

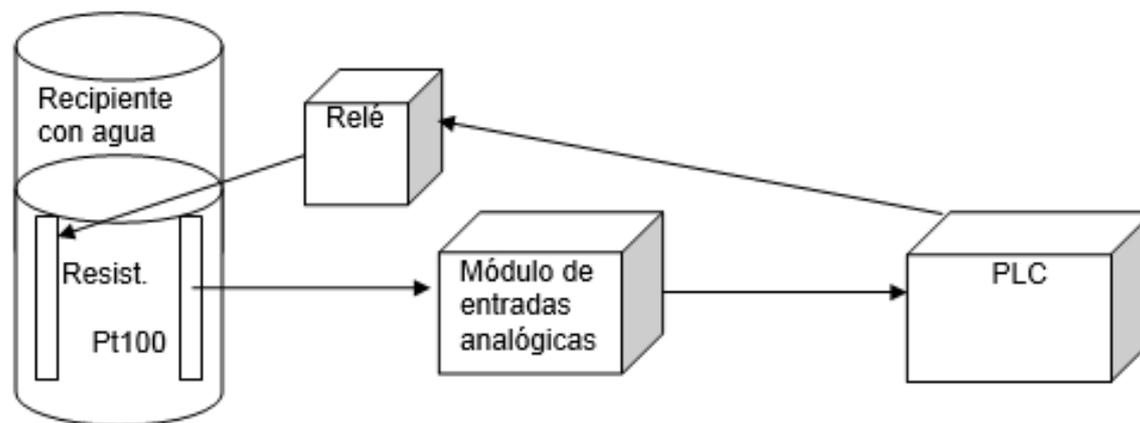
Laboratorio 2

Control PI

Controladores Lógicos Programables

Laboratorio 2

Sistema del laboratorio 2: sistema de control realimentado

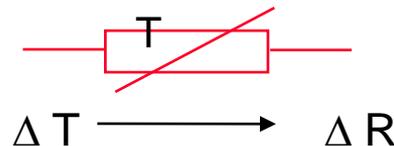


Laboratorio 2

Entrada al sistema: sensor de temperatura Pt100
conectado al canal 0 de la expansión de E/S
analógica AI562

Laboratorio 2

- Sensores RTD (termómetros de resistencia)
 - Principio de medida: variación de resistencia eléctrica de un material con la temperatura
 - Materiales: platino (Pt100), níquel (Ni100)
 - Rango: -200 a 850°C (según el material)
 - $R = R_0 (1 + \alpha * \Delta T)$

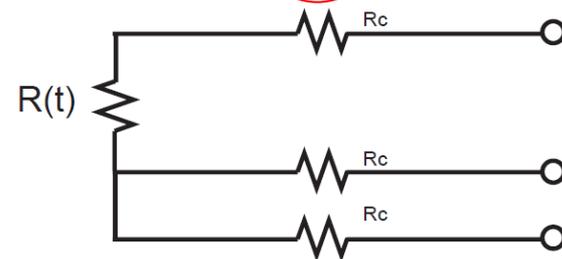
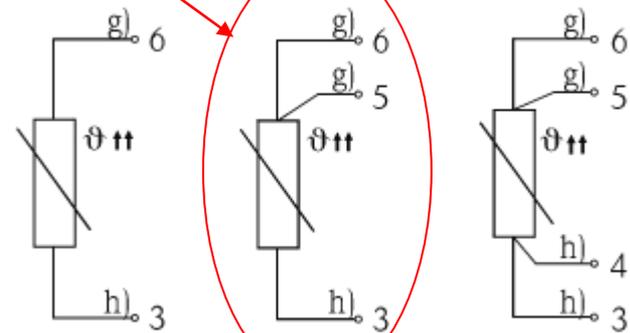
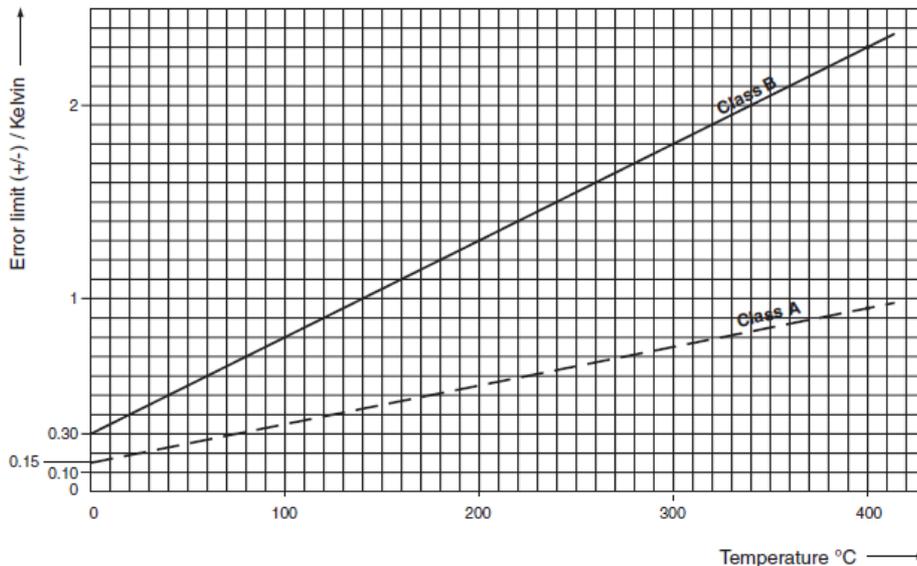


Laboratorio 2

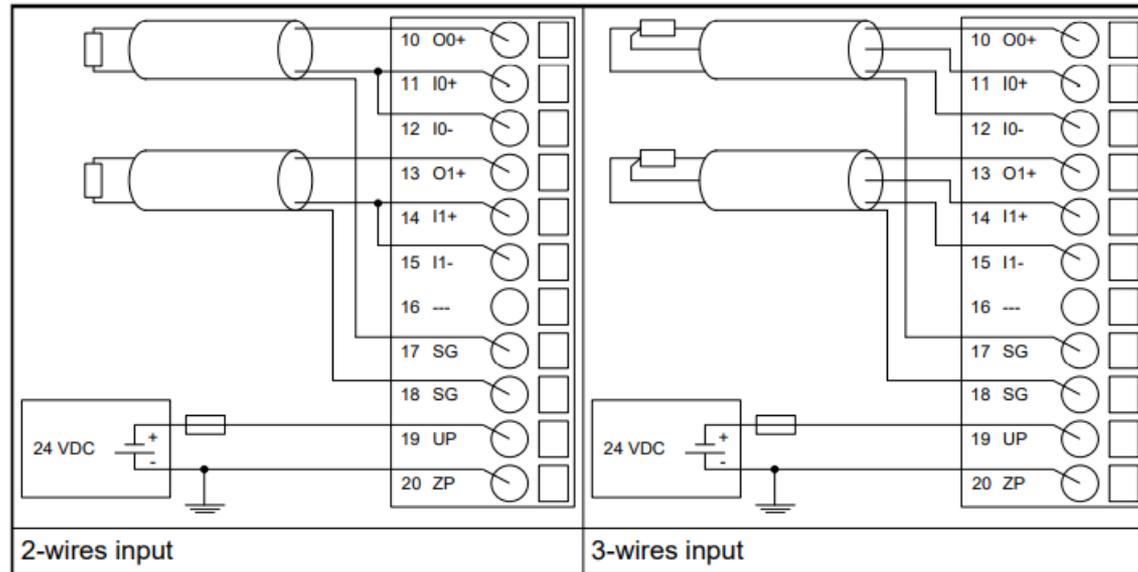
■ Sensor Pt100, 3 hilos, Clase A, DIN 43760

Basic values, deviations from platinum resistance element							
Temperature	0 °C	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C	600 °C
Basic value (Ω)	100.00	138.51	175.86	212.05	247.09	280.98	313.71

Measuring resistance tolerances acc. to EN 60751 (IEC 60751)



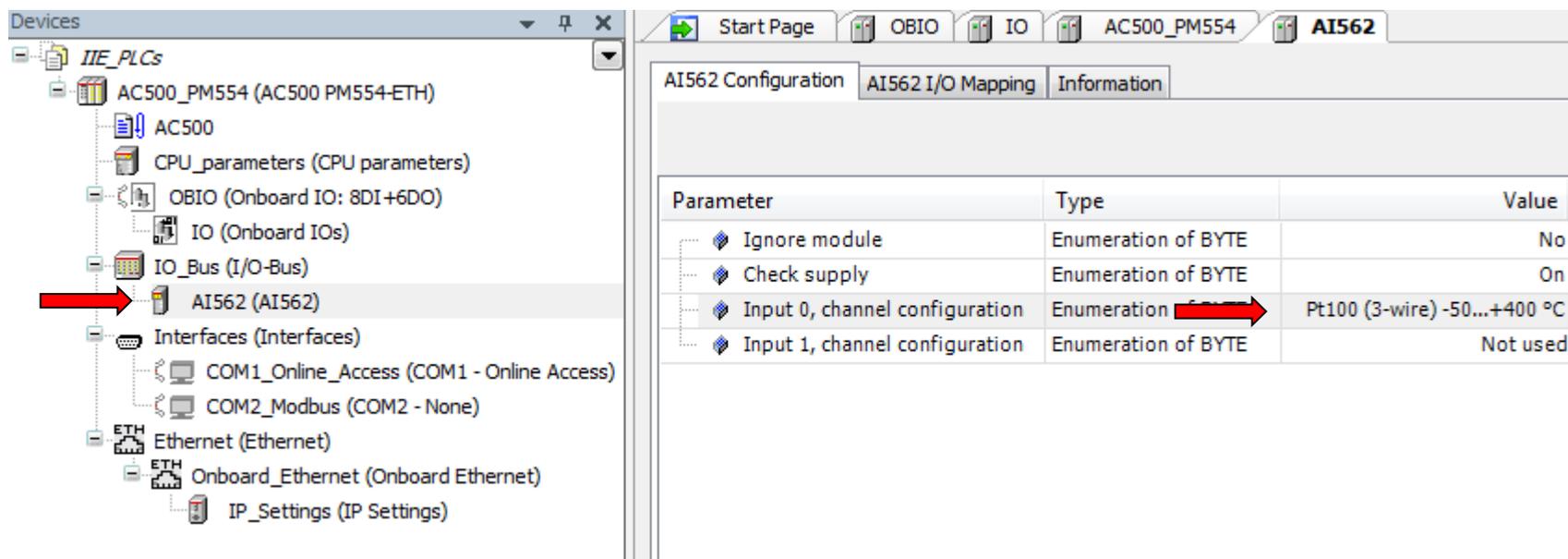
The following figures show the connection of RTDs to the inputs of the analog input module **AI562**.



With 2-wires connection, the resistance of the connection wires influences the accuracy of the measured value. Use 3-wires connection to achieve the guaranteed measuring accuracy.

Laboratorio 2

1. Configurar el módulo AI562
2. Configurar el canal 0 para Pt100 (3-wire) -50..+400°C

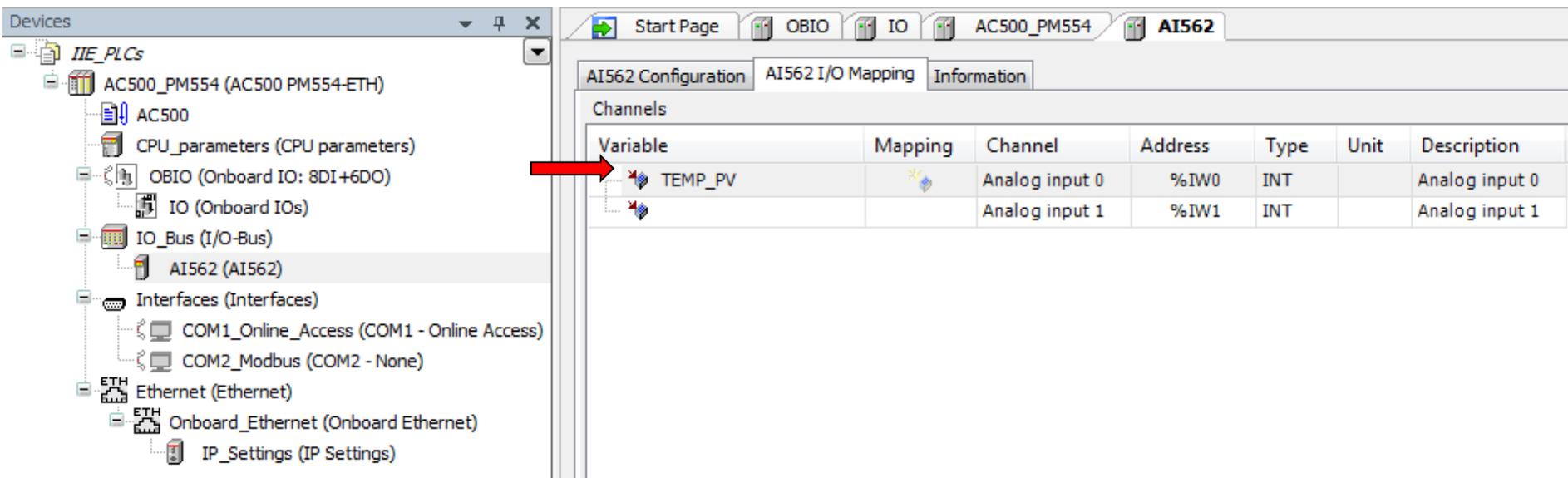


The screenshot displays the SIMATIC Manager interface. On the left, the 'Devices' tree shows the configuration of an AC500 PM554-ETH PLC. The 'AI562 (AI562)' module is highlighted with a red arrow. On the right, the 'AI562 Configuration' window is open, showing the 'AI562 I/O Mapping' tab. A table lists the configuration parameters for the module.

Parameter	Type	Value
Ignore module	Enumeration of BYTE	No
Check supply	Enumeration of BYTE	On
Input 0, channel configuration	Enumeration of BYTE	Pt100 (3-wire) -50...+400 °C
Input 1, channel configuration	Enumeration of BYTE	Not used

Laboratorio 2

3. Configurar la variable asociada en el canal 0
4. Guardar y abrir el programa



The screenshot displays the SIMATIC Manager interface. On the left, the 'Devices' tree shows the configuration for an AC500 PM554-ETH PLC, with the 'AI562 (AI562)' module selected. On the right, the 'AI562 I/O Mapping' tab is active, showing a table of channels. A red arrow points to the 'TEMP_PV' variable in the first row of the table.

Variable	Mapping	Channel	Address	Type	Unit	Description
TEMP_PV		Analog input 0	%IW0	INT		Analog input 0
		Analog input 1	%IW1	INT		Analog input 1

Laboratorio 2

- Escalado del valor en el programa (x10)

Resistance Temperature Detectors

Range	Pt100 / Pt1000 -50 ... +400 °C	Ni1000 / Ni100 -50 ... +150 °C	Digital value	
			decimal	hex.
Overflow	> 450.0 °C	> 160.0 °C	32767	7FFF
Measured value too high	450.0 °C ⋮ 400.1 °C		4500 ⋮ 4001	1194 ⋮ 0FA1
		160.0 °C ⋮ 150.1 °C	1600 ⋮ 1501	0640 ⋮ 05DD
Normal range	400.0 °C ⋮ ⋮ ⋮ ⋮ 0.1 °C		4000 2000 1500 700 ⋮ 1	0FA0 07D0 05DC 02BC ⋮ 1
	0,0 °C	0.0 °C	0	0000
	-0.1 °C ⋮ -50.0 °C	-0.1 °C ⋮ -50.0 °C	-1 ⋮ -500 -2000	FFFF ⋮ FE0C F830
		150.0 °C ⋮ ⋮ ⋮ 0.1 °C		
Measured value too low	-50.1 °C ⋮ -60.0 °C	-50.1 °C ⋮ -60.0 °C	-501 ⋮ -600	FE0B ⋮ FDA8
Underflow	< -60.0 °C	< -60.0 °C	-32768	8000

Controlador PID

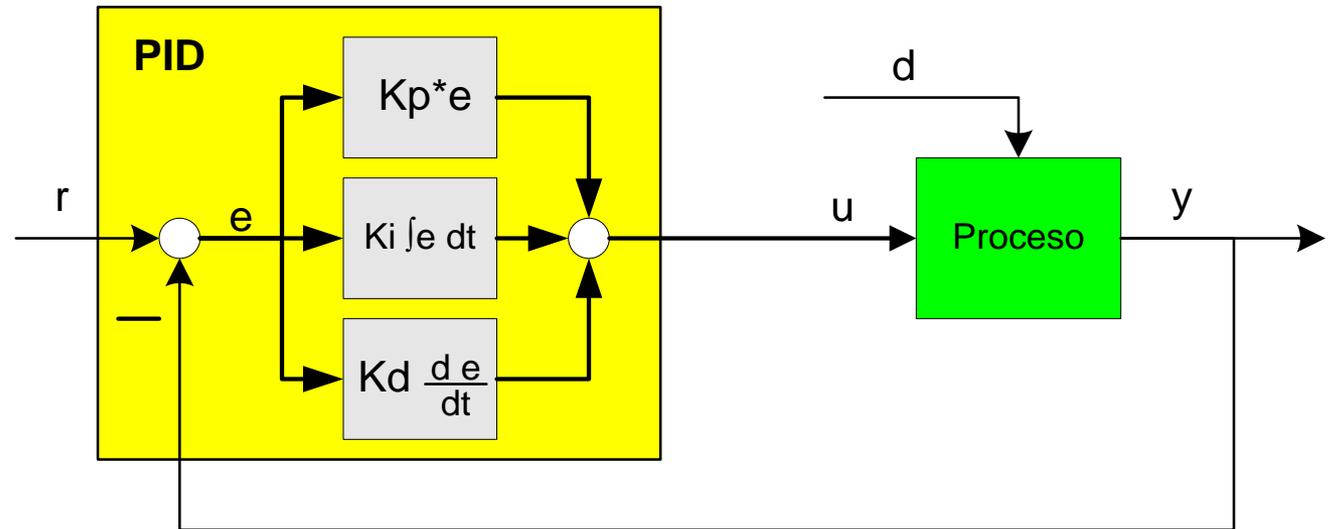
- Propuesto en los años 40 y se mantiene hasta ahora como el controlador de lazo más utilizado
- Es un controlador **no-óptimo**
- Es **fácil** de sintonizar y permite alcanzar una buena performance
- Es **fácilmente** implementable en un sistema de control digital
- Se basa en una estructura de una entrada y una salida

PID – Estructura interna

P: proporcional

I: integral

D: derivativo



- El controlador PID está basado en 3 acciones paralelas
- Frecuentemente se utilizan solo los términos P e I
- Existen varias formulaciones matemáticas

$$u_{PID}(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{d e(t)}{dt}$$

PID – Forma Paralela e Ideal

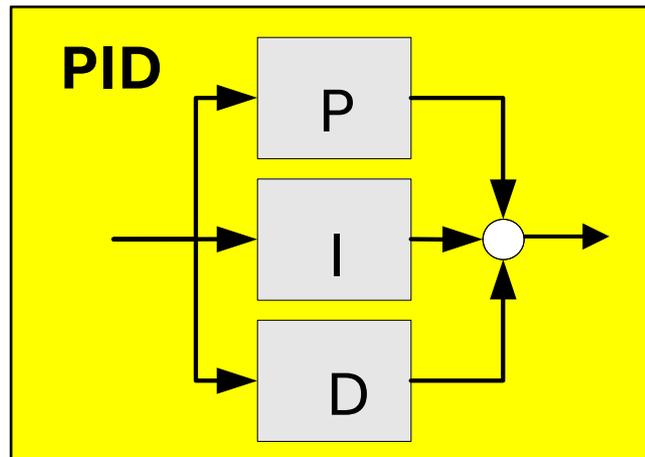
$$u_{PID}(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{d e(t)}{dt} \quad \text{Forma Paralela}$$

$$u_{PID}(t) = K \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{d e(t)}{dt} \right] \quad \text{Forma Ideal}$$

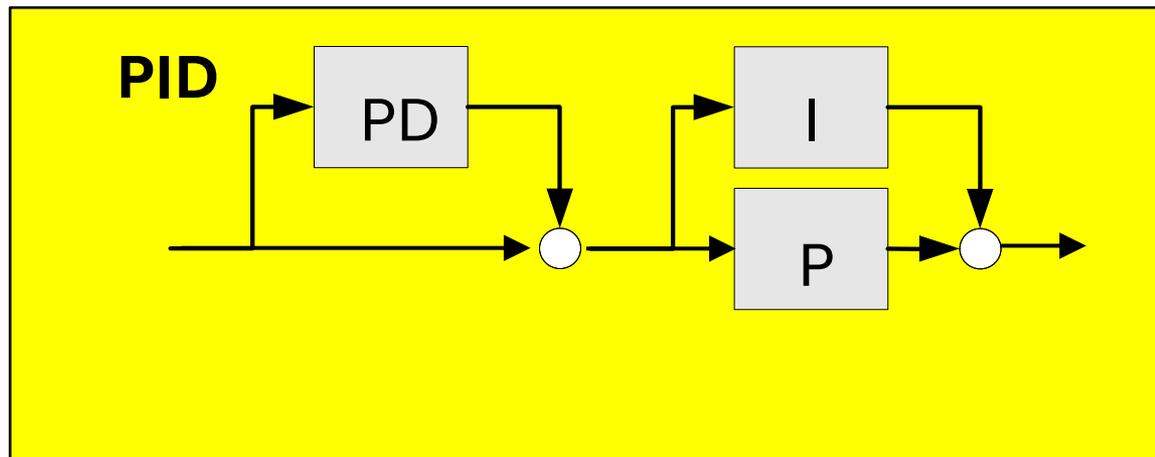
- La forma Paralela es apta sobretodo para tratamiento empírico “manual”
- La forma Ideal tiene la ventaja que T_i y T_d son expresados en segundos y solo K depende de la unidad de medida del proceso

PID – Estructura Interactiva y No-Interactiva

Forma No-
Interactiva
(Paralela e
Ideal):

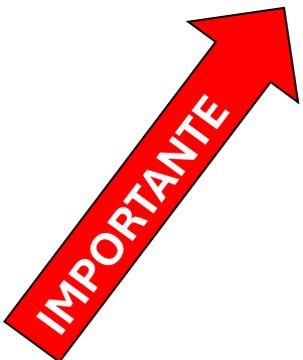


Forma Interactiva
(Serie o Clásica):

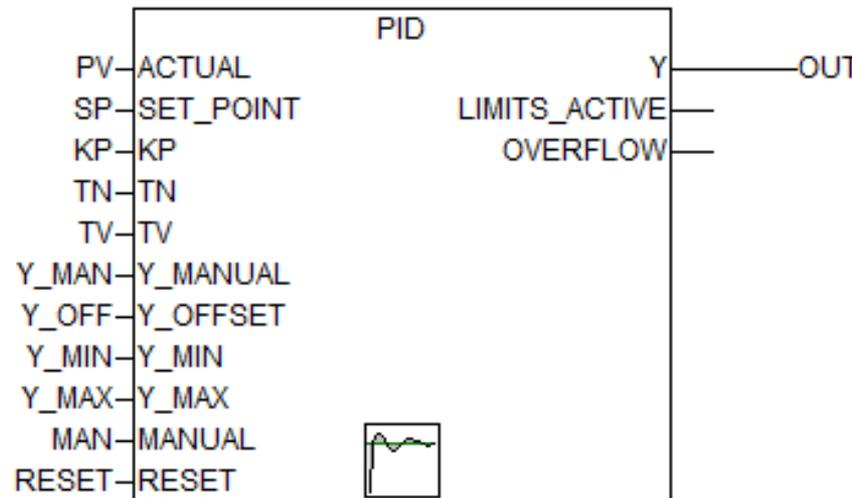


Constantes del PID

- Estructura paralela: K_p , K_i , K_d
- Estructura ideal: K , T_i , T_d
- Estructura serie: K' , T_i' , T_d'
- Los valores de las constantes dependen de la implementación del bloque PID
- Se requiere la ecuación utilizada en el PLC para calcular las constantes



Bloque PID del PLC



$$e = SP - PV$$

$$OUT = Y = KP \left(e + \frac{1}{TN} \int e \cdot dt + TV \frac{\partial e}{\partial t} \right) + Y_OFFSET$$

$$PID(s) = KP \left(1 + \frac{1}{TN \cdot s} + TV \cdot s \right)$$

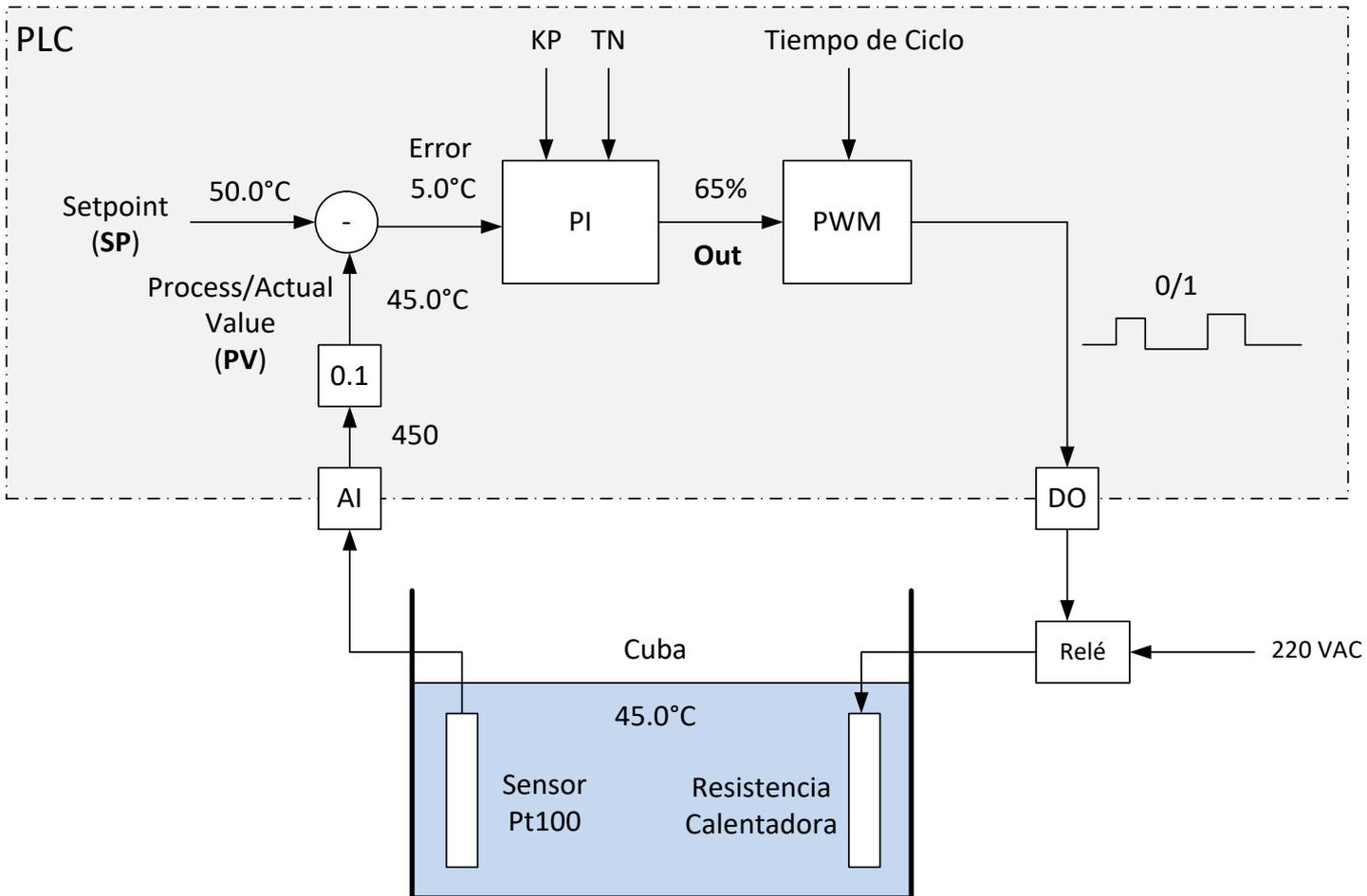
Laboratorio 2

- Se utiliza el bloque PID como PI ($TV=0$) para controlar la temperatura del sensor Pt100 según la referencia (setpoint)
- Entradas al PI:
 - SP: Setpoint -> fijado en el programa
 - PV: Process Value (Actual) -> temperatura
 - Error = SP - PV

Laboratorio 2

- Salida del PI:
 - OUT (Y): señal 0 a 100%, acción de control
 - Se conecta a un bloque PWM que actúa por tren de pulsos sobre una salida digital que acciona un relé de potencia
 - El relé de potencia conecta la alimentación (220 VAC) a una resistencia calentadora

Laboratorio 2

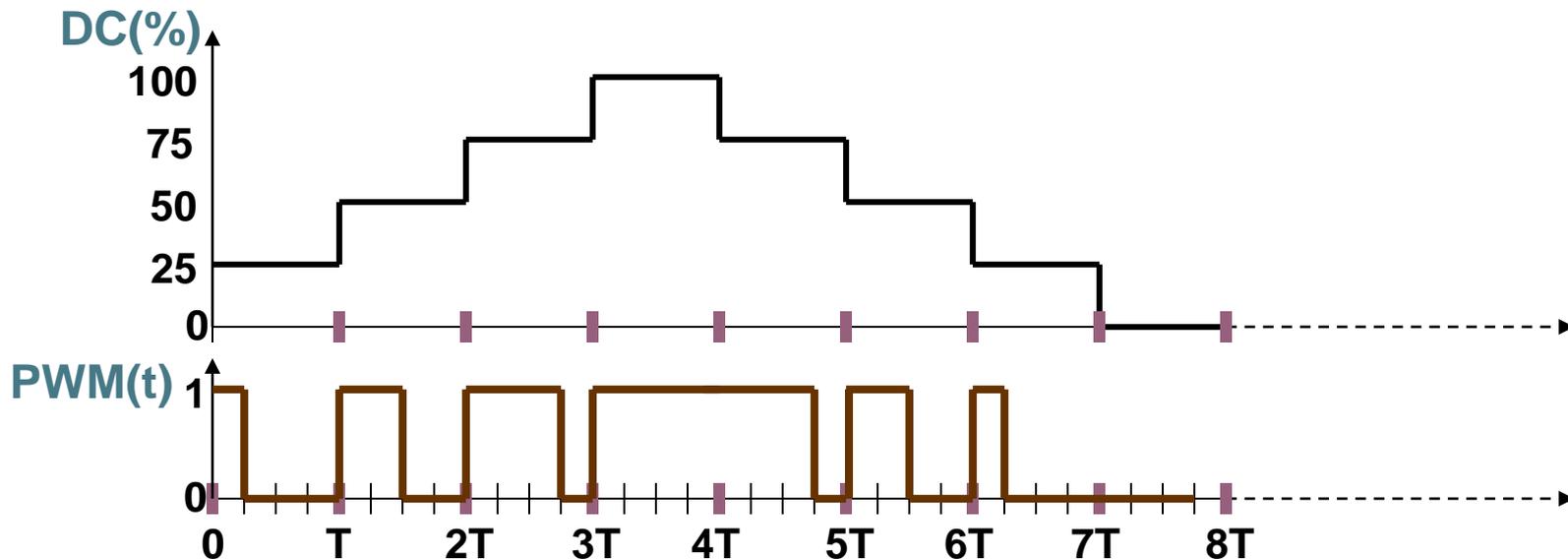


Laboratorio 2

- Tren de pulsos PWM: secuencia de pulsos de amplitud constante, donde la duración de cada pulso se determina por una señal de entrada “Duty Cycle” (Ciclo de Trabajo) de 0 a 100%

Laboratorio 2

- Tiempo particionado en intervalos de ancho fijo T desde instante 0: los pulsos PWM comienzan los instantes, 0, T , $2T$, $3T$, ..., nT
- T : período del tren de pulsos (Cycle Time)
- Ciclo de trabajo (DC): ancho de pulso dividido T



Laboratorio 2

- Los pulsos PWM para controlar el sistema se justifican si el período es mucho menor que la constante de tiempo del sistema (agua-calentador-sensor)
- Cualitativamente, el sistema se comporta como un pasabajos, la salida efectiva es el valor medio de la señal PWM (coincidente con la salida del PI)

Laboratorio 2 - Requerimiento

- 1) El PLC se deberá programar en FBD.
- 2) Se utilizará un control PI para mantener la temperatura de la cuba en $50^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$
- 3) El sistema deberá dar alarmas en caso de sobretemperatura:
 - a) Encendido-apagado de una salida digital con una frecuencia de 2 segundos (1 segundo apagado y un segundo encendido).
 - b) Encendido de una salida digital en forma permanente mientras la temperatura esté en alarma.

La alarma pulsante se eliminará (reconocerá) con un botón.

La salida de alarma permanente debe desactivarse automáticamente cuando la alarma pulsante sea reconocida y la temperatura esté debajo del nivel de alarma.

Laboratorio 2 - Requerimiento

- 4) Para evitar que haya pulsos PWM (de encendido y de apagado) de menos de 50 mseg, se implementará el siguiente algoritmo:
 - El relé no se apaga (duty cycle = 1) si los pulsos de apagado son más cortos que 50 mseg
 - El relé no se enciende (duty cycle = 0) si los pulsos de encendido son más cortos que 50 mseg

- 5) La entrada digital 0 (DI0) deberá actuar de habilitación para energizar el relé de potencia. Con la entrada inactiva, el relé de potencia se mantiene apagado independientemente de la salida del PWM.

Laboratorio 2 - Requerimiento

6) Asignación de entradas/salidas:

- La termoresistencia Pt100 será cableada a la entrada 0 (AI0) del módulo AI562.
- La resistencia calentadora será energizada a través del primer relé de potencia activado por la salida digital 0 (DO0).
- La entrada digital 0 (DI0) habilitará el uso de la resistencia calentadora (entrada en cero impide energizar la resistencia)
- La salida digital 1 (DO1) se usará para indicar la alarma permanente de temperatura.
- La salida digital 2 (DO2) se usará para indicar la alarma pulsante de temperatura.
- La entrada digital 1 (DI1) se usará para el reconocimiento de la alarma pulsante.

7) Se utilizará la Visualización del CoDeSys para desarrollar un sistema supervisorio que con la siguiente funcionalidad:

- fijar las constantes del controlador (P,I)
- graficar la tendencia de la temperatura del agua y la salida del controlador PI

Laboratorio 2 – Primer Sesión

Primera sesión

En la primera sesión, se probará el programa del PLC eliminando errores, con los siguientes valores de constantes de controlador PI:

$$K = 9.5 \text{ \%/}^{\circ}\text{C}$$

$$T_i = 5 \text{ s}$$

En lo anterior se supone que la transferencia del PI a simular es:

$$y(t) = K \left[x(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t x(u) du \right]$$

Se usará el tiempo de ciclo del PLC por defecto de 10 ms.

Unidades del PID

- Se utilizará la siguiente convención:
 - Entrada del PID en °C con una cifra decimal
 - Salida del PID en %
 - La constante proporcional será en %/°C

Laboratorio 2 – Segunda Sesión

Segunda sesión

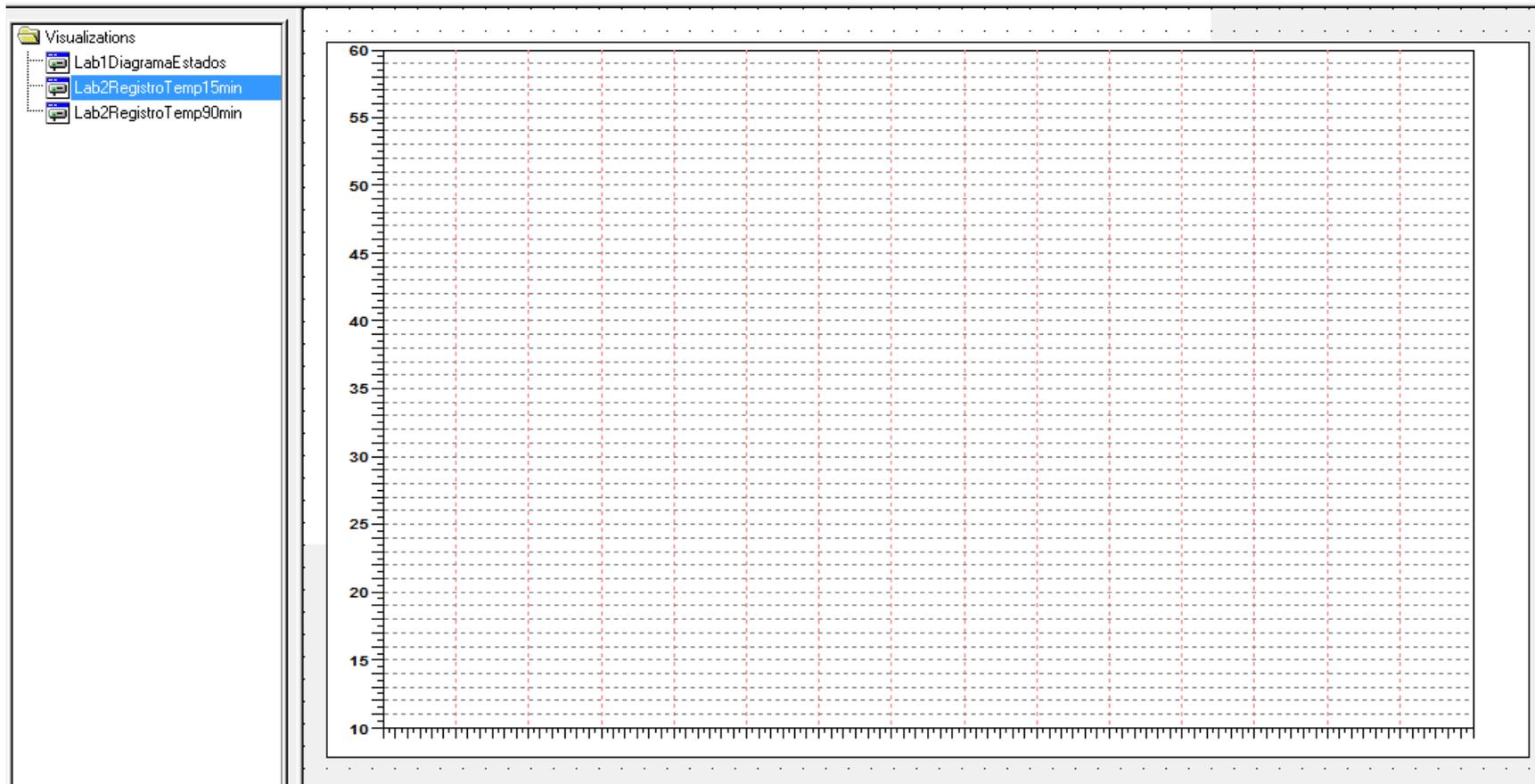
Al terminar la primera sesión se entregará a cada grupo un gráfico de la respuesta del sistema a un escalón PWM de amplitud 9.2%.

En la segunda sesión se controlará el agua a temperatura $50^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, utilizando las constantes del controlador PI calculadas a partir de las fórmulas de Ziegler-Nichols.

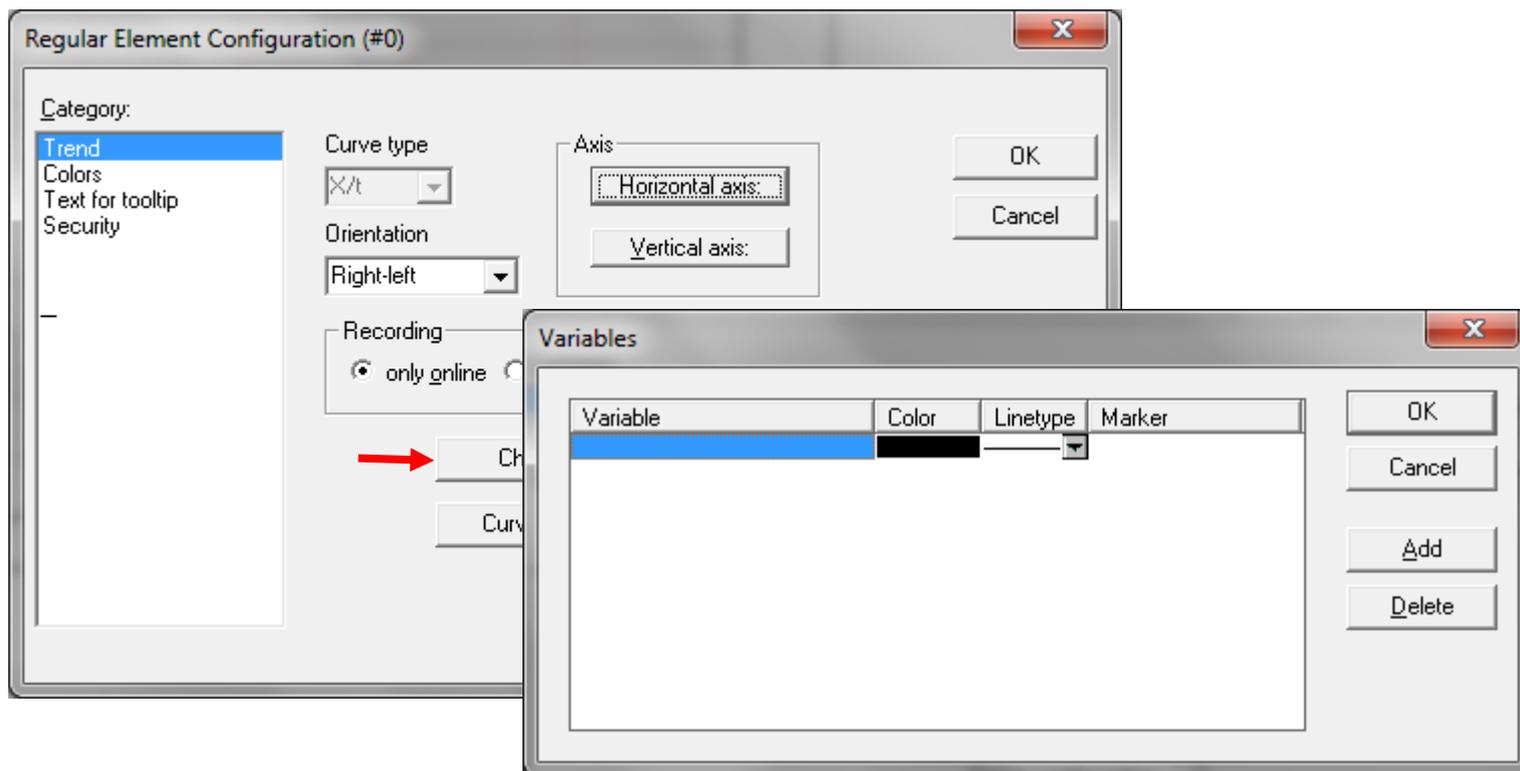
Visualización - Trend

Tendencias
↓

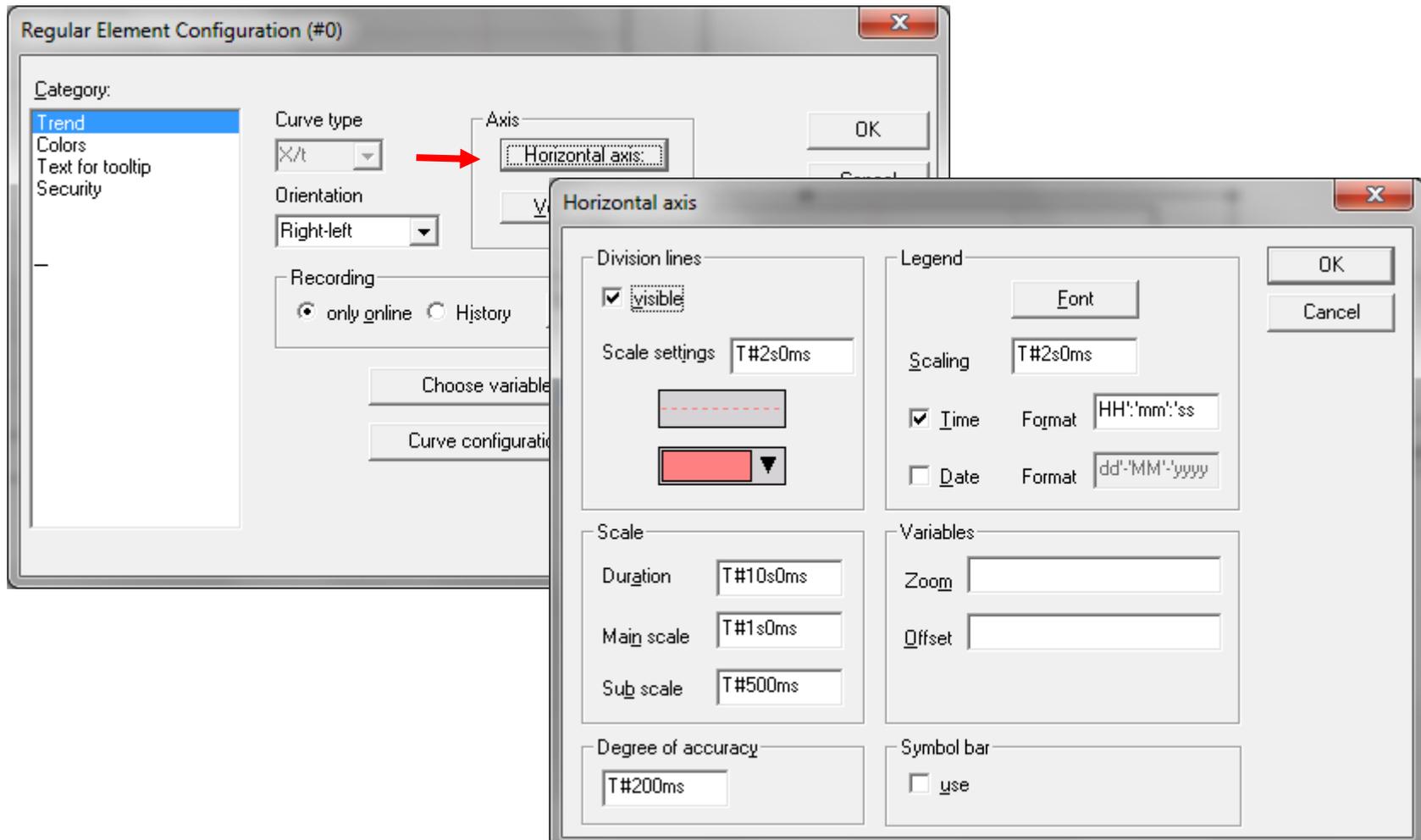
Herramientas:



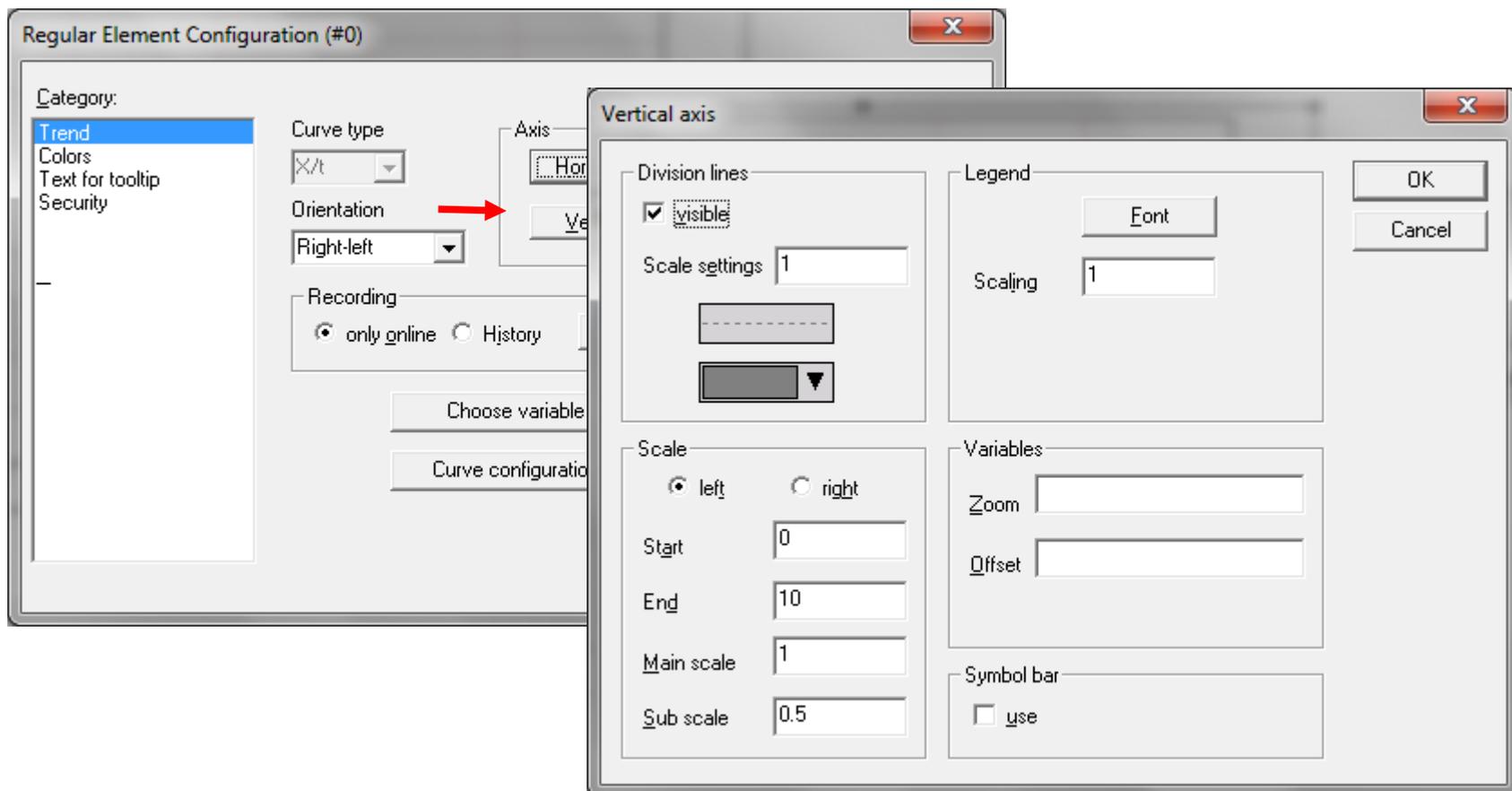
Visualización - Trend



Visualización - Trend



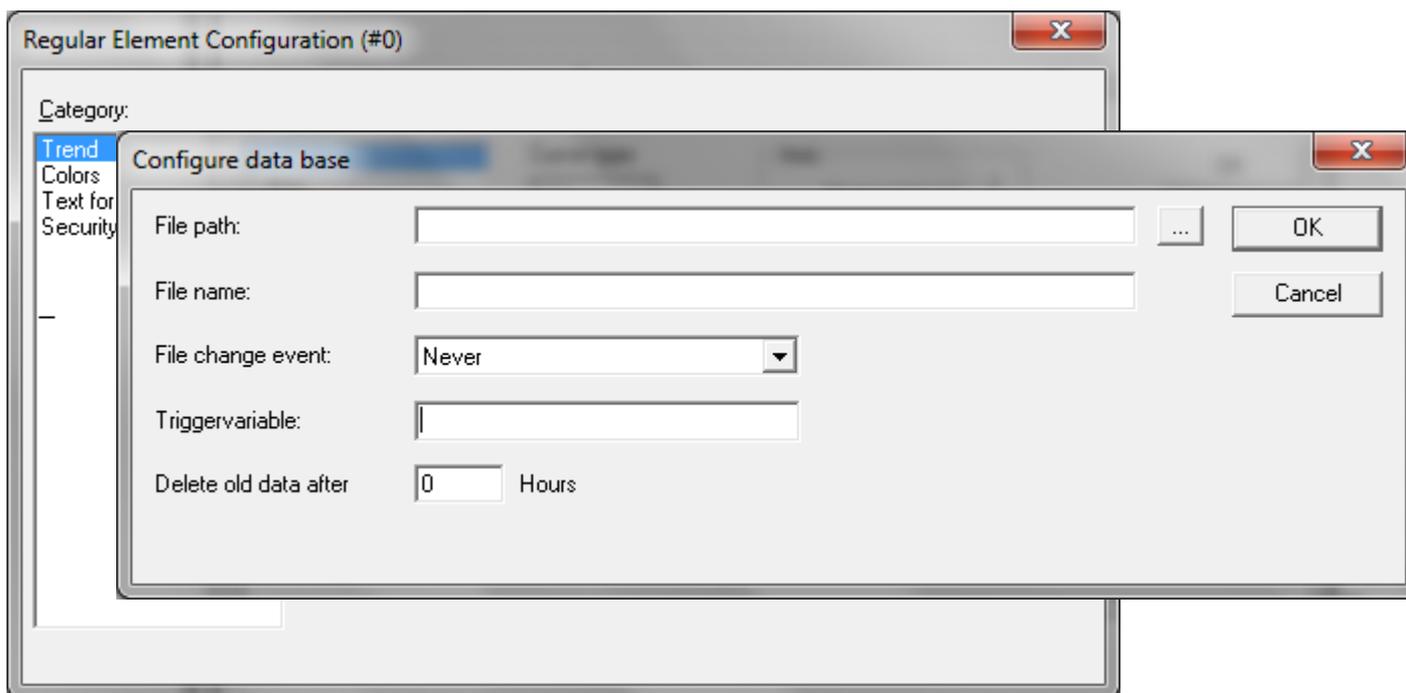
Visualización - Trend



Visualización - Trend

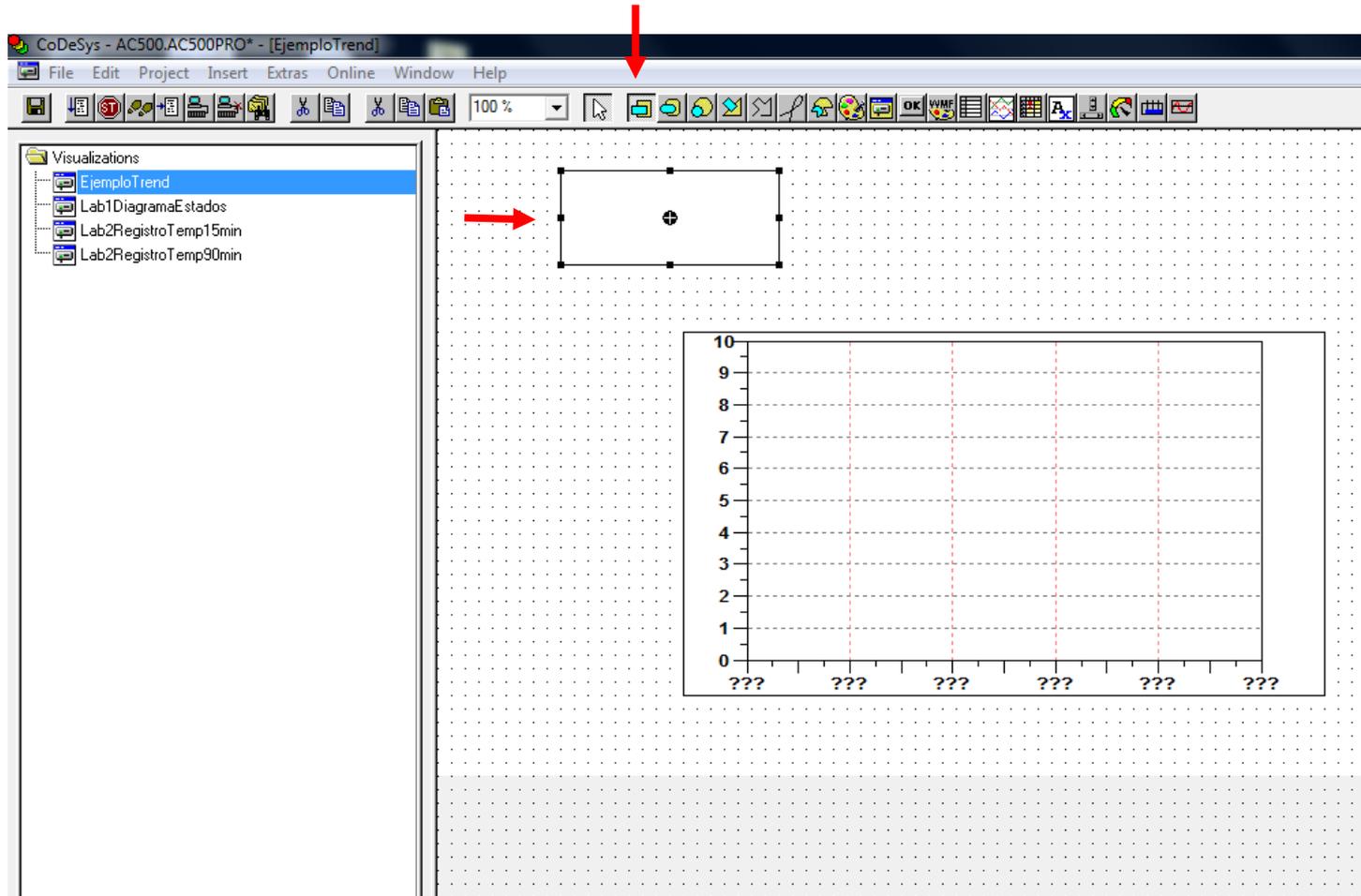
- Se pierde la tendencia al salir offline
- Comienza de cero cada vez que se va online
- Graficar SP, PV, OUT del PID

Datos Históricos

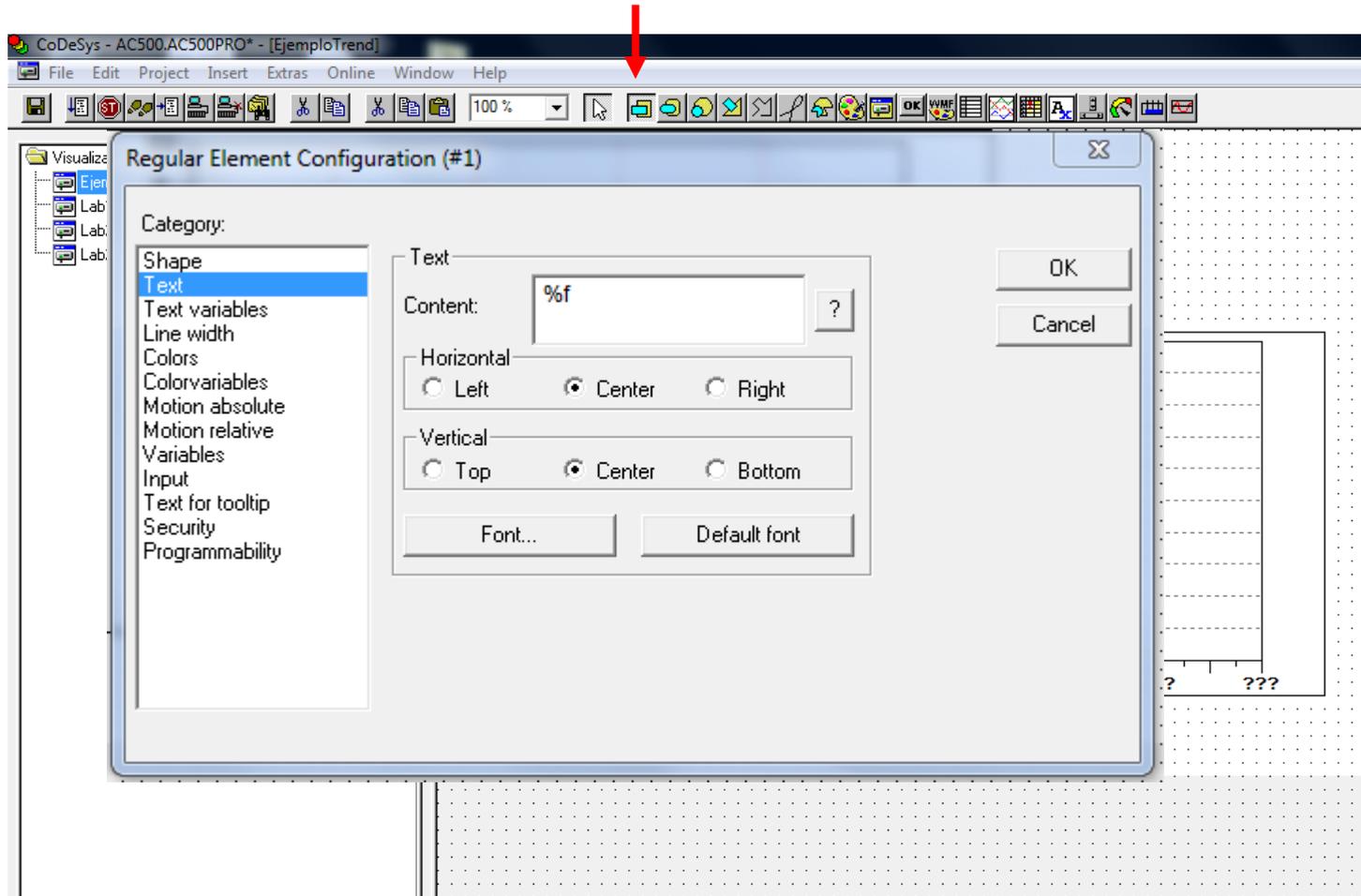


```
1438120447;78847871;28-07-2015;21:54:07;Lab2_FBD.TEMP_PV;51.400002;Lab2_FBD.TEMP_SP;25.100000;Lab2_FBD.PID_OUT;0.000000;
1438120448;78848932;28-07-2015;21:54:08;Lab2_FBD.TEMP_PV;51.400002;Lab2_FBD.TEMP_SP;25.100000;Lab2_FBD.PID_OUT;0.000000;
1438120449;78849992;28-07-2015;21:54:09;Lab2_FBD.TEMP_PV;51.400002;Lab2_FBD.TEMP_SP;25.100000;Lab2_FBD.PID_OUT;0.000000;
1438120451;78851055;28-07-2015;21:54:11;Lab2_FBD.TEMP_PV;51.400002;Lab2_FBD.TEMP_SP;25.100000;Lab2_FBD.PID_OUT;0.000000;
1438120452;78852135;28-07-2015;21:54:12;Lab2_FBD.TEMP_PV;51.400002;Lab2_FBD.TEMP_SP;25.100000;Lab2_FBD.PID_OUT;0.000000;
```

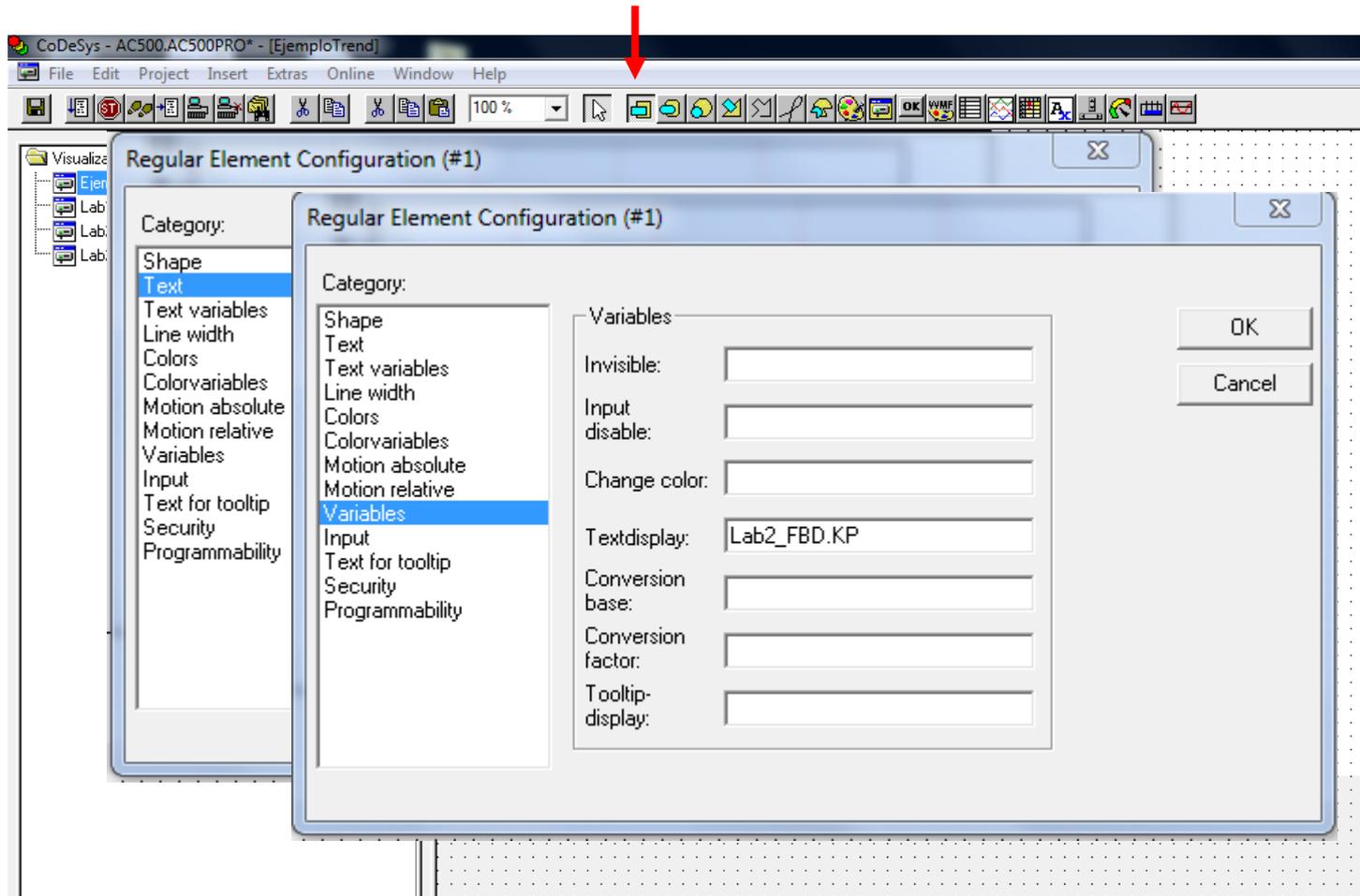
Visualización - Valores



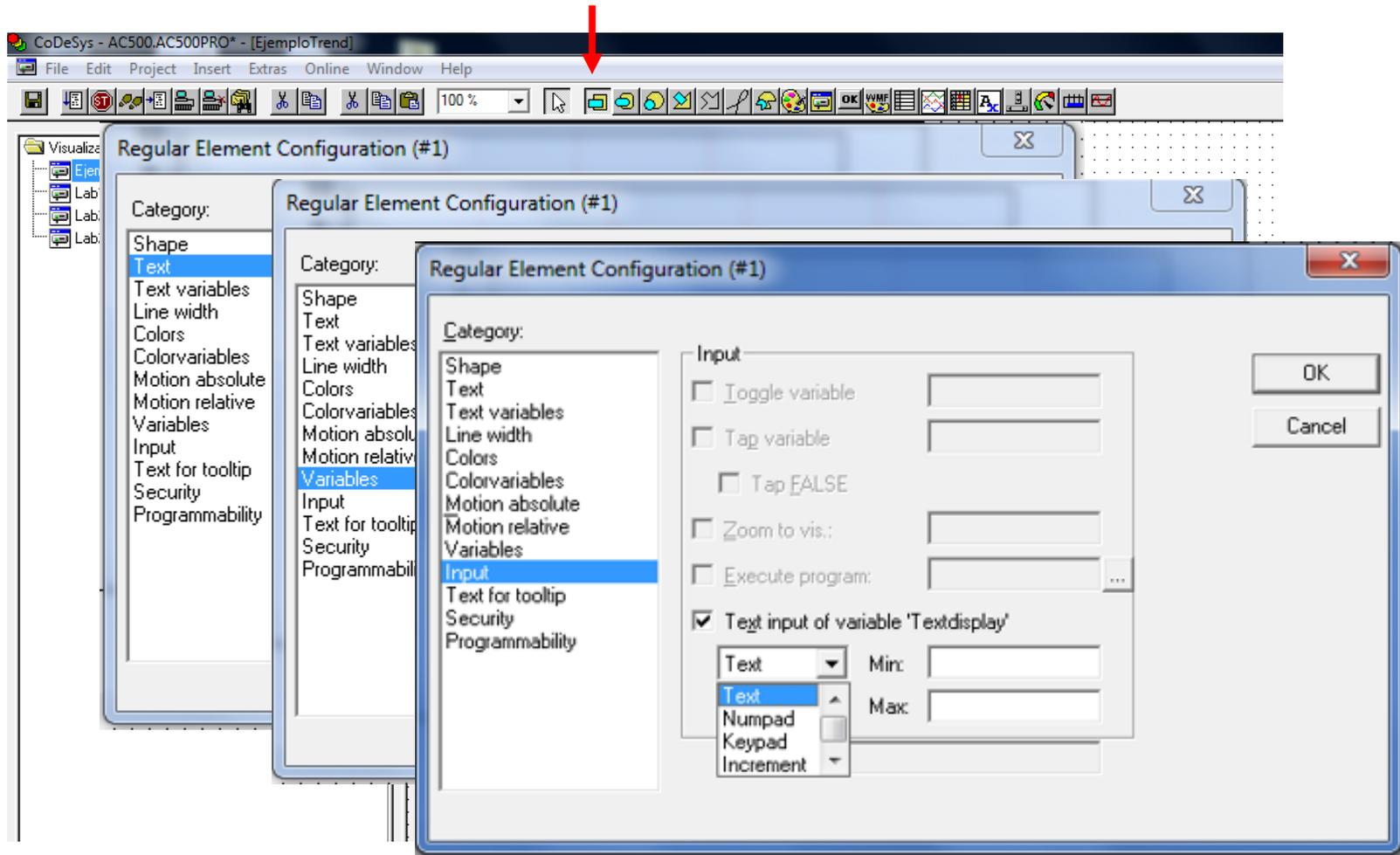
Visualización - Valores



Visualización - Valores



Visualización - Valores



Visualización – Faceplate PID

