Controladores PID industriales

INDICE DE CONCEPTOS TEÓRICOS

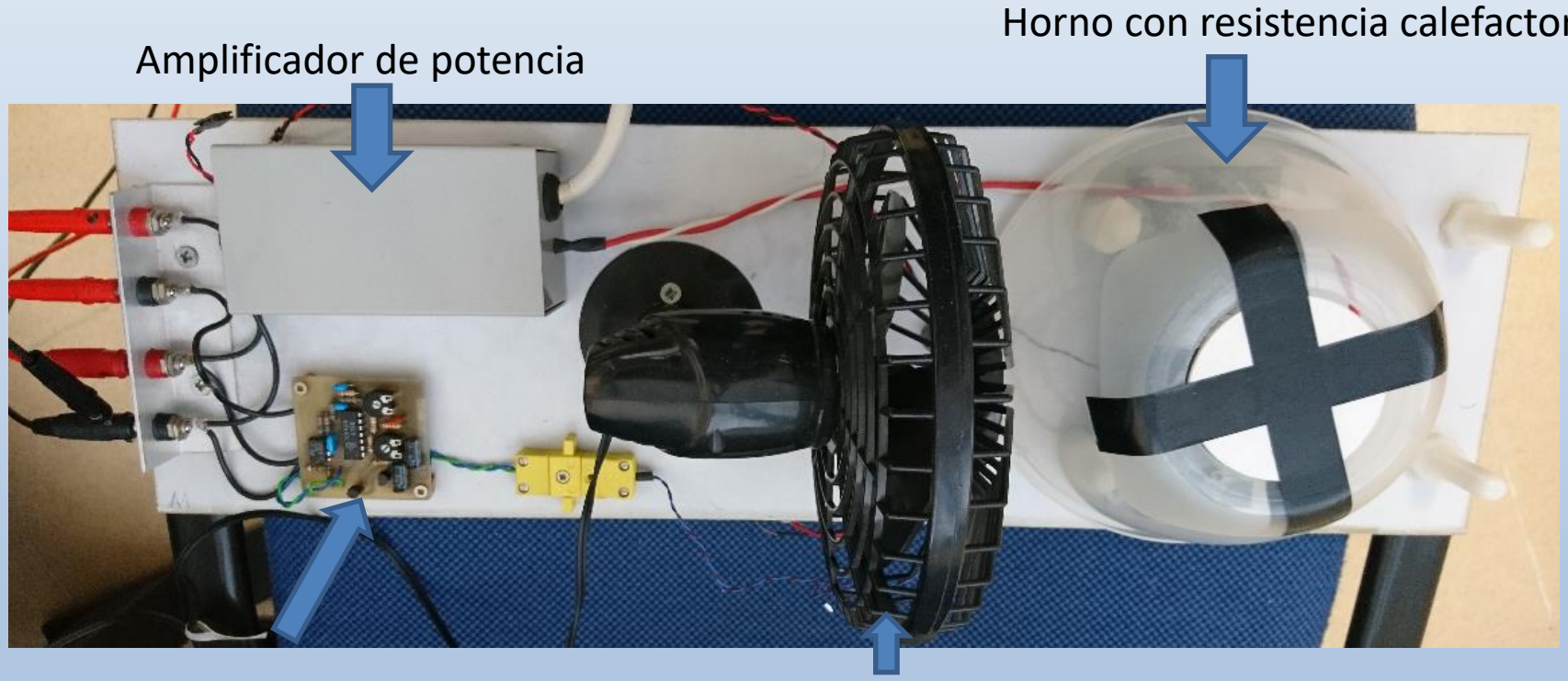
- Controladores PID industriales.
- Tipos de entradas y de salidas.
- Algoritmo PID digital.
- Periodo de muestreo.
- Filtrado antialiasing.
- Nomenclatura de variables en PID industrial (SP, PV, PB, etc.)..
- Unidades. Conversión entre unidades.
- Autoajuste de controladores PID.
- Control de temperatura inverso.
- Control de temperatura calor-frío.

INDICE DE DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

- Programación de la tarjeta Arduino para visualizar las señales.
- Control de temperatura directo con calefactor:
  - Conexión eléctrica.
  - Configuración del PID.
  - Introducción y prueba del PID calculado en la sesión anterior.
  - Autoajuste del PID.
  - Ajuste experimental, y prueba del controlador PID.
- Control de temperatura inverso con ventilador:
  - Conexión eléctrica.
  - Configuración del PID.
  - Experimento en bucle abierto con PID en modo manual.
  - Ajuste experimental del PID.
  - Introducción y prueba del PID calculado.
  - Autoajuste del PID y prueba del controlador.
- Control de temperatura frío-calor con calefactor y ventilador:
  - Conexión eléctrica.
  - Configuración del PID.
  - Autoajuste del PID y prueba del controlador.

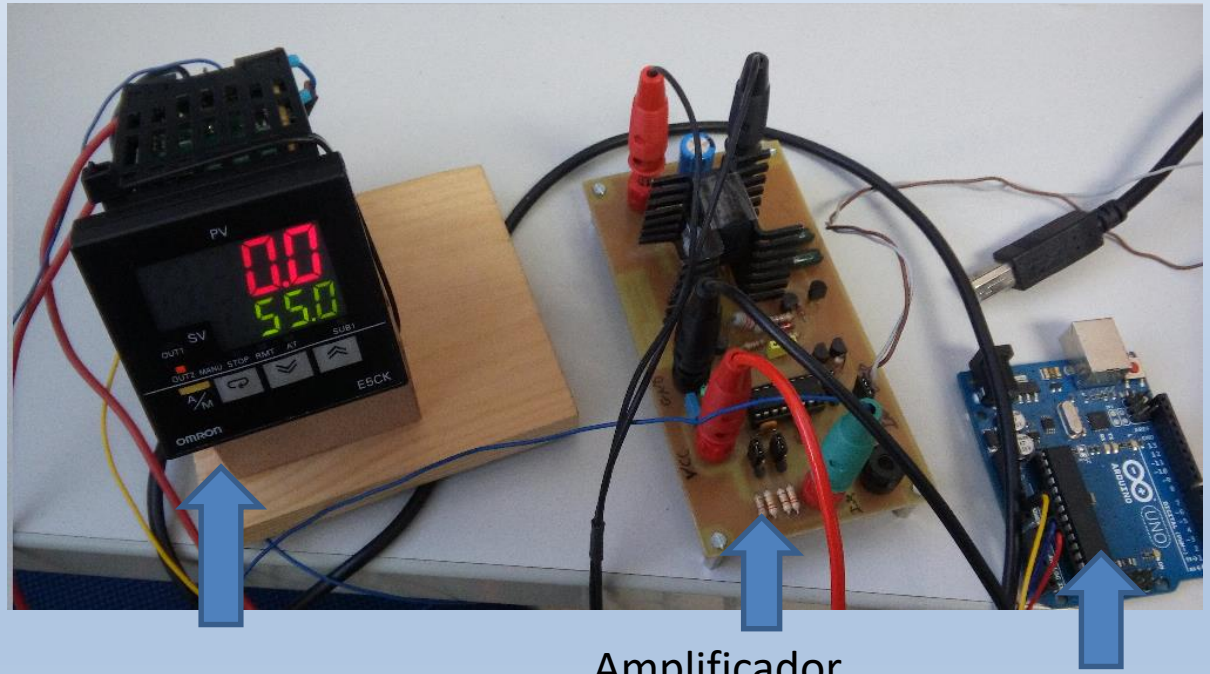
ESQUEMA DE CONEXIONES

Control de temperatura de maqueta de horno:



ESQUEMA DE CONEXIONES

Control de temperatura de maqueta de horno:



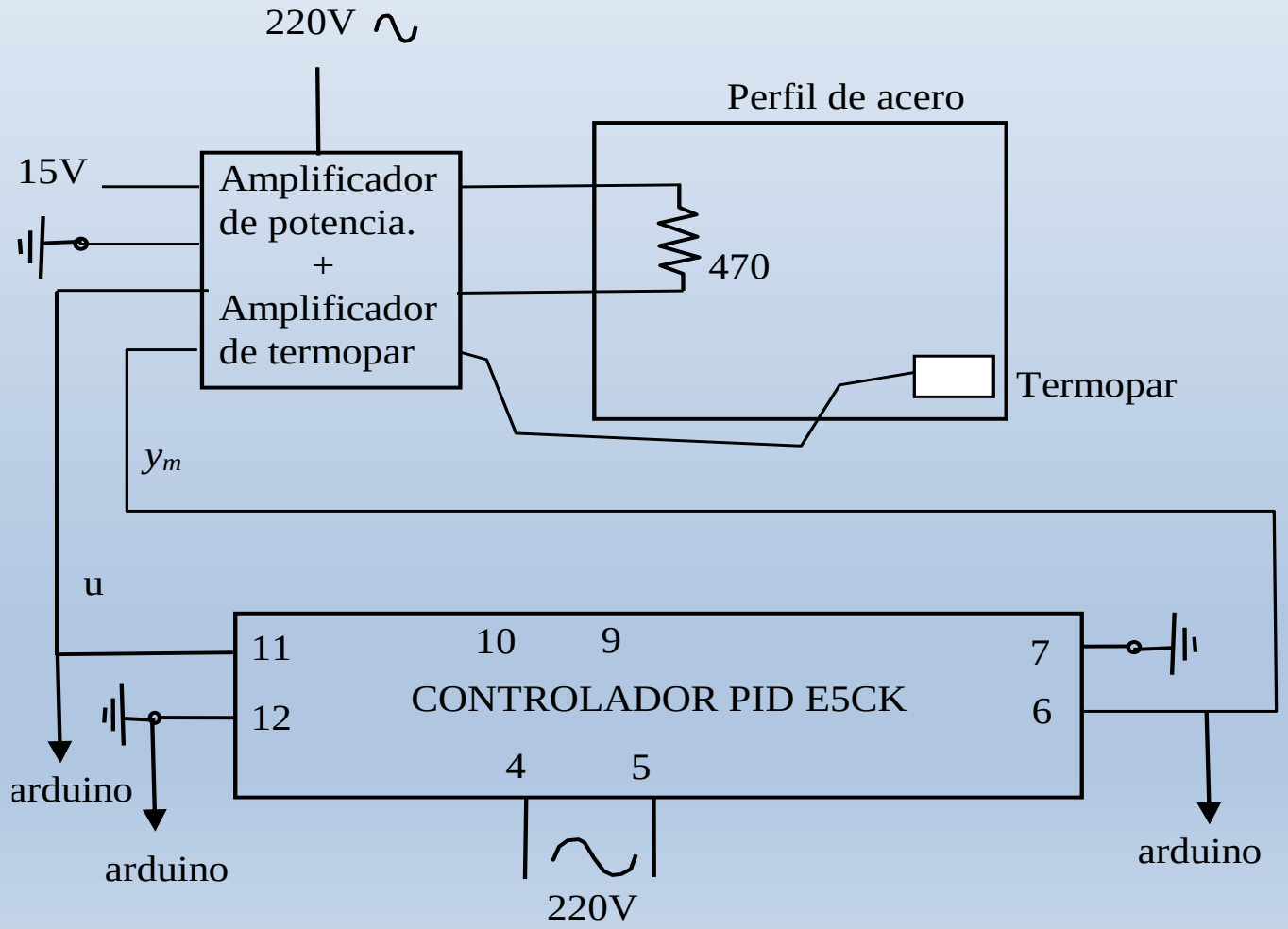
E5CK (PID)a

Amplificador de continua para ventilador

Tarjeta Arduino para visualización

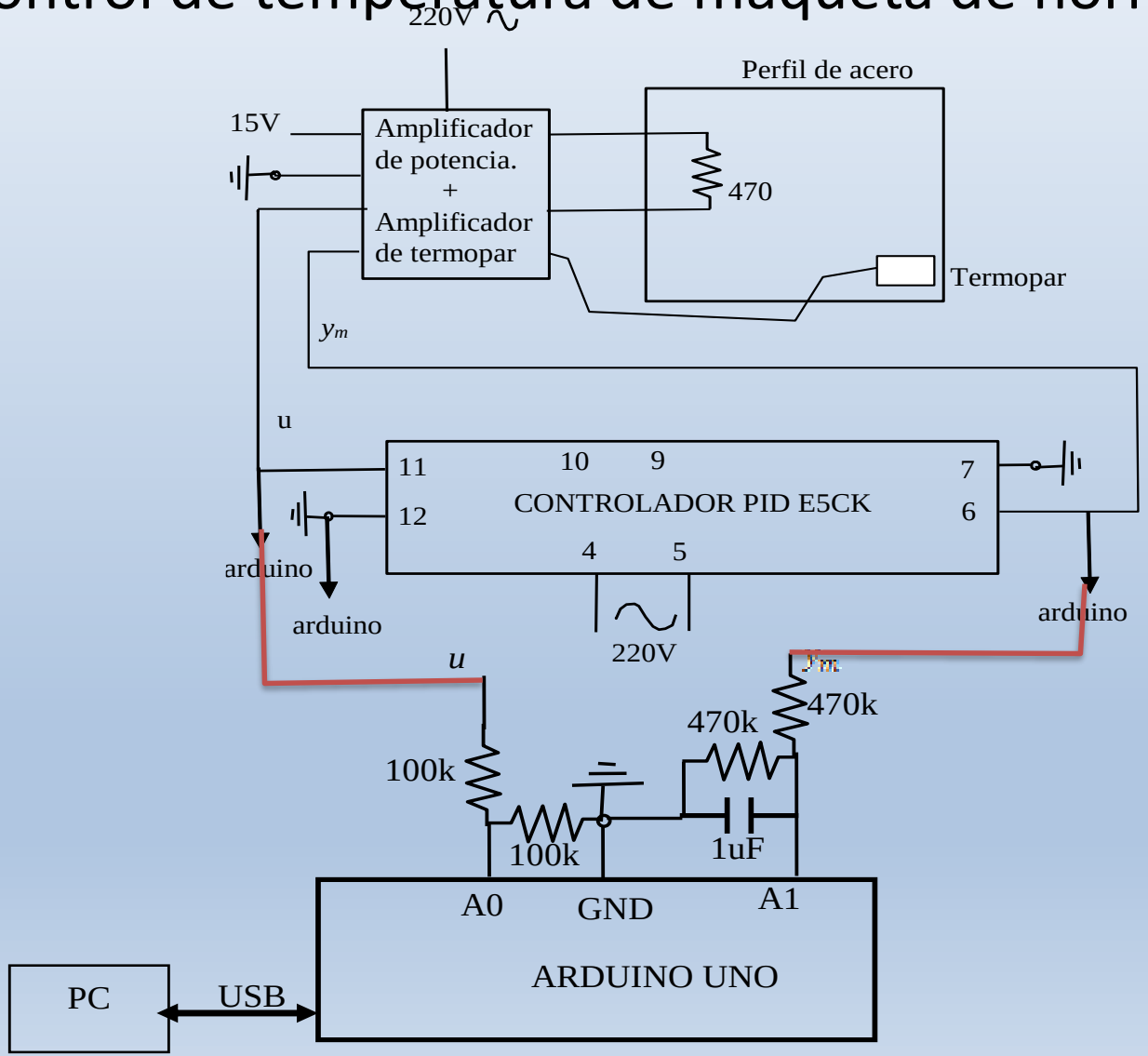
ESQUEMA DE CONEXIONES

Control de temperatura de maqueta de horno:



ESQUEMA DE CONEXIONES

Control de temperatura de maqueta de horno:



PROGRAMACIÓN DE ARDUINO

- Preparar el arduino para poder **capturar** datos a través de las **entradas analógicas**:
  - Conectar el Arduino UNO al puerto USB.
  - Abrir la aplicación Arduino, y abrir el fichero de ejemplo File/Examples/FIRMATA/SimpleAnalogFirmata.
  - En Tools/Serial Port comprobar en qué puerto serie está conectado el Arduino.
  - Programar el Arduino pulsando el botón de la flecha horizontal.

- Ejecutar la aplicación Java para poder **monitorizar** las **entradas analógicas del Arduino desde el PC**:
  - Ejecutar la aplicación **ejs_arduinoscope.jar**.
  - Introducir el puerto serie del Arduino (COMX) y pulsar "*Conecta*".
  - La ventana de gráficas muestra la temperatura y la acción de control.
  - Pulsando el botón "*Guarda_datos*", se guardan los datos de las gráficas en un fichero de texto ascii.
  - Pulsando "*Reinicia gráfica*" se borran los datos de las gráficas y éstas empiezan de nuevo.

CONFIGURACIÓN DEL PID

MENÚ Setup (Set):

- Parámetro "**in-t**" (tipo de entrada). Seleccionar el valor 21 (entrada tensión de 0 a 10V).
- Parámetro "**in-H**" (límite superior de escala). Seleccionar 1000.
- Parámetro "**in-L**" (límite inferior de escala). Seleccionar 0.
- Parámetro "**dP**“ (punto decimal). Seleccionar 1. Rango de entrada 0 a 100.0. El Display No. 1 muestra la variable controlada expresada en ºC, con 1 decimal.
- Parámetro "**öUt 1**“ (salida analógica principal del controlador PID). Seleccionar HEAT.
- Parámetro "**öUt 2**“ (salida secundaria a relé). Seleccionar AL-1 (alarma 1). Se asigna la alarma 1 al relé. Esta alarma será definida después para evitar el calentamiento excesivo de la planta.
- Parámetro "**Alt 1**“ (tipo de alarma). Seleccionar 8 (alarma por límite superior absoluto). El relé corta la tensión si la temperatura supera un valor máximo que se introducirá después.
- Parámetro "**AL 1n**“ (estado del relé de la alarma 1). Seleccionar "n-C“ (normalmente cerrado, se abrirá si se da la alarma).
- Parámetro "**örEu**“ (signo de la realimentación). Seleccionar "ör-r" (operación inversa). Así, se configura el signo negativo de la realimentación, que es lo normal.

UNIDADES DE Kp

Unidades usadas en las variables de los PIDs industriales

- En PLC en sesión anterior:
  - Salida del proceso (y) en ºC (0 a 100 ºC).
  - Acción de control (u) en V (0 a 10 V).
  - Kp en unidades V/ºC (Kp=0.6 V/ºC).

- En PID industrial:
  - Salida del proceso (y) en % (100ºC $\leftrightarrow$ 100%).
  - Acción de control (u) en % (10 V $\leftrightarrow$ 100%).
  - Kp en unidades %/%.

$$\boldsymbol{K_p} = 0.6\frac{V}{ºC} = 0.6\frac{10\%}{1\%} = \boldsymbol{6}\frac{\%}{\%}$$

CONFIGURACIÓN DEL PID

MENÚ Nivel 2 (Lv -2):

- Parámetro " **óL-H** " (acción de control máxima). Seleccionar el valor 100 (100 %).
- Parámetro " **óL-L** " (acción de control mínima). Seleccionar 0 (0%).

MENÚ Nivel 1 (Lv-1):

- Parámetro "***AL-1***" (valor de alarma). Seleccionar 90 (la alarma se dispara si se superan los 90 ºC).
- Parámetro "**P**“ (banda proporcional BP=100/Kp). Introducid el valor del PID ajustado en la sesión anterior (BP=100/(10Kp)). (20)
- Parámetro "***i*** “ (tiempo integral, Ti). Introducir el valor en segundos. (130)
- Parámetro “**d**“ (tiempo derivativo, Td). Introducir el valor en segundos. (30)

MENÚ Expansión (Eút):

- Parámetro “**ALFA**” (factor de ponderación, b=1-alfa). Fijar un valor de 0.65.

MENÚ Nivel 0 (Lv -0):

- Fijar la referencia (SP) a 45 y esperar a que se estabilice.
- Cambiar la referencia a 55 y esperar a que se estabilice.

CONTROLADORES PID INDUSTRIALES

Son dispositivos electrónicos que incluyen toda la electrónica necesaria para implementar un controlador PID y aplicarlo a un proceso. Disponen de:

- Electrónica para leer la señal del sensor.
- Microprocesador que realiza el cálculo del algoritmo de control.
- Electrónica para aplicar la acción de control sobre el actuador.

CONTROLADORES PID INDUSTRIALES

Señales de entrada de los controladores PID industriales

- Entrada de temperatura:
  - Termopar.
  - RTD (PT100).

- Entrada analógica en tensión (0-5V ó **0-10V**):
  Distancias cortas para evitar ruidos

- Entrada analógica en corriente (**4-20 mA** ó 0-20 mA):
  Distancias largas por ser más inmune a ruidos

CONTROLADORES PID INDUSTRIALES

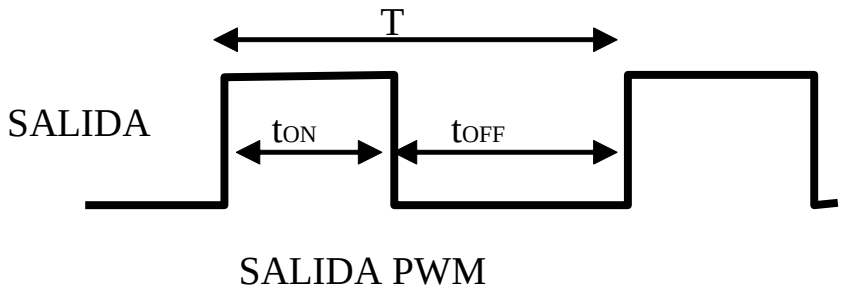
Señales de salida de los controladores PID industriales

- Salida analógica en tensión (0-5V ó **0-10V**):
  Distancias cortas para evitar ruidos

- Salida analógica en corriente (**4-20 mA** ó 0-20 mA):
  Distancias largas por ser más inmune a ruidos

- Salida discreta (todo/nada) :
  - A relé. El periodo de conmutación es elevado.
  - A transistor. El periodo puede ser más bajo.

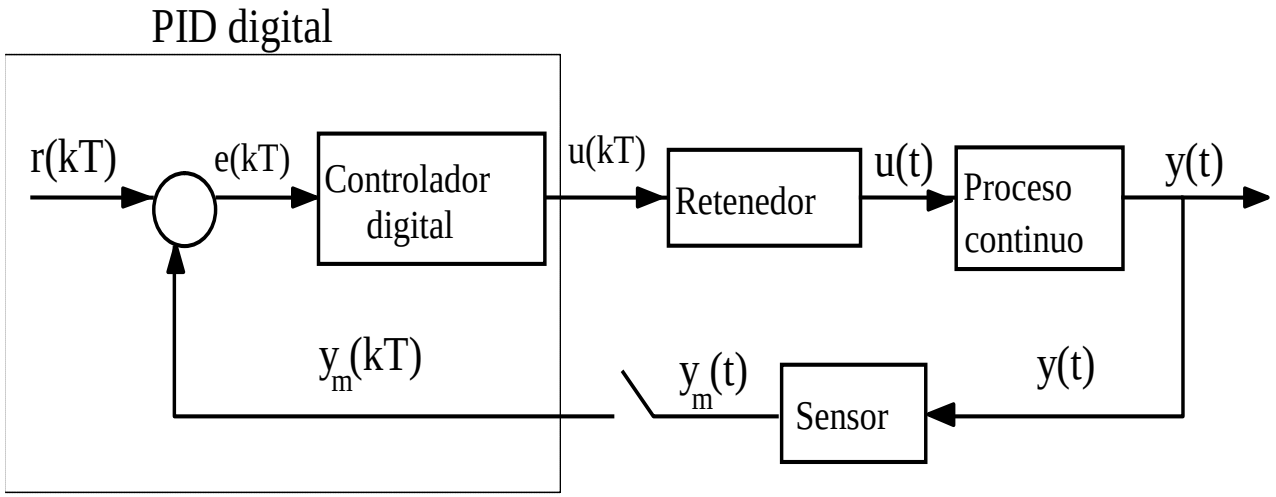
  Se genera una señal PWM

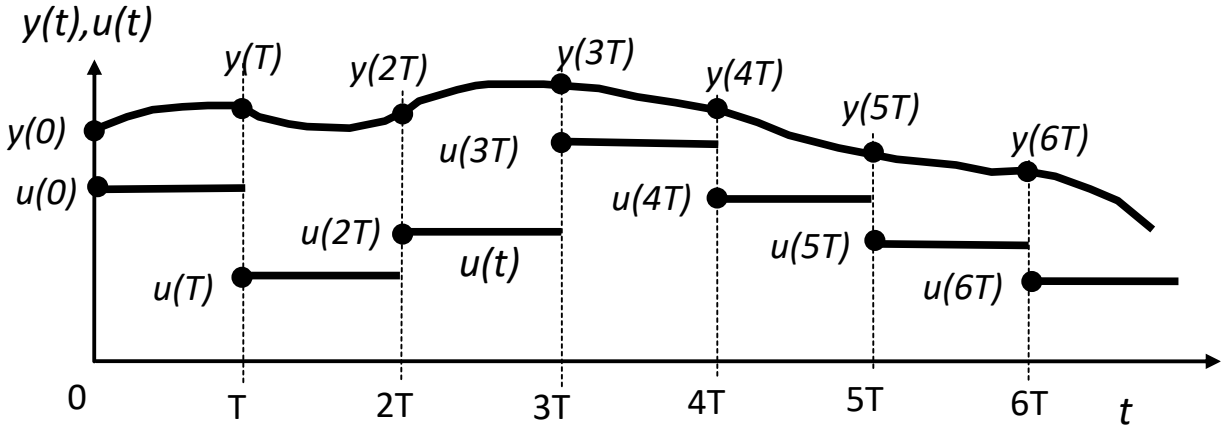


SALIDA PWM

CONTROLADORES PID INDUSTRIALES

- Algoritmo del PID digital: se implementa una rutina periódica.





CONTROLADORES PID INDUSTRIALES

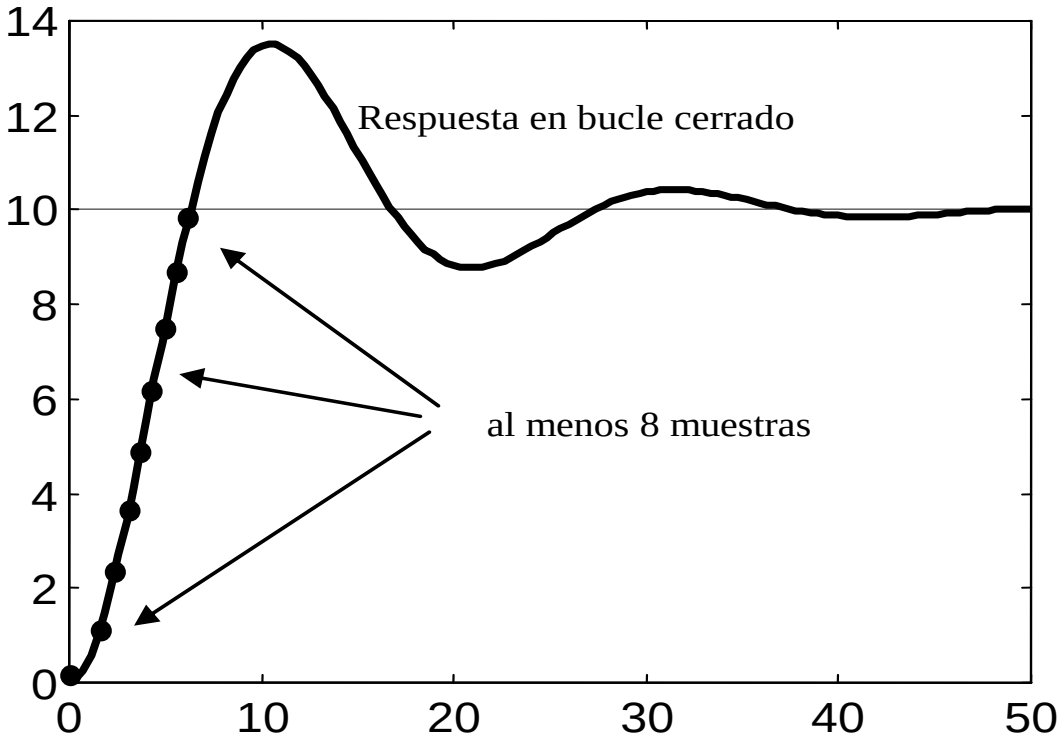
- Se ejecuta una rutina periódica (de interrupción) cada *T* segundos (o milisegundos).

1. Se lee el valor de la entrada (variable de salida del proceso).
2. Se calcula o se lee el valor de la referencia.
3. Se calcula la acción de control según el algoritmo que aproxima el controlador PID.
4. Se actualiza la salida (variable de entrada al proceso).

CONTROLADORES PID INDUSTRIALES

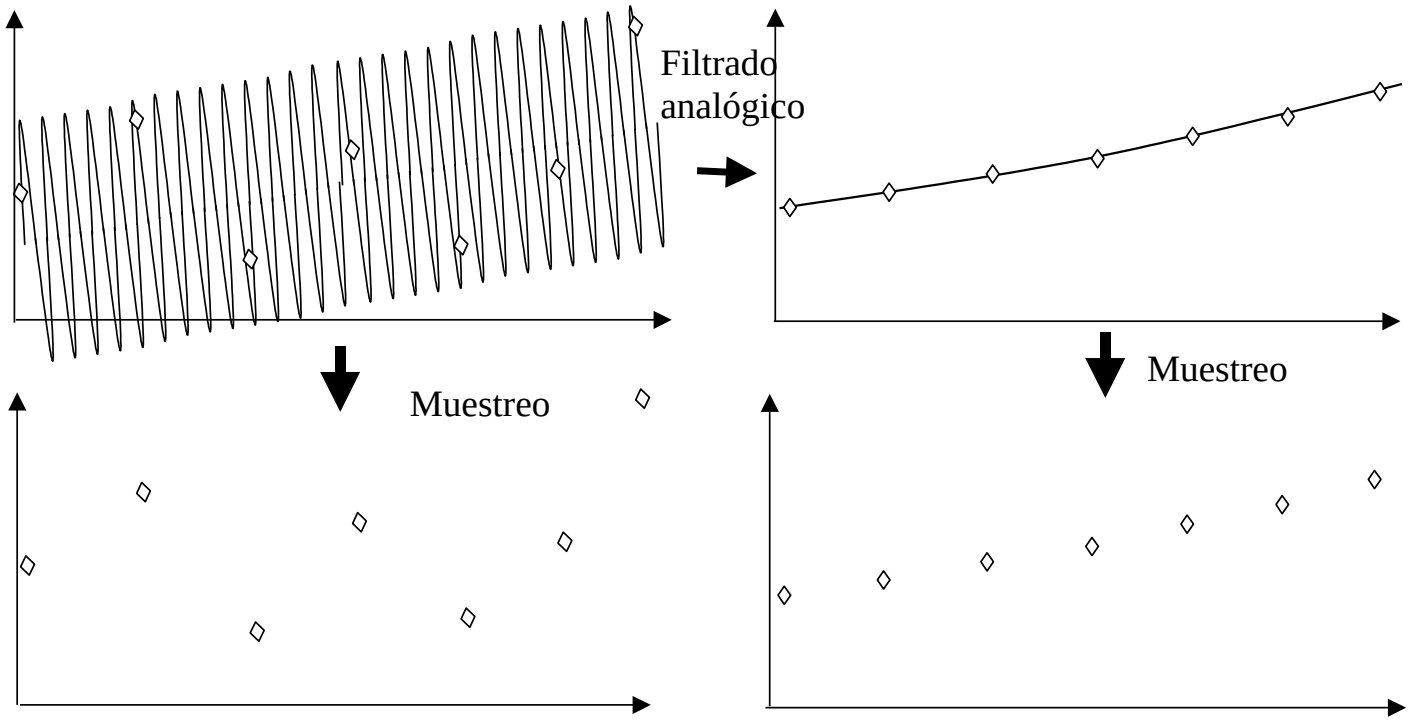
- **Elección del periodo de muestreo***:*
  T adecuado para muestrear bien la respuesta controlada.

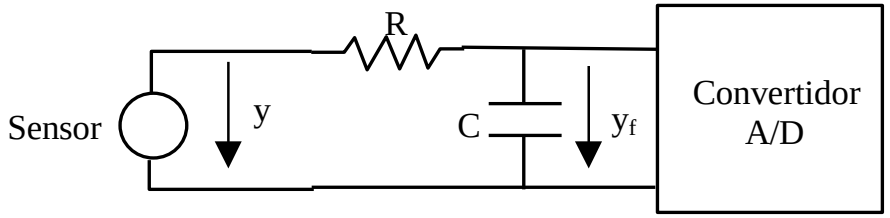
$$T < \frac{1}{8} t_r$$



CONTROLADORES PID INDUSTRIALES

- FILTRADO ANTIALIASING:
  Se necesita un filtro analógico antes de muestrear:





$$5T_{ruido} \leq RC \leq \frac{\tau_{bc}}{5}$$

AUTOAJUSTE DEL PID

Una vez esté estabilizado en 55ºC:

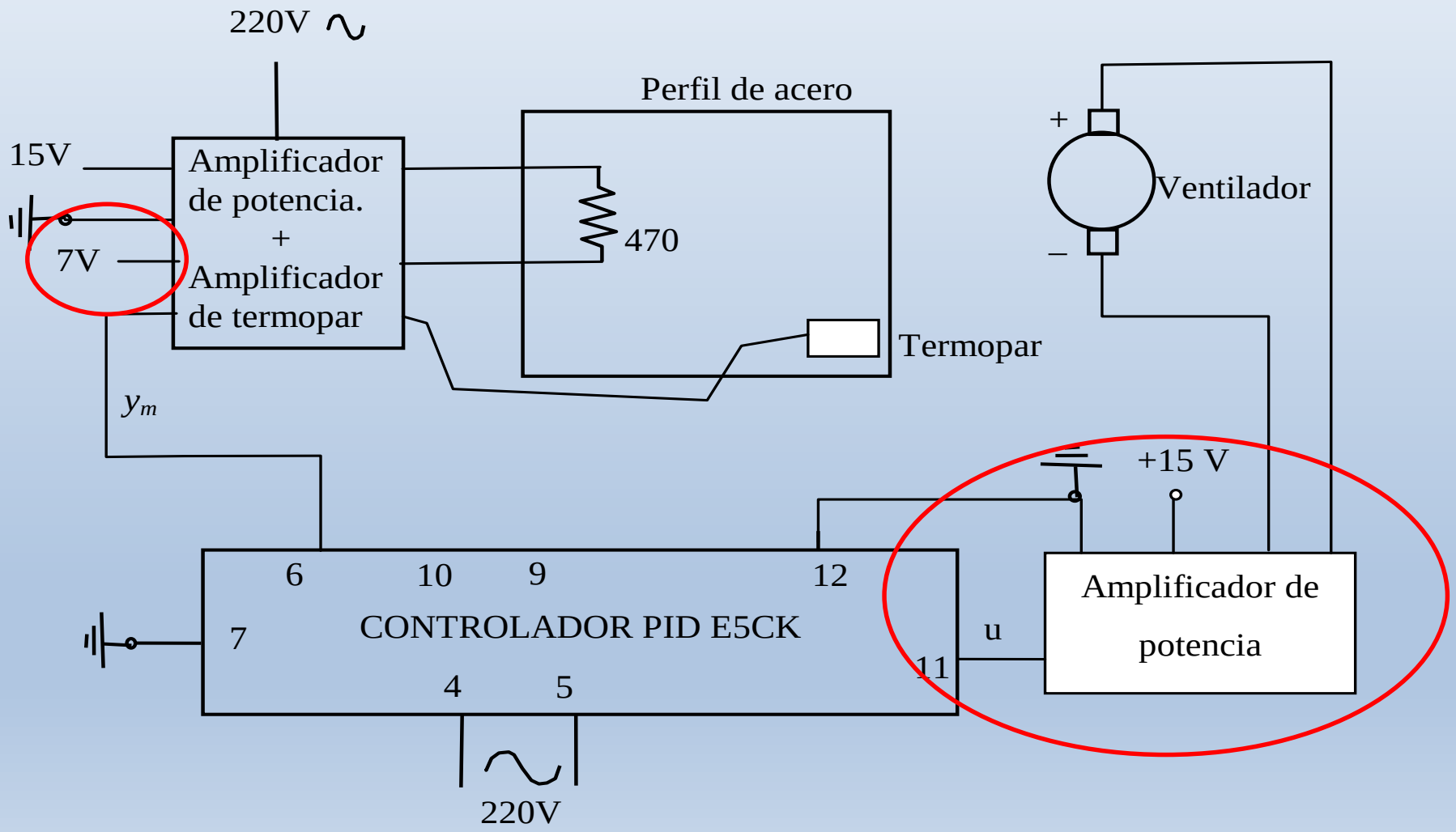
- **MENÚ Expansión (Eút):**
  - Parámetro "**At-G**" (ganancia de autoajuste). Ejegir un valor entre 0.5, 1 y 2. Cada mesa un valor distinto.

- **MENÚ Nivel 1 (Lv-1):**
  - Parámetro "***At***" (autoajuste). Cambiar de OFF a At-1. Esperar a que deje de parpadear.
  - Parámetro "**P**" (banda proporcional BP=100/Kp). Leed el valor ajustado.
  - Parámetro "***i*** " (tiempo integral, Ti). Leed el valor ajustado.
  - Parámetro "**d**" (tiempo derivativo, Td). Leed el valor ajustado.

- Guardar los datos en un fichero.

- MENÚ Nivel 0 (Lv -0).
  - Cuando se estabilice en 55º, conectar el ventilador a 5 V para comprobar respuesta ante perturbación.
- Ajustar un PID experimental con N=3 de robustez intermedia (0.5) y con robustez menor y mayor.

ESQUEMA DE CONEXIONES. CONTROL INVERSO CON VENTILADOR



CONFIGURACIÓN DEL PID. CONTROL INVERSO CON VENTILADOR

MENÚ Setup (Set):

- Parámetro "**örEu**“ (signo de la realimentación). Seleccionar "**ör-d**" (operación directa). Así, se configura el signo **positivo** de la realimentación, ya que al aumentar ***u***, disminuye ***y***.

MENÚ Nivel 0 (Lv -0)

EXPERIMENTO BUCLE ABIERTO. CONTROL INVERSO CON VENTILADOR

MENÚ Nivel 0 (Lv -0):

- **Ejecutar la aplicación Java de visualización se señales a través de Arduino (si no estaba en marcha) o reiniciar la gráfica.**
- **Pulsar el botón A/M para pasar a modo manual.**
- **Fijar la acción de control a 30 (30%=3 V), y esperar a que se estabilice la temperatura.**
- Una vez estabilizada la temperatura, cambiar la acción de control a 60 (60%= 6 V), y esperar a que se estabilice.
- Guardar los datos en un fichero (datos_vent.txt), y ajustar un controlador PID de robustez intermedia con N=3, mediante la aplicación Java de ajuste experimental.
- Volver a pulsar el botón A/M para pasar a modo automático.

CONTROLADORES PID INDUSTRIALES

Nomenclatura de variables en PID industriales

• Variable Manipulada (**MV**), o Controller Output (CO). Se llama así a la acción de control (*u*).

•Variable de Proceso (**PV**). Se llama así a la salida del proceso que se está controlando (*y*).

•Set Point (**SP**), ó Setpoint Value (SV). Se llama así a la consigna o referencia (*r*).

•Banda Proporcional (**PB**). Es una forma alternativa de definir la ganancia proporcional, ya que $PB = \frac{100}{K_P}$, es decir, $K_P = \frac{100}{PB}$.

BP=valor de error en porcentaje para que la acción de control sea del 100%

CONTROLADORES PID INDUSTRIALES

Estructuras alternativas en PID industriales

- **<u>Estándar ISA</u>.** Es la estructura más habitual:

$$C(s) = K_p(1 + T_d s + \frac{1}{T_i s})$$

Los parámetros son: K_p, T_d, T_i

- Estructura en paralelo.

$$C(s) = k_p + k_d s + \frac{k_i}{s}$$

Los parámetros son: $k_p = K_p$, $k_d = K_p * T_d$, $k_i = K_p / T_i$

CONTROLADORES PID INDUSTRIALES

Estructuras alternativas en PID industriales

- Estructura en serie. Es la menos habitual

$$C(s) = K'_p(1 + T'_d s)(1 + \frac{1}{T'_i s})$$

Los parámetros son: *K'p, T'd, T'i*

$$K'_p(1 + T'_d s)(1 + \frac{1}{T'_i s}) = K_p(1 + T_d s + \frac{1}{T_i s})$$

$$\Rightarrow \quad \begin{cases} T'_d = \dfrac{T_i - \sqrt{T_i^2 - 4T_d T_i}}{2} \quad ; \quad T'_i = \dfrac{T_i + \sqrt{T_i^2 - 4T_d T_i}}{2} \quad ; \quad K'_p = \dfrac{K_p}{T_i} \cdot \dfrac{T_i + \sqrt{T_i^2 - 4T_d T_i}}{2} \end{cases}$$

CONTROLADORES PID INDUSTRIALES

Unidades usadas en las variables de los PIDs industriales

- **Unidades de porcentaje**: 0% al 100%.
  - Entrada de 0 a 10 voltios:
    - 0 volt → 0%
    - 5 volt → 50%
    - 10 volt →100%
  - Entrada de 4 a 20 mA:
    - 4 mA → 0%
    - 12 mA → 50%
    - 20 mA →100%
  - Salida de 4 a 20 mA:
    - 50% → 12 mA
    - 25% → 8 mA
    - 75% → 16 mA

CONTROLADORES PID INDUSTRIALES

Unidades usadas en las variables de los PIDs industriales

- **Unidades de ingeniería** (bares, ºC, etc)
  - Entrada de 0 a 10 voltios (=1 a 20 bares):
    - 0 volt → 1 bar
    - 5 volt → 10.5 bar
    - 10 volt →20 bar
  - Entrada de 4 a 20 mA (= 0 a 200 ºC):
    - 4 mA → 0ºC
    - 12 mA → 100ºC
    - 20 mA →200 ºC

!!!!!!! La ganancia Kp debe estar calculada en las unidades que utiliza internamente el PID industrial ¡¡¡¡¡¡

EXPERIMENTO BUCLE ABIERTO. CONTROL INVERSO CON VENTILADOR

MENÚ Nivel 0 (Lv -0):

- Ejecutar la aplicación Java de visualización se señales a través de Arduino (si no estaba en marcha) o reiniciar la gráfica.
- Pulsar el botón A/M para pasar a modo manual.
- Fijar la acción de control a 30 (30%=3 V), y esperar a que se estabilice la temperatura.
- **Una vez estabilizada la temperatura, cambiar la acción de control a 60 (60%= 6 V), y esperar a que se estabilice.**
- Guardar los datos en un fichero (datos_vent.txt), y ajustar un controlador PID de robustez intermedia con N=3, mediante la aplicación Java de ajuste experimental.
- Volver a pulsar el botón A/M para pasar a modo automático.

CONTROLADORES PID INDUSTRIALES

Unidades usadas en las variables de los PIDs industriales

<u>Ejemplo 0. Control de nivel.</u>

Sensor: 0-50 cm $\Rightarrow$ 0- 10V

Actuador: 0-10V $\Rightarrow$ 0- 10V al amplificador de la bomba

En algoritmo PID del PLC :

- **Señal de salida del proceso y referencia en cm: 0-50 cm**
- **Acción de control en V: 0-10 V**
- **Ganancia proporcional en V/cm: Kp=1.4 V/cm**

En PID E5CK de Omron:

- **Señal de salida del proceso y referencia en %: 0-100%**
- **Acción de control en %: 0-100%**
- **Ganancia en $\frac{\%}{\%}$: Kp=1.4 $\frac{V}{cm}\frac{\frac{100\%}{10V}}{\frac{100\%}{50cm}}$ =1.4·5 $\frac{\%}{\%}$ = 7 $\frac{\%}{\%}$ → BP= $\frac{100}{7} = 14.3$**

CONTROLADORES PID INDUSTRIALES

Unidades usadas en las variables de los PIDs industriales

<u>Ejemplo 0. Control de nivel.</u>

Sensor: 0-50 cm $\Rightarrow$ 0- 10V

Actuador: 0-10V $\Rightarrow$ 0- 10V al amplificador de la bomba

En PID E5CK de Omron:

- **Señal de salida del proceso y referencia en %: 0-100%**
- **Acción de control en %: 0-100%**
- **Banda proporcional : BP=25 → Kp= $\frac{100}{25} = 4\,\frac{\%}{\%}$**

En algoritmo PID del PLC :

- **Señal de salida del proceso y referencia en cm: 0-50 cm**
- **Acción de control en V: 0-10 V**
- **Ganancia en $\frac{V}{cm}$: Kp=4 $\frac{\%}{\%}\frac{\frac{10V}{100\%}}{\frac{50cm}{100\%}}$ =4/5 $\frac{V}{cm}$ = 0.8 $\frac{V}{cm}$**

CONTROLADORES PID INDUSTRIALES

Unidades usadas en las variables de los PIDs industriales

Ejemplo 1. Control de temperatura.

Sensor: 0-100ºC ⇒ 0- 10V

Actuador: 0-10V ⇒ 0-100 W en resistencia

$$\text{Kp} = 0.6\ \frac{V}{^{o}C}$$

En PID industrial:

- **Entrada PID industrial: 0-10V que corresponde a 0-100ºC. Se escala 0-10V ⇒ 0-100 ºC ⇒ 0-100 % .**
- **Salida PID industrial: 0-10V que corresponde con 0-100 W en resistencia. Se escala 0-100% ⇒ 0-10V.**
- **En unidades de % del PID:**

$$Kp = 0.6\ \frac{V}{^{o}C}\ \frac{100\%/10V}{100\%/100^{o}C} = 0.6*10 = 6\ \frac{\%}{\%} \rightarrow \text{BP} = \frac{100}{6} = 16.7$$

CONTROLADORES PID INDUSTRIALES

Unidades usadas en las variables de los PIDs industriales

Ejemplo 2. Control de temperatura.

Sensor: 0-500ºC ⇒ 4- 20 mA

Actuador: 0-5 V ⇒ 0-300 W en resistencia

$$\text{Kp} = 12\ \frac{W}{^{o}C}$$

En PID industrial:

- **Entrada PID industrial: 4-20mA que corresponde a 0-500ºC. Se escala internamente: 4-20mA ⇒ 0-100%.**
- **Salida PID industrial (con divisor resistivo): 0-10V que corresponde con 0-300 W en resistencia. Se escala 0-100% ⇒ 0-10V ⇒ 0- 300W**
- **En unidades del PID %/% :**

$$Kp = 12\ \frac{W}{^{o}C}\frac{^{100\%}/_{300W}}{^{100\%}/_{500^{o}C}} = 12*5/3 = 20\ \frac{\%}{\%} \rightarrow \text{BP} = \frac{100}{20} = 5$$

CONTROLADORES PID INDUSTRIALES

Unidades usadas en las variables de los PIDs industriales

Ejemplo 3. Control de presión.

Sensor: 1-10 bar ⇒ 1- 5 V

Actuador: 0-10 V ⇒ 0-12 V en electroválvula

$$\text{Kp} = 2.4\ \frac{V_valv}{bar}$$

En PID industrial:

- **Entrada PID industrial: (1-5V) que corresponde a (1-10) bar. Se escala (1-5V) ⇒ (1-10) bar ⇒ 0-100% .**
- **Salida PID industrial : 0-10V que corresponde con 0-12V en electroválvula. Se escala 0-100% ⇒ 0-12V**
- **En unidades del PID %/%:**

$$Kp = 2.4\ \frac{V_valv}{bar}\ \frac{{}^{100\%}/_{12\ V_valv}}{{}^{100\%}/_{9\ bar}} = 2.4 * 0.75 = 1.8\ \frac{\%}{\%}$$ → **BP=** $\frac{100}{1.8} = 55.6$

EXPERIMENTO BUCLE ABIERTO. CONTROL INVERSO CON VENTILADOR

MENÚ Nivel 0 (Lv -0):

- Ejecutar la aplicación Java de visualización se señales a través de Arduino (si no estaba en marcha) o reiniciar la gráfica.
- Pulsar el botón A/M para pasar a modo manual.
- Fijar la acción de control a 30 (30%=3 V), y esperar a que se estabilice la temperatura.
- Una vez estabilizada la temperatura, cambiar la acción de control a 60 (60%= 6 V), y esperar a que se estabilice.
- **Guardar los datos en un fichero (datos_vent.txt), y ajustar un controlador PID de robustez intermedia con N=3, mediante la aplicación Java de ajuste experimental.**
- **Volver a pulsar el botón A/M para pasar a modo automático.**

CONFIGURACIÓN DEL PID

MENÚ Nivel 1 (Lv-1):

- Parámetro "**P**“ (banda proporcional BP=100/Kp). Introducid el valor del PID ajustado en la sección enterior (BP=100/(10Kp)).
- Parámetro "***i*** “ (tiempo integral, Ti). Introducir el valor en segundos.
- Parámetro “**d**“ (tiempo derivativo, Td). Introducir el valor en segundos.

MENÚ Nivel 0 (Lv -0):

- **Fijar la referencia (SP) a 55 y esperar a que se estabilice.**
- Cambiar la referencia a 50 y esperar a que se estabilice.

CONTROLADORES PID INDUSTRIALES

CONTROLADOR E5CK de OMRON

Algoritmo PID: Estándar ISA. $$C(s) = K_p(1 + T_d s + \frac{1}{T_i s})$$

- Ganancia proporcional: se introduce como BP=100/Kp (unidades: %/%).
- Tiempo integral: se introduce Ti en segundos
- Tiempo derivativo: se introduce Td en segundos
- Ponderación de la referencia:
  c=0 , b=1-alfa, configurable en menú expansión
- **N=3**: filtro de derivador fijo (no modificable)
- Periodo de muestreo: 100 ms para entrada analógica, 250 ms para entrada de temperatura

CONTROLADORES PID INDUSTRIALES

CONTROLADOR E5CK de OMRON

Otras características:

- Coeficiente de frío: Kp para frío distinta de Kp para calor en control calor-frío.
- Banda muerta en control calor-frío.
- Valor de reset manual.
- Periodo de control: periodo de PWM cuando la acción de control es conmutada.
- Rampa a SP: pendiente máxima de cambio de la referencia.
- Límite de cambio de MV: pendiente máxima de acción de control.
- Dos modos de autoajuste: At-1 (la u cambia el 40% del rango) y At-2 (la u cambia el 100% del rango).
- Filtro digital de entrada.
- Comunicación por puerto serie RS485: funcionamiento en remoto o local.

CONTROLADORES PID INDUSTRIALES

CONTROLADOR E5CK de OMRON

Tipos de entrada:

Termorresistencia de platino

Entrada (seleccionable por interruptor)		JPt100	Pt100
Rango	°C	–199.9 a 650.0	–199.9 a 650.0
	°F	–199.9 a 999.9	–199.9 a 999.9
Código de tipo de entrada		0	1

Termopar

Entrada (seleccionable por interruptor) (ver nota)		K1	K2	J1	J2	T	E	L1	L2	U	N	R	S	B	W	PLII
Rango	°C	–200 a 1,300	0.0 a 500.0	–100 a 850	0.0 a 400.0	–199.9 a 400.0	0 a 600	–100 a 850	0.0 a 400.0	–199.9 a 400.0	–200 a 1,300	0 a 1,700	0 a 1,700	100 a 1,800	0 a 2,300	0 a 1,300
	°F	–300 a 2,300	0.0 a 900.0	–100 a 1,500	0.0 a 750.0	–199.9 a 700.0	0 a 1,100	–100 a 1,500	0.0 a 750.0	–199.9 a 700.0	–300 a 2,300	0 a 3,000	0 a 3,000	300 a 3,200	0 a 4,100	0 a 2,300
Código de tipo de entrada		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

Nota: La selección inicial es 2 (K1).

Corriente/Tensión

Entrada (seleccionable por interruptor)	Entrada de corriente		Entrada de tensión		
	4 a 20 mA	0 a 20 mA	1 a 5 V	0 a 5 V	0 a 10 V
Rango	Uno de los siguientes rangos dependiendo de los resultados del proceso escalar –1999 a 9999 –199.9 a 999.9 –19.99 a 99.99 –1.999 a 9.999				
Código de tipo de entrada	17	18	19	20	21

CONTROLADORES PID INDUSTRIALES

CONTROLADOR E5CK de OMRON

Modelos y tipos de salidas:

Tabla de selección

Descripción	Modelo	Especificaciones
Modelo	E5CK-AA1-500 100–240AC	Controlador básico (100–240Vc.a.) con cubierta de terminales
	E5CK-AA1-500 24AC/DC	Controlador básico (24Vc.a./c.c.) con cubierta de terminales

Nota: En cada controlador se puede montar una unidad de salida y una unidad opcional.

Descripción	Modelo	Especificaciones
Unidad de salida	E53-R4R4	Relé/Relé
	E53-Q4R4	Tensión (NPN)/Relé
	E53-Q4HR4	Tensión (PNP)/Relé
	E53-C4R4	Analógica (4 a 20 mA)/Relé
	E53-C4DR4	Analógica (0 a 20 mA)/Relé
	E53-V44R4	Analógica (0 a 10 V)/Relé
	E53-Q4Q4	Tensión (NPN)/Tensión (NPN)
	E53-Q4HQ4H	Tensión (PNP)/Tensión (PNP)

Descripción	Modelo	Especificaciones
Unidad opcional	E53-CK01	Comunicaciones RS-232C
	E53-CK03	Comunicaciones RS-485
	E53-CKB	Entrada de evento: 1 punto
	E53-CKF	Salida transfer (4 a 20 mA)

CONTROLADORES PID INDUSTRIALES

CONTROLADOR E5CK de OMRON

Tipos de salida:

■ Características y valores nominales de unidades de salida

Salida relé	SPST, 250 Vc.a., 3 A (carga resistiva) Vida útil mecánica: 10,000,000 operaciones mín. Vida útil eléctrica: 100,000 operaciones mín.
Salida de tensión	NPN: 20 mA a 12 Vc.c. (con protección contra cortocircuito) PNP: 20 mA a 12 Vc.c. (con protección contra cortocircuito)
Salida analógica de tensión	0 a 10 Vc.c.: Impedancia de carga permisible: 1 kΩ mín. Resolución: aprox. 2,600
Salida analógica de corriente	4 a 20 mA: Impedancia de carga permisible: 500 Ω máx. Resolución: aprox. 2,600 0 a 20 mA: Impedancia de carga permisible: 500 Ω máx. Resolución: aprox. 2,600

CONTROLADORES PID INDUSTRIALES

CONTROLADOR E5CK de OMRON

Características principales:

■ **Características**

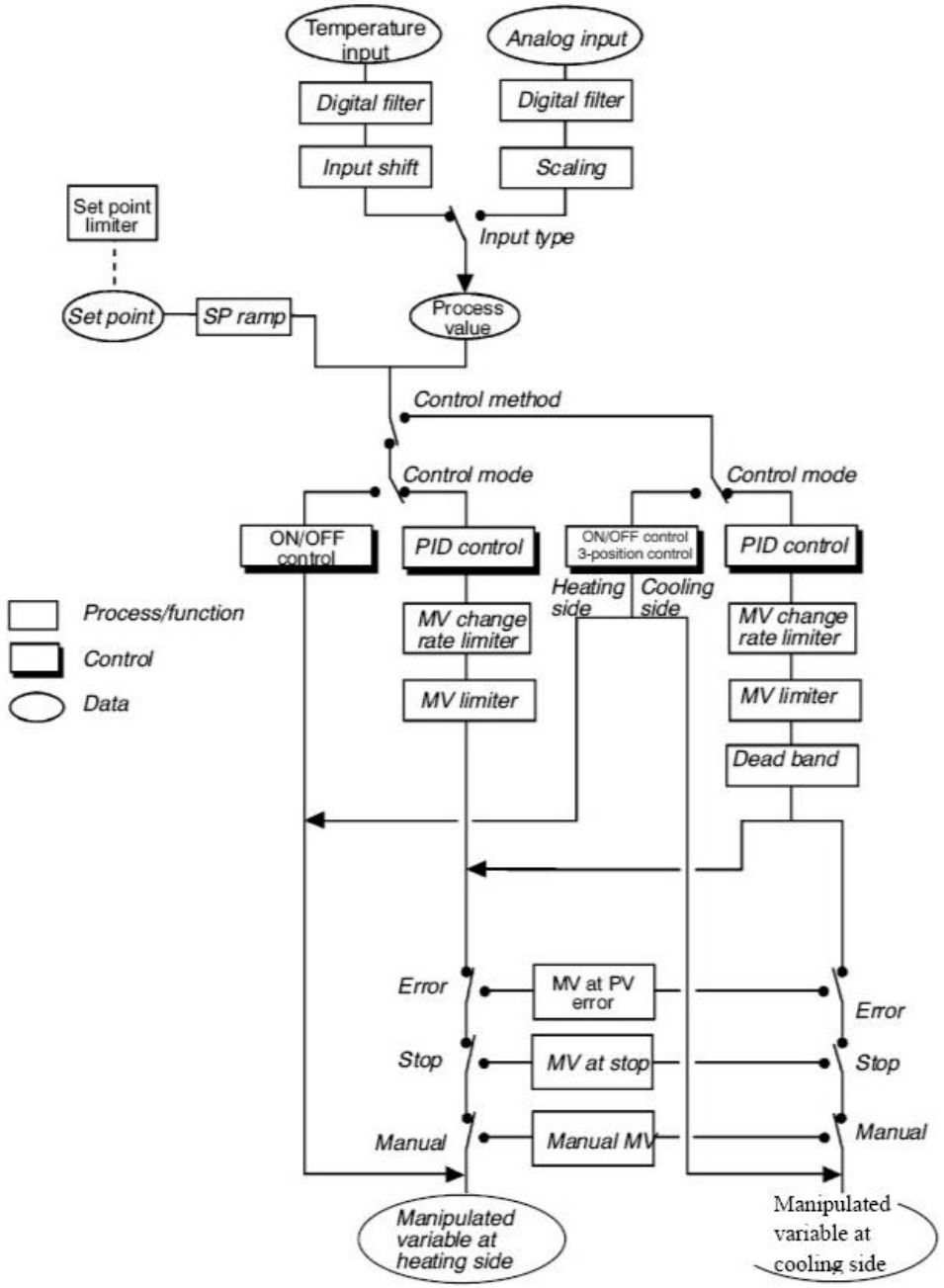
Precisión de indicación (ver nota)	Termopar: (±0.3% del valor de indicación ó ±1°C, el que sea mayor) ±1 dígito máx. Termorresistencia de platino: (±0.2% del valor de indicación ó ±0.8°C, el que sea mayor) ±1 dígito máx. Entrada analógica: ±0.2%±1 dígito máx.
Histéresis	0.01% a 99.99% del fondo de escala (en unidades de 0.01%)
Banda proporcional (P)	0.1% a 999.9% del fondo de escala (en unidades de 0.1% FS)
Tiempo de integral (I)	0 a 3,999 s (en unidades de 1 s)
Tiempo de derivada (D)	0 a 3,999 s (en unidades de 1 s)
Periodo de control	1 a 99 s (en unidades de 1 s)
Valor de reset manual	0.0% a 100.0% (en unidades de 0.1%)
Rango de selección de alarma	–1,999 a 9,999 ó –199.9 ó 999.9 (la posición del punto decimal depende del tipo de entrada)
Periodo de muestreo	Entrada de temperatura: 250 ms Entrada analógica: 100 ms
Resistencia de aislamiento	200 MΩ mín. (a 500 Vc.c.)
Rigidez dieléctrica	2,000 Vc.a., 50/60 Hz durante 1 min entre terminales de distinta polaridad
Resistencia a vibraciones	Malfunción: 10 a 55 Hz, 10 m/s^2 (aprox. 1G) durante 10 min en cada una de las direcciones X, Y, y Z Destrucción: 10 a 55 Hz, 20 m/s^2 (aprox. 2G's) durante 2 horas en cada una de las direcciones X, Y y Z
Resistencia a golpes	Malfunción: 200 m/s^2 mín. (aprox. 20G's), 3 veces en 6 direcciones (100 m/s^2 (aprox. 10G's) aplicado al relé) Destrucción: 300 m/s^2 mín. (30G's), 3 veces en 6 direcciones
Temperatura ambiente	Operación: –10°C a 55°C (sin hielo) Almacenaje: –25°C a 65°C (sin hielo)
Humedad ambiente	Operación: 35% a 85%
Grados de protección	Panel frontal: NEMA4 para empleo en interior (equivalente a IP66) Carcasa posterior: IEC IP20 Terminales: IEC IP00
Protección de memoria	Memoria no volátil (número de grabaciones: 100.000 operaciones/mínimo)
Peso	Aprox. 170 g; Adaptador: aprox. 10 g

CONTR

STRIALES

CONTROLAD

Diagrama:



CONFIGURACIÓN DEL PID

MENÚ Nivel 1 (Lv-1):

- Parámetro "**P**“ (banda proporcional BP=100/Kp). Introducid el valor del PID ajustado en la sección enterior (BP=100/(10Kp)).
- Parámetro "***i*** “ (tiempo integral, Ti). Introducir el valor en segundos.
- Parámetro “**d**“ (tiempo derivativo, Td). Introducir el valor en segundos.

MENÚ Nivel 0 (Lv -0):

- Fijar la referencia (SP) a 55 y esperar a que se estabilice.
- **Cambiar la referencia a 50 y esperar a que se estabilice**.

CONTROLADORES PID INDUSTRIALES

CONTROLADOR YOKOGAWA

Esquema:

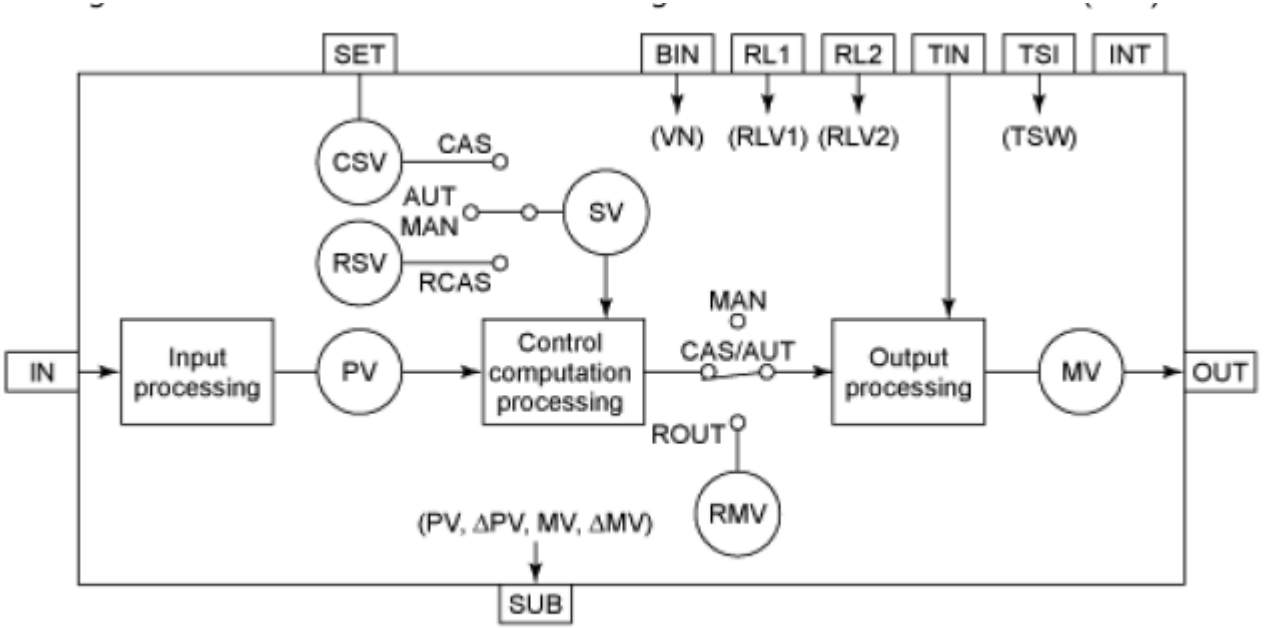


Figure Function Block Diagram of PID Controller Block (PID)

CONTROLADORES PID INDUSTRIALES

CONTROLADOR YOKOGAWA

Esquer

- **PID Control Computation Expression**

The PID control computation expression used in a regulatory control system (analog control system):

$$MV(t)=\frac{100}{PB}\left\{E(t)+\frac{1}{TI}\int E(t)dt+TD\frac{dE(t)}{dt}\right\}$$

D010506E.ai

MV(t)	: Manipulated output
E(t)	: Deviation E(t) = PV(t) - SV(t)
PV(t)	: Process variable
SV(t)	: Setpoint value
PB	: Proportional band (%)
TI	: Integral time
TD	: Derivative time

If we use the sampling value derived at each interval of the control period for the above expression, the differential expression of the PID control computation is transformed as follows:

$$\Delta MV_n=\frac{100}{PB}\left\{\Delta E_n+\frac{\Delta T}{TI}E_n+\frac{TD}{\Delta T}\Delta(\Delta E_n)\right\}$$

D010507E.ai

ΔMV_n	: Manipulated output change
E_n	: Deviation $E_n=PV_n-SV_n$
PV_n	: Process variable
SV_n	: Setpoint value'
ΔE^n	: Change in deviation $\Delta E_n=E_n-E_{n-1}$
ΔT	: Control period

CONTROLADORES PID INDUSTRIALES

CONTROLADOR YOKOGAWA

Configuraciones posibles de ponderación de la referencia:

Table PID Control Algorithms and the Input Variables

PID control algorithm	Trinomial input variables			
	Proportional term	Derivative term	Integral term	
PID	En	En	En	b=1, c=1
I-PD	PV	PV	En	b=0, c=0
PI-D	En	PV	En	b=1, c=0
Automatic determination	Same as I-PD in the AUT mode. Same as PI-D in the CAS or RCAS mode.			
Automatic determination 2	Same as I-PD in the AUT or RCAS mode. Same as PI-D in the CAS mode.			

CONTROLADORES PID INDUSTRIALES

CONTROLADOR YOKOGAWA

Escalado de entrada y salida:

$$\Delta MV_n = K_p \bullet K_s \left\{ \Delta E_n + \frac{\Delta T}{TI} E_n + \frac{TD}{\Delta T} \Delta(\Delta E_n) \right\}$$

D010509E.ai

$$E_n = PV_n - SV_n$$

$$K_p = \frac{100}{PB}$$

D010510E.ai

Kp en unidades de %/%

$$K_s = \frac{MSH - MSL}{SH - SL}$$

D010511E.ai

ΔT	: Control period
ΔEn	: Change in deviation $\Delta E_n = E_n - E_{n-1}$
Kp	: Proportional gain
PB	: Proportional band (%)
TI	: Integral time
TD	: Derivative time
Ks	: Scale conversion coefficient
PVn	: Process variable (engineering unit)
SVn	: Setpoint value (engineering unit)
SH	: PV scale high limit
SL	: PV scale low limit
MSH	: MV scale high limit
MSL	: MV scale low limit

The process variable (PV) and setpoint value (SV) used in the computation are both engineering unit data. The manipulated output change (ΔMV) obtained in an engineering unit by the range conversion performed via the scale conversion coefficient (K_S).

AUTOAJUSTE DEL PID

Una vez esté estabilizado en 50ºC:

- **<u>MENÚ Expansión (Eút):</u>**
  - Parámetro “**At-G**” (ganancia de autoajuste). Elegir un valor entre 0.5, 1 y 2. Cada mesa un valor distinto.

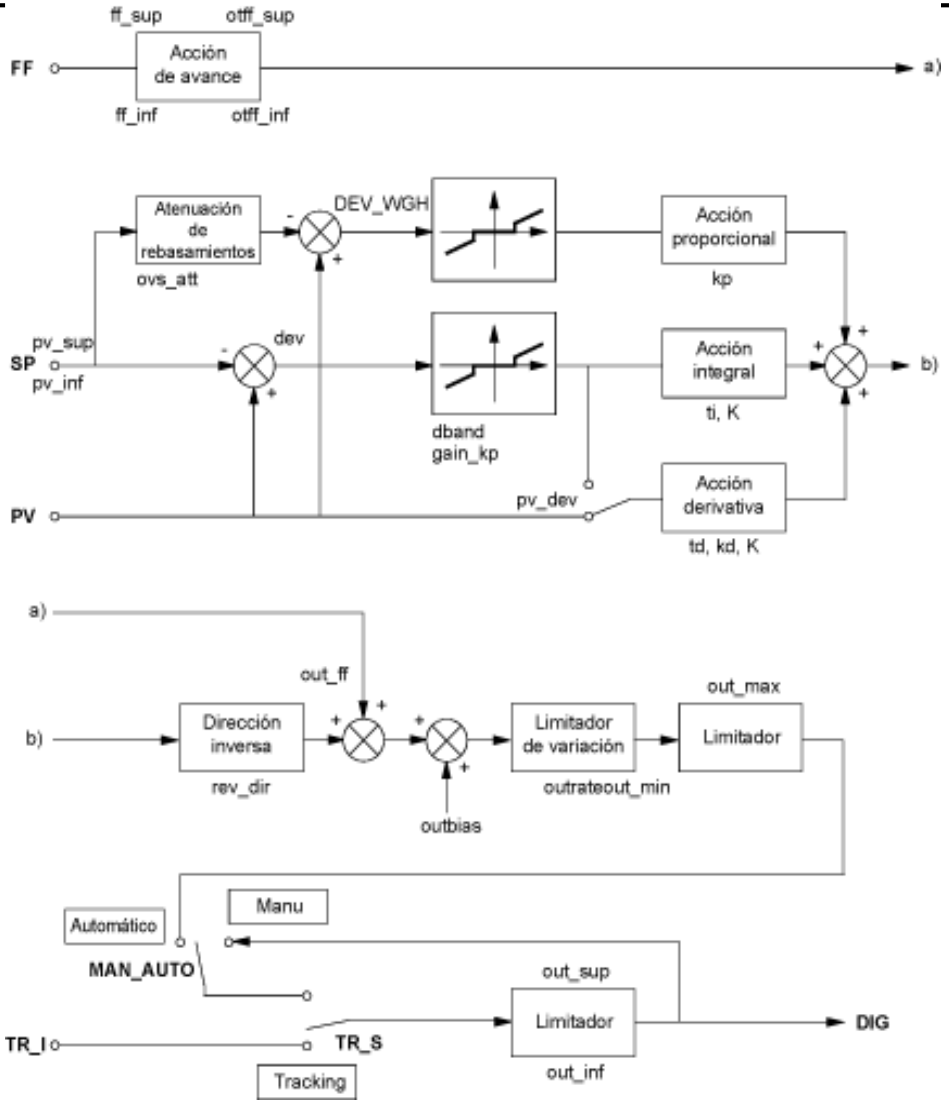
- **<u>MENÚ Nivel 1 (Lv-1):</u>**
  - Parámetro "***At***" (autoajuste). Cambiar de OFF a At-2. Esperar a que deje de parpadear.
  - Parámetro "P“ (banda proporcional BP=100/Kp). Leed el valor ajustado.
  - Parámetro "*i* “ (tiempo integral, Ti). Leed el valor ajustado.
  - Parámetro “d“ (tiempo derivativo, Td). Leed el valor ajustado.

- Guardar los datos en un fichero**.**

- **<u>MENÚ Nivel 0 (Lv -0).</u>**
  - Cuando se estabilice en 50º, cambiar la referencia a 55º y esperar a que se estabilice.
  - Cuando se estabilice, aumentar la tensión a la resistencia calefactora de 7 a 9V y observar la respuesta**.**

CONTROLADORES PID INDUSTRIALES

BLOQUE DE FUNCIÓN **PIDFF** DEL PLC DE SCHNEIDER



CONTROLADORES PID INDUSTRIALES

BLOQUE DE FUNCIÓN **PIDFF** DEL PLC DE SCHNEIDER

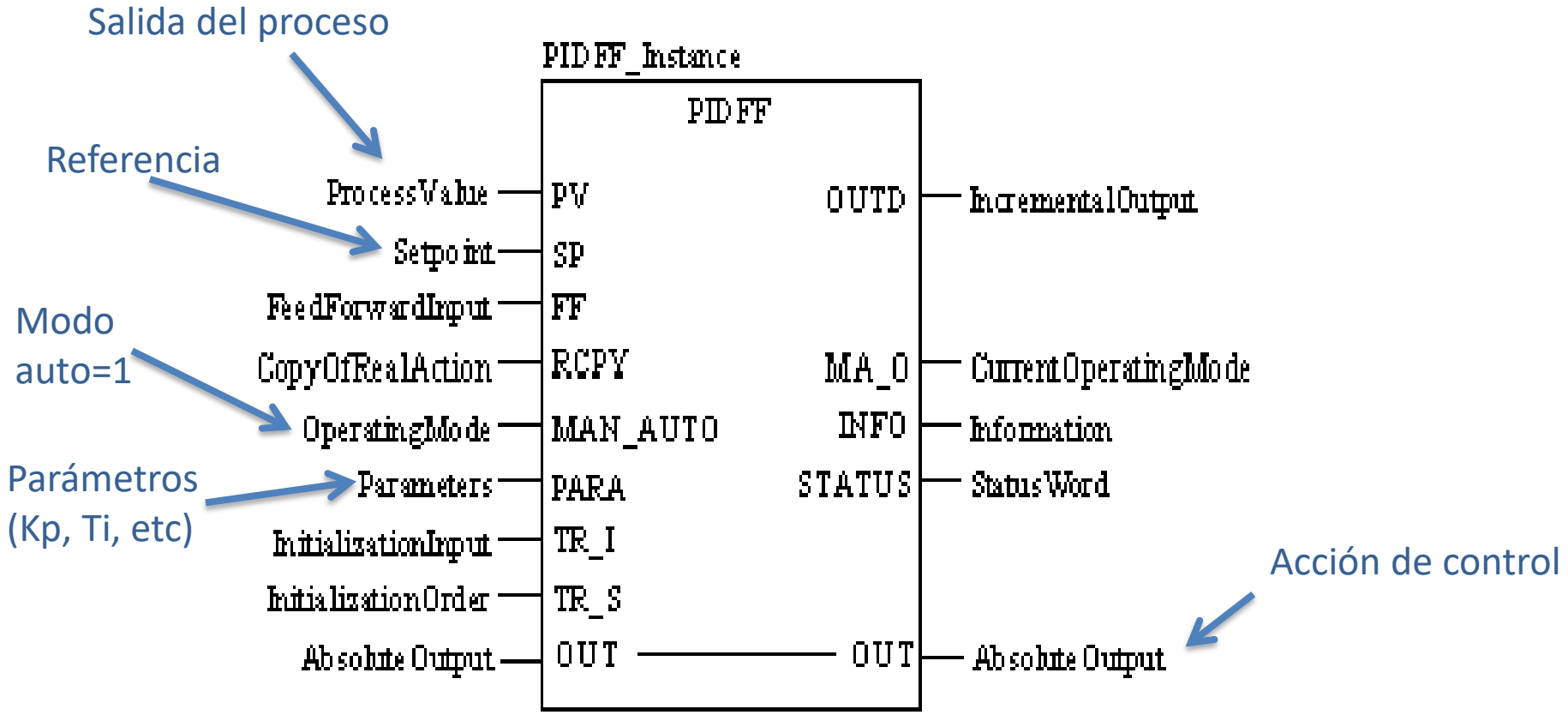
Implementa un controlador PID con las siguientes características:

- Incluye ponderación de la referencia en parte proporcional (b=1-ovs_att)
- Incluye filtrado de derivada ($N = k_d$).
- Hay que ponerlo en rutina periódica con periodo a elegir.
- Incluye ponderación de la referencia en parte derivativa: (pv_dev=1 → c=1, pv_dev=0 → c=0).
- Variables de salida y acción de control a elegir por el usuario: las unidades se pueden elegir libremente.
- Permite limitar el valor máximo y mínimo de u
- Permite limitar la pendiente máxima de u.

CONTROLADORES PID INDUSTRIALES

BLOQUE DE FUNCIÓN **PIDFF** DEL PLC DE SCHNEIDER

Variables a configurar:



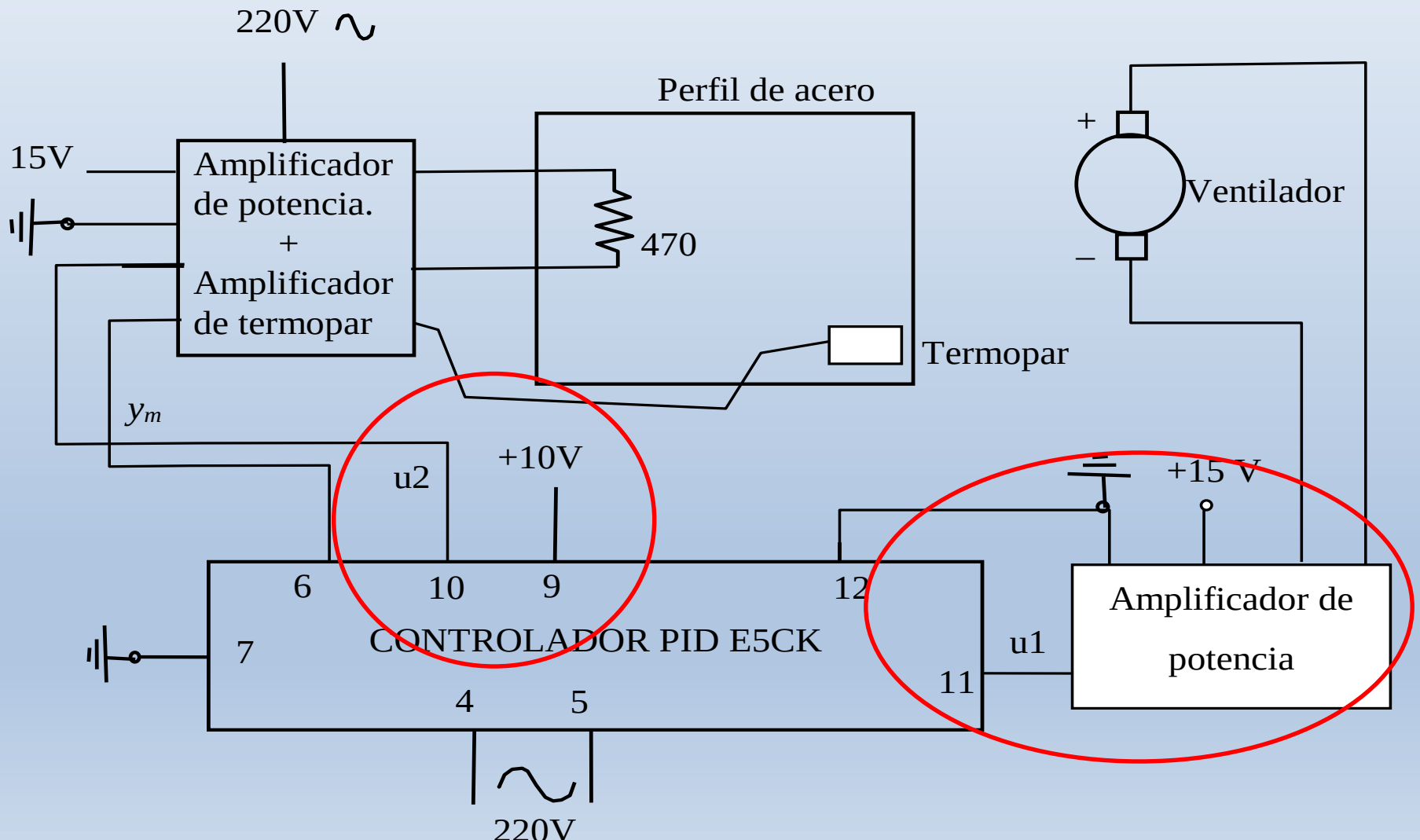
CONTROLADORES PID INDUSTRIALES

BLOQUE DE FUNCIÓN **PIDFF** DEL PLC DE SCHNEIDER

Variable Parámetros:

- *kp* → ganancia proporcional
- *ti* → tiempo integral
- *td* → tiempo derivativo
- *kd* → parámetro *N* del filtro del derivador
- *ovs_att* → ponderación proporcional 1-*b*
- *pv_dev* → ponderación derivada (c=1 ó c=0)
- *out_min* → valor mínimo de *u*
- *out_inf* → valor mínimo de *u*
- *out_max* → valor máximo de *u*
- *out_sup* → valor máximo de *u*
- *rev_dir* → realimentación negativa (rev_dir=0) o positiva (=1)
- *dband* → banda muerta
- *gain_kp* → escalado de ganancia en banda muerta

ESQUEMA DE CONEXIONES. CONTROL CALOR-FRÍO



CONFIGURACIÓN DEL PID. CONTROL CALOR-FRÍO

MENÚ Setup (Set):

- Parámetro "**öUt 1**“ (salida analógica principal del controlador PID). Seleccionar COOL (salida de frío).
- Parámetro "**öUt 2**“ (salida secundaria a relé). Seleccionar HEAT (salida de calor).
- Parámetro "**örEu**“ (signo de la realimentación). Seleccionar "**ör-r**" (operación inversa). Así, se configura el signo **negativo** de la realimentación.

MENÚ Nivel 2 (Lv -2):

- Parámetro " **óL-H** " (acción de control máxima). Seleccionar el valor 100 (100 %).
- Parámetro " **óL-L** " (acción de control mínima). Seleccionar -100 (-100%).

MENÚ Nivel 1 (Lv -1):

- Parámetro " **CP** " (periodo de control de calor). Seleccionar 10 segundos. Es el periodo del PWM del relé de la señal de calor.

AUTOAJUSTE DEL PID

Una vez esté estabilizado en 55ºC:

- **MENÚ Expansión (Eút):**
  - Parámetro "**At-G**" (ganancia de autoajuste). Elegir un valor entre 0.5, 1 y 2. Cada mesa un valor distinto.

- **MENÚ Nivel 1 (Lv-1):**
  - Parámetro "***At***" (autoajuste). Cambiar de OFF a At-2. Esperar a que deje de parpadear.
  - Parámetro "P" (banda proporcional BP=100/Kp). Leed el valor ajustado.
  - Parámetro "*i* " (tiempo integral, Ti). Leed el valor ajustado.
  - Parámetro "d" (tiempo derivativo, Td). Leed el valor ajustado.
  - **Si se obtiene un valor de P muy bajo, que produce una respuesta oscilatoria, poner a mano los parámetros P, i y d del control de calor (P=20, i=136, d=30), y fijar el coeficiente de frío, C-SC, a 0.5.**

- **MENÚ Nivel 0 (Lv -0).**
  - Cuando se estabilice en 55º, cambiar la referencia a 40º y esperar a que se estabilice.