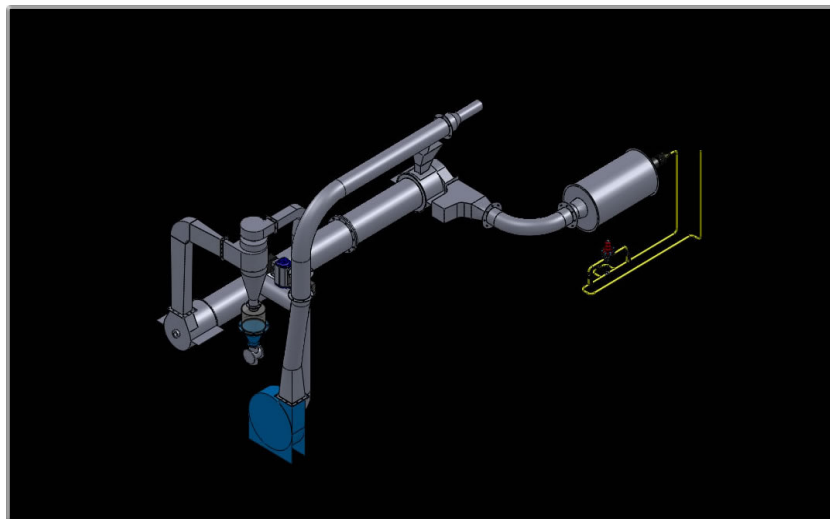




Universidad de Santiago de Chile
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Civil Química



LABORATORIO DINÁMICA Y CONTROL DE PROCESOS
CONTROL SOBRE UN SECADOR ROTATORIO DIRECTO



Profesor: Dr. Francisco Cubillos M.
Laboratorio de Sistemas e Informática de Procesos

Ayudante : DANIEL ACEITUNO

EXPERIENCIA N° 1:

ELEMENTO FINAL DE CONTROL Y DINAMICA DE UN PROCESO EN LAZO ABIERTO

En esta experiencia se conocerán los elementos necesarios para manipular un proceso, específicamente una válvula de control neumática que regula la entrada de gas a una cámara de combustión y un Dumper que regula el flujo de aire en el interior del tambor rotatorio. Además, estudiar la dinámica del proceso de combustión en lazo abierto.

Los elementos presentes son:

- Aire instrumental de suministro
- Transductor I/P
- Válvula de control y Dumper de aire.
- Proceso compuesto por un quemador de Gas, Cámara de combustión y termocupla de medición entrada a la cámara.
- Proceso compuesto por un Dumper de regulación de flujo de aire, y termocupla de medición salida tambor rotatorio.
- Sistema Opto22 para comandar remotamente y registrar la evolución dinámica del proceso.

Material a revisar antes de la experiencia:

- Apuntes Instrumentación Básica
- Apuntes de Fundamentos de Control de Procesos
- Anexo Opto22 (Esta guía)
- Anexo Cámara de combustión (Esta guía)

Procedimiento Experimental:

Con el equipo funcionando es estado estacionario reconozca todos los elementos presentes y su función.

Con el sistema Opto22 realice diferentes cambios en las corriente (4-20 mA) y vea el efecto en la apertura de la válvula, la temperatura de la cámara y otros puntos de temperatura medidos en el secador.

Con el sistema en estado estacionario a 25% de apertura, realice un cambio hacia +75% en la apertura de la válvula y registre la evolución de la temperatura de la cámara con el tiempo. Hasta alcanzar el nuevo estado estacionario.

Con un procedimiento similar explore la respuesta del sistema al variar la corriente al Dumper de flujo de aire.

Informe de Experiencia:

- Procedimiento experimental
- Histórico de temperaturas en el equipo
- Calculo de las ganancias del proceso (T- mA)
- Calculo de los parámetros de la funciones de transferencia (Cte de tiempo y atraso) si se asume comportamiento de 1° orden.

EXPERIENCIA N° 2:
CONFIGURACIÓN Y OPERACIÓN DE LAZOS DE CONTROL

Objetivos:

Configurar y operar los lazos de control de temperatura en equipo secador rotatorio.

- Especificar los componentes necesarios de cada lazo
- Configurar los lazos de control (conectar sus elementos y sus límites operacionales)
- Establecer y programar lógicas de control en el sistema Opto22 (P,PI,PID) .
- Operar el equipo con los dos lazos de control separadamente y en forma conjunta y evaluar su efectividad
- Familiarizarse con el concepto de interfase Hombre Máquina HMI y operar el proceso con esta herramienta.
- Conocer los elementos modernos presentes en el control de procesos.

Procedimiento Experimental:

El procedimiento experimental se puede dividir en las siguientes etapas.

1. Definir los objetivos de cada lazo, determinar los elementos presentes y conectarlos en forma de lazo de control mediante el sistema Opto22.

2. Entender el concepto de estrategias de control en Opto22 y proponer algunas lógicas simples para el control de la temperatura de la cámara.
3. Proponer el procedimiento para la puesta en marcha del equipo y del sistema de control
4. Operar el sistema en lazo abierto para explorar sus límites de respuesta (Temperaturas mínimas y máximas en la cámara).
5. Seleccionar modo de operación bajo control (on/off) y PID variando diferentes parámetros tales como Setpoint, tiempo de muestreo, parámetros del controlador PID (K_c , T_i , T_d) . Registrar y discutir la respuesta del sistema.

Detalles del sistema experimental se dan en Anexos.

Material a revisar antes de la experiencia:

- Apuntes Instrumentación Básica
- Apuntes de Fundamentos de Control de Procesos
- Anexos Equipo experimental y Opto22 (Esta guía)

Informe de Experiencia:

- Procedimiento experimental
- Histórico de temperatura de la cámara durante la experiencia
- Discusión de la respuesta del sistema bajo los diferentes modos de control.
- Diagrama P&ID del sistema de control.

ANEXO A: SECADOR ROTATORIO DIRECTO: DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO Y FUNCIONAMIENTO.

El equipo a utilizar será un secador rotatorio directo de flujo en paralelo ubicado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la USACH. Su uso se basa principalmente en la realización de experiencias prácticas e investigación, donde las temperaturas de secado son bajas. Además este posee diversos elementos de instrumentación que se enlazan para establecer el control y monitoreo del secador. El equipo posee tres áreas principales para su descripción (Secado Ortega):

- Área de alimentación (Véase 1, figura1): En el área de alimentación se encuentran la entrada de alimentación de los materiales húmedos generalmente se emplean arena, aserrín y turba, los cuales caen al tambor rotatorio para ser secados. También está el quemador y la cámara de combustión. El quemador utiliza el gas de combustión, gas licuado, para calentar el aire de entrada al secador, el que se emplea para el secado del material húmedo en la alimentación. El flujo de gas licuado es controlado a través de una válvula de control neumática.
- Área del tambor rotatorio (Véase 2, figura1): En el tambor rotatorio el material alimentado comienza a avanzar en función de la velocidad de rotación, la inclinación del tambor y la disposición de los alzadores. El aire caliente circula a través del tambor de forma paralela y seca los materiales por contacto directo.
- Área de salida (Véase 3, figura1): En el área de salida del secador, se obtiene el material húmedo seco, debido a su paso por el tambor

rotatorio y la acción del aire caliente. Además se encuentran aquí un ciclón que permite la obtención de partículas finas, correspondientes al material húmedo, arrastradas por el flujo de aire también se encuentra el extractor, elemento de vital importancia que permite la circulación del aire en paralelo respecto de la alimentación. Este flujo de aire es regulado de manera manual y automática a través de un posicionador electro-neumático que regula la apertura del Dumper instalado en una sección de la cañería de salida de aire.

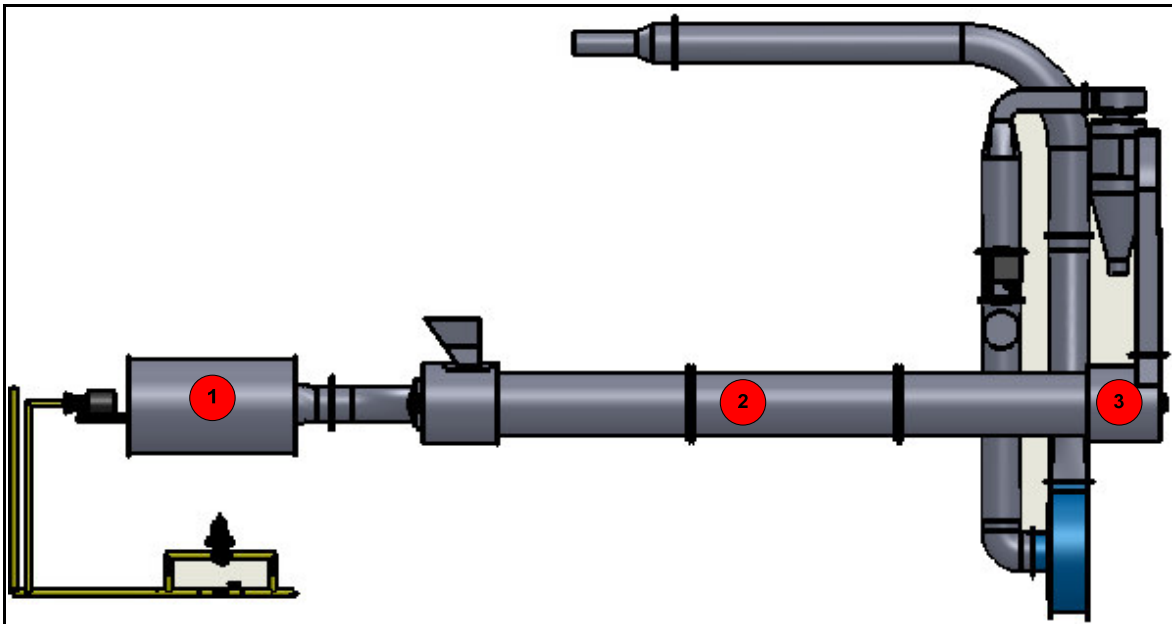


Figura1 Secador Rotatorio Directo LOPU

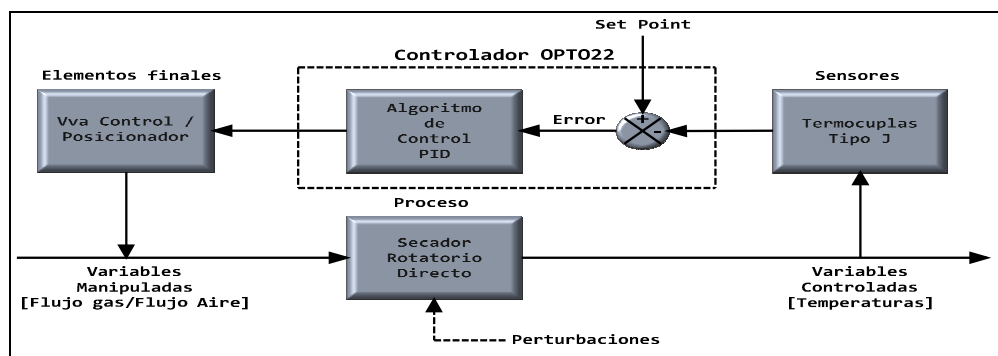
ANEXO B: SECADOR ROTATORIO DIRECTO: SISTEMAS DE LAZOS DE CONTROL

El sistema de control implementado al Secador Rotatorio Directo del LOPU corresponde a un sistema de control en *lazo cerrado multivariable*. El sistema trabaja con dos variables de control, por ende con dos lazos corriendo simultáneamente, correspondientes a la temperatura de entrada en la alimentación y temperatura de salida en la descarga, controladas a través Opto22.

Se definen a continuación los elementos constituyentes de los lazos de control existentes en el secador rotatorio directo:

- Los Sensores: En el secador existen estos elementos actuando como parte del sistema de control y serán de utilidad para medir la variable a controlar (Temperaturas). Para nuestro caso los sensores están actuando a su vez como transmisores de la señal, significa entonces que los sensores son capaces de medir la señal por una diferencia de potencial parametrizada respecto a la temperatura y la transmiten la señal en forma de una señal eléctrica al controlador.
- Controlador: Es el cerebro del sistema de control, aquel que toma las decisiones y está representado en el secador como el controlador Opto22 Snap Ultimate.
- Elemento final de control: Son los encargados de realizar la acción sobre la variable manipulada, que es la que incide directamente sobre la variable controlada, para así mantenerla dentro de un valor de referencia o set point. En nuestro caso se trabaja con una válvula de control neumática y un posicionador electro-neumático.

- **Variable Controlada:** Es la variable que se desea mantener o controlar, dentro de un valor deseado, para nuestro caso de estudio las variables a controlar serán la temperatura de entrada y salida del secador rotatorio directo.
- **Punto de Control o Set Point:** Es el valor que se desea tenga la Variable Controlada.
- **Variable Manipulada:** Es la variable que se utiliza para mantener a la variable controlada en el Set Point. Las variables que se manipularán serán el flujo de combustible, a través de una válvula de control neumática y el flujo de aire, a través, de la acción de un posicionador electro neumático, que manejará un *damper*.
- **Perturbación:** Corresponde a cualquier variable que ocasiona que la Variable de Control se desvíe de su Punto de Control o Set Point. Se reconocen como variables que perturban a nuestro sistema de estudio la temperatura ambiente del aire, el contenido de humedad del aire ambiente, la humedad y composición del sólido.
- **Desviación o Error:** Corresponde a una variable interna al controlador que nace de la comparación entre Variable Controlada y el Punto de Control o Set Point. A través del error el controlador realiza su acción correctiva.



Figur 2 Sistema de control del proceso en lazo cerrado.

ANEXO C: OPTO 22 SNAP ULTIMATE

FUNCIONAMIENTO:

Opto22 SNAP Ultimate corresponde a un sistema que provee control, comunicación y procesamiento de entradas y salidas en un paquete compacto montado sobre un rack. Es programable en un lenguaje basado en diagramas de flujo, tiene interconectividad Ethernet y posee interconectividad con una serie de protocolos estándares.

Los componentes principales del SNAP corresponden al Brain (Cerebro), en él ocurre el procesamiento de las entradas y salidas, y además es en él donde se escribe y lee el algoritmo de control. Junto con el Brain se encuentran instalados en el rack los módulos de las entradas y salidas del sistema. Estos módulos le permiten establecer la comunicación entre las variables medidas y manipuladas del sistema a controlar. Así de esta forma los módulos procesan tanto las entradas analógicas/digitales y las salidas analógicas/digitales.

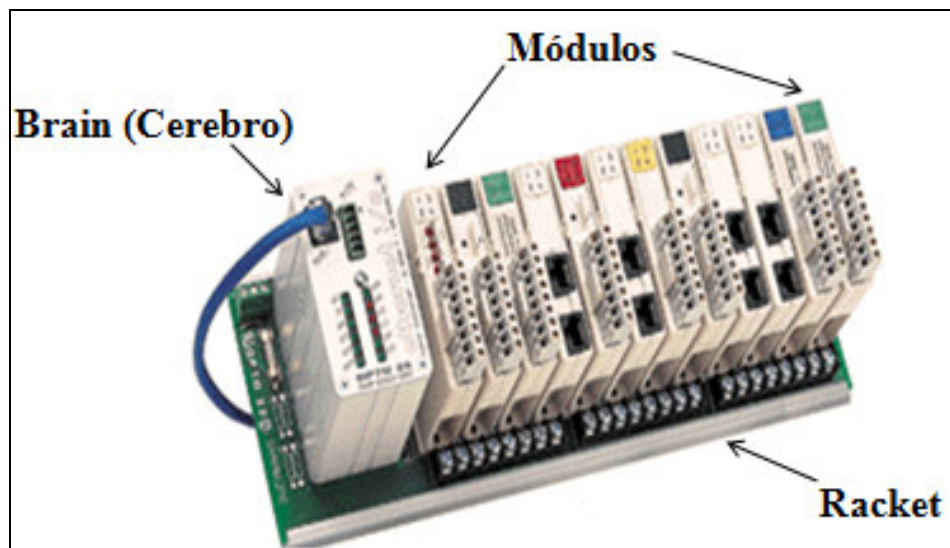


Figura3 Opto 22 Snap Ultimate componentes principales.

El controlador tiene la capacidad de conectarse con hasta 4096 puntos de entrada/salida análoga o digital a una distancia de hasta 3000 pies, y puede ser conectado en serie desde un computador personal “host” formando una red de hasta 256 controladores de la serie Snap.

MODULOS:

Tabla1 Listado de módulos utilizados por OPTO22 en el sistema de control.

Tipo	Modulo	Cantidad	Descripción	Canal	Dispositivo	Rango	Posición
Input Análogo	SNAP-AITM-i	2	Doble Canal Termocupla Tipo J	CH1	Termocupla T4	-210/1200°C	#6
				CH2	Termocupla T3	-210/1200°C	#6
			Doble Canal Termocupla Tipo J	CH1	Termocupla T2	-210/1200°C	#7
				CH2	Termocupla T1	-210/1200°C	#7
Output Análogo	SNAP-AOA-23	1	Doble Canal Corriente 4/20mA	CH1	Válvula de Combustible	0%-100% 4mA-20mA	#5
				CH2	Posicionador	0%-100% 4mA-20mA	#5

SOFTWARE OPTO22 SNAP ULTIMATE

Opto22 Snap Ultimate posee un software que permite tanto su instalación, programación, como la realización de la HMI (Interfaz Hombre Máquina). Este software viene en una suite denominada *Software PAC Project Suite* conformado por los siguientes componentes principales:

- IO Manager: Su función principal es establecer la comunicación inicial con el sistema SNAP Ultimate, conectándolo a la red. Esta se realiza con la asignación de la dirección IP al SNAP.

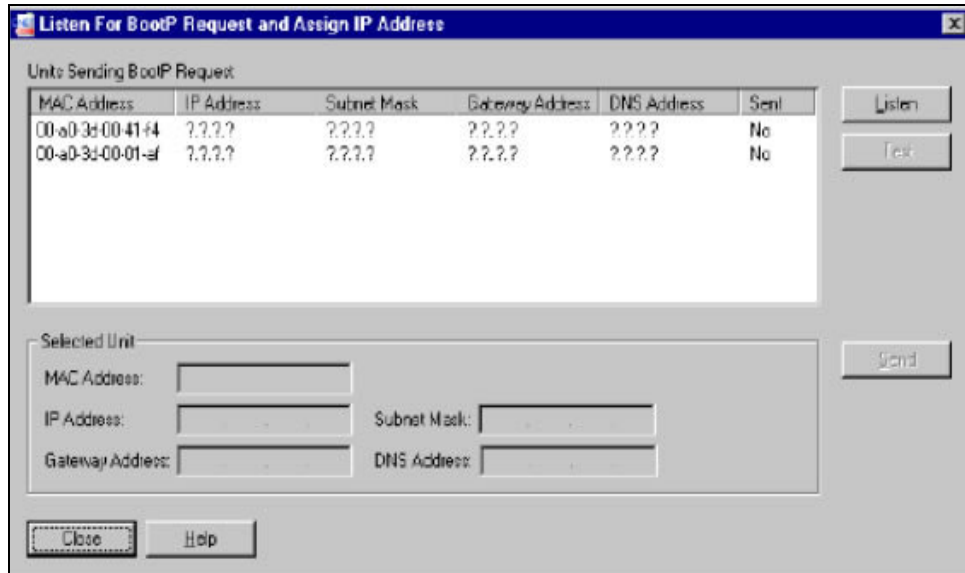


Figura4 IO Manager, asignación de IP.

- IO Control: La función principal de IO Control corresponde a la construcción de la lógica de programación automática, que se basa en la creación de una *Estrategia de Control* diseñada a través de diagramas de flujo, lo que hace a la programación más amigable, y a demás provee un lenguaje de programación denominado OptoScript.

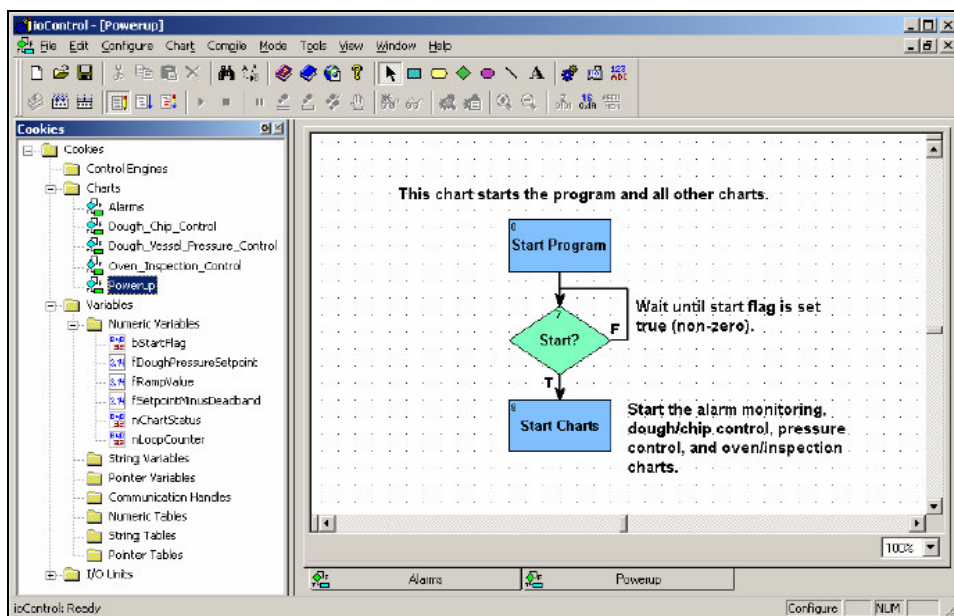


Figura5 IO Control OPTO22

- IO Display: Esta aplicación fue desarrollada para la creación de interfaces de operación relacionadas a la estrategia de control creada en IO Control, más conocidas como HMI (Human Machine Interface). Está no realiza control sobre el sistema sino que es una herramienta de creación de interfaces para el monitoreo de los procesos dinámicos cuando la estrategia de IO Control está corriendo. IO Display maneja la utilización de símbolos gráficos, alarmas y gráficos de tendencia.

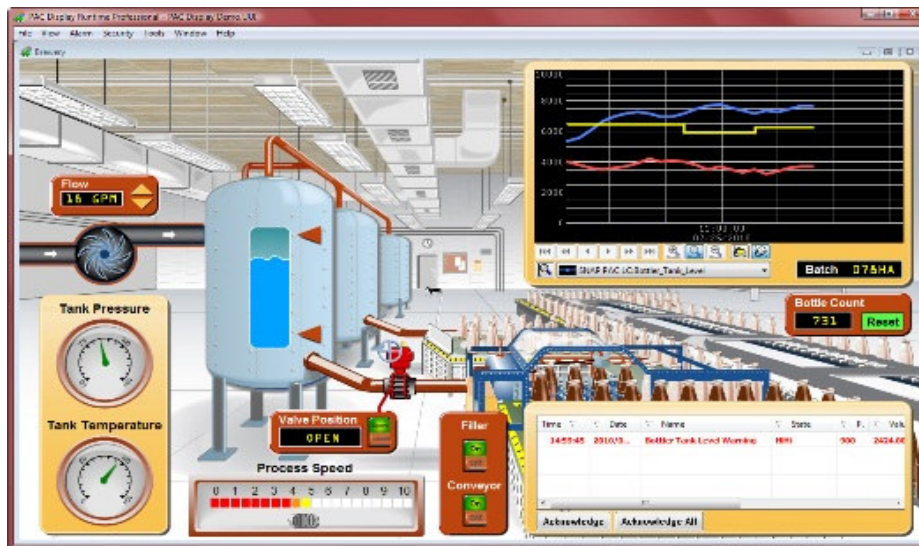


Figura6 Interfaz de operación IO Display.

ANEXO D: INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA

Con Pac IO Display Configurator, potente herramienta de monitoreo de procesos, se realizó la construcción de la interfaz de operación a utilizar en la experiencia de laboratorio.

La HMI posee 4 ventanas diseñadas para el proceso de control. En ellas es donde se realizará el monitoreo del proceso de secado en cuanto a temperaturas, se establecerán condiciones al proceso, como su manejo en manual o automático, se asignarán set points y valores de corriente (mA) a los actuadores, se podrá interpretar gráficos y navegar hacia las distintas ventanas de operación

VENTANAS DE OPERACIÓN

- **Ventana Inicio**



Figura7 Ventana de inicio interfaz de operación en IO Display Runtime.

Como su nombre lo indica esta es la ventana de inicio del monitoreo, es el primer rostro de

la interfaz de operación y permite desplazarse hacia las distintas ventanas de operación. Esta posee cuatro botones

- **Iniciar:** Presionado este botón el operador podrá dirigirse automáticamente a la ventana de control, descrita más adelante, y comenzar en línea el monitoreo.
- **Grupo de Trabajo:** Presionado sobre este botón el operador podrá definir el nombre del grupo de trabajo quedando registrado en la base de datos.
- **Configurar:** Presionado este botón el operador se dirige automáticamente a la ventana de configuración de parámetros.

- Archivar: Este botón permite una vez presionado dirigirse hacia la base de datos de Opto 22 para obtener el registro de valores de las variables de interés para el operador.
- **Ventana Control**

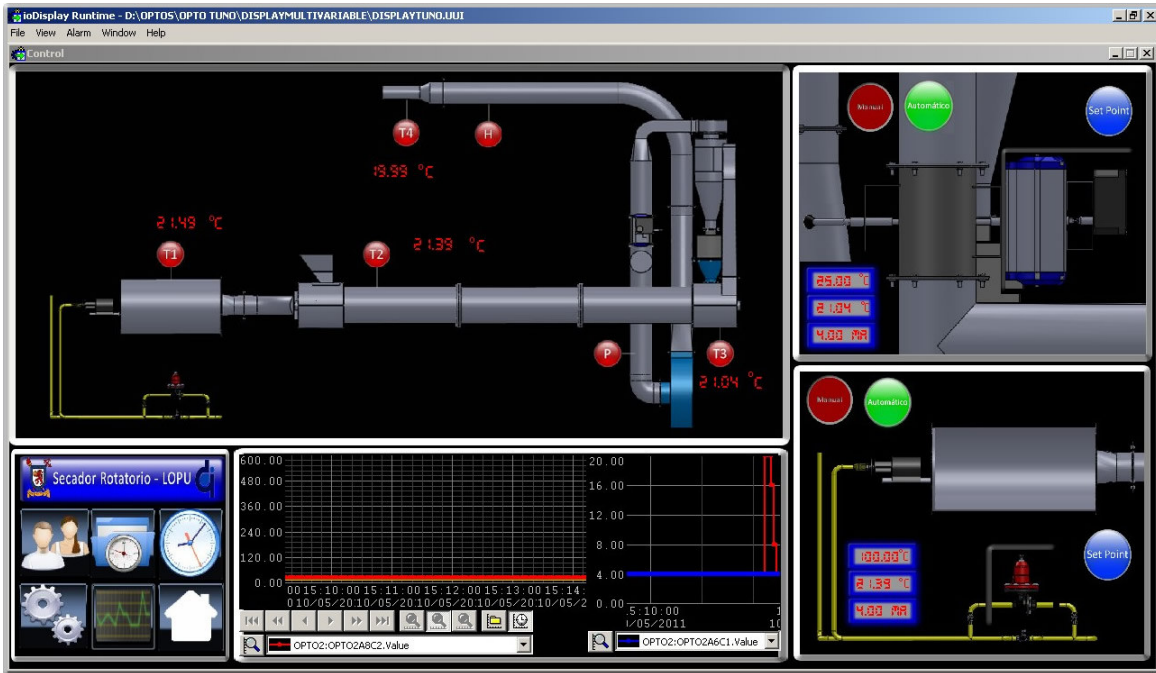


Figura8 Ventana control interfaz de operación en IO Display Runtime.

Esta es la ventana principal de la interfaz de operación del Secador Rotatorio Directo.

La imagen superior izquierda muestra el diseño del Secador Rotatorio Directo en él se aprecia la asignación de cinco enlaces correspondientes a temperaturas presión y humedad, que muestran para el caso de temperaturas los valores reales que está rescataando el sistema Opto 22. Los enlaces y sus respectivos nombres son:

- T1: Temperatura de la cámara de combustión (°C).
- T2 Temperatura de entrada al secador (°C).
- T3: Temperatura de salida del solido seco (°C).

- T4: Temperatura de salida (°C)
- P: Diferencia de presión
- H: Humedad relativa.

Las imágenes del lado derecho representan a los actuadores instalados en el secador: Válvula de Control y Posicionador. En ambas ventanas al inicio del monitoreo se parte por defecto en *Modo Manual*, designado en este caso con el botón rojo. Para hacer correr el monitoreo en *Modo Automático* se debe presionar el botón verde, designado para cada imagen de manera independiente. Además estas poseen un botón para establecer el *Set Point*, en caso de que se estuviera en control automático, representado por un botón azul en cada imagen de operación.

Tanto a la válvula como al posicionador en *Modo Manual* se le puede designar un nivel de apertura dependiendo de la señal de corriente que se le envíe (4-20mA). Esto se realiza presionado ya sea en la válvula como en el posicionador, donde se desplegará una ventana para asignarle el valor de trabajo. Respecto a esto, el posicionador posee un atributo dinámico donde el vástago indica el nivel de apertura dependiendo de la señal de corriente que se le envíe.

También existe un *Display* en ambas imágenes de operación que muestra el valor actual de set point, temperatura relacionada al set point, y el valor de corriente.

Por lo tanto se poseen dos estado de operación *Manual* y *Automático*, tanto para posicionador como válvula de control.

- Modo Manual: El sistema de control respecto a los lazos que involucran la válvula de control como el posicionador son manejados por el operador.

- Modo Automático: El sistema de control respecto a los lazos que involucran la válvula de control y el posicionador son regulados por el algoritmo de control PID y se regulan en función al set point asignado.

En la parte inferior izquierda de la ventana control se definieron botones de acción que permiten ingresar el nombre del grupo de trabajo, dirigirse al archivador, donde se puede extraer los datos del proceso que registra Opto22 en un archivo con extensión <.H01> y que pueden ser ejecutados desde Excel importándolos, también se puede definir la hora de inicio y la hora de fin del trabajo sobre el proceso de control y dirigirse a las distintas ventanas de operación.

Al costado de estos botones se encuentran los super trend de la variables de temperatura del proceso. Estos permiten visualizar la evolución de la variable en tiempo real.

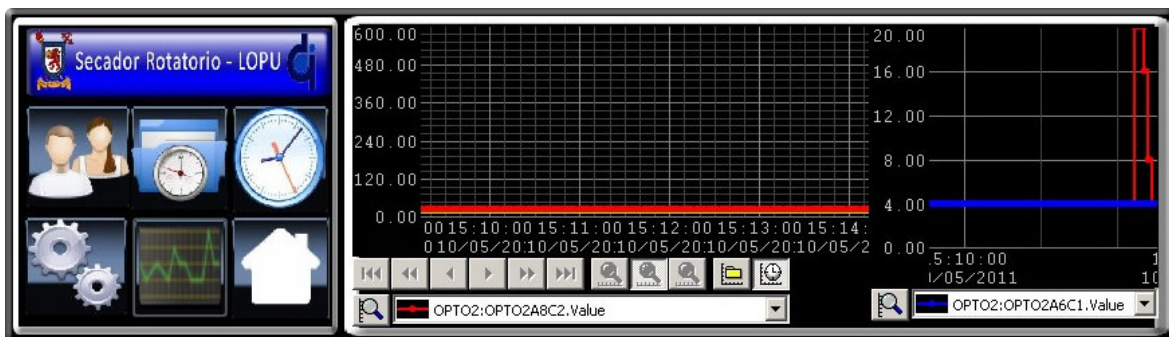


Figura9 Botones de acción y super trends de la interfaz de operación.

Ventana Configuración

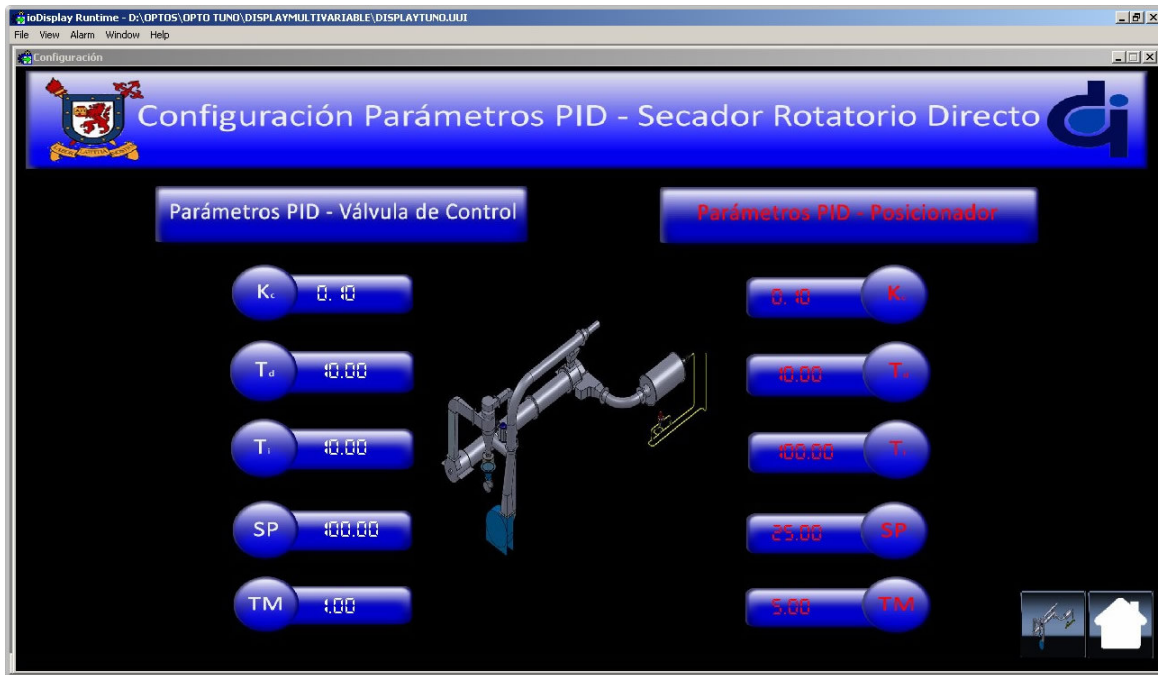


Figura10 Ventana configuración interfaz de operación en IO Display Runtime.

De la Ventana Configuración es donde se determinan los parámetros para ambos lazos de control. Se pueden definir los parámetros PID para el lazo de la Válvula de Control y los parámetros PID para el lazo del Posicionador, estos se definen de manera independiente y permitirán ajustar el control de acuerdo al valor de los parámetros seleccionados. Existen para poder configurar la Ganancia Proporcional, el Tiempo Integral y Derivativo, el Set Point y el Tiempo de muestreo. A demás posee dos botones que permiten dirigirse tanto a la Ventana Control como la de Inicio.