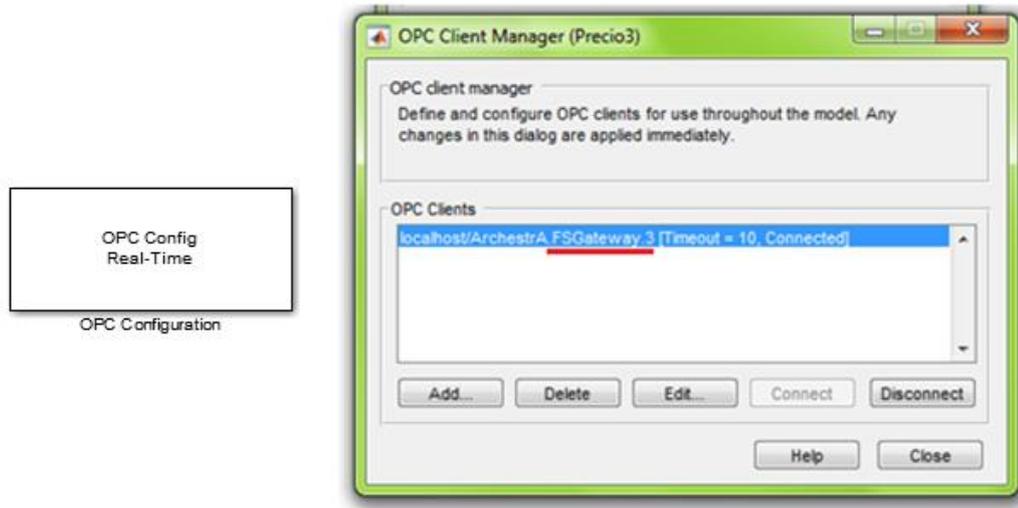


Figura 38: Configuración bloque "OPC configuration".

Además permite definir el comportamiento ante errores y configurar el comportamiento en tiempo real.

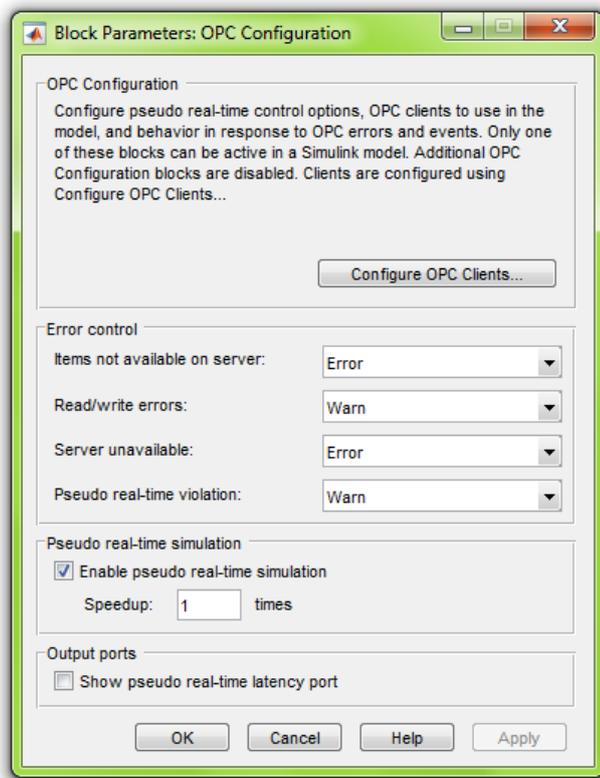


Figura 39: Configuración del bloque OPC configuration.

- **Bloques “OPC read” y “OPC write”:** Estos bloques permiten leer y escribir de y sobre un servidor OPC respectivamente. En total se han utilizado cinco bloques OPC Read que obtienen valores de las variables FC1_PV, FC2_PV, PX2, FC1_SP, FC2_SP_local y un bloque OPC Write que escribe sobre la variable FC1_SP.

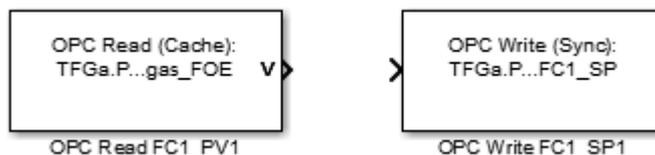


Figura 40: Bloques OPC Read y OPC Write.

La configuración de estos bloques es sencilla, una vez dentro de los parámetros de configuración del bloque basta con hacer click sobre “add ítems” y buscar a lo largo del menú de carpetas que se despliega, la variable que se quiere leer/escribir como se puede ver en la figura 41.

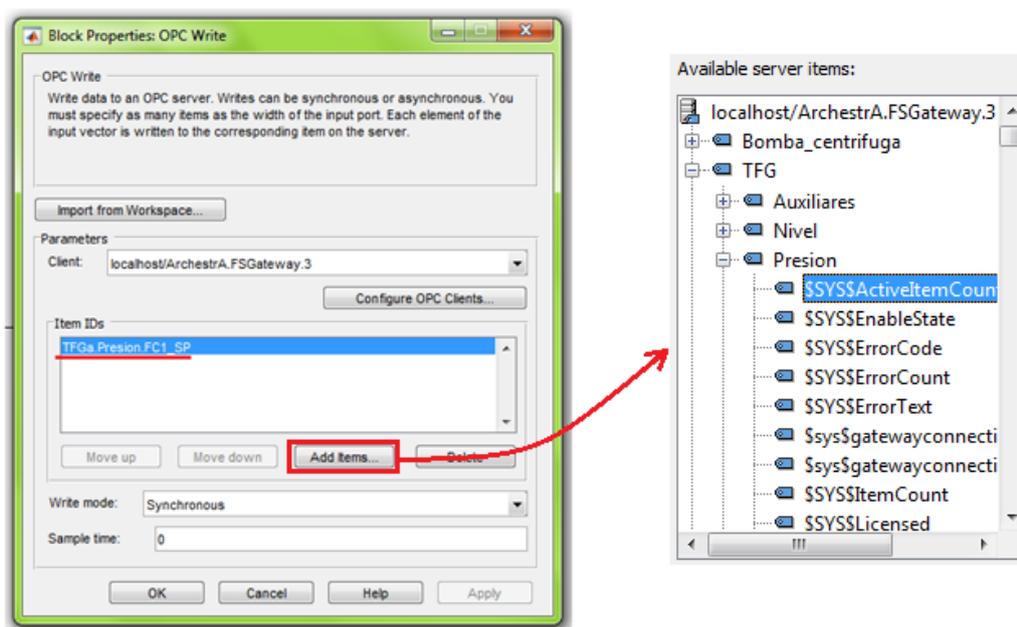


Figura 41: Configuración del bloque OPC Write.

Una vez configurados todos los bloques, la comunicación con FS Gateway estará completada.

Para concluir este capítulo, se debe mencionar que a pesar de que la fuente de datos se trata de un simulador de una caldera que dispone de una capa OPC para las comunicaciones, la aplicación sería totalmente compatible con una planta real.

Bastaría con sustituir el simulador de la caldera, por el conjunto de sensores y actuadores necesarios; y para realizar las comunicaciones, se requeriría de un servidor OPC al cual llegasen los datos recogidos por los sensores/actuadores y este mediante el protocolo OPC se comunicaría con FS Gateway.

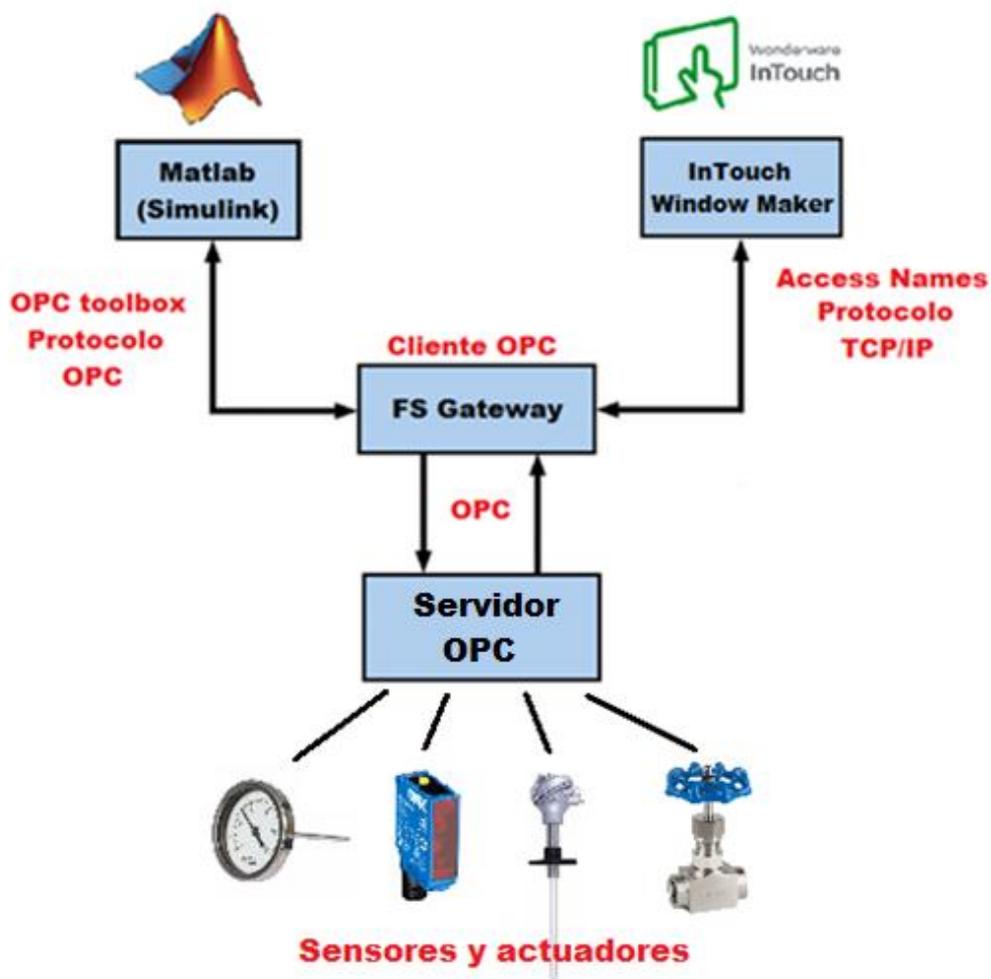


Figura 42: Comunicaciones en una planta real.

Capítulo 4: Funcionamiento de la aplicación

4.1 Introducción:

El objetivo de este capítulo es proporcionar al lector una guía para el uso del entorno SCADA que ha sido diseñado para este trabajo de fin de grado. Cada uno de los apartados que constituyen este capítulo se centra en el modo de utilización de los distintos elementos que constituyen la aplicación.

Con esta interfaz gráfica se busca proporcionar al usuario un control del proceso de forma sencilla e intuitiva. Es por ello que se hecho uso de objetos gráficos muy similares visualmente a elementos de la vida real, lo que facilita la identificación de los distintos componentes que forman el sistema de control.

A modo de recordatorio, se debe mencionar que la ejecución de entornos SCADA se realiza con el paquete Wonderware Client. También se debe mencionar, que no es necesario Wonderware Client se encuentre instalado en el mismo equipo en el que se ha desarrollado la aplicación, sino que basta con que ambos se encuentren conectados a la misma red.

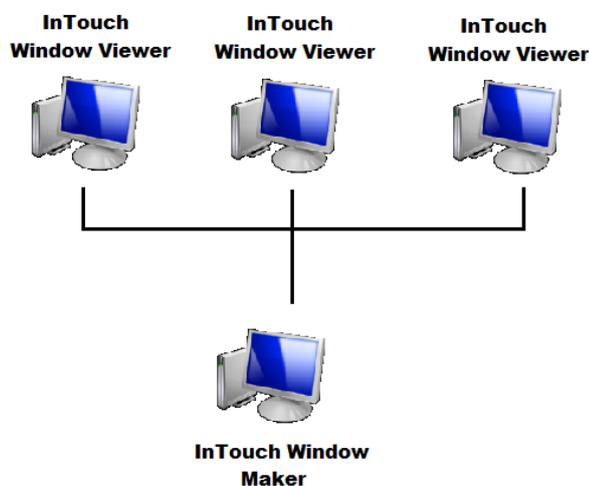


Figura 43: Conexiones Window Viewer y Window Maker.

4.2 Menú principal:

Se encuentra situado en el lateral izquierdo de la ventana principal y está siempre visible al usuario. Dispone de varios apartados los cuales se describen a continuación:



Figura 44: Menú principal

4.2.1 Información:

Proporciona al usuario información básica del proceso, además dispone de un esquema de la totalidad del sistema de control. Esta ventana se puede observar en la figura 45.

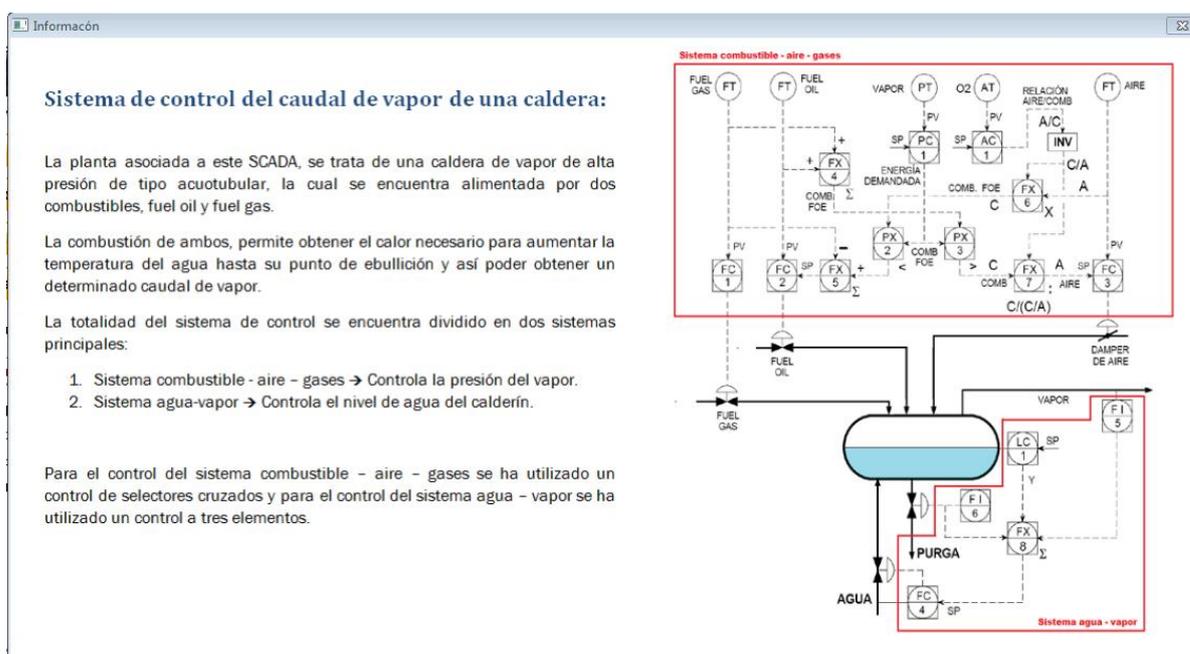


Figura 45: Ventana "Información".

4.2.2 Variables principales:

Esta ventana está pensada para que el usuario pueda comparar al mismo tiempo, el "valor de proceso" y el "punto de consigna" de las variables más importantes que constituyen el proceso.

Dispone de un indicador luminoso al lado de cada variable que parpadea cuando la desviación entre el punto de consigna y el valor de proceso supera los límites fijados.

Se encuentra estructurada en dos partes, en la parte superior se muestran las variables principales asociadas al sistema de control de la presión del calderín y del mismo modo en la parte inferior las variables asociadas al sistema de control de nivel.

Además al lado de cada variable se dispone de un botón que da acceso directo a una representación grafica de las mismas.

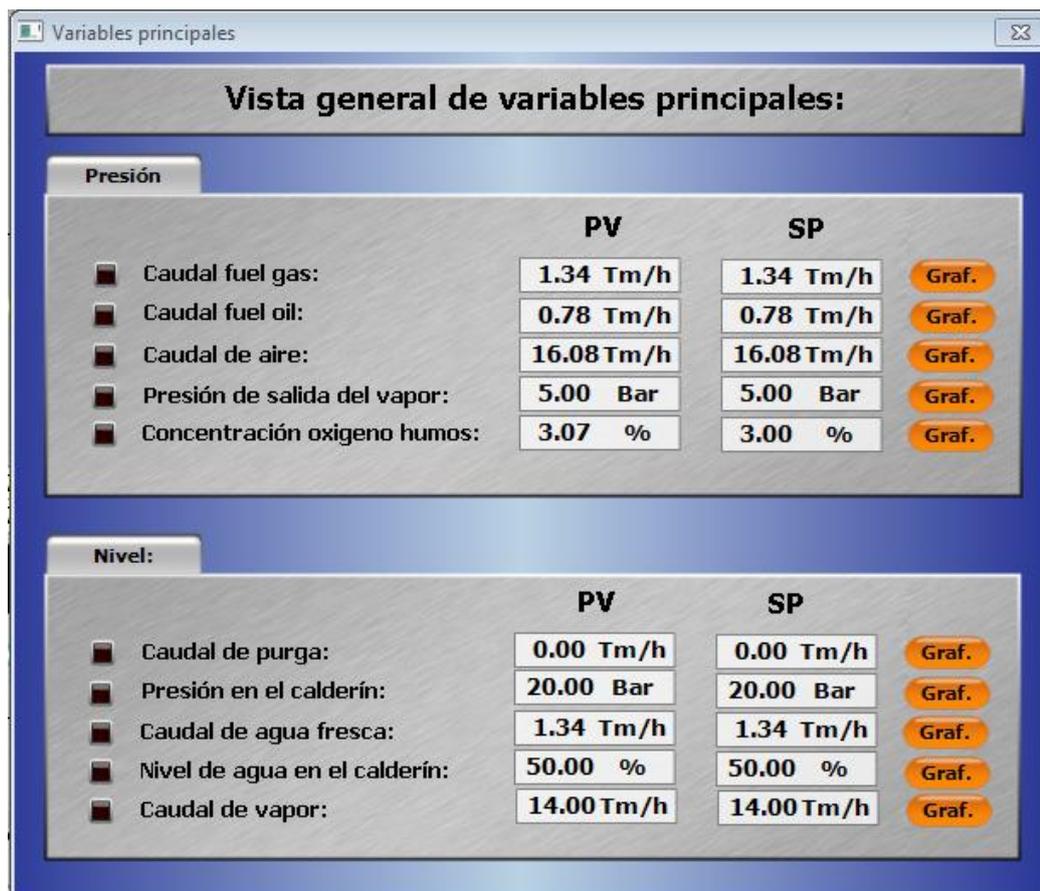


Figura 46: Variables principales.

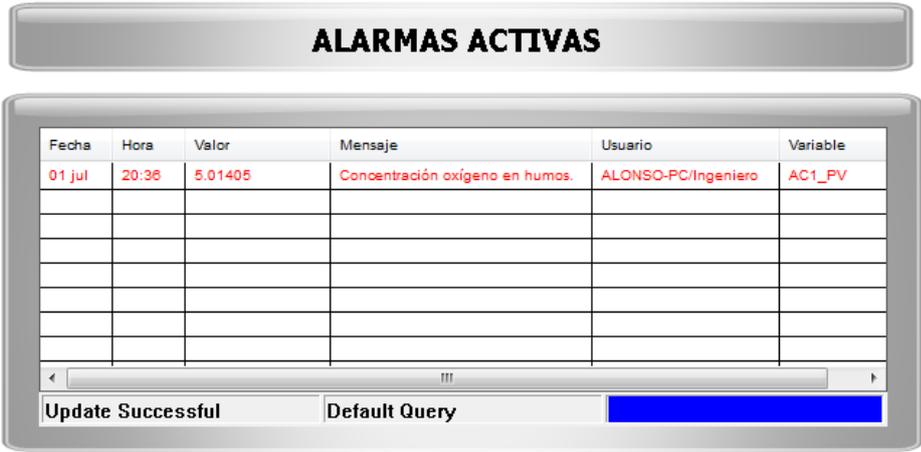
4.2.3 Alarmas:

En esta venta se pueden visualizar el conjunto de alarmas asociadas al proceso. Se han configurado un total de diez alarmas las cuales se describieron paso 4 del apartado 3.2.1: "InTouch Window Maker".

Cuando una alarma se activa nos proporciona la siguiente información:

1. Fecha.
2. Hora.

3. **Valor:** Indica el valor de la variable que ha hecho que se active la alarma.
4. **Mensaje:** Permite identificar el problema al cual está asociada la alarma.
5. **Usuario:** Indica el nombre del usuario que está identificado cuando se activa la alarma.
6. **Variable:** Nombre de la variable que ha causado la alarma.



Fecha	Hora	Valor	Mensaje	Usuario	Variable
01 jul	20:38	5.01405	Concentración oxígeno en humos.	ALONSO-PC/Ingeniero	AC1_PV

Figura 47: Display de alarmas.

4.2.4 Históricos Globales:

El botón Históricos del menú principal, da acceso a una ventana que se encuentra vinculada Wonderware Historian Trend. Wonderware Historian Trend se trata de un software que permite acceder a la base de datos de Wonderware Historian y mostrar de forma gráfica las variables que se desee.

Una vez que una variable o variables están graficadas, se puede modificar de múltiples maneras la visualización de dicha gráfica, ya sea ajustando escalas, modificando los rangos de tiempo de representación, haciendo zoom, etc.

Para conocer el manejo de este software puede consultarse en el capítulo 11 el apartado 11.2.1: “Wonderware Historian Client Trend” del Anexo 1.

4.3 Identificación:

El interfaz gráfico del sistema de control al ser iniciado, presenta una ventana como la que se muestra en la figura 48:

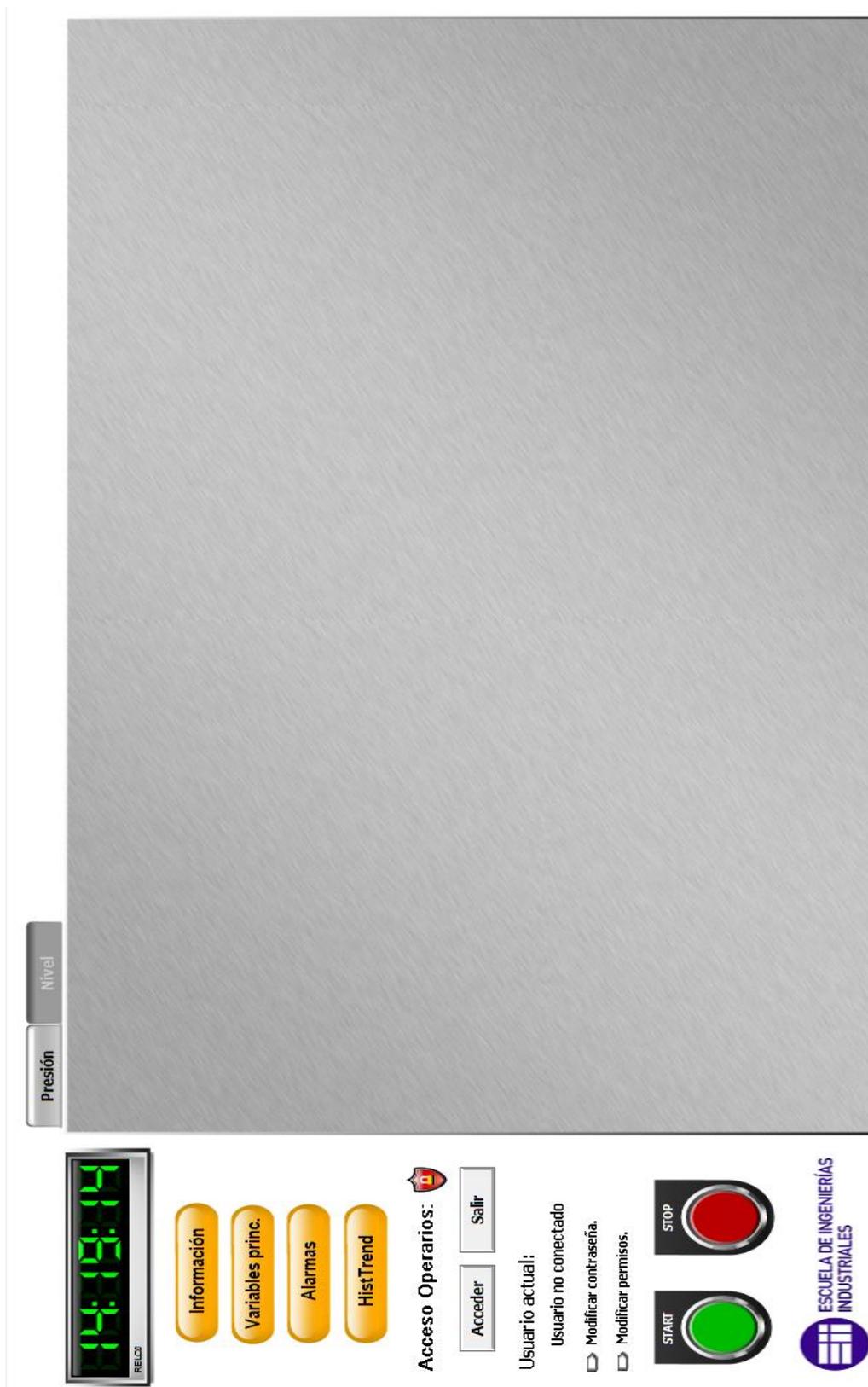


Figura 48: Aspecto de la aplicación al ser iniciada.

Como se puede observar en la figura anterior, inicialmente el sistema de control del proceso no será visible para el usuario, por lo que este deberá identificarse.

Para ello se dispone del botón “Acceder”, el cual al ser pulsado mostrará una ventana emergente como la de la figura 49 en la que el usuario deberá introducir sus credenciales.

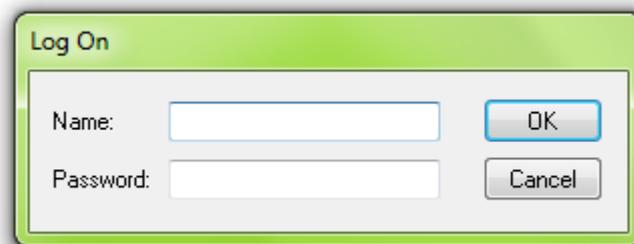


Figura 49: Ventana de identificación.

Una vez hecho esto, el sistema identificará al usuario y le proporcionará una serie de permisos que han sido preestablecidos; estos permisos determinarán la capacidad de interacción del usuario con la aplicación SCADA. A modo de recordatorio, se vuelve a mencionar los distintos permisos existentes:

- **Operario:** Dispone de permisos para actuar sobre las variables del proceso. No puede actuar sobre los parámetros de configuración de los PIDs.
- **Ingeniero:** Mismos permisos que el operario pero puede modificar la configuración avanzada de los PIDs.
- **Director:** Mismos permisos que el ingeniero pero además es capaz de modificar los permisos del resto de usuarios.

Acceso Operarios:



Usuario actual:

Director

➤ **Modificar contraseña.**

➤ **Modificar permisos.**

Figura 50: Identificación de usuarios.

En caso de que el usuario desee modificar su contraseña, puede hacerlo una vez que se haya identificado pulsando en el enlace “Modificar contraseña”. Tras ello se mostrará la ventana que se puede observar en la figura 51.



Figura 51: Modificación de contraseña.

Si un usuario accede con los permisos de “Director” se hará visible justo debajo de “Modificar contraseña” un enlace para poder modificar los permisos del resto de los usuarios. Al hacer click sobre dicho enlace se mostrará la ventana de la figura 52.

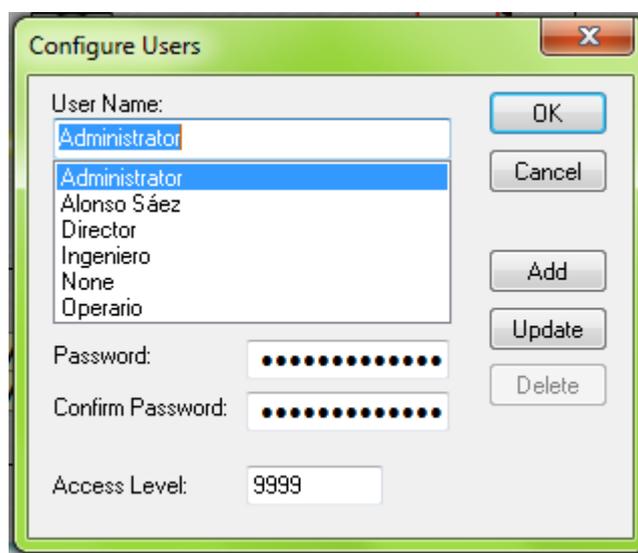


Figura 52: Modificación de permisos de los usuarios.

Identificado el usuario, la ventana del proceso se hará visible. Esta ventana cuenta con dos pestañas, la primera ellas muestra el sistema de control de presión de la caldera (Figura 53) y la segunda el sistema de control del nivel de agua del calderín (Figura 54). Pinchando sobre cada una de estas pestañas se puede alternar la visualización de uno u otro sistema de control.

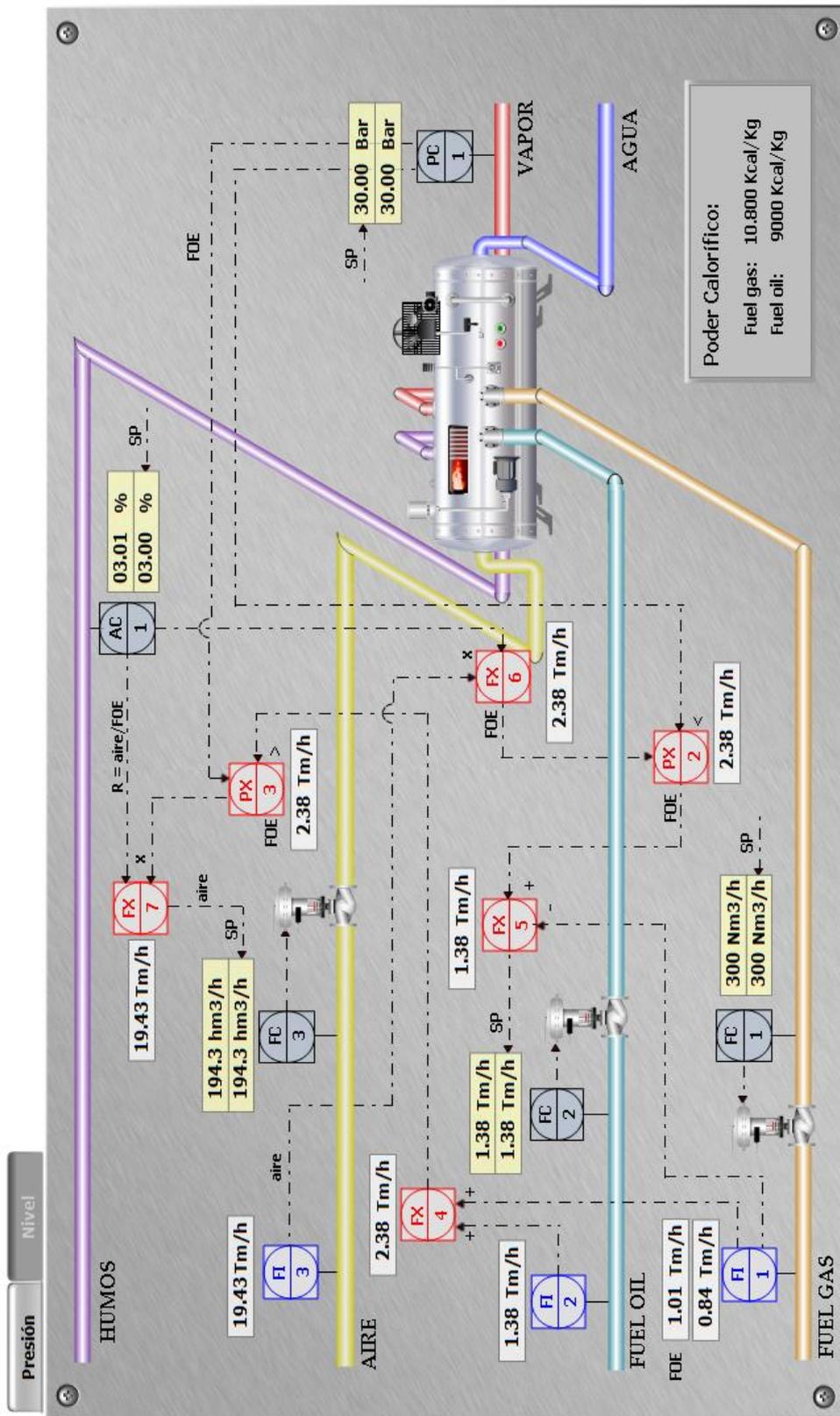


Figura 53: Interfaz control de presión.

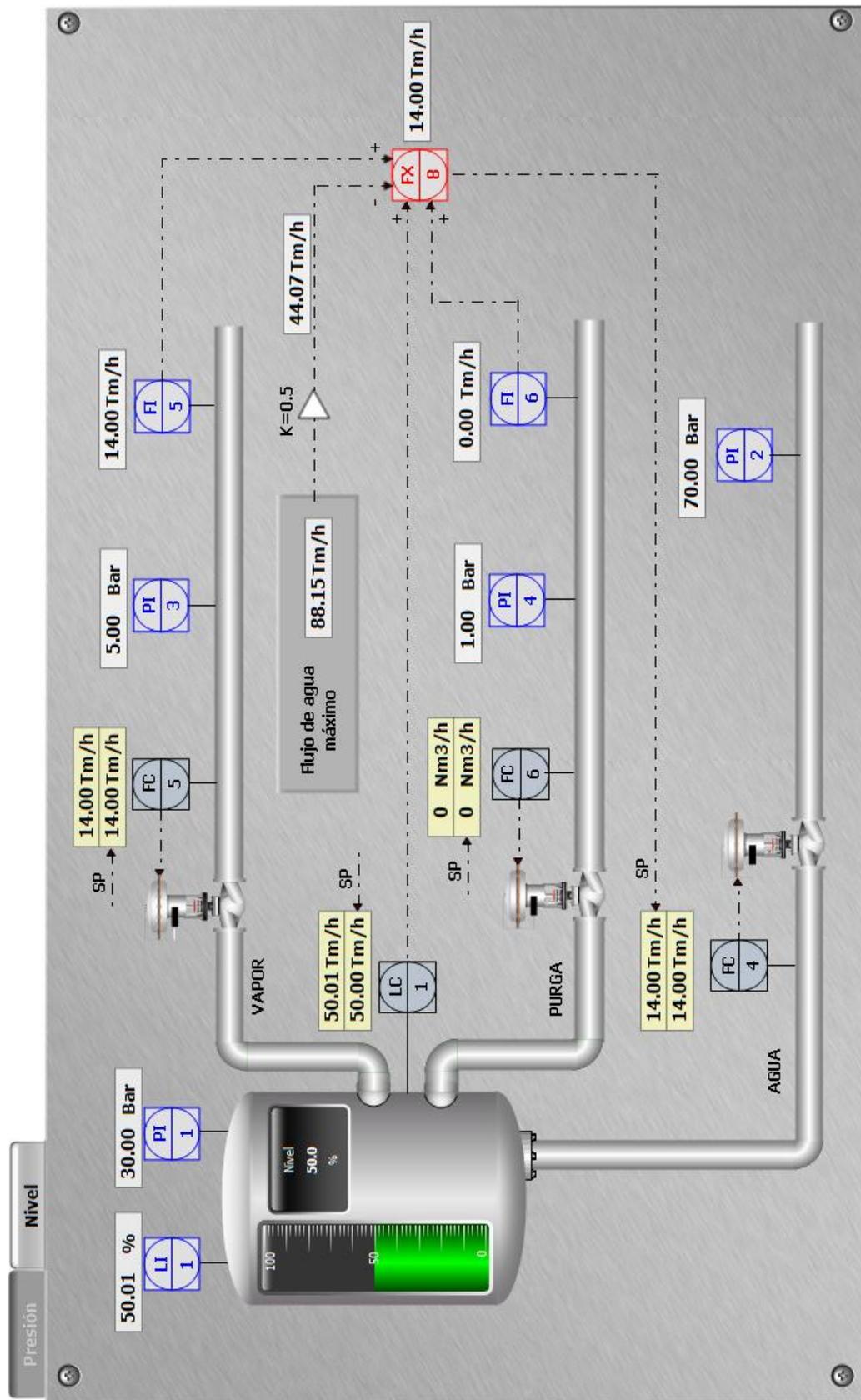


Figura 54: Interfaz control de nivel.

4.4 Arranque y parada de emergencia.

Ante situaciones de emergencia se dispone de los botones START y STOP. El accionamiento del botón STOP corta por completo el suministro de combustible y desactiva el sistema de ahorro de combustible. El botón START permite reanudar el sistema después de que se haya producido una parada de emergencia.



Figura 55: Botones START y STOP.

4.5 Cajetines de variables:

Haciendo click sobre ellos permiten acceder a una representación grafica de la evolución de los valores de la variable a lo largo del tiempo. Existen dos tipos de cajetines:

- **Fondo amarillo:** Utilizados para representar variables asociadas a los controladores del proceso.



Figura 56: Cajetin fondo Amarillo.

- **Fondo gris:** Utilizados para representar el resto de variables del sistema.

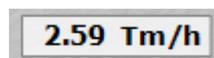


Figura 57: Cajetín fondo gris.

4.6 Controladores PID:

A ellos se accede por medio de los símbolos ISA que representan “displays compartidos”, la nomenclatura de cada uno de estos símbolos identifica al controlador que da acceso (En el Anexo 5 pueden consultarse los símbolos

ISA que han sido utilizados, así como su significado). Al hacer click sobre ellos se desplegará una ventana como la de la figura 58 que muestra la interfaz gráfica básica de usuario para el manejo del controlador.

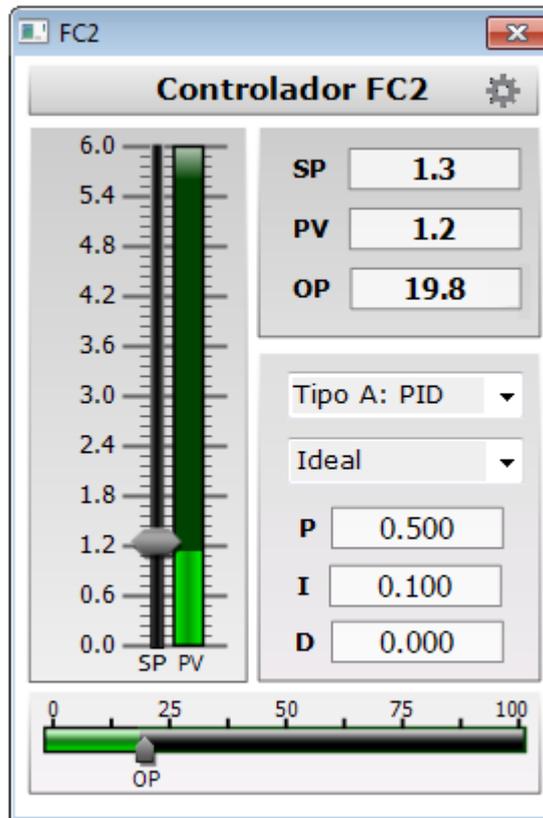


Figura 58: Interfaz gráfica controlador PID.

El diagrama de barras verticales permite visualizar el valor de la variable del proceso en comparación con el punto de consigna y la barra horizontal permite visualizar el valor de la salida del controlador. Además de gráficamente, estos valores también se pueden visualizar numéricamente mediante el panel de variables PV, SP y OP. El campo SP es susceptible de ser editado en aquellos casos en los que está programado para tal efecto. No en todos los controladores es editable dicho campo, ya que depende de si en control es de tipo automático o en cascada.

El usuario también dispone de dos menús desplegables, con el primero de ellos puede seleccionar el tipo de ecuación de cálculo:

- Tipo A: PID.
- Tipo B: PI-D.

- Tipo C: I-PD.
- Tipo D: I.

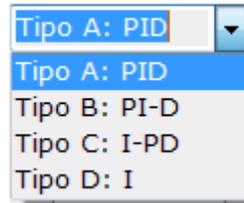


Figura 59: Desplegable para seleccionar el tipo de ecuación.

Y con el segundo se da la posibilidad de elegir entre el tipo de algoritmo:

- Real.
- Ideal

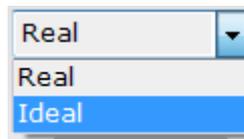


Figura 60: Desplegable para seleccionar el tipo de algoritmo.

Los algoritmos matemáticos de control para cada uno de los tipos de ecuación, pueden consultarse en el Anexo 2.

En la parte inferior derecha se observan los parámetros básicos de configuración:

- **Kp**: Ganancia proporcional (%%).
- **Td**: Tiempo derivativo (en minutos).
- **Ti**: Tiempo integral (en minutos).

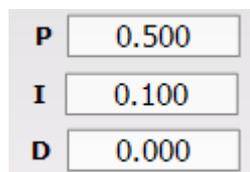


Figura 61: Valores P, I y D.

Para acceder al conjunto de parámetros de configuración avanzados, basta con hacer click en el engranaje que aparece en la esquina superior derecha del interfaz de control del PID.



Figura 62: Boton de acceso conf. avanzada.

Tras ello, el tamaño de la ventana aumentará, mostrando nuevos parámetros de configuración. Los nuevos parámetros ahora configurables son:

- **Tm**: Tiempo de muestreo (en segundos).
- **Filtro en SP**: Constante de tiempo del filtro en PV (en minutos).
- **Filtro en PV**: Constante de tiempo del filtro en SP (en minutos).
- **PVmax**: Máximo valor de la variable de proceso.
- **PVmin**: Mínimo valor de la variable de proceso.
- **OPmax**: Máximo valor de la variable de operación.
- **OPmin**: Mínimo valor de la variable de operación.

Se debe tener en cuenta que este botón no está habilitado para todos los niveles de permisos, sino que sólo podrán hacer uso de él aquellos usuarios que tengan permisos de “Ingeniero” o “Director”.

Para ocultar las opciones de configuración avanzada basta con pulsar el botón “Cerrar”. La interfaz gráfica del controlador PID con los parámetros de configuración avanzada puede verse en la figura 63.

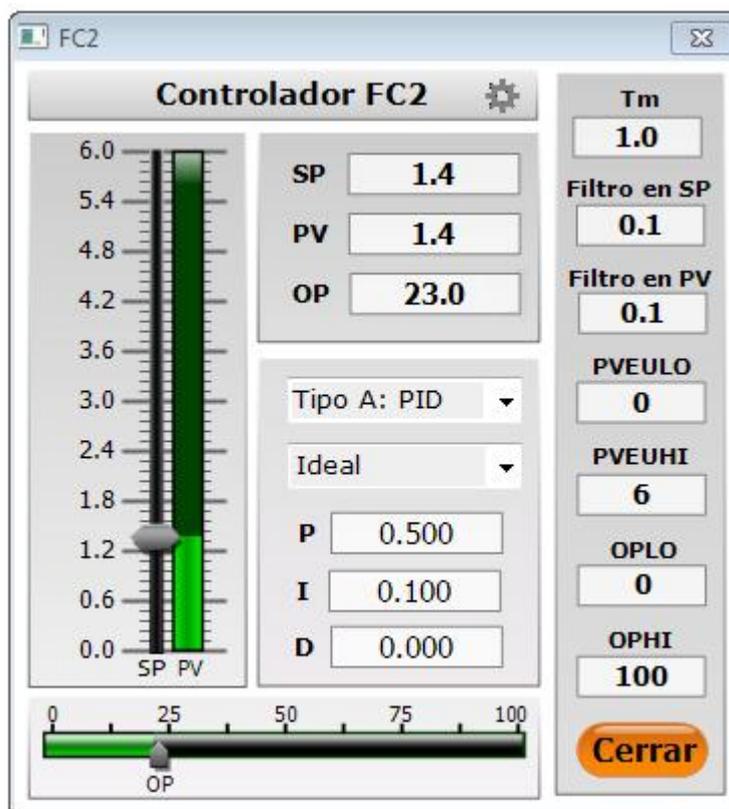


Figura 63: Interfaz gráfica controlador PID con configuración avanzada.

Todos los parámetros mencionados anteriormente, pueden ser modificados en tiempo de simulación en cualquier momento, aunque es aconsejable que la modificación de estas variables se realice cuando el sistema esté en estado estacionario o bien se encuentre parado.

4.7 Gráficos históricos:

Los gráficos disponibles en el SCADA permiten mostrar la evolución del valor de una o más variables para una determinada fecha y un determinado rango de tiempo.

La mayoría de las variables del proceso se han programada para que se puedan visualizar mediante este tipo de gráficos. Para acceder a ellos basta con hacer click sobre el cajetín donde se encuentra el valor de la variable que se desea visualizar.

Este tipo de gráficos son interactivos por lo que el usuario puede ajustar ciertos aspectos como escalas, rango de tiempo de visualización, variables representadas, etc, durante el tiempo de ejecución de la aplicación.

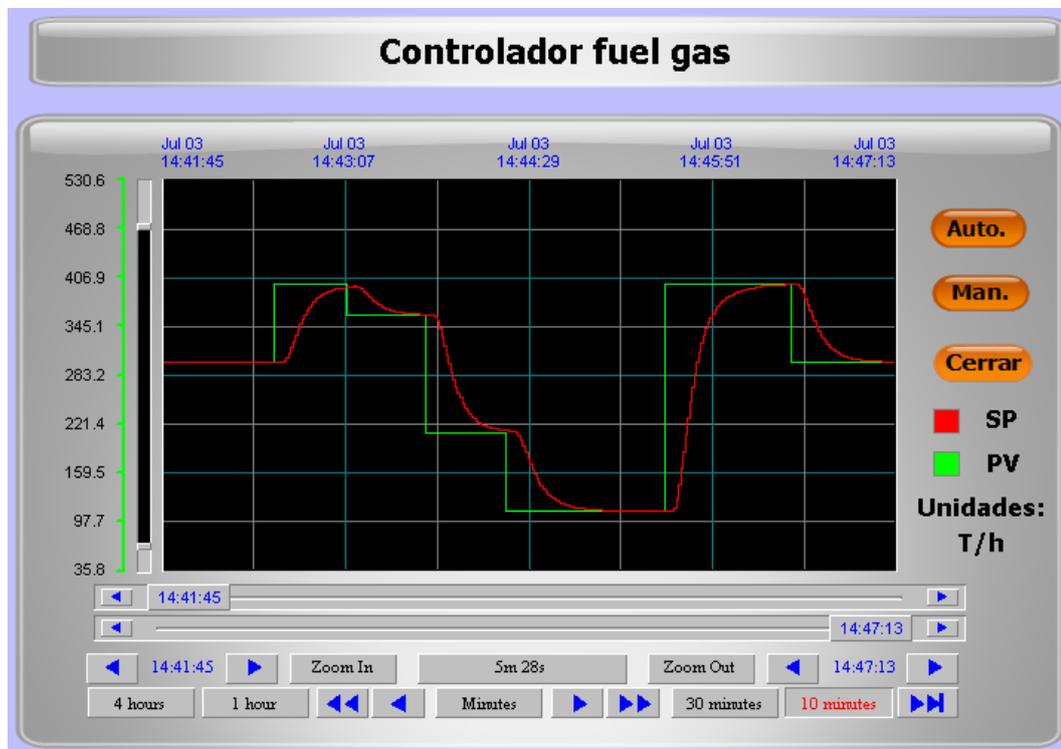


Figura 64: Gráfico histórico.

Para modificar el rango de valores representado en el eje de ordenadas, basta con desplazar los cursores marcados con un círculo rojo en la figura 65. El cursor superior permite modificar el límite superior de los valores representados, y del mismo modo el curso inferior modifica el límite inferior.

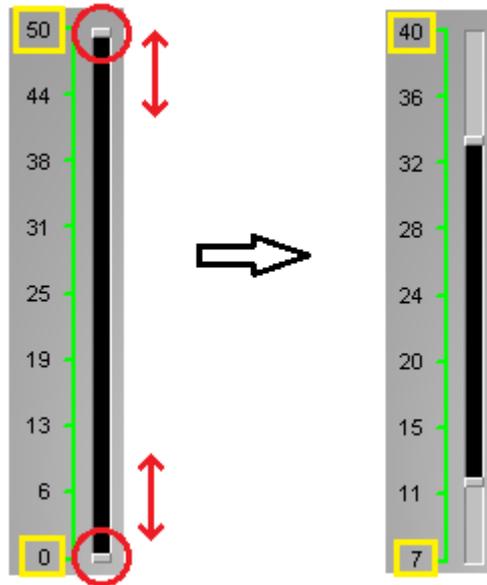


Figura 65: Ajuste de eje de ordenadas en gráficos históricos.

En la parte inferior de los gráficos históricos se dispone de un conjunto de herramientas para actuar sobre el rango de tiempo que se desea visualizar.

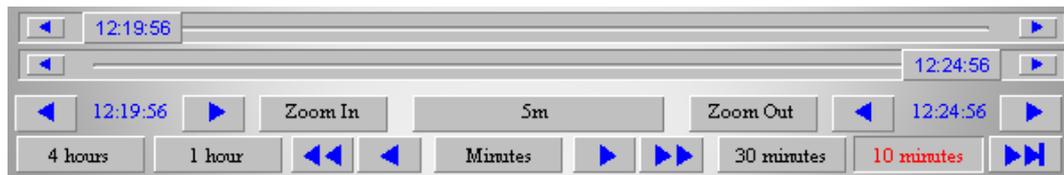


Figura 66: Herramientas de tiempo de gráficos históricos.

Se describen a continuación cada uno de los botones de los que dispone esta barra de herramientas:

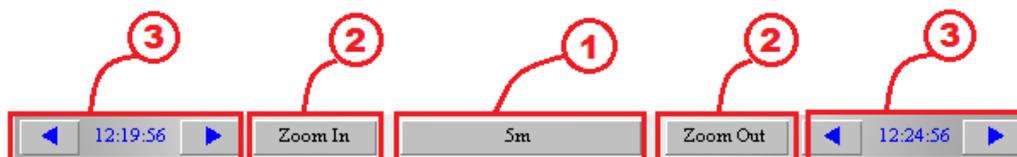


Figura 67: Control de tiempo de visualización en graficos históricos.

1. Rango de tiempo que se está visualizando.
2. Permite modificar el rango de tiempo del apartado 1.
3. Permite modificar los límites de tiempo inferior y superior de manera independiente.

La segunda hilera de botones permite desplazarse a lo largo de todo el gráfico para ver valores del pasado. Basta con elegir la cuantía de tiempo que queremos desplazarnos (botón 3) y pulsar la flecha en el sentido del desplazamiento deseado, siendo el botón 1 un desplazamiento simple y el botón 2 un desplazamiento doble.



Figura 68: Control de desplazamiento en gráficos históricos.

4.8 Wonderware Online Insights.

Se trata de un software que permite visualizar via web datos de los procesos en tiempo real. Para ello accede a la información contenida en las bases de datos de Wonderware.

Esta información está disponible por medio de un explorador web y requiere de un usuario y de una contraseña para acceder a ella. La misma información es accesible desde dispositivos móviles o tabletas por medio de la aplicación Wonderware SmartGlance.

El uso de ambas está destinado principalmente a directivos o ingenieros, ya que permiten controlar la evolución y el estado del proceso sin la necesidad de comprobar el estado de variables o cálculos intermedios.

Ambas herramientas han sido desarrolladas recientemente por Wonderware para adaptarse a la emergente Industria 4.0, ya que permiten el acceso y la gestión de la información en cualquier momento y desde cualquier lugar, siempre y cuando se disponga de conexión a internet. En la misma línea de la Industria 4.0, ambas herramientas también permiten gestionar la información que se desea compartir con el resto de personas, siendo posible proporcionar accesos puntuales a información concreta, por medio de correo electrónico, direcciones web o cuentas de usuario generadas expresamente para esas

personas. Es decir, cada persona sólo podrá ver la información que la empresa quiere que vea.

En las figuras que se muestran a continuación, se puede observar el aspecto que presentan ambas herramientas:

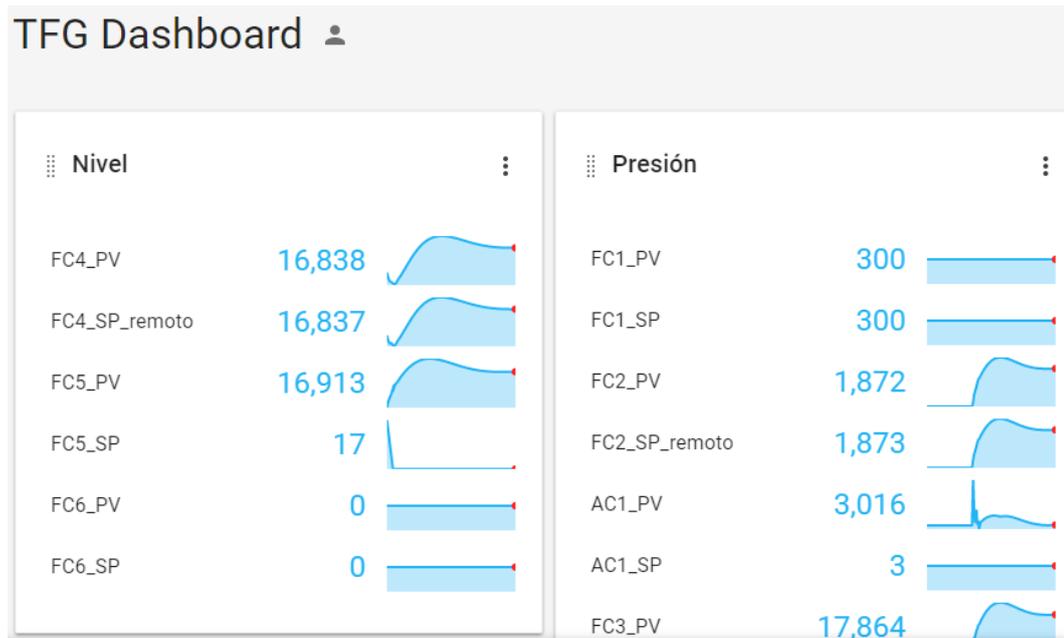


Figura 69: Vista general de las variables definidas en el grupo TFG.



Figura 70: Vista general de las variables del subsistema de control del nivel de la caldera.

4.9 Ejemplo de funcionamiento.

Para concluir este capítulo se muestra a modo de ejemplo, el comportamiento del sistema ante un aumento en la presión fijada en el calderín que pasa de 20 a 24 bares.

Presión en el calderín (Bar).

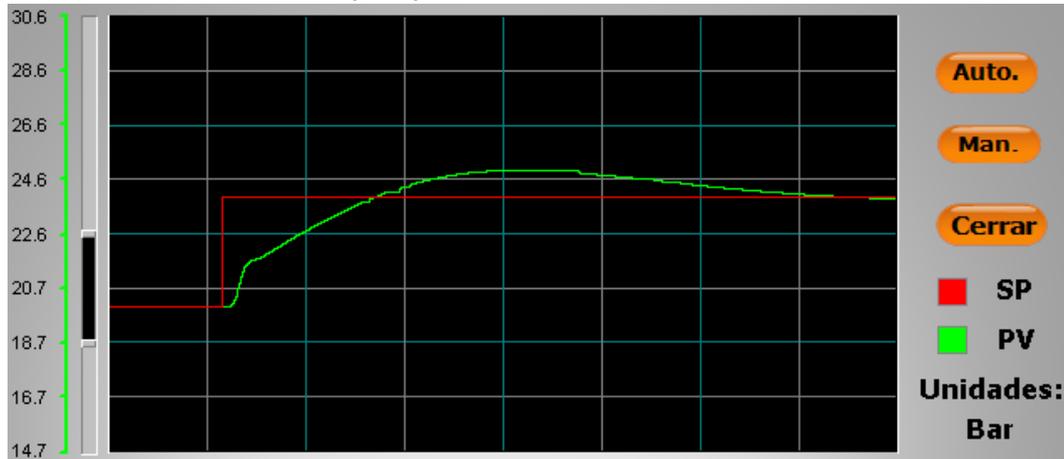


Figura 71: Salto escalón en la presión, de 20 a 24 bares.

Al modificarse la presión del calderín y entrar más combustible, inicialmente la concentración de oxígeno en los humos aumenta hasta el 3,8 %, para posteriormente recuperar el valor de consigna en el 3%.

Concentración de oxígeno en los humos (%).

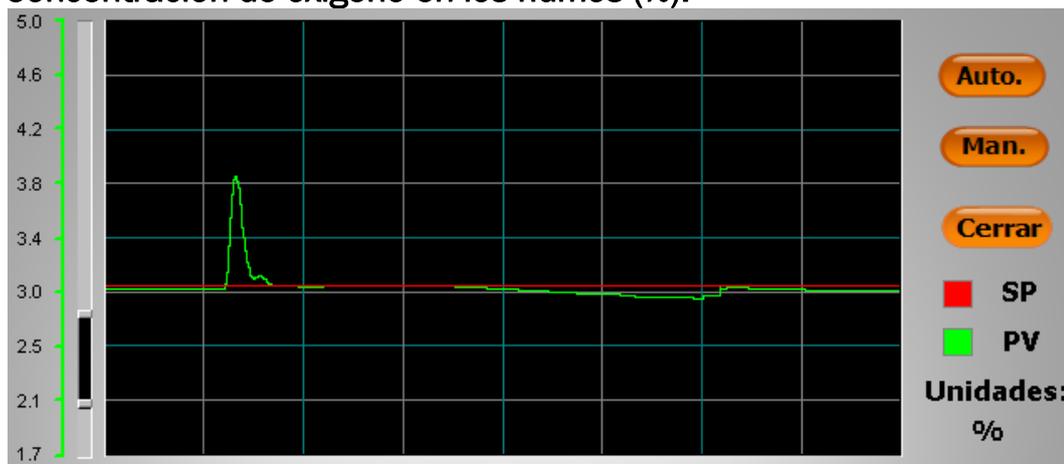


Figura 72: Concentración de oxígeno en los humos. (%)

Al aumentar la presión en el calderín se requiere de una mayor cantidad de combustible, y el fuel oil al ser el combustible más barato es el que aumenta su caudal.

Caudal de fuel oil (T/h) :

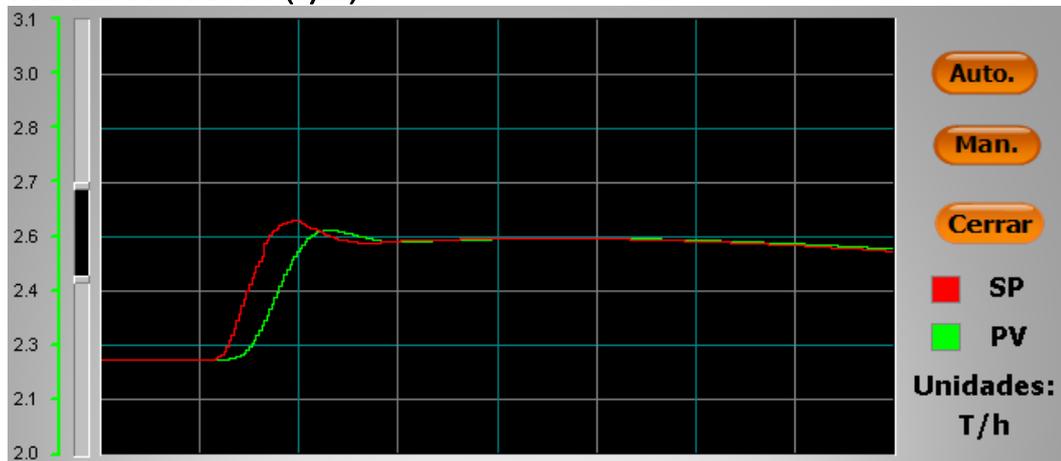


Figura 73: Caudal de fuel oil (T/h).

Al ser más caro el fuel gas, su caudal no sufre variaciones y se mantiene constante.

Caudal de fuel gas (T/h):

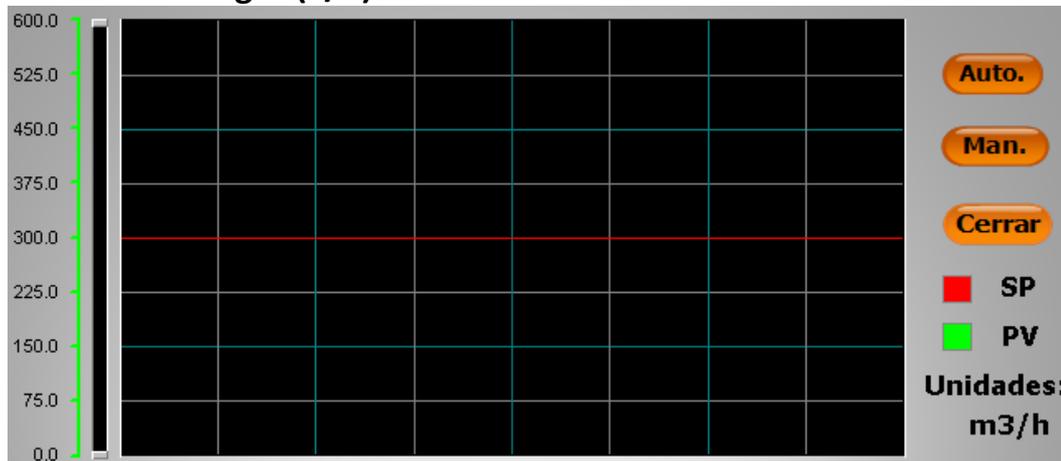


Figura 74: Caudal de fuel gas (m³/h).

El nivel de agua en el calderín se ve afectado por las variaciones de presión, por lo que inicialmente pierde su “set point” y posteriormente recupera su valor estacionario al 50% de llenado.

Nivel de agua en el calderín (%) :

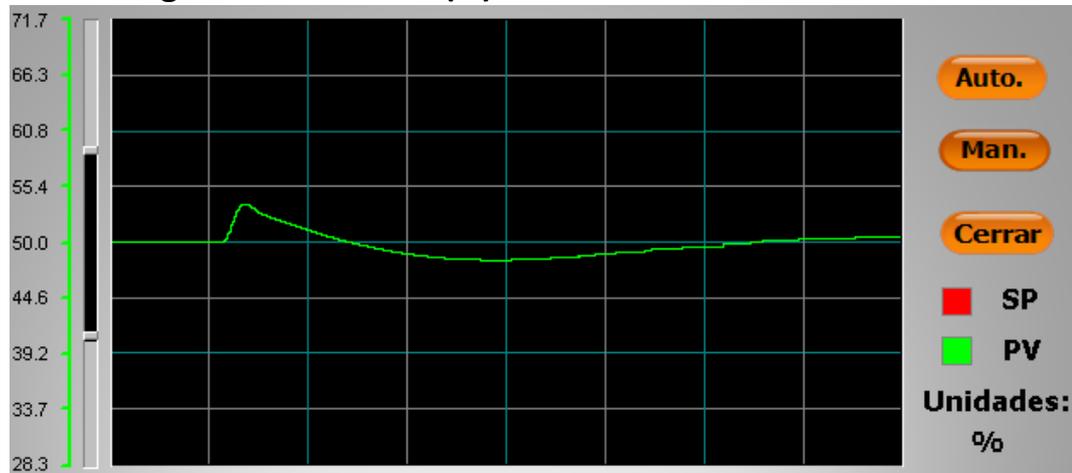


Figura 75: Nivel de agua en el calderín (%).

Capítulo 5:

Conclusiones

Tras un largo periodo de investigación y dedicación a la elaboración de este trabajo de fin de grado, y tras haber superado numerosos problemas de configuración y diseño, se puede concluir que el resultado obtenido cumple con los objetivos planeados en un principio.

La consecución de estos objetivos ha requerido la ampliación de determinados conocimientos que he ido adquiriendo a lo largo del grado, pero también la adquisición de conocimientos en otras materias que desconocía.

De todos estos conocimientos, el más importante es que he aprendido a diseñar sistemas SCADA mediante el uso de Wonderware System Platform, siendo este software uno de los líderes en el mercado para la gestión de procesos industriales en tiempo real.

Otro de los conocimientos adquiridos hace referencia al estándar de comunicación industrial OPC, estándar que desconocía por completo pero de gran importancia en el sector industrial actual. He aprendido a establecer una comunicación OPC, a crear grupos y nodos OPC, a ajustar los parámetros de este tipo de comunicación, a identificar los elementos que lo forman, etcétera.

También he adquirido nuevos conocimientos en los sistemas de control referentes a calderas, que en un principio pueden parecer sencillos, pero requieren de un profundo estudio y dedicación, ya que existe una gran cantidad de tipos de calderas industriales diferentes y cada una posee unos determinados sistemas de control más apropiados.

Además de los conocimientos nuevos adquiridos, he profundizado en otros de gran importancia como son los controladores de tipo PID, que se trata del tipo de control de procesos industriales más extendido en la actualidad. Este tipo de controladores a pesar de su gran importancia, considero que no se estudian con el suficiente detenimiento a lo largo de los cursos y este trabajo de fin de grado me ha servido para aumentar en gran medida mis conocimientos sobre este tipo de control y considero que me será muy útil para mi futuro laboral.

Gracias a todos estos conocimientos he podido desarrollar finalmente un sistema SCADA totalmente funcional que además puede ser utilizado como una herramienta formativa sobre los sistemas de control involucrados en el funcionamiento de una caldera industrial acuatubular de alta presión.

Capítulo 6: Bibliografía

[1] Acebes L. F., Merino A., Gómez L., Alves R., Mazaeda R., Acedo J. (2013): *Simulation and Modeling Methodologies*, en *Technologies and Applications en Advances in Intelligent Systems and Computing*, Berlín: Springer – Verlag.

[2] Acedo Sánchez, J (2006): *Instrumentación y control básico de procesos*, Madrid: Díaz de Santos.

[3] Aenor.es. (2017). *AENOR: Norma UNE-EN 1088:1996+A2:2008*. [Online] Disponible en: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0042171#.WWZJfITyIU> [Último acceso: Jul. 2017].

[4] Acedo Sánchez, J (2006): *Instrumentación y control avanzado de procesos*, Madrid, Díaz de Santos.

[5] Aström, K., Hägglund T. (2009): *Control PID avanzado* (Sebastián Dormido, trad.). Madrid: Pearson Prentice Hall.

[6] Garcia, D. (2017). *Visión de Siemens sobre la Industria 4.0* (en). [Online.] Disponible en: <http://www.infoplcn.net/documentacion/242-industria4-iiot/2629-siemens-industria4-0> [Último acceso, Jul. 2017].

[7] ISA – 5.1 – 1984 (R1992) *Instrumentation Symbols and Identification*. [Online] Disponible en: <https://www.isa.org/isa5-1/> [Último acceso, Jul. 2017].

[8] Mathworks (2017). *OPC Toolbox - MATLAB*. [online] Disponible en: <https://www.mathworks.com/products/opc.html> [Último acceso: Jul. 2017].

[9] OPC Foundation. (2017): *What is OPC? – OPC Foundation*. [Online] Disponible en: <https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/> [Último acceso, Jul. 2017].

[10] *Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio [Online.] Disponible en: <http://www.boe.es/boe/dias/2009/02/05/pdfs/BOE-A-2009-1964.pdf> [Último acceso, Jul. 2017].

[11] Vaca Nieto, A (2015) *Diseño y configuración de un SCADA para una planta de laboratorio*. [Proyecto de fin de grado]. Valladolid: Universidad de Valladolid.

[12] Villajulca, J.C. (2005). *Curso de Control de Calderas*. [Online.] Disponible en: <http://www.instrumentacionycontrol.net/cursos-libres/automatizacion/curso-control-de-calderas.html> [Último acceso, Jul. 2017].

[13] Wonderware Software - Powering the Industrial World. (2017). *Wonderware Spain*. [online] Disponible en: <http://www.wonderware.es/> [Último acceso: Jul. 2017].

ANEXO 1: GUÍA SOBRE EL MANEJO DE INTOUCH Y SOFTWARES ASOCIADOS

MÓDULO 1: InTouch

1. ¿Qué es InTouch? Creación de una aplicación:

El software InTouch proporciona un entorno gráfico para poder llevar a cabo el desarrollo, implementación y visualización de entornos SCADA. Para cada una de estas tareas, dentro de InTouch encontramos:

- WindowMaker → Desarrollo e implementación de SCADAs.
- WindowViewer → Ejecución de SCADAs.

Existen tres tipos de aplicaciones InTouch:

1. Stand-alone Applications.
2. Modern Applications.
3. Managed Applications.

El tipo de aplicación, determina cómo es editada dicha aplicación por el desarrollador y cómo se puede suministrar/proporcionar a los usuarios.

Stand-Alone Applications:

Se trata del tipo de aplicación más sencillo que se puede crear con InTouch. Este tipo de aplicaciones sólo requiere del software InTouch WindowMaker para su desarrollo y de InTouch WindowViewer para su ejecución. Para la utilización de estas aplicaciones en ordenadores distintos a donde han sido desarrolladas, basta con copiar la carpeta que contiene la aplicación y pegarla en el equipo en que se desea ejecutar (Se

debe tener instalado el software InTouch WindowViewer en dicho equipo). También reciben el nombre Legacy Applications.

Managed Applications:

Este tipo de aplicaciones se utilizan cuando el desarrollo y la distribución de las aplicaciones se realiza por medio del software ArchestrA IDE. Este tipo de aplicaciones se pueden editar y ejecutar en equipos distintos siempre y cuando se encuentren conectados vía red al mismo Galaxy Repository (Base datos que almacena toda la información de una aplicación y reside en un único servidor). Una gran ventaja que presenta este tipo de aplicaciones es que disponen de una mayor variedad de objetos gráficos preprogramados y de un aspecto más realista que los gráficos disponibles en las Stand-Alone Applications.

Modern Applications:

Se trata de un tipo de aplicaciones que presentan unas características intermedias entre las Stand-Alone Applications y las Managed Applications. Se desarrollan del mismo modo que las Stand-Alone Applications pero con la ventaja de que se dispone de los gráficos de ArchestrA. Una vez que se ha concluido su desarrollo pueden ser exportadas a ArchestrA y ser utilizadas como Managed Applications. El proceso por el cual una Stand-Alone Application se convierte en una Managed Application se denomina publish.

1.1 Creación de una aplicación:

La ejecución de InTouch se realiza como cualquier otro software instalado en un PC, basta con hacer doble click sobre el icono asociado al software. En el caso de InTouch su icono es el que se muestra en la figura 76:



Figura 76: Icono InTouch.

Tras su ejecución se mostrará una nueva ventana como la de la figura 77:

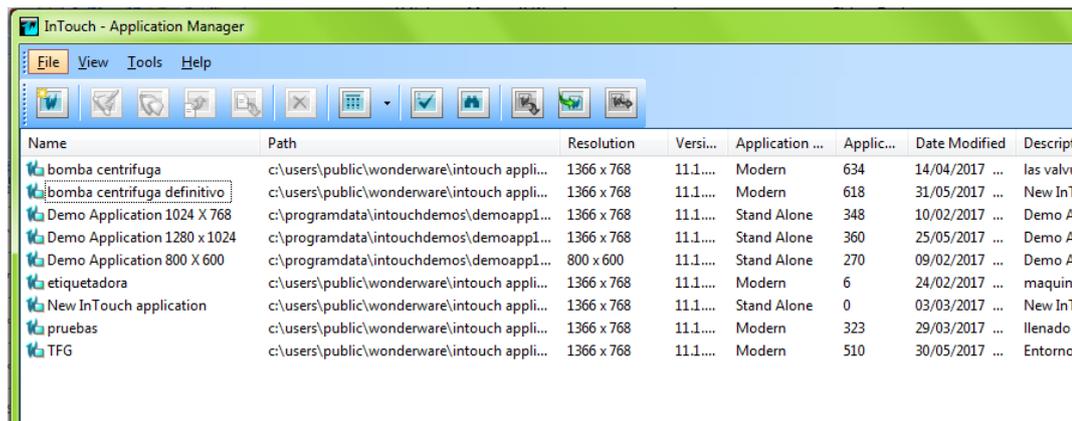


Figura 77: Ventana principal InTouch.

En ella se podrán ver las aplicaciones ya existentes así como datos referentes a cada una de ellas. Para crear una nueva aplicación, se debe acceder al menú *File* y a continuación hacer click en *New*. Tras ello se desplegará una ventana como la que se muestra en la figura 78:

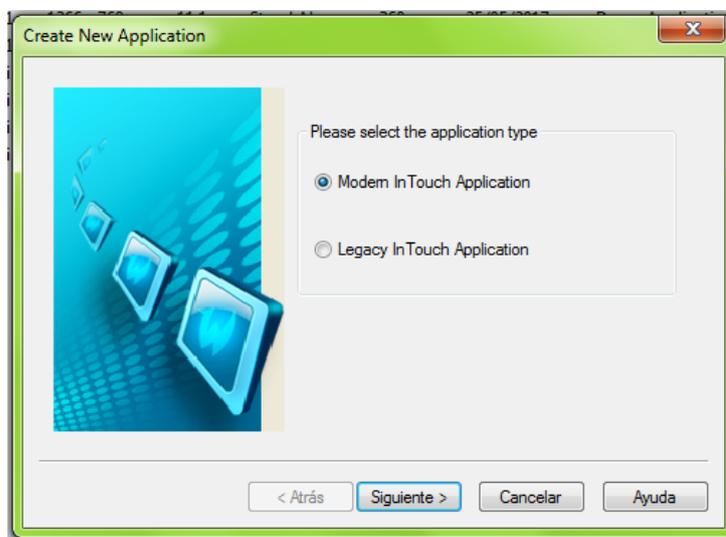


Figura 78: Proceso de creación de una nueva aplicación.

En ella, se debe seleccionar el tipo de aplicación que se desea crear y seguir las instrucciones que se mostrarán. Una vez finalizada la creación de la nueva aplicación aparecerá en la ventana principal y bastará con hacer doble click sobre ella para acceder a WindowMaker.

2. Entorno de WindowMaker.

2.1 Creación de una nueva ventana:

Una ventana en InTouch se trata de un elemento que permite albergar en su interior un conjunto de objetos gráficos con el fin de modelizar un proceso. Su creación es sencilla y se describe a continuación:

1. En la pestaña *File* seleccionar *New Window* o bien pulsar *Ctrl + N*.

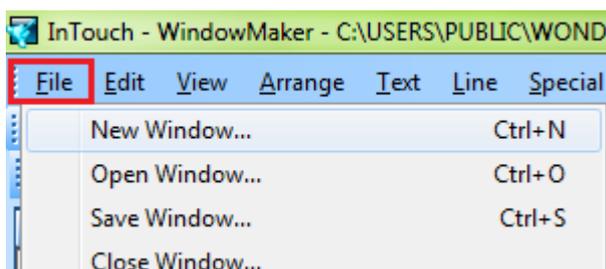


Figura 79: Pestaña File.

2. Se abrirá una ventana que permite configurar las propiedades de la futura nueva ventana.

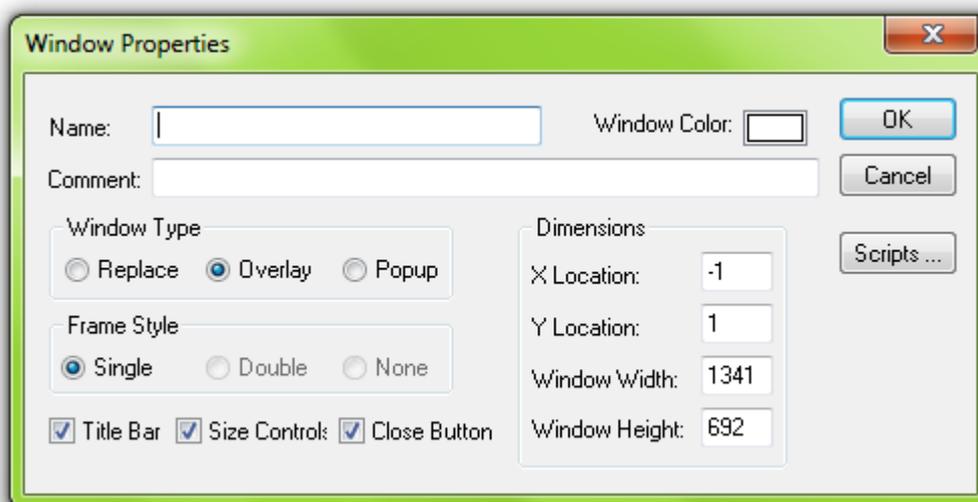


Figura 80: Configuración de propiedades de las nuevas ventanas.

3. En el campo *Name* se debe escribir el nombre de la futura ventana. Su extensión está limitada a 32 caracteres.

4. El campo *Comment* permite incluir una breve descripción de la ventana. Este campo es opcional.
5. Mediante *Window Color* se puede definir el color de fondo que va a presentar la ventana.
6. En *Window Type* seleccionar el tipo de ventana que se desea crear:
 - a. **Replace:** Cierra automáticamente cualquier ventana que impida su visualización.
 - b. **Overlay:** Cuando se selecciona una ventana de tipo Overlay, esta se muestra por encima de cualquier ventana que se encuentre abierta.
 - c. **Popup:** Una ventana de tipo popup se mantiene siempre por encima del resto, aunque tengamos otra ventana seleccionada.
7. *Frame Style* permite seleccionar el tipo de marco que va a tener la ventana.
 - a. **Single:** Borde que permite visualizar el nombre de la ventana y modificar sus dimensiones
 - b. **Double:** Borde que no permite visualizar el título de la ventana y no permite modificar las dimensiones de la misma.
 - c. **None:** La ventana no presenta borde.
8. Mediante el campo *Dimensions* se puede ajustar las dimensiones de la venta así como su ubicación.
9. El botón Scripts permite acceder al editor Window Scripts, es decir un editor de scripts asociado a ventanas.

Una vez ajustados estos parámetros, pulsando el botón OK se creará la ventana.

2.2 Objetos gráficos:

Una vez que se haya creado una ventana, esta permitirá albergar objetos (entre otros elementos). Estos objetos podrán ser diseñados desde cero por nosotros mismos mediante la barra de herramientas de dibujo (Figura 81).



Figura 81: Barra de herramientas de dibujo.

O bien se podrán utilizar un conjunto de gráficos ya prediseñados y preprogramados que denominados **Wizards**, que permitirán ahorrar una gran cantidad de tiempo en el proceso de diseño del SCADA.

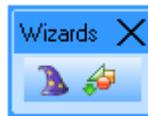


Figura 82: Barra de herramientas de los Wizards.

En InTouch existen dos tipos de Wizards:

- InTouch symbols. 
- Archestra symbols. 

En función del tipo de aplicación que se esté desarrollando, los gráficos de Archestra estarán disponibles o no. Se muestra a continuación en las figuras 83 y 84 algunos de los objetos gráficos de los que disponen cada una de las librerías:

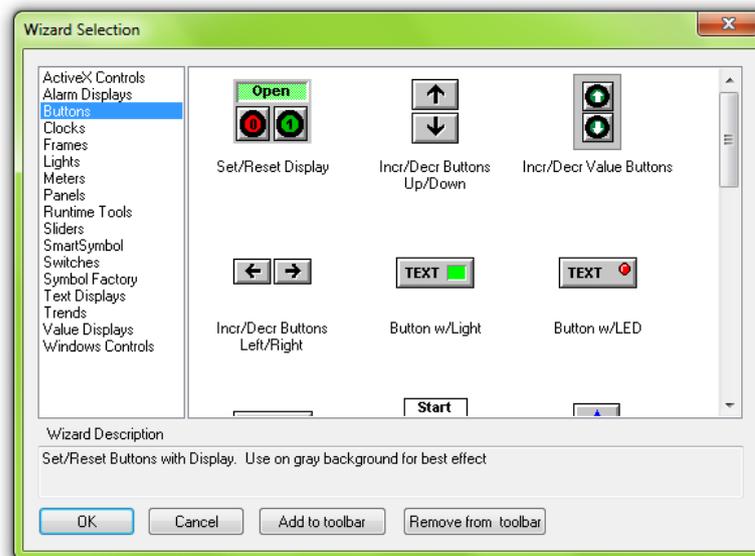


Figura 83: InTouch Symbols.

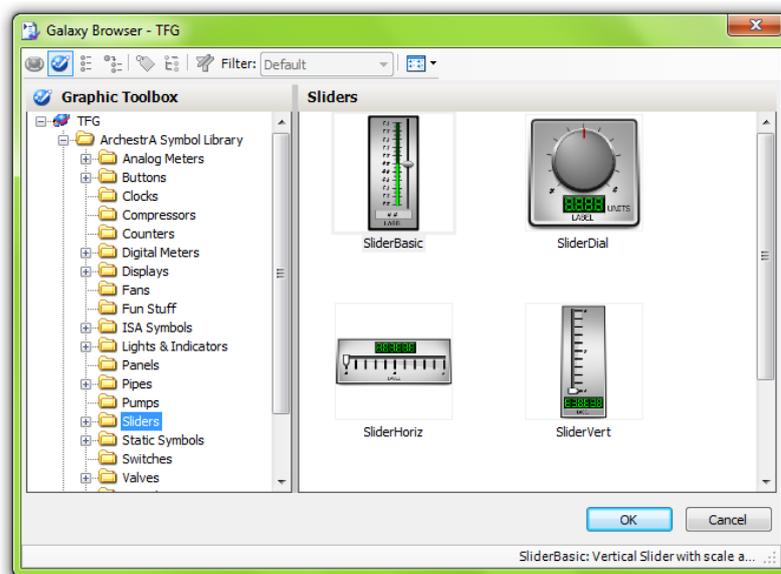


Figura 84: ArchestrA Symbols.

2.3 Animación de InTouch Symbols:

Una vez que los objetos han sido introducidos en una ventana, estos pueden ser animados. Mediante las animaciones los objetos podrán cambiar de tamaño, color, posición, valor, entre otras opciones. El conjunto de todas estas propiedades recibe el nombre de **Animation Links**. Existen dos grupos básicos de animaciones:

- **Display links:** Permiten mostrar información al usuario. Algunos ejemplos de ello serían el nivel de llenado de un tanque, mensajes de alarma, el estado encendido/apagado de una máquina, etc.
- **Interaction links:** Permiten al usuario interactuar con los elementos que forma la aplicación SCADA, como por ejemplo botones, recuadros de introducción de texto, sliders, etc.

Para acceder a la ventana de Animation Links podemos proceder de tres formas diferentes: Haciendo doble click sobre el objeto a animar, seleccionando el objeto y a continuación en el menú *Special* seleccionar *Animation Links* o bien pulsando *Ctrl+A*.

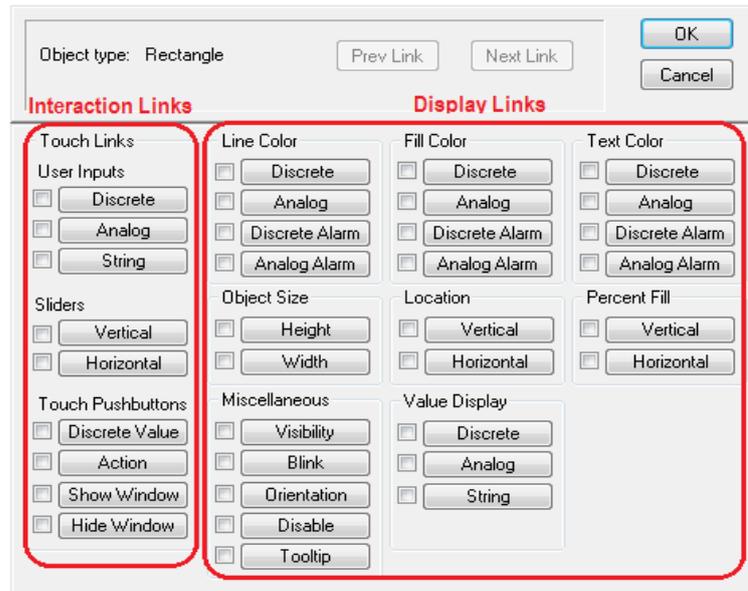


Figura 85: Animation Links.

2.4 Animación de Archestra Symbols:

Las animaciones de los objetos de Archestra son más sencillas ya que estas animaciones vienen preprogramadas y en la mayoría de las ocasiones basta con rellenar ciertos campos con los valores que se desea que se muestren durante la ejecución de la aplicación. En las figuras 86 y 87 se muestra a modo de ejemplo, las posibilidades de configuración de las animaciones de un slider de tipo circular.



Figura 86: Slider circular.

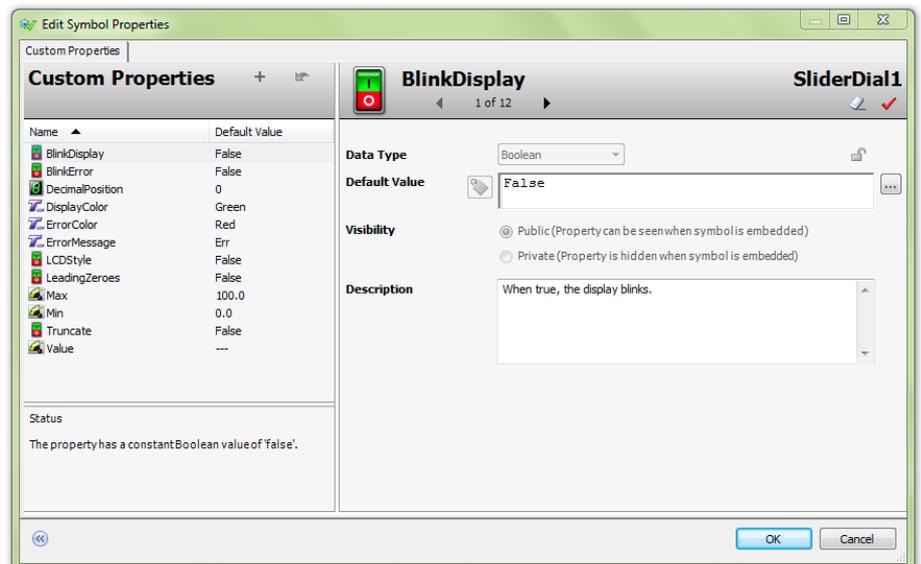


Figura 87: Configuración animaciones Archestra Symbol.

3. Tagname Dictionary:

3.1 ¿Qué es?

Se trata de una herramienta de InTouch Window Maker que contiene todas y cada una de las variables que intervienen en el proceso que se está modelando. En InTouch cada una de estas variables recibe el nombre de *tagname* o simplemente *tag*. El Tagname Dictionary también permite gestionar estas variables añadiendo, quitando o modificando las propiedades de los tags.

Cada vez que se crea un nuevo tag se le debe asignar un tipo de variable concreto en función del tipo de dato al que vaya a estar asociado. Se pueden diferenciar cuatro tipos principales de tagnames:

- **Memory Tagnames:** Se trata de un tipo de variables que existen internamente dentro de InTouch.
- **I/O Tagnames:** Se trata de un tipo de variables que permiten el intercambio de información con casi cualquier tipo de fuente de datos. El acceso a este tipo de variables se realiza a través de los protocolos de comunicación Microsoft Dynamic Data Exchange (DDE) o Wonderware SuiteLink (TCP/IP).
- **Indirect Tagnames:** Se trata de un tipo de variables que actúan como punteros a otras variables. Permiten ahorrar tiempo de ejecución ya que con un mismo elemento gráfico se puede representar más de un componente físico real de la planta. Un ejemplo de ello se muestra en el figura 88:

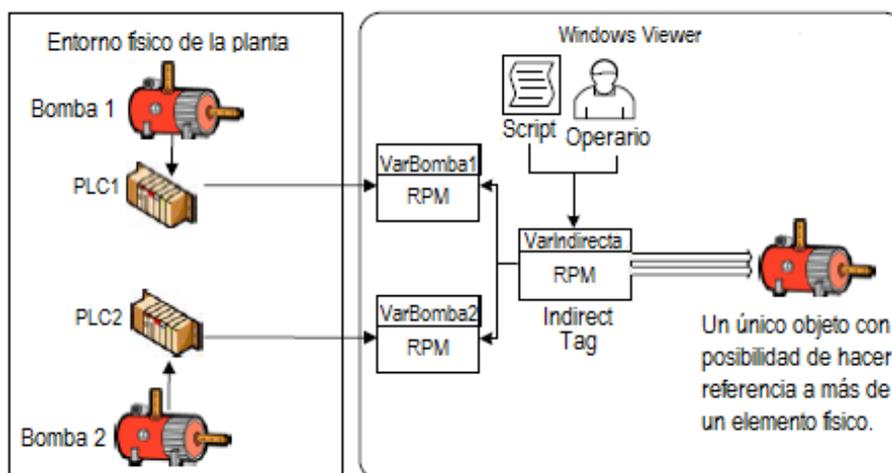


Figura 88: Funcionamiento de las variables de tipo indirecto.

Existen diferentes tipos de variables indirectas, la elección de un tipo u otro dependerá del tipo de variable a la que apunten. A modo de ejemplo, si la variable *VarBomba1* de la figura 88 es de tipo real, la variable indirecta que apunta a ella también deberá ser de tipo real.

- **Miscellaneous Tagnames:** Consisten en un conjunto especial de tagnames que permiten realizar funciones de mayor complejidad. Dentro de ellos encontramos:
 - **Hist Trend y Tag ID:** Se trata de un tipo de variables vinculadas a las propiedades de las gráficas de tipo histórico.
 - **SuperTags:** Los supertags sirven para definir tipos de variables compuestos, se pueden definir supertags de 64 variables y 2 niveles anidados.

3.2 Creación de un tagname:

El proceso de definición de tagnames es sencillo y se detalla a continuación:

1. En primer lugar se debe acceder al Tagname Dictionary, para ello lo podemos hacer, bien mediante el menú *Special* y a continuación haciendo click en *Tagname Dictionary*, o bien pulsado el acceso rápido *Ctrl + T*.

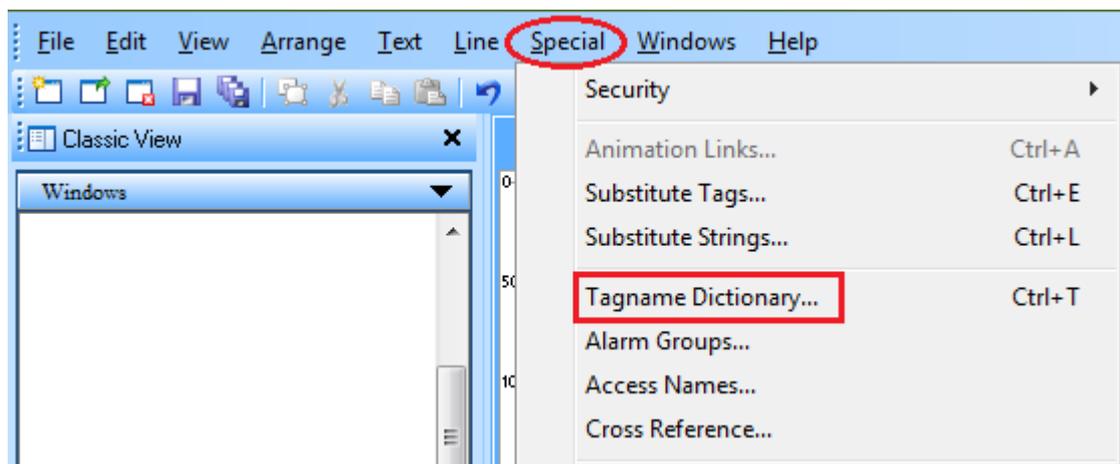


Figura 89: Window Maker, acceso al Tagname Dictionary.

2. Por defecto cada vez que se abre el Tagname Dictionary se muestran las características de la última variable creada (En caso de no haber

ninguna creada se muestran las propiedades de una de las variables internas de InTouch). Para crear una nueva variable se debe pulsar el botón *New*.



Figura 90: Botón New.

3. En el campo *Tagname* se debe escribir el nombre que se quiere dar a la variable (los nombres de las variables deben ser únicos, por lo que no se le puede asignar un nombre ya existente).

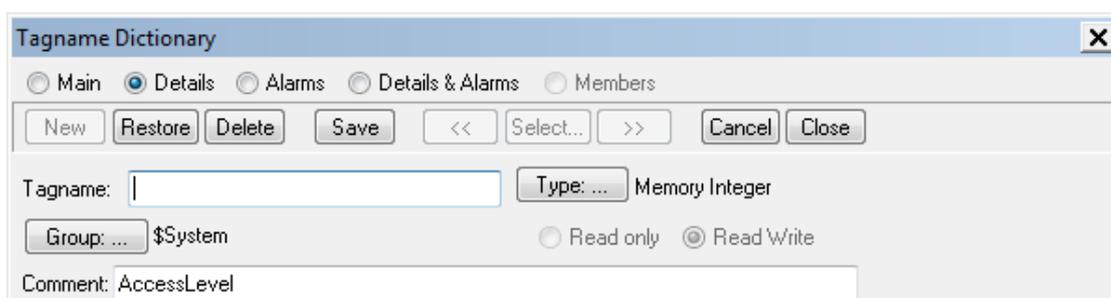


Figura 91: Propiedades básicas de un tagname.

4. Mediante el botón *Type* se accederá a un menú que permite elegir el tipo de variable que se desea crear. (Ver figura 92)

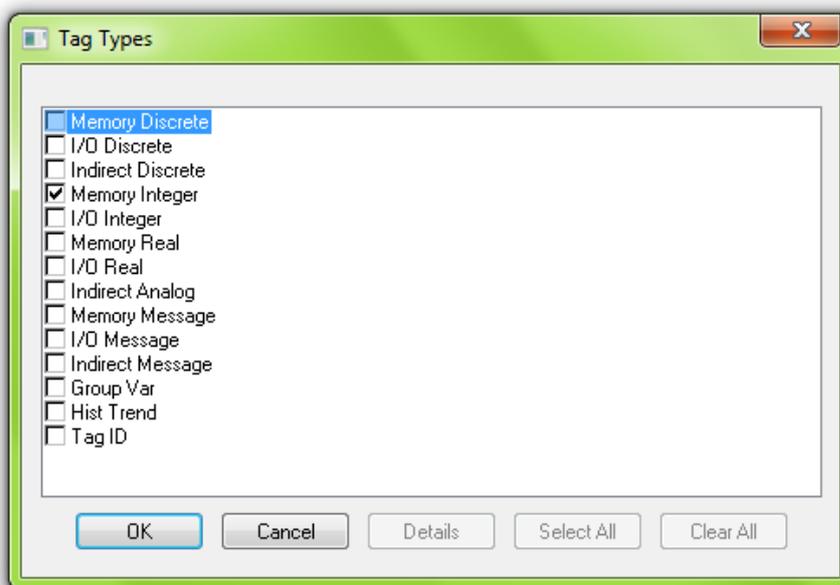


Figura 92: Tipos de variables.

- Si se desea escribir una breve descripción de la variable se puede hacer en el campo *Comment*, la extensión máxima está limitada a 50 caracteres.

Las propiedades configuradas hasta el momento son propiedades básicas y son comunes a cualquier tipo de tagname. En múltiples ocasiones será necesario definir propiedades que son específicas para cada tipo de variable:

3.2.1 Variables de tipo entero y real:

Ambas presentan las mismas propiedades para ser configuradas y son las que se muestran en la figura 93:

Initial Value:	<input type="text" value="0"/>	Min Value:	<input type="text" value="-32768"/>	Deadband:	<input type="text" value="0"/>
Eng Units:	<input type="text"/>	Max Value:	<input type="text" value="32767"/>	Log Deadband:	<input type="text" value="0"/>

Figura 93: Propiedades de variables enteras y reales.

- Initial Value:** Valor inicial que tomará la variable.
- Eng. Units:** Unidades de ingeniería asociadas a la variable.
- Min y Max Value:** Rango de valores que va a poder tomar la variable.
- Deadband:** Mínima variación que debe experimentar una variable para que su valor se actualice en la base de datos. La figura 94 permite comprender esta propiedad más fácilmente.

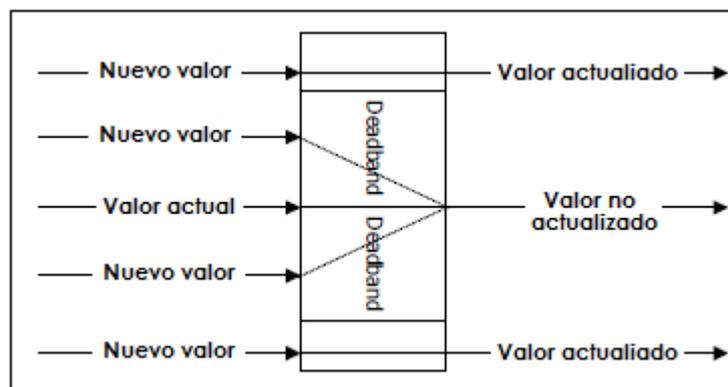


Figura 94: Deadband.

- **Log Deadband:** Mínima variación que debe experimentar una variable para que su valor se actualizado en una gráfica (Que no sea actualizado en una gráfica, no implica que la variable no sea actualizada en la base de datos), la figura 95 muestra este hecho.

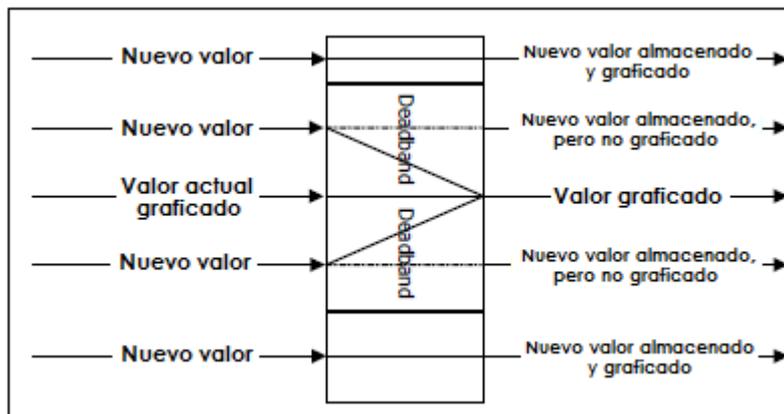


Figura 95: Log Deadband

3.2.2 Variables de tipo discreto:



Figura 96: Propiedades de las variables de tipo discreto.

- **Initial Value:** Permite definir el valor inicial de la variable. On corresponde al valor 1 y Off al valor 0.
- **Input Conversion:** Esta opción sólo estará disponible para variables discretas de tipo E/S. Si se selecciona la opción **Direct** el valor de la variable no experimentará ningún cambio durante el proceso de lectura/escritura. Si por el contrario se elige la opción **Reverse** el valor 0 pasará a valer 1 y el 1 pasará a valer 0 en los procesos de lectura o escritura.
- **On y Off Msg:** Se trata de dos campos opcionales que permiten mostrar un mensaje cuando la variable esta en On o en Off.

3.2.3 Variables de entrada/salida:

En las variables de E/S debe configurarse a mayores, un conjunto de propiedades que permiten identificar al servidor con el que deseamos conectarnos.



Figura 97: WindowMaker, Configuración variables E/S.

- Para elegir dicho servidor, haciendo click en el botón **Access Name** se desplegará un menú que nos mostrará los Access Names que han sido creados previamente y a los cuales podemos conectarnos (Para conocer el proceso de creación de un Access Name ver el apartado 6.2 *Creación de un Access Name*).
- El campo **Item** nos permite seleccionar el nombre de la variable de la cual o sobre la cual queremos leer/escribir datos. Para poder leer/escribir de o sobre esa variable, debe haber sido incluida previamente en un grupo OPC (Ver apartado 10.2 *Conexión a un servidor OPC*).
- Si se marca la casilla **“Use Tagname as Item Name”** el nombre asignado al tagname se asociará automáticamente como nombre al Item del servidor OPC.

4. Scripts:

4.1 ¿Qué son?

Un script es un conjunto de instrucciones/líneas de código que permiten gestionar, administrar y monitorizar aplicaciones InTouch.

4.2 Tipos de Scripts:

Cualquier tipo de script en InTouch debe llevar asociado una acción, que cuando se produzca, el script comenzará a ejecutarse. En función del tipo de acción que desencadena la ejecución del script podemos encontrar:

- **Window Script:** Se ejecutan cuando una ventana de una aplicación InTouch se abre, se cierra o se mantiene abierta.
- **Action Script:** Se ejecutan cuando el operador actúa con un objeto en Window Viewer, como por ejemplo clicando sobre él o pasando el ratón por encima.
- **Data Change Script:** Se ejecutan cuando el valor de una variable/s varía una cierta cantidad.
- **Conditional Script:** Se ejecutan cuando se cumplen una determinadas condiciones lógicas.
- **ActiveX Event Script:** Se ejecutan cuando se produce un evento asociado a un wizard de tipo ActiveX.
- **Key Script:** Se ejecutan cuando se pulsa, suelta o se mantiene pulsada una determinada combinación de tecla/s.
- **Application Script:** Se ejecutan cuando Window Viewer se inicia o se mantiene iniciado.

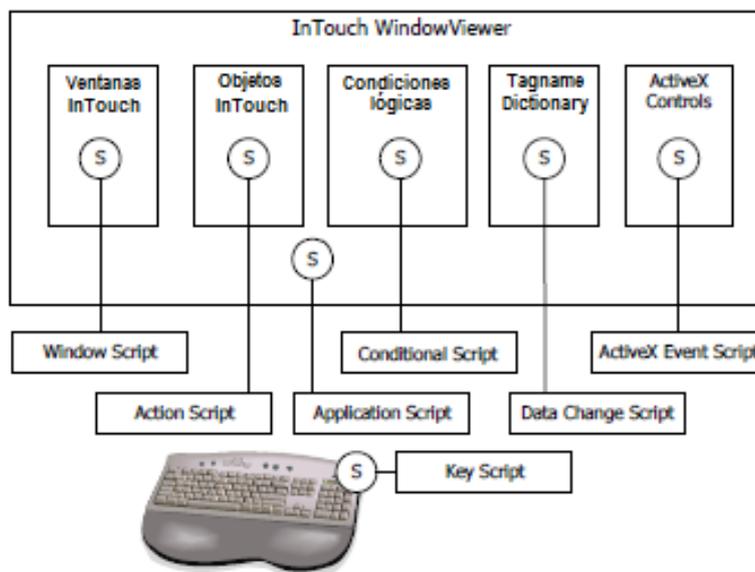


Figura 98: Tipos de Scripts

Todos estos tipos de scripts se pueden a su vez ejecutar de dos modos diferentes:

- **Scripts basados en eventos:** Los scripts se ejecutan una vez cuando se produce un determinado evento.
- **Scripts basando en el tiempo:** Se ejecutan periódicamente mientras se cumpla una determinada condición.

5. Alarmas y eventos:

Las alarmas y los eventos permiten proporcionar información al operador sobre el estado de los procesos.

5.1 Alarmas

Las alarmas representan avisos sobre las condiciones del proceso que potencialmente pueden generar problemas. Se pueden clasificar en cuatro tipos diferentes en función del tagname al que se encuentran asociadas, así encontramos:

1. **Discrete Alarms:** Se trata de un tipo de alarmas asociadas a uno de los estados de una variable discreta, de modo que cuando la variable toma dicho valor, la alarma se activa.

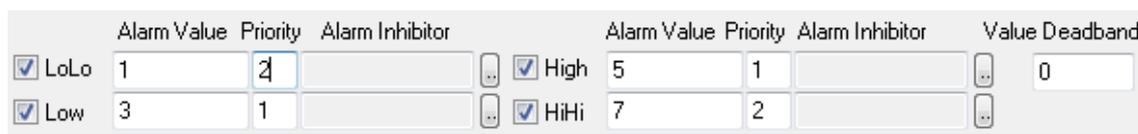


Figura 99: Windows Maker, Discrete Alarms.

2. **Value Alarms:** El valor de la variable se compara con uno o más límites preestablecidos, si se superan dichos límites la alarma se activa. Se pueden definir cuatro límites:

- Muy bajo (LoLo).
- Bajo (Low).
- Alto (High).
- Muy alto (HiHi).

Para asociar este tipo de alarma a una variable, basta con ir al *Tagname Dictionary*, buscar la variable deseada y en el apartado *Alarms* configurar los campos asociados a este tipo de alarma (Ver figura 100).



	Alarm Value	Priority	Alarm Inhibitor		Alarm Value	Priority	Alarm Inhibitor	Value Deadband
<input checked="" type="checkbox"/> LoLo	1	2		<input checked="" type="checkbox"/> High	5	1		0
<input checked="" type="checkbox"/> Low	3	1		<input checked="" type="checkbox"/> HiHi	7	2		

Figura 100: Windows Maker, Value alarms.

3. **Desviation Alarms:** El valor actual de la variable se compara con un valor objetivo, y si el valor absoluto de la diferencia entre el valor objetivo y el valor actual supera el límite fijado, se activa la alarma. Se pueden configurar valores distintos para límites de desviación superior e inferior.

Para asociar este tipo de alarma a una variable, se debe proceder de la misma forma que para el caso de las *Value Alarms*, pero en este caso se deben configurar los campos que se muestran en la figura 101.



Figura 101: Desviation alarm.

4. **Rate-of-change alarms:** Este tipo de alarmas realizan una comparación entre el valor actual de la variable y los valores anteriores que ha tomado, si la tasa de variación del valor de la variable en el tiempo especificado, supera un determinado límite, la alarma se activa.

La configuración de este tipo de alarmas es idéntica a los dos casos anteriores, salvo que se deben configurar los campos que se muestran en la figura 102. La tasa de variación del valor de la variable puede evaluarse en un marco temporal de horas, minutos o segundos.



Figura 102: Alarma rate of change.

Para que cualquiera de estas alarmas pueda ser visualizada por el operario, se debe incluir un visualizador de alarmas. Para ello, basta con acceder a la ventana de Wizards y en el menú que se muestra en el lateral izquierdo, elegir la opción *Alarm Displays* (Ver figura 103).

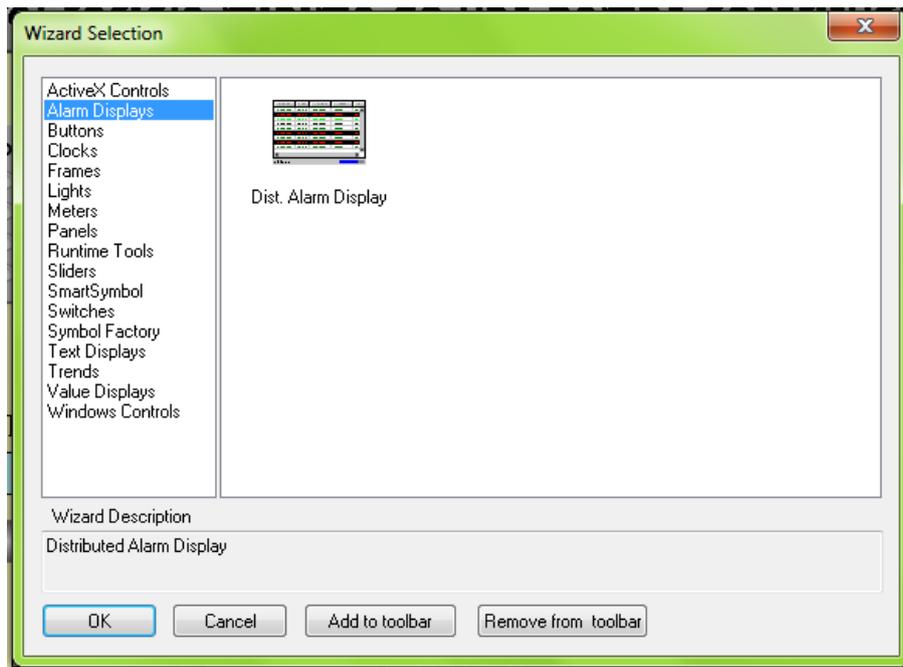


Figura 103: Creación de visualizador de alarmas.

5.2 Eventos:

Un evento proporciona una evidencia de que se ha producido un determinado suceso dentro del sistema, como puede ser alguna acción de un operario, un cambio en la configuración del sistema, un cambio de valor de una variable, etc.

Los eventos representan un estado normal del sistema, y no requieren de ninguna acción correctora por parte de algún operario.

Para que un evento sea notificado se debe marcar la opción **Log Events** correspondiente a la variable que se desea monitorizar.

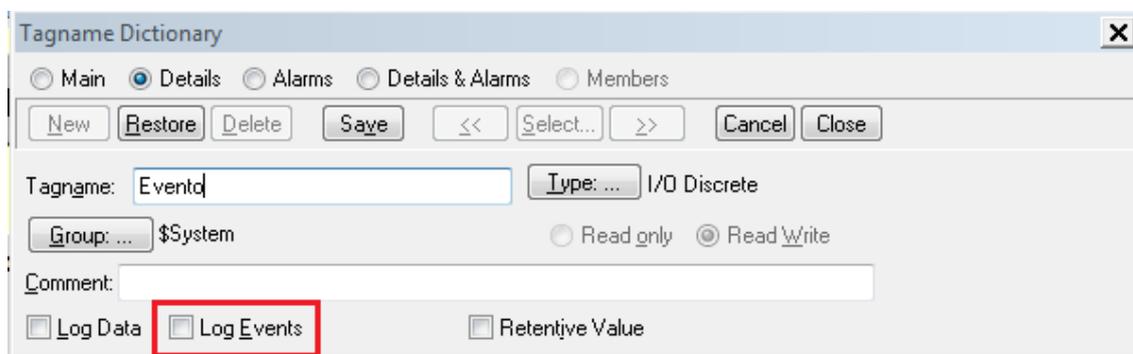


Figura 104: Activar Log Events.

6. Access Name:

6.1 ¿Qué es?

Un access name se trata de un link de comunicación con una fuente de información de E/S. Nos permiten desarrollar aplicaciones distribuidas donde los componentes funcionales de un sistema InTouch, se encuentren en diferentes ordenadores o dispositivos. Las fuentes de información de E/S son habitualmente programas que se ejecutan en un ordenador remoto y usan los protocolos DDE o SuiteLink para comunicarse con otros ordenadores en un sistema InTouch.

6.2 Creación de un Access Name.

Para definir un *Access Name* se debe proceder de la siguiente manera:

1. Click en el menú *Special* y a continuación *Access Names*.

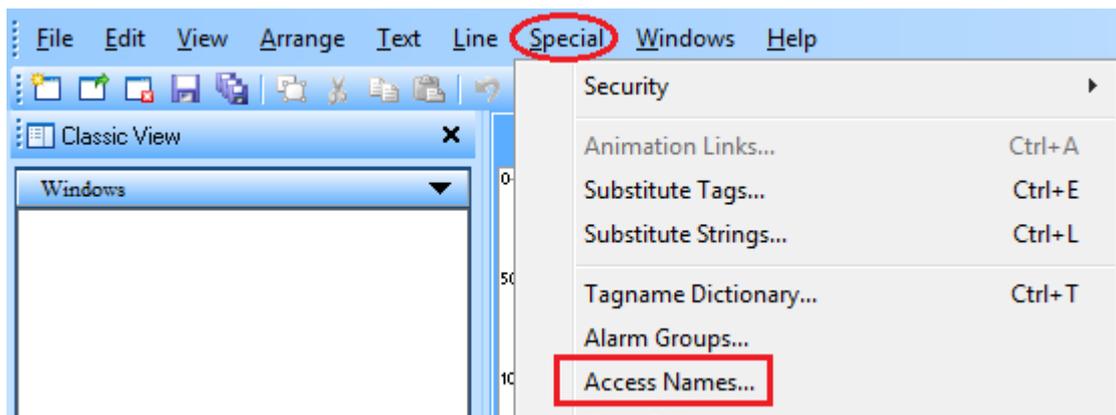


Figura 105: Acceso a la creación de un Access Name.

2. Se desplegará una ventana como se muestra en la figura 106 donde se debe pulsar el botón Add, tras ello se mostrará una nueva ventana como la de la figura 107 de la siguiente página.

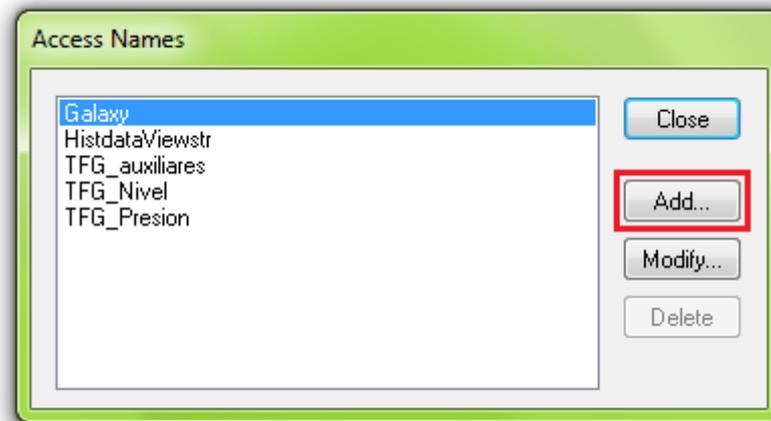


Figura 106: Creación de un Access Name.

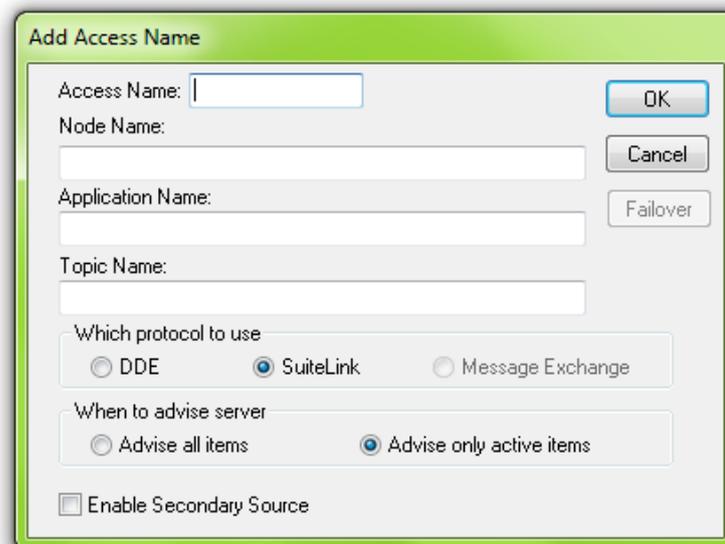


Figura 107: Configuración de un Acces Name.

3. En esta nueva ventana se deben configurar los parámetros:
 - a. **Access Name:** Nombre que recibe el Access Name para poder ser identificado.
 - b. **Node name:** Se utiliza para indicar el ordenador donde se está ejecutando el servidor de E/S.
 - c. **Application Name:** Permite indicar el nombre del programa que actúa como servidor de E/S.

- d. **Topic Name:** Hace referencia al nombre del conjunto de variables que se desea leer/escribir.
 - e. **Wich protocol to use:** Permite elegir el protocolo de comunicación que se va a utilizar.
 - f. **When advise server:** Permite definir qué variables del servidor van a ser leídas. En el caso de elegir “*Advise all items*” todas las variables almacenadas en el servidor serán leídas/escritas independientemente de si están siendo utilizadas en InTouch. Por el contrario si se elige la opción “*Advise only active items*” sólo se leerán/escribirán aquellas variables que están siendo utilizadas, ya sean alarmas, scripts, animaciones, etc.
4. Una vez configurados estos parámetros se debe pulsar el botón *OK* y el *Access Name* quedará creado.
5. Un *Access Name* puede ser modificado con posterioridad a su creación, para ello basta con acceder a la ventana que se muestra en la figura 106, seleccionar el *Access Name* deseado y pulsar el botón *Modify*.

7. Seguridad:

InTouch dispone de un conjunto de herramientas que permiten restringir la modificación o la visualización de los distintos elementos que forman una aplicación en función de la persona que la ejecute. Esto se consigue mediante la creación de cuentas de usuario las cuales tienen asociadas una contraseña y una serie de permisos de edición y visualización. Estos permisos vienen definidos por la variable interna del sistema *\$AccessLevel*.

El proceso de creación de cuentas de usuario, así como la definición de sus permisos se describe a continuación:

1. En el menú *Special*, acceder al apartado *Security* y a continuación click en *Log On*.

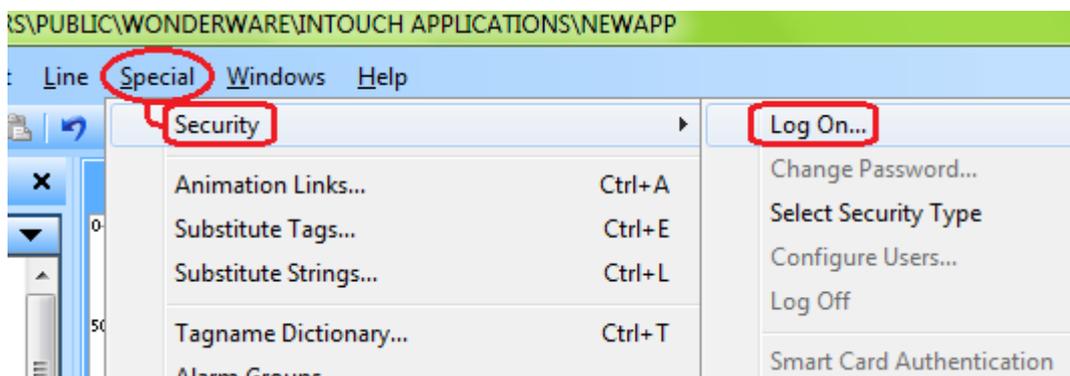


Figura 108: Acceso a la configuración de la seguridad

2. Se desplegará una ventana en la que se debe introducir usuario y contraseña por defecto para que las opciones de configuración de la seguridad se habiliten. Se debe introducir:
 - **Usuario:** Administrator
 - **Contraseña:** wonderware
3. Una vez que se ha realizado la identificación, procedemos del mismo modo que en el punto uno, pero en esta ocasión se debe acceder a la opción *Configure Users*, que estará ahora habilitada. Se mostrará una ventana como la de la figura 109.

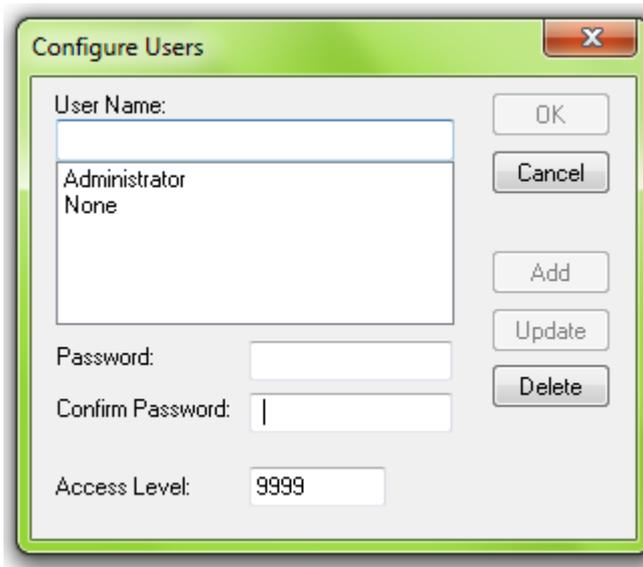


Figura 109: Creación y configuración de usuarios.

4. Para añadir una nueva cuenta de usuario:
 - a. En el campo *User Name* introducir el nuevo usuario que se desea crear.
 - b. En los campos *Password* y *Confirm Password* introducir la contraseña que deseamos asociar a dicha cuenta de usuario.
 - c. Para definir el nivel de permisos, se debe rellenar el campo *Access Level* siendo 0 el valor correspondiente al nivel más bajo y 9999 al más alto.
 - d. Click en *OK*.
5. Si se desea cambiar alguna de las propiedades anteriores, basta con seleccionar en la ventana que se muestra en la figura 109 el nombre de usuario cuyas propiedades se quieren modificar y hacer click en *Update*.
6. Del mismo modo se procede para eliminar un usuario, pero en esta ocasión seleccionando la opción *Delete*.

8. Gráficas.

InTouch dispone de dos tipos de gráficas:

- Gráficas de tiempo real.
- Gráficas de tiempo histórico.

8.1 Gráficas de tipo tiempo-real:

Se trata de un tipo de gráficas dinámicas, que muestran una representación gráfica de los variables de una aplicación InTouch que se encuentre en ejecución. Es por ello que se están actualizando continuamente. Con ellas se puede representar la evolución de hasta un máximo de cuatro tagnames.

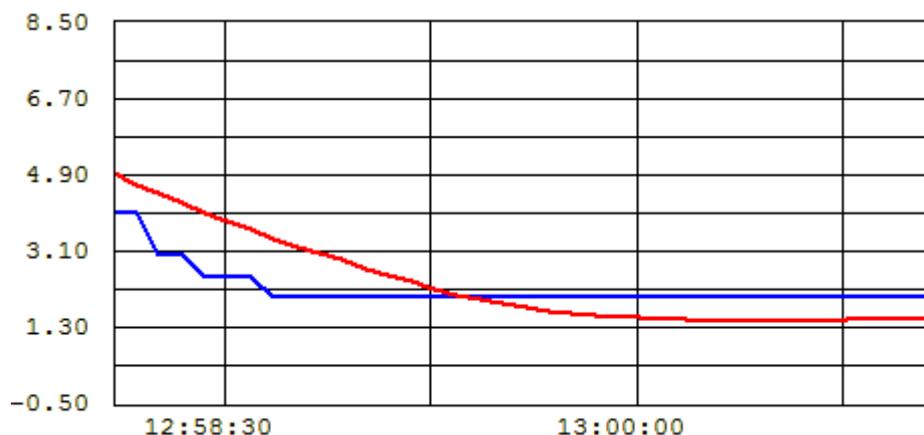


Figura 110: Gráfica de tiempo real.

8.2 Gráficas de tipo tiempo-histórico:

Este tipo de graficas permiten mostrar la evolución del valor de una o más variables para una determinada fecha y un determinado rango de tiempo. A diferencia de las gráficas de tiempo real, las gráficas históricas permiten un control mucho mayor del modo de visualización de la información, ya que permiten incorporar un conjunto de complementos para el control de escalas, rangos de tiempo, modos de visualización, etc.

Las gráficas de tiempo histórico, no son gráficas dinámicas ya que la actualización de los valores mostrados, sólo se produce cuando el operario lo desea. Con ellas se puede representar hasta un máximo de ocho tagnames.

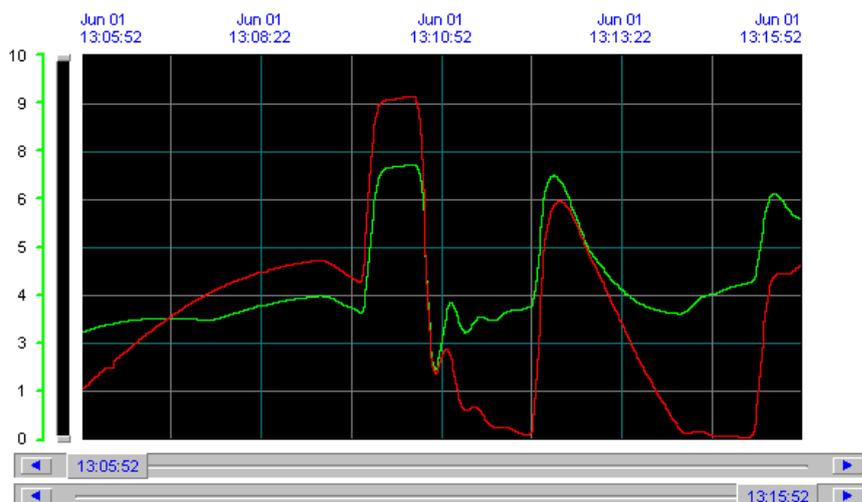


Figura 111: Graficas de tipo tiempo-histórico.



Figura 112: Complementos de control para gráficas de tiempo-histórico.

La configuración de este tipo de graficas es bastante sencilla. Al hacer doble click sobre la gráfica se desplegará un menú de ajustes como se muestra en la figura 113:

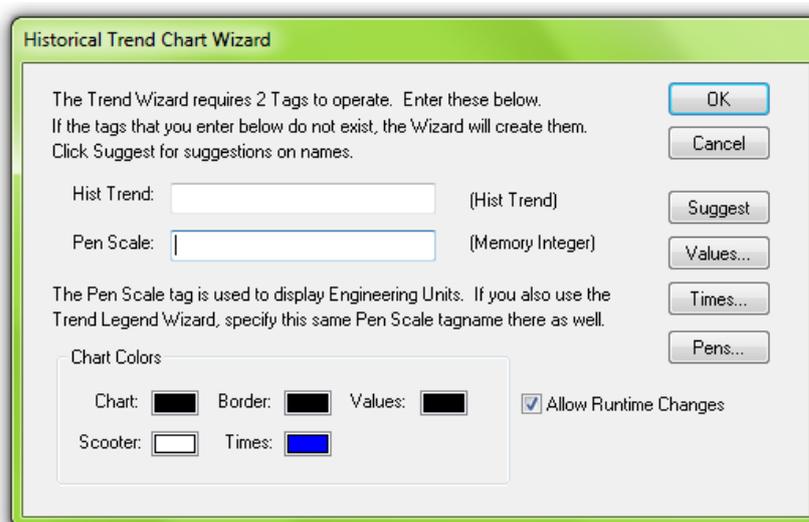


Figura 113: Configuración gráficos históricos.

Lo primero que se debe hacer es asignar las variables Hist Trend y Pen Scale, para ello, lo más sencillo es que sea el propio programa quien las asigne, por lo que bastará con hacer click en el botón *Suggest* de la parte derecha.

Para seleccionar las variables que se desea representar se debe hacer click en el botón *Pens*, tras ello se mostrará una ventana como la de la figura 114 en la que se deberán seleccionar las variables que se desee representar.

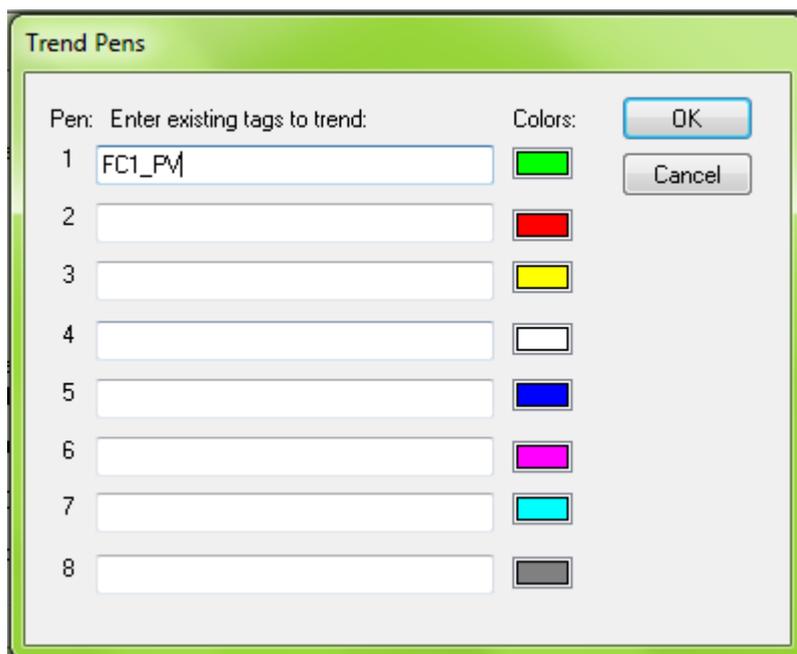


Figura 114: Selección de las variables que se desea representar.

De forma similar se debe proceder con los controles de tiempo. Haciendo doble click sobre ellos se desplegará una ventana como la de la figura 115. En ella se deben introducir los mismos nombres de las variables que se asignaron a la gráfica. De este modo se conseguirá vincular los controles de tiempo a la representación grafica.

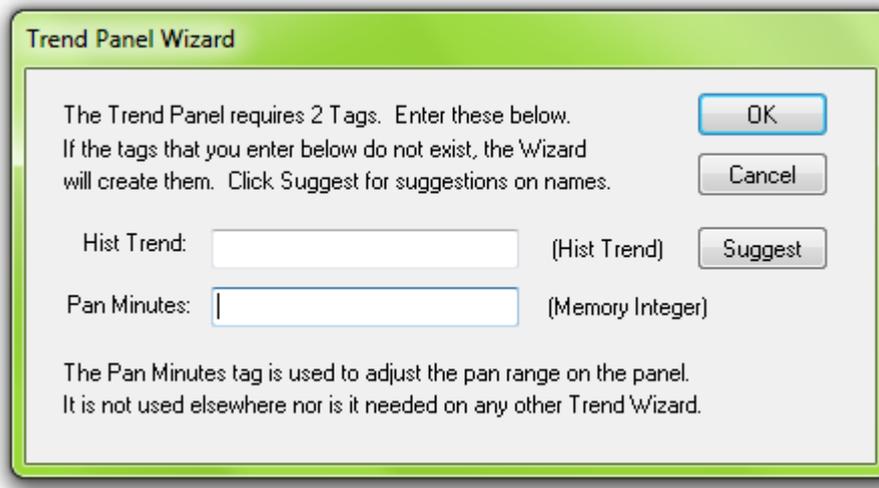


Figura 115: Configuración de la herramienta de control de tiempo.

Una vez hecho esto, habrá quedado configurado el gráfico histórico.

9. Window Viewer:

Software que permite la ejecución y visualización de cualquiera de los tipos de aplicaciones que pueden ser desarrolladas con WindowMaker.

Para acceder a WindowViewer desde WindowMaker basta con hacer click en el botón de la esquina superior derecha de la ventana principal.

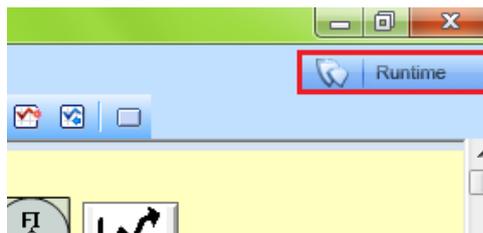


Figura 116: Botón runtime.

Otra forma de acceder sin tener que hacerlo desde WindowMaker es desde el menú principal de InTouch seleccionando la aplicación que se desea abrir y haciendo click en el botón que se indica en la figura 117.

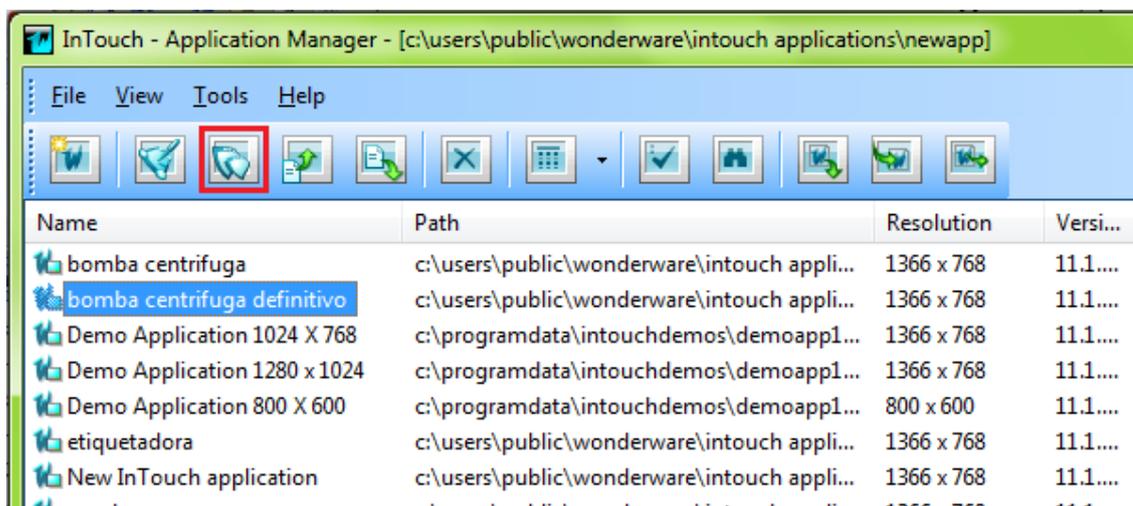


Figura 117: Acceso a WindowViewer desde InTouch.

MÓDULO 2: Softwares asociados.

10.FS Gateway

10.1 ¿Qué es?

FS Gateway (Factory Suite Gateway) es un software que actúa como un convertidor de protocolos. Permite conectar un cliente con una fuente de datos aunque ambos utilicen protocolos de comunicación diferentes.

10.2 Conexión a un servidor OPC

Para el caso desarrollado en el el presente trabajo de fin de grado, el FS Gateway se ha utilizado para conectarse a un servidor OPC. El proceso de conexión se describe a continuación:

1. Ejecutar System Mangement Console (SMC).  System Management Console
2. En el menú lateral izquierdo se debe seleccionar DAserver Manager → Default Group → Local → ArchestrA.FSGateway.3 → Configuration, como se puede ver en la figura 118.

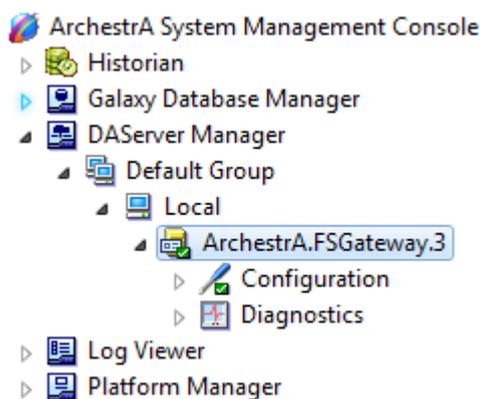


Figura 118: SMC, Jerarquía de acceso a FS Gateway.

3. Click con el botón derecho sobre *Configuration* y a continuación *Add OPC Object*. Se creará un objeto OPC con el nombre por defecto New OPC_000 (este nombre se puede modificar por el que se desee). Se debe tener seleccionada la opción *Configuration* cuando se haga click con el botón derecho sobre ella, de lo contrario las opciones que se muestran en la figura 119 aparecerán deshabilitadas.

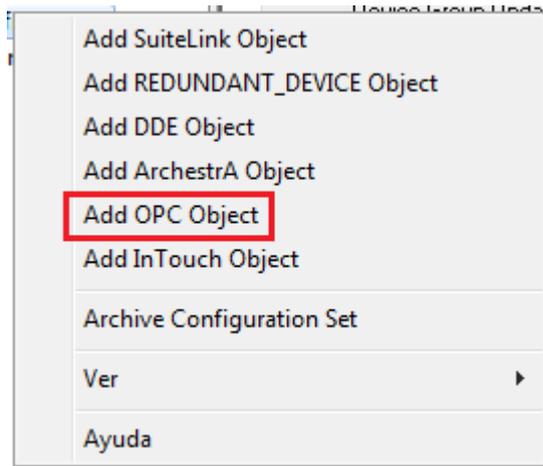


Figura 119: SMC, Añadir objeto OPC.

4. Haciendo doble click sobre el nuevo objeto OPC creado, accedemos a la configuración de sus propiedades:

- **Server Node:** Nombre del ordenador donde se encuentra el servidor OPC.
- **Server Name:** Nombre del software que actúa como servidor OPC.
- **Reconnect Attempts:** Número de intentos que FS Gateway realizará si la conexión falla. Un valor de -1 indica que no hay límite de intentos.
- **Reconnect Period:** Intervalo de tiempo en milisegundos entre cada intento de reconexión si el proceso de conexión falla.
- **Poke Retries:** Número de veces que se reintenta una operación de escritura si esta falla.

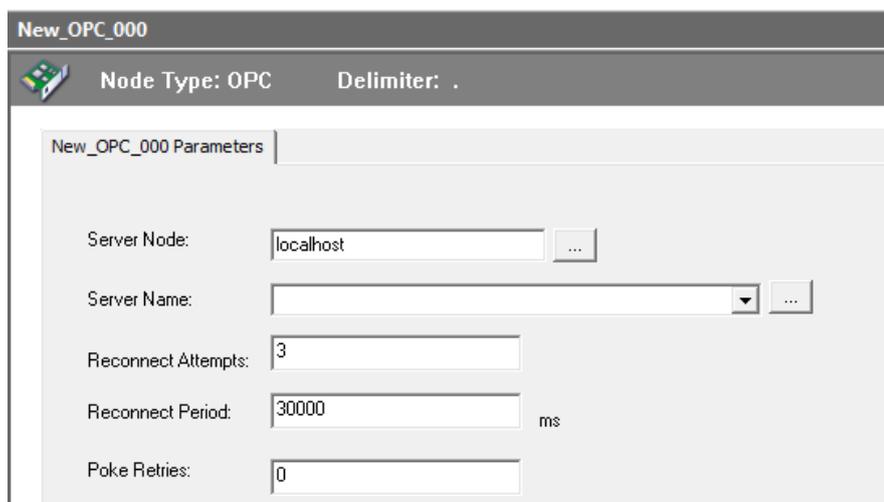


Figura 120: SMC, propiedades de un objeto OPC.

5. Crear un grupo OPC: Para ello, sobre el objeto OPC creado anteriormente, click con el botón derecho y seleccionar *Add OPCGroup Object*. Automáticamente se creará un grupo OPC con el nombre por defecto *New_OPCGroup_000*.



Figura 121: Creación Grupo OPC.

6. **Configurar las propiedades del grupo OPC:** Haciendo doble click sobre el grupo OPC se accederá a la ventana de configuración de la figura 122
 - **Device Group Name:** Nombre bajo el cual se agrupan el conjunto de variables que se desea monitorizar del servidor OPC.
 - **Update Rate:** Intervalo de tiempo en milisegundos entre cada actualización de las variables monitorizadas.
 - **OPC Item Prefix:** Permite añadir un prefijo de manera automática a el nombre de todas las variables que añadamos a ese grupo.

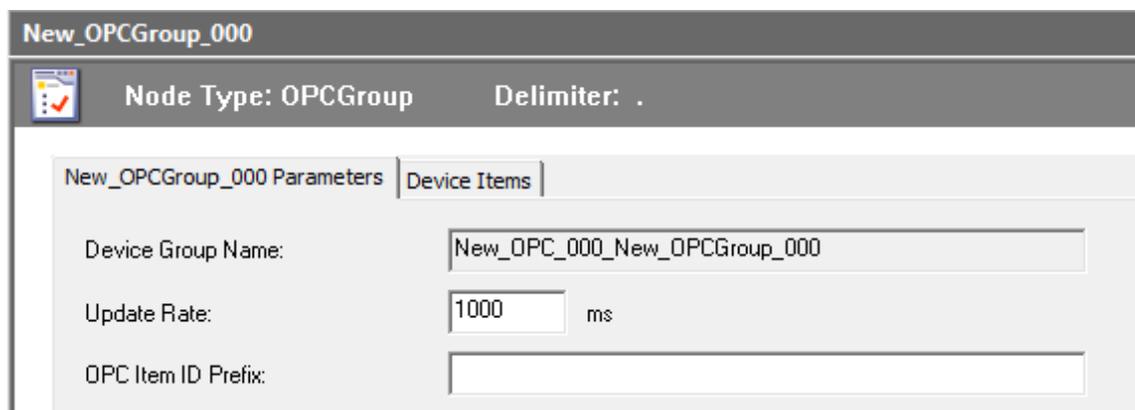


Figura 122: Propiedades grupo OPC.

7. **Añadir variables al grupo OPC:**

Para ello se debe hacer click sobre el botón *Browse OPC Items*; automáticamente se abrirá una ventana como la que se muestra en la figura 46. Arrastrar las variables deseadas desde el recuadro *Available Items* al recuadro *Basket* y pulsar *OK* (Ver figura 47).

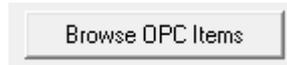


Figura 123: Botón Browse OPC Items

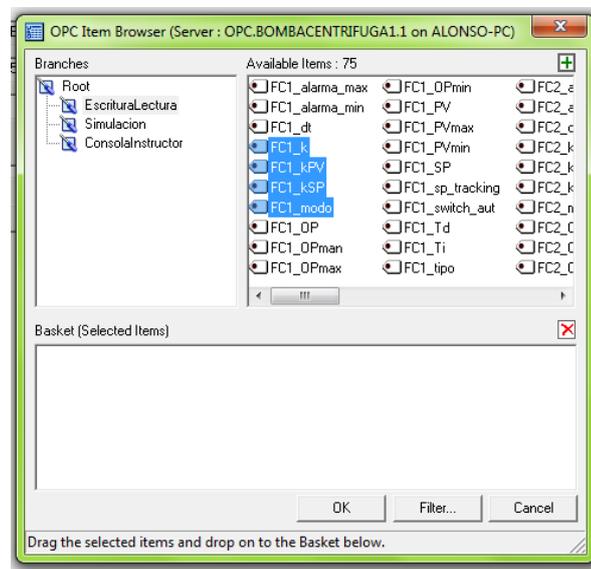


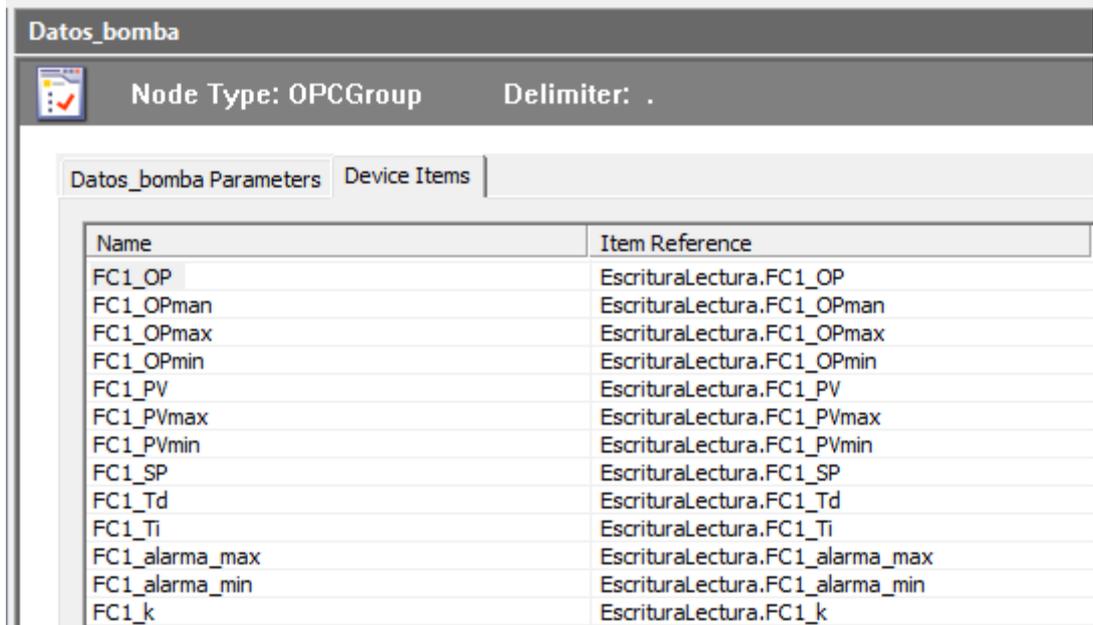
Figura 124: Ventana OPC Item Browser.

8. Las variables añadidas aparecerán en la pestaña *Device Items*, esta pestaña se puede ver en la ventana de configuración de las propiedades del Objeto OPC (ver figura 125).

9. Al acceder a esta pestaña se visualizarán dos columnas:

- **Item References:** Nombre de la variable dentro de la fuente de datos.
- **Name:** Nombre visto desde InTouch para el Item Reference.

El nombre que recibe cada variable debe ser único, por lo que no podrán existir otras variables con el mismo nombre dentro del mismo grupo OPC.



Name	Item Reference
FC1_OP	EscrituraLectura.FC1_OP
FC1_OPman	EscrituraLectura.FC1_OPman
FC1_OPmax	EscrituraLectura.FC1_OPmax
FC1_OPmin	EscrituraLectura.FC1_OPmin
FC1_PV	EscrituraLectura.FC1_PV
FC1_PVmax	EscrituraLectura.FC1_PVmax
FC1_PVmin	EscrituraLectura.FC1_PVmin
FC1_SP	EscrituraLectura.FC1_SP
FC1_Td	EscrituraLectura.FC1_Td
FC1_Ti	EscrituraLectura.FC1_Ti
FC1_alarma_max	EscrituraLectura.FC1_alarma_max
FC1_alarma_min	EscrituraLectura.FC1_alarma_min
FC1_k	EscrituraLectura.FC1_k

Figura 125: SMC, Pestaña Device Items.

Una vez que se han ajustado los nombres de las variables, se debe pulsar OK y el proceso de conexión a un servidor OPC habrá finalizado.

En caso de querer eliminar variables del grupo OPC, se deberá acceder a la pestaña *Device Items* y haciendo click con el botón derecho sobre la variable a eliminar, seleccionar la opción *Delete*.

11. Wonderware Historian.

11.1 Historian:

Consiste en una base de datos que permite almacenar información de los DAServers, aplicaciones InTouch y de los servidores de E/S. Wonderware Historian también almacena toda aquella información vinculada a aspectos de configuración, alarmas, eventos, etc.

11.2 Historian Client:

Se trata de un conjunto de softwares de tipo cliente, que permiten el análisis y la gestión de datos de las aplicaciones InTouch así como la generación de informes a partir de la información proporcionada por Wonderware Historian.

El conjunto de softwares que forman Wonderware Historian Client son cuatro y son:

1. Wonderware Historian Client Trend.
2. Wonderware Historian Client Query.
3. Wonderware Historian Client Workbook.
4. Wonderware Historian Client Report.

Para poder utilizar cualquiera de ellos se debe crear una conexión con Wonderware Historian. El proceso es idéntico para cualquiera de los cuatro softwares y se detalla a continuación:

1. Abrir el Sever List Configuration. Para ello se debe ir a la pestaña Tools y a continuación clicar en servers, o bien mediante el botón de acceso directo que se muestra en la figura 126, tras ello se desplegará la ventana del Server List Configuration.

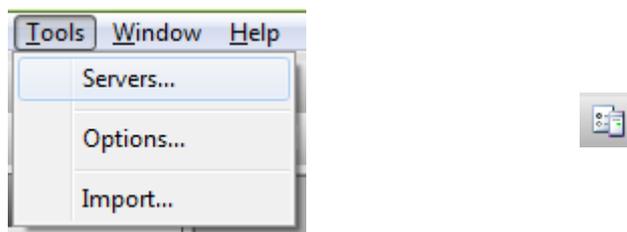


Figura 126: Distintas formas de acceso al Server List Configuration

2. En el campo Server se debe introducir el nombre del servidor al que se desea conectarse, y a continuación pulsar el botón Update.

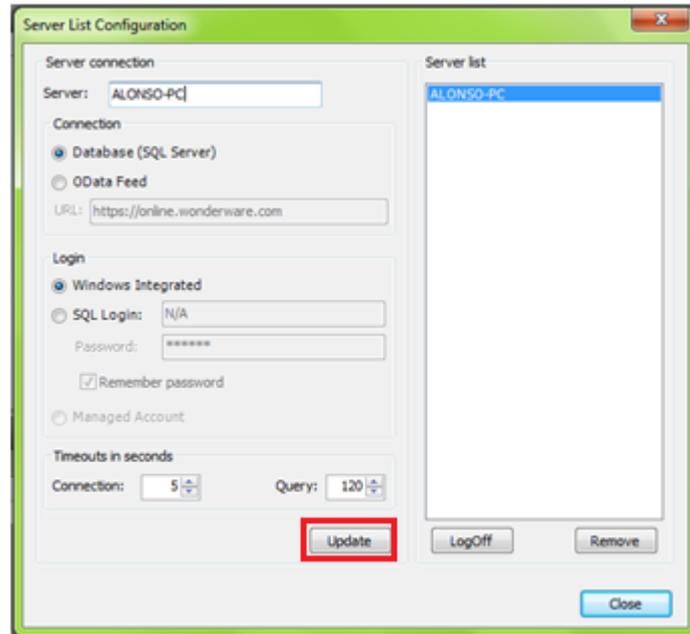


Figura 127: Server List Configuration.

11.2.1 Wonderware Historian Client Trend:

Se trata de un software de tipo cliente que permite hacer consultas a la base de datos de Wonderware Historian para visualizar gráficamente los valores de las variables de una determinada aplicación InTouch.

En el interfaz de Historian Trend (ver figura 128), se puede diferenciar los siguientes elementos:

1. Barras de herramientas.
2. Servers:
3. Tags.
4. Filter.
5. Información de variables

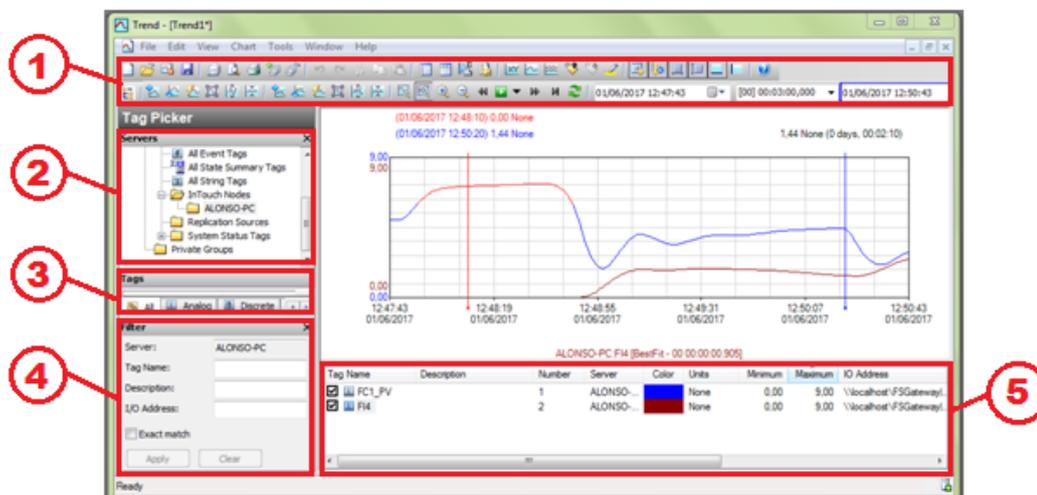


Figura 128: Trend, ventana principal.

Se describe a continuación cada una de estas partes:

1. **Barras de herramientas:** Permite configurar el modo de visualización gráfica de las variables. Dispone de gran cantidad de opciones pero las más habituales son las siguientes:
 - a) **Valores históricos y estadísticos:** Proporcionan tablas en las que se muestra numéricamente la evolución de la variable a lo largo del tiempo, así como estadísticas (Valor medio, desviación típica, varianza, valor máximo y mínimo, etcétera). Además permite exportar estos datos en formato .csv para poder trabajar con cualquier hoja de cálculo.



Figura 129: Valores históricos y estadísticos.

- b) **Control de tiempo:** Estas herramientas permiten ajustar el rango temporal que se desea graficar, así como desplazarnos a lo largo de él.



Figura 130: Desplazamientos temporales.

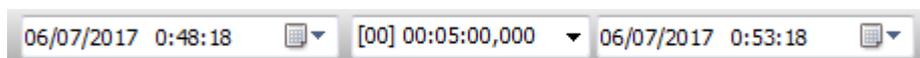


Figura 131: Ajuste de rangos de tiempos.

- c) **Zoom:** Permiten aumentar o disminuir aquellas regiones que puedan resultar más o menos importantes.



Figura 132: Herramientas de zoom.

- 2. **Servers:** Muestra una lista de las carpetas de variables existentes en la base de datos de Historian. Por defecto existen un conjunto de carpetas que clasifican las variables según el tipo de datos que contenga, pero también dispone de una carpeta para cada una de las aplicaciones InTouch que haya creado el usuario.

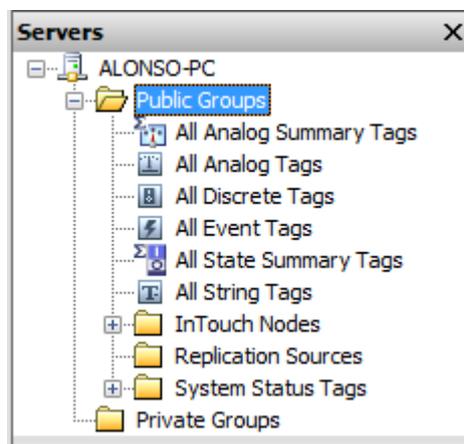


Figura 133: Servers.

- 3. **Tags:** Muestra el conjunto de variables contenidas en la carpeta seleccionada en servers. Para graficar una variable basta con arrastrarla al área de representación.

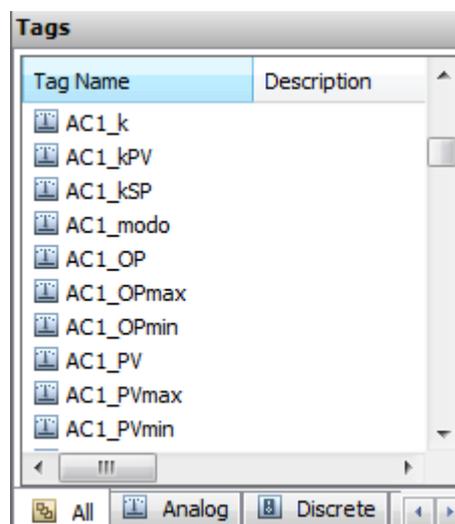


Figura 134: Tags.

- 4. Filter:** Se trata de una herramienta que permite buscar una variable concreta de forma más rápida. Para ello basta con introducir el nombre de la variable en el campo tag name y pulsar *Apply*.

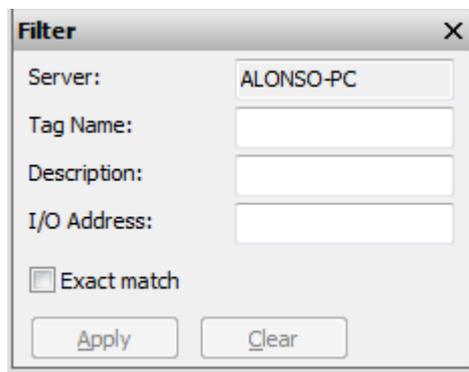


Figura 135: Filter.

- 5. Información de variables:** Permite visualizar información de las variables graficadas. Esta información aparece estructurada por filas y columnas, correspondiendo cada fila a una variable y cada columna a una determinada información de la variable. Por defecto las columnas que se muestran son: Nombre de la variable, servidor, color de representación, unidades, fecha de creación, rango mínimo y máximo de valores, nombre de la variable en el servidor, y los valores en los cursores uno y dos.

Tag Name	Number	Server	Color	Units	Minimum	Maximum	IO Address	Value at X1	Value at X2
<input checked="" type="checkbox"/> FC1_PV	3	ALONSO-PC		Nm ³ /h	0	600	\\localhost\FSGateway\TFGa_Presion\FC1_PV	478	478
<input checked="" type="checkbox"/> FC5_PV	4	ALONSO-PC		Tm/h	0	70	\\localhost\FSGateway\TFGa_Presion\FC5_PV	14	14
<input checked="" type="checkbox"/> FC5_PVmax	5	ALONSO-PC		None	0	70	\\localhost\FSGateway\TFGa_Presion\FC5_PVmax	69	69

Figura 136: Información de las variables.

11.2.2 Wonderware Historian Client Query:

Se trata de un software de tipo cliente, que permite recopilar información de Wonderware Historian o de cualquier base de datos compatible con SQL y mostrarla en formato de tablas.

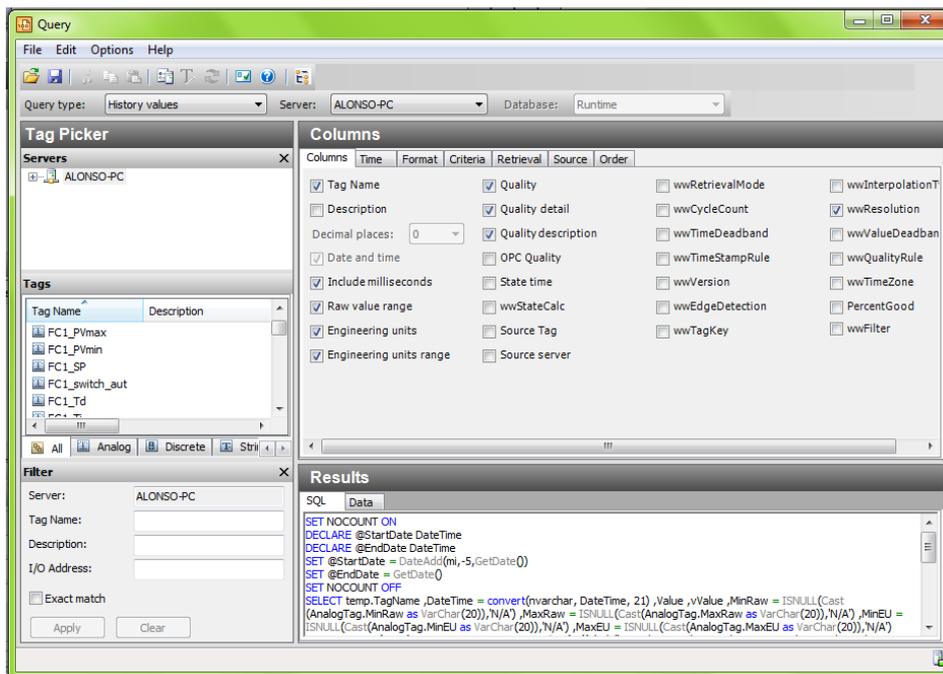


Figura 137: Query, ventana principal.

El interfaz de Query consta de los siguientes elementos:

- **Tag Picker:** Descrito anteriormente en el apartado 11.2.1.
- **Query Toolbar:** Permite elegir el tipo de consulta que se desea hacer, a qué servidor y en qué base de datos se debe buscar.

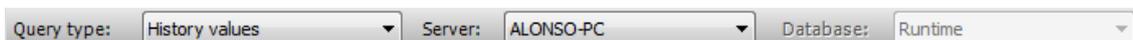


Figura 138: Query Toolbar

- **Columns:** Permite seleccionar qué información se desea visualizar en función de la consulta que se haya realizado.

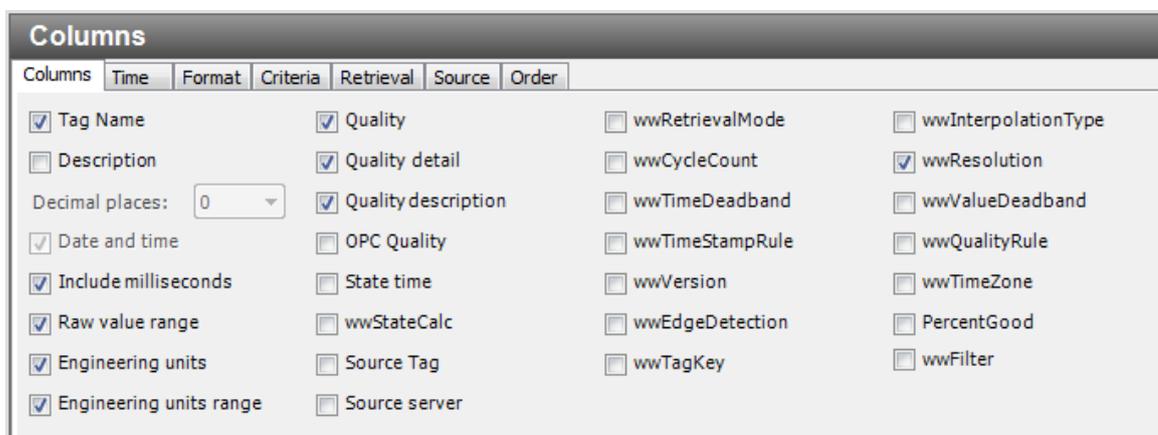


Figura 139: Query, panel columns

- **Results:** Permite visualizar información de la consulta realizada. Este panel consta a su vez de tres pestañas:
 - **SQL Tab:** Muestra el conjunto de sentencias SQL que han sido enviadas al servidor para poder visualizar los datos deseados.
 - **Data Tab:** Muestra en formato de tabla los datos solicitados.
 - **All Queries:** Muestra un histórico del conjunto de queries que se han realizado.

Results						
SQL	Data	All queries				
	TagName	MinRaw	MaxRaw	Unit	DateCreated	Address
	FC1_OPmax	-32768	32767	None	30/03/2017 10:48:20	//ALONSO-PC/localhost/FSGatew
	FC1_PV	0	32767	None	30/03/2017 10:48:20	//ALONSO-PC/localhost/FSGatew
	FC2_PV	0	8	None	30/03/2017 10:48:20	//ALONSO-PC/localhost/FSGatew
	FC2_SP	0	32767	None	30/03/2017 10:48:20	//ALONSO-PC/localhost/FSGatew
	FI3in	-32768	32767	None	30/03/2017 10:48:20	//ALONSO-PC/localhost/FSGatew

Figura 140: Query, panel results.

11.2.3 Wonderware Historian Client Workbook y Wonderware Historian Client Report:

Se trata de una extensión para Microsoft Excel que permite hacer consultas a la base de datos de Wonderware Historian así como elaborar análisis estadísticos de las variables.

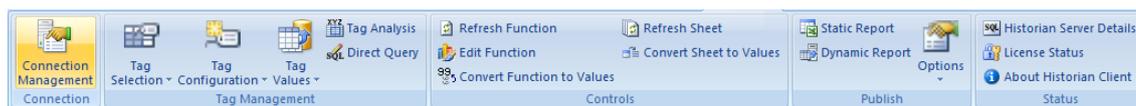


Figura 141: Microsoft Excel, barra de herramientas de Wonderware Historian.



Figura 142: Microsoft Word, barra de herramientas de Wonderware Historian.

Anexo 2:

Algoritmo

de control PID

El controlador utilizado en las simulaciones es un PID digital con las siguientes características:

1. Las variables de referencia, control y proceso se denominan, respectivamente, $SP(t)$, $OP(t)$ y $PV(t)$.
2. Tanto SP como PV se expresan en unidades de ingeniería, denominándose SP_{EU} y PV_{EU} . Dichas variables pueden filtrarse, para ello se dispone de sendos filtros de primer orden, en los que se puede especificar la constante de tiempo:

- SP_{EU-f} es la variable SP_{EU} filtrada, que se calcula del siguiente modo:

$$\alpha_{SP} \cdot \frac{dSP_{EUf}(t)}{dt} = SP_{EU}(t) - SP_{EUf}(t)$$

Donde α_{SP} es la constante de tiempo del filtro de primer orden.

- PV_{EU-f} es la variable PV_{EU} filtrada, que se calcula del siguiente modo:

$$\alpha_{PV} \cdot \frac{dPV_{EUf}(t)}{dt} = PV_{EU}(t) - PV_{EUf}(t)$$

Donde α_{SP} es la constante de tiempo del filtro de primer orden.

3. Se define un rango del controlador mediante el límite superior (PVEUHI) y el límite inferior (PVEULO) tanto de PV como SP. Estos dos valores son necesarios para realizar la conversión de unidades de

ingeniería (EU) a unidades porcentuales (%) tanto del SP_{EUf} como de PV_{EUf} mediante la siguiente fórmula:

$$SP_{\%}(t) = \frac{SP_{EUf}(t) - PVEULO}{PVEUHI - PVEULO} \cdot 100$$

$$PV_{\%}(t) = \frac{PV_{EUf}(t) - PVEULO}{PVEUHI - PVEULO} \cdot 100$$

4. La señal de error, $e(t)$, se calcula a partir de los valores filtrados y normalizados de SP y PV según la fórmula:

$$e(t) = SP_{\%}(t) - PV_{\%}(t)$$

5. Los parámetros del controlador siguen la siguiente nomenclatura:

- K : Ganancia Proporcional (%%).
- T_i : Tiempo integral, en segundos.
- T_d : Tiempo derivativo, en segundos.
- T_m : Periodo de muestreo, en segundos.

6. Es posible elegir entre cuatro tipos de ecuaciones de cálculo de la señal normalizada:

- **Tipo A - PID:** $OP(t) = K \cdot \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \right)$
- **Tipo B o PI-D:** $OP(t) = K \cdot \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt - T_d \cdot \frac{dPV_{\%}(t)}{dt} \right)$
- **Tipo C o I-PD:** $OP(t) = K \cdot \left(-PV_{\%}(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt - T_d \cdot \frac{dPV_{\%}(t)}{dt} \right)$
- **Tipo D - I:** $OP(t) = \frac{K}{T_i} \int e(t) dt$

7. Se han implementado dos tipos de algoritmo real e ideal. Ambos modos utilizan las mismas ecuaciones, pero en el caso real los valores K_i , T_i y T_d se han redefinido de modo que:

- $K_i = K_r \cdot \left(1 + \frac{T_{d_r}}{T_{i_r}}\right)$
- $T_i = (T_{i_r} + T_{d_r})$
- $T_d = \left(\frac{T_{i_r} \cdot T_{d_r}}{T_{i_r} + T_{d_r}}\right)$

8. Para evitar la saturación del término integral (antiwind-up), la señal de control $OP(t)$ se encuentra limitada en el rango 0 – 100%.

Otros bloques de cálculo:

Con el fin de facilitar al lector el entendimiento de las diferentes ecuaciones se recuerda nuevamente los diferentes tipos de FOE que se describieron en el apartado 2.5:

- **FOE:** Son las siglas de fuel oil equivalente. Suma ponderada de los caudales con respecto al poder calorífico del fuel oil y el fuel gas.
- **FOE_{entrante}:** Representa FOE que está entrando en la caldera.
- **FOE_{demandado}:** Representa el FOE necesario para satisfacer la demanda de vapor a una determinada presión.
- **FOE_{posible}:** Representa la máxima cantidad de FOE que puede entrar en la caldera. Su valor viene limitado por el caudal de aire, ya que es necesario mantener la combustión con exceso de aire.

Se describen a continuación el resto de ecuaciones que se desarrollan en la aplicación:

- **Bloque FX4:** Permite obtener el valor del FOE que está entrando en la caldera.

$$FOE_{entrante} \left(\frac{Tm}{h} \right) = FI2 \left(\frac{Tm_{fuel\ oil}}{h} \right) + FI1 \left(\frac{Nm^3_{fuel\ gas}}{h} \right) \cdot \rho \left(\frac{kg_{fuel\ gas}}{Nm^3} \right) \cdot PC_{fuel\ gas} \left(\frac{kg_{fuel\ oil}}{kcal} \right) \cdot \frac{1}{PC_{fuel\ oil}} \left(\frac{kg_{fuel\ oil}}{kcal} \right) \cdot \frac{1}{10^3} \left(\frac{Tm_{fuel\ oil}}{kg_{fuel\ oil}} \right)$$

- **Bloque FX5:** Permite calcular el caudal de fuel oil que debe entrar a la caldera. Para ello al valor de $FOE_{posible}$ se le resta el caudal de fuel gas fijado por el operario:

$$FX5 \left(\frac{Tm_{fuel\ oil}}{h} \right) = FOE_{posible} \left(\frac{Tm_{fuel\ oil}}{h} \right) - FI1 \left(\frac{Tm_{fuel\ gas}}{h} \right) + \rho \left(\frac{kg_{fuel\ gas}}{Nm^3} \right) \cdot PC_{fuel\ gas} \left(\frac{kg_{fuel\ oil}}{kcal} \right) \cdot \frac{1}{PC_{fuel\ oil}} \left(\frac{kg_{fuel\ oil}}{kcal} \right) \cdot \frac{1}{10^3} \left(\frac{Tm_{fuel\ oil}}{kg_{fuel\ oil}} \right)$$

- **Bloque FX6:** Permite calcular la cantidad máxima de FOE que puede entrar en la caldera para que se cumplan las condiciones de combustión con exceso de aire. El valor de salida de este bloque siempre debe ser mayor o igual a la del bloque FX4.

$$FOE_{posible} \left(\frac{Tm}{h} \right) = \frac{aire \left(\frac{Tm}{h} \right)}{R}$$

- **Bloque FX7:** Permite obtener el caudal de aire necesario para poder llevar a cabo el proceso de combustión.

$$aire \left(\frac{Tm}{h} \right) = R \cdot FOE_{demandado}$$

EL valor de R se obtiene en el controlador AC1 a partir de la concentración de oxígeno en los humos, y representa la relación entre aire/FOE.

A partir del flujo másico de aire, el cálculo del flujo volumétrico es directo:

$$\text{aire} \left(\text{kNm}^3/\text{h} \right) = \frac{\text{aire} (\text{Tm}/\text{h})}{\rho (\text{Tm}/\text{kNm}^3)}$$

Donde la densidad del aire es: $\rho = 1,29 \text{ Tm}/\text{kNm}^3$

- **Bloque FX8:** Se trata de un bloque que permite realizar un control feedforward del nivel de agua en el calderín. La ecuación que implementa es:

$$\begin{aligned} FX8 \left(\text{Tm}/\text{h} \right) = & FI5 \left(\text{Tm}/\text{h} \right) * FI6 \left(\text{Tm}/\text{h} \right) + LC1.OP \left(\text{Tm}/\text{h} \right) - \\ & -0,5 \cdot \text{Flujo agua máximo} \end{aligned}$$

- **Bloque PX2 y PX3:** Se trata de bloques selectores de mínima y máxima señal respectivamente. Seleccionan el menor o mayor valor de sus variables de entrada dependiendo del tipo de bloque del que se trate. En situación de estado estacionario, las entradas de cada bloque tendrán el mismo valor, el desequilibrio se produce cuando se altera la demanda de combustible debido a un cambio en la demanda de vapor.

Anexo 3:

Código del sistema de control de combustible

```
function salida = fcn(flag, FC1_SP, variacion, p_fueloil,
p_fuelgas)

if flag<= 0.5
    %En este caso hay parada de emergencia, y Matlab no hace nada
    (Flag=0).
    salida=0;

else
    %Reinicio tras la parada de emergencia. Hasta alcanzar 18
    bares en el calderín (Flag=1).
    if flag==1
        salida=0.56;

        %Se habilita el caudal en función del precio (Flag=2).
        else
            %Conversión de unidades del fuel gas.
            FC1_SP_conv = FC1_SP * 2.8 / 1000;

            %Comparación precios combustibles.
            if p_fueloil > p_fuelgas
                coste=1;
            else
                coste=0;
            end

            %Comprobar el valor de la variación de combustible.
            if variacion >= 0
                var=1;
            else
                var=0;
            end

            %Incremento de la demanda (var > 0)
            if var == 1 %Variacion positiva -> se aumenta combustible.
                if coste == 1 %El fuelgas es más barato -> se aumenta
                fuel gas.
                    pre_salida = FC1_SP_conv + variacion;

            %Si se alcanza el caudal máximo de fuel gas, se incrementa el de
            fuel oil.
```

```
        if pre_salida <=1.68
            salida = pre_salida;
        else
            salida=1.68;
        end
    else
        salida=FC1_SP_conv;
    end

    %Disminución de la demanda (Var=0)
    else %Variación negativa -> Se reduce combustible.
        if coste == 1 %El fuelgas es más barato -> Se reduce
fuel gas.
            salida = FC1_SP_conv ;
        else
            pre_salida = FC1_SP_conv + variacion;
            %Si se alcanza el caudal mínimo de fuel gas, se
reduce
            %el de fuel oil.
            if pre_salida >= 0.3
                salida = pre_salida;
            else
                salida = 0.3;
            end
        end
    end
end
end
end
end
end
```

Anexo 4: Variables

El presente anexo busca mostrar la totalidad de variables que han sido utilizadas para el desarrollo de la aplicación SCADA, en total 334:

:AlarmGroup	AC1_Td	FC2_OP
:GroupVar	AC1_Ti	FC2_OPman
:HistoryTrend	AC1_tipo	FC2_OPmax
:IndirectAnalog	Alarmas	FC2_OPmin
:IndirectDisc	analogica	FC2_PV
:IndirectMsg	FC1_aux	FC2_PVmax
:IOAccess	FC1_dt	FC2_PVmin
:IODisc	FC1_k	FC2_SP_remoto
:IOInt	FC1_kPV	FC2_switch_aut
:IOMsg	FC1_kSP	FC2_switch_rem
:IOReal	FC1_modo	FC2_Td
:MemoryDisc	FC1_OP	FC2_Ti
:MemoryInt	FC1_OPman	FC2_tipo
:MemoryMsg	FC1_OPmax	FC3_dt
:MemoryReal	FC1_OPmin	FC3_k
:mode=ask	FC1_PV	FC3_kPV
:TagID	FC1_PV-	FC3_kSP
AC1_dt	FC1_PVmax	FC3_modo
AC1_k	FC1_PVmin	FC3_OP
AC1_kPV	FC1_SP	FC3_OPmax
AC1_kSP	FC1_switch_aut	FC3_OPmin
AC1_modo	FC1_Td	FC3_PV
AC1_OP	FC1_Ti	FC3_PVmax
AC1_OPmax	FC1_tipo	FC3_PVmin
AC1_OPmin	FC2_dt	FC3_SP
AC1_PV	FC2_k	FC3_SP_remoto
AC1_PVmax	FC2_kPV	FC3_Td
AC1_PVmin	FC2_kSP	FC3_Ti
AC1_SP	FC2_modo	FC3_tipo

FC4_dt	FC6_PVmax	HDWTags1
FC4_k	FC6_PVmin	HDWTags2
FC4_kPV	FC6_SP	HDWTemp
FC4_kSP	FC6_td	HDWTemp1
FC4_modo	FC6_Ti	HDWTemp2
FC4_OP	FC6_tipo	HDWWriteFile
FC4_OPmax	FI1_Nm3h	HistdataViewstr
FC4_OPmin	FI1_Tmh	Histrend
FC4_PV	FI1_Tmh_FOE	HistTrend
FC4_PVmax	FI2	HistTrend1
FC4_PVmin	FI3_kNm3h	HistTrend10
FC4_SP	FI3_Tmh	HistTrend10PanMins
FC4_SP_remoto	flag	HistTrend10PenScale
FC4_Td	FX4	HistTrend11
FC4_Ti	FX5	HistTrend11PanMins
FC4_tipo	FX6	HistTrend11PenScale
FC5_dt	FX7	HistTrend12
FC5_k	FX7_Tmh	HistTrend12PanMins
FC5_kPV	FX8	HistTrend12PenScale
FC5_kSP	Galaxy	HistTrend13
FC5_modo	graf12	HistTrend13PanMins
FC5_OP	graf14	HistTrend13PenScale
FC5_OPmax	graf15	HistTrend14
FC5_OPmin	graf16	HistTrend14PanMins
FC5_PV	graf17	HistTrend14PenScale
FC5_PVmax	graf19	HistTrend15
FC5_PVmin	graf20	HistTrend15PanMins
FC5_SP	graf21	HistTrend15PenScale
FC5_Td	graf30	HistTrend16
FC5_Ti	HDWDataDir	HistTrend16PanMins
FC5_tipo	HDWDBDir	HistTrend16PenScale
FC6_dt	HDWDuration	HistTrend17
FC6_k	HDWError	HistTrend17PanMins
FC6_kPV	HDWFilename	HistTrend17PenScale
FC6_modo	HDWInterval	HistTrend18
FC6_OP	HDWStartDate	HistTrend18PenScale
FC6_OPmax	HDWStartTime	HistTrend19
FC6_OPmin	HDWStatus	HistTrend19PanMins
FC6_PV	HDWTags	HistTrend19PenScale

HistTrend1PanMins	HistTrend3PanMins	LC1_tipo
HistTrend1PenScale	HistTrend3PenScale	marcha
HistTrend2	HistTrend4	nivel
HistTrend20	HistTrend4PanMins	NumeroFallo
HistTrend20PanMins	HistTrend4PenScale	parada
HistTrend20PenScale	HistTrend5	PC1_dt
HistTrend21	HistTrend5PanMins	PC1_k
HistTrend21PanMins	HistTrend5PenScale	PC1_kPV
HistTrend21PenScale	HistTrend6	PC1_kSP
HistTrend22	HistTrend6PanMins	PC1_modo
HistTrend22PanMins	HistTrend6PenScale	PC1_OP
HistTrend22PenScale	HistTrend7	PC1_OPmax
HistTrend23	HistTrend7PanMins	PC1_OPmin
HistTrend23PanMins	HistTrend7PenScale	PC1_PV
HistTrend23PenScale	HistTrend8	PC1_PVmax
HistTrend24	HistTrend8PanMins	PC1_PVmin
HistTrend24PanMins	HistTrend8PenScale	PC1_SP
HistTrend24PenScale	HistTrend9	PC1_switch_aut
HistTrend25	HistTrend9PanMins	PC1_Td
HistTrend25PanMins	HistTrend9PenScale	PC1_Ti
HistTrend25PenScale	HistTrendPanMins	PC1_tipo
HistTrend26	HistTrendPenScale	PI1
HistTrend26PanMins	Informacion	PI2
HistTrend26PenScale	Información	PI3
HistTrend27	LC1_dt	PI4
HistTrend27PanMins	LC1_k	PX2
HistTrend27PenScale	LC1_kPV	PX3
HistTrend28	LC1_kSP	rho_fuelgas
HistTrend28PanMins	LC1_modo	START
HistTrend28PenScale	LC1_OP	STOP
HistTrend29	LC1_OPmax	TFG_auxiliares
HistTrend29PanMins	LC1_OPmin	TFG_Nivel
HistTrend29PenScale	LC1_PV	TFGa_Presion
HistTrend2PanMins	LC1_PVmax	ValorFallo
HistTrend2PenScale	LC1_PVmin	Variables
HistTrend3	LC1_SP	W_agua_max
HistTrend30	LC1_SP_remoto	W_agua_max_05
HistTrend30PanMins	LC1_Td	W_fuelgas_FOE
HistTrend30PenScale	LC1_Ti	W_purga

Anexo 5:

Elementos ISA

5.1 Letras de identificación

Para nombrar cada uno de los elementos funcionales que componen la aplicación se ha seguido el estándar ISA 5.1 - 1984 denominado «*Instrumentation Symbols and Identification*»

De acuerdo con este estándar, cada instrumento o función ha sido identificado mediante un código alfanumérico. Este código en primer lugar, presenta un conjunto de una o más letras, las cuales permiten hacer una identificación funcional del instrumento. La primera letra designa el tipo de variable y la siguiente, o siguientes, identifican las funciones que debe llevar a cabo en el lazo de control.

En segundo lugar, el código presenta un número, el cual se utiliza para identificar a cada elemento dentro de un lazo de control.

En la tabla 3 que se encuentra al final de este anexo, se muestra una tabla extraída del propio estándar, en la que se especifica el significado de cada una de las letras del código alfanumérico en función de su posición.

El significado de la codificación de los instrumentos usados en el diseño de la aplicación se detalla a continuación:

- **FI:** Indicador de caudal.
- **PI:** Indicador de presión.
- **LI:** Indicador de nivel.
- **FC:** Controlador de caudal.
- **LC:** Controlador de nivel
- **PC:** Controlador de presión.
- **AC:** Análisis de control.

Existe una última codificación que se encuentra al margen de las anteriores ya que como segunda letra utiliza la letra X. Esta letra no está asociada a una funcionalidad concreta, sino que se deja al diseñador utilizarla en función de sus necesidades. En este caso, la letra X se ha utilizado para identificar

operaciones matemáticas las cuales se indican junto al bloque asociado al código alfanumérico. En la tabla 3 se indican los símbolos matemáticos utilizados en la aplicación.

<	Select. de min.	La salida es igual a la menor de las entradas.
>	Select. de máx.	La salida es igual a la mayor de las entradas.
+	Suma	Suma
-	Resta	Resta
\times	Multiplicación	Multiplicación
Σ	Sumatorio	La salida es igual a la suma de las entradas. Si hay positivos y negativos cada entrada debe tener asignado el signo.

Tabla 3: Símbolos matemático y su significado.

En la figura 143 se muestra un ejemplo de ello:

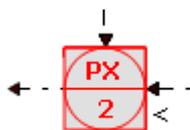


Figura 143: Bloque ISA con su respectiva identificación.

En ciertas ocasiones, al código alfanumérico anterior se le añaden una serie de prefijos y sufijos para proporcionar una mayor información en caso de que sea necesario, pero dado que en la aplicación desarrollada no se ha hecho uso de ellos, no se profundizará en este aspecto.

5.2 Símbolos ISA:

Se deben mencionar algunos detalles sobre los símbolos de la ISA utilizados, ya que para facilitar la identificación de los instrumentos a los que se encuentran asociados dichos símbolos, presentan contornos de diferentes colores:

1. Instrumentos de medida: 
2. Elementos operacionales: 
3. Unidades de proceso (PIDs) 

Por otro lado, los dos tipos de líneas utilizadas son:

—————	Línea de proceso/tubería.
- - - - -	Señal eléctrica.

Si bien es verdad, las líneas continuas que representan a las tuberías, se han sustituido por elementos gráficos que tienen un carácter más ilustrativo por su mayor parecido a una tubería real.

Respecto a las tuberías también se ha utilizado una diferenciación por colores en función del tipo de fluido que transportan. Se pueden diferenciar:

- Morado: Humos.
- Amarillo: Aire
- Naranja: Fuel gas.
- Azul claro: Fuel oil.
- Azul oscuro: Agua líquida.
- Rojo: Vapor de agua.

INSTRUMENT CODE LETTER IDENTIFICATION

INSTRUMENT FUNCTION	PROCESS VARIABLE																									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
TEST POINT	AP	BP	CP	DP	EP	FP	GP	HP	IP	JP	KP	LP	MP	NP	OP	PP	QP	RP	SP	TP	UP	VP	WP	XP	YP	ZP
PRIMARY ELEMENT	AE	BE	CE	DE	EE	FE	GE	HE	IE	JE	KE	LE	ME	NE	OE	PE	QE	RE	SE	TE	UE	VE	WE	XE	YX	ZX
THERMOWELL/STILLWELL				DW		FW						LW					RW			TW			XW			
OBSERVATION GLASS		BG				FG						LG												XG		
INDICATOR	AI		CI	DI	EI	FI	GI		II	JI	KI	LI	MI	NI	OI	PI	QI	RI	SI	TI	UI	VI	WI	XI	YI	ZI
INDICATOR DIFFERENTIAL						FDI						LDI											WDI			ZDI
TRANSMITTER BLIND	AT	BT	CT	DT	ET	FT	GT		IT	JT	KT	LT	MT	NT	OT	PT	QT	RT	ST	TT	UT	VT	WT	XT	YT	ZT
TRANSMITTER INDICATING	AIT	BIT	CIT	DIT	EIT	FIT	GIT		IIT	JIT	KIT	LIT	MIT	NIT	OIT	PIT	QIT	RIT	SIT	TIT	UIT	VIT	WIT	XIT	YIT	ZIT
RECORDER	AR	BR	CR	DR	ER	FR	GR		IR	JR	KR	LR	MR	NR	OR	PR	QR	RR	SR	TR	UR	VR	WR	XR	YR	ZR
RECORDER RATIO	AFR			DFR	EFR	FR			IFR							PFR				TFR			WFR			XFR
RECORDER DIFFERENTIAL	ADR			DDR		FDR			IDR	JDR	KDR	LDR	MDR			PDR		RDR	SDR	TDR			WDR			ZDR
CONTROLLER, BLIND	AC	BC	CC	DC	EC	FC	GC	HC	IC	JC	KC	LC	MC	NC	OC	PC	QC	RC	SC	TC	UC	VC	WC	XC	YC	ZC
CONTROLLER, INDICATING	AIC	BIC	CIC	DIC	EIC	FIC	GIC	HIC	IIC	JIC	KIC	LIC	MIC	NIC	OIC	PIC	QIC	RIC	SIC	TIC	UIC	VIC	WIC	XIC	YIC	ZIC
CONTROLLER, RECORDING	ARC	BRC	CRC	DRC	ERC	FRC	GRC	HRC	IRC	JRC	KRC	LRC	MRC		ORC	PRC	QRC	RRC	SRC	TRC	URC	VRC	WRC	XRC	YRC	ZRC
INTEGRATOR, TOTALIZER						FQI																				
SCANNER	AJ	BJ	CJ	DJ	EJ	FJ	GJ		IJ	JJ	KJ	LJ	MJ	NJ	OJ	PJ		RJ	SJ	TJ	UJ	VJ	WJ	XJ	YJ	ZJ
BACK-UP STATION	AIK	BIK	CIK	DIK	EIK	FIK	GIK		HIK	JK	KIK	LIK	MIK		OIK	PIK	QIK	RIK	SIK	TIK	UIK	VIK	WIK	XIK	YIK	ZIK
VALVE CONTROL	AV	BV	CV	DV		FV			HV		KV	LV	MV			PV		RV	SV	TV		WV		XV		ZV
VALVE, SOLENOID	AEV	BEV		DEV		FEV	GEV		HEV		KEV	LEV	MEV			PEV		REV	SEV	TEV		WEV		XEV		ZEV
VALVE, SAFETY OR RELIEF						FSV										PSV			SSV	TSV				XSV		ZSV
RUPTURE DISC																PSE			TSE					XSE		ZSE
REGULATOR, SELF CONTAINED						FCV			HCV			LCV				PCV			SCV	TCV			WCV		XCV	ZCV
FINAL CONTROL ELEMENT		BZ				FZ			HZ							PZ	QZ	RZ	SZ	TZ		VZ	WZ	XZ	YZ	ZZ
SWITCH, HIGH	ASH		CSH	DSH	ESH	FSH	GSH		ISH		JSH	LSH	MSH			PSH	QSH	RSH	SSH	TSH		VSH	WSH	XSH	YSH	ZSH
SWITCH, LOW	ASL		CSL	DSL	ESL	FSL	GSL		ISL	JSL	KSL	LSL	MSL			PXL	QSL	RSL	SSL	TSL		VSL	WSL	XSL	YSL	ZSL
SWITCH, BLIND	AS		CS	DS	ES	FS	GS		IS	JIS	KIS	LIS	MIS			PIS	QIS	RIS	SIS	TIS		VIS	WIS	XIS	YIS	ZIS
SWITCH, INDICATING	AIS		CIS	DIS	EIS	FIS	GIS		IIS	JIS	KIS	LIS	MIS			PIS	QIS	RIS	SIS	TIS		VIS	WIS	XIS	YIS	ZIS
ALARM, HIGH	AAH	BAH	CAH	DAH	EAH	FAH	GAH		IAH		JAH	LAH	MAH			PAH	QAH	RAH	SAH	TAH		VAH	WAH	XAH	YAH	ZAH
ALARM, LOW	AAL	BAL	CAL	DAL	EAL	FAL	GAL		IAL	JAL	KAL	LAL	MAL			PAL	QAL	RAL	SAL	TAL		VAL	WAL	XAL	YAL	ZAL
ALARM, HIGH-LOW	AAHL	BAHL	CAHL	DAHL	E AHL	FAHL	GAHL		IAHL	J AHL	K AHL	L AHL	M AHL			PAHL	QAHL	RAHL	SAHL	TAHL		VAHL	WAHL	X AHL	Y AHL	Z AHL
STATUS LIGHT	AL	BL	CL	DL	EL	FL	GL		IL	JL	KL	LL	ML			PL	QL	RL	SL	TL		VL	WL	XL	YL	ZL
RELAY/TRANSDUCER	AY	BY	CY	DY	EY	FY	GY		IY	JY	KY	LY	MY			PY	QY	RY	SY	TY		VY	WY	XY	YY	ZY

Tabla 4: Código de identificación de instrumentos ISA.

