

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA UNA PLANTA INDUSTRIAL  
PILOTO DEL LABORATORIO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA  
UNIVERSIDAD COOPERATIVA, SEDE PASTO**



**ANDREY RIASCOS MUÑOZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
INGENIERÍA FÍSICA  
POPAYAN  
2011**

7

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA UNA PLANTA INDUSTRIAL  
PILOTO DEL LABORATORIO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA  
UNIVERSIDAD COOPERATIVA SEDE PASTO**

**ANDREY RIASCOS MUÑOZ**

**DIRECTOR**

**Magíster. Luis Fernando Echeverri**

**CODIRECTOR**

**ING. FABIO ANDRÉS BOLAÑOS**

**Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero Físico**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
INGENIERÍA FÍSICA**

**POPAYAN**

**2011**

NOTA DE ACEPTACIÓN

-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----

Director: Magíster. Luis Fernando Echeverri

-----

Jurado

-----

Jurado

Fecha de sustentación:

## CONTENIDO

### RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
JUSTIFICACIÓN.....	12
OBJETIVOS.....	14
1. FUNDAMENTOS .....	15
1.1. INSTRUMENTACIÓN DE LOS PROCESOS .....	15
1.2. PROCESOS Y SISTEMAS.....	18
1.2.1. Características.....	18
1.2.2. Diferencia entre un sistema y un proceso.....	18
1.2.3. Definición de fluido de trabajo.....	19
1.2.4. Descripción de un sistema abierto y un sistema cerrado.....	20
1.3. EL PROCESO DE LA ENERGÍA.....	21
1.3.1. Definición de la energía y su relación con el fluido de procesos.....	21
1.3.2. Definición de energía potencial, energía cinética y energía interna.....	22
1.4. MEDICIÓN Y TEMPERATURA.....	24
1.5. CALOR Y TRANSFERENCIA DE CALOR.....	25
1.5.1. Transferencia de calor por conducción, convección y radiación.....	25
1.5.1.2. Conducción.....	26
1.5.1.3. Radiación.....	26
1.5.1.4. Convección.....	27
1.6. LAS TRES FASES DE LA MATERIA.....	27
1.7. SISTEMAS SCADA.....	28
1.7.1. Conceptos básicos del sistema SCADA .....	28
1.7.2. Funciones principales del sistema .....	30
2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA PILO.....	31
2.1. PROCESOS EXISTENTES EN LA PLANTA INDUSTRIAL PILOTO .....	31
2.1.1. Tratamiento de aguas industriales .....	31
2.1.2. Generación y distribución de vapor .....	32
2.1.3. Sistema de refrigeración .....	33
2.1.4. Sistema de transporte.....	33
2.2. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DEL LABORATORIO .....	34
2.2.1. Tratamiento de aguas industriales .....	34
2.2.2. Generación y distribución de vapor .....	36
2.2.3. Sistema de refrigeración .....	37
2.2.4. Sistema de transporte.....	38

2.3. HARDWARE Y SOFTWARE PARA EL MONITOREO.....	40
2.3.1. Controladores lógicos programables plcs .....	40
2.3.1.1. Arquitectura del controlador .....	40
2.3.1.2. Elementos para enlace del PLC con el exterior .....	42
2.3.2. Software U90 Ladder .....	48
2.4. DESCRIPCION DEL INTOUCH .....	42
2.4.1. Wonderware Factory Suite .....	42
2.4.2. Intouch .....	43
2.4.3. Características y beneficios .....	45
3. DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO DE LA PLANTA INDUSTRIAL PILOTO.....	47
3.1. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE Jazz™ Micro-OPLC™ JZ10-11-R16 de UNITRONICS .....	47
3.2. COMUNICACIÓN INTOUCH-PLC .....	48
3.2.1. Comunicación de Intouch con su entorno.....	48
3.2.1.1. Tagname e ítem .....	49
3.2.1.2. Nombre de acceso (ACCES NAME) .....	49
3.2.2. Comunicación PLC – INTOUCH.....	50
3.2.2.1. Requisitos del Sistema de <i>UniOPC Server</i> : .....	50
3.2.2.2. Integración de aplicaciones.....	51
3.2.2.3. Configuración del I/O Server .....	51
4 RESULTADOS.....	53
4.1. COMUNICACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO CON LOS PROCESOS .....	53
4.1.1. Proceso: tratamiento de aguas industriales .....	53
4.1.1.1 Descripción funcional .....	53
4.1.1.2. Control del proceso .....	57
4.1.1.2.1 Instrumentación.....	58
4.1.1.2.2. Señales de control.....	59
4.1.1.3. Programa .....	60
4.1.2. Proceso: generación y distribución de vapor .....	60
4.1.2.1 Descripción funcional .....	60
4.1.2.2. Control del proceso .....	62
4.1.2.2.1. Instrumentación.....	62
4.1.2.2.2. Señales de control.....	63
4.1.2.3. Programa .....	64
4.1.3. Proceso: sistema de refrigeración .....	65
4.1.3.1. Descripción funcional .....	65
4.1.3.2. Monitoreo del proceso.....	66
4.1.3.2.1. Instrumentación.....	66
4.1.3.2.2. Señales de control.....	66
4.1.3.3. Programa .....	67

4.1.4. Proceso: sistema de transporte .....	67
4.1.4.1. Descripción funcional .....	68
4.1.4.2. Control del proceso .....	68
4.1.4.2.1. Instrumentación.....	69
4.1.4.2.2. Señales de control.....	69
4.1.4.3. Programa .....	69
4.2. Edición del HMI .....	70
4.2.1. Consideraciones de diseño.....	70
4.2.2. Desarrollo del HMI .....	71
4.2.3. Procedimiento general usado para la construcción de las ventanas ....	71
4.2.4. Creación de la aplicación.....	72
4.2.5. Lógica de monitoreo .....	73
4.2.6. Comunicación del HMI con los usuarios .....	73
4.2.6.1. Presentación .....	74
4.2.6.2. Pantalla general .....	74
4.2.6.3. Procesos .....	75
CONCLUSIONES .....	79
TRABAJO A FUTURO .....	81
BIBLIOGRAFÍA.....	82
<b>ANEXOS.....</b>	<b>84</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla No 1. Descripción de los materiales para el sistema de tratamiento de aguas.....	35
Tabla No 2. Descripción del PLC.....	86

## INDICE DE GRÁFICOS

Fig. 1. Sistema tratamiento de aguas industriales.....	36
Fig. 2. Caldera pirotubular del laboratorio de Ingeniería Industrial.....	37
Fig. 3. Cuarto frío del laboratorio de Ingeniería Industrial.....	38
Fig. 4. Sistema de transporte de materiales.....	40
Fig. 5. Arquitectura del Controlador Lógico Programable.....	41
Fig. 6. Controlador Logico Programable Jazz™ Micro-OPLCTM JZ10-11-R16.....	47
Fig. 7. Esquema general de la comunicación OPC, mediante el cual se une el software UniOPC de Unitronics e Intouch.....	52
Fig. 8. Esquema de monitoreo del proceso de Tratamiento de aguas industriales. Señales de control .....	54
Fig. 9. Esquema de monitoreo de Generación y distribución de Vapor. Señales de control.....	61
Fig. 10. Esquema de monitoreo del sistema de refrigeración. Señales de control.....	66
Fig. 11. Esquema de monitoreo del sistema de transporte. Señales de control.....	68
Fig. 12. Programación del sistema de transporte.....	70
Fig. 13. Administrador de Aplicaciones.....	72
Fig. 14. Diagrama de Secuencia de Operación.....	73
Fig. 15. Pantalla de presentación.....	74
Fig. 16. Distribución de los Procesos de la Planta Piloto .....	75
Fig. 17. Ventana de monitoreo de la caldera pirotubular.....	76
Fig. 18. Ventana secundaria, NO HAY GAS!.....	76
Fig. 19. Ventana de monitoreo del tratamiento de aguas industriales.....	77
Fig. 20. Ventana de monitoreo del cuarto frío .....	77
Fig. 21. Ventana de monitoreo del elevador de cangilones y tornillo sin fin.....	78
Fig. 22. Ingreso al Software U90 Ladder.....	87

Fig. 23. Entradas y Salidas del PLC.....	88
Fig. 24. Descargar el programa y visualizarlo en PLC.....	90
Fig. 25. Diagrama Ladder.....	90
Fig. 26. Propiedades de la ventana.....	102
Fig. 27. Ventana Fábrica de Símbolos.....	103
Fig. 28. Procesos de tratamiento de aguas industriales.....	105
Fig. 29. Tagname indefinido.....	106
Fig. 30. Diccionario de los tagname.....	107
Fig. 31. Propiedades de animación de llenado.....	108
Fig. 32. Configuración de visibilidad del objeto.....	109
Fig. 33. Configuración de parpadeo del objeto.....	109
Fig. 34. Configuración del botón Sart.....	112
Fig. 35. Ventana del programa UniOPC.....	118
Fig. 36. Ventana de configuración del puerto de comunicaciones.....	118
Fig. 37. Creación de una lista de PLCs.....	119
Fig. 38. Ventana de configuración del Topic.....	120
Fig. 39. Parámetros de configuración .....	120
Fig. 40. Topic Definition .....	121
Fig. 41. Configuración Server Settings .....	121
Fig. 42. OPC Server Settings .....	122
Fig. 43. Ventana de configuración del Access Name.....	123

## RESUMEN

Los sistemas de adquisición de datos, monitoreo y control del comportamiento de ciclos industriales son hoy en día ampliamente utilizados en el mundo como una solución para obtener mayor eficiencia en la producción, distribución y uso de la energía, con el menor impacto ambiental posible.

La Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Cooperativa de Colombia, seccional Pasto, dispone de un Laboratorio de Operaciones Industriales, que permite al pedagogo y al estudiante realizar simulaciones de procesos tales como la generación y distribución de vapor, refrigeración, tratamiento de aguas industriales y transporte de material, entre otros.

El presente trabajo, aborda el diseño de un sistema de monitoreo aplicado en el laboratorio de operaciones. Dicho sistema, posibilita realizar el monitoreo de variables como; temperatura, nivel de agua y presión entre otros, desde una *workstation*. En este trabajo se resaltan los aspectos fundamentales relacionados con la aplicación del software *Wonderware*, para la adquisición de datos, monitoreo de variables, y la interacción con el usuario (HMI). Esto con el fin de identificar la funcionalidad y las ventajas que presenta este software en su aplicabilidad como es un sistema SCADA.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Universidad Cooperativa de Colombia, seccional Pasto, posee en sus instalaciones una planta industrial piloto ubicada en el laboratorio de operaciones, para realizar en ella prácticas académicas enfocadas al ambiente industrial de los estudiantes del programa de Ingeniería Industrial; tal proyecto no se ha podido llevar a cabo completamente debido a que solo posee la estructura física de dicha Planta y no la parte de control e interfaz de comunicación, que permita realizar el monitoreo de las diferentes variables físicas involucradas en estos procesos.

Así mismo, la Universidad Cooperativa de Colombia adquirió el software *Wonderware* como herramienta pedagógica en simulación de procesos industriales [1], interfaz visual de monitoreo y administración de datos como complemento para el funcionamiento de la Planta Industrial Piloto, pero hasta el momento no se ha utilizado esta herramienta debido a la carencia de un sistema de control e interfaz. Por lo anterior, la Universidad Cooperativa de Colombia se encuentra perdiendo recursos importantes que se traducen en el poco aprovechamiento de la planta para la formación experimental de los estudiantes.

## JUSTIFICACIÓN

Muchas personas en la industria invierten más tiempo recolectando y reportando información de los procesos que en las actividades de alto valor agregado, como es en el análisis y el planeamiento pragmático de sus resultados. Dentro de estas circunstancias, los productores no se encuentran preparados para tomar decisiones a tiempo, y mucho menos a largo plazo.

Planteada esta situación, la Universidad Cooperativa de Colombia Seccional Pasto busca dar una solución desde el escenario académico, avanzando un primer paso hacia la informatización y automatización de los procesos que se encuentran en su laboratorio de operaciones, donde se busca que, los nuevos Ingenieros Industriales se sientan en ambientes tecnológicos, posibilitándoles competir eficazmente en el mercado al aminorar el tiempo de recolección, reporte y análisis de registros, lo que representa un aumento e inmediatez en la capacidad de respuesta frente a las tomas de decisiones; factores que determinan el aumento de la productividad, mejora de la calidad del producto, disminución de los riesgos y mejora del ambiente de trabajo durante los procesos de producción, todo esto encaminado a lograr mayores beneficios económicos y laborales.

La Universidad Cooperativa de Colombia Seccional Pasto, que cuenta con el laboratorio de operaciones para el desarrollo de prácticas académicas, concertó este proyecto en la búsqueda de seguir prestando un servicio educativo de excelente calidad, que en la práctica se refleje en mejorar las tecnologías pedagógicas, al diseñar un sistema de monitoreo en su planta industrial piloto que en el futuro pueda ser implementado.

La realización del proyecto permitirá que los estudiantes puedan encontrarse con escenarios cercanos a la realidad, permitiéndoles poner en práctica sus conceptos teóricos y desarrollar sus capacidades de análisis y síntesis. Así como confrontar los errores y aprender de ellos por medio del monitoreo, determinando las condiciones más adecuadas para los procesos Industriales.

El diseño del sistema de monitoreo de la planta industrial piloto requirió el uso del software *Wonderware*, base para la construcción de un sistema SCADA, el cual permitirá registrar, organizar, controlar y administrar las diversas variables de producción como temperatura, presión, caudal, nivel, etc.

Adicionalmente y como valor agregado a la pasantía, se pone a disposición del laboratorio un conjunto de tutoriales para el diseño de procesos industriales a través del manejo del software, que en el futuro pueda ser utilizado como una herramienta versátil para la simulación de procesos.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un sistema de monitoreo para la Planta Industrial Piloto del Laboratorio de Ingeniería Industrial de la Universidad Cooperativa sede Pasto, examinando los cuatro procesos existentes en la Planta Industrial Piloto.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar y caracterizar las variables físicas involucradas en las diferentes etapas de los procesos.
- Definir los sensores más adecuados para implementar en el sistema de monitoreo para la Planta Industrial Piloto.
- Diseñar el sistema de conexión de los sensores analógicos con la unidad central de procesamiento de datos.
- Elaborar una guía práctica de estudio sobre el software WONDERWARE.
- Determinar el protocolo de comunicación entre la unidad central de procesamiento de señales analógicas con el software WONDERWARE.
- Simular el diseño para la verificación de la utilidad del sistema de monitoreo.

# 1. FUNDAMENTOS

Los procesos industriales tienen su propósito principal que es el de transformar materias primas en un producto final. Durante el proceso de la producción de estos bienes, se tienen diversos procesos, ya sea que sean reutilizados los materiales, o se convierta energía para producir el producto final.

La instrumentación provee el significado del proceso de producción para asegurar que los productos sean elaborados apropiadamente.

En consecuencia, en todo proceso se tiene diversas variables, las cuales afectan las entradas o salidas del proceso. Temperatura, nivel, flujo, presión, son las variables más comunes en los procesos industriales, las cuales son monitoreadas y controladas por medio de la instrumentación de los procesos

## 1.1. INSTRUMENTACIÓN DE LOS PROCESOS

En aquella parte del sistema en que, a partir de la entrada de material, energía e información, se genera una transformación sujeta a perturbaciones del entorno, que da lugar a la salida de material en forma de producto. Los procesos industriales se conocen como procesos continuos, procesos discretos y procesos *batch*. Los procesos continuos se caracterizan por la salida del proceso en forma de flujo continuo de material, como por ejemplo la purificación de agua o la generación de electricidad. Los procesos discretos contemplan la salida del proceso en forma de unidades o número finito de piezas, siendo el ejemplo más relevante la fabricación de automóviles. Finalmente, los procesos *batch* son aquellos en los que la salida del proceso se lleva a cabo en forma de cantidades o

lotes de material, como por ejemplo la fabricación de productos farmacéuticos o la producción de cerveza.

En este punto es necesario hacer un breve inciso sobre los tipos de industria existentes. Las industrias relacionadas con la automatización son básicamente la industria manufacturera y la industria de procesos, la cual se basa este trabajo y se hará hincapié solo en está.

En cuanto a la industria de procesos, existen fábricas de productos de naturaleza más o menos continua, como la industria petroquímica, cementera, de la alimentación, farmacéutica, etc. Dentro del proceso de fabricación de estas industrias, se investiga en nuevas tecnologías, para la obtención de nuevos catalizadores, bioprocesos, membranas para la separación de productos, microrreactores, etc. En este tipo de industria, destacan la aplicación de algoritmos de control avanzado, como, por ejemplo, el control predictivo, o la formación experta de operarios de salas de control mediante simuladores. Respecto a las necesidades de automatización, la industria de procesos tiene un nivel consolidado en cuanto a salas de control con sistemas de control distribuido, y el uso de autómatas programables para tareas secuenciales o para configurar sistemas redundantes seguros ante fallos, entre otros elementos.

No hay que olvidar que las industrias tanto la manufacturera como la de procesos realizan grandes esfuerzos en la optimización del proceso. Algunas de ellas se centran en el aspecto de la calidad, mientras que otras se centran en el aspecto de los costes. Estos factores mejora de la calidad del producto y disminución de costes en la producción son los condicionantes fundamentales en estas industrias, y en este sentido la automatización industrial contribuye decisivamente desde que a finales de la década de los años setenta apareció el microprocesador, núcleo de los controladores comerciales presentes en el mercado como los autómatas

programables, los controles numéricos y los armarios de control de robots manipuladores industriales.

En cuanto a la expresión control de procesos industriales, ésta abarca, desde un punto de vista académico, la teoría de control básica de realimentación y acción PID, la instrumentación de control (sensores, actuadores, dispositivos electrónicos, etc.), la aplicación a procesos industriales (como, por ejemplo, la mezcla de componentes en un reactor químico), las diversas arquitecturas de control (centralizado, distribuido), las estructuras de control (*feedback*, *feedforward*, cascada, etc.) y la teoría de control avanzada (control predictivo, control multivariable, etc.), por citar algunos de los aspectos más relevantes.

Ciñéndonos a los algoritmos de control presentes en las industrias citadas, cabe destacar el control secuencial y la regulación continua. El control secuencial propone estados (operaciones a realizar para la transformación de la materia prima en producto) y transiciones (información relativa a sensores o elementos lógicos como temporizadores o contadores) en una secuencia ordenada que identifica la evolución dinámica del proceso controlado. En la regulación continua, mediante la estructura de control clásica *feedback*, se aborda la acción de control proporcional, derivativo o integral, respecto al error (diferencia entre la consigna y la medida de la variable de salida del proceso) para conseguir así una regulación adecuada de la variable (temperatura, caudal, nivel, etc.).

Respecto a instrumentación de control, los tres elementos básicos capaces de llevar a cabo el control secuencial o la regulación continua dentro del control de procesos industriales son el llamado autómata programable PLC, el ordenador industrial y los reguladores industriales (tanto en versión analógica como digital). Estos tres elementos comparten protagonismo y es frecuente encontrar artículos de opinión donde se comenta el futuro de la utilización de los PLC ante las

continuas mejoras del control realizado mediante ordenador. Disputas aparte, cada uno de estos elementos halla su aplicación en la industria actual, y es por ello que la tendencia en los próximos años sea la de continuar utilizando estos elementos. [2]

## **1.2. PROCESOS Y SISTEMAS**

### **1.2.1. Características**

Aunque hay muchos procesos industriales y ninguno es idéntico es importante saber que los principios que aplica en los procesos son semejantes en sus principios.

Un proceso puede ser descrito como la secuencia de cambios en una sustancia y la secuencia de cambios puede ocurrir en el aspecto químico, físico o ambos en la composición de una sustancia incluyendo parámetros como el flujo, nivel, presión, temperatura densidad volumen, acidez y gravedad específica, así como muchos otros procesos requieren de transferencia de energía.

La mezcla de fluidos, el calentamiento o el enfriamiento de sustancias, el bombeo de agua de un lugar a otro, el enlatado de comida, la destilación de gasolina, el pasteurizado de la leche, y convertir la luz solar en energía eléctrica todos pueden ser descritos como procesos. Cuando una sustancia es calentada, su temperatura y su composición puede cambiar. Cuando la luz solar es convertida en electricidad, pueden ocurrir cambios físicos como químicos.

### **1.2.2. Diferencia entre un sistema y un proceso**

Frecuentemente en el pasado el termino proceso era aplicado a la planta, esto es como designar proceso como válvulas y equipos que se necesitan para fabricar el

producto. Por ejemplo la descripción de un proceso para enfriar agua en un intercambiador de tubo concha, esto puede definir las acciones necesarias para alterar la temperatura pero también identifica el instrumento usado para hacer el trabajo. Para usar el término adecuadamente el proceso puede describir que esta ocurriendo sin el sistema.

La observación directa de las acciones necesarias para casi todos los procesos no es posible, pero la observación o monitoreo de los parámetros de un proceso, es un aspecto crítico para el control. Consecuentemente, los procesos pueden ser monitoreados y controlados a través del uso de varios instrumentos. Los sistemas de instrumentación y su aplicación son con el propósito de observación, monitoreo y control. El sistema tiene las decisiones y las componentes de control necesarias para mantener dentro de los propios límites. En la mayoría de los casos, los parámetros de los procesos se refieren a las variables del proceso. Las variables son diferentes de acuerdo a la naturaleza de un proceso específico, pero las cuatro variables más comunes son temperatura, presión, nivel y fluido.

### **1.2.3. Definición de fluido de trabajo**

En los procesos donde se requiere más de un fluido, los fluidos son descritos de acuerdo a su función en el proceso. En otras palabras, termino de fluido de trabajo diferencia del fluido, porque es el que se encarga de realizar una función en el proceso.

Supongamos que el vapor es utilizado en un proceso para calentar agua, esto se hace en un intercambiado de tubos, el vapor el fluido de trabajo, este calienta el agua al hacer contacto con en el interior de los tubos, después el fluido de trabajo va afuera del intercambiador en forma condensada y después puede ser

regresado a una caldera para volverse vapor nuevamente. El fluido que pasa a través de los tubos del intercambiador continúa a la siguiente etapa del proceso.

#### **1.2.4. Descripción de un sistema abierto y un sistema cerrado**

Los sistemas de proceso de fluidos pueden ser designados como sistemas abiertos o sistemas cerrados. Esto se basa en la forma en que el fluido pasa a través del sistema. En un sistema cerrado el líquido de trabajo permanece en el sistema. En un sistema abierto el fluido se pierde.

Un ejemplo de un sistema cerrado es el aire acondicionado. En un sistema de aire acondicionado, circula a través del enfriador y este es impulsado por un ventilador, aunque cambia de estado de líquido a gas, este no se pierde en el sistema, este pasa por el condensador y se repite el ciclo.

En un sistema abierto el fluido se pierde en el sistema, un ejemplo es un sistema de calentamiento por medio de quemadores o. En un sistema de combustión, los fluidos son gases calientes que resultan de la combustión del combustible y el aire. Pero después de la combustión estos gases se pierden y son expulsados a la atmósfera.

Un ejemplo de estos sistemas son los automóviles, la gasolina es el fluido de trabajo, cuando se mezcla en el carburador con el aire la gasolina, hace una combustión en los cilindros, después de lo cual estos son expulsados por medio del tubo de escape.

### **1.3. EL PROCESO DE LA ENERGÍA**

La energía existe en muchas formas. La energía mecánica está asociada con objetos u operaciones que pueden ser vistas a simple vista. La energía térmica es energía asociada con el movimiento de las moléculas. La energía química se muestra a través de una reacción de los átomos y las moléculas como ocurre en la combustión. Hay energía asociada a partículas más pequeñas que los átomos como la energía eléctrica, los rayos X y las ondas de radio.

#### **1.3.1. Definición de la energía y su relación con el fluido de procesos**

En aplicaciones industriales, como el proceso de fluidos, energía puede ser definida como la capacidad de un material para trabajar.

En plantas industriales muchos componentes del sistema como máquinas son impulsadas por motores eléctricos energizados por energía eléctrica. La energía eléctrica también alimenta iluminación y sistemas sofisticados de instrumentación y control. Las calderas y los sistemas de quemadores convierten la energía química en energía de combustión. En los procesos de fluido los fluidos de trabajo tienen la capacidad de contener energía y realizar un trabajo.

También la energía puede ser clasificada como energía almacenada o energía en transmisión.

La energía almacenada esta se guarda en algunas sustancias o un sistema, la energía en transición, que se manifiesta como trabajo, la energía en proceso es transferida de un medio a otro. Toda la energía en transición comienza o termina como energía almacenada. Cuando la energía es almacenada en un sistema por su posición de dos o más sustancias o partículas, es llamada energía potencial.

Cuando la energía es almacenada en un sistema por su velocidad relativa de dos o más partículas es llamada energía cinética.

### **1.3.2. Definición de energía potencial, energía cinética y energía interna**

La energía potencial es esencialmente energía en posición. La energía cinética es energía en movimiento y la energía interna es la energía del movimiento de una sustancia.

Un líquido almacenado en un tanque puede ejemplificar la energía potencial. La presión también influye en la energía potencial, en el fluido del proceso, incrementando la presión de un fluido se requiere de una adición de energía. La energía potencial en un fluido presurizado aumentara la capacidad de trabajo al aumentar la presión. Tal como la energía necesaria para bombear un fluido en un tanque elevado es mayor que para un tanque a una altura más baja.

Muchas aplicaciones de procesos usan energía potencial guardada en aire comprimido para operar actuadores de válvulas de control y otros dispositivos de control y de instrumentación. En muchos casos es utilizado un compresor de aire para aumentar la presión del aire. El aire a presión es almacenado hasta que es necesario. Una vez que el aire es liberado este se convierte energía cinética o en energía en movimiento.

La energía cinética es definida como energía en movimiento. La energía cinética es determinada por la velocidad y la masa de la materia. Los movimientos más rápidos del fluido, mueve una cantidad mayor de aire y por consecuencia aumenta la energía cinética, esta por lo tanto es capaz de realizar una cantidad mayor de trabajo.

Hay ventaja de utilizar los generadores eléctricos accionados por turbinas de vapor. La turbina utiliza vapor el flujo de vapor como fuente de energía, convirtiendo la energía cinética en vapor y de ahí en movimiento mecánico para hacer girar el generador.

La energía potencial asociada la fuerza gravitacional de la tierra y otros cuerpos nos da muchos ejemplos de cómo la energía potencial es almacenada en los cuerpos. Por ejemplo una roca que resiste en una parte alta, cuando esta cae libremente cuando es empujada, justo antes cuando es empujada esta tiene una energía potencial.

La energía térmica asociada con sistemas de moléculas, como la energía mecánica, también puede ser almacenada como energía en transición. La energía térmica en transición es llamada calor. La energía térmica es almacenada como energía interna y es definida como la energía almacenada en una sustancia o un sistema en una parte en movimiento de moléculas o la fuerza de atracción de las moléculas.

En un proceso de fluido, la cantidad de energía interna contenida en los fluidos en el fluido es determinada por la actividad de las moléculas del fluido.

La energía interna puede ser clasificada como energía potencial o energía cinética. Como energía potencial, es la energía asociado con las fuerzas de atracción que existe entre las moléculas. La magnitud de la energía potencial interna depende tanto de la masa de las moléculas y la distancia promedio por la cual están separadas, comparando con la energía mecánica depende de la masa de los cuerpos y la distancia por la cual es separada. La fuerza de atracción entre las moléculas es más grande en sólidos, menos en los líquidos y substancias viscosas.

El calor es energía térmica en transición, como el trabajo, el calor es una transición de la existencia de dos o más formas de energía. El flujo de calor solo es posible cuando existe una diferencia de temperaturas entre dos objetos o dos regiones.

La temperatura es un reflejo de la cantidad de energía cinética que tiene un objeto una sustancia y es considerada como una propiedad de la materia. El movimiento o flujo de energía térmica o calor es atribuido a la energía del sistema, también atribuido a un componente del sistema. El movimiento de las moléculas dentro de un fluido, o en otra sustancia, aumenta si el calor de la misma incrementa.

#### **1.4. MEDICIÓN Y TEMPERATURA**

La temperatura es la medida o cantidad de calor que contiene una sustancia.

La temperatura también puede ser descrita como un reflejo de la cantidad de energía cinética poseída por un objeto o una sustancia, y es por lo tanto, un atributo o propiedad de las sustancias.

Los valores de la temperatura son en ocasiones ocupados para describir, cuanto calor o frío tiene un fluido en un proceso.

Las cuatro escalas mas ocupadas en la industria de instrumentación y control son la del Fahrenheit, Celsius, Rankine y Kelvin; estos se representan por las letras F, C, R y K respectivamente, estas se utilizan para indicar su relativa escala.

Desde 1945 tanto la escala Fahrenheit como la escala Celsius fueron basadas como dos escalas fáciles de duplicar en sus puntos de referencia, el punto de congelamiento y el punto de evaporación.

La temperatura en congelación es una mezcla de una mezcla de agua y hielo que esta en equilibrio con el aire saturado a una presión de una atmósfera.

La temperatura de evaporaciones la temperatura a la que el vapor y el agua esta en equilibrio a una presión de una atmósfera (atm).

En la escala Fahrenheit el punto asignado al congelamiento es de 32 y el de ebullición es de 212. En la escala Celsius estos puntos son 0 para el congelamiento y 100 para la ebullición.

## **1.5. CALOR Y TRANSFERENCIA DE CALOR**

El calor es la energía en transición.

El calor es medido normalmente en la unidad llamada British Thermal Unit (Btu). Originalmente un Btu estaba definido como la cantidad de calor necesaria para elevar una libra de agua un grado Fahrenheit. Una unidad similar es la caloría (Cal), la cual se define como la cantidad necesaria de calor para elevar un grado Celsius un gramo de agua.

Aunque ambas medidas siguen vigentes pero las definiciones fueron abandonadas por un acuerdo internacional, el Btu y la caloría son definidas por una unidad de energía llamada Joule.

### **1.5.1. Transferencia de calor por conducción, convección y radiación**

El flujo de calor o la transmisión de energía térmica de un cuerpo, sustancia o región a otra, siempre toma lugar de una región de alta temperatura a una región de más baja temperatura.

En termodinámica, la temperatura más alta que también puede ser llamada la región emisora, la temperatura más baja puede ser la región de recepción.

Existen tres formas en que se realice la transmisión de calor, la conducción y la radiación son las principales formas de transmisión de calor, la convección esta relacionada con una clase especial de proceso que mueve una masa o un fluido de un lugar a otro.

#### 1.5.1.2. Conducción

Es el flujo de calor a través de la superficie de un conductor sólido. El calor transferido a través de las paredes de los tubos en una caldera es conducción, El calor de una flama o una combustión de gases que pasa a través de las paredes de un tubo es transferido de la mezcla de agua y vapor que fluye a través de los tubos.

Otro concepto de la transferencia de calor en la cual el calor fluye de una región de más alta temperatura a una región más fría en la que hay contacto físico entre las dos.

#### 1.5.1.3. Radiación

La radiación es la transmisión de calor por medio de ondas de energía, similares a las ondas de la luz. La radiación es diferente de la conducción en que no se requiere de un medio para la transferencia de calor, sin embargo esta puede darse únicamente de forma directa y sin obstáculos en la línea de la señal entre la sustancia que emite el calor y la sustancia que recibe el calor transferido.

#### 1.5.1.4. Convección

La convección es la transferencia de calor que circulación de un fluido que se mantiene caliente, Esta puede ser natural o forzada. La convección forzada ocurre cuando se utilizan bombas, ventiladores u otros dispositivos causan el movimiento de los fluidos.

La convección natural ocurre cuando en las calderas cuándo el calor es transmitido del depósito al súper calentador con la circulación de gases de un área a otra.

### **1.6. LAS TRES FASES DE LA MATERIA**

Las tres fases fundamentales de la materia físicamente son 3 sólido, líquido y gaseoso.

El estado físico de una sustancia esta íntimamente ligado a la distancia que hay entre sus moléculas. Las moléculas que están mas cercanas entre si son llamadas sólidos, las que están un poco mas separadas son los líquidos y las mas separadas son los gases. Cuando el flujo de calor de una sustancia no se refleja en un cambio de temperatura, se entiende que la energía esta siendo utilizada para incrementar la distancia entre sus moléculas de la sustancia y están sufriendo un cambio de sólido a líquido o de líquido a gas.

## **1.7. SISTEMAS SCADA**

### **1.7.1. Conceptos básicos del sistema SCADA**

Los sistemas SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) son aplicaciones de software, diseñadas con la finalidad de controlar y supervisar procesos a distancia. Se basan en la adquisición de datos de los procesos remotos.

Es una aplicación de software especialmente diseñada para que controle la producción desde un ordenador, al entablar comunicación con los dispositivos de campo (sensores, actuadores, registradores, autómatas programables). Además, envía la información generada en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como hacia otros supervisores dentro de la empresa, es decir, que permite la participación de otras áreas como las de control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc.

Cada uno de los ítems de SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de datos) involucran muchos subsistemas, como la adquisición de datos que puede estar a cargo de un PLC (Controlador Lógico Programable), el cual toma las señales y las envía a las estaciones remotas usando un protocolo determinado. Otra manera de envío puede ser a través de una computadora que capte la información vía hardware y luego la transmita hacia un equipo de radio hasta su puerto serial, también existen otras alternativas.

El software SCADA permite visualizar mediante una interfaz gráfica cada una de las estaciones remotas que conforman el sistema, mostrando el comportamiento del proceso para verificar el estado de cada estación y las situaciones de alarma, y así poder tomar acciones físicas sobre algún equipo lejano. La comunicación se

realiza mediante buses especiales o redes LAN, todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real. [3]

Un software SCADA debe ser capaz de ofrecer al sistema la:

- Posibilidad de crear paneles de alarma, que exigen la presencia del operador, para reconocer una parada o situación de alarma y llevar registro de incidencias.
- Generación de datos históricos de las señales de planta, que pueden ser volcados para su proceso sobre una hoja de cálculo.
- Ejecución de programas que modifican la ley de control, incluso anular o modificar las tareas asociadas al autómatas, bajo ciertas condiciones.
- Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador.

Existen diversos tipos de sistemas SCADA dependiendo del fabricante y sobre todo de la finalidad con que se va a hacer uso del sistema, por ello antes de decidir cuál es el más adecuado hay que tener presente si cumple o no ciertos requisitos básicos: [4]

- Todo sistema debe tener arquitectura abierta, es decir, debe permitir su crecimiento y expansión, así como poder adecuarse a las necesidades futuras del proceso y de la planta.
- La programación e instalación no debe presentar mayor dificultad, debe contar con interfaces gráficas que muestren un esquema básico y real del proceso.
- Deben permitir la adquisición de datos de todo equipo, así como la comunicación a nivel interno y externo (redes locales y de gestión).

- Deben ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware, y fáciles de utilizar, con interfaces amigables para el usuario.

### **1.7.2. Funciones principales del sistema**

Todo sistema de supervisan y control debe de contar con ciertas características que permitan al operador conocer el estado y desempeño de las instalaciones, tales funciones principales son:

- Supervisión remota de instalaciones y equipos.
- Control remoto de instalaciones y equipos.
- Procesamiento de datos.
- Visualización gráfica dinámica.
- Generación de reportes.
- Representación se señales de alarma.
- Almacenamiento de información histórica.
- Programación de eventos.

## **2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA PILO**

Ya que la planta industrial piloto ubicada en el laboratorio de operaciones del programa de Ingeniería Industrial de la Universidad Cooperativa de Colombia, sede Pasto, Calle 18 N0. 47-150 Torobajo, identificó los sistemas más comunes de los diagramas de flujo básicos en las industrias, para entrelazarlos y construir procesos industriales particulares. Dichos procesos son: Tratamiento de Aguas Industriales, Generación y Distribución de Vapor, Refrigeración y Sistemas de Transporte, que a continuación son descritos.

### **2.1. PROCESOS EXISTENTES EN LA PLANTA INDUSTRIAL PILOTO**

Cada proceso tiene un fundamento físico y variables particulares, que es necesario conocer como base conceptual para el desarrollo del sistema de monitoreo. A continuación, se describe cada proceso en el uso de la industria, para que dicha información se relacione con el inventario del ítem 2.2 de los equipos existentes en la planta universitaria.

#### **2.1.1. Tratamiento de aguas industriales**

Las aguas residuales industriales son aquellas que proceden de cualquier actividad o negocio en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice agua. Existen variables en cuanto a caudal, tiempo y composición, difiriendo las características de los vertidos no solo de una industria a otra, sino también dentro de un mismo tipo de industria. A veces las industrias no emiten vertidos de forma continua, sino en determinadas horas del día

dependiendo del tipo de producción y del proceso industrial; también son habituales las variaciones de caudal y carga a lo largo del día.

Las aguas residuales industriales son más contaminantes que las aguas residuales urbanas, esto hace que el tratamiento para aguas residuales industriales sea complejo, requiriendo un estudio específico para cada caso.

El sistema de tratamiento de aguas industriales en general está constituido por los procesos de filtración y tratamiento de aguas, el primero consiste en separar un sólido suspendido dentro de un líquido (precipitado), al hacerlos pasar a través de un medio poroso por el cual el líquido puede penetrar fácilmente. La filtración es un proceso básico en la industria química que también se emplea para fines tan diversos como la preparación de café, la clarificación del azúcar o el tratamiento de aguas residuales. Por su parte, el tratamiento de aguas consiste en tratar el agua vertida con procesos que pueden ser primarios, (sedimentación, decantación), secundarios (filtración) y biológicos, el agua al pasar por estos procesos reduce la cantidad de bacterias y de residuos orgánicos.

### **2.1.2. Generación y distribución de vapor**

Mediante este proceso se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura. El calor se transfiere mediante convección, radiación o conducción. Aunque estos tres procesos pueden tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno de los mecanismos predomine sobre los otros dos.

Las calderas o generadores de vapor son instalaciones industriales que aplicando calor de un combustible sólido, líquido o gaseoso, vaporizan el agua para aplicaciones en la industria. Las calderas industriales pueden ser clasificadas tanto en acuotubulares y pirotubulares indicando la posición relativa de los gases de

combustión con respecto al fluido que está siendo calentado, en este caso, se encuentra instalada una caldera pirotubular, por esta razón se hace énfasis en las calderas acuotubulares.

Estas unidades pasan los productos calientes de la combustión a través de tubos sumergidos en el agua de la caldera. Las unidades convencionales generalmente emplean de 2 a 4 pasos para incrementar la superficie de área expuesta a los gases calientes y por lo tanto incrementar la eficiencia. Las capacidades máximas de las unidades pirotubulares han sido extendidas a 69,000 lbs de vapor por hora con presiones de operación por encima de 300 psig.

### **2.1.3. Sistema de refrigeración**

Un sistema de refrigeración es un sistema de control que necesita mantener refrigerada cierta cantidad de materia, este proceso reduce la temperatura de una sustancia por debajo de la que prevalece en su ambiente. El uso de instalaciones de refrigeración es muy común en la industria de procesos químicos, que se emplean para suprimir el calor de las reacciones químicas, licuar gases de procesos, separar gases por destilación y condensación y purificar productos mediante la congelación de separación selectiva de un componente de una mezcla líquida.

### **2.1.4. Sistema de transporte**

El sistema de transporte de material permite trasladar materiales sólidos, líquidos y gaseosos de un lugar a otro, mediante el uso de diferentes equipos de transporte entre los que se encuentran las bandas transportadoras, elevadores de cangilones y tornillos sin fin, entre otras. Este proceso es uno de los más utilizados dentro de

la industria debido a las ventajas que ofrece en términos de agilidad, seguridad, ahorro de energía y sanidad.

## **2.2. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DEL LABORATORIO**

### **2.2.1. Tratamiento de aguas industriales**

El sistema de tratamiento de aguas industriales que se encuentra en el laboratorio de operaciones es una simulación del sistema más común de las industrias nacionales y está compuesto por ocho tanques de acrílico señalados a continuación:

Tanque 1: Almacenamiento del agua a tratar

Tanque 2: Rejillas

Tanque 3: Desarenador

Tanque 4: Sedimentador

Tanque 5: Coagulación y Floculación

Tanque 6: Filtro

Tanque 7: Cloración

Tanque 8: Almacenamiento Final.

Además, el tratamiento de aguas posee una motobomba conectada entre el tanque 5 y 6 y un *blower* o difusor de aire que se conecta con los tanques 1 y 3. Los materiales con los cuales está hecho el sistema de tratamiento de aguas industriales se describen en la tabla No 1 y la figura 1, muestra el módulo de tratamiento de aguas industriales. [5]

Tabla No 1. Descripción de los materiales para el sistema de tratamiento de aguas

ITEM	CANT	DIMENSION
Lamina de acrílico puro liso de 5 mm	2	1.20 m*1.80 m
Lamina de acrílico puro liso de 3 mm	1	1.20 m*1.80 m
Uniones 1"	5	
Uniones ½"	7	
Uniones ¾"	30	
Aireadores de boquillas	2	
Tubo de acero inoxidable ¾"	2	30 cm
Tubo de acero inoxidable macizo ¾"	2	30 cm
Grava	8 (kg)	
Arena para filtro	8 (kg)	
Cloro	1 (kg)	
Sulfato de aluminio	1 (kg)	
Carbón activado	8 (kg)	
Motor 5.9 v	2	
Ángulo de hierro 1/8 *1 ½	7	6 m largo
Platinas 1/8 * 1 ¼	9	
Codos 1"	5	
Codos ½"	5	
Codos de ¾"	40	
Tee 1"	3	
Tee ½"	3	
Tee ¾"	30	
Válvulas ¾"	16	
Tubería pvc ¾"	6	6 m
Motobomba	1	
Manómetro	3	



Fig. 1. Sistema tratamiento de aguas industriales

### **2.2.2. Generación y distribución de vapor**

Las partes integrantes de la caldera que se encuentra en el laboratorio son: Hogar (Sección que se encuentra en contacto directo con la flama), Quemadores (dispositivos en donde se lleva a cabo la comunicación), Combustibles (pueden ser sólidos, líquidos, en este caso gaseosos), Tubos pantallas, Sobrecalentador, Atemperador y Banco generador, además cuenta con un calderín, el tanque de condensados, un par de valvulas y el sistema de tubería para el transporte de líquidos y condensados. [6]

En la figura 2 se observa la caldera pirotubular instalada para la simulación de generación y distribución de vapor para el laboratorio de operaciones.



Fig. 2. Caldera pirotubular del laboratorio de Ingeniería Industrial.

El inventario de este segmento se encuentra en el tercer capítulo, diseño del sistema de monitoreo de la planta, esto para complementar el funcionamiento de este sistema.

### **2.2.3. Sistema de refrigeración**

El sistema de refrigeración del laboratorio de operaciones está constituido por un banco de hielo y un cuarto frío, tiene las siguientes dimensiones y característica más sobresalientes. [7]

Largo: 32 cm.

Ancho: 32 cm.

Profundo: 34 cm.

Temperatura máxima de descenso: 32 °F, ó 0°C.

Está construido con lámina galvanizada calibre 20 y tiene forma de cuarto como se muestra en la figura 3. Los materiales aislantes son de poliestireno ecológico, los

más avanzados para la construcción de cuartos fríos. Este sistema es el que se encarga de encerrar y mantener a cierta temperatura cualquier producto.



Fig. 3. Cuarto frío del laboratorio de Ingeniería Industrial

Entre las partes más importantes se encuentra la cubierta, los paneles están forrados en ambas caras (exterior e interior) con lámina de acero galvanizado calibre 20. Las puertas contienen lámina galvanizada calibre 20. Con sistema de abre fácil sujeta por bisagras, además lleva un empaque a su alrededor que hace más seguro su cerrar y el aislamiento de los paneles del cuarto frío son aislados con poliestireno expandido de ancho 3 cm.

#### **2.2.4. Sistema de transporte**

El sistema de transporte instalado en el laboratorio de operaciones es un tornillo sin fin y un elevador de cangilones. El primero se basa en un tornillo situado sobre un plano inclinado que al hacerlo girar con un motor permite elevar cualquier tipo de material situado por debajo del eje de giro. El segundo es un sistema vertical que por medio de una banda sujeta a dos ejes paralelos horizontales que se

mueven por medio de un motor, elevan unas placas metálicas ajustadas al la banda llamadas cangilones. Desde su invención se ha utilizado para el transporte de fluidos y transporte de materiales.

El tornillo sin fin consta de una rueda dentada helicoidal, denominada corona, y un tornillo soldado a un eje, que engrana con la rueda. Este transmite movimiento entre dos ejes perpendiculares. El tornillo tiene un solo diente con forma helicoidal, de manera que cada vez que el tornillo da una vuelta completa tan solo se desplaza un diente de la rueda. Por lo tanto, para que la rueda dé una vuelta completa, el tornillo tiene que girar tantas veces como dientes tiene la rueda. Y el accionamiento del sistema de mando o motriz de un transportador de tornillo sin fin está compuesto por un motor eléctrico y engranaje de tornillo sin fin.

El elevador de cangilones consta de un cuerpo, un chute de carga, un chute de descarga, una plataforma de inspección, una polea inferior y una polea superior, una banda donde se montan los cangilones, un sistema de transmisión que consiste en un motoreductor con una transmisión por cadena de rodillos, ubicada en el cabezal superior, un eje superior, un sistema de antiretorno ubicado en el eje cabezal superior, un templador ubicado en el cabezal inferior, un eje inferior y chumaceras de rodamiento. En la figura 4 se muestra el módulo de transporte de materiales. [8]



Fig. 4. Sistema de transporte de materiales

## **2.3. HARDWARE Y SOFTWARE PARA EL MONITOREO**

### **2.3.1. Controladores lógicos programables PLCs**

De acuerdo con la definición de la NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*) un controlador programable es un dispositivo electrónico operado digitalmente, que usa una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones para implementar funciones específicas, tales como lógica, secuenciación, registro y control de tiempos, conteo y operaciones aritméticas, para controlar a través de módulos de Entrada/Salida digitales (On/Off) o analógicos (0-10 V DC, 4-20 mA, etc.), varios tipos de máquinas o procesos.

#### **2.3.1.1. Arquitectura del controlador**

Los elementos esenciales que todo PLC tiene son:

Sección de entradas: Son líneas de entrada, las cuales pueden ser de tipo digital o analógico. En ambos casos se tiene unos rangos de tensión típicos, los cuales se especifican en las características del fabricante. A estas líneas se conectan los sensores, interruptores, relés de mando.

Sección de salidas: Son una serie de líneas de salida, que también pueden ser de carácter digital o analógico. A estas líneas se conectan los actuadores.

Unidad central de proceso (CPU): se encarga de procesar el programa de usuario con que se le carga. Para ello se dispone de diversas zonas de memoria, registros e instrucciones de programa. En la figura 5 se observa la arquitectura de un PLC.

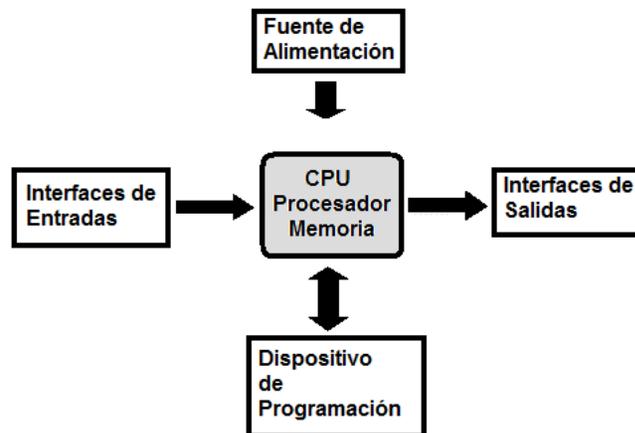


Fig. 5. Arquitectura del Controlador Lógico Programable

La CPU es el corazón del autómatas programable y se encarga de ejecutar el programa del usuario. Sus funciones son:

- Ejecutar el programa de usuario.

- Vigilar que el tiempo de ejecución del programa de usuario no exceda un determinado tiempo máximo (tiempo de ciclo máximo). A esta función se le suele denominar *Watchdog* (perro guardián).
- Crear una imagen de las entradas, ya que el programa de usuario no debe acceder directamente a dichas entradas.
- Renovar el estado de las salidas en función de la imagen de las mismas obtenida al final del ciclo de ejecución del programa de usuario.
- Chequeo del sistema.

#### 2.3.1.2. Elementos para enlace del PLC con el exterior

A más de las unidades de entrada y salida (E/S), el PLC para su interrelación con dispositivos externos puede disponer de los siguientes componentes:

Unidad o consola de programación: Que permite introducir, modificar y supervisar el programa de usuario.

Interfaces: Facilitan la comunicación del autómatas mediante enlace con otros dispositivos.

Dispositivos periféricos: Como unidades especiales de E/S, más memoria, unidades de comunicación en red, etc.

## 2.4. DESCRIPCION DEL INTOUCH

### 2.4.1. Wonderware Factory Suite

Como pionero en el uso del sistema operativo *Microsoft Windows* para la manufactura, *Wonderware* introduce en 1989 el primer paquete de interfaz hombre-máquina (HMI) orientado a objetos, siendo además la primera compañía

en llevar el HMI al sistema operativo *Windows* y en introducir la facilidad de su uso a las aplicaciones para la automatización industrial.

En poco tiempo, *Wonderware* expandió su línea con más productos de software basados en *Windows* que le proporcionaron capacidades adicionales para la automatización, incluyendo seguimiento de recursos, control basado en PC, control de procesos por lotes (*Batch*), visualización remota de datos y una base de datos para la fábrica en tiempo real. En 1997, *Wonderware* integra estos productos individuales en un solo paquete llamado *Factory Suite*, la primera suite verdadera de software para la automatización industrial. Hoy en día, *Factory Suite*, se encuentra una vez más dejando atrás a la competencia con un conjunto de componentes perfectamente integrados y orientados a todos los niveles de la empresa. Parte constitutiva de esta suite es *Intouch*, la mejor forma de crear aplicaciones de Interfaces hombre - Máquina. [9]

Cabe destacar que la Universidad Cooperativa de Colombia Seccional Pasto, adquirió la licencia del software *Wonderware* en el año 2006 en el marco del proyecto, "Implementación Del Software WONDERWARE Como Estrategia Pedagógica Para La Simulación De Procesos Industriales". Sin embargo, dentro del proyecto no se aplicó esta poderosa herramienta a un nivel industrial.

#### **2.4.2. Intouch**

Es una herramienta que ayuda a crear aplicaciones de interface hombre-máquina HMI para automatización industrial, control de procesos y monitoreo supervisado. Una aplicación de *Intouch* es una representación gráfica de los datos en tiempo real y que provienen directamente desde la planta industrial o del lugar que se desea controlar.

Las aplicaciones *Intouch* tienen su espacio a nivel mundial en una multitud de procesos incluyendo procesos alimenticios, tableros de control, la industria química, farmacéutica, pulpa y papel, transportación, y más.

Las aplicaciones desarrolladas en *Intouch* constituyen sistemas poderosos con características que explota todas las bondades de *Microsoft Windows* incluyendo los controles *ActiveX*, *OLE*, gráficos, aplicaciones distribuidas y más.

*Intouch* puede ser ampliado adicionando controles *ActiveX* personalizados, *wizards*, y creando programas denominados "*InTouch QuickScripts*".

*Intouch* consiste de tres programas principales:

- *Intouch ApplicationManager*
- *Intouch WindowMaker*
- *Intouch WindowViewer*

El *InTouch Application Manager*: organiza las aplicaciones creadas por el usuario además de permitir la configuración de *WindowViewer* como un servicio de *Windows NT* (un servicio de *Windows NT* constituye un programa adherido al sistema operativo, el mismo que siempre se encuentra activo sin la necesidad de iniciarlo manualmente).

*InTouch WindowMaker*: es el medio de desarrollo, donde un ambiente gráfico orientado a objetos es usado para crear animaciones compatibles con pantallas sensitivas al tacto. Estos sistemas de visualización *Windows* pueden ser conectados a sistemas de visión industriales. [10]

*InTouch WindowViewer* es el medio de ejecución utilizado para la puesta en marcha de las aplicaciones desarrolladas en *WindowMaker*. *WindowViewer* ejecuta los *InTouch QuickScripts*, realiza los datos históricos y reportes, los procesos de alarmas y sus reportes y puede operar como cliente o como servidor para los protocolos de comunicación *DDE* y *Suite link*.

Otras características adicionales de *InTouch* incluyen;

- Conectividad con más de 300 servidores de comunicación (*I/O Server*), fácilmente distribuirlas en una red con *Wonderware NetDDE*.
- Aplicaciones de visualización de procesos en tiempo real.

### **2.4.3. Características y beneficios**

La versión de *InTouch* 10.0 está comprendida de varios componentes que permiten: visualización, acceso de datos, expansión para sistemas y componentes, presentación de historiales, manejo de eventos, diagnóstico de alarmas, uso de herramientas para reporte y análisis.

Las ventajas que ofrece son:

- Se puede comunicar vía Internet, de hecho las aplicaciones pueden ser vistas en *Microsoft Internet Explorer*. Si se requiere acceder a datos vía Internet se debe usar el paquete *Factory Suite Web Sever*.
- Posibilidad de crear un archivo auto-ejecutable que contiene archivos relevantes que realizan los procedimientos requeridos para instalar y correr aplicaciones en otro nodo, es decir comprime aplicaciones para minimizar el tiempo de descarga en Internet. Esto se puede hacer usando *Application Publisher* ubicado en el *WindowMaker*.

- Se puede manejar instalaciones multi-nodo, actualizando todos los nodos de una red desde una sencilla estación de desarrollo. Esto se realiza con el desarrollador de aplicaciones en red dinámicas NAD.
- Se puede tener respaldo de aplicaciones automáticamente cuando hay una actualización de versiones.
- Usa el protocolo *Suite link* que permite comandos de aplicación y sus datos asociados para ser pasados entre aplicaciones de cliente y aplicaciones de servidor.
- *Wonderware* ofrece soporte para productos que usan *Microsoft DDE*, es decir, para la mayoría de paquetes que trabajan en el ambiente *Windows*.
- Facilita el trabajo en red con un paquete especializado llamado *Wonderware NetDDE* y que viene incorporado a *Intouch*.

### 3. DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO DE LA PLANTA INDUSTRIAL PILOTO

En este capítulo se describen los conceptos básicos para el diseño del sistema de monitoreo de la planta piloto, como es el hardware o instrumentos de campo, que en este caso es el PLC asignado para el control y monitoreo de los procesos, así como también la comunicación entre el sistema de monitoreo y el PLC

#### 3.1. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE Jazz™ Micro-OPLC™ JZ10-11-R16 de UNITRONICS

Para el diseño del sistema de monitoreo se tuvo en cuenta el controlador lógico programable Jazz™ Micro-OPLC™ JZ10-11-R16 de UNITRONICS. Este tipo de controlador tiene un control destinado a tareas exigentes; con un buen número de Entradas/Salidas, gran memoria y más funciones especiales integradas, que fue adquirido por la Universidad Cooperativa, ver figura 6.



Fig. 6. Controlador Logico Programable Jazz™ Micro-OPLC™ JZ10-11-R16

Las características y datos técnicos de este controlador además de su programación se pueden observar en el ANEXO A, Datos técnicos del PLC.

### **3.1.1. Software U90 Ladder**

Para la sistematización del PLC es necesario tener el software de programación U90 Ladder que es una aplicación que permite programar los sistemas de automatización Jazz™ Micro-OPLC™.

## **3.2. COMUNICACIÓN INTOUCH-PLC**

### **3.2.1. Comunicación de Intouch con su entorno**

*Intouch* no tiene capacidad de comunicarse directamente con dispositivos u otras aplicaciones (PLCs, relés, Excel, LabView, etc.). Esta conexión, para controlar dispositivos y aplicaciones es realizada a través de drivers de comunicación denominados en *Intouch* "I/O Servers", los mismos que entiende el protocolo de comunicaciones del hardware.

*Intouch* y los servidores de Entrada/Salida (I/O Servers), se comunican vía canales o enlaces creados en ambas partes.

Por el enlazamiento de los *tags* de *Intouch* para estos "canales de comunicación" llamados *I/O Topics*, *Intouch* puede leer o escribir en los dispositivos de control de campo.

### 3.2.1.1. Tagname e ítem

En *Intouch* se define a un *tagname* como un nombre asignado a una variable y que un humano puede entender, mientras un ítem es un nombre de variable que el sistema o hardware debe entender. Un *tag* puede también ser históricamente almacenado. Tiene condiciones de alarma definidas por el usuario. Los *tags* se comprenden de efectos de tipo digital o analógico.

### 3.2.1.2. Nombre de acceso (ACCES NAME)

Cuando se crean *tagnames* tipo I/O (Entrada/Salida) o referencias de *tagname* remotas, ellas están asociadas con un nombre de acceso "*Access Name*", el cual contiene la información que es usada para comunicarse con otra fuente de datos de tipo I/O. La información incluye: nombre de nodo de trabajo, nombre de la aplicación y el nombre del tópico.

*Intouch* identifica un elemento de datos en un programa del I/O Server mediante el uso de una convención que comprende tres partes:

El nombre de la aplicación (*application name*).

El nombre del tópico (*topic name*).

El nombre del ítem (*ítem name*).

Para obtener datos desde otra aplicación, el programa "cliente" (*Intouch*) abre un canal para el programa "servidor" a través de la especificación de esos tres campos.

*Intouch*, para adquirir un dato desde otra aplicación, debe conocer el nombre de la aplicación que provee los valores, el nombre del tópico dentro de la aplicación y el

nombre del ítem específico dentro del tópic. Además *Intouch* requiere conocer el tipo de dato (discreto, entero, real, o mensaje). Esta información determina el tipo de I/O para el *tagname* cuando es definido en la base de datos de *Intouch*. Luego, cuando *WindowViewer* esté ejecutándose: automáticamente realizará todas las acciones requeridas para adquisición y mantenimiento del valor de ese ítem.

### **3.2.2. Comunicación PLC – INTOUCH**

La comunicación entre el PLC y el *Intouch*, utiliza un programa que permite recibir o enviar datos y se conoce como *I/O Server*, para los PLCs UNITRONICS Jazz™ Micro-OPLC™ de la familia JZ10-11-R16 se utiliza el *UniOPC Server*.

*UniOPC Server* es un software que trabaja bajo *Windows* y utiliza el protocolo DDE para la comunicación interna con el *Intouch*.

El PLC se comunica con el *I/O Server* mediante el puerto serial RS-232 del computador y mediante un servidor de protocolo *UniOPC Server*. El enlace físico es con un cable RS-232, este sirve tanto para programar como para hacer la interfaz (HMI) con el PLC y el computador.

Lo primero en hacer es instalar este software en el computador, para luego configurarlo para su correcto funcionamiento.

#### **3.2.2.1. Requisitos del Sistema de *UniOPC Server*:**

- Ordenador personal de clase Pentium (700 MHz o más alto recomendado).
- *Windows* NT4 (SP5)/2000 (SP3)/XP (SP2).
- 256 MB de RAM (512 MB recomendado).
- 120 MB de espacio libre en el disco duro.

- Monitor de VGA súper (con juego de resolución de pantalla al menos 800x600, 65536 colores, pequeños ajustes de fuente).
- Explorador de Internet de Microsoft 6 o más alto. El Explorador de Internet le permite usar la ayuda en línea.
- Disponer de un puerto serial RS 232.

#### 3.2.2.2. Integración de aplicaciones

El protocolo de intercambio dinámico de datos o DDE (*Dynamic Data Exchange*) es uno de los métodos de comunicación entre procesos soportado por Microsoft *Windows* que permite intercambiar datos entre sus aplicaciones, como en este caso *InTouch* y *OPClink*.

#### 3.2.2.3. Configuración del I/O Server

Una vez instalado el software se procede a su configuración como se describe en el ANEXO E, Configuración para el intercambio de datos.

La idea general de comunicación OPC en el proyecto, una vez se conecten los elementos físicamente, es la de tener el servidor y el cliente en la misma máquina, en el PC de la planta piloto. El servidor se creará con el software de Unitronics – *UniOPC Server*, el cual permitirá utilizar el protocolo de comunicación DDE, el mismo que utiliza el PLC, para solicitar los datos requeridos. Una vez se tiene el servidor implementado, se pueden crear tantos clientes como aplicaciones necesiten el acceso a los datos del servidor. En el proyecto sólo se tendrá un cliente, la aplicación software realizada mediante *InTouch*.

Lo que se pretende mediante la tecnología OPC es poder realizar la supervisión del proceso de la planta con otro fabricante, es decir, al utilizado en el monitoreo.

A nivel visual, la figura 7 ayuda a entender la idea de la implementación de la tecnología OPC en el proyecto.

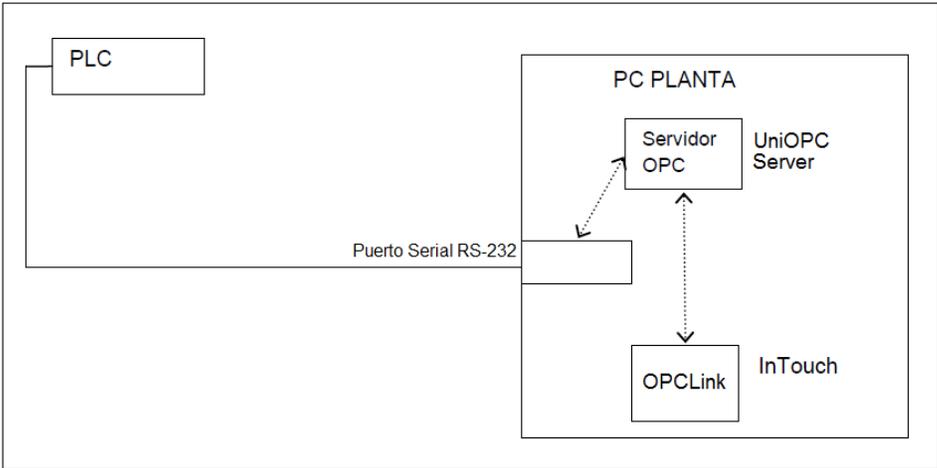


Fig. 7. Esquema general de la comunicación OPC, mediante el cual se une el software UniOPC de Unitronics e *InTouch*

## 4 RESULTADOS

En este capítulo se describe el proceso para obtener el diseño de la interfaz hombre maquina (HMI) de la planta piloto del laboratorio de operaciones. Es decir, explicar brevemente el funcionamiento básico de cada proceso desde dos puntos de vista: funcional; mediante el cual se describirá el objetivo de la etapa, los requerimientos; y de control del proceso; en el que se verá el tipo de monitoreo realizado, la instrumentación sugerida, etc.

Además, ello se pudo constatar cuando, al finalizar la pasantía en la Universidad Cooperativa de Colombia seccional Pasto, fue expuesto el sistema de monitoreo al decano de la facultad de Ingeniería Industrial, al cuerpo docente y directivos del proyecto. En dicha ocasión, también se capacitó a los estudiantes de quinto semestre de Ingeniería Industrial de la asignatura Termodinámica, sobre el manejo del software Intouch. Finalmente, los alumnos realizaron una simulación de un proceso termodinámico para el codirector del proyecto y docente, ING. FABIO ANDRÉS BOLAÑOS, demostrando la conveniencia del desarrollo del proyecto de grado (en su modalidad de pasantía)

### 4.1. COMUNICACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO CON LOS PROCESOS

#### 4.1.1. Proceso: tratamiento de aguas industriales

##### 4.1.1.1 Descripción funcional

Este proceso tendrá la tarea de purificar el contenido de 20 litros de agua contaminada mediante un proceso *batch*, que consiste en secuenciar el paso del agua a través de ocho tanques debidamente ubicados para realizar la purificación del agua.

Con el fin de obtener producto compuesto por agua purificada se tendrá en cuenta la figura 8, está muestra un esquema general del módulo de simulación del sistema de tratamiento de aguas industriales utilizado en el laboratorio.

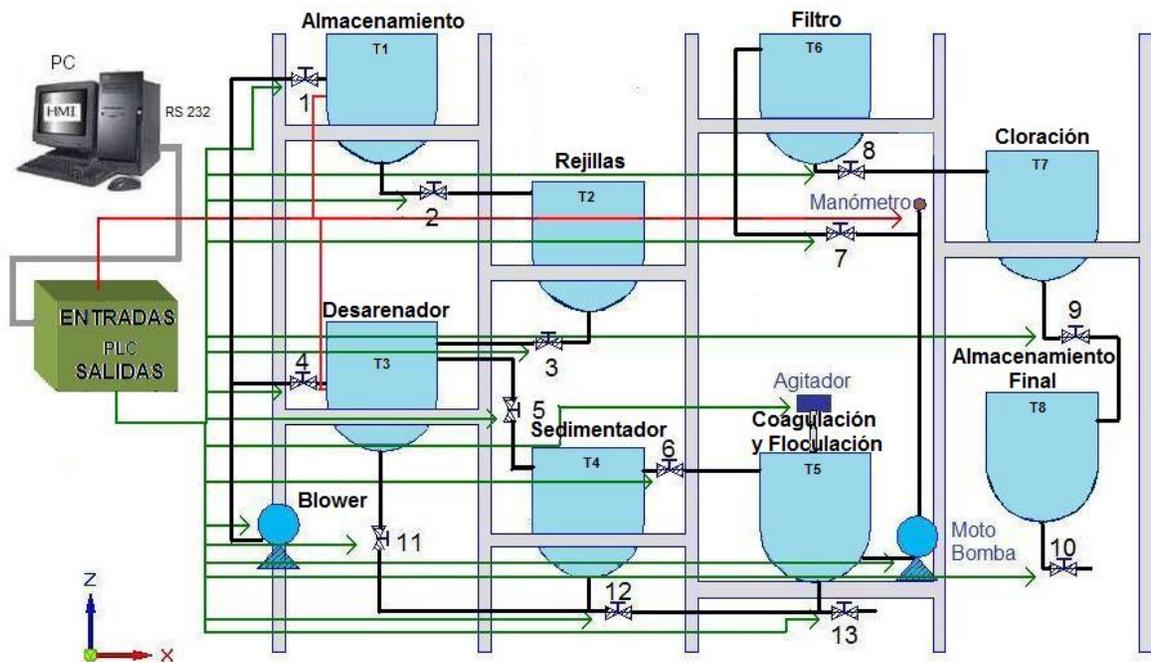


Fig. 8. Esquema de monitoreo del proceso de Tratamiento de aguas industriales.  
Señales de control

Para el monitoreo de este proceso se tuvo en cuenta el manual de operación y las instrucciones del fabricante. A continuación se describe resumidamente el funcionamiento de la planta partiendo de la figura 8:

- **Precauciones antes de poner en marcha el sistema:** todas las válvulas del sistema deben estar cerradas, los motores y *blower* deben estar apagados.

1. Llenar el sistema con el agua a tratar.

- El llenado del tanque 1 con el agua a tratar se realiza manualmente, verificando como lo especifica en las precauciones, que las válvulas se encuentran cerradas.
2. Encender el *blower*
    - Cuando el agua este en la mitad del tanque (10 lt), se enciende el difusor de aire a 110 v (*blower*).
    - Abrir la válvula 1 que da paso al aire al tanque 1.
  3. Abrir la válvula 2
    - Se abre la válvula 2 para dar paso del agua del tanque 1 al tanque 2 que contiene una rejilla donde se separan los sólidos del agua.
    - Tener en cuenta el paso del agua al tanque, evitar que el agua se vaya por la tubería de desahogo y/o que esta se rebote.
  4. Abrir la válvula 3
    - Se abre la válvula 3 para dar paso del agua del tanque 2 al tanque 3.
  5. Abrir la válvula 4
    - Cuando el agua este en la mitad del tanque 3 a 10 litros abrir la válvula que da paso al aire del *blower*, según sea conveniente el paso del mismo, para que las partículas se muevan y así eliminar las más pesadas.
    - Dejar agitar el tanque 4 durante 10 minutos.
    - El tanque se debe airear cada 2 horas durante 5 días. (para el mantenimiento)
  6. Abrir la válvula 11
    - Se abre la válvula 11 para dar salida a los lodos del tanque 3 y seguidamente se cierra.

7. Abrir la válvula 5

- Se abre la válvula 5 para el paso del agua del tanque 3 al tanque 4.
- Cuando el agua se encuentra en el tanque 4 se cierra la válvula 5.

8. Tapar el tanque 4.

- Se tapa manualmente el tanque 4 con la tapa de placas paralelas y dejar en reposo durante 15 minutos.

9. Abrir la válvula 6

- Se abre la válvula 6 para dar paso del agua del tanque 4 al tanque 5.

10. Agregar sulfato de aluminio

- Se le agrega al tanque 5 la medida exacta de sulfato de aluminio que es el coagulante (La cantidad de sulfato de aluminio depende del contenido en el tanque 5).

11. Encender el motor del agitador

- Agitar el tanque durante 15 minutos para producir el floculante.

12. Abrir la válvula 7 y encender la motobomba.

- Se abre la válvula 7 para dar paso del agua del tanque 5 al tanque 6.
- Se enciende el motor simultáneamente cuando se abre la válvula 7.
- Medir el caudal del agua.

13. Abrir la válvula 8

- Se abre la válvula 8 para dar paso del agua del tanque 6 al tanque 7.

14. Cloración

- Se agrega la medida de cloración exacta al tanque 7 (La cantidad de cloro

de pende del contenido en el tanque 7).

- Se deja reposar el tanque durante 15 minutos.

15. Abrir la válvula 9

- Se abre la válvula 9 para dar paso del agua del tanque 7 al tanque 8.

16. Almacenamiento final

17. Abrir la válvula 12

- Abrir la válvula 12 para la salida de los lodos ubicados en la parte inferior del tanque 4.

18. Abrir la válvula 13

- Abrir la válvula 13 para la salida de los lodos ubicados en la parte inferior del tanque 5.

20. Vaciar tanque?

- Esta será la última orden, si se quiere abrir la válvula 10 en el caso de desocupar el tanque de almacenamiento final.

#### 4.1.1.2. Control del proceso

En este apartado se verán los aspectos relacionados con el monitoreo de este proceso, como los instrumentación propuesta que interviene, el programa de *Intouch*, que hacen posible un funcionamiento como el descrito en el apartado anterior. El esquema de control de la etapa se observa también en la figura 8, donde están las distintas señales de control que intervienen.

#### 4.1.1.2.1 Instrumentación

Inmediatamente se tiene un listado con la diferente instrumentación y componentes captadores y actuadores que intervienen en el proceso de esta etapa y que se pueden ubicarlos en la figura 8.

Actuadores activados por relé:

- Electroválvulas (Valv1, Valv2, Valv3, Valv4, Valv5, Valv6, Valv7, Valv8, Valv9, Valv10, Valv11, Valv12 y Valv13): Fabricante: M&M, Tipo: Todo abierto o todo cerrado (On/Off), Tipo de entrada: 220 V AC.
- Moto Bomba (motobomba): Tamaño C 1800 RPM, Alcanza un caudal de 0.5 GPM, Material de bronce porque el PH del agua es de 7, Tipo de entrada: 110 V AC
- Motor de 5.9 V. (agitador)
- *Blower* 110 V (*blower*): Caudal =  $Q = 5.784$  lt/seg, Tipo de entrada: 110 V AC

Sensores (captadores)

- Nivel (LT3 y LT4): Fabricante: *PEPPERL+FUCHS*, Modelo: UB400-12GM-I-V1, Características principales: Proporciona la señal estandarizada, Tipo: Ultrasónicos, Tipo de salida: 4-20 mA.

- Manómetro: (sensor de presión) opcional para trabajos futuros. No está incluido dentro de la aplicación de *Intouch* ni tampoco del PLC, Tipo de salida: 4–20 mA

#### 4.1.1.2.2. Señales de control

Resumen de variables dentro de este proceso:

- Numero de variables de salida: 13 electroválvulas – 1 motobomba – 1 agitador – 1 *flower*
- Numero de variables de entrada: 2 niveles
- Total variables: salidas 16, entradas 3

Es importante conocer las señales de control de la etapa con las que se tendrá que trabajar. De la figura 8 se puede hacer una clasificación de las señales de entrada y salida que intervienen.

**SALIDAS independientes:** Son señales que no dependen de ninguna entrada en tiempo de ejecución, sino que es el planificado por la producción, el que asigna sus valores.

- Señal de control de las Motobomba, voltaje mediante relé (0 V Off / 12 V On).
- Electroválvula, voltaje mediante relé (0 V Off / 12 V On).
- Motor del agitador, voltaje mediante relé (0 V Off / 12 V On).

**ENTRADAS:** Son las señales que llegan desde la planta al PLC.

- Transmisor del manómetro ubicado entre el tanque 5 y 6, no interviene en el proceso, simplemente es de observación, opcional, intensidad (4-20 mA).
- Transmisores de nivel del tanque 1 y tanque 3, intensidad (4-20 mA).

#### 4.1.1.3. Programa

El programa implementado en *Intouch* para el correcto funcionamiento del sistema de monitoreo del tratamiento de aguas industriales en el *Application Script* del *WindowMaker*, es descrito en el ANEXO B, Código de los programas de Intouch, recordando el funcionamiento de cada etapa del proceso.

#### **4.1.2. Proceso: generación y distribución de vapor**

Proceso de la planta piloto, en la cual esta implementada una caldera pirotubular donde se realiza la simulación de generación y distribución de vapor se realizara como en el apartado anterior un análisis del proceso desde dos puntos de vista: el funcional y el de control.

##### 4.1.2.1 Descripción funcional

En la figura 9 se muestra el esquema general de la etapa, a partir de la cual se explica con detalle el proceso de generación y distribución de vapor.

La idea general del módulo de generación y distribución de vapor es utilizar los principios básicos de la termodinámica con el fin de llevar el agua en estado líquido hasta al estado gaseoso por medio del calor generado en la caldera y reutilizar esta energía en otros procesos. Una descripción del proceso es empezar directamente dentro de la caldera, que es el lugar donde se generará el vapor, este vapor es expulsado de la caldera a través de un sistema de tuberías que pasa por una válvula que se cierra y se abre para dar paso al vapor. El vapor después de pasar por la válvula llega al punto de consumo energético. El punto de consumo en este caso es un calderín. Luego el vapor que se ha usado en este punto se condensa, y el líquido que se condense llega al tanque de condensados y se cierra el ciclo del sistema.

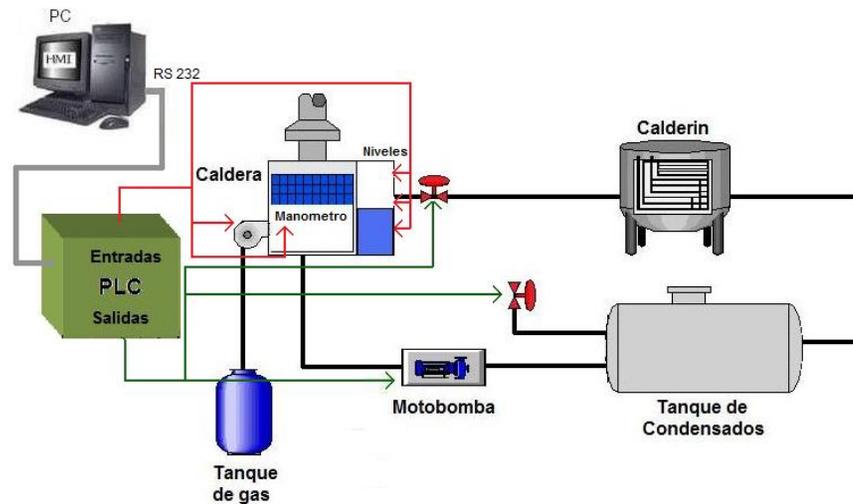


Fig. 9. Esquema de monitoreo de Generación y distribución de Vapor. Señales de control.

Para el monitoreo de este procesos se tuvo en cuenta que la caldera ya tenía instalado un sistema de control para el correcto funcionamiento, uno de ellos es el control del encendido automático del gas, otro es el control de nivel del agua de la caldera y por último el control de vapor de agua contenido en la caldera.

Los siguientes datos guían a una determinación de las variables a censar.

- La caldera tiene una capacidad de = 10.7 lts.
- Encendido del gas por medio de dos electrodos que están conectados a un transformador de ignición (120 - 10000).
- El gas es controlado por un regulador de presión que está conectado a la salida del cilindro y por una electroválvula que se encuentra a la entrada de la caldera.
- Control de nivel, censa en tres puntos: punto común, punto mínimo, punto máximo.
- Control para el llenado de agua de la caldera por medio de una motobomba.

- Manómetro de 60 psi, se instalo con el fin de medir la presión generada por el vapor dentro de la caldera y el presostato prender o apagar la llama con los electrodos dependiendo de la presión que se encuentre calibrado.
- Sensor de llama, es una foto celda que censa la luz y sierra la electroválvula cuando no detecta luz evitando accidentes con el combustible.
- Motobomba de tamaño C 1800 RPM y alcanza un caudal de 0.5 GPM. Material de bronce, ½ HP.

Lo que se hace ahora es tomar las señales para censar los estados de las variables y monitorearlas en la ventana de *Intouch* por medio del PLC y también accionar algunos actuadores.

#### 4.1.2.2. Control del proceso

##### 4.1.2.2.1. Instrumentación

A continuación se muestran los distintos elementos que intervienen en esta etapa y que se pueden ubicar en la figura 9.

#### Sensores (captadores)

- Nivel (nivel3 - nivel4 - nivel5): Fabricante: *PEPPERL+FUCHS*, Modelo: UB400-12GM-I-V1, Características principales: Proporciona la señal estandarizada, Tipo: Ultrasónicos, Tipo de salida: 4-20 mA.
- Foto celda (llama): Tipo de salida: 4-20 mA.
- Manómetro (sensor de presión): Tipo de salida: 4-20 mA.

Actuadores activados por relé:

- Electroválvulas (válvula1, grifo): Fabricante: M&M, Tipo: Todo abierto o todo cerrado (On/Off). Tipo de entrada: 220 V AC.
- Motobomba (moto): Tamaño: C 1800 RPM, Caudal: de 0.5 GPM, Material: bronce, Potencia: ½ HP, Tipo de entrada: 110 V AC

#### 4.1.2.2.2. Señales de control

Resumen de las variables utilizadas dentro de este procesos.

- Numero de variables de salida: 2 válvulas – 1 motobomba
- Numero de variables de entrada: 3 niveles – 1 manómetro – 1 fotocelda
- Total variables: salidas 3, entradas 5

Mirando la figura 9 se hace la siguiente clasificación de las señales de control:

ENTRADAS al PLC:

- Transmisores de nivel de tanque de la caldera (nivel3 – nivel4 – nivel5), intensidad (4-20 mA).
- Transmisor del Manómetro (sensor de presión), intensidad (4 – 20 mA)
- Fotocelda. intensidad (4 – 20 mA)

SALIDAS dependientes del PLC:

- Señal de control de la motobomba, voltaje mediante relé (0V Off / 12 V On).
- Señal de control de las electroválvulas, voltaje mediante relé (0 V Off / 12 V On).

#### 4.1.2.3. Programa

El programa de monitoreo de *Intouch* se divide en cuatro ciclos claramente diferenciados. Se empezara explicando en el orden como fue escrito el código del programa así.

El primer ciclo es corroborar que la caldera y el tanque de condensados están por encima de los niveles de agua permitidos. Se enciende la llama de la caldera e inicia el proceso de evaporación del agua. En el programa también se encuentra la simulación de cómo aumenta la temperatura de la caldera, como se accionan las válvulas, así como el desabastecimiento del cilindro de gas, el llenado y vaciado de la caldera y el cuarto de condensados, un histograma para revisar las curvas de estado de la caldera, y por ultimo una alerta de mensaje si se termino el gas en el cilindro. El segundo ciclo interactúa la caldera y el cuarto de condensados, si la caldera está por debajo del nivel permitido y el tanque de condensados por encima se activa la motobomba para surtir de liquido a la caldera y se hacen las respectivas validaciones como en todo los ciclos del programa. En el ciclo tres si el tanque de condensados está por debajo del nivel permitido y la caldera está por encima entonces se apaga la motobomba, se enciende la llama de la caldera, se abre la válvula de paso si la presión está por encima de lo permitido dentro de la caldera, esto para crear condensados y se llene de nuevo el tanque de condensados. En este ciclo también se realizan las validaciones pertinentes. Por último el cuarto ciclo verifica si los niveles de liquido dentro de la caldera como en el tanque de condensados están por debajo de lo permitido, esto hace que se active la motobomba, se abra la válvula de escape de gases en el tanque de condensados, esto genera una perdida que debe ser compensada mediante el aumento de liquido en el tanque de condensados para continuar con el ciclo global que es generar vapor de agua en la caldera pirotubular, luego, transportarlo al

calderin donde condensa el vapor de agua y volver al tanque de condensados y cerrar el ciclo del proceso.

El código del programa se encuentra en el ANEXO B, Código de los programas de Intouch.

#### **4.1.3. Proceso: sistema de refrigeración**

En este apartado se verán aspectos tales como la funcionalidad del proceso, instrumentación sugerida, las señales de control y se explicará el programa implementado en *Intouch*.

##### 4.1.3.1. Descripción funcional

Para el banco de hielo fueron instalados dos circuitos de cañerías, uno para la reposición del agua, y otro para la retroalimentación. El circuito cuenta con una motobomba circulante que activara la distribución respectivamente del agua para evitar que esta se congele.

El sistema de enfriamiento consiste en un evaporador que funciona para intercambiar el aire caliente a frío, un compresor, y las válvulas de expansión termostática. Se trata de un sistema basado en características termodinámicas de ciertos elementos, que se evaporan a bajas temperaturas, comprimiéndolo, condensándolo y evaporándolo sucesivamente, absorbiendo calor del interior del espacio refrigerante y trasladándolo al exterior donde se disipa.

#### 4.1.3.2. Monitoreo del proceso

##### 4.1.3.2.1. Instrumentación

A continuación se muestra los elementos que intervienen en este proceso y que se pueden ubicar en la figura 10.

##### Sensores (captadores)

- Sensor de temperatura TP100: Tipo de salida: 4-20 mA.
- Sensor de posición: Tipo de salida: 4-20 mA.

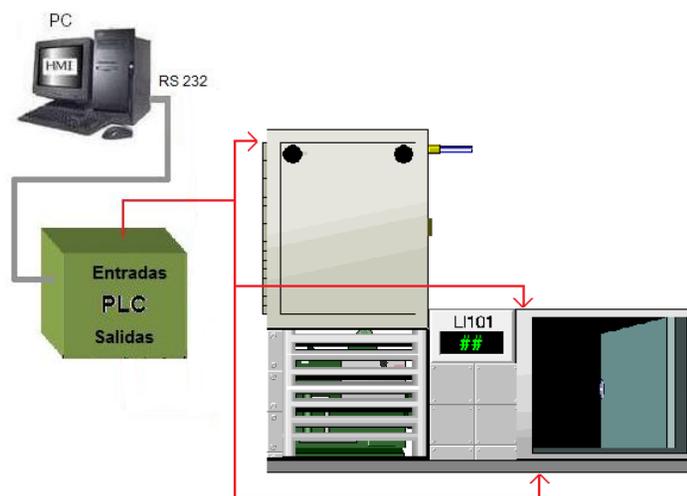


Figura 10. Esquema de monitoreo del sistema de refrigeración. Señales de control.

##### 4.1.3.2.2. Señales de control

##### Resumen de las variables en este proceso

- Numero de variables de entrada: 2 TP100 – 1 sensor de posición.
- Total variables: entradas 3.

Mirando la figura 10 se hará la siguiente clasificación de las señales de control:

#### ENTRADAS al PLC:

- Transmisores de temperatura del cuarto frío y del banco de hielo, voltaje (0 V- Off / 24 V On).
- Interruptor de posición de la puerta del cuarto frío, voltaje (0 V- Off / 24 V On).

#### 4.1.3.3. Programa

El programa de monitoreo de *Intouch* para esta sección se encuentra bien diferenciado, ya que por medio de este solamente se monitoreará las variables de temperatura del cuarto frío y los condensados, además si está abierta o cerrada la puerta del cuarto frío, por otro lado no se tiene salidas de bits al PLC. Como en el resto del proceso de monitoreo de toda la planta se tiene unos botones de inicio para cada sección de la planta. Por otro lado mediante las variables definidas se censara las temperaturas y se mostrarán en un par de *displays* en la HMI, ver figura 20. El código del programa se encuentra en el ANEXO B Código de los programas de Intouch.

#### 4.1.4. Proceso: sistema de transporte

El transporte de material es el último proceso de monitoreo de la planta piloto, y su único objetivo es el de transferir materia prima de un punto a otro. En este caso hay que recalcar que no se puede monitorear ninguna variable, ya que no hay la instrumentación apropiada para hacerlo y sería redundante para un sistema que no es tan complejo, es decir, monitorear dos motores que se activan, o el material que llegue a la tolva.

En este apartado se observa los aspectos más importantes, tal y como se ha realizado en las otras etapas, su funcionalidad, la instrumentación sugerida, las señales de control y por último se explicará el programa de *Intouch*.

#### 4.1.4.1. Descripción funcional

Como se ha dicho, el objetivo de este proceso será el de transportar material desde un punto a otro. Tal y como se observa en la figura 11, dicha materia prima se encuentra, inicialmente en un punto muerto, es decir desde el suelo, donde es colocada en la parte inferior del tornillo sin fin, lo que hace es subir el material por medio del tornillo 1,5 metros de distancia con un ángulo de 40 grados, para luego depositarlo en un transportador de cangilones que sube el material 1 metro y recolectarlo en bolsas o cubetas según el material, con esto para finalizar el ciclo.

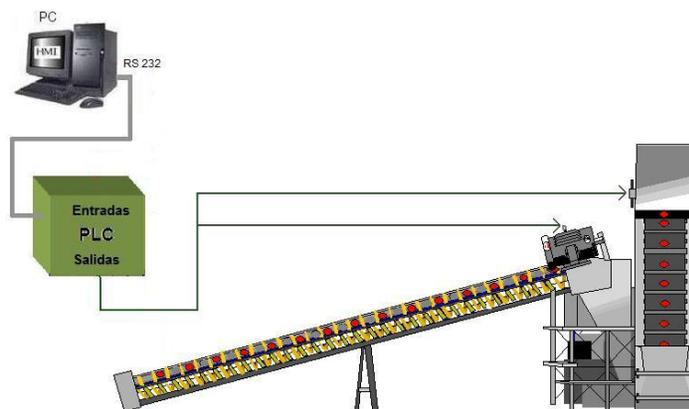


Fig. 11. Esquema de monitoreo del sistema de transporte. Señales de control

#### 4.1.4.2. Control del proceso

El control de este proceso consiste básicamente en accionar dos motores desde el puesto de mando, exactamente desde la *workstation*. Para ello, se verá la instrumentación que interviene las señales de control, y el programa de la *Intouch* que implementa la lógica secuencial correspondiente.

#### 4.1.4.2.1. Instrumentación

A continuación se describen los distintos elementos que intervienen en este proceso y que se pueden ubicar en la figura 11.

Actuadores activados por relé:

- Motores (motor1 y motor2): tipo de entrada 110 V – 120 V, 1 HP 1800 RPM.

#### 4.1.4.2.2. Señales de control

Mirando la figura 11 se procederá, como en los apartados anteriores, a realizar una clasificación de las señales de control que intervienen en esta etapa:

SALIDAS independientes:

- Señal de control de los motores, activados por relé, intensidad (4-20 mA).

#### 4.1.4.3. Programa

Este es un caso particular en el diseño del sistema de monitoreo, donde *Intouch* muestra las ventajas de programar en esta plataforma. La programación asociada a este proceso es bastante simple y no necesita de un código extenso como en los anteriores casos. El accionamiento de los motores es llevado a cabo mediante el envío del bit correspondiente a cada motor para ser activados. Esto se hace cuando se diseña cada ventana en el *WindowMaker*, en los botones de activación de los motores se hace doble clic, como se muestra en la figura 12. La ventana que aparece a continuación (*Discrete Switch Wizard*) indica las propiedades del botón, y en el *tagname* se coloca “motor2”, que corresponde al bit de información que se envía al PLC para activar el motor del elevador de cangilones. De igual manera se programa el motor 1, correspondiente al tornillo sin fin.

Las animaciones de las ventanas de la HMI son programadas casi de la misma manera. En el ANEXO C, Tutorial para el desarrollo de las simulaciones, se explica cómo se hizo el monitoreo del proceso de tratamiento de aguas industriales, es un claro ejemplo a seguir para poder completar esta parte de la simulación de los procesos.

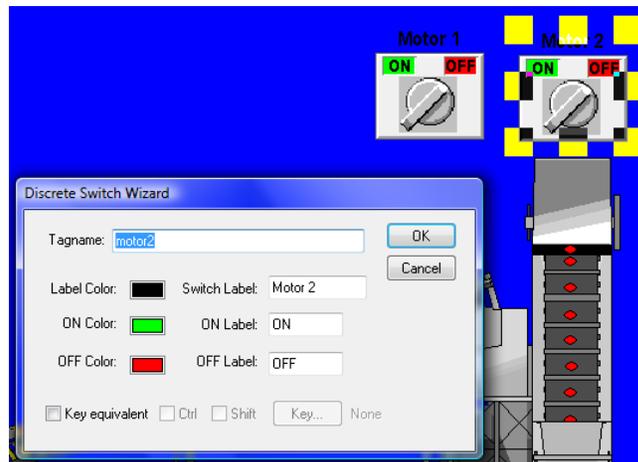


Fig. 12. Programación del sistema de transporte

## 4.2. Edición del HMI

### 4.2.1. Consideraciones de diseño

Partiendo del anterior apartado, se puede decir, que la aplicación del software en este proyecto, tendrá que ser capaz de visualizar las variables más relevantes de los procesos y de controlar ciertos aspectos sobre el funcionamiento de los actuadores en la planta.

La creación del interfaz gráfico parte del planteamiento del problema y sus necesidades, pero esto sería incompleto pues, como se trata de un "interfaz hombre-máquina", se deben observar, justamente, los requerimientos del

"hombre" también. Todo este análisis se fusiona en las consideraciones de diseño analizadas a continuación.

Las pantallas de *Intouch* deben permitir visualizar el proceso íntegramente, para que el operador se sienta atraído al HMI. La versatilidad estará asegurada por el uso de un entorno similar a *Windows* que permita ingresar a las pantallas a través de iconos.

Basados en el concepto de que el HMI debe crear una tecnología auto evidente, se diseñará el HMI lo más parecido posible a lo que será la transferencia de los procesos, desde su distribución de la planta piloto así como la representación de los sistema de emergencia y alarmas. Además, el entorno debe ser amigable con el operador.

#### **4.2.2. Desarrollo del HMI**

El HMI puede estar constituido de una o varias ventanas dependiendo de la necesidad del proceso y de la organización que se desee implementar para su presentación y manipulación. Todas las ventanas para su construcción usan las mismas herramientas y elementos de desarrollo. Es por ello que se describe un proceso general usado para la construcción de cada una de ellas. Ver ANEXO C, Tutorial para el desarrollo de las simulaciones.

#### **4.2.3. Procedimiento general usado para la construcción de las ventanas**

Para construir la aplicación se debe completar las siguientes tareas:

- Crear la aplicación en el Administrador de aplicación (*Application Manager*)  
En *WindowMaker* se crea la ventana en la cual se visualizara el proceso de

transferencia de órdenes. Se crean tantas ventanas como requiera el proceso.

- Crear las representaciones gráficas de las diferentes partes del proceso.
- Crear las etiquetas de texto.
- Crear los displays de salida de texto.
- Crear los botones pulsantes.
- Animar el proceso.
- Construir la base de datos (*Tags*).
- Correr la aplicación en *WindowViewer*

#### 4.2.4. Creación de la aplicación

Se inicia el programa *Intouch*, luego aparecerá el Administrador de Aplicación tal como se ve en la figura 12. En el ANEXO C Tutorial para el desarrollo de las simulaciones, se encuentra cómo se crearon las la aplicaciones diseñadas como apoyo a los estudiantes de Ingeniería Industrial para el manejo del software *Intouch*.

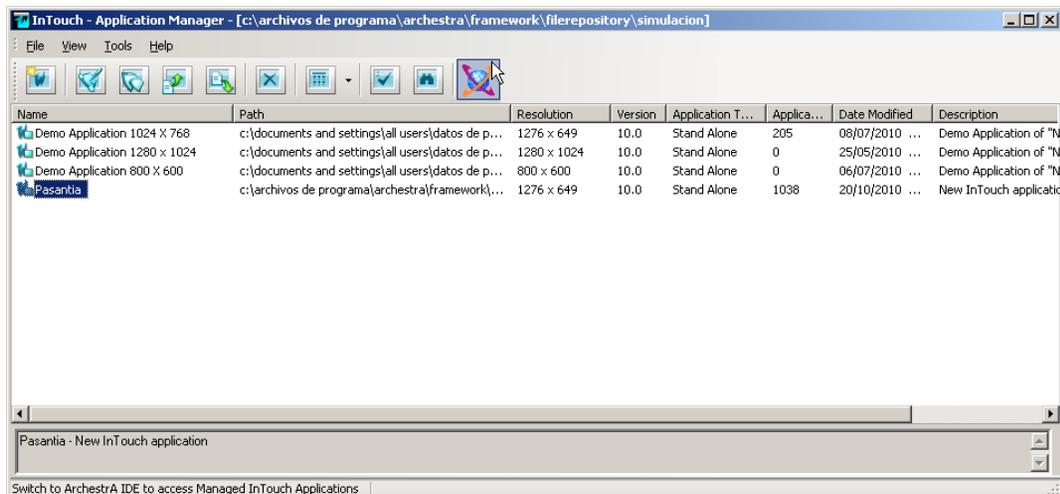


Fig. 13. Administrador de Aplicaciones

#### 4.2.5. Lógica de monitoreo

Para el monitoreo de la planta piloto del laboratorio de operaciones se han creado diferentes pantallas que dan una adecuada visión acerca del funcionamiento, estado e información de dichos procesos.

La figura 14 indica la secuencia de operación de la interfaz hombre-máquina (HMI) de los procesos involucrados en la planta piloto.

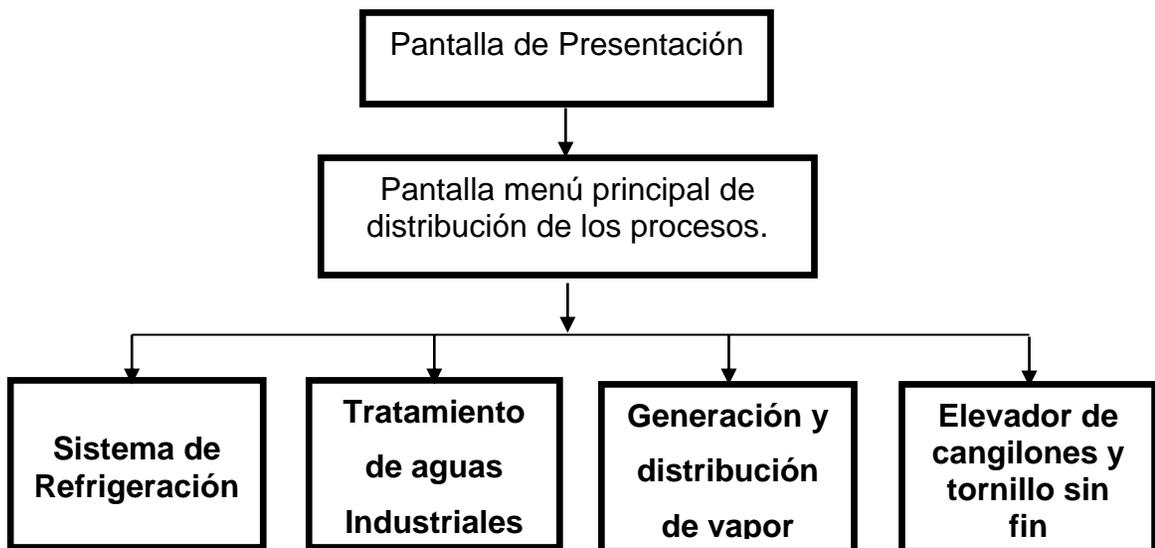


Fig. 14. Diagrama de Secuencia de Operación

#### 4.2.6. Comunicación del HMI con los usuarios

A continuación se muestra la descripción de cada una de las ventanas del interfaz hombre - máquina (HMI) para monitorear la transferencia de datos desde un ordenador.

#### 4.2.6.1. Presentación

La primera ventana en mostrarse es la de presentación, ver figura 15, aquí se indica la información acerca del proyecto de titulación. Además, en esta ventana está ubicado el botón continuar que al momento de ser presionado lo lleva a una segunda ventana que es el menú de procesos del laboratorio.

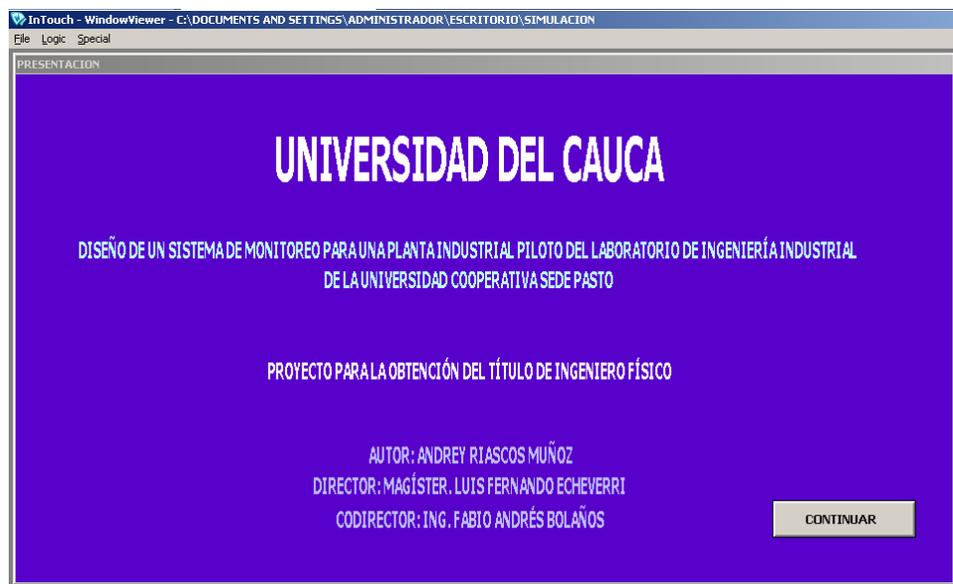


Fig. 15. Pantalla de presentación

#### 4.2.6.2. Pantalla general

La ventana de la figura 16 es la más importante, puesto que se visualiza en forma global toda la distribución de los procesos presentes en este trabajo.

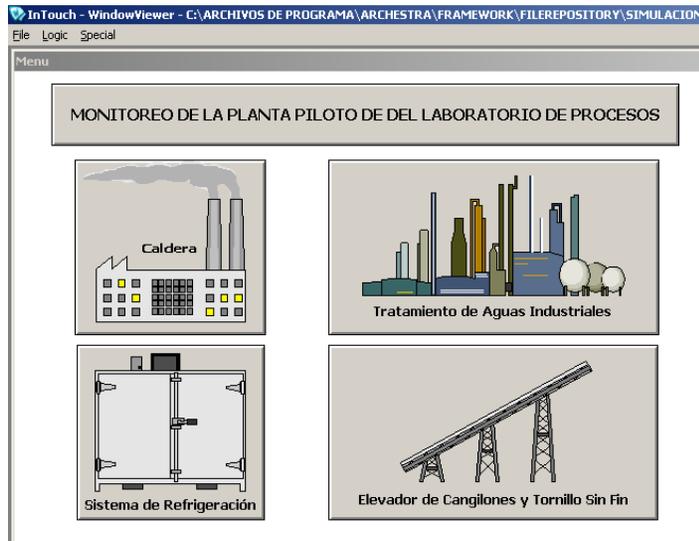


Fig. 16. Distribución de los Procesos de la Planta Piloto

Aquí se muestran las distintas etapas de Distribución de la Planta Piloto y cada sección es controlada independientemente una de la otra en diferentes ventanas como se observa a continuación.

#### 4.2.6.3. Procesos

Los procesos de la planta piloto se encuentran diseñados en *WindowMaker* de *InTouch* como se exponen en las siguientes ventanas. La figura 17 representa la simulación de control de la caldera instalada en el laboratorio de operaciones, muestra cómo se distribuye el vapor de agua de la caldera hacia el sistema de tuberías para luego finalizar su recorrido en el calderín, donde se condensan los vapores, donde nuevamente se convierte en agua líquida y vuelve a la caldera para cerrar el ciclo. Todo esto con sus respectivos dispositivos de monitoreo.

En la esquina inferior derecha se encuentra un botón que lo guía nuevamente al menú principal y un botón de encendido y apagado del sistema en la parte superior izquierda de la pantalla.

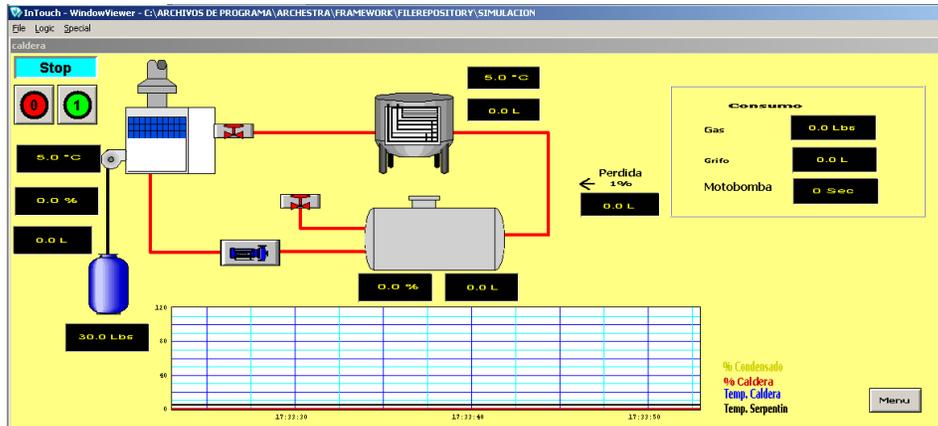


Fig. 17. Ventana de monitoreo de la caldera pirotubular

Además cuenta con una ventana emergente secundaria de alarma, esta aparece cuando el gas se termina y el programa de *InTouch* finaliza su ciclo hasta que se vuelva a cargar un nuevo tanque de gas, como se muestra en la figura 18.



Fig. 18. Ventana secundaria, NO HAY GAS!

En la siguiente Pantalla, figura 19, está el sistema de tratamiento de aguas industriales del laboratorio de operaciones, al igual que la anterior ventana cuenta con sus respectivos botones de inicio y menú principal.

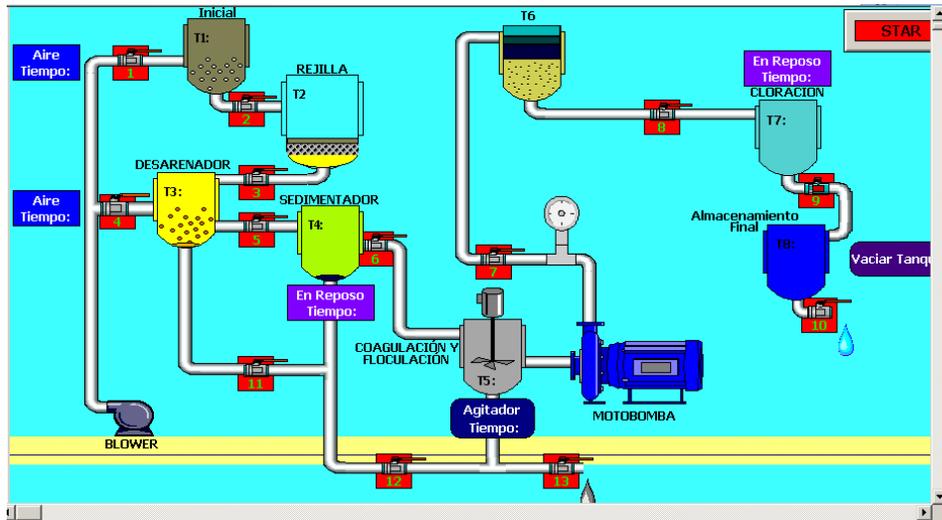


Fig. 19. Ventana de monitoreo del tratamiento de aguas industriales

En figura 20, se encuentra el monitoreo del cuarto frío del laboratorio de operaciones. En esta ventana se muestra la distribución del cuarto frío, donde se censa la temperatura del banco de hielo y del cuarto frío. También cuenta con sus respectivos botones de inicio y menú principal.

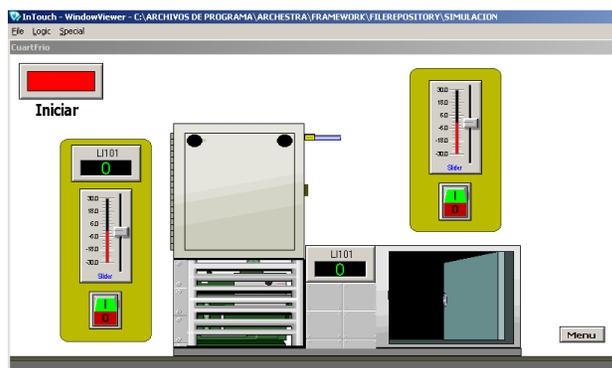


Fig. 20. Ventana de monitoreo del cuarto frío

La figura 21 se encuentra el monitoreo del elevador de cangilones y tornillo sin fin. En este caso se acciona los motores correspondientes por relé para el elevador de cangilones y el tornillo sin fin por medio de los botones que se observan en la

ventana de control. También cuenta con sus respectivos botones de inicio y menú principal.



Fig. 21. Ventana de monitoreo del elevador de cangilones y tornillo sin fin

## CONCLUSIONES

Las conclusiones de este trabajo grado de modalidad pasantía se describen de tal forma como los objetivos expuestos se han llevado a cabo.

El sistema SCADA realizado, es una forma de simular procesos sin correr riesgos de averías. Además, desde un enfoque complementario a los métodos de aprendizaje a demostrando que, a partir del software *Intouch* se puede generar material didáctico adaptado a las necesidades de la educación superior.

Este sistema se emplea como ayuda a la formación del Ingeniero Industrial, quienes tienen la posibilidad de continuar ampliando su conocimiento y las prestaciones de esta herramienta.

Se motivo la participación, el trabajo en grupo, la creatividad y que al mismo tiempo la generación de material educativo. Lo cual permite que los estudiantes que programan la aplicación, discutan y elijan los caminos, ejemplos e imágenes, a partir de los conocimientos teóricos adquiridos en sus cursos de Ingeniería Industrial.

Se reconoció y realizó un inventario de la planta piloto, tomando de ella las variables físicas más significativas de los procesos para el desarrollo de sistema de monitoreo.

Se identifico y realizo la interfaz del PLC Jazz™ Micro-OPLC™ de la serie JZ10-11-R16 del fabricante *Unitronics* para la adquisición de datos, logrando controlar actuadores como motores y válvulas de los procesos de la planta piloto.

Para el diseño del sistema de monitoreo de la planta piloto, fue preciso comprender y manejar el software *Intouch* e implementar un sistema SCADA para la supervisión de los procesos, es decir, definir la comunicación hombre-máquina en una interfaz interactiva, totalmente gráfica y que permitiera realizar el monitoreo de los equipos en tiempo real y en forma dinámica.

Los conceptos adquiridos mediante la documentación consultada, el proyecto mismo y la guía acertada de los tutores, permitió comprender gran parte de la instrumentación, los controladores locales, los procesos industriales (continuos y *batch*) y la comunicación industrial, descubriendo la faceta real de la informática industrial o, cuando menos realizar una buena aproximación a ésta.

## TRABAJO A FUTURO

El diseño de un sistema de monitoreo para la planta piloto universitaria, representa el referente del empleo de herramientas informáticas en su aplicación a la Industria, a partir del cual se posibilitan proponer trabajos futuros:

Implementar el diseño del sistema ESCADA en el laboratorio de operaciones para controlar cada proceso, lo que requiere cambiar las variables de *Memory* a las variables de I/O de *Intouch*, adquirir sensores y actuadores propuestos en esta memoria, y supervisar desde la aplicación *Intouch*.

Exportar la aplicación de monitoreo a un servidor *Web*, para visualizar el comportamiento de la planta en tiempo real desde cualquier lugar con acceso a internet. *Wonderware* ofrece una aplicación para la implementación de este sistema de supervisión llamada *Factory Suite Web Sever*.

Ampliar el sistema de monitoreo de la planta piloto del laboratorio para el todos los procesos, como el de recolección y empaquetamiento de papa, uno de los procesos más grandes de la planta física del laboratorio.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Guillermo B. Luna Guerrero, 2006. Guillermo B. Luna Guerrero, Proyecto– Implementación Del Software WONDERWARE Como Estrategia Pedagógica Para La Simulación De Procesos Industriales. Universidad Cooperativa sede Pasto, 2006.
- [2] Els autors, 2005; © Edicions UPC, 2005
- [3] Instrumentación Industrial, Antonio Creus, 5ª edición, Cap. 2, Alfaomega Marcombo. ISBN 970-15-0001-6.
- [4] Henry Mendiburu Diaz, <http://hamd.galeon.com>
- [5] López Guancha Viviana Emperatriz. Construcción de un sistema de tratamiento de aguas industriales para la simulación de procesos industriales. Pasto Nariño, 2008. Trabajo de Grado (Ingeniería Industrial). Universidad Cooperativa de Colombia. Facultad de Ingeniería.
- [6] Vallejo Santacruz, Sandra Magally. Construcción y montaje módulo de generación y distribución de vapor para la simulación de procesos industriales. San Juan de Pasto, 2008. Trabajo de Grado (Ingeniería Industrial). Universidad Cooperativa De Colombia, Facultad de Ingeniería.
- [7] Yaguapaz Pantoja, Claudia Marcela. Construcción módulo de sistemas de refrigeración para la simulación de procesos industriales. San Juan de Pasto,

2008. Trabajo de Grado (Ingeniería Industrial). Universidad Cooperativa De Colombia, Facultad de Ingeniería.

[8] Belalcazar Muñoz, Rigo Arvey. Construcción de un elevador de cangilones y un tornillo sin fin para la simulación de procesos industriales. San Juan de Pasto, 2008. Trabajo de Grado (Ingeniería Industrial). Universidad Cooperativa De Colombia, Facultad de Ingeniería.

[9] Wonderware. Books. Intouch Concepts and Capabilities Guide.

[10] Wonderware. Books. Intouch® HMI Visualization Guide.

[11] Jazz™ OPLC™ User Guide. <http://www.unitronics.com/jazz.htm>. 6/2006.

[12] User guide Jazz™ Micro-OPLC™ Operator Panel and Programmable Logic Controller

[13] U90 Ladder Tutorial.

# ANEXOS

## ANEXO A

### DATOS TÉCNICOS DEL PLC

#### Características mecánicas

- Caja de plástico rígida y compacta.
- Elementos de conexión y control de fácil acceso.
- Ensamblaje estándar horizontal o vertical.
- Bloque terminal ensamblado y conectado como permanente.

#### Datos técnicos

##### En el PLC:

- Entradas digitales y analógicas.
- Entradas de alta velocidad.
- Salidas por relé o transistor.
- Software en *Windows* por diagrama de contactos o Ladder en el PLC, diseño de displays y variables en el Panel Operador.
- Memoria código Ladder: 24 k.
- Envío de SMS mediante el KIT GSM.
- Utilidades de acceso remoto, MODBUS.
- Aplicaciones basadas en reloj en tiempo real terminadas en tres pasos.

##### Panel Operador

- Dos líneas de 16 caracteres.
- Multilenguaje – el display del Jazz™ soporta sobre 15 idiomas distintos.
- Mensajes condicionales por display.
- Muestra hora, fecha, estados de entradas-salidas-bits internos y valores enteros de los operandos. Hasta 64 variables HMI.

- Pantalla LCD iluminada.
- Teclado de 16 teclas configurables.

### Aplicaciones

- Automatización en la industria, contadores, manipulación, líneas de producción, etc.
- Para sustituir costosos de controladores de procesos.
- Instalaciones de regadíos, bombeos e indicadores de caudal o consumo.
- Automatización de edificios, aire acondicionado, alumbrado, control de apertura de puertas, sistema de alarma.
- Telecontrol y gestión de instalaciones vía GSM, alarmas y comandos por SMS.

### Características

- Los displays pueden ser mostrados mediante cuatro teclas de desplazamiento para visualizar recetas, menús, medidas, consignas, etc.
- El teclado es personalizable, mediante etiquetas deslizables.
- Funciones avanzadas de control basadas en hora y fecha.
- Comunicaciones serie, mediante opción, para establecer comunicaciones MODBUS o acceder desde un PC por medio de servidores OPC/DDE o DataXport. [10]

Tabla No 2. Descripción del PLC

Entradas digitales y analógicas	6 entradas digitales 4 entradas digitales/analógicas 2 entradas analógicas Analógicas dos de 10 bits 0-10V Analógicas dos entradas 10 bit 0-20mA, 4-20mA
---------------------------------	---

Salidas	6 salidas por relé
Memoria Ladder	24 k
bits de memoria (coils)	256 MB
memoria entera (registros)	256 MB
Lenguaje de programación	U90 Ladder
Tiempo de respuesta	20 s
Tiempo de ejecución	46 $\mu$ s por operación
Contadores	Dos entradas pueden funcionar como contadores de alta velocidad (5 kHz, resolución de 16 bit)
Temporizadores	64
Alimentación	24 Vcc
Consumo máximo	136 mA

[11]

### **Programación del PLC JAZZTM MICRO-OPLCTM JZ10-11-R16**

La programación del PLC se ejecutara mediante un computador personal, para posteriormente cargarlo mediante el cable de comunicación.

### **Introducción al software y uso de pantallas**

A continuación se detalla cómo trabajar con el software U90 Ladder. Inmediatamente al entrar a U90 Ladder, se verá la pantalla de la figura 22, aparecerá una ventana en que se indicará el tipo de PLC con el cual se va a trabajar.

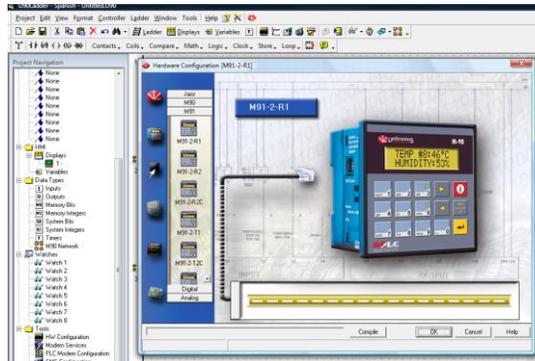


Fig. 22. Ingreso al Software U90 Ladder

Una vez que se ha escogido el tipo de PLC hacer clic en **OK** y se mostrara la siguiente figura.

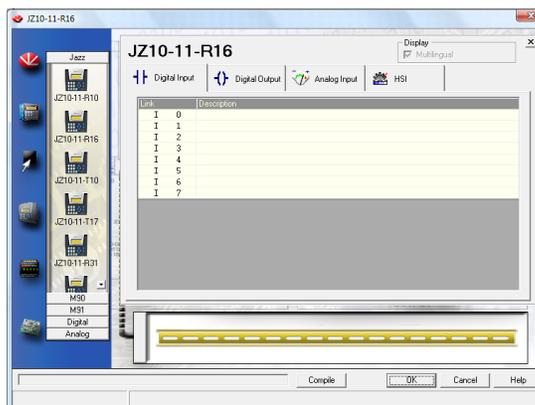


Fig. 23. Entradas y Salidas del PLC.

Al seleccionar un modelo determinado, aparece a la derecha varias pestañas indicando las entradas, salidas, analogía, etc. de cada equipo, donde se puede escribir la descripción o símbolo.

Por lo tanto si, se está en el editor "Ladder" o el editor "HMI", siempre se observa el navegador del Proyecto el cual permite visualizar cualquier elemento que intervenga en el programa: Código Ladder, Displays HMI creados, variables asociadas a los displays, Tipos de datos, etc.

## Ladder

En el editor “Ladder” se realiza la aplicación, para ello se tiene a disposición herramientas de programación tales como: Contactos abiertos, contactos cerrados, bobinas de salida, condiciones de comparación, movimiento de datos, funciones de reloj, etc.

## Descargar Programa

Una vez se tiene el programa finalizado, tanto el código definido en Ladder como los displays en el editor HMI, es momento de descargar la aplicación al PLC. Para hacerlo, se pulsa el icono Descargar como indica la figura 25. Y una vez se tiene el programa descargado en el PLC, se puede visualizar el funcionamiento “On-line” de la aplicación pulsando el Icono de las “Gafas”, ver figura 25



Fig. 24. Descargar el programa y visualizarlo en PLC

La línea roja, siempre mostrará el flujo de la corriente por el programa y en qué casos puede pasar y en qué casos no. De esta manera se puede ver qué condiciones se cumplen y cuáles no, además resulta fácil poder localizar los errores de el programa, ver figura 26.

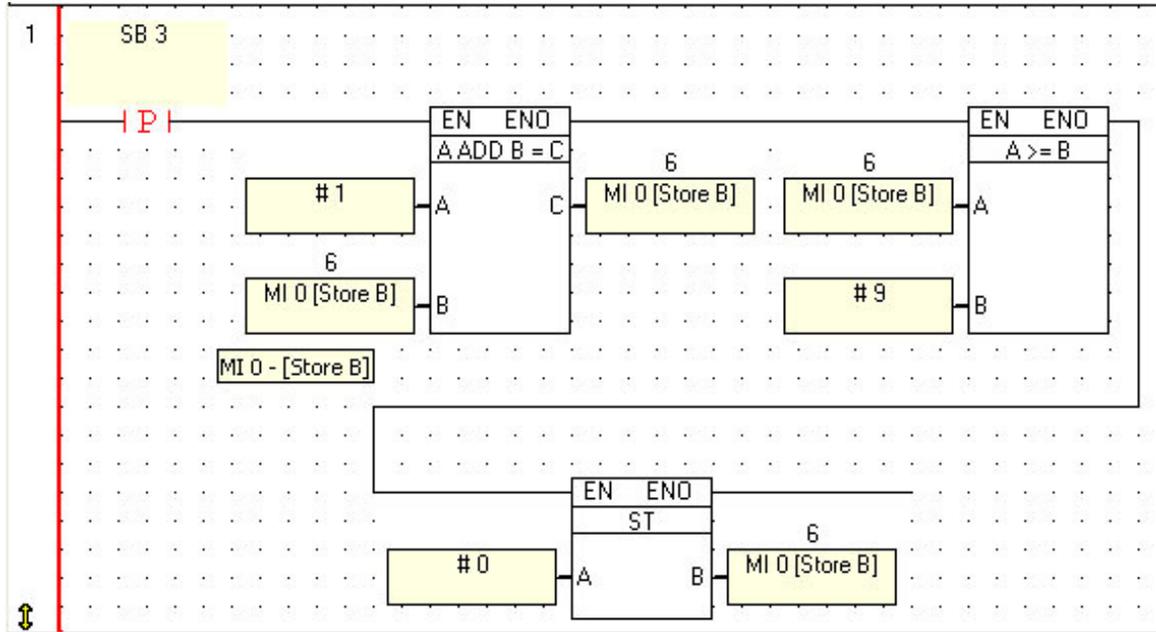


Fig. 25. Diagrama Ladder.

## ANEXO B

### CÓDIGO DE LOS PROGRAMAS DE INTOUCH

#### Programa del sistema tratamiento de aguas industriales

Las funciones de un ciclo de ejecución que desempeña este programa son; la carga y descarga de los tanques, el abrir y cerrar cada una de las válvulas, las alarmas respectivas de alguna de las etapas de este proceso. Es decir, cada paso en el programa equivale a tener los requerimientos del funcionamiento ya antes visto del proceso de tratamiento de aguas industriales.

```
{***** Tratamiento de aguas *****}

IF StarH2O == 1 THEN

{***** PASO 1 *****}
  IF tanque1 < 20 AND tanque2 == 0 THEN
    tanque1 = tanque1 + 1;
    cont1 = tanque1;
    IF tanque1 > 10 THEN
      cont6 = cont6 + 1;
      aire1 = 1;
      blower = 1;
      valv1 = 1;
    ENDIF;
  ENDIF;

{***** PASO 2 *****}
  IF cont1 == 20 AND tanque2 < 20 THEN
    valv2 = 1;
    tanque1 = tanque1 - 1;
    tanque2 = tanque2 + 1;
    cont3 = tanque2;
    cont6 = cont6 + 1;
    IF tanque1 < 6 THEN
      blower = 0;
      valv1 = 0;
      aire1 = 0;
    ENDIF;
  ELSE
    valv2 = 0;
  ENDIF;
```

## ANEXO C

### CÓDIGO DE LOS PROGRAMAS DE INTOUCH

Este Anexo está dirigido a todas las personas interesadas en desarrollar aplicaciones industriales en la plataforma de *Wonderware* y en especial a los estudiantes y profesores del programa de Ingeniería Industrial de la Universidad Cooperativa de Colombia – Pasto para el desarrollo pedagógico en simulación y diseño de plantas o procesos industriales. Esto con el fin de realizar simulaciones de procesos industriales que no existan dentro del laboratorio de operaciones del plantel educativo, sin olvidarse que *Intouch* es el programa con el cual se crea la HIM para el monitoreo, administración y control de plantas industriales en tiempo real.

Este Anexo es un tutorial donde se encuentra detalles de cómo; realizar una nueva aplicación, crear ventanas, buscar *wizard* (librería de objetos ya existentes en *Intouch*), realizar las animaciones de los procesos, crear variables de la aplicación.

En este Tutorial se toma como ejemplo a desarrollar el procesos de tratamiento de aguas industriales, y cabe recordar que en el capítulo 3 se encuentra desglosado en cuatro partes el programa para que complemente el funcionamiento del sistema de monitoreo y animación de los cuatro procesos de este proyecto.

#### **Creación de la aplicación:**

Abrir *Intouch*; inicio/*Wonderware/Intouch*, en este momento está ubicado en el *Application Manager*, luego clic en *File/New*. Se abre una ventana donde pregunta donde se quiere guardar la aplicación de *Intouch*, se deja por defecto y clic

continuar. Otra ventana se abrirá, en esta ventana se creara el nombre de la carpeta contenedora del nuevo proyecto, en este caso la llamo “simulación”, continuar. Otra ventana se abre para nombrar la aplicación como tal, por ejemplo: “pasantía”, clic continuar. Mirar figura 13 capitulo 4. Terminado esto automáticamente se regresa a *Application Manager*, doble clic en la aplicación que se ha creado y se abrirá *WindowMaker* donde se trabajará en la simulación.

### Creación de ventanas:

Clic en *File/New Window*, seguidamente aparece una ventana; *Window Properties*, se llena los espacios como se indica en la siguiente figura.

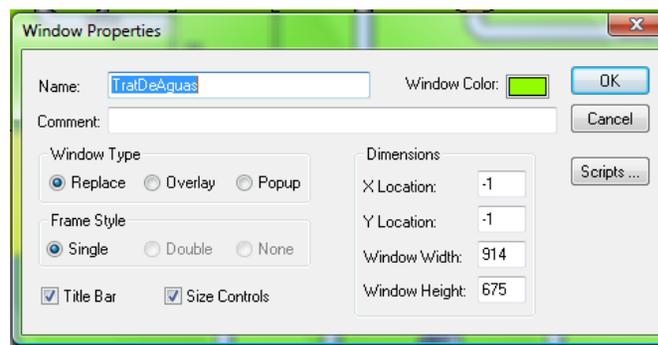


Fig. 26. Propiedades de la ventana

**Nota:** para tener más información sobre propiedades de las ventanas y otros ítems, si se tiene instalado *Wonderware*, entonces diríjase a los manuales que se encuentra en *Inicio/Wonderware/Books*

En esta ventana se crea la interfaz (HMI) para el sistema de tratamiento de aguas industriales, para terminar clic en *OK*.

Creada la ventana donde trabajará la aplicación, luego entonces ya se podrá agregar todos los botones, texto, *wizards* para etiquetarlos o colocar sus

correspondientes *tags*, esto se hace para realizar las correspondientes animaciones de los objetos.

### Creación de objetos:

Clic en *wizards*. En la barra de herramientas se encuentra un botón con forma de sombrero de mago , a continuación se verá una ventana donde se encuentra toda clase de elementos y objetos que ayudaran a crear la simulación de los procesos. En ella se selecciona *Symbol Factory* que se encuentra en el lado izquierdo, luego a la derecha aparece otra vez *Symbol Factory* y se selecciona, clic en *Add to toolbar*, se agrega este icono a la barra de herramientas para mayor facilidad de búsqueda. En este botón se encuentra un sin número de objetos como aire acondicionado, botones, calderas, tolvas, símbolos de ISA, controles, contenedores, ductos, entre otros.

Si se mira la figura, *Symbol Factory* se encuentra encerrado en un círculo rojo. Observar también algunos elementos que se pueden encontrar dentro de este.

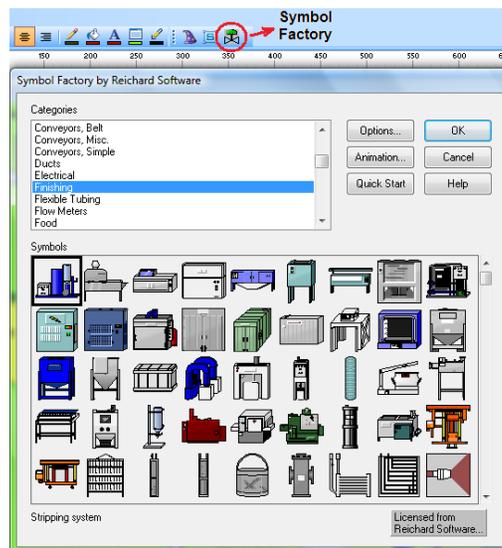


Fig. 27. Ventana Fábrica de Símbolos

En la barra de herramientas clic en *Symbol Factory*, llevar el cursor a la ventana de trabajo y nuevamente clic, se abrirá la ventana de *Symbol Factory*, en *Categories* buscar *ISA Symbols*, en el lado derecho buscar un icono que se llama *jacketed kettle*, que tiene la forma de recipiente, servirá como objeto de contenedor de agua, sacar 8 recipientes que ayudarán a simular el llenado y vaciado de los tanques del proceso. Se ubican de tal forma de que representen el proceso de tratamiento de aguas industriales.

De igual forma se busca los símbolos que se encuentran en el proceso, como: aireador, motobomba, tubos, válvulas, agitador, manómetro. En la tabla siguiente están especificados los objetos y donde buscarlos.

	Categoría	Nombre	Número de veces utilizado
Aireador ( <i>blower</i> )	Pumps	Classic pump 1	1
Motobomba	Pumps	Chemical pump 2	1
Tuberías	Misc. Pipes	Short horizontal gas pipe,	Las necesarias
Tuberías	Misc. Pipes	Short vertical gas pipe,	Las necesarias
Tuberías	Misc. Pipes	Gas pipe 90° curve1, 2, 3, 4	Las necesarias
Gota de agua	Nature	Water drop	1
Gota de Barro	Nature	Oil drop	1
Válvula	Valves	Ball valve1	13
Agitador	Mixers	Simple mixer	1
Manómetro	Sensor	Pressure gauge	1

Ahora, para colocar el botón **Menú**, el cual lleva a la pantalla principal de los procesos, dirigirse al lado derecho donde se encuentra el botón: button .

Clic sobre él. Llevar el cursor así a la ventana de trabajo, clic en él, y sin soltarlo arrastrar el cursor hasta darle forma de rectángulo, y se tiene el botón de menú. En este momento el botón dice text: . De igual forma se crea el botón de **Star** para darle inicio a la simulación del proceso.

Ahora se cambia el nombre de **Text** del botón de la siguiente manera.

Ya creado el botón en la ventana, clic derecho en él, aparecerá un submenú, clic en Substitute/Substitute Strings. En New String colocar el nombre del botón deseado, en este caso se colocará **Menú**, y de igual forma para el botón **Star**.

También debe colocarse etiquetas a los objetos para identificarlos, esto se hace

con el botón Text que se encuentra en el lado derecho: 

Terminado este proceso deberá tener una ventana de trabajo (WindowMaker), como la figura siguiente.

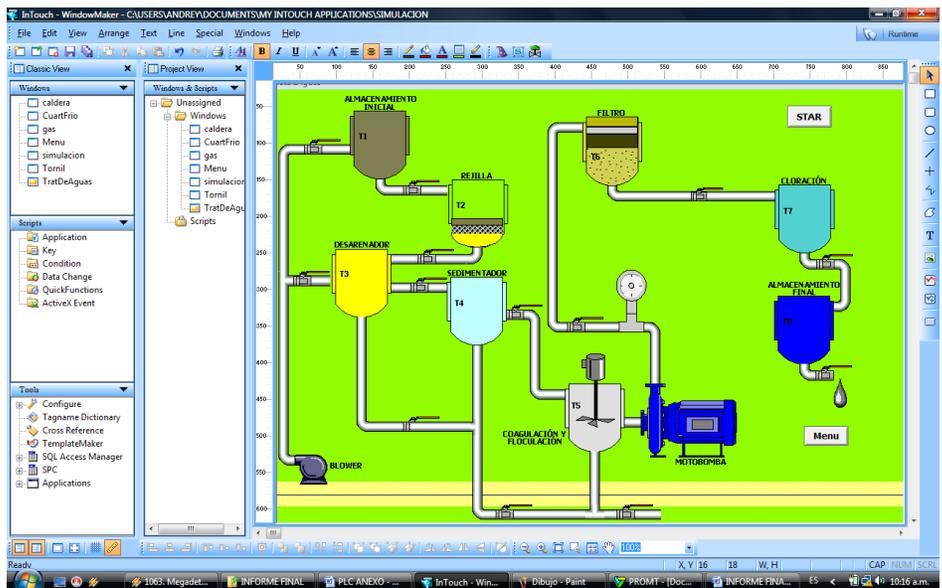


Fig. 28. Procesos de tratamiento de aguas industriales.

### **Animación e hipervínculo de los objetos.**

Antes de empezar a realizar las animaciones, lo primero que se debe hacer es copiar el código del tratamiento de aguas Industriales en el *Scripts/Application*. Este se encuentra en el ANEXO D, Descripción de las variables de Intouch. Programa del sistema tratamiento de aguas industriales, aquí se encuentra la mecánica para la simulación del proceso que se ha tomado como ejemplo. Cuando se termine de copiar todo el código clic en *OK*, saldrá un cuadro como la figura siguiente preguntando si desea crear la variable nueva o *tagname*, aceptar.

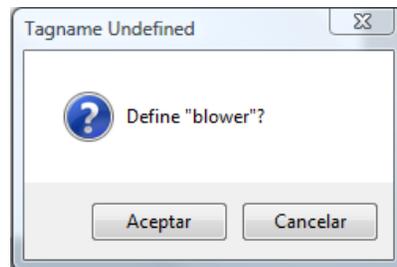


Fig. 29. *Tagname* indefinido

Tomar como ejemplo el aireador, que se utilizara más adelante. El resto de *tagname* se crearan de la misma manera. En el ANEXO D, Descripción de las variables de Intouch, se encuentran las especificaciones de las variables utilizadas para el proyecto.

La siguiente figura muestra que propiedades desea que tenga las variables. El cuadro que aparece tiene como nombre el diccionario de *tagname*, aquí se encuentran todas las variables creadas de las aplicaciones

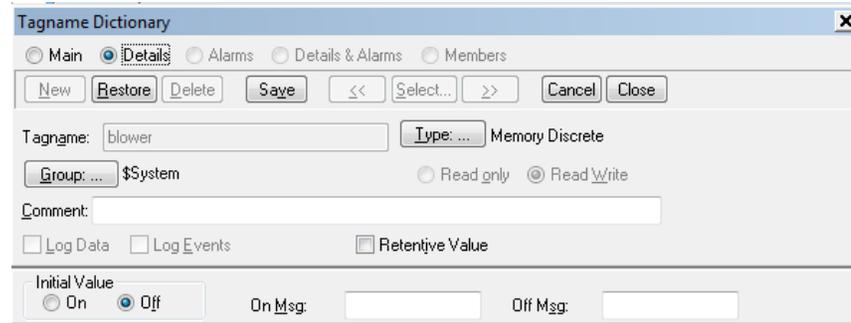


Fig. 30. Diccionario de los *tagname*

En el caso de la variable “*blower*” se clasifica como tipo de memoria discreta, servirá para encender y apagar el aireador del proceso. Haciendo clic en Type seleccionar *Memory Discrete* y clic en OK. Por último seleccionar en *Initial Value*: Off. Significa que siempre que inicie la simulación de la aplicación, esta variable se encontrará en 0 o apagada, y clic en *Close*, se guardaran automáticamente esta variable. Aunque este proceso no se ha terminado, debido a que aun se tiene variables indefinidas en el *Scripts/Application*, entonces seguirá preguntando si se desea definir las que faltan, la ayuda es el ANEXO D, Descripción de las variables de Intouch.

Ahora bien, cada vez que se introduzca una variable nueva ocurrirá el mismo procedimiento, ya sea en el *Scripts/Application*, creando objetos con vínculos de memoria, objetos de texto, es decir con todo aquello que necesite ser animado y se necesite crear una variable.

En este apartado lo que se hará es realizar el procedimiento para crear un efecto visual y utilizar las variables creadas en el *Scripts/Application* para dar animación a un objeto del *Wizard*. Como ejemplo; dar el efecto de llenado y vaciado del tanque 1.

## Animación de los tanques

Al hacer doble clic en el objeto Tanque 1 aparece la ventana de *Symbol Factory* y clic en *Animation/Vertical Fill*. A continuación se observa una ventana con las propiedades que se desea que se cumplan para el efecto de llenado. Se escribe en los espacios tal y como aparece en la siguiente figura.

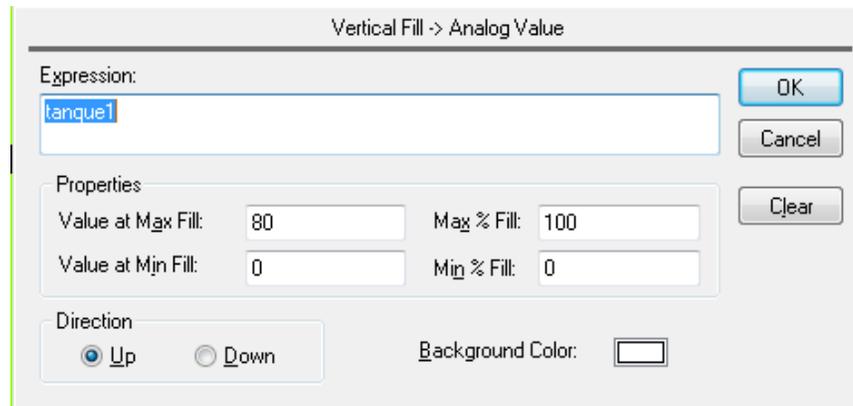


Fig. 31. Propiedades de animación de llenado

*Expression*: campo donde se coloca la variable o *tagname* de tipo número entero de memoria (*Memory Integer*).

*Value at max fill*: este valor corresponde al valor límite de llenado.

*Max % fill*: porcentaje de la imagen que quiere que se cambie de estado, es decir el efecto de llenado del objeto.

*Background color*: aquí se tiene la opción de cambiar el color que se prefiere para el llenado del objeto.

Después de realizar este paso clic en *OK/Done/OK*, estará lista la animación de llenado del tanque 1, de igual manera se realiza la animación de los tanques que falten, teniendo en cuenta que algunos tanques no quedaran llenos en su totalidad, para esto se deberá ver el funcionamiento del proceso para realizar la animación de llenado de los tanques restantes.

### Animación del *blower*

Dando doble clic sobre el *blower* se mira la ventana de *Symbol Factory*, luego clic en *Animation/Visibility*, muestra el siguiente cuadro. En este cuadro se pueden cambiar las características de visibilidad del objeto, es decir que aparezca o desaparezca. Se llena los espacios tal y como se indica en la figura.

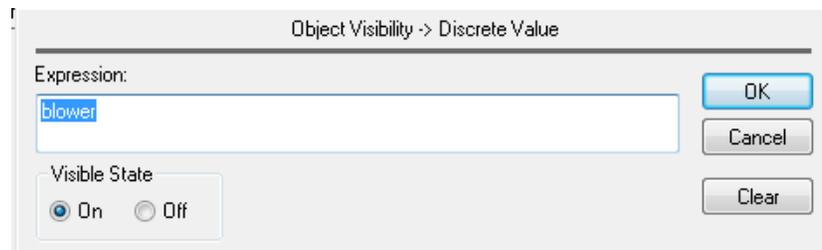


Fig. 32. Configuración de visibilidad del objeto

Clic OK, ahora clic en *Blink*, el cuadro que se muestra es el siguiente. En este cuadro se podrá cambiar las características de parpadeo del objeto, se llena tal y como se muestra en la siguiente figura.

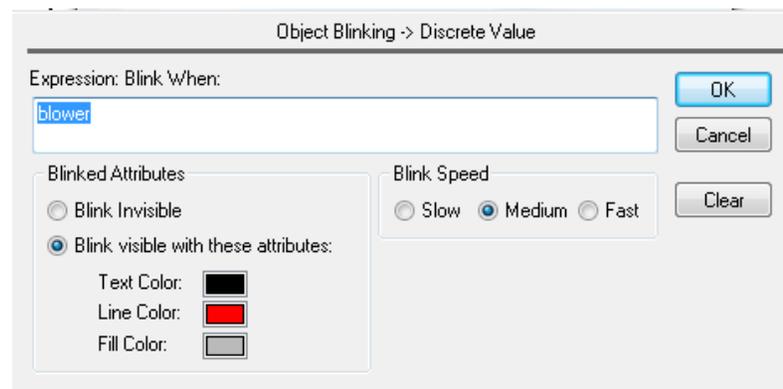


Fig. 33. Configuración de parpadeo del objeto

Se selecciona *OK/Done/OK*. Ahora se tiene la animación del aireador de los tanques.

### **Animación de la motobomba**

En esta instancia se aborda el caso de la repetición del tutorial para los procesos anteriores. Lo que se hace a continuación es colocar los *tagname* correspondientes a cada objeto que se desee darle animación.

En el objeto motobomba doble clic, saldrá el cuadro de *Symbol Factory*, luego clic en *Animation*, saldrá el cuadro de opciones de animación de ese objeto; *Animation Links*. En este cuadro se podrá realizar los efectos que se quiera darle al objeto. Tales animaciones pueden ser como; color de línea, llenado de color, si es el caso de utilizar el objeto como botón de presión o *switch*, misceláneos (parpadeo y visibilidad), porcentaje de llenado, y el poder de seleccionar una tecla de acción para el objeto. Estas son las diferentes opciones que se deja a disposición del lector para que ejecute la animación. Para más información en *Inicio/Wonderware/Books*.

Lo único que cambia en cada objeto es la variable que va a realizar el cambio de estado o la animación del objeto, es decir, cuando se escoge una de las opciones de *Animation Links*, saldrá otro cuadro en donde pide llenar "*Expression*", en el caso de la motobomba la variable o *tagname* que le corresponde es "motobomba".

### **Animación de la tubería**

En el proyecto de la simulación de la planta piloto, no se hizo animación de la tubería, ya que estos objetos de forma de tubería son utilizados más que todo para darle a la interfaz (HMI) la visión de trabajar en un ambiente virtual lo más cercano a la realidad del tratamiento de aguas industriales que se encuentra en el laboratorio de operaciones. Pero, que se le deja al lector de este tutorial la inquietud de darle animación. Claro está que, se tendrá que realizar las modificaciones en el código del programa y crear unas cuantas variables más para poder realizar la animación.

En el cuadro siguiente se especifican los objetos faltantes para realizar las animaciones correspondientes.

Siguiendo los pasos anteriores, recordando cuales son:

- Dobles clic en el objeto.
- Clic en *link* de *Animation*.
- Después de llenar los datos de la siguiente tabla para cada objeto, se debe dar clic en *OK/Done/OK*

<b>Objeto</b>	<b>Animation Links</b>	<b>Expression (Tagname)</b>
Gota de agua	Visibility	valv10
	Blink	
Gota de Barro	Visibility	valv13
	Blink	valv13
Válvula(1,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,)	Fill Color	valv(1,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,)
Agitador	Visibility	VentAgit
	Blink	
Tanque(1,2,3,4,5,6,7,8)	Percent Fill (vertical)	Tanque(1,2,3,4,5,6,7,8)

**Nota:** como existen trece válvulas los paréntesis indican que se debe realizar la operación a cada una para darle el efecto de abrir y cerrar las válvulas y en *Expression* deberá ir desde valv1 hasta valv13. De igual forma los tanques que son ocho para crear el efecto de llenado y vaciado.

Ya solo faltan los botones de **Menu** y **Star** para completar la animación.

Haciendo doble clic en el botón de Menú, se tiene una nueva ventana de opciones de animación e hipervínculo. Clic en el botón de Action de Touch Pushbuttons. En el espacio en blanco del cuadro se escribe “ShowAt( "Menu", 50, 50 );” esta es una función propia de *Intouch* (sin las comillas) para saltar entre ventanas, aunque en este caso se ha puesto de ejemplo por la razón de que en este tutorial solo se ha creado una sola ventana de trabajo.

*ShowAt* lo lleva a otras ventanas que estén creadas dentro de la aplicación. Como se puede observar en la función de *Intouch*, Menu está entre comillas, que es el nombre de otra ventana creada en el *WindowMaker*. Esta ventana es donde se encuentra el acceso a los cuatro procesos diseñados en la aplicación, ver figura 25 capítulo 3.

Para iniciar el proceso en la simulación se deberá configurar el botón *Star*. Este botón iniciara la secuencia del proceso de tratamiento de aguas cuando se esté corriendo la aplicación. Entonces, doble clic en el botón Star, en el cuadro que se abre, clic en Discrete Value, y se llena los ítems como se muestra en la figura siguiente.

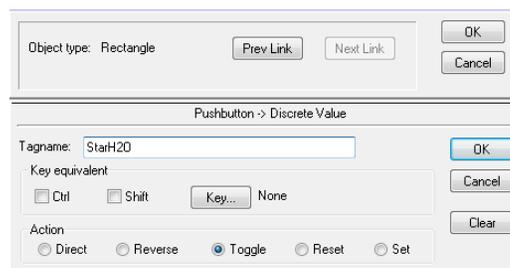


Fig. 34. Configuración del botón Sart

Ya realizado los pasos anteriores, se tendrá completa la ventana de la aplicación. Por lo tanto el siguiente paso y último es correr la aplicación desde el botón de *Runtime*  que se encuentra en la parte superior derecha de la pantalla de *WindowMaker*.

Dando clic en este botón estará en la ventana de *WindowViewer* donde correrá la aplicación que se ha creado en *WindowMaker*. Para observar la animación funcionar debe presionar el botón **Star** el cual da inicio al proceso de tratamiento de aguas industriales y tal como se describe en el capítulo 2 realizará las tareas del proceso en la simulación creada en *Intouch*.

Con estas propiedades generales que se ha descrito en este tutorial, los usuarios que realicen aplicaciones de simulación de cualquier proceso industrial u otros ejercicios de programación basada en objetos en *Intouch* ya tendrán nociones básicas para poder realizar sus propias experiencias en esta plataforma.

## ANEXO D

### DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DE INTOUCH

En este anexo se encuentran descritas todas las variables utilizadas en la aplicación de *Intouch*. Cada una de ellas tiene una finalidad dentro del proyecto, es decir, existen variables auxiliares para el funcionamiento de la aplicación de los procesos, variables que se utilizan en las animaciones de los objetos de *WindowViewer*, así como variables de entrada y salida I/O para el control y monitoreo del proceso por medio del Sistema SCADA.

En siguiente tabla describe cada una de las variables de la aplicación de *Intouch*.

Tagname (nombre de la variables)	Type	Initial Value
Agitador	Memory Discrete	Off
aire1	Memory Discrete	Off
aire2	Memory Discrete	Off
Aux	Memory Integer	0
<i>Blower</i>	Memory Discrete	Off
BotCuarFrío	Memory Discrete	Off
Botoncondens	Memory Discrete	Off
Botoncuarto	Memory Discrete	Off
Botonfrío	Memory Real	0
Calderapirotubular	Memory Real	0
Cloro	Memory Discrete	Off
condensado	Memory Real	0
consumo_gas	Memory Real	0

cont_grifo	Memory Integer	0
cont_moto	Memory Integer	0
cont1	Memory Integer	0
cont10	Memory Integer	0
cont11	Memory Integer	0
cont2	Memory Integer	0
cont3	Memory Integer	0
cont4	Memory Integer	0
cont5	Memory Integer	0
cont6	Memory Integer	0
cont7	Memory Integer	0
cont8	Memory Integer	0
cont9	Memory Integer	0
dispcnd	Memory Integer	0
distemp	Memory Integer	0
gas	Memory Real	30
gradoscentigrados	Memory Real	5
grifo	Memory Discrete	Off
llama	Memory Discrete	Off
moto	Memory Discrete	Off
motobomba	Memory Discrete	Off
porcentajecaldera	Memory Real	0
porcentajecondensado	Memory Real	0
pushcool	Memory Discrete	Off
reposo	Memory Discrete	Off
reposo2	Memory Discrete	Off
serpentin	Memory Real	0

Slider	Memory Real	0
starcaldera	Memory Discrete	Off
StarH2O	Memory Discrete	Off
SulfAlum	Memory Discrete	Off
tanque1	Memory Integer	0
tanque2	Memory Integer	0
tanque3	Memory Integer	0
tanque4	Memory Integer	0
tanque5	Memory Integer	0
tanque6	Memory Integer	0
tanque7	Memory Integer	0
tanque8	Memory Integer	0
termometro	Memory Real	5
totalperdida	Memory Real	0
vaciar	Memory Discrete	Off
vaciarboton	Memory Discrete	Off
valv1	Memory Discrete	Off
valv10	Memory Discrete	Off
valv11	Memory Discrete	Off
valv12	Memory Discrete	Off
valv13	Memory Discrete	Off
valv2	Memory Discrete	Off
valv3	Memory Discrete	Off
valv4	Memory Discrete	Off
valv5	Memory Discrete	Off
valv6	Memory Discrete	Off
valv7	Memory Discrete	Off

valv8	Memory Discrete	Off
valv9	Memory Discrete	Off
valvula1	Memory Discrete	Off
VentAgit	Memory Discrete	Off

Estas variables también se encontraran en el *tagname* Dictionary una vez creadas. En la barra de herramientas en: *Special/ Tagname Dictionary*, ahí aparecerá un cuadro donde se encuentran todas las variables o *tagname* creadas en la dentro de la aplicación. Haciendo clic en el botón Select aparecerán todas las variables del sistema y las creadas dentro de una tabla, o también existen dos flechas a los lados de Select para buscar una por una en orden alfabético las variables.

## ANEXO E

### CONFIGURACIÓN PARA INTERCAMBIO DE DATOS

#### Configuración del i/o server

Una vez instalado el software se procede a su configuración como se describe a continuación.

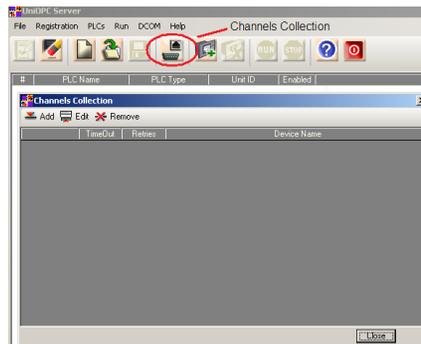


Fig. 35. Ventana del programa UniOPC

#### Configuración del puerto de comunicaciones y PLC

En la siguiente figura se muestra la ventana de configuración del puerto de comunicaciones, primero dar click Channels Collection y luego en Add.

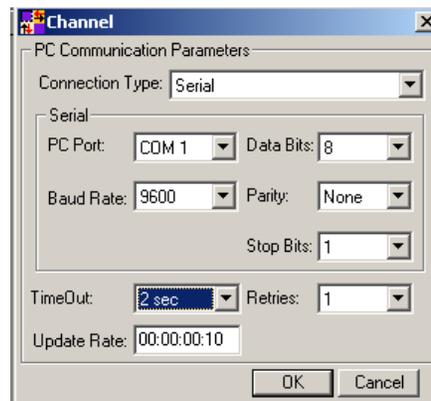


Fig. 36. Ventana de configuración del puerto de comunicaciones

En esta ventana se selecciona el tipo de conexión, el puerto serial a utilizarse (COM1), tiempo de respuesta *Timeout*, velocidad, bits de datos, bits de parada y paridad, a continuación se guarda y se acepta con un clic en *OK*.

Luego la creación de una lista de PLCs, como se inca en la siguiente figura.

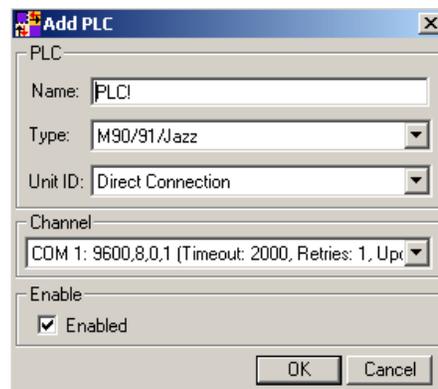


Fig. 37. Creación de una lista de PLCs

- Clic en PLCs que se encuentra en la barra de herramientas.
- Entrar un nombre de PLC único, luego seleccionar el tipo de PLC y Unidad ID.

Nota. La opción seleccionada *Enable*; permite a una aplicación cliente tener acceso al PLC.

- Seleccionar un canal; y luego clic *OK*.

### Configuración del TOPIC

Para realizar el enlace con el PLC, *Intouch* necesita de un software adicional para direccionar las comunicaciones, este es el programa « *OPCLink* » en el cual es necesario realizar una configuración y tiene que estar arrancado previamente para que *Intouch Viewer* enlace perfectamente. Para la configuración del *Topic* se

accede a --Configure---Topic Definition---New como se muestra en la figura siguiente.

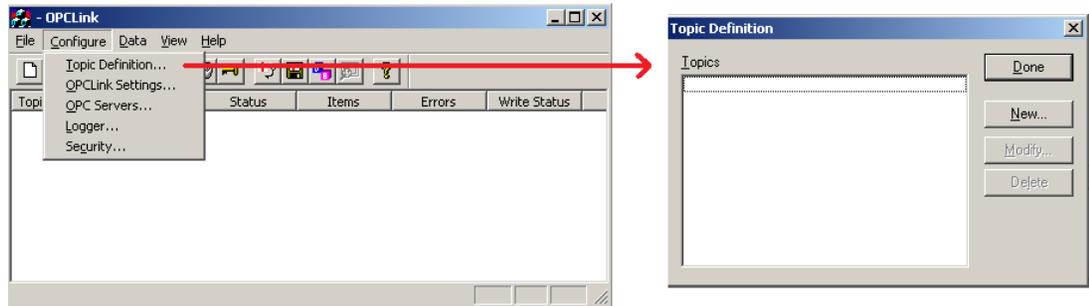


Fig. 38. Ventana de configuración del *Topic*

Luego aparece la siguiente ventana, y se llena los parámetros como indica la figura siguiente y se guarda.

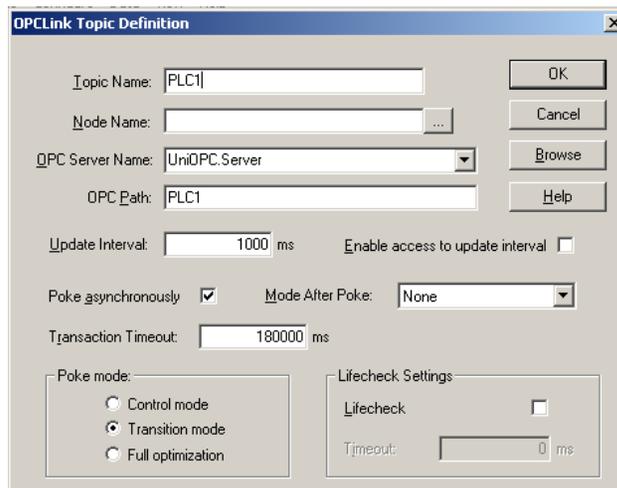


Fig. 39. Parámetros de configuración

La figura siguiente muestra el *Topic Definition*.

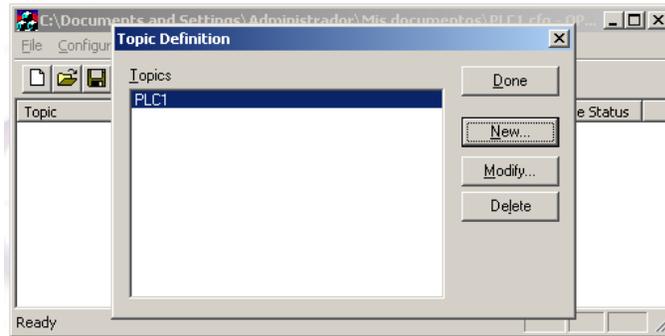


Fig. 40. *Topic Definition*

### Configuración del servidor de datos

Finalmente se debe configurar el *NetDDE Server Settings* tal y como se indica en la figura siguiente. El paso es configurar *Server Settings* (ajustes del servidor).

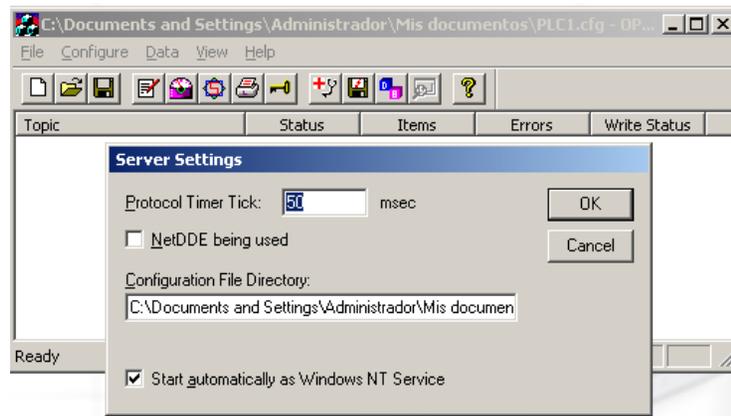


Fig. 41. Configuración *Server Settings*

El contador de tiempo de protocolo (*Protocol Timer Tick*) está por defecto en 50 ms este tiempo puede ser menor o mayor haciendo que la comunicación sea muy rápida o muy lenta en el intercambio de datos. El casillero *NetDDE* es para activar la red de *Wonderware* automáticamente en este caso no se selecciona, porque no hay un red compleja de datos para este proyecto. En el casillero inferior se escribe la ruta donde está instalado el *I/O Server*.

## Configuración del servidor OPC

Se dirige a -- *Configure -- OPC Server...*-- se configura y se guarda los cambios tal y como se muestra en la figura siguiente.

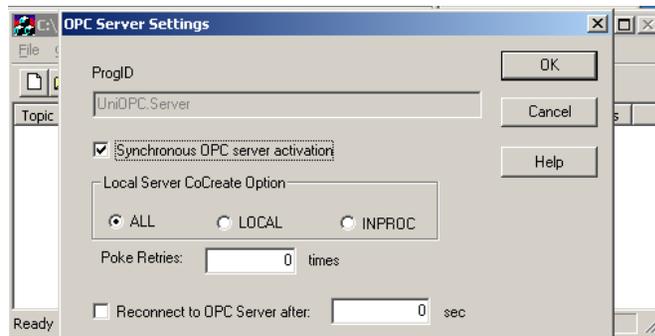


Fig. 42. *OPC Server Settings*

## Configuración de Items en Intouch

Para poder leer o escribir datos en el PLC desde *Intouch*, es necesario que este definido como un *tagname* tipo I/O (discreto, entero, real, etc.).

Además se debe crear un *Access Name* el cual está asociado a cada uno de los I/O *tagnames* del *Intouch*. *Access Name* es aquel que contiene la información del nombre de la aplicación (*Application Name*), y el nombre del tópic (*Topic Name*).

El *Application Name*: el nombre es **Pasantía**.

El *Topic Name*: nombre genérico de la aplicación, para este caso **PLC1**.

Como se puede ver en la figura siguiente, es igual al *Access Name* del cuadro de diálogo y también debe ser igual al definido en el *Topic Definition* de configuración en el I/O *Server*.

Luego se selecciona el protocolo a utilizarse en este caso DDE (*Dynamic Data Exchange*), y se acepta.

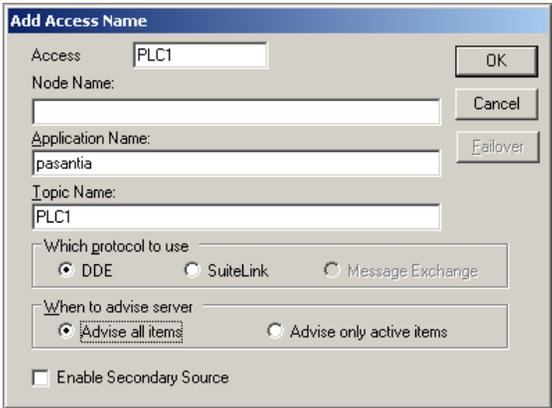


Fig. 43. Ventana de configuración del *Access Name*

*Access name* = Nombre del PLC

*Topic name*= El *Topic* definido con el mismo nombre en *OPC Link*