

# OPERACIÓN DEL CONTROL PID CON EL DL06

---



# CAPÍTULO 8

## En este capítulo...

Funciones de control PID en el PLC DL06 .....	8-2
¿Qué es control PID? .....	8-4
Introducción al control PID en el PLC DL06 .....	8-6
Operación del control PID .....	8-9
Diez pasos para obtener un buen control de proceso .....	8-16
Configuración lazos de control PID en el PLC DL06 .....	8-18
Configurando las alarmas del control PID .....	8-36
Sintonizando lazos de control PID .....	8-42
Usando las funciones especiales del control PID .....	8-52
Filtro de la variable de proceso PV .....	8-57
Generador de Ramp/Soak .....	8-60
Ejemplo de Ramp/Soak con DirectSOFT .....	8-65
Control en cascada .....	8-67
Control de pulso con PWM .....	8-70
Control Feedforward .....	8-72
Ejemplo de programa ladder con control PID .....	8-74
Consejos para búsqueda de fallas en PID .....	8-77
Glosario de la terminología del control PID .....	8-79
Bibliografía .....	8-81

## Funciones de control PID en el PLC DL06

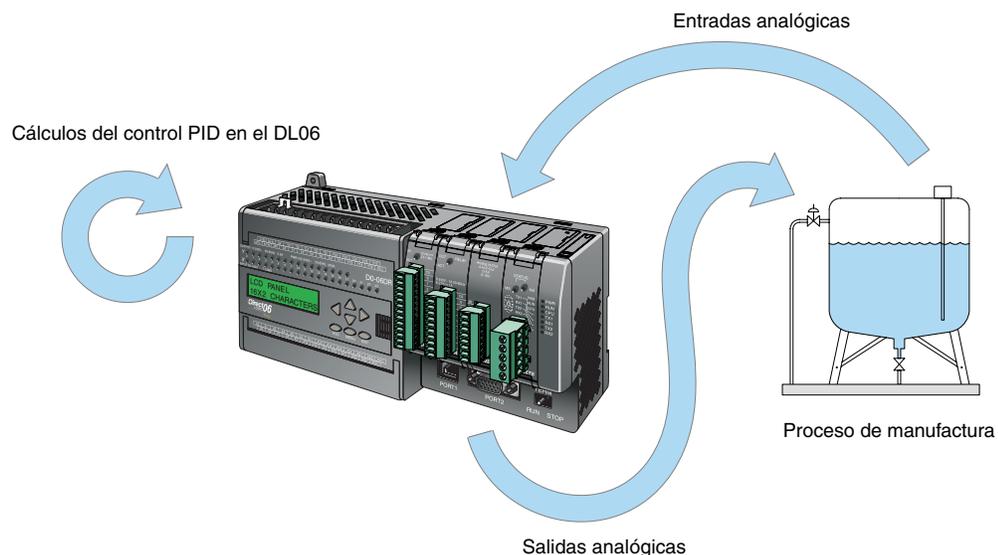
### Características principales

El control de lazos cerrados en un proceso con el PLC DL06 ofrece un conjunto sofisticado de funciones para solucionar muchas necesidades de la industria.

Las características principales son

- hasta 8 lazos, con frecuencia programable individual de muestreo
- capacidad de control PID en los modos Manual/Automático/En cascada disponibles
- Dos tipos de modos de transferencia "sin saltos" disponible
- Alarmas de todos los tipos
- Generador Ramp/Soak (Rampa y valor constante) con hasta 16 segmentos
- Sintonía automática del control PID

El PLC DL06 tiene capacidad de controlar el proceso con lazos de control PID, además de la ejecución del programa ladder. Se puede escoger configurar hasta ocho lazos. Todo el cableado de sensores analógicos y actuadores se conectan directamente a los módulos analógicos. Todas las variables de proceso, los valores de ganancia, los niveles del alarma, etc., asociados con cada lazo residen en una tabla de variables llamada *tabla PID* en la CPU. La CPU DL06 lee las entradas de la variable de proceso (PV) durante cada barrido, luego hace los cálculos de control PID durante un período dedicado en cada barrido del PLC, actualizando el valor de la salida de control (CV) a ciertos tiempos predefinidos. El control usa un algoritmo Proporcional Integral Derivativo (PID) para generar la salida de control. Este capítulo describe cómo es la operación del control PID y lo que usted debe hacer para configurar y sintonizar la entradas analógicas.



La mejor herramienta para configurar los lazos en el DL06 es el software *DirectSOFT*, versión 4.0, o posterior. *DirectSOFT* usa cajas de diálogo para ayudarlo a configurar los lazos individuales. Después que completa la configuración, usted puede usar la ventana PID View en *DirectSOFT* para sintonizar cada lazo. Las selecciones de configuración y sintonía que usted hará se almacenan en la memoria RAM del PLC DL06, que es retentiva. Los parámetros de lazos pueden ser salvados también al disco para posterior recuperación.

Características de función PID	Especificaciones
Número de lazos	Seleccionable, 8 lazos
Memoria necesaria	Necesita 32 palabras por lazo, 64 si se usa ramp/soak
Algoritmo PID	Modo de Posición o Velocidad
Polaridad de la CV	Seleccionable entre acción Directa o Inversa
Curvas de error	Seleccionable como error lineal, raíz cuadrada del error o error al cuadrado
Tasa de actualización del calculo PID	0,05 a 99,99 segundos
Tasa mínima de actualización de lazos	0,05 segundos en 1 a 4 lazos, 0,1 segundos en 5 a 8 lazos
Modos de operación	Automático, manual (control por el operador) o en cascada
Generador Ramp/Soak	Hasta 8 etapas de ramp/soak (16 segmentos) por lazo
Curvas de PV	Seleccionable como lineal o raíz cuadrada (para entrada de flujo)
Límites de señal de referencia	Se puede especificar los valores límites mínimos y máximos de la señal de referencia
Límites de PV	Se puede especificar los valores límites mínimos y máximos del valor PV
Ganancia	En el rango de 0,01 hasta 99,99
Valor RESET (integral)	Rango de 0,1 hasta 999,8 en segundos o minutos
Ganancia derivativa	Rango de 0,01 hasta 99,99 segundos
Límites de derivativa (rate)	Ganancia derivativa de 1 a 20
Transferencia de salto I	Automáticamente inicializa el bias y la señal de referencia cuando el control cambia de manual a Automático.
Transferencia de salto II	Automáticamente hace el bias igual a la salida de control cuando el control cambia de manual a Automático.
STEP Bias	Proporciona ajuste proporcional de tendencia para cambios grandes de señal de referencia
Anti-windup	Para el modo de posición de PID, esta función inhibe la acción de integrador cuando la salida de control alcanza 0% o 100 % (acelera la recuperación del lazo cuando la salida se recupera de la saturación)
Error de banda muerta	Especifica una tolerancia (más y menos) para el término de error (SP-PV), de modo que no haya cambio en el valor de salida de control

Características de alarma	Especificaciones
Banda muerta	Rango de 0,1 hasta 5% de banda muerta de alarma en todas las alarmas
Puntos de alarma PV	Configuración de alarmas PV Low-Low, Low, High y High-High
Desvío de PV	Configuración de alarmas en 2 rangos de desvío desde la referencia
Tasa de cambio	Detecta cuando el PV excede un límite de tasa de cambio

### ¿Que es control PID?

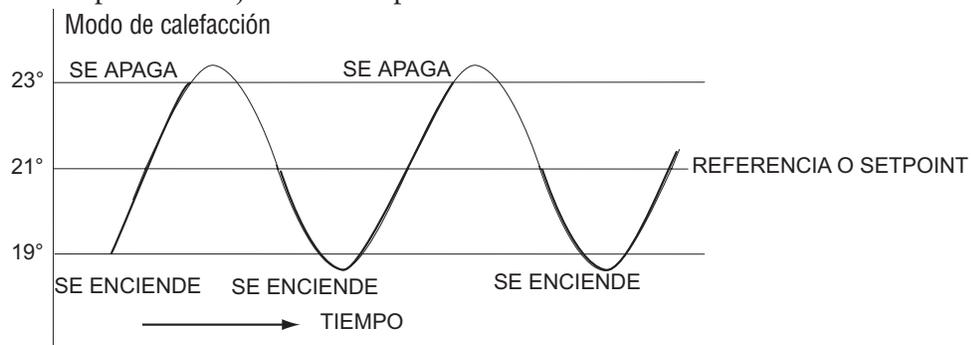
En esta discusión, explicaremos qué es y porqué se usa el control PID en control de procesos en vez de proporcionar control simplemente usando una entrada analógica y una salida discreta.

Hay muchos tipos de controladores o controladores analógicos disponibles, y la selección apropiada dependerá de la aplicación particular. Hay dos tipos de controladores analógicos que se utilizan en la industria:

1. El controlador ON-OFF, designado a veces un controlador de lazo abierto.
2. El controlador PID, a veces llamado un controlador de lazo cerrado.

Sin importar el tipo, los controladores analógicos requieren señales de entrada de sensores electrónicos tales como señales de presión, presión diferencial, nivel, flujo o termopares. Como ejemplo, uno de los controles analógicos más comunes de control está situado en su casa, para controlar la temperatura.

Usted desea que su casa esté a una temperatura cómoda, de modo que usted ajusta la temperatura en un termóstato a una temperatura deseada (referencia o setpoint). Luego selecciona el modo de calentamiento o aire acondicionado. Un dispositivo de detección de la temperatura, normalmente un termistor, está situado dentro del termóstato. Si el termóstato se ajusta para calentamiento y la temperatura de referencia se ajusta a 21° Celsius, la estufa será encendida para suministrar calor en, digamos, 2° Celsius debajo del setpoint. En este caso, se encendería en 19° Celsius. Cuando la temperatura alcanza 23° Celsius, sobre el setpoint, la estufa se apagará. En el ejemplo opuesto, si el termóstato se ajusta para aire acondicionado (para refrescar el ambiente), el termóstato encenderá la unidad de aire acondicionado de una forma opuesta a la de calentamiento. Por ejemplo, si el termóstato se ajusta para enfriar a 24° Celsius, la unidad de aire acondicionado se encenderá cuando la temperatura detectada alcanza 2° Celsius sobre el setpoint o a los 26° Celsius, y se apagará cuando la temperatura alcanza 22° Celsius. Éste sería considerado un controlador ON-OFF. La forma de onda abajo muestra la acción del ciclo de calefacción. Observe que la temperatura sube mas allá del punto de apagado, y también la temperatura baja más en el punto donde debe encenderse.



El controlador ON-OFF se usa en algunos usos de control industriales, pero no es práctico en la mayoría de procesos de control industriales.

El controlador de proceso más común que se usa en industria es el controlador PID.

El controlador PID controla un lazo de realimentación continuo que mantiene la salida de proceso (variable de control) a un valor deseado tomando la acción correctiva siempre que haya un desvío o error del valor deseado (setpoint) de la variable de proceso (PV) por ejemplo, flujo,

temperatura, voltaje, etc. Ocurre un "error" cuando un operador cambia manualmente el setpoint o cuando un evento (una válvula se abrió o se cerró, etc.) o una perturbación (agua fría, viento, etc.) cambia la carga en el proceso, causando un cambio en la variable de proceso.

El controlador PID recibe señales desde los sensores y calcula una acción correctiva al actuador con un algoritmo basado en un valor proporcional al error (proporcional), a la suma de todos los errores anteriores (integral) y a la tasa de cambio del error (derivativo).

Podemos asimilar el controlador de PID en forma simple con un ejemplo. Tomemos el control automático de velocidad en un automóvil como ejemplo. Digamos que estamos viajando en una carretera en un automóvil equipado con este control. El conductor decide usarlo y llega a la velocidad deseada, digamos 100 kilómetros por hora. Una vez que se alcance esta velocidad, aprieta el botón de control que deja la velocidad ajustada a 100 km/h, que es la referencia o setpoint. Ahora, digamos que el automóvil viaja a 100 km/h constante hasta que comienza a subir a una colina. Cuando el automóvil sube, tiende a bajar la velocidad. El sensor de velocidad detecta esto y hace que la válvula aumente el combustible al motor. El vehículo aceleró para mantener 100 km/h sin que cause que el automóvil salte y luego llega a la parte superior de la colina a la velocidad del sistema. Cuando el coche se nivela después de alcanzar la parte superior, acelerará. El sensor de velocidad detecta esto y le indica a la válvula reguladora para proporcionar menos combustible al motor, y así, el motor deja de entregar toda la fuerza permitiendo que el coche mantenga la velocidad de 100 km/h. ¿Cómo se aplica este ejemplo al control PID? Veamos esto en función de los parámetros P, I y D:

- **Proporcional** - Se refiere comúnmente como **ganancia proporcional**. El término proporcional es la acción correctiva que es proporcional al "error", es decir, a la diferencia entre la variable manipulada y la referencia, y el valor de corrección es proporcional a la **ganancia proporcional** multiplicado por el error. En términos matemáticos:

**Acción proporcional = Error x Ganancia Proporcional**

**Siendo el Error = Referencia (SP) - Variable de proceso (PV)**

Aplicando esto al control de velocidad, la velocidad fue ajustada a 100 Km/h, que es el valor de referencia (setpoint). El sensor de velocidad detecta la velocidad real del coche y envía esta señal al controlador como la variable de proceso (PV). Cuando el coche está en una carretera a nivel, la velocidad se mantiene en 100 Km/h, y no hay ningún error, puesto que el error sería  $SP - PV = 0$ . Cuando el coche va subiendo la colina, el sensor de velocidad detectó una desaceleración del coche,  $SP - PV = \text{error}$  que es mayor que cero (Por ejemplo,  $100 - 95$ ). La ganancia proporcional haría la salida del controlador de velocidad traer el coche de nuevo al setpoint de 100 Km/h. Ésta sería la salida controlada.

- **Integral** - Este término se refiere a menudo como acción de **reset**. Proporciona una compensación adicional a la salida de control, que causa un cambio en proporción con la suma de los valores de error durante el tiempo. Es decir el es la integral de los valores del error durante el tiempo.
- **Derivativo** - Este término se refiere como **rate** o tasa. La acción derivativa agrega una compensación a la salida de control, que causa un cambio proporcional a la tasa de cambio del error. Su trabajo es anticipar el crecimiento probable del error y generar una contribución a la salida por adelantado.

# Introducción al control PID con el PLC DL06

El DL06 es capaz de controlar una variable de proceso tal como mencionado anteriormente, por ejemplo el control de una variable de proceso en un nivel dado (setpoint), tal como temperatura de agua, incluso si hay perturbaciones (tal como ingreso de agua fría) en el proceso.

El PLC DL06 tiene capacidad de aceptar directamente señales de sensores electrónicos, tales como termopares, presión, nivel, etc. Estas señales se pueden usar en sistemas de control con algoritmos matemáticos.

Además, el DL06 tiene ya algoritmos incorporados de control PID de acuerdo a teorías de control clásicas que se pueden poner en ejecución. La función básica del control de proceso de lazo cerrado PID es mantener un valor del proceso cerca del valor de referencia deseado. En general, el proceso se desvía de la referencia deseada como resultado de cambios de material de la carga o perturbaciones y de la interacción con otros procesos. Durante este control, se mide continuamente la condición corriente de las características de proceso (nivel, temperatura, control de velocidad motor, etc.) como variable de proceso (PV) y se compara con el valor de referencia deseado (setpoint SP). Cuando ocurre un desvío, se genera un error que es la diferencia entre la variable de proceso (valor corriente) y el valor de referencia (valor deseado). Una vez que se detecte un error, la función del lazo de control es modificar la salida analógica del lazo de control para forzar el error a cero.

El control PID del PLC DL06 maneja lazos cerrados usando el algoritmo PID. La salida de control es calculada desde el valor de error como sigue:

$$M(t) = K_c \left[ e(t) + 1/T_i \int_0^t e(x) dx + T_d d/dt e(t) \right] + M_o$$

Siendo:

$K_c$  = ganancia proporcional

$T_i$  = Reset o tiempo de la integral

$T_d$  = tiempo derivativo o rate

SP = Setpoint o valor de referencia

PV(t) = variable de proceso en el tiempo "t"

$e(t) = SP - PV(t)$  = desvío de la PV desde la referencia (SP) en el tiempo "t" o error del PV.

$M(t)$  = la salida analógica de control en el tiempo "t"

El módulo de entrada analógico recibe la variable de proceso en forma analógica y también un valor de referencia o setpoint dado por el operador; la CPU calcula el error. El error se usa en el algoritmo para proporcionar la acción correctiva en la salida analógica de control. La función de la acción de control se basa en un control de la salida analógica, que es **proporcional** al valor instantáneo del error. La acción **integral** de control (acción de reset) proporciona una compensación adicional a la salida de control, que causa un cambio proporcional al valor del error acumulado durante el tiempo. La acción **derivativa** de control (cambio de tasa) agrega una compensación a la salida del control, que causa un cambio en proporción con la tasa de cambio del error.

Estos tres modos se usan para proporcionar la acción deseada de control en las formas (P) proporcional, Proporcional-Integral (PI), o Proporcional-Integral-Derivativo (PID) de control.

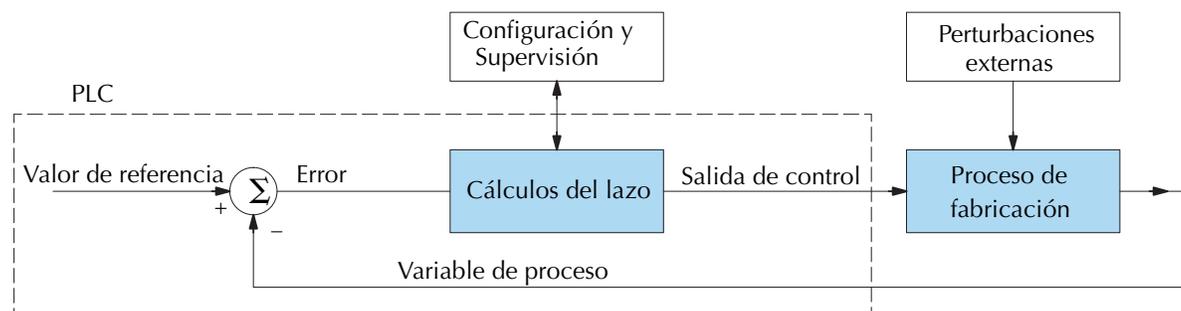
Cada proceso es diferente y es por eso que se necesitan valores diferentes de los parámetros de ganancia, integral y derivativo. Este proceso de encontrar estos valores para cada proceso se llama sintonización o “tuning” en inglés.

Se usan módulos de entradas analógicas estándares de los PLCs DL05/06 para interconectar a transductores de campo para obtener la PV. Estos transductores proporcionan normalmente una señal de 4-20 mA o un voltaje analógico en varios rangos para el lazo de control.

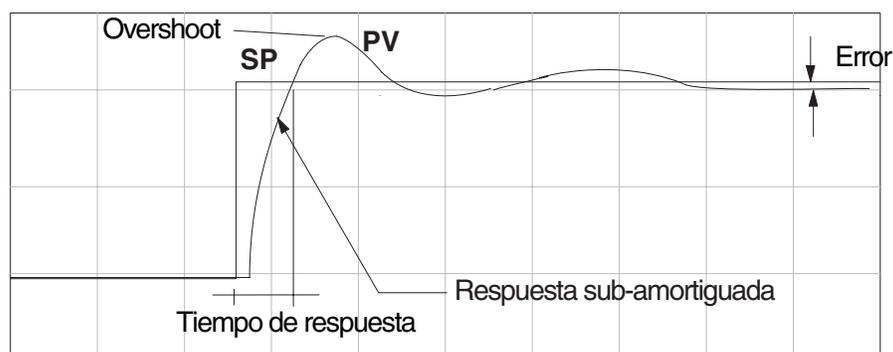
Para el control de la temperatura, se puede conectar directamente un termopar o una resistencia de medición de temperatura RTD con el módulo apropiado. El algoritmo del control PID, que reside en la memoria de la CPU, recibe la información del programa de usuario, es decir, los parámetros de control y de los valores de referencia o setpoints. Una vez que la CPU haga el cálculo de PID, el resultado se puede usar para controlar directamente un actuador conectado con un módulo de salida de corriente 4-20 mA, por ejemplo, para controlar una válvula.

Con *DirectSOFT*, se pueden programar esquemas de control con lógica adicional, incluso control ON-OFF o PWM de tiempo proporcional (por ejemplo, calentadores para el control de temperatura) y actuador de posición (por ejemplo, motor reversible en una válvula). Este capítulo explicará cómo configurar el lazo de control PID en el PLC DL06, cómo poner el software en ejecución y cómo sintonizar un lazo de control.

El diagrama de bloque siguiente muestra las partes más importantes de un lazo de control de PID. La trayectoria del PLC al proceso de fabricación y de nuevo al PLC es un control de lazo cerrado.



La figura siguiente muestra gráficamente una respuesta típica a este controlador y se muestran algunas definiciones explicadas en la próxima página.



### Definiciones de procesos de control

**Proceso de fabricación** – El conjunto de acciones que agrega valor a las materias primas. El proceso puede implicar cambios físicos y/o cambios químicos al material. Los cambios hacen el material más útil para un propósito particular, utilizado en última instancia en un producto final.

**Variable de proceso PV**– Una medida de una cierta característica física de las materias primas. Se hacen las medidas usando un cierto tipo de sensor. Por ejemplo, si el proceso de fabricación utiliza un horno, usted deseará muy probablemente controlar temperatura. La temperatura es una variable de proceso.

**Valor de referencia SP** – La cantidad teóricamente perfecta de la variable de proceso o la cantidad deseada que rinde el mejor producto. El operador sabe este valor y lo ajusta manualmente o lo programa en el PLC para uso automatizado más tarde.

**Salida de control CV**– El resultado del cálculo del lazo, que se convierte en un comando para el proceso (tal como el nivel de calentamiento en un horno).

**Error** – La diferencia algebraica entre el variable de proceso y la referencia. Éste es el error del lazo de control, y es igual a cero cuando la variable de proceso es igual al valor de la referencia (valor deseado). Un lazo de control funcionando bien puede mantener una magnitud pequeña del error.

**Variable manipulada** – La variable usada para afectar la variable controlada. Por ejemplo, la cantidad de combustible usada en un horno puede ser la variable manipulada, para controlar la variable temperatura.

**Perturbaciones externas** – Las fuentes de error imprevisibles que el sistema de control trata de cancelar compensando sus efectos. Por ejemplo, si la entrada del combustible en un horno es constante un horno funcionará más caliente durante el tiempo caliente que durante el tiempo frío. Un sistema de control automático del horno debe compensar este efecto para mantener una temperatura constante del horno durante cualquier estación. Así, el clima (que no es muy confiable), es una fuente de perturbaciones a este proceso.

**Elemento de control final** – El aparato usado para controlar la variable manipulada. Un ejemplo es la válvula que controla el flujo de un combustible.

**Tiempo de atraso (Lag time)** – El tiempo en que responde un proceso a un cambio en la variable manipulada. Ésto también es conocido como la capacitancia del sistema. Cuando Ud. está en una ducha y Ud aumenta el agua caliente, el tiempo que lleva para que el agua se caliente es el tiempo de atraso.

**Tiempo muerto (Dead time)** - El tiempo que toma el controlador para que sea reconocido un cambio en el proceso.

**Tiempo de respuesta** – El tiempo que toma en producir un cambio en la variable de proceso cuando se ha dado un cambio escalón en la referencia en el proceso.

**Overshoot** – Es la onda que sucede en la variable de proceso al haber una transición de valor de la referencia desde un valor más bajo a uno más alto; el valor de la variable de proceso que excede al valor de referencia en la transición de un valor mas bajo a uno más alto de la referencia es el valor de overshoot, en por ciento. Vea la figura de la página anterior.

**Undershoot** – Es la onda de la PV que sucede al haber una transición de valor de la referencia desde un valor más alto a uno más bajo.

**Configuración del lazo** – Las selecciones iniciadas por un operador que configuran y optimizan el funcionamiento de un lazo de control.

**Supervisión del lazo** – Las funciones que permiten que un operador observe el estado y el funcionamiento de un lazo de control. Esto se utiliza conjuntamente con la configuración del lazo para optimizar el funcionamiento de éste (para reducir al mínimo el error).

## Operación del control PID

El algoritmo Proporcional-Integral-Derivativo (PID) se usa extensamente en control de proceso. El método de control PID se adapta bien a soluciones electrónicas, ya sea con componentes analógicos o digitales (CPU). El PLC DL06 resuelve las ecuaciones de control PID en forma digital solucionando el algoritmo en software. Los módulos de E/S sirven para convertir solamente señales electrónicas en forma digital (o viceversa).

El DL06 usa dos modos de control de PID: "posición" y "velocidad". Estos términos se refieren generalmente a situaciones de control de movimiento, pero aquí las utilizamos en un sentido diferente:

- Algoritmo de *posición* de PID – Se calcula la salida de control de modo que corresponda al desplazamiento (posición) del PV desde el SP (término de error).
- Algoritmo de *velocidad* de PID – Se calcula la salida de control para representar la tasa de cambio (velocidad) para que el PV llegue a ser igual al SP.

### Modo "Position" del algoritmo PID

En relación a la ecuación de la salida de control en la página 8-6, la CPU DL06 aproxima la salida  $M(t)$  usando una forma discreta de posición del algoritmo PID.

Sea:

$T_s$  = Período de muestreo

$K_c$  = Ganancia proporcional

$K_i = K_c * (T_s/T_i)$  = Coeficiente de la parte integral

$K_r = K_c * (T_d/T_s)$  = Coeficiente de la parte derivativa

$T_i$  = Reset o tiempo de la parte integral

$T_d$  = Rate o tiempo de la parte derivativa

SP = Referencia (Setpoint)

$PV_n$  = Variable de proceso en el muestreo enésimo

$e_n = SP - PV_n$  = Error en el muestreo enésimo

$M_o$  = Valor en el cual se ha iniciado la salida del controlador PID

Entonces :

$M_n$  = salida de control en el muestreo enésimo

$$M_n = K_c * e_n + K_i \sum_{i=1}^n e_i + K_r (e_n - e_{n-1}) + M_o$$

Esta forma de la ecuación de PID se refiere como el modo de posición puesto que se calcula la posición corriente del actuador. El modo de velocidad de la ecuación de PID calcula la velocidad del cambio en la posición del actuador. La CPU modifica levemente la ecuación estándar para usar la derivada de la variable de proceso en vez del error, como sigue:

$$M_n = K_c * e_n + K_i \sum_{i=1}^n e_i + K_r (PV_n - PV_{n-1}) + M_o$$

Estos dos modos son equivalentes a menos que se cambie el setpoint. En la ecuación original, un cambio grande de una entrada escalón en el setpoint causará un cambio correspondientemente grande en el error dando por resultado un salto al proceso debido a la acción derivativa. Este salto no está presente en el segundo modo de la ecuación.

El algoritmo del PLC DL06 también combina la integral y la salida inicial en un solo valor llamado el bias ( $M_x$ ). Esto nos lleva al siguiente sistema de ecuaciones:

$$M_{x_0} = M_0$$

$$M_x = K_i * e_n + M_{x_{n-1}}$$

$$M_n = K_c * e_n - K_r(PV_n - PV_{n-1}) + M_{x_n}$$

El DL06 por defecto mantendrá la salida normalizada  $M$  en el rango de 0,0 a 1,0. Esto es hecho forzando  $M$  al valor más cercano de 0.0 o 1.0 siempre que la salida calculada caiga fuera de este rango. El DL06 también le permite especificar los valores límites de salida mínimo y máximo (dentro del rango 0 a 4095 si usa una resolución de 12 bits unipolar).



**NOTA:** Las ecuaciones y los algoritmos, en este capítulo, son solamente para referencia. El análisis de estas ecuaciones se puede encontrar en la mayoría de buenos libros de texto acerca de control de proceso.

### Protección de Reset Windup (saturación de la integración)

Puede ocurrir este efecto si se configura acción de reset (valor integral) en el control PID y siendo el cálculo de bias  $M_x$ :

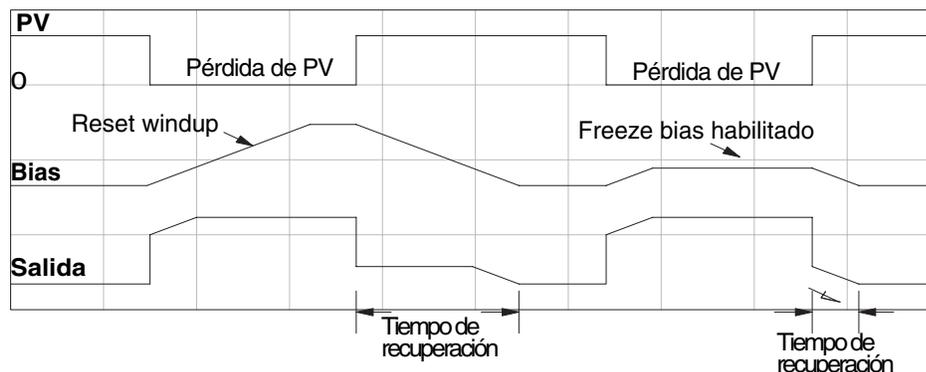
$$M_x = K_i * e_n + M_{x_{n-1}} \text{ (La integración del error)}$$

Por ejemplo, asumamos que la salida del control PID está controlando una válvula y la variable de proceso  $PV$  permanece en un cierto valor mayor que la referencia (setpoint). El error negativo ( $e_n$ ) causará que el bias ( $M_x$ ) disminuya constantemente hasta que la salida  $M$  vaya a 0, lo que cierra la válvula. Sin embargo, ya que el valor del error sigue siendo negativo, el bias continuará disminuyendo siendo siempre más negativo.

Cuando la variable de proceso finalmente vuelve a estar debajo del valor de referencia ( $SP$ ), la válvula permanecerá cerrada hasta que el error sea positivo por cierto tiempo tal que haga el bias llegue a ser positivo otra vez. Esto causará que la variable del proceso produzca un *undershoot*.

Una forma de solucionar el problema es forzar simplemente el bias en un valor normalizado entre 0,0 y 1,0. La CPU DL06 hace ésto. Sin embargo, si ésta es la única cosa que se hace, entonces la salida no se moverá de 0.0 (así abriendo la válvula) hasta que el  $PV$  se haya convertido a un valor menor que el valor de referencia  $SP$ . Esto también causará que la variable del proceso produzca un *undershoot*.

La CPU DL06 es programada para solucionar el problema de *overshoot* congelando el valor bias (freeze bias), o ajustando el término bias.



### Freeze Bias (Congelar el bias)

Si se selecciona la opción “Freeze Bias” cuando se configura el lazo de PID (discutido más adelante) entonces la CPU simplemente para de cambiar el bias ( $M_x$ ) siempre que la salida normalizada calculada ( $M$ ) tenga un valor fuera del intervalo 0 a 1,0.

$$M_x = K_i * e_n + M_{x_{n-1}}$$

$$M = K_c * e_n - K_r(PV_n - PV_{n-1}) + M_x$$

$$\begin{aligned} M_n &= 0 && \text{si } M < 0 \\ M_n &= M && \text{si } 0 \leq M \leq 1 \\ M_n &= 1 && \text{si } M > 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{x_n} &= M_x && \text{si } 0 \leq M \leq 1 \text{ o entonces} \\ M_{x_n} &= M_{x_{n-1}} \end{aligned}$$

Así en este ejemplo, probablemente el bias no irá hasta cero de modo que, cuando el PV comienza a bajar de valor, el lazo comienza a abrir la válvula más pronto que sería si se hubiera permitido que el bias fuera a cero. Esta acción tiene el efecto de reducir la cantidad de *overshoot*.

### Ajustando el Bias

La acción normal de la CPU es ajustar el valor de bias cuando la salida sale de rango según lo mostrado abajo.

$$M_x = K_i * e_n + M_{x_{n-1}}$$

$$M = K_c * e_n - K_r(PV_n - PV_{n-1}) + M_x$$

$$\begin{aligned} M_n &= 0 && \text{si } M < 0 \\ M_n &= M && \text{si } 0 \leq M \leq 1 \\ M_n &= 1 && \text{si } M > 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{x_n} &= M_x && \text{si } 0 \leq M \leq 1 \text{ o entonces} \\ M_{x_n} &= M_n - K_c * e_n - K_r(PV_n - PV_{n-1}) \end{aligned}$$

Al ajustar el bias, la válvula comenzará a abrirse tan pronto como el valor de la variable de proceso PV comience bajar. Si el lazo se sintoniza correctamente, se puede eliminar el *overshoot* totalmente. Si la salida salió del rango debido a un cambio del setpoint, entonces el lazo oscilará probablemente porque debemos esperar que se estabilice el término bias otra vez.

La opción de si usar la acción del lazo por defecto o congelar el bias es dependiente de la aplicación. Si se esperan cambios escalón grandes a la referencia (setpoint), es probablemente mejor seleccionar la opción del freeze bias (vea la página 8-36).

### Eliminación de la acción proporcional, integral o derivativa

No es siempre necesario hacer funcionar un lazo de control PID con las tres compensaciones. La mayoría de los lazos requieren solamente los Factores PI o solamente el factor P. Pueden ser eliminadas partes del algoritmo PID eligiendo los valores apropiados para la ganancia ( $K_c$ ), el reset ( $T_i$ ) y el rate ( $T_d$ ) que resultan en control P, PI, PD, I e incluso un ID y un D.

**Eliminando la acción Integral** El efecto de la acción integral en la salida puede ser eliminado colocando  $T_i = 9999$ . Cuando se hace esto, el usuario puede entonces controlar manualmente el bias ( $M_x$ ) para eliminar esta compensación.

**Eliminando la acción Derivativa** El efecto de la acción derivativa en la salida puede ser eliminado colocando  $T_d = 0$  (la mayoría de los lazos no requieren un parámetro D; puede hacer el lazo inestable).

**Eliminando la acción Proporcional** Aunque no se hace normalmente, el efecto de la ganancia proporcional en la salida puede ser eliminado colocando el valor  $K_c = 0$ . Ya que  $K_c$  es también un multiplicador del coeficiente integral ( $K_i$ ) y del coeficiente derivativo ( $K_r$ ), la CPU hace el cálculo de estos valores condicional al valor del  $K_c$  como sigue:

$$K_i = K_c * (T_s / T_i) \quad \text{si } K_c \neq 0$$

$$K_i = T_s / T_i \quad \text{si } K_c = 0 \text{ (I o ID solamente)}$$

$$K_r = K_c * (T_d / T_s) \quad \text{si } K_c \neq 0$$

$$K_r = T_d / T_s \quad \text{si } K_c = 0 \text{ (ID o D solamente)}$$

### Modo de velocidad del algoritmo PID

El modo estándar de posición del algoritmo PID calcula la posición real del actuador. Un modo alternativo del algoritmo PID calcula la velocidad de cambio en la posición del actuador. Se obtiene esta forma restando la ecuación en el tiempo "n" de la ecuación en el tiempo "n-1".

La ecuación del modo velocidad es dada por:

$$\Delta M_n = M - M_{n-1}$$

## Transferencia sin saltos (Bumpless)

Imaginemos una condición donde el lazo de control está en el modo Manual, con una salida de 35%. Luego el operador pasa al modo Automático donde la referencia está en 65%. Esto hace que el error sea de 30%. Esta condición puede causar un cambio brusco de salida o un “salto” a 100% de la salida.

El controlador de lazos del PLC DL06 preve cambios de modo sin saltos en la salida de control. Se logra una transferencia sin saltos del modo manual al modo automático previniendo que la salida de control cambie inmediatamente después del cambio de modo.

Cuando un lazo se cambia de modo manual al modo automático, la referencia (setpoint) y el bias se inicializan como sigue:

### Algoritmo de posición PID

$$SP = PV$$

$$Mx = M \text{ (La salida de control se hace igual al bias)}$$

### Algoritmo de velocidad PID

$$SP = PV$$

La función de transferencia bumpless del PLC DL06 está disponible en dos tipos: Bumpless I y Bumpless II (Vea la página 8-26). Este modo es seleccionado cuando se configura el lazo.

## Alarmas

El DL06 permite que el usuario especifique las condiciones de alarmas que deben ser supervisadas para cada lazo. Las condiciones de alarmas son informadas a la CPU al configurar las alarmas en *DirectSOFT*, usando el diálogo de alarmas en el diálogo **Setup PID**.

Las funciones de alarmas para cada lazo son:

- **Límites** – Especifica hasta cuatro puntos de alarmas de la variable de proceso PV
 

<b>High-High</b>	PV está encima del límite programado <i>High-High Alarm</i> .
<b>High</b>	PV está encima del límite programado <i>High Alarm</i> .
<b>Low</b>	PV está debajo del límite programado <i>Low Alarm</i> .
<b>Low-Low</b>	PV está debajo del límite programado <i>Low-Low</i> .
- **Alarmas de desvío** – Se puede también especificar una alarma de desvío High-High y Low-Low (desvío anaranjado). Cuando el PV es más alto que el valor de referencia (setpoint) que el límite programado amarillo o anaranjado, se activa el bit correspondiente de alarma en una de las palabras de la tabla PID.
- **Tasa de cambio** – Esta alarma se activa cuando el PV cambia más rápidamente que lo especificado en el límite *rate of change*.
- **Histéresis de alarma del PV** – Las alarmas de límite y de desvío del PV se programan usando valores de umbral. Cuando el valor absoluto o el desvío excede el umbral, el estado de la alarmas se torna verdadero. Las señales del mundo real de PV tienen cierto ruido en ellos, que pueden causar una cierta fluctuación en el valor del PV en la CPU. Cuando el valor del PV cruza un umbral de alarma, sus fluctuaciones harán que la alarma sea intermitente y moleste a operadores de proceso. La solución es utilizar la función de histéresis de alarma del PV.

### Modos de funcionamiento del control PID

El controlador PID del PLC DL06 funciona en uno de tres modos, o *Manual, Automático o cascada*.

**Manual** - En el modo manual, la salida de control es determinada por el operador, no el controlador PID. Mientras esté en modo manual, el controlador PID supervisa todas las alarmas incluyendo High-high (Alta-Alta), High (alta), Low (baja), Low-Low (Baja-Baja), desvíos amarillo, anaranjado y Tasa de Cambio. Vea las definiciones mas adelante en este capítulo,

**Automático** - En el modo automático, el controlador PID calcula la salida de control basada en los parámetros programados almacenados en la memoria. Se supervisan todas las alarmas mientras esté en el modo Automático.

**Cascada** - El modo en cascada es una opción del modo Automático. Si se usa la función de cascada, el lazo de control funcionará como en modo automático a excepción del hecho de que un lazo conectado en cascada tiene un valor de referencia (setpoint) que es la salida de control de otro lazo.

### Algoritmos de condiciones especiales

#### Lazo de acción Reversa

Aunque el algoritmo de PID se utiliza en un controlador de acción directa (o forward), hay veces en es necesaria una salida reversa de control. El controlador PID del PLC DL06 permite que un lazo funcione con acción reversa. Con un lazo de acción reversa, la salida se mueve en la dirección opuesta del error. Por ejemplo, si el valor de referencia SP es más grande que el valor de la variable de proceso PV, un controlador reverso disminuye la salida para aumentar el PV.

$$M_x = -K_i * e_n + M_{x_{n-1}}$$
$$M = -K_c * e_n + K_r(PV_n - PV_{n-1}) + M_{x_n}$$

La ganancia de un proceso determina, en parte, cómo se debe controlar éste. El proceso que tiene una ganancia positiva, es el que llamamos "acción directa". Esto significa que cuando la salida de control aumenta, la variable de proceso también aumenta. Por supuesto, un proceso verdadero es generalmente una función compleja de transferencia que incluye atrasos de tiempo. Aquí, sólo estamos interesados en la dirección de cambio de la variable de proceso como respuesta a un cambio de la salida del control.

La mayoría de los lazos de proceso serán de actuación directa, tal como un lazo de temperatura. Un aumento en el calor aplicado aumenta la PV (temperatura). De acuerdo a ésto, los lazos de acción directa se llaman a veces "*lazos de calentamiento*".

Un lazo de "acción inversa" es uno en que el proceso tiene una ganancia negativa. Un aumento en la salida de control tiene como resultado una disminución en la variable PV. Esto se encuentra comúnmente en controles de refrigeración, donde un aumento en la entrada del sistema de enfriamiento causa una disminución en la PV (temperatura). Por consiguiente, los lazos de acción inversa se llaman a veces *lazos de enfriamiento*.

¡Es importantísimo saber si cierto lazo es de acción directa o inversa! A menos que usted controle la temperatura, no hay una respuesta obvia. En un lazo de control de flujo, un circuito de posición de válvula se puede configurar y puede ser alambrado como acción directa tan fácilmente como acción inversa.

Una manera fácil de averiguar el tipo de acción es hacer funcionar el lazo en modo manual, donde usted debe generar manualmente los valores de la salida de control. Observe si la variable PV sube o baja en respuesta a un aumento en la salida de control.

#### Raíz cuadrada de la variable de proceso

Se selecciona la raíz cuadrada siempre que la variable de proceso PV sea de un dispositivo tal como una placa orificio que requiera este cálculo.

#### Control con error al cuadrado

Siempre que se seleccione el control con error al cuadrado, se calcula el error como:

$$e_n = (SP - PV_n) * ABS(SP - PV_n)$$

Un lazo que usa el error al cuadrado responde menos rápidamente que un lazo usando apenas el error normal, sin embargo, él responderá más rápidamente con un error grande. Mientras más pequeño sea el error, es menos rápida la respuesta del lazo. El control con error al cuadrado sería típicamente usado en una aplicación de control de pH.

#### Control de banda muerta del error

Con control de banda muerta del error, el controlador PID no toma ninguna acción de control si el PV está dentro del área especificada de la banda muerta alrededor del valor de referencia (setpoint). La banda muerta del error es igual sobre y debajo del valor de referencia (setpoint).

Cuando la variable de proceso PV esté fuera de la banda muerta de error alrededor del valor de referencia (setpoint), se usa el valor de error en el cálculo del lazo.

$$e_n = 0 \quad \text{SP - banda muerta\_SP} < PV < \text{SP - banda muerta\_Above\_SP}$$

$$e_n = P - PV_n \quad \text{o de otra forma}$$

El error será elevado al cuadrado primero si se selecciona error al cuadrado y banda muerta de error.

#### Limitación de la ganancia derivativa

Cuando el coeficiente del término derivativo,  $K_d$ , es un valor grande, el ruido introducido en la variable de proceso PV puede dar lugar a un valor errático de salida del lazo de control. Este problema es corregido especificando un límite a la ganancia derivativa que limita el coeficiente  $K_d$ . El límite de la ganancia derivativa es un filtro de primer orden aplicado al cálculo derivado del término,  $Y_n$ , según lo mostrado abajo.

$$Y_n = Y_{n-1} + \frac{T_s}{T_s + \left(\frac{T_d}{K_d}\right)} * (PV_n - Y_{n-1})$$

Algoritmo de posición

$$M_x = K_i * e_n + M_{x_{n-1}}$$

$$M = K_c * e_n - K_r * (Y_n - Y_{n-1}) + M_x$$

Algoritmo de Velocidad

$$\Delta M = K_c * (e_n - e_{n-1}) + K_i * e_n - K_r * (Y_n - 2 * Y_{n-1} + Y_{n-2})$$

# Diez pasos para obtener un buen control de proceso

Los controladores PID en el PLC DL06 proporcionan funciones sofisticadas de control de proceso. En los sistemas automatizados de control puede ser difícil depurar un programa, porque un síntoma dado puede tener muchas causas posibles. Recomendamos un enfoque cuidadoso, paso a paso, para hacer que un nuevo control funcione correctamente:

### Paso 1: Sepa la receta

El más importante conocimiento es cómo hacer su producto. Este conocimiento es la base para diseñar un sistema efectivo de control. Una "receta" buena del proceso hará lo siguiente:

- Identifique todas variables pertinentes de proceso, tales como temperatura, presión, o flujos, etc. que necesitan un control preciso.
- Grafique los valores deseados de señal de referencia para cada variable de proceso mientras dure de un ciclo de proceso.

### Paso 2: Planee la estrategia de control de lazos cerrados

Esto significa simplemente escoger el método que la máquina usará para mantener el control sobre las variables de proceso para seguir su señal de referencia. Esto implica muchos asuntos y escenarios, tales como eficiencia energética, costos del equipo, la posibilidad de atender a la máquina durante la producción, y otros. Usted debe determinar también cómo generar el valor de referencia durante el proceso y si un operario de la máquina puede cambiar este valor (SP) u otros valores para la operación correcta del lazo de control.

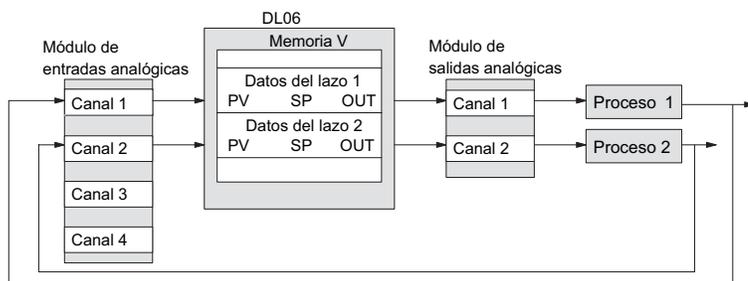
### Paso 3: Dimensione correctamente los componentes del lazo

Asumiendo que la estrategia del control es apropiada, también es crucial *dimensionar adecuadamente los actuadores y los sensores*. Escoja un actuador (calentador, bomba, etc.) que sea del tamaño de la carga. Un actuador demasiado grande tendrá un efecto exagerado en su proceso después de un cambio de SP. Sin embargo, un actuador pequeño permitirá que el PV se atrase o se desvíe del SP después de una perturbación o cambio del SP del proceso. Escoja un sensor de PV que cubra el rango de interés (y el control) para el proceso. Decida la resolución del control que usted necesita para el PV (tal como dentro de 2 grados C), y cerciórese que el sensor proporciona el valor de entrada del lazo con por lo menos 5 veces esa resolución (en el nivel de LSB). Sin embargo, un sensor súper sensible puede causar oscilaciones de control. El PLC DL06 permite medir valores de señal unipolar y bipolar de 12 bits, de 15 bits y de 16 bits. Esta selección afecta el SP, la PV, la salida de control (CV) y la suma del Integrador.

### Paso 4: Escoja los módulos de entradas y salidas

Después de decidir el número de lazos, las variables de proceso PV a medir, y los valores de referencia SP, usted puede escoger los módulos apropiados de entradas y salidas. Vea la figura en la próxima página. En muchos casos, usted será capaz de compartir módulos de entrada o salida, o usar un módulo analógico combinación de entradas y salidas, entre varios lazos del control. El ejemplo mostrado envía la PV y las señales de la salida de control de dos lazos por el mismo conjunto de módulos. Por ejemplo, puede escoger módulos analógicos de entrada con 4 canales por módulo que aceptan señales 0 - 20mA o 4 - 20mA.

Hay también módulos con señal de 0-5 Volt CC o 0-10 VCC, unipolares. O módulos que miden la temperatura directamente de termopares u de detectores de temperatura por resistencia, como los PT100. Vea el catálogo de ventas para mayores informaciones sobre estos módulos, o baje el manual desde nuestro sitio de Internet [www.automationdirect.com](http://www.automationdirect.com). Este manual es el artículo D0-OPTIONS-M-SP.



### Paso 5: Cableado e instalación

Después que ha hecho la selección y la adquisición de todos componentes del lazo y módulos de entradas y salidas, usted puede realizar el cableado y la instalación. Vea las recomendaciones de cableado en el manual del PLC. Los errores de cableado más comunes cuando se instalan controles de lazos PID son:

- Invertir la polaridad del sensor o conexiones del actuador.
- Las conexiones erradas de la señal entre componentes del lazo.

### Paso 6: Los parámetros del lazo

Después que ha hecho el cableado e instalación, escoja los parámetros de configuración del lazo. El método más fácil para programar las tablas de lazo es usar *DirectSOFT*. Este software proporciona cajas de diálogo de configuración PID que simplifican la tarea. **NOTA:** es importante entender el significado de todos parámetros del lazo mencionados en este capítulo antes de escoger los valores a ser entrados.

### Paso 7: Verifique el desempeño del lazo en circuito abierto

Con el cableado de los sensores y actuadores hechos y con los parámetros de lazo entrados, debemos verificar detenidamente y manualmente el sistema nuevo de control (use el modo Manual).

- Verifique que el valor de PV del sensor es correcto.
- Si es seguro hacer así, aumente gradualmente la salida de control encima de 0%, y vea si el PV responde (y se mueve en la dirección correcta!)

### Paso 8: Sintonía del lazo

Si la prueba del lazo en circuito abierto muestra que la PV que lee es correcta y que la salida de control tiene el efecto apropiado en el proceso, usted puede proseguir el procedimiento de la sintonía de lazo con circuito cerrado. En este paso, usted afina el lazo de modo que la PV sigue automáticamente al SP.

### Paso 9: Haga funcionar el ciclo del proceso

Si la prueba de lazo cerrado muestra que la PV seguirá pequeños cambios en el SP, considere hacer funcionar un ciclo verdadero de proceso. Usted necesitará haber completado la programación que generará la referencia (SP) deseada en tiempo real. En este paso, usted puede querer hacer funcionar una pequeña prueba del producto por la máquina, mirando el cambio de SP según la receta.

**ADVERTENCIA:** Esté seguro que la Parada de Emergencia esté accesible y que puede cortar la energía sin problemas, en caso de que el proceso se vaya fuera de control. Pueden haber daños al equipo y/o heridas graves al personal si se pierde el control de algunos procesos.



### Paso 10: Salve los parámetros

Cuando las pruebas del lazo y sesiones de sintonía estén completas, asegúrese de salvar todos los parámetros de configuración de lazo al disco o incluso en el programa ladder.

## Configuración de lazos PID en el PLC DL06

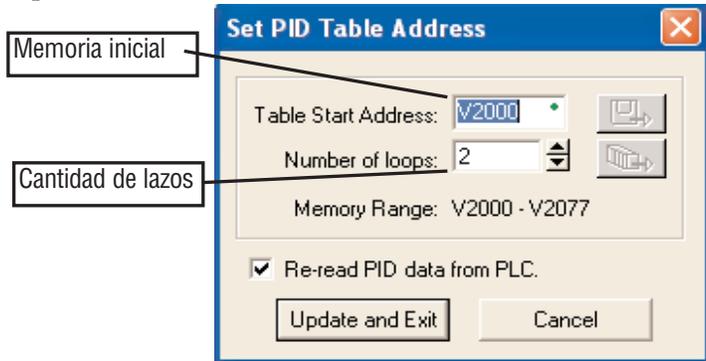
### Ud debe conocer lo siguiente antes de comenzar:

Asegúrese de que sus módulos analógicos han sido instalados y estén funcionando antes de comenzar la configuración de lazo PID.

No existe una "instrucción de PID" en la programación ladder en los PLCs DL06, como en otros PLCs. En vez de eso, la CPU lee los parámetros de direcciones reservadas de memoria.

La forma más simple de configurar los parámetros es

con *DirectSOFT*. Para hacer ésto, el PLC DL06 debe estar energizado y conectado a la computadora con *DirectSOFT*. Los parámetros pueden ser ingresados solamente cuando el PLC está en el modo Program. Coloque la dirección inicial en el diálogo **Set PID Table Address**, que se obtiene al hacer clic en el menú PLC, luego Setup y por último PID, cuando se abre el PID setup en



*DirectSOFT*. Este diálogo se ve en la figura adyacente. También, al entrar la cantidad de lazos PID (1 a 8), aparecerá el rango de memoria a ser usado por los lazos PID. Al hacer clic en el botón **Update and Exit**, aparecerán otros diálogos que permiten entrar más parámetros en cada uno de los lazos. Vea más detalles en la página 8-25.

Si trabaja con la lógica ladder, viene a continuación la explicación de las memorias del PLC:

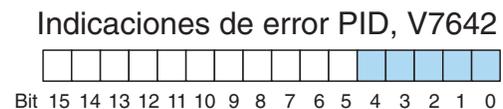
Se debe programar un valor en V7640 para señalar el inicio de la tabla del lazo, como mostrado en la tabla de abajo. Luego se requiere programar V7641 con el número de lazos que quiera que la CPU calcule. V7642 contiene indicaciones de error que se harán verdaderas si V7640 o V7641 se programan impropiamente.

Si el número de lazos es "0", la función del controlador de lazos PID se deshabilita durante el barrido de un programa ladder. El controlador PID le permitirá el uso de lazos en orden creciente, comenzando con 1. Por ejemplo, usted no puede usar el lazo 1 y 4 y saltarse 2 y 3.

Bit	Descripción de error (0 es el estado sin error; 1 es con error) en V7642
0	La dirección inicial (en V7640) está fuera del rango más bajo de memoria del PLC
1	La dirección inicial (en V7640) está fuera del rango más alto de memoria del PLC
2	El número de lazos escogidos (en V7641) es más que 8
3	La tabla de lazos sobrepasa el límite de memoria V de usuario V17777.

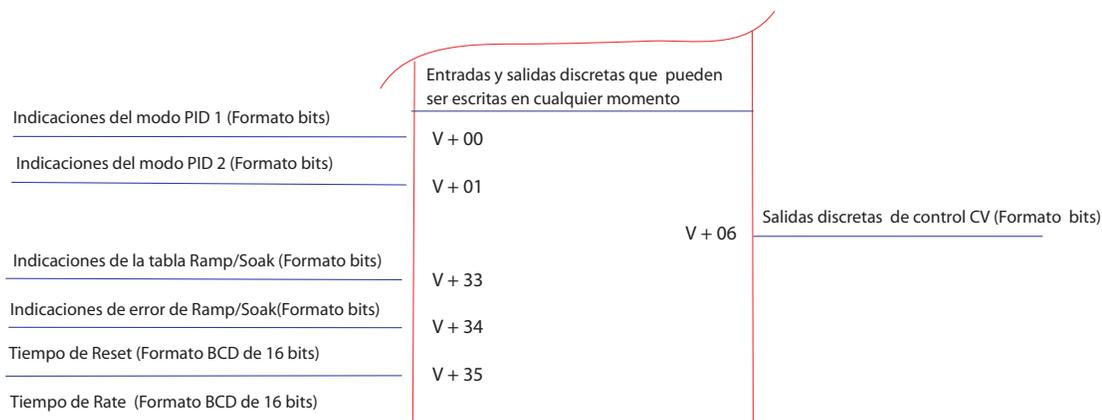
### Indicaciones de error de los lazos PID

La CPU informa cualquier error de programación de los parámetros de configuración en V7640 y V7641. Hace esto poniendo los bits apropiados en V7642 en la transición del modo de Programa a RUN.



El algoritmo interno del control PID se puede interpretar como una instrucción con varias entradas y salidas. Los parámetros de configuración se pueden escribir usando otro método tal como usando programa ladder, de modo que la memoria de indicaciones de error puede ser útil en esos casos. Vea los diagramas siguientes para entender el concepto. En las páginas siguientes se explica cada una de las variables:

Memoria inicial de la tabla PID es V + 0	
	Entradas y salidas analógicas que pueden ser escritas en cualquier momento
Referencia SP (Formato binario de 16 bits)	V + 02
Variable de proceso PV (Formato binario de 16 bits)	V + 03
Bias (Formato binario de 16 bits)	V + 04
	V + 05
	Salida de control CV (Formato binario de 16 bits)
Período de muestreo (Formato BCD de 16 bits)	V + 07
Ganancia proporcional (Formato BCD de 16 bits)	V + 10
Tiempo de Reset (Formato BCD de 16 bits)	V + 11
Tiempo de Rate (Formato BCD de 16 bits)	V + 12
Ajuste de banda muerta (Formato binario de 16 bits)	V + 23
Límite inferior de SP (Formato binario de 16 bits)	V + 26
Límite superior de SP (Formato binario de 16 bits)	V + 27
Puntero del SP remoto (Formato binario de 16 bits)	V + 32
	Entradas y salidas analógicas que pueden ser escritas solamente en program mode
Alarma L-L de PV (Formato binario de 16 bits)	V + 13
Alarma L de PV (Formato binario de 16 bits)	V + 14
Alarma H de PV (Formato binario de 16 bits)	V + 15
Alarma H-H de PV (Formato binario de 16 bits)	V + 16
Alarma amarilla de desvío (Formato binario de 16 bits)	V + 17
Alarma roja de desvío (Formato binario de 16 bits)	V + 20
Alarma de tasa de cambio (Formato binario de 16 bits)	V + 21
Ajuste de histéresis (Formato binario de 16 bits)	V + 22
Ajuste de limite derivativo (Formato BCD de 16 bits)	V + 25
Límite inferior de CV (Formato binario de 16 bits)	V + 30
Límite superior de CV (Formato binario de 16 bits)	V + 31
Dirección de tabla R/S (Formato binario de 16 bits)	v + 34



Observe entonces que el algoritmo PID tiene asociadas direcciones de memoria que pueden ser conectadas a los parámetros del algoritmo PID.

Dirección	Parametro de configuración	Tipo de datos	Rangos	Lee/Escribe
V7640	Puntero de la tabla de parámetros de lazos	Octal	V1200 V7340 V10000-V17740	escribe
V7641	Cantidad de lazos	BCD	0 – 8	escribe
V7642	Indicación de error	Binario	0 o 1	lee

Si usted usa el diálogo de configuración de lazos de *DirectSOFT*, la verificación automática de rangos impide posibles errores de configuración. Sin embargo, los parámetros de configuración se pueden escribir usando otros métodos tales como usando programa ladder, de modo que la memoria de indicaciones de error puede ser útil en esos casos. La tabla siguiente lista los errores informados en V7642.

Bit	Descripción de error (0 es el estado sin error; 1 es con error)
0	La dirección inicial (en V7640) está fuera del rango más bajo de memoria del PLC
1	La dirección inicial (en V7640) está fuera del rango más alto de memoria del PLC
2	El número de lazos escogidos (en V7641) es más que 8
3	La tabla de lazos sobrepasa la frontera en V7577. Use una dirección más cerca a V1200.

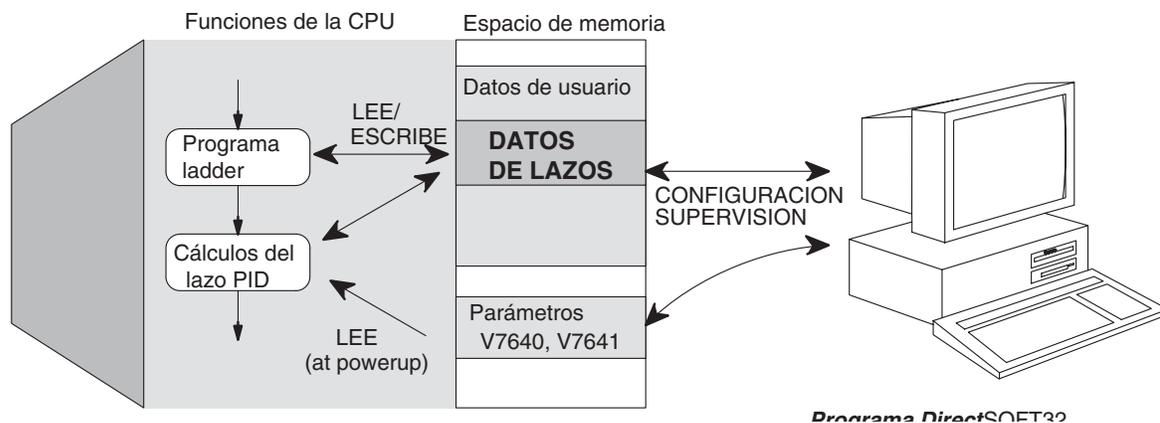
En una transición del modo Program a Run, la CPU lee los parámetros. En ese momento, la CPU sabe cual es la localización de la tabla PID y cuántos lazos de control se han configurado. Luego, durante el barrido del programa ladder, el algoritmo PID usa los valores del lazo para ejecutar los cálculos que determinan la salida de control, para generar alarmas, etc.

Hay algunos parámetros de la tabla que pueden ser leídos o escritos en cada cálculo de la salida del lazo de control PID.

## Estableciendo el tamaño de la tabla de lazos y localización

En una transición del modo Program a Run, la CPU lee los parámetros. En ese momento, la CPU sabe cual es la localización de la tabla PID y cuántos lazos de control se han configurado. Luego, durante el barrido del programa ladder, el algoritmo PID usa los valores del lazo para ejecutar cálculos, generar alarmas, etc. Hay algunos parámetros de la tabla que pueden ser leídos o escritos en cada cálculo del lazo.

La tabla de parámetros de lazos contiene los datos para tantos lazos como se haya definido en V7641.



Cada configuración de un lazo ocupa 32 palabras (0 a 37 octal) en la tabla de lazos.

Por ejemplo, supongamos que usted tiene una aplicación con 4 lazos, y usted escoge V2000 como dirección inicial. Los parámetros de lazos ocuparán V2000 - V2037 para el lazo 1, V2040 - V2077 para el lazo 2, etcétera. El lazo 4 ocupa V2140 - V2177.

Determine el bloque de memoria V a ser usado por cada lazo PID. Además de ser el inicio del bloque de memorias V consecutivas del lazo PID, la primera dirección será en inicio de los parámetros del lazo 1. recuerde que hay 32 palabras ( 0 a 37 octal) usadas en cada lazo. Una vez que se haya determinado la dirección inicial, entoces se puede configurar y almacenar los parámetros del lazo PID ya sea directamente en su programa ladder o usando la utilidad de configuración de PID (Setup PID) en *DirectSOFT*.

Memoria V	Datos del usuario
↑ V2000	LAZO #1
↓ V2037	32 palabras
↑ V2040	LAZO #2
↓ V2077	32 palabras
•	LAZO #3
•	32 palabras
•	LAZO #4
	32 palabras

### Definiciones de palabras de la tabla de lazos

Los parámetros asociados con cada lazo se listan en la tabla de abajo. El desvío de la dirección está en octal, para ayudarlo a localizar parámetros específicos en una tabla de lazos. Por ejemplo, si una tabla comienza en V2000, entonces la dirección del término RESET(integral) es **Addr + 11**, o V2011. No use el número de la palabra (en la primera columna) para calcular las direcciones.

Palabra #	Dirección y desvío	Descripción	Formato	Lee "durante la operación"
1	Dirección + 0	Configuración 1 del lazo PID	bits	Si
2	Dirección + 1	Configuración 2 del lazo PID	bits	Si
3	Dirección + 2	Valor de señal de referencia (SP)	palabra/binario	Si
4	Dirección + 3	Variable de proceso (PV)	palabra/binario	Si
5	Dirección + 4	Valor de bias (integral)	palabra/binario	Si
6	Dirección + 5	Valor de salida de control	palabra/binario	Si
7	Dirección + 6	Estado de Modo y de alarmas	bits	-
8	Dirección + 7	Valor del período de muestreo	palabra/BCD	Si
9	Dirección + 10	Valor de ganancia	palabra/BCD	Si
10	Dirección + 11	Valor del tiempo de RESET	palabra/BCD	Si
11	Dirección + 12	Valor de tasa (derivativo)	palabra/BCD	Si
12	Dirección + 13	Alarma Low-Low de PV	palabra/binario	No*
13	Dirección + 14	Alarma Low de PV	palabra/binario	No*
14	Dirección + 15	Alarma High de PV	palabra/binario	No*
15	Dirección + 16	Alarma High-High de PV	palabra/binario	No*
16	Dirección+ 17	Alarma de desvío de PV (amarilla)	palabra/binario	No*
17	Dirección + 20	Alarma de desvío de PV (roja)	palabra/binario	No*
18	Dirección + 21	Alarma de tasa de cambio de PV	palabra/binario	No*
19	Dirección + 22	Valor de alarma de histéresis	palabra/binario	No*
20	Dirección+ 23	Valor de error de banda muerta, PV	palabra/binario	Si
21	Dirección+ 24	Constante del filtro pasa bajo de PV	palabra/BCD	Si
22	Dirección + 25	Factor límite de ganancia derivativa	palabra/BCD	No**
23	Dirección + 26	Límite inferior del valor SP	palabra/binario	Si
24	Dirección + 27	Límite superior del valor SP	palabra/binario	Si
25	Dirección + 30	Límite inferior de salida de control	palabra/binario	No**
26	Dirección + 31	Límite superior de salida de control	palabra/binario	No**
27	Dirección + 32	Puntero del valor remoto de SP	palabra/hex	Si
28	Dirección + 33	Indicación de ramp/Soak	bit	Si
29	Dirección + 34	Dirección inicial de tabla Ramp/Soak	palabra/hex	No**
30	Dirección + 35	Indicaciones de error de Ramp/Soak	bits	No**
31	Dirección + 36	Transferencia automática	palabra/hex	Si
32	Dirección + 37	# de Canal, transferencia automática de la salida de control	palabra/hex	Si

\* El algoritmo lee datos solamente al algoritmo cuando el bit de alarma hace la transición de 0 a 1

\*\* El algoritmo lee datos solamente en un cambio de modo del PLC

### Descripciones de bits de la palabra configuración de modo PID 1 (Addr + 00)

Las definiciones individuales de bits de la palabra 1 (Addr+00) están listados en la tabla siguiente. Está disponible información adicional acerca del uso de esta palabra posteriormente en este capítulo.

Bit	Descripción	Leer/ escribir	Bit=0	Bit=1
0	Pedido de Operación en modo Manual	Escribe	–	Transición de OFF para ON
1	Pedido de Operación de modo Automático	Escribe	–	Transición de OFF para ON
2	Pedido de Operación modo en Cascada	Escribe	–	Transición de OFF para ON
3	Selección de Transferencia Sin saltos	Escribe	Mode I	Modo II
4	Selección de modo de acción Directo o Invertida	Escribe	Directa	Invertida
5	Selección de algoritmo de Posición o Velocidad	Escribe	Posición	Velocidad
6	Selección de PV lineal o raíz cuadrada	Escribe	Lineal	Raíz cuadrada
7	Selección de error lineal o cuadrado	Escribe	Lineal	Cuadrado
8	Selección de habilitar error de banda muerta	Escribe	Deshabilite	Habilite
9	Selección de límite de ganancia derivativa	Escribe	No	Si
10	Selección de "Congelar tendencia"	Escribe	No	Si
11	Selección de operación Ramp/Soak	Escribe	No	Si
12	Selección de supervisión de alarma de PV	Escribe	No	Si
13	Selección de alarma de desvío de PV	Escribe	No	Si
14	Selección de alarma de tasa de cambio del PV	Escribe	No	Si
15	PID trabaja independientemente de la CPU	Escribe	En modo RUN	Independiente del modo de la CPU

### Descripciones de bits de la palabra de configuración PID 2 (Addr + 01)

Las definiciones individuales de bits de la palabra 2 (Addr+01) están listados en la tabla siguiente. Hay información adicional disponible acerca del uso de esta palabra posteriormente en este capítulo.

Bit	Descripción	Leer/ escribir	Bit=0	Bit=1
0	Selección de rango de PV y CV (Vea notas 1 y 2)	Escribe	Unipolar	Bipolar
1	Selección de formato de datos (vea notas 1 y 2)	Escribe	12 bits	15 bits
2	Filtro analógico de entrada y transferencia automática	Escribe	OFF	ON
3	Selección de Habilitación de límites de SP	Escribe	Habilite	Deshabilite
4	Selección de unidades de Reset (Integral gain)	Escribe	Segundos	Minutos
5	Selección de algoritmo de sintonía PID automática	Escribe	Lazo cerrado	Lazo abierto
6	Selección de sintonía automática	Escribe	PID	Sólo en PI (rate = 0)
7	Iniciar sintonía automática	Lea/Escribe	Sintonía hecha	Fuerce inicio
8	Tiempo de barrido del PID (uso interno)	Lea	–	–
9	Selección de formato de 16 bits (vea notas 1 y 2)	Escribe	No 16 bits	Use 16 bits
10	Selección de datos separados para entradas y salidas	Escribe	Mismo formato	Diferente
11	Selección de rango CV uni-0 bi-polar	Escribe	Unipolar	Bipolar
12	Selección de formato de datos CV (Vea notas 2,3)	Escribe	12 bits	15 bits
13	Selección de formato de salida de 16 bits (vea 2,3)	Escribe	No 16 bits	Use 16 bits
14-15	Reservado para uso futuro	–	–	–



**Nota 1:** Si el valor en el bit 9 es 0, entonces los valores en los bits 0 y 1 son leídos. Si el valor en el bit 9 es 1, entonces los valores en los bits 0 y 1 no son leídos, y el bit 9 define el formato de datos (el rango es automáticamente unipolar).



**Nota 2:** Si el valor en el bit 10 es 0, entonces los valores en los bits 0, 1, y 9 definen los rangos de entradas y salidas y formatos de datos (los valores en los bits 11, 12 y 13 no son leídos). Si el valor en el bit 10 es 1, entonces los valores en los bits 0, 1, y 9 definen sólo el rango de entrada y formato de datos, y los bits 11, 12, y 13 son leídos y definen el rango de salidas y formato de datos.



**Nota 3:** Si el bit 10 tiene un valor de 1 y el bit 13 tiene un valor de 0, entonces el bit 11 y 12 son leídos y definen el rango de salidas y formato de datos. Si el bit 10 y el bit 13 cada uno tiene un valor de 1, entonces los bits 11 y 12 no son leídos, y el bit 13 define el formato de datos (el rango de salida es automáticamente unipolar).

### Palabra de supervisión de modo/alarmas (Addr + 06)

En la tabla siguiente se describen las definiciones individuales de bits de la palabra de supervisión de modo/alarmas (Addr+06). Hay más detalles en la sección del modo de PID y la sección de alarmas.

Bit	Descripción del bit de Modo / Alarma	Lee/escrbe	Bit=0	Bit=1
0	Indicación de modo Manual	Lee	–	Manual
1	Indicación de modo Automatico	Lee	–	Automatico
2	Indicación de modo Cascada	Lee	–	Cascada
3	Alarma Low-Low de la PV	Lee	OFF	ON
4	Alarma Low de la PV	Lee	OFF	ON
5	Alarma High de la PV	Lee	OFF	ON
6	Alarma High-High de la PV	Lee	OFF	ON
7	Alarma de desvío YELLOW de PV	Lee	OFF	ON
8	Alarma de desvío RED de PV	Lee	OFF	ON
9	Alarma de tasa de cambio de PV	Lee	OFF	ON
10	Alarma de error de valor de programacion	Lee	–	Error
11	Cálculo de overflow/underflow	Lee	–	Error
12	Lazo está en sintonia automática	Lee	OFF	ON
13	Iniciación de error de sintonia automática	Lee	–	Error
14–15	Reservado para uso futuro	–	–	–

### Tabla de indicaciones de Ramp/Soak (Rampa y valor constante) (Addr + 33)

En la tabla siguiente se describen las definiciones individuales de los bits de indicación de la tabla Ramp/Soak (Addr+33). Se describen detalles adicionales en la sección de la Operación Ramp/Soak.

Bit	Descripción de bit de indicación de Ramp/Soak	Lee/escrbe	Bit=0	Bit=1
0	Iniciar el perfil Ramp/Soak	Escribe	–	Parte en la transición 0 - 1
1	Mantenga los valores del perfil Ramp/Soak	Escribe	–	Mantiene en transición 0 -1
2	Reanuda el perfil Ramp/Soak	Escribe	–	Reanuda en transición 0-1
3	Jog del perfil Ramp/Soak	Escribe	–	Jog en transición 0-1
4	Perfil Ramp/Soak completo	Lee	–	Completado
5	Desvio de la variable PV en Ramp/Soak	Lee	OFF	ON
6	Valores de Perfil de Ramp/Soak mantenidos	Lee	OFF	ON
7	Reservado	Lee	–	–
8–15	Etapa corriente en el perfil Ramp/Soak	Lee	Decodifique como byte (hexadecimal)	

Los bits 8-15 deben ser leídos como un byte para indicar el número actual del segmento del generador de la Ramp/Soak en el perfil. Este byte tendrá los valores 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F, y 10, que representa los segmentos 1 a 16 respectivamente. Si el byte = 0, entonces la tabla Ramp/Soak no está activada.

### Localización de la tabla Ramp/Soak (Rampa y valor constante) (Addr + 34)

Cada lazo que usted configura tiene la opción de usar el generador de Ramp/Soak dedicado a ese lazo. Esta característica genera los valores de referencia que siguen un perfil en el tiempo. Para usar la característica Ramp/Soak, usted debe programar una tabla separada de 32 palabras con valores apropiados. Una caja de diálogo *DirectSOFT* hace que esta tabla sea muy fácil de hacer.

En la tabla de lazos, el puntero de la tabla Ramp/Soak en Addr + 34 debe indicar el comienzo de los datos de la Ramp/Soak para ese lazo. Este puede estar en cualquier lugar en la memoria de usuario, y no tiene que estar contiguo a la tabla de Parámetros del lazo, como se muestra a la izquierda. Cada tabla de Ramp/Soak requiere 32 palabras, sin importar el número de segmentos programados.

Los parámetros de tabla de Ramp/Soak se definen en la tabla de abajo. Hay más detalles adicionales en la sección de la Operación de la Ramp/Soak, en la página 8-60.



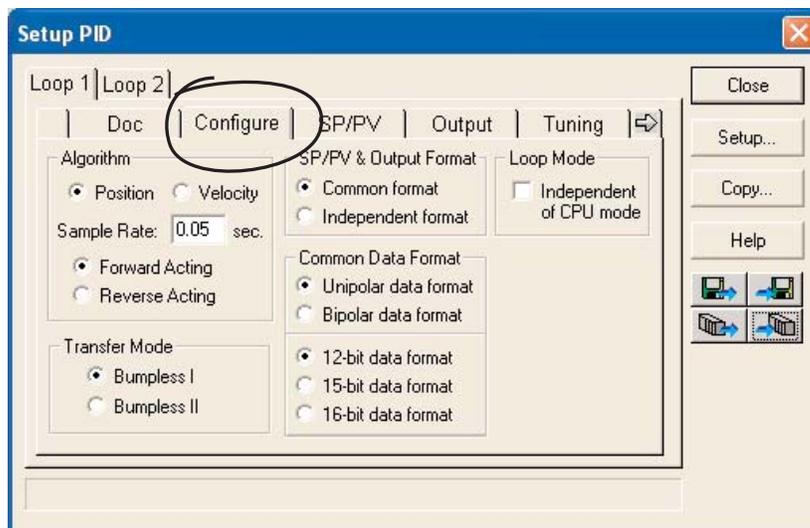
### Indicaciones de error de programación en tabla Ramp/Soak (Addr + 35)

Las definiciones individuales del bit de indicaciones de Error de Programación de Tabla de Ramp/Soak (Rampa y valor constante) en la palabra (Addr+35) son listadas en la tabla siguiente. Detalles adicionales son mostrados en la sección de modo de lazos de PID y en la sección de alarmas de la variable de proceso PV luego en este capítulo.

Bit	Descripción de indicación de error Ramp/Soak	Lee/escribe	Bit=0	Bit=1
0	Dirección inicial del rango inferior de memorias V	Lee	-	Error
1	Dirección inicial del rango superior de memorias V	Lee	-	Error
2-3	Reservado para uso futuro	-	-	-
4	Dirección inicial del rango de parámetros de sistema	Lee	-	Error
5-15	Reservado para uso futuro	-	-	-

## Configure el lazo de control PID

Cuando se haya definido la tabla PID en la memoria V, se continúa con la configuración del lazo PID con ayuda del diálogo de *DirectSOFT* mostrado en la figura adyacente. Ud debe llenar los datos requeridos para hacer funcional el lazo PID. Seleccione la lengüeta **Configure** y entonces aparecerá el siguiente diálogo:



Seleccione el tipo de algoritmo. Puede escoger entre *Position* o *Velocity*. El valor por defecto es Position. Esta es la opción para la mayoría de las aplicaciones que incluye calentamiento y enfriamiento así como también control de nivel. Un modo de Velocity consiste en una variable tal como un totalizador de flujo en un lazo de control de flujo.

8

### Entre el período de muestreo

Las tareas principales de la CPU se pueden considerar dentro de categorías como las mostradas en la figura adyacente.

La lista representa las tareas cuando la CPU está en modo RUN, en cada barrido de la CPU. Note que los cálculos de los lazos PID ocurren después de las tareas lógicas del programa ladder

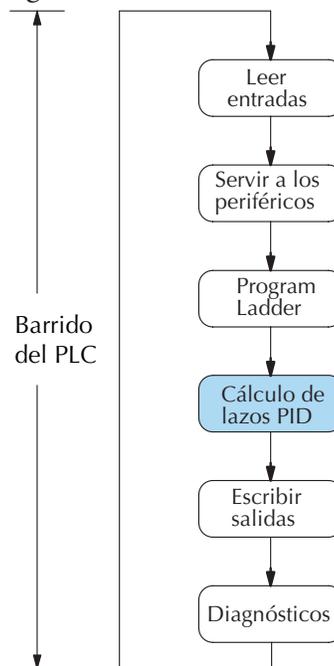
*El período de muestreo* (sample rate) de un lazo de control es simplemente el período de cálculo del lazo PID. Cada cálculo genera un valor nuevo de la salida de control.

Con el PLC DL06, usted puede definir el período de muestreo de un lazo entre 50 ms a 99,99 segundos. La mayoría de los lazos no requieren un cálculo de PID en cada barrido del PLC. Algunos lazos necesitan ser calculados sólo una vez en 1000 barridos.

Usted escoge el período deseado de muestreo para cada lazo, y la CPU automáticamente ejecuta los cálculos de PID en el barrido apropiado.

No hay un período perfecto de muestreo a usar para un lazo particular de control. Un buen período de muestreo es una configuración que satisface simultáneamente varias condiciones:

- La frecuencia deseada de muestreo es proporcional al tiempo de respuesta de la PV a un cambio en la salida de control. Generalmente, un proceso con una masa grande tendrá una frecuencia lenta de muestreo y una masa pequeña necesita una frecuencia más rápida de muestreo.



- Frecuencias más rápidas de muestreo proporcionan una salida más suave de control y desempeño de PV más exacto, pero usa más tiempo de procesamiento de CPU. El muestreo mucho más rápido que el necesario sólo sirve para malgastar la capacidad de procesamiento de la CPU.
- Frecuencias más lentas de muestreo proporcionan una salida más áspera del control y un desempeño menos exacto de PV, pero usa menos tiempo de procesamiento de CPU.
- Una frecuencia de muestreo que es demasiado lenta causará inestabilidad del sistema, particularmente cuando ocurre un cambio en la referencia (SP) o hay una perturbación.

Como punto de partida, determine un período de muestreo para su lazo que sea rápido suficiente para evitar la inestabilidad del control (que es extremadamente importante).

### Selección Forward/Reverse

Es importante saber en qué dirección responderá la salida de control al error (SP-PV), o *directo* o *reverso*. Un lazo de control forward(directo) significa que siempre que la salida de control aumente, la variable de proceso también aumentará. La salida de control de la mayoría de los lazos PID es de acción directa, tal como un lazo de control de calefacción. Un aumento en el calor aplicado aumentará el valor de la variable de proceso PV (temperatura).

Un lazo de control reverso es uno donde un aumento en la salida de control resulta en una disminución del valor de la variable de proceso PV. Un ejemplo común de esto sería un sistema de refrigeración, donde un aumento en la señal de entrada al sistema de enfriamiento causa una disminución de la variable de proceso PV (temperatura).

### Transferencia de Modos

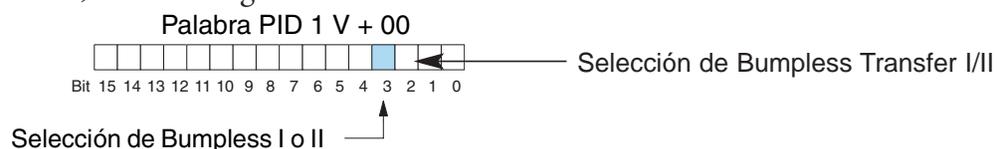
Se puede seleccionar una transferencia Bumpless I o Bumpless II para proporcionar una transición suave de la salida de control desde el modo Manual al modo Auto. Bumpless I hará la referencia SP igual a la variable de proceso PV cuando la salida de control se cambia del manual a automática. Si ésto no se desea, escoja Bumpless II.

Los tipos de transferencia Bumpless I e II se enumeran en la tabla de abajo.

Tipo de transferencia	Bit 3 de transferencia	Algoritmo PID	Acción de transferencia Manual a Auto	Transferencia Auto a Cascada
Bumpless Transfer I Transferencia sin saltos I	0	Posición	Fuerza Bias = Salida de Control Fuerza SP = PV	Fuerza la salida del lazo mayor = PV del lazo menor
		Velocity	Fuerza SP = PV	Fuerza la salida del lazo mayor = PV del lazo menor
Bumpless Transfer II Transferencia sin saltos II	1	Posición	Fuerza Bias = Salida de Control	ninguna
		Velocity	ninguna	ninguna

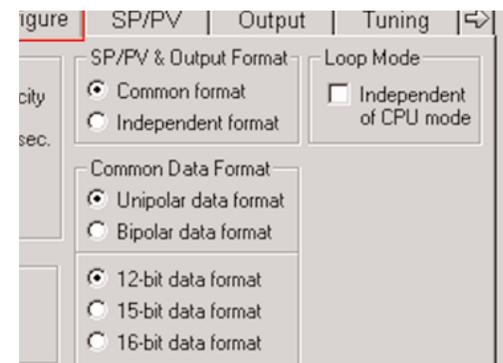
Observe que la operación también depende de qué algoritmo PID está usando, posición o velocidad de la ecuación de PID. Observe que debe usar el tipo I de la transferencia de Bumpless al usar la forma de velocidad del algoritmo de PID.

El tipo de transferencia puede también ser seleccionado en un programa ladder con el bit 3 de la palabra PID 1, V+00 configurada como se muestra:



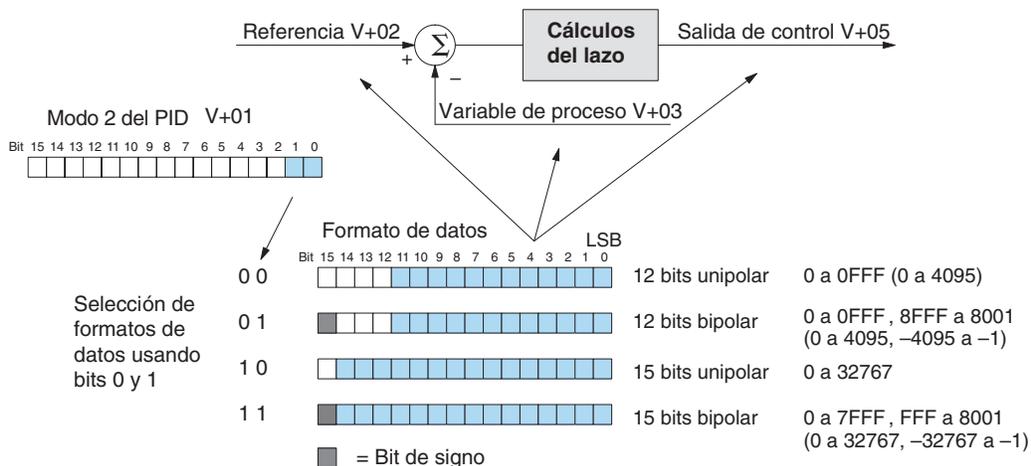
### Formato de SP/PV y salida CV

Esta parte le permite seleccionar entre *Common format* o *Independent format*. Common format es por defecto y comunmente usado. Con este formato, las entradas y salidas al controlador PID tendrán el mismo formato de datos, o sea, la misma cantidad de bits, y puede ser uni- o bipolar. Si se selecciona formato independiente, las selecciones estarán grisáceas. En ese caso éstos se seleccionan en los diálogos SP/PV y Output.



### Formato de datos común

Seleccione *Unipolar data format* (Sólo datos positivos en 12 bits (0 a 4095) o 15 bits (0 a 32767) o *Bipolar data* que es positivo o negativo (-4095 hasta 4095 o -32767 a 32767) y requiere un bit de signo. La selección bipolar no está disponible cuando se selecciona formato de 16 bits.



El formato de datos determina la interface numérica entre el lazo PID, el sensor de la variable de proceso y el aparato de la salida de control.

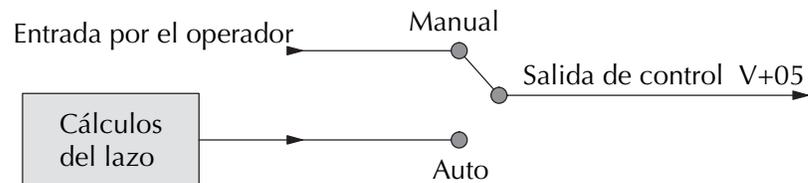
### Modos de operación del controlador PID

Esta es una característica especial que permite al controlador ejecutar control de lazo cerrado mientras la CPU está en el modo Program. Debe tenerse cuidado para seleccionar el modo *Independent of CPU mode* en el diálogo.

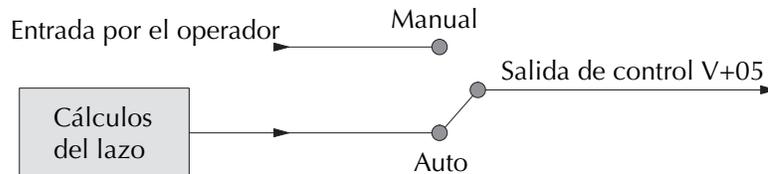
Antes de continuar con la configuración del controlador PID, es necesario definir los tres modos de control.

El PLC DL06 permite usar modos de control estándares: Manual, Automático y Cascada. Los orígenes de las 3 variables básicas, referencia SP, variable de proceso PV y salida de control CV son diferentes para cada modo.

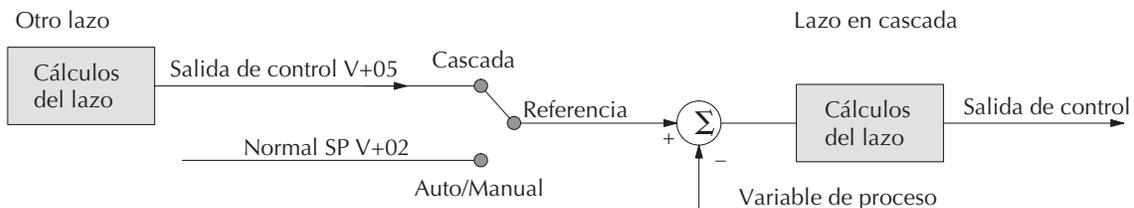
En modo **manual**, el lazo de control no ejecuta el cálculo de la salida (sin embargo, las funciones de alarma están en operación). La CPU deja de escribir valores a la memoria V + 05 (salida de control) para el lazo en cuestión. *Se espera que un operador u otro origen inteligente* controle la salida observando la variable de proceso PV y escriba datos a la salida de control V + 05 como sea necesario para mantener el proceso en control. La figura a continuación muestra el diagrama de flujo de la operación en modo manual.



En el modo **Automático**, el lazo opera normalmente y genera los valores nuevos de la salida de control. Calcula la ecuación de PID y escribe el resultado del cálculo en la dirección **addr + 05** en cada período de muestreo de aquel lazo. Se muestra abajo el diagrama equivalente.



En el modo en **cascada**, el lazo opera como si fuera el modo Automático, con una diferencia importante. El origen de la referencia SP cambia de su dirección normal **addr + 02**, usando el valor de la salida de control de otro lazo. En los modos Manual o Automático, el cálculo del lazo usa los datos en **addr + 02**. En el modo en cascada, el cálculo del lazo lee la salida de control de otra tabla de parámetros de lazos.



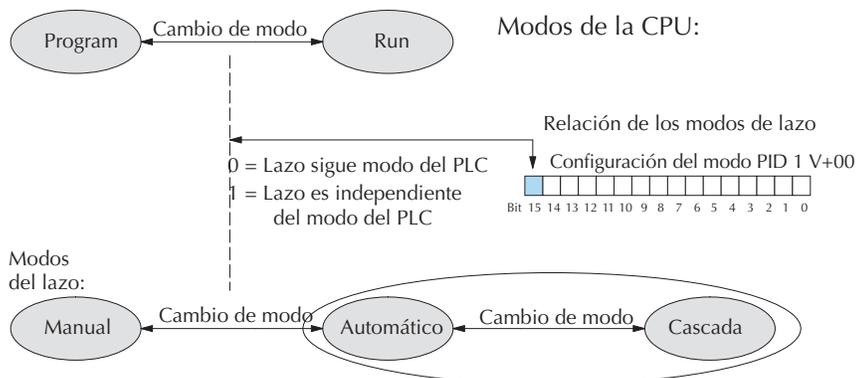
Un lazo se puede cambiar de un modo a otro, pero **no puede ir del modo Manual directamente a Cascada, ni viceversa**. Este cambio del modo no es posible porque un lazo estaría cambiando dos fuentes de datos al mismo tiempo, y podría causar una pérdida de control.



Una vez que la CPU esté funcionando en el modo RUN, la operación normal del controlador PID es leer los datos del lazo y realizar cálculos en cada ejecución del muestreo. Cuando la CPU se coloca en el modo Program, el programa ladder para la operación y todos los lazos de PID se ponen automáticamente en el modo Manual. Los parámetros de PID pueden entonces ser cambiados si es deseado. De la misma forma, colocando la CPU en el modo RUN, los lazos de PID se vuelven al modo operacional que había previamente, es decir, o Manual, Automático o Cascada. Con esta selección usted afecta automáticamente los modos cambiando el modo de la CPU.

Si el bit 15 se coloca como uno, entonces los lazos funcionarán independiente del modo de la CPU. Es como tener dos procesadores independientes en la CPU... uno está funcionando con el programa ladder y el otro está funcionando con los lazos de proceso.

Al tener la capacidad de hacer funcionar lazos independientemente del programa ladder, es factible realizar un cambio de la lógica mientras que el proceso todavía está funcionando.



Esto es especialmente beneficioso para los procesos continuos de gran escala que son difíciles o costosos de interrumpir. *Funcionamiento independiente de la CPU* es la característica usada para esto.

Si usted necesita hacer funcionar el PID mientras detenga el programa ladder, en modo Program, seleccione el modo independiente de la CPU en el diálogo de configuración o modifique su programa para colocar ON y OFF en el bit 15 de la palabra 1 de PID (V+00) en su programa. Si el bit es OFF, el lazo seguirá el modo de la CPU, después cuando la CPU se coloca en el modo Program, todos los lazos será forzados al modo Manual.

Cuando se usa el modo independiente de la CPU, usted debe también configurar el PV para leer directamente desde un módulo de entrada analógica. Esto se puede hacer fácilmente en el diálogo de configuración de PID, SP/PV.

El diálogo SP/PV tiene un bloque titulado *Process Variable*. Hay un bloque dentro de este bloque llamado *Auto Transfer From* (desde una entrada analógica) con la información grisácea. Haciendo clic en la caja a la izquierda de **Auto Transfer From** va a destacar la información. Seleccione *I/O Module* y luego entre el número de la ranura en que reside el módulo de entrada. Luego, seleccione el canal de entrada analógica a ser usado.

La segunda opción es *V-Memory*. Cuando se selecciona esto, se debe especificar la dirección de memoria V de donde es transferido el PV.

Con cualquier método de transferencia automática que se use, se recomienda hacer clic en *Enable Filter Factor* (un filtro pasa-bajo) y especificar el coeficiente de filtro.

Output

Address: V2005 Range

Upper Limit: 4095 4095

Lower Limit: 0 0

Auto transfer to I/O module

Base: 0

Slot: 2

Channel: 1

Usted debe también seleccionar la salida analógica para la salida de control a ser transferida. Esto se hace en el diálogo *Output* mostrado en la figura adyacente. El bloque de la información en este diálogo es "grisáceo" hasta que se haga clic en *Auto transfer to I/O module*. Una vez que esté comprobado, entre el número de la ranura donde está residiendo el módulo de salida analógica y después entre el número del canal de la salida analógica.

Process Variable

Address: V2003  Square root

Auto Transfer From

I/O Module

Base: 0

Slot: 1

Channel: 1

Enable Filter Factor: 0.0

Process Variable

Address: V2003  Square root

Auto Transfer From

I/O Module

Unfiltered PV Location:

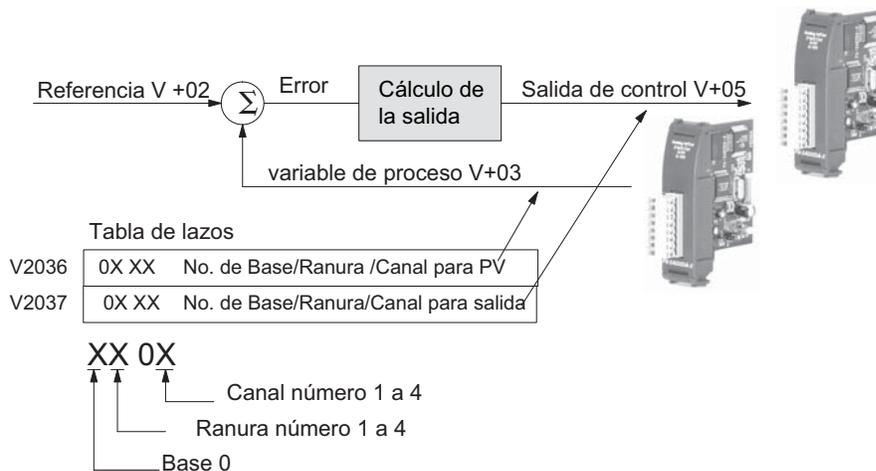
V-Memory: V1400

Enable Filter Factor: 0.0



**NOTA:** Para hacer cambios en algunos parámetros del lazo PID, éste debe estar en modo manual y el PLC debe ir a modo Program. Si usted ha seleccionado funcionamiento independiente del modo de la CPU, entonces debe tomar ciertas medidas para permitir realizar cambios de parámetros. Usted puede hacer temporalmente que los lazos sigan el modo de la CPU cambiando el bit 15 a 0. Luego usted podrá poner el lazo en modo manual usando **DirectSOFT**. Después de que usted cambie los parámetros del lazo, coloque nuevamente el bit 15 a un valor de 1 para reestablecer el funcionamiento independiente de la CPU del PID.

Usted puede configurar opcionalmente cada lazo para tener acceso a sus valores analógicos (PV y salida de control) poniendo valores apropiados en los registros asociados de la tabla del lazo en su programa ladder. La figura siguiente muestra los parámetros de la tabla del lazo en V+36 y V+37 y el rol de la transferencia automática para tener acceso a los valores analógicos directamente.



Cuando estos parámetros se programan directamente en ladder, un valor de "0102" en el registro V + 36 le ordena al controlador PID a leer los datos de la PV del canal 2 de la entrada analógica. Un valor de "0000" en el registro le dice al controlador que no tenga acceso al valor analógico correspondiente directamente. En ese caso, se debe ejecutar lógica ladder para transferir el valor entre la entrada analógica y la tabla PID.



**NOTA:** Cuando se utiliza la transferencia automática de E/S, no se tiene acceso a los datos analógicos para todos los canales en el módulo analógico por ningún otro método, es decir, puntero o múltiplex.

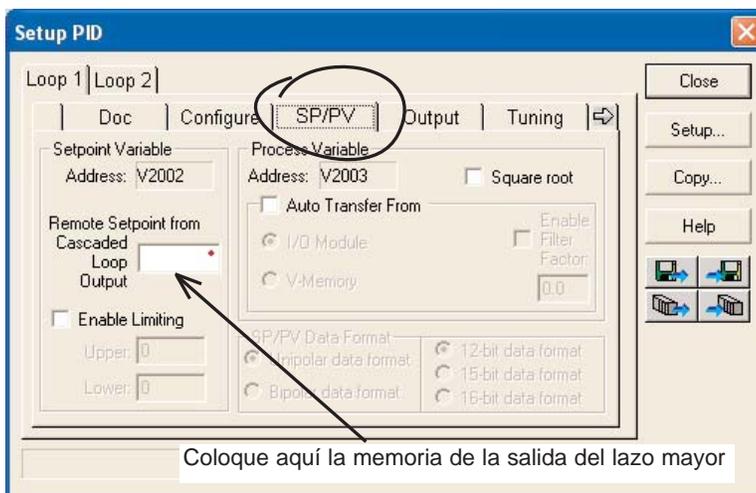
### Direcciones de memoria de SP/PV

Hay disponible un diálogo de SP/PV para configurar cómo será usado el valor de referencia (setpoint SP) y la variable de proceso (PV) en el lazo. Si este lazo es el lazo menor de un par conectado en cascada, entre la dirección en la salida de control en el valor de referencia SP, en el campo *Remote SP from Cascaded Loop Output* (Vea la figura que sigue).

Es a veces deseable limitar el rango de los valores de la referencia (setpoint) permitidos. Para activar esta limitación, haga clic en la caja al lado de *Enable Limiting*.

Esto activará los campos superiores (*Upper*) y más bajos (*Lower*) para que los valores sean entrados.

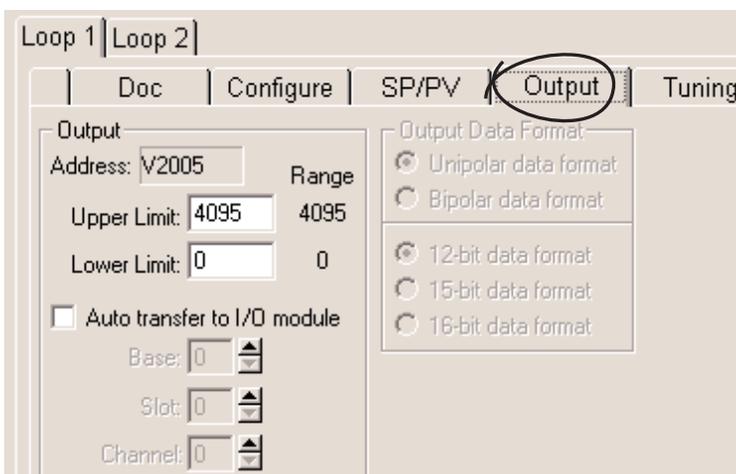
Coloque límites en el valor de referencia (SP) para evitar que un operador entre un valor fuera de un rango seguro. La caja *Square root* box se usa solamente para ciertos lazos de PID, tales como control de flujo. *Auto transfer from I/O module* puede ser usada si se ha aceptado usar **Independent of CPU** en el diálogo **Configure**. Si se selecciona *Auto transfer from I/O module* se puede usar un filtro pasa bajo de primer orden aceptando la caja *Enable Filter*. Se recomienda usar este filtro durante la sintonización de lazo cerrado (Closed loop) Si se escogió formato independiente previamente, haga las selecciones del formato de datos aquí.



**NOTA:** El diálogo SP/PV se puede dejar como aparece para la operación básica de PID.

**Límites de la salida de control**

Otro diálogo que estará disponible en la configuración PID será el diálogo OUPUT. La dirección de la salida de control, V+05, (determinada por la dirección del principio de la tabla PID) será mostrado allí. Entre los límites del rango de salida, el límite superior (*Upper Limit*) y el límite inferior (*Lower Limit*), que satisfagan el proceso y que estén de acuerdo con el formato de datos se ha seleccionado. Para una operación básica de PID usando un módulo de salida de 12 bits, configure el límite superior a 4095 y deje el sistema



con un límite inferior de 0. Haga clic en la caja *Auto transfer to I/O module* si fuera necesario enviar la salida de control a cierto módulo de salida analógica. Si se usa esta función, se deben usar todos los canales del módulo para las salidas de control PID. Si el se ha elegido formato independiente previamente, el formato de datos de salida necesitará ser configurado aquí, es decir, seleccione el formato unipolar o bipolar y el formato de bits (12 o más). Esta área no está disponible si se ha elegido el formato común *Common format* (vea la página 8-26).



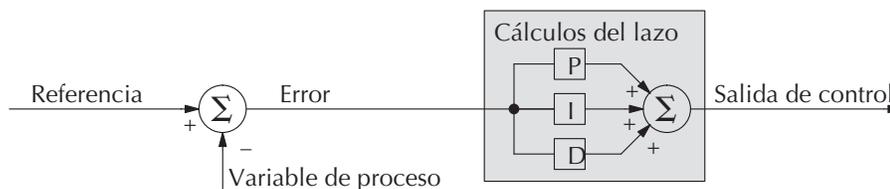
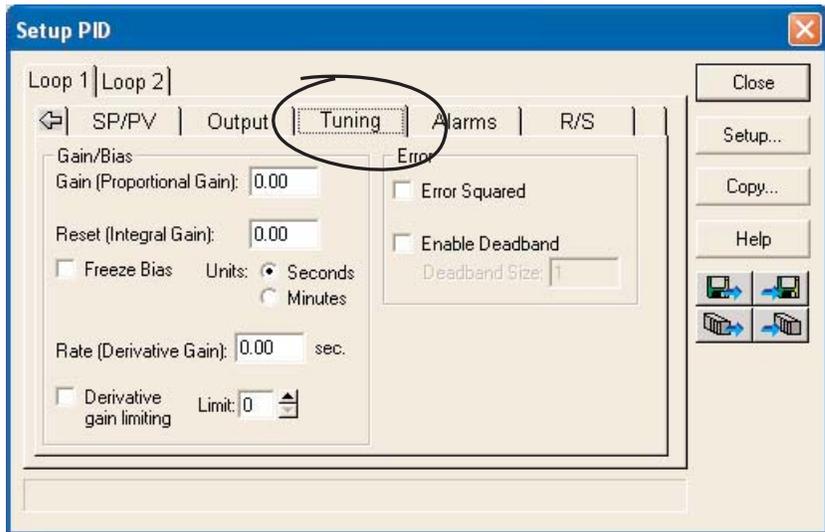
**ADVERTENCIA:** Si el límite superior se coloca como cero, la salida nunca será diferente a cero. En efecto, no habrá salida de control. Por defecto, el valor superior es cero!

### Entrando los parámetros de control PID

Otro diálogo es **Tuning** (sintonizar) que sirve para colocar los parámetros de PID mostrados tales como: Ganancia (Proportional Gain), Reset (Integral) y Rate (Derivative).

Recuerde los modos de posición y de velocidad del algoritmo PID que fueron presentados anteriormente. Las ecuaciones muestran básicamente tres componentes del cálculo de PID: Ganancia proporcional (P),

Integral (I) y Derivativa (D). El diagrama de flujo siguiente muestra el cálculo de PID en el cual la salida de control es la suma de la parte proporcional, integral y derivativa. Con cada cálculo del lazo, cada término recibe el mismo valor de la señal de error.



Las ganancias P, I y D son números de 4 dígitos BCD con valores a partir de 0000 a 9999. Contienen una coma implicada en el centro, así que los valores son realmente 00,00 a 99,99. Algunos valores de ganancia tienen unidades - la ganancia proporcional no tiene ninguna unidad, la ganancia integral se puede seleccionar en segundos o en minutos, y la ganancia derivativa es en segundos.

**Gain (Proportional Gain)** – Éste es el factor más básico de los tres. Los valores van desde 0000 a 9999, pero se usan internamente como xx.xx. Una entrada de "0000" elimina el factor proporcional de la ecuación de PID. Esto acomoda usos que necesitan lazos integrales solamente.

**Reset (Integral Gain)** – Los valores están en el rango 0001 a 9998, pero se usan internamente como xx.xx. Una entrada de "0000" o de "9999" causa que el factor integral sea "infinito", eliminando el término integral de la ecuación de PID. Esto acomoda usos que necesitan lazos proporcionales solamente. Las unidades de la ganancia integral pueden ser segundos o minutos, según lo mostrado en el diálogo antedicho.

**Rate (Derivative Gain)** – Los valores que pueden colocarse están en el rango 0001 a 9999, solamente que se usa internamente como xx.xx. Una entrada de "0000" permite el retiro del factor derivativo de la ecuación de PID (una práctica común). Esto acomoda los usos que requieren solamente lazos proporcionales e integrales. La mayoría de los lazos de control funcionarán como un lazo PI.

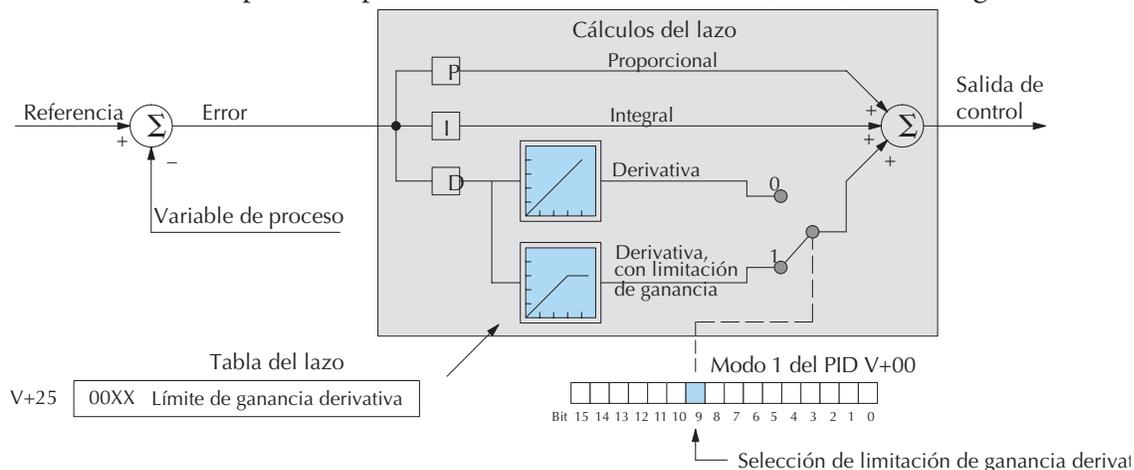


**NOTA:** Usted puede dejar espacios en blanco en el diálogo de **Tuning** y solamente entrar los parámetros en la ventana PID View de **DirectSOFT**.

### Limitación de la ganancia derivativa

La ganancia derivativa (rate) tiene una función limitadora opcional. Se suministra esta función porque la compensación derivativa reacciona muy mal al ruido en la señal de la PV o a otras causas de fluctuaciones repentinas de la PV. Esta función se muestra en el diagrama de abajo.

El límite de esta ganancia puede ser particularmente útil durante la sintonización del lazo. La mayoría de los lazos pueden tolerar solamente un pequeño aumento sin entrar en oscilaciones incontrolables. Si se acepta esta opción, se debe definir un *Limit* (límite) en el rango de 0 a 20.



**NOTA:** Al configurar un lazo, es mejor usar el término de error estándar hasta después que se sintonice el lazo. Una vez sintonizado, usted podrá decir si estas funciones mejoran el control. Se puede seleccionar error al cuadrado y banda muerta más tarde en la configuración de PID. También, los valores se pueden definir más tarde en la ventana PID View de **DirectSOFT**.

### Selección del modo de error

El término de error es interno al controlador PID, y se genera cada vez en cada cálculo de PID. Aunque sus datos no son directamente accesibles, usted puede calcularlos fácilmente restando: **Error = (SP - PV)**. Si está activada la extracción de raíz cuadrada de PV, entonces **Error = (SP - sqrt(PV))**.

De todos modos, el tamaño del error y el signo algebraico determina el próximo cambio de la salida del control para cada cálculo de PID.

**Error Squared** – Cuando está seleccionada, la función de error al cuadrado ajusta simplemente el término del error (pero preserva el signo algebraico original), que se utiliza en el cálculo. Esto afecta la salida de control disminuyendo su respuesta a valores más pequeños de error, pero manteniendo su respuesta a errores más grandes.

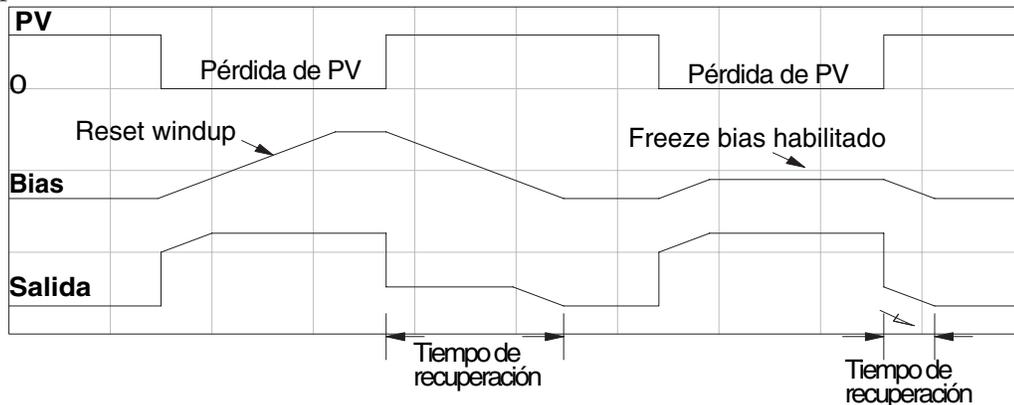
Estas son algunas situaciones en las cuales el error al cuadrado puede ser útil:

- Señal ruidosa del PV – usando un error al cuadrado puede reducir el efecto del ruido eléctrico de baja frecuencia en el PV, que hará el sistema de control “nervioso”. Un error al cuadrado mantiene la respuesta a errores más grandes.
- Proceso no lineal - algunos procesos (tales como control químico del pH) requieren controladores no lineales para mejores resultados. Otro uso es el control de un tanque pulmón, donde la señal de salida del control debe ser lisa.

El error de **banda muerta** – Cuando es seleccionado, la función de error de banda muerta toma un rango de valores de error cerca del valor cero, y simplemente substituye un cero como el valor del error. Si el error es más grande que el rango de banda muerta entonces se usa normalmente el valor de error.

### Freeze Bias

La expresión *reset windup* (saturación de integración) se refiere a una característica indeseable del comportamiento del integrador del controlador PID que ocurre naturalmente bajo ciertas condiciones. Vea la figura de abajo. Supongamos que la señal de la PV se pierde, y el valor de la PV va a cero. Aunque ésto es una falla seria de control del lazo, se hace peor por *reset windup*. Note que el término bias sigue integrando el error normalmente durante la desconexión de la PV, hasta que se alcanza el límite superior. Cuando vuelve la señal PV, el valor bias se satura (se produce el windup) y toma un gran tiempo volver a lo normal. La salida del lazo por lo tanto tiene una recuperación demorada. Hasta la recuperación, el nivel de la salida es malo y causa otros problemas.



En el segundo evento de pérdida de la señal del PV en la figura, se activa freeze bias. Esto hace que el valor de bias se mantenga cuando la salida de control sale de límites. Se evita así el problema de saturación y el tiempo de recuperación de la salida es mucho menor.

Para la mayoría de las aplicaciones, la función freeze bias funcionará con el lazo según lo descrito arriba. Se sugiere activar esta función seleccionándola en el diálogo. El bit 10 de la palabra V+00 se puede también configurar en lógica ladder.

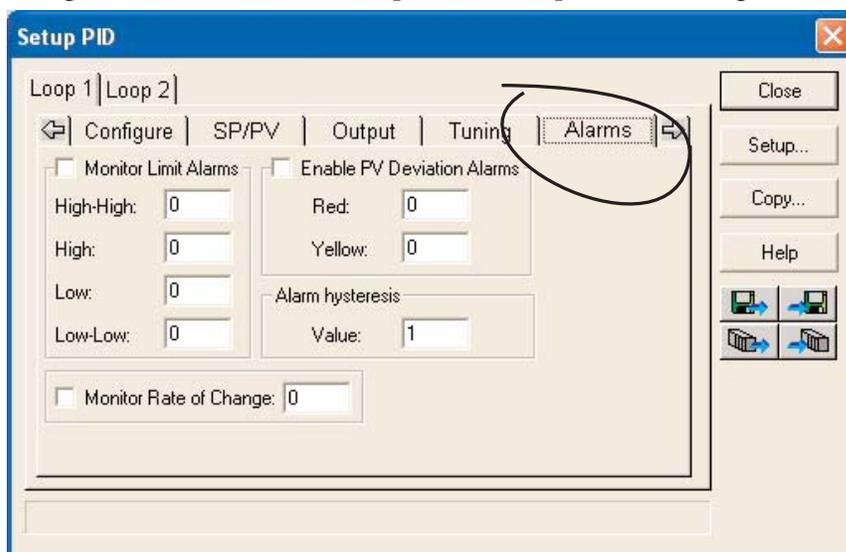


**NOTA:** *Freeze bias* hace que el bias no cambie de valor cuando la salida de control alcanza el extremo del rango de la salida. Si usted ha definido límites en la salida de control diferente que el del rango (es decir, 0-4095 para un lazo unipolar/12bit), el bias aún tratará de usar el extremo del rango para el punto donde para y por lo tanto la función no trabajará.

### Configurando las alarmas del control PID

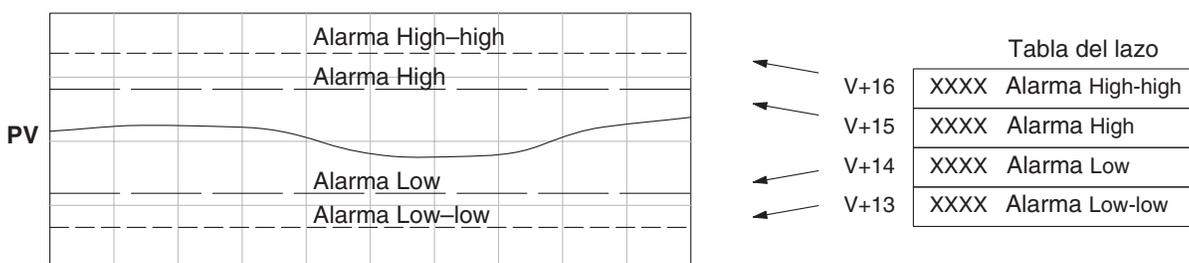
Aunque la configuración de las alarmas es opcional, usted no quisiera hacer funcionar un proceso sin supervisión. El funcionamiento de un lazo de control de proceso puede ser medido generalmente por cómo la variable de proceso sigue la referencia (setpoint). La mayoría de los lazos de control de proceso en la industria funcionan continuamente y pueden perder el control de la PV debido a una condición de error. Las alarmas de proceso son vitales para descubrir al comienzo una condición de error del lazo y pueden alertar al personal de planta para controlar manualmente un lazo o para tomar otras medidas hasta que se ha reparado la condición de error.

Los umbrales (o puntos de activación)de las alarmas son completamente programables, y cada tipo de alarma puede se activado y supervisado independientemente. El diagrama siguiente muestra el diálogo del alarma en PID setup lo cuál simplifica la configuración de las alarmas.



### Supervisión de Alarmas de límite

Aceptando la caja *Monitor Limit alarms* permitirá que todas las alarmas de límite de la PV sean supervisados cuando los límites sean definidos. Los valores absolutos de las alarmas se organizan como dos alarmas superiores y dos inferiores. El estado de alarmas es falso mientras el valor del PV se encuentre en la región entre las alarmas superiores e inferiores, según lo mostrado abajo. Las alarmas más cerca la zona ideal se nombran *High Alarm* y *Low Alarm*. Si el lazo pierde control, el PV cruzará uno de estos umbrales primero. Por lo tanto, usted puede programar los valores de umbral apropiados de alarmas en las localizaciones de la tabla del lazo



mostradas en la figura a la derecha.

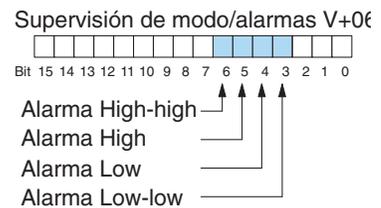
El formato de datos es igual que el PV y el SP (12-bit o 15-bit). Los valores de umbral para estas alarmas se deben definir para dar a un operador una detección temprana si el proceso pierde control.



**NOTA:** El diálogo de alarmas se puede dejar como aparece, sin entradas de alarmas. Las alarmas se pueden definir posteriormente en la ventana de PID View de **DirectSOFT**.

Si el proceso sigue fuera de control por un cierto tiempo, la PV cruzará más tarde uno de los umbrales externos de alarmas, nombrados *High-high alarm* y *Low-low alarm*. Se programan sus valores de umbral usando los registros de la tabla del lazo enumerados en la figura anterior. Una alarma *High-high* o *Low-low* indica que existe una condición seria y que necesita la atención inmediata del operador.

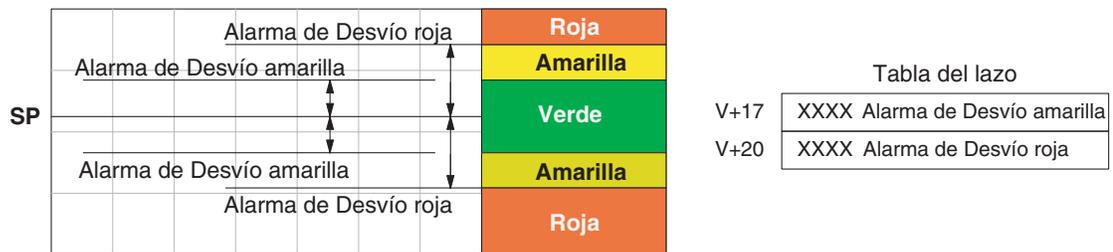
Las alarmas de valor absoluto de la PV se informan en los cuatro Bits en la palabra de estado V+06 en la tabla del lazo, según lo mostrado a la derecha. Recomendamos usar lógica ladder para supervisar estos bits. Las instrucciones de las instrucciones bit-of-word hacen ésto muy fácil. Además, usted puede supervisar alarmas de PID usando *DirectSOFT* con la ventana PID View.



### Alarmas de desvío de la PV

La alarma de desvío de la variable de proceso PV supervisa cuanto se ha desviado la PV con respecto al valor de referencia (SP). La alarma de desvío tiene dos umbrales programables, y cada umbral se aplica igualmente sobre y debajo del valor actual del SP.

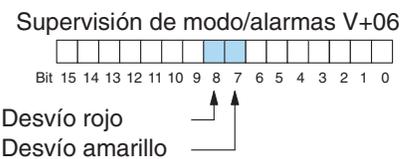
En la figura de abajo, la alarma de desvío más pequeña se llama "desvío amarillo" (Yellow Deviation), indicando una condición de precaución. La alarma de desvío más grande se llama



"desvío rojo" (Red Deviation), indicando una condición de error fuerte. Los valores de umbral usan las localizaciones V+17 y V+20 de la tabla de parámetros del lazo según lo mostrado.

Los umbrales definen las zonas, que fluctúan con el valor de SP. La zona verde que rodea el valor del SP representa una condición normal (sin ninguna alarma). Las zonas amarilla están fuera de la zona verde, y las zonas rojas están más allá de éstas.

Las alarmas de desvío de la PV se informan en los dos bits en la palabra de estado V+06 en la tabla del lazo, según lo mostrado a la derecha. Recomendamos usar lógica ladder para supervisar estos bits. Las instrucciones de bit-of-word hacen esto muy fácil. Además, usted puede supervisar alarmas de PID usando *DirectSOFT* y con el diálogo PID View abierto. .



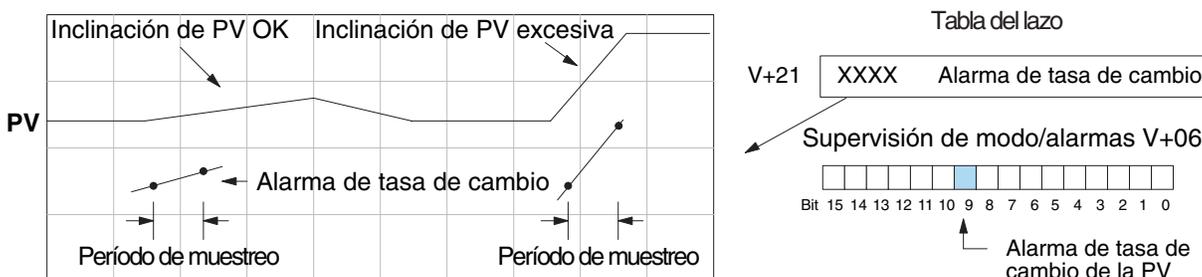
La alarma de desvío de la PV se puede activar o desactivar independientemente de las otras alarmas de la PV, usando el bit 13 de la palabra V+00 de la tabla PID.

Recuerde que la función de histéresis de alarmas trabaja conjuntamente con las alarmas de desvío y de valor absoluto, y se discute al final de esta sección.

### Alarma de tasa de cambio de la PV

Una muy buena manera de conseguir una detección temprana de una falla de proceso es supervisar esta alarma. La mayoría de los procesos de hornada de la PV tiene masas grandes y valores de PV que cambian lentamente. Un PV relativamente que cambia rápido resultará por ejemplo de una pérdida de señal de la PV por un cable cortado o la salida, un error del valor del SP, u otra causa. Si el operador responde a esta alarma rápidamente y con eficiencia, el valor absoluto de la PV no alcanzará el punto donde el material en proceso podría ser arruinado.

El controlador PID del PLC DL06 proporciona una alarma de tasa de cambio de PV programable, según lo mostrado abajo. La tasa de cambio se especifica en cambio de unidades de la PV por período de muestreo del lazo. Este valor se programa en la localización V+21 de la tabla PID.



Como ejemplo, supongamos que la PV es la temperatura para su proceso, y usted desea una alarma siempre que los cambios de temperatura sean más rápidos que 15 grados/minuto. Se debe saber las unidades de la PV por grado y la tasa de muestreo del lazo. Entonces, supongamos que el valor de la variable de proceso PV (en la localización V+03) representa 10 unidades por grado, y el período de muestreo del lazo es de 2 segundos (30 muestreos por minuto). Use la fórmula de abajo para convertir las unidades de ingeniería al período de unidades/muestreo:

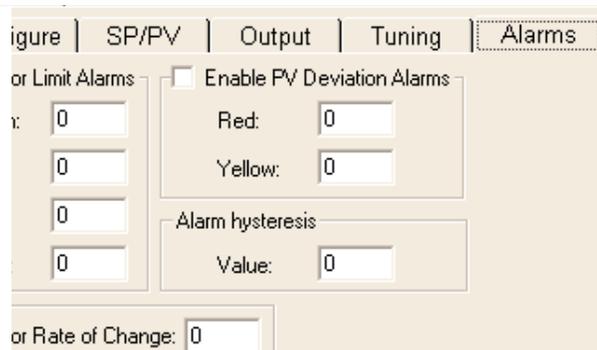
$$\text{Alarma de tasa de cambio de PV} = \frac{15 \text{ grados}}{1 \text{ minuto}} \times \frac{10 \text{ conteos / grado}}{30 \text{ muestreos / min.}} = \frac{150}{30} = 5 \text{ conteos/período de muestreo}$$

Usted programaría el valor 5 en la tabla del lazo para la alarma tasa de cambio, desde el resultado del cálculo. Esta alarma se puede activar y desactivar independientemente de las otras alarmas de la PV, usando el bit 14 de la palabra V+00.

La función de histéresis de alarmas (discutida más adelante) no afecta la alarma Tasa de cambio.

### Histéresis de alarmas de la PV

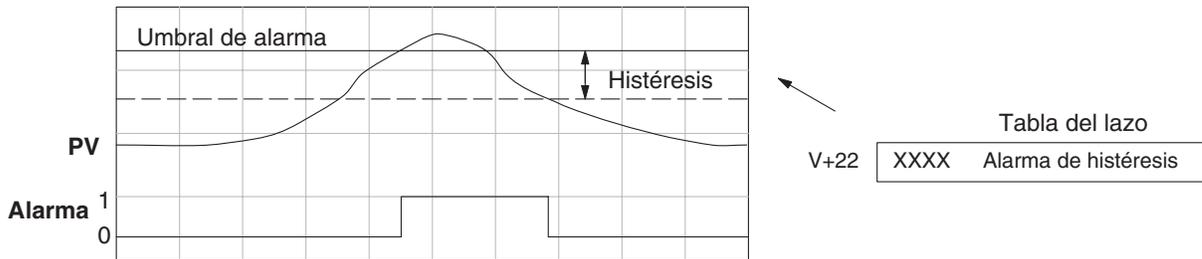
Se programan las alarmas de valor absoluto y de desvío de la PV usando valores de umbral. Cuando el valor absoluto o el desvío excede el umbral, el estado de la alarma se hace verdadero. Las señales del mundo real de la PV tienen cierto ruido en ellos, que pueden causar una cierta fluctuación en el valor de la PV en la CPU. Cuando el valor de la PV cruza un umbral de alarma, sus fluctuaciones hacen que la alarma sea intermitente y moleste a los operadores de proceso.



La solución es usar la función de histéresis de alarmas de la PV.

La cantidad de histéresis de alarmas de la PV es programable a partir de 1 a 200 (binario/decimal). Al usar la alarma de desvío de la PV, la cantidad programada de histéresis debe ser menor que la cantidad programada del desvío. La figura de abajo muestra cómo se aplica la histéresis cuando el valor de la PV pasa de un umbral y luego vuelve atrás.

La cantidad de la histéresis se aplica después de que se cruce el umbral, y hacia la zona segura. De esta manera, la alarma se activa inmediatamente sobre el valor de umbral programado. Atrasa el momento de apagado hasta que el valor de la PV ha retornado cruzando el umbral por la cantidad de histéresis definida.



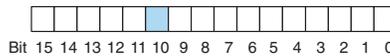
### 8

#### Error de programación de Alarmas

Los valores de umbral de alarmas de la PV deben tener ciertas relaciones que deben ser válidas. Los requisitos se enumeran abajo. Si no son satisfechos, se activará el bit de error de programación de alarma, según lo indicado a la derecha.

- Requisitos de valores de alarmas absolutas:  
Low-low < Low < High < High-high
- Requisitos de alarmas de desvío:  
Yellow < Red

Supervisión de modo/alarmas V+06

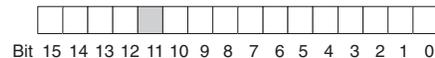


↑ Error de programación de alarmas

#### Error de Cálculo Overflow/Underflow

Este error ocurre siempre que la salida llega a un límite superior o inferior y el PV no alcanza la referencia (setpoint). Un ejemplo típico puede ser cuando se atasca una válvula, la salida está en el límite, pero la PV no llega a la referencia (setpoint). En *DirectSOFT*, esto se indica con un color rojo y aparece una indicación con el código OVR.

Palabra V + 06



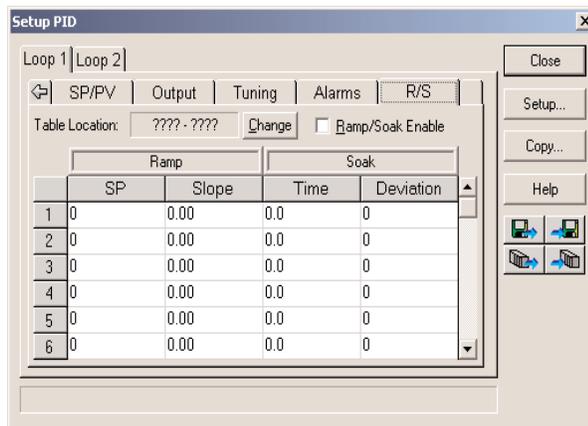
↑ Error de Cálculo Overflow/Underflow



**NOTA:** Los bits de error en esta página se pueden supervisar solamente en Data View de *DirectSOFT*; sin embargo, overflow/underflow se puede alarmar en PID View. El panel de operador G-more (vea el sitio de Internet de automationdirect) se puede configurar también para leer estos bits de error usando el objeto **PID faceplate**.

### Ramp/Soak

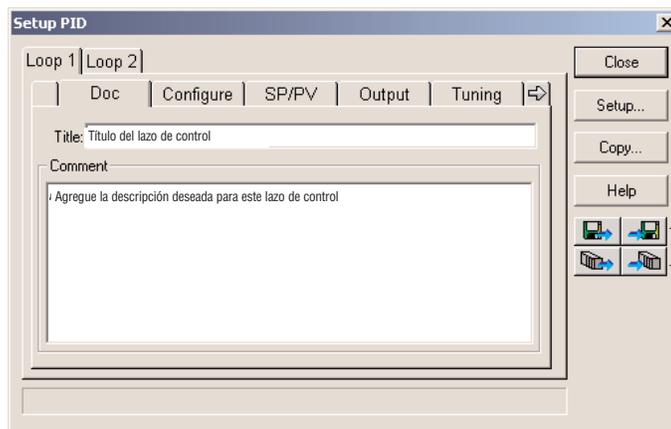
R/S (Ramp/Soak) es el último diálogo disponible en la configuración del controlador PID. El PID básico no requiere ninguna entrada para hacer funcionar el lazo de PID. Ramp/Soak será discutido en otra sección.



### Complete la configuración del control del lazo PID

Una vez que usted haya completado la información necesaria para la configuración de los lazos PID, la configuración se debe salvar. Los íconos en el diálogo de configuración PID le permiten salvar la configuración al PLC y al disco. Los íconos para salvar tienen la flecha apuntando al PLC y al disco. Los íconos de lectura tienen las flechas saliendo del PLC y del disco.

Hay disponible otra lengüeta; la lengüeta **Doc** en el diálogo de configuración PID. Usted puede entrar un nombre y una descripción para el lazo. Esto es útil si hay más de un lazo de PID.



Salve al disco

Salve al PLC



**NOTA:** Es buena práctica salvar el proyecto después de configurar el controlador PID seleccionando **File** desde el menú, luego **Save project > to disk**. Además de salvar su proyecto, se salvan todos los parámetros de PID. Si Ud solamente hace **Write to disk**, solamente se salva el diagrama ladder.

# Sintonizando lazos de control PID

Una vez que usted haya instalado un lazo de control PID en su sistema, éste debe ser sintonizado para que trabaje adecuadamente. El objetivo de sintonizar es ajustar las ganancias del algoritmo de control de modo que el lazo tenga un funcionamiento óptimo en condiciones dinámicas. La calidad del funcionamiento de un lazo puede ser juzgada generalmente por cómo sigue la variable de proceso PV a la referencia SP a un cambio escalón. Hay que tener presente que es fundamental entender el proceso para obtener un lazo de control bien diseñado. Los sensores deben estar en localizaciones apropiadas y las válvulas se deben dimensionar correctamente con ajustes apropiados. *El control PID no tiene valores típicos.* No hay un control de proceso que sea idéntico a otro.

## Sintonización Manual versus Automática

Usted puede ingresar valores de ganancias en el control PID (sintonización manual) o usted puede confiar en el PLC, que procesará algunos datos para calcular automáticamente los valores de ganancia (sintonización automática). La mayoría de los ingenieros de proceso experimentados tendrán un método preferido; el DL06 acomodará cualquier preferencia. El uso de la sintonía automática puede eliminar mucho del ensayo y error del método manual, especialmente si usted no tiene mucha experiencia en sintonías. Sin embargo, la ejecución del procedimiento de sintonía automática obtendrá solamente ganancias aproximadas a los valores óptimos, pero una sintonía manual adicional puede hacer que las ganancias lleguen sus valores óptimos.

**ADVERTENCIA: Solamente personal autorizado y completamente familiar con todos los aspectos del proceso debe realizar los cambios que afectan las constantes del lazo. Usar el procedimiento de sintonía automática afectará el proceso, incluyendo cambios grandes en el valor de la salida de control. Asegúrese de considerar el impacto de cualquier cambio para reducir al mínimo el riesgo de lesión al personal o daño al equipo. La sintonía automática en el DL06 NO debe ser utilizada como reemplazo para el conocimiento del proceso.**



## Prueba del lazo abierto

Ya sea que se use el método de sintonía manual o automático, es muy importante verificar características básicas de un nuevo proceso instalado antes de sintonizarlo. Con el lazo en modo manual, verifique los siguientes puntos para cada nuevo lazo, con Data View o con PID View.

- **Setpoint** – Verifique que el origen de la referencia (SP) pueda generar un valor. Coloque el PLC en modo RUN y deje el lazo en modo manual, después supervise la localización V+02 de la tabla del lazo para ver el valor SP (si está usando el generador de ramp/soak, pruébelo ahora).
- **Process Variable** – Verifique que el valor de la PV sea una medida exacta, y los datos de la PV que llegan en la localización V+03 de la tabla del lazo están correctos. Si la señal del PV es muy ruidosa, considere filtrar la entrada a través de hardware (filtro pasa bajo RC) o use el filtro por software, tal como el mostrado en este capítulo.
- **Control Output** – Si es seguro hacer así, cambie manualmente la salida a una cantidad pequeña (quizás el 10%) y observe el efecto en la variable de proceso. Verifique que el proceso sea de acción directa o reversa, y compruebe el ajuste para saber si hay la salida de control (invertida o no invertida). Asegúrese de que los límites superiores e inferiores de la salida de control no sean iguales uno al otro.
- **Sample Rate** – Cuando haga el funcionamiento de lazo abierto, éste es un buen momento para encontrar la tasa ideal de muestreo. Sin embargo, si usted va a usar sintonía automática, este procedimiento calculará automáticamente la tasa de muestreo además de las ganancias de PID.

Recomendamos usar *DirectSOFT* para ejecutar la sintonía manual o automática.

El diálogo **PID View** permite iniciar comandos con estos métodos, y los resultados se pueden visualizar en el diagrama de graficos disponible en esa ventana de diálogo.

Familiarícese con los diversos comandos de la parte de sintonía automática del diálogo de **PID View** mirando la figura siguiente.

- La parte a la izquierda muestra los diversos lazos de control.
- La parte derecha está dividida en tres partes.
- La parte a la derecha superior presenta el gráfico de tendencias, con ajuste de las escalas de unidades y escala de tiempo, para el valor de la variable de proceso PV, la referencia SP, y la salida de control CV. También se muestra el valor de bias a lo largo del tiempo,
- La parte media muestra en valores numéricos cada uno de los datos mas interesantes de cada lazo de control. Allí pueden ajustarse los valores de ganancia, reset y rate durante una sintonización. Se pueden definir las alarmas, las que quedan almacenadas en la memoria, después de colocar los valores límites en los campos correspondientes.
- La parte inferior se usa para la sintonía automática.

The screenshot displays the **PID View** window. On the left, there are two control loops: 'A-Nivel 5- Ovale' and 'A-Nivel 10- Ovale'. The 'A-Nivel 5- Ovale' loop shows SP:3600, PV:3601, BIAS:1999, and OUT:1947. The 'A-Nivel 10- Ovale' loop shows SP:0, PV:0, BIAS:0, and OUT:0. The main area contains a trend graph with three traces: SP (blue), PV (red), and Output (blue). The SP trace shows a step change from 3000 to 4000. The PV trace shows a ramp up to 4000. The Output trace shows a step change from 2955 to 4330. Below the graph, the 'Loop Num: 1' is selected for 'Nivel 5- Ovale'. The 'Settings' section shows PLC Mode: Run, Mode: Auto, Gain: 52.13, Reset: 23.90 sec, and Rate: 0.00 sec. The 'Variables' section shows SP: 3600, PV: 3601, Bias: 1999, and Out: 1947. The 'Alarms' section shows ROC: 0, Limit Alarms, High-High: 4000, High: 3900, Red: 160, Low: 400, Yellow: 100, and Low-Low: 100. The 'Autotune' section shows Output Action: Forward Acting, Control: PI, and Method: Closed Loop (Limit Cycle). A 'Start Tuning' button is visible, and a status message at the bottom says 'Autotune complete, check PID parameters'.

**Sintonía automática**

**Inicie la Sintonía Automática**

### Procedimiento de sintonía manual (o no automática)

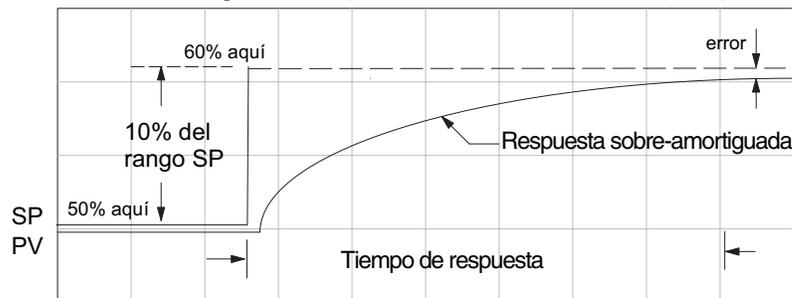
No es conveniente tratar de obtener los mejores valores para P, I y D en el PID por ensayo y error sin un método. Lo que sigue es un procedimiento típico para sintonizar un lazo de control de temperatura que usted puede usar para sintonizar su lazo de control.

Supervise los valores de SP, de la PV y de la CV con un instrumento de gráficos o use la función de PID View en *DirectSOFT* (vea la página 8-53).



**NOTA:** Recomendamos usar el diálogo PID View con selección manual para la escala vertical del área de SP/PV y las áreas de salida de Bias/Control. La función automática de escala cambia la escala vertical en los parámetros de proceso y agrega confusión al proceso de sintonización del lazo.

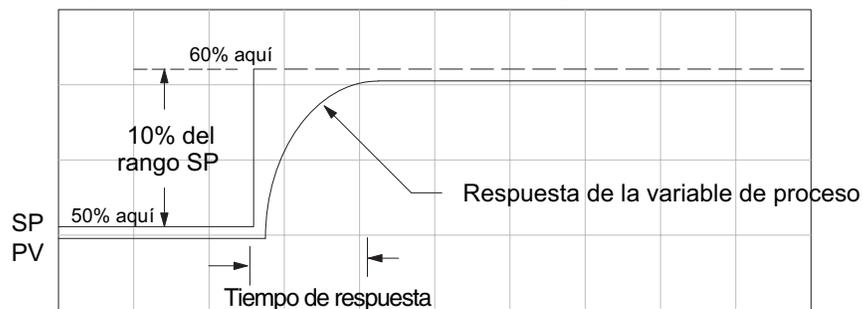
- Ajuste las ganancias de modo que la ganancia P = 0.5 o 1.0 (1.0 es un buen valor basado en experiencia), integral = 9999 (esto elimina básicamente el reset) y el factor derivativo = 0000. Esto deshabilita las compensaciones integral y derivativa y proporciona un cierto valor proporcional adecuado para que no oscile el sistema.
- Ajuste el valor bias en PID View y colóquelo en cero.
- Coloque la referencia SP a un valor igual al de operación o en este ejemplo al 50% del rango total.
- Ahora, seleccione modo **Auto**. Si el lazo no permanece en modo Auto, verifique las instrucciones de localización de fallas en el final de este capítulo. Permita que el PV se estabilice alrededor del punto escogido (aquí es el 50% del rango). El PV y el SP deben estar estables y muy cercanos.



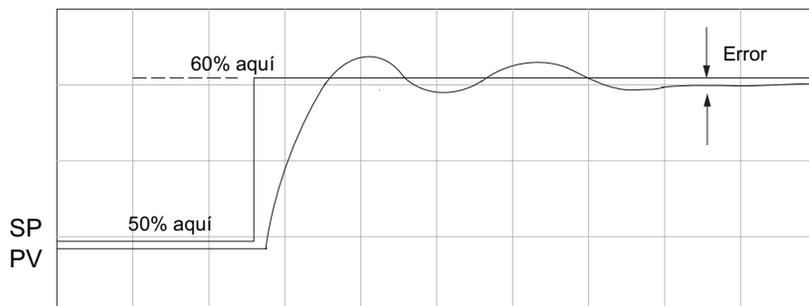
- Cambie el SP al 60% del rango con un escalón de 10% sobre lo seleccionado.

La respuesta puede demorar un momento, pero usted verá que no debería haber ninguna oscilación. Esta respuesta no es deseable puesto que toma un tiempo largo para corregir el error y también hay una diferencia entre el SP y el PV.

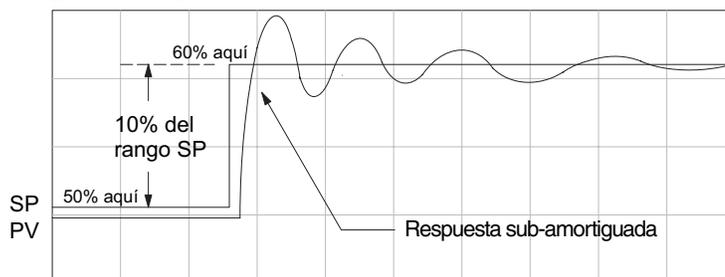
- Aumente la ganancia proporcional, por ejemplo a 2.0. La salida de control será mayor y el tiempo de respuesta será más rápido. La tendencia debe ser similar a la figura de abajo.



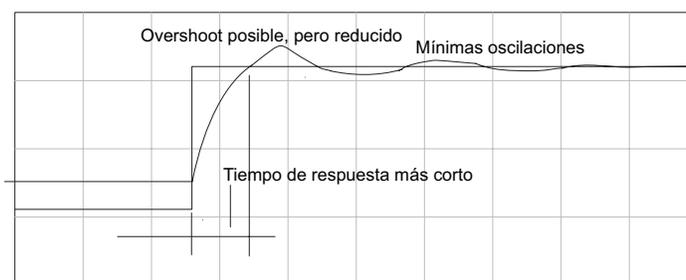
- Aumente la ganancia proporcional en incrementos pequeños, tales como 4, 6, 7, etc. hasta que la respuesta de la salida de control comience a oscilar. Digamos que sea 10,0. Ésta es la ganancia proporcional que se debe guardar temporalmente como referencia para lo que sigue.



- Ahora, devuelva la ganancia proporcional de tal modo de conseguir una respuesta estable, por ejemplo, 9.7. El error, SP-PV, va a ser pequeño, pero no cero.
- Luego agregue un poco de ganancia integral (Reset) de modo que el error tienda a ser a cero. Comience usando 80 segundos (ajuste en minutos en caso de necesidad). El error debe disminuir.
- Siga ajustando la ganancia integral a un valor más bajo, tal como 50, para una respuesta diferente. Si no hay una respuesta significativa, continúe disminuyendo el valor hasta que la respuesta llegue a ser inestable. Vea la figura de abajo.



- Para la discusión, digamos que un valor del reset de 35 hizo que la salida de control inestable. Vuelva el valor del reset a un valor estable, tal como 38. **Tenga cuidado con este ajuste puesto que la oscilación puede destruir el proceso.**
- La respuesta de la salida de control debe ser óptima ahora, sin compensación derivativa. Los valores del ejemplo son: ganancia proporcional = 9.7 e integral = 38 segundos. Observe que se ha reducido al mínimo el error.



El método descrito es el método más común usado para sintonizar un lazo de PID. Casi nunca se usa el factor derivativo en un lazo del control de temperatura. Este método se puede también usar para otros lazos de control, pero se puede necesitar el rate para una salida estable de control.

Pruebe el control PID para un PV alto de por ejemplo 80% y nuevamente para un PV bajo de 20%, y corrija los valores en caso de necesidad. Pequeños ajustes de los parámetros pueden hacer que la salida de control haga el control más exacto o más inestable. Es a veces aceptable hacer un pequeño *overshoot* para hacer que el control reaccione más rápido.

El Rate (ganancia derivativa) puede ser provechoso para lazos de control que no estén controlando temperatura. Para estos lazos, agregue un valor de 0,5 para el Rate y vea si esto mejora la salida de control. Si no hay una respuesta significativa, aumente el valor en incrementos de 0,5 hasta que haya una mejora de la salida. Recuerde que el Rate reacciona con una tasa de cambio del error.

### Procedimientos alternativos de sintonización no automática

Los procedimientos siguientes se han extraído de varias publicaciones sobre control de proceso. Estos procedimientos son alternativas al procedimiento mostrado en las páginas anteriores.

#### Método Zeigler-Nichols – “Decaimiento de un cuarto de la amplitud”

1. Deje sin efecto el reset y rate; coloque la ganancia P a un valor bastante grande.
2. Haga un cambio pequeño del valor de referencia (setpoint) y observe cómo la variable controlada varía.
3. Ajuste la ganancia P hasta que la oscilación es de amplitud constante; este valor de ganancia es la ganancia  $G_u$ .
4. Mida el período de la oscilación en minutos. Éste es el período  $P_u$ .
5. Calcule los valores de ganancia en el controlador PID como sigue:

Cuando es solamente P :  $G = G_u/2$

Cuando es P & I :  $G = G_u/2.2$   
 $T_i = 1.2/P_u$  (repeticiones/minuto)

Cuando es P-I-D:  $G = G_u/1.6$   
 $T_i = 2.0/P_u$  (repeticiones/minuto)  
 $T_d = P_u/8.0$  (minutos)

#### Método Pessen

1. Siga el procedimiento descrito arriba (Zeigler-Nichols) para determinar la ganancia  $G_u$  y el período  $P_u$ .
2. Aplique las fórmulas de más abajo.

Para que no haya *overshoot* durante el funcionamiento:

$$G = G_u/5.0$$
$$T_i = 3/P_u \quad (\text{repeticiones/minuto})$$
$$T_d = P_u/2 \quad (\text{minutos})$$

Aceptando un pequeño *overshoot*, pero mejorando la respuesta a las perturbaciones:

$$G = G_u/3$$
$$T_i = 3/P_u \quad (\text{repeticiones/minuto})$$
$$T_d = P_u/3 \quad (\text{minutos})$$

El método automático de sintonía, explicado a seguir en las próximas páginas, usa este tipo de consideraciones para calcular un valor estimado de ganancia proporcional, del valor de reset y del rate.

### Procedimiento de sintonía automática

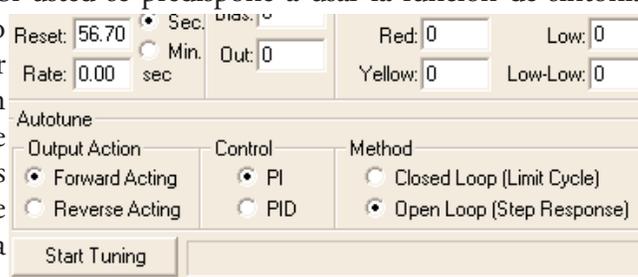
La función de sintonización automática del controlador PID del DL06 funcionará solamente con el comando del ingeniero de control de proceso. Por lo tanto, la sintonización automática no funciona continuamente durante la operación (éste sería control *adaptivo*). Siempre que haya un cambio substancial en la dinámica del lazo, tal como la masa del proceso, tamaño del actuador, etc., el proceso debe ser repetido para calcular las nuevas ganancias requeridas para un control óptimo.



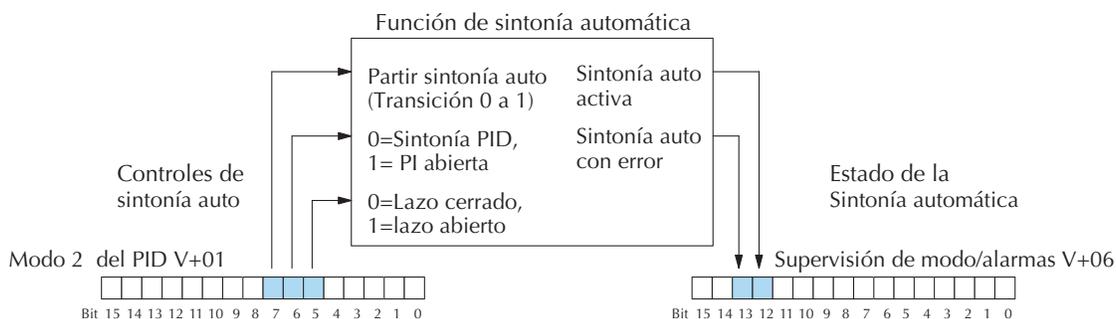
**ADVERTENCIA:** Solamente personal autorizado completamente familiar con todos los aspectos del proceso debe realizar cambios que afectan las constantes del lazo. Al usar procedimientos de sintonía del lazo se afectará el proceso, incluyendo cambios grandes en el valor de la salida de control. Asegúrese de considerar el impacto de cualquier cambio para reducir al mínimo el riesgo de lesión al personal o daño al equipo. La sintonización automática en el DL06 no reemplaza el conocimiento del proceso.

Una vez que los componentes físicos del lazo estén conectados con el PLC, será iniciada la sintonización automática y puede ser usado para establecer valores iniciales de parámetros del lazo PID. Este procedimiento es el mejor valor que la CPU puede estimar por cálculo después de algunas pruebas de ensayo.

Recomendamos usar *DirectSOFT* para ejecutar la sintonía automática. El controlador PID ofrece métodos de lazo cerrado y de lazo abierto. Si usted se predispone a usar la función de sintonía automática, le recomendamos usar el método de lazo abierto primero. Esto le permitirá usar el método a lazo cerrado cuando el lazo esté en operación (modo Automático) y cuando no se puede cerrar (modo manual). Las secciones siguientes describen cómo usar la función de sintonía automática, y qué ocurre en la sintonía de lazo abierto y cerrado.

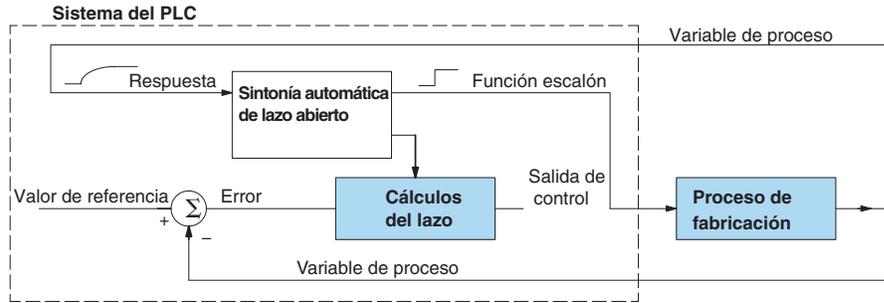


Los controles para la función de sintonía automática utilizan tres bits en la palabra V+01 del modo 2 de PID, según lo mostrado abajo. *DirectSOFT* manipulará estos bits automáticamente cuando usted usa la función de sintonía automática dentro de *DirectSOFT*. O, usted puede tener acceso a estos bits en la lógica ladder directamente para permitir control de otra fuente tal como una interfase de operador dedicada. Los bits de control individual permiten que usted comience el procedimiento de sintonía automática, selecciona PID o PI y sintonía de lazo cerrado o abierto. Si usted selecciona la sintonía PI, el procedimiento de sintonía automática elimina la componente derivativa. La palabra V+06 de estado de alarmas divulga el estado de la sintonía automática según lo mostrado. El bit 12 estará en (1) durante el ciclo de sintonía automática, volviendo automáticamente a (0) cuando está completado.



Sintonía automática en lazo abierto

Durante una sintonización automática de lazo abierto, el controlador PID funciona según lo mostrado en el diagrama de abajo. Antes de comenzar este procedimiento, ponga el control PID en modo manual y asegúrese que la PV y los valores de salida del control están en el centro de sus rangos (lejos de finales de escala).



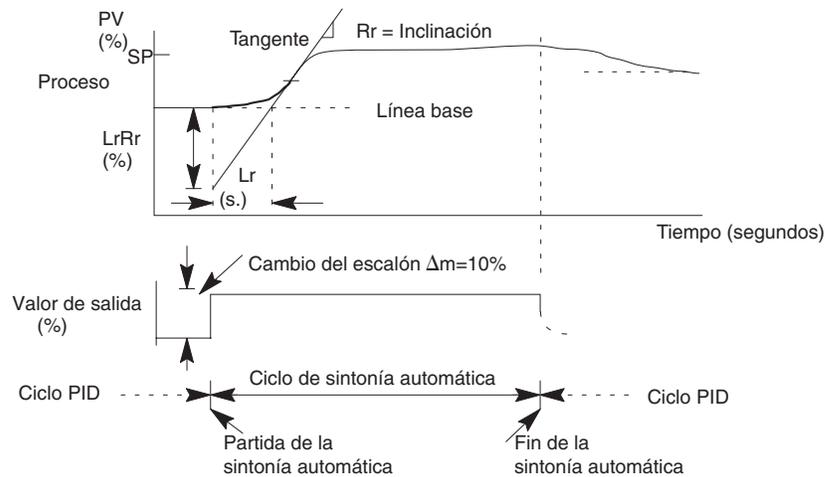
**NOTA:** En teoría, el valor del SP no importa en este caso, porque el lazo no es cerrado. Sin embargo, el requisito de firmware es que el valor del SP debe ser más del 5% del rango del PV desde el valor corriente de la PV antes de comenzar el ciclo automático de sintonía (para el DL06, una PV de 12 bits debe estar 205 unidades o más debajo del SP para los lazos de acción directa, o 205 unidades o más sobre el SP para los lazos de acción reversa)



Cuando se sintoniza en modo automático, el controlador PID produce un cambio escalón en la salida y observa la respuesta de la PV. Con la respuesta de la PV, la función calcula las ganancias y el tiempo de muestreo. Pone automáticamente los resultados en los registros correspondientes en la tabla del lazo PID.

El esquema siguiente muestra lo que ocurre en el ciclo de lazo abierto de sintonía automática. La función de sintonía automática toma el control de la salida de control e induce un cambio escalón de 10% del rango. Si el cambio de PV que el controlador de lazo observa es menos de 2%, entonces el cambio en la salida es aumentado a 20% del rango.

- \* Cuando comienza la sintonía, cambie la salida en un escalón de  $\Delta m = 10\%$
- \* Durante la sintonía automática, la salida de control alcanzó el límite positivo de la escala total. La sintonía automática paró y se activó el bit de error de sintonía automática en el bit de palabra de alarma.
- \* Cuando el cambio de PV está abajo de 2%, la salida de control se cambia a 20%.



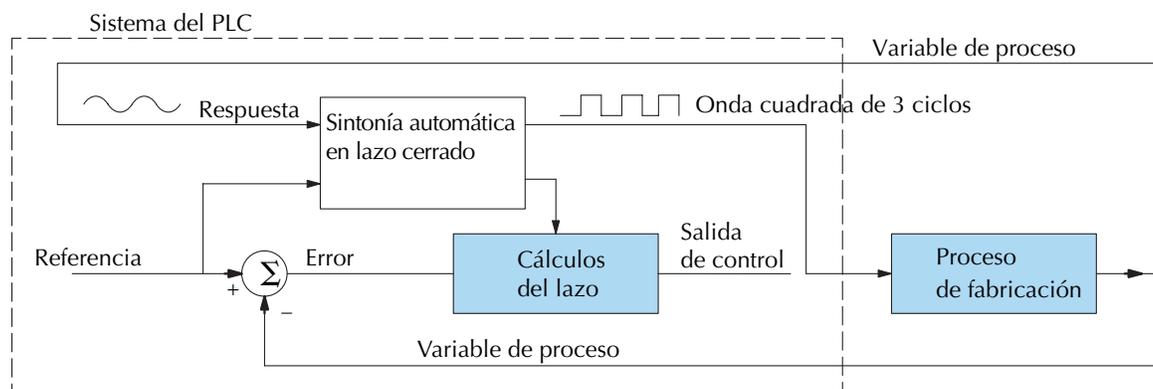
Cuando se completan las observaciones de sintonía del lazo, el controlador de lazos calcula  $R_r$  (rampa máxima en % /sec.) y  $L_r$  (tiempo muerto en segundos). La función de sintonía automática calcula las ganancias según las ecuaciones de Ziegler Nichols, mostradas abajo:

Sintonización PID	Sintonización PI
$P=1.2 \cdot \Delta m / L_r R_r$	$P=0.9 \cdot \Delta m / L_r R_r$
$I=2.0 \cdot L_r$	$I=3.33 \cdot L_r$
$D=0.5 \cdot L_r$	$D=0$
Período de muestreo = $0.056 \cdot L_r$	Período de muestreo = $0.12 \cdot L_r$
$\Delta m$ = cambio a un escalón (10% = 0.1, 20% = 0.2)	

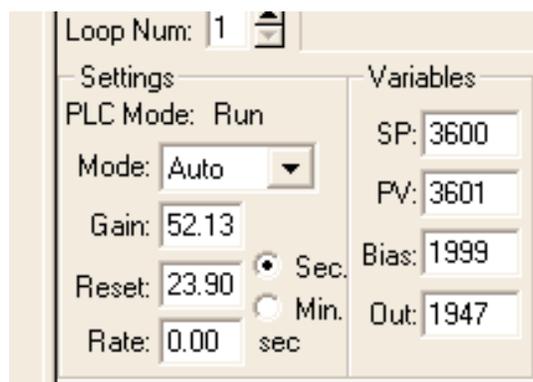
La duración de cada ciclo de sintonía automática dependerá de la masa del proceso. Una PV que cambia en forma lenta tendrá como resultado un tiempo mayor del ciclo de sintonía automática. Cuando la sintonía automática está completa, la ganancia proporcional, integral y derivativa se actualizan automáticamente en las direcciones de tabla del lazo **addr + 10**, **addr + 11**, y **addr + 12** respectivamente. El período de muestreo en el **addr + 07** es actualizado también automáticamente. Usted puede probar la validez de los valores del procedimiento de sintonía automática midiendo la respuesta del PV del lazo cerrado a un cambio escalón en la salida de control. Las instrucciones de cómo hacer esto están en la sección del procedimiento manual de sintonía (localizado antes de esta sección).

### Sintonía automática en lazo cerrado

Durante un ciclo de sintonía automática de lazo cerrado, el controlador de lazos opera de acuerdo al diagrama de abajo.

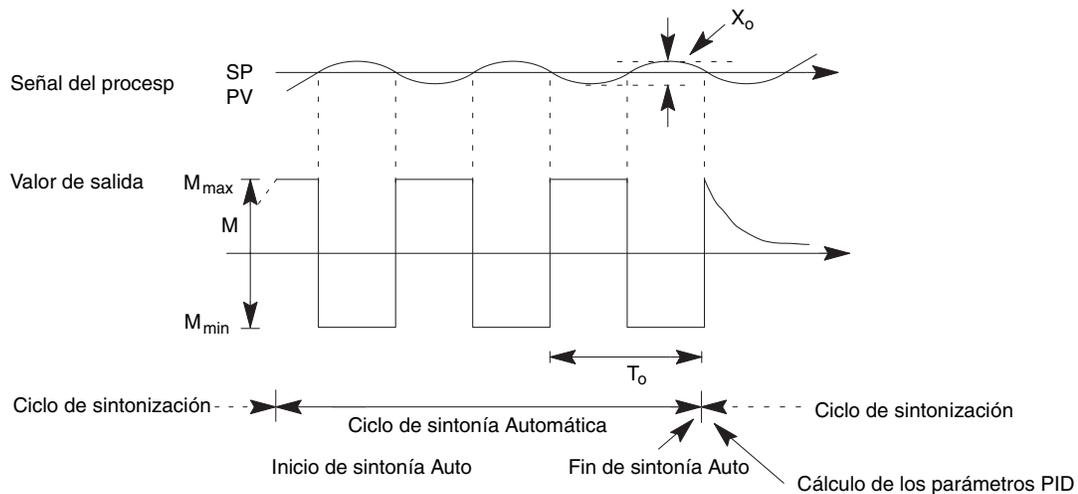


Cuando se ejecuta sintonía automática, el controlador de lazos impone una onda cuadrada en la salida de control. Cada transición de salida ocurre cuando el valor de PV cruza el valor de SP. Con la respuesta de la PV, la función de sintonía automática calcula las ganancias y el tiempo de muestreo ideales. Coloca automáticamente los resultados en las memorias correspondientes en la tabla del lazo de control PID.



## Capítulo 8: Operación de control PID

El diagrama de tiempo siguiente muestra los eventos que ocurren durante la sintonización automática de lazo cerrado. La función de sintonía automática examina la dirección de desvío del PV desde el SP. La función entonces toma el control de la salida de control y produce un cambio escalón de cierta amplitud en la dirección opuesta. Cada vez que el signo del error (SP - PV) cambia, la salida cambia a la misma amplitud en la dirección opuesta. Esto sucede durante tres ciclos completos.



\*Mmax = Limite superior de la salida de control.

\*Mmin = Limite inferior de la salida de control.

\* Este ejemplo es de acción directa.

Cuando es de acción reversa, la salida será invertida. Cuando las observaciones de la sintonía se han completado, se calcula  $T_o$  (período de un ciclo) y  $X_o$  (amplitud de la oscilación de la variable de proceso PV peak to peak). Luego usa estos valores para calcular  $K_{pc}$  (límite sensible) y  $T_{pc}$  (límite del período). Con estos valores, la función de sintonía automática del controlador PID calcula las ganancias del lazo PID según las ecuaciones de Zeigler-Nichols mostradas abajo:

M = Amplitud de la salida de control = Mmax - Mmin	
Kpc = $4M / (\pi * X_o)$ Tpc = $T_o$	
Sintonía PID	Sintonía PI
P = $0.45 * K_{pc}$	P = $0.30 * K_{pc}$
I = $0.60 * T_{pc}$	I = $1.00 * T_{pc}$
D = $0.10 * T_{pc}$	D = 0
Período de muestreo = $0.014 * T_{pc}$	Período de muestreo = $0.03 * T_{pc}$

### Error de sintonía automática

Si el bit de error de sintonía (bit 13 de la palabra V+06) está encendido, verifique que los valores de la PV y del SP estén dentro del 5% de la diferencia del rango total, según los requisitos de la función. El bit también se activará si el método de lazo cerrado está en uso y la salida se va a los límites del rango.



**NOTA:** Si la PV fluctúa rápidamente, usted necesita probablemente usar el filtro analógico incorporado (Vea la página 8-57) o cree un filtro en lógica ladder (vea el ejemplo en la página 8-58).

## Use Data View de *DirectSOFT* junto con PID View

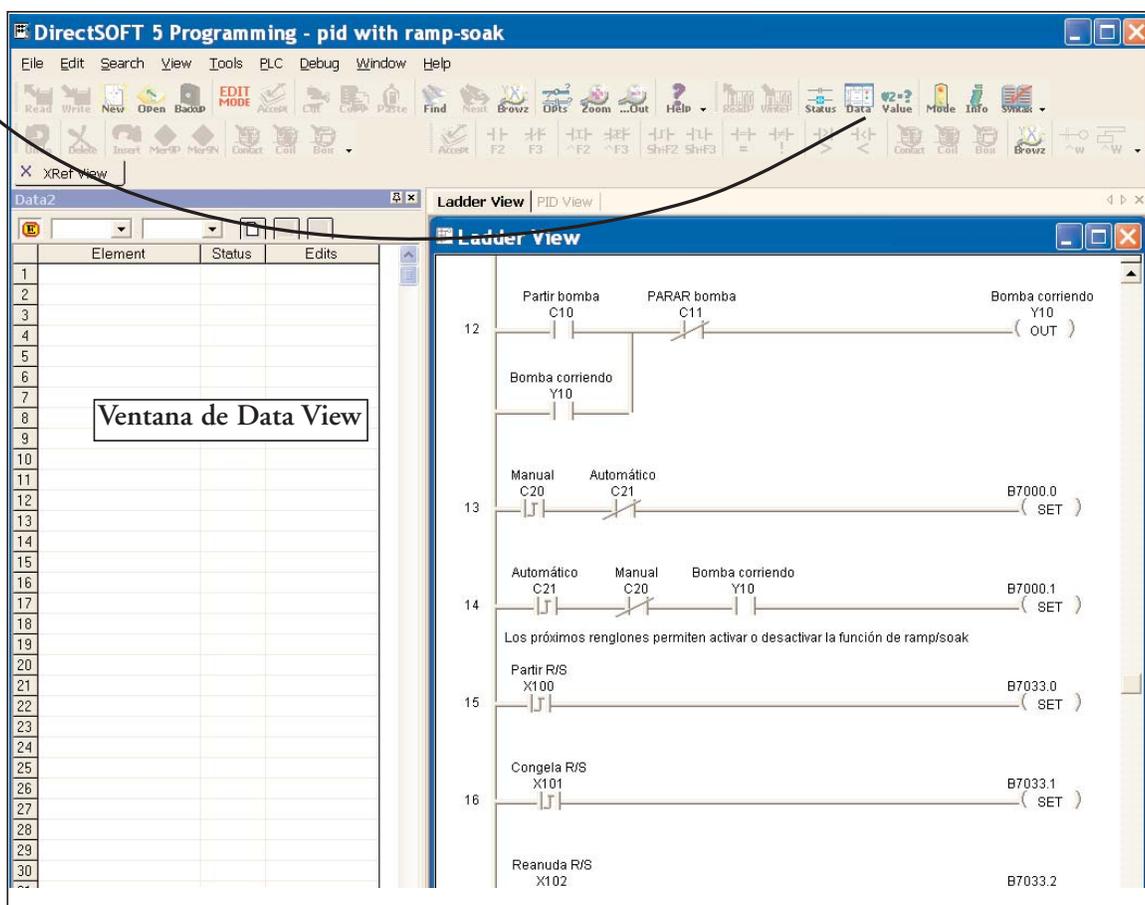
La ventana Data View es una herramienta muy útil que se puede usar para ayudar a sintonizar el lazo de PID. Usted puede comparar las variables en la ventana PID View con los valores corrientes en la memoria V con Data View.

### Abriendo una ventana nueva de Data View

Se puede abrir Data View de tres maneras;

- i) con el menú use **Debug > Data View > New**,
- ii) el atajo del teclado **Ctrl + Shift + F3** o

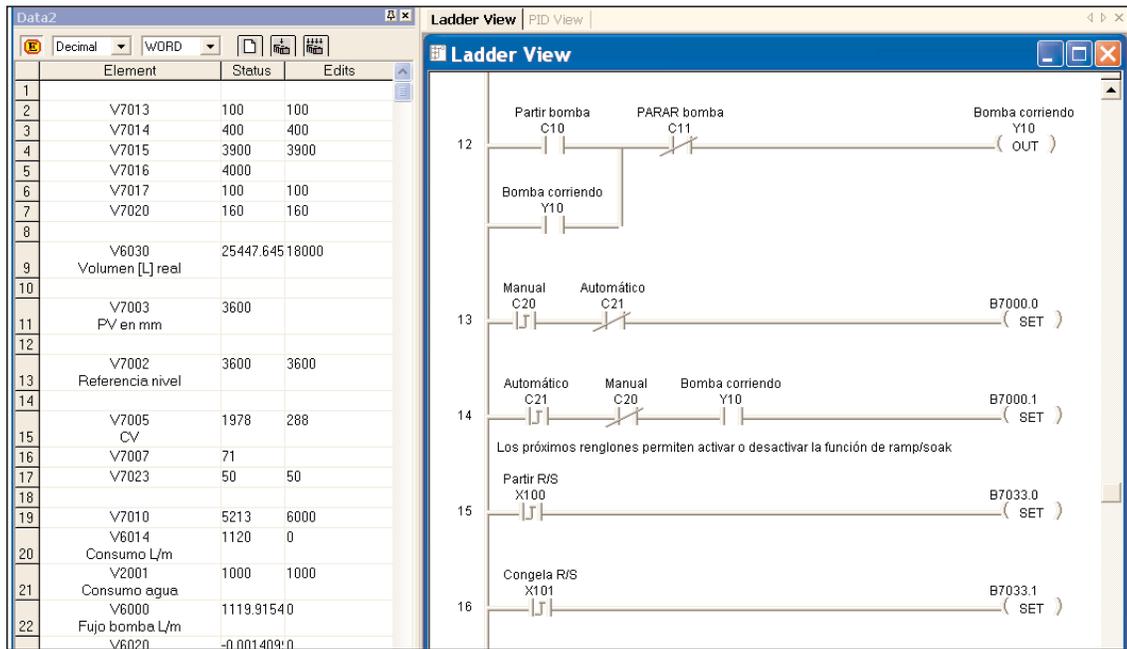
- iii) el botón **Data** en la barra de herramientas. La ventana Data View es asignada el nombre **Data1** por defecto. Este nombre se puede cambiar en la ventana corriente usando el diálogo de opciones (Options). El diagrama siguiente es un ejemplo de una nueva ventana abierta Data View. La ventana se abrirá al lado de la ventana Ladder View, por defecto.



La ventana Data View puede ser usada como se muestra en la figura siguiente para localizar fallas en la lógica de PID, y puede ser muy útil al sintonizar el lazo de control PID.

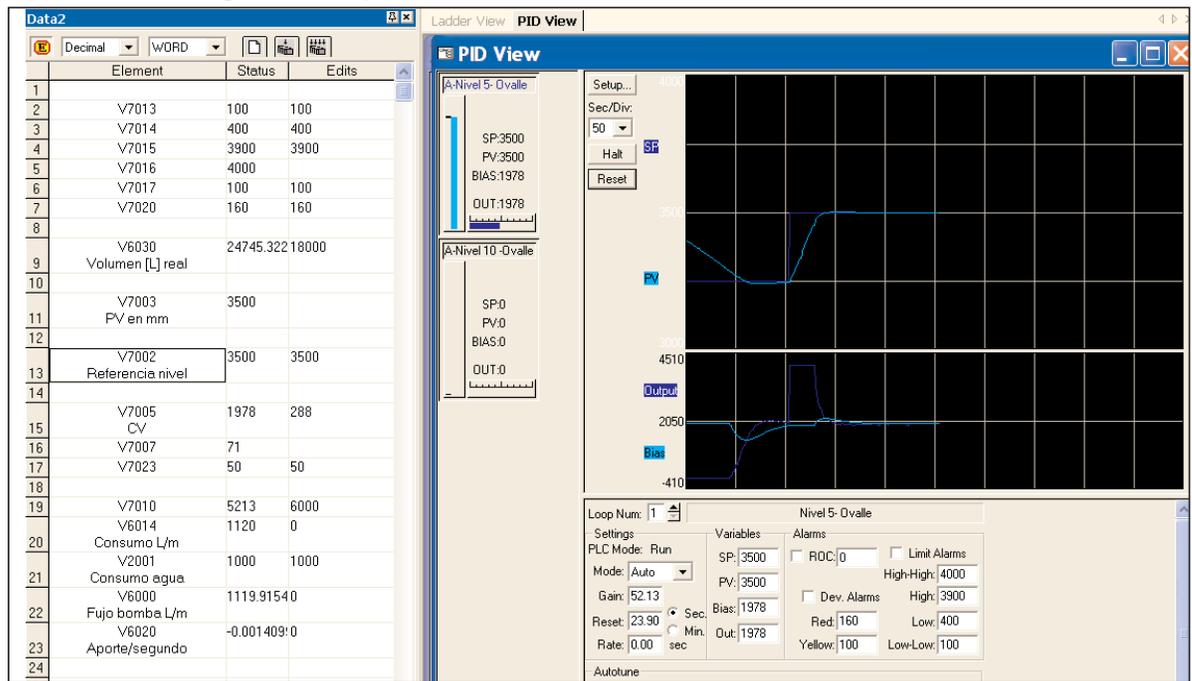
## Abra la ventana PID View

La ventana de diálogo de Data View puede ser usada para observar datos de memoria.

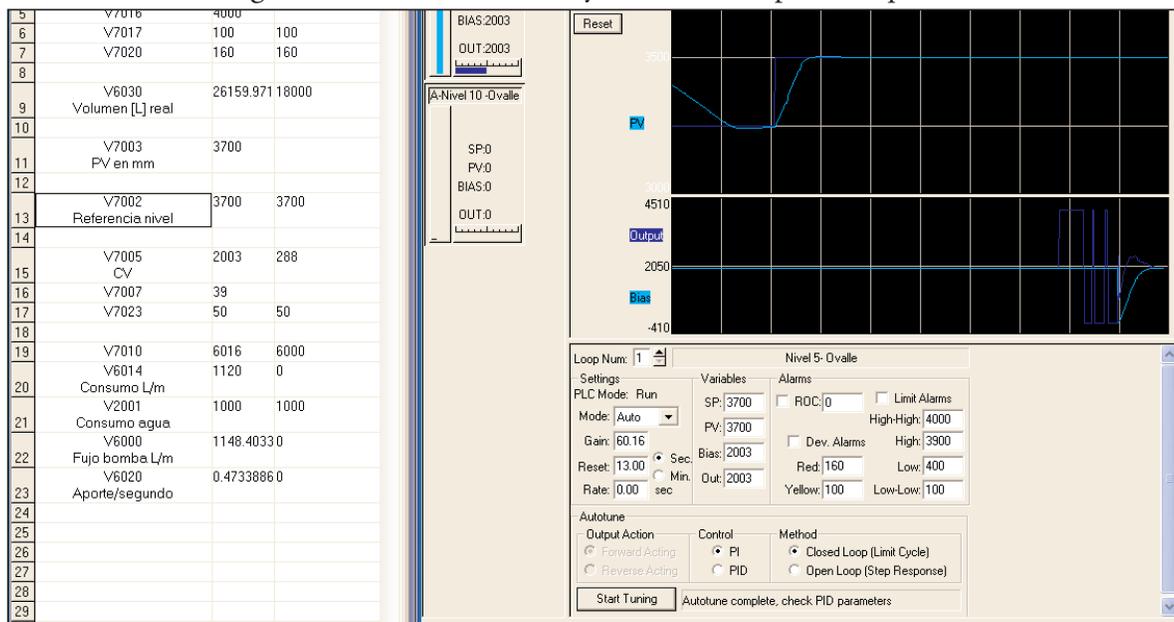


PID View es abierta seleccionándola con el menú View, **View > PID View**, como se muestra en la figura de abajo. PID View también puede ser abierta haciendo clic en el ícono PID View de la barra de íconos. Solamente funciona cuando hay por lo menos un lazo de control definido.

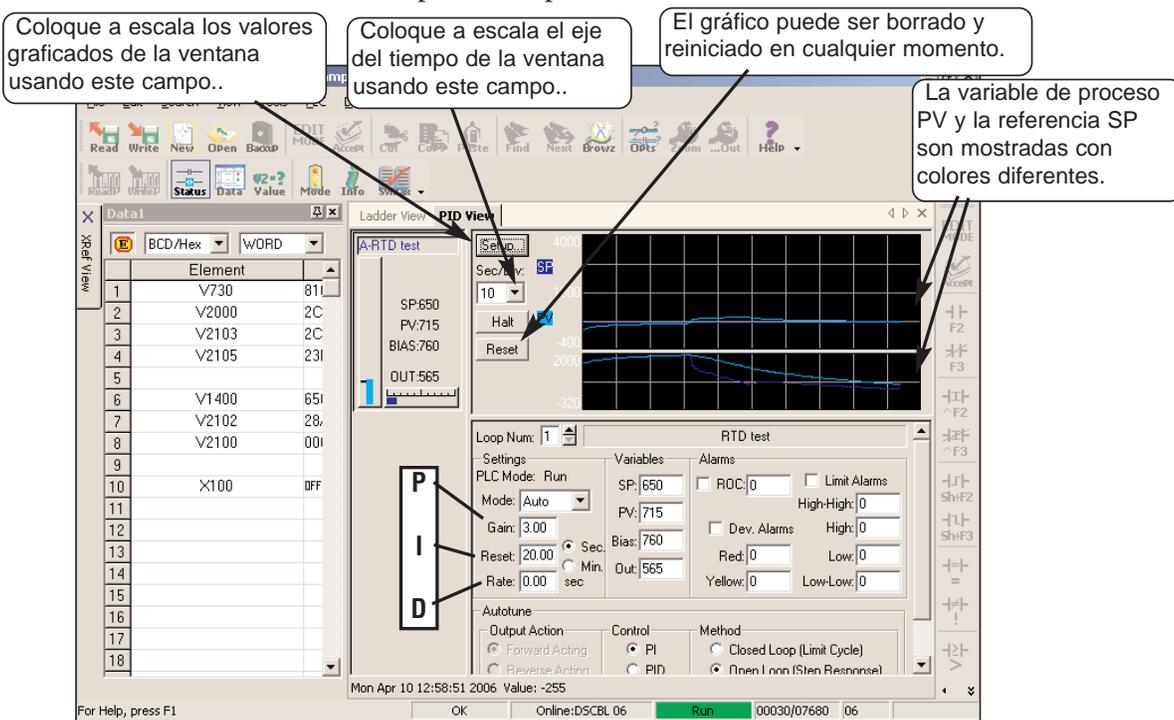
La PID View se abrirá y aparecerá sobre la Ladder View, que se puede llamar haciendo clic en la lengüeta. Al usar la Data View y PID View juntas, cada ventana se puede ajustar según lo mostrado en la figura de abajo.



Las dos ventanas ahora están listas para ser usadas en la sintonización. Usted podrá ver adonde se han configurado los valores de PID y ver datos del proceso que está controlando.



Con ambas ventanas colocadas de este modo, usted puede ver que valores de PID se han configurado y puede ver el proceso que está controlando. En el diagrama de abajo, usted puede ver la referencia SP, la variable de proceso PV y los valores corrientes de salida, junto con otras direcciones de memoria de la tabla PID. Vea las definiciones de palabras de la tabla PID (página 8-20) para detalles para cada palabra en la tabla. Esto es también un buen modo de encontrar el formato de datos de referencia para cada palabra en la tabla.



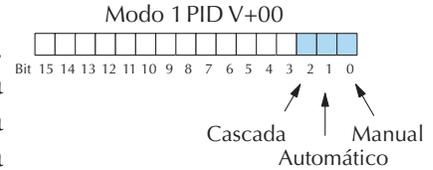
## Usando las funciones especiales del control PID

Es una buena idea entender las funciones especiales del DL06 para control PID y cómo usarlas. Usted puede desear incorporar algunas de estas características en su control PID.

### Cómo cambiar modos del lazo desde un programa ladder

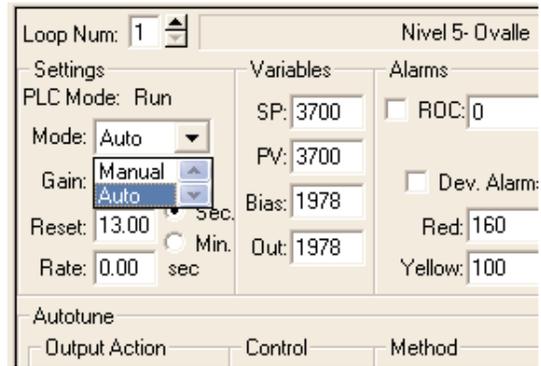
Los primeros tres bits de la petición de la palabra V+00 piden al controlador PID cambiarse al modo deseado del lazo correspondiente. Estos bits son peticiones o solicitudes de cambio de modo, no comandos (ciertas condiciones pueden prohibir un cambio de modo particular - vea la página siguiente).

El estado normal de estos bits de petición de modo es "000". Para solicitar un cambio de modo, usted debe usar la instrucción SET para colocar el bit en "1", usando una instrucción One-shot. El controlador del lazo PID cambia automáticamente los bits de nuevo a "000" después de que lea la petición de cambio de modo. Los métodos de solicitar cambios de modo son:



- Con **PID View** de *DirectSOFT*— éste es el método más fácil. Haga clic en la derecha del campo de modos (**mode**); esto hace aparecer una lista de los tres modos. Seleccione la que le corresponda.

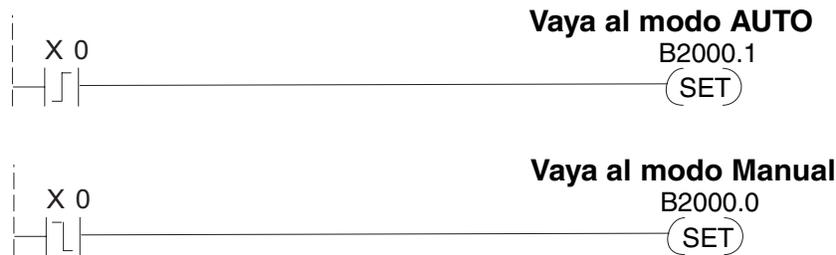
Esto hará cambiar el bit correspondiente en el PLC y aparecerá el modo seleccionado en el campo Mode al finalizar la operación.



- Con **lógica ladder**— El programa puede solicitar cualquier modo del controlador PID cuando el PLC está en modo RUN. Esto será necesario en la mayoría de las aplicaciones.

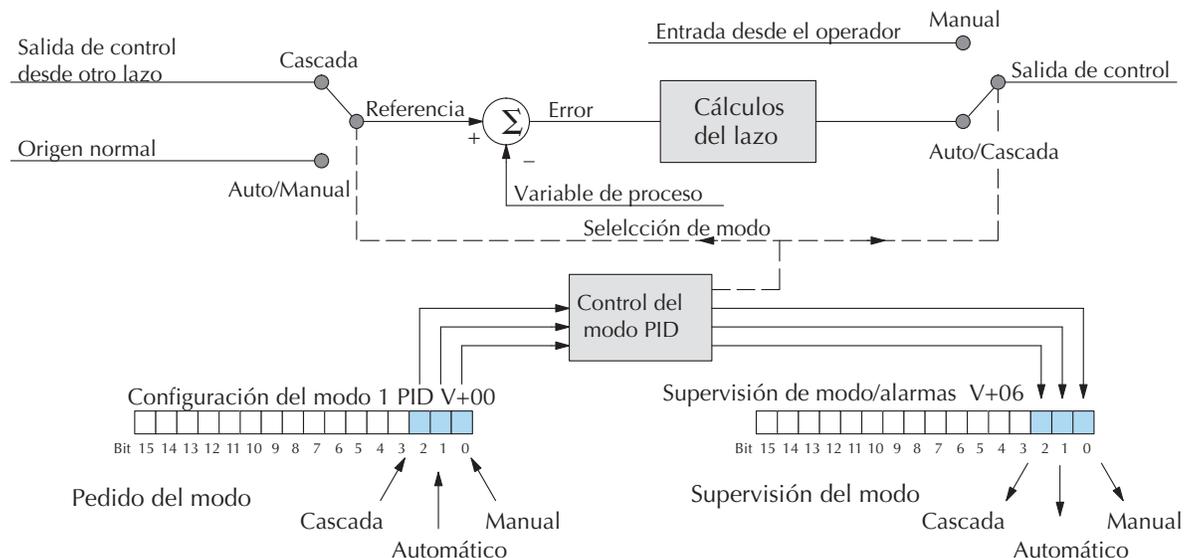
Use el programa mostrado en la figura de abajo con una instrucción SET en el bit de modo (no use una bobina OUT). En una transición 0-1 de X0, B2000.1 se hace 1 para solicitar al PLC que el lazo correspondiente vaya al modo automático. El PLC coloca en cero este bit una vez que ha sido aceptado el cambio de modo.

En una transición 1-0 de X0, B2000.0 se hace 1 para solicitar al PLC que el lazo correspondiente vaya al modo manual. El PLC coloca en cero este bit una vez que ha sido aceptado el cambio de modo.



- **Panel de operador** — Interconecte el panel de operador a la lógica ladder usando métodos estándares, y luego use la lógica de la figura para activar el bit correspondiente.

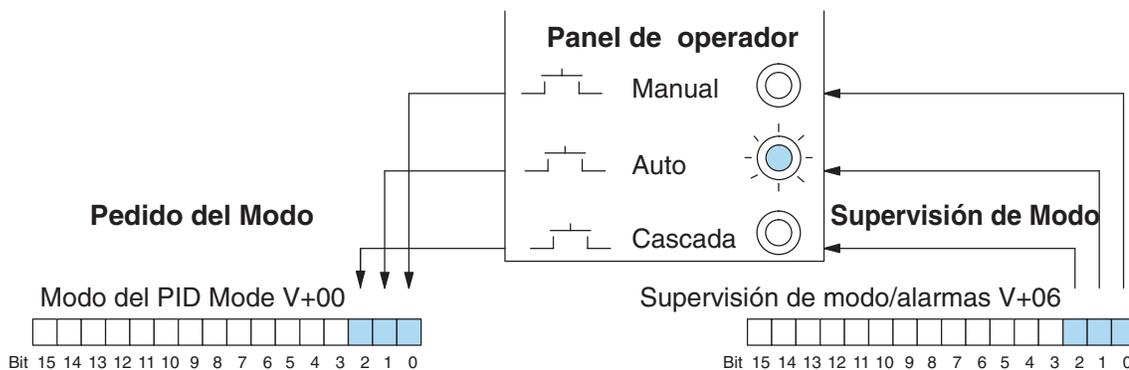
Ya que solamente los cambios de modo pueden ser *solicitados*, el controlador PID decidirá cuando permitir cambios de modo y suministrar el estado del modo del lazo. Se informa el modo corriente en los bits 0, 1, y 2 de la palabra V+06 en la tabla del lazo. Se muestran las funciones de petición y supervisión en la figura de abajo También muestra los dos orígenes de la referencia (SP) dependiendo del modo y los dos posibles orígenes de la salida de control.



### Control de los modos de PID con panel de operador

Siendo que los modos Manual, Auto y Cascada son los modos más fundamentales e importantes del lazo de PID, usted puede desear controlar el modo desde un panel de operador. La mayoría de las aplicaciones necesitarán solamente selecciones manuales y auto (cascada se utiliza en usos especiales). Recuerde que los controles del modo son realmente bits de petición de modo, y el modo real del lazo se indica en un bit de la palabra V + 06.

La figura siguiente muestra un panel de operador usando botones momentáneos para solicitar cambios de modo de PID. Los indicadores de modo del panel no se conectan a los conmutadores, sino se conectan a las localizaciones correspondientes de datos.



### Efecto de los modos del PLC sobre los modos del controlador PID

Si usted ha seleccionado la opción de que el controlador PID siga el modo del PLC, los modos del PLC (Program, RUN) obran recíprocamente con el controlador como grupo. Lo que sigue resume esta interacción:

- Cuando el PLC está en modo Program, todos los lazos se ponen en modo Manual y no ocurre ningún cálculo del valor de la salida de control. Sin embargo, observe que los módulos de salida (incluyendo salidas analógicas) se apagan en el modo Program del PLC. De modo que el control Manual o es posible cuando el PLC está en modo Program.
- La única vez que la CPU permite un cambio de modo es durante la operación del modo RUN del PLC. Como tal, la CPU registra los modos de los 8 lazos como el modo de operación deseado. Si ocurre una falla de energía durante modo RUN del PLC, la CPU vuelve todos los controladores PID a su modo anterior (que podría ser Manual, Auto, o Cascada).
- En la transición del modo Program a RUN, la CPU fuerza cada controlador PID a volver a su modo anterior registrado durante el último modo RUN del PLC.
- Usted puede agregar y configurar nuevos controladores PID solamente cuando el PLC está en modo Program. Los nuevos controladores PID comienzan automáticamente en modo Manual.

### Condiciones de cambio de Modo del controlador PID

En condiciones normales el modo es determinado por la petición a V+00, bits 0, 1 y 2. Sin embargo, existen algunas condiciones que prevendrán un cambio al modo solicitado:

- Un lazo de control que no es independiente del modo del PLC no puede cambiar modos cuando el PLC está en modo Program.
- El lazo mayor de un par conectado en cascada no puede ir de Manual a Auto hasta que el lazo menor esté en modo de cascada.

En otras situaciones, el controlador PID cambiará automáticamente el modo del lazo para mantener una operación segura:

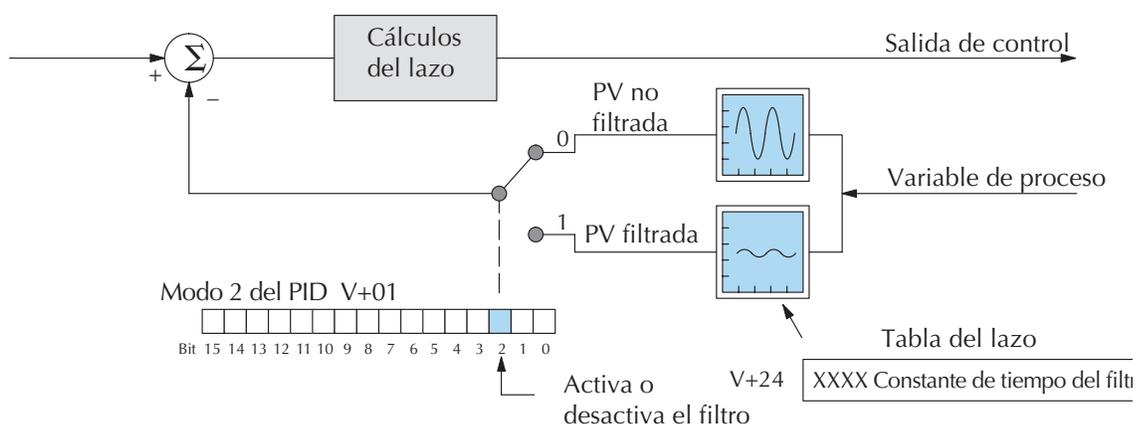
- Un lazo que desarrolla una condición de error automáticamente se va a modo Manual.
- Si el lazo menor de un par conectado en Cascada sale del modo de Cascada por cualquier razón, su lazo importante va automáticamente al modo manual.

## Filtro de la variable de proceso PV

Una señal ruidosa de PV puede hacer la sintonía difícil y puede causar que la salida de control sea más alta que lo necesario, cuando la salida trata de responder a picos y valles del PV. Hay varios métodos equivalentes de filtrar la entrada de PV de hacer el lazo más estable. El primer método se logra usando el filtro incorporado del PLC DL06. El segundo método logra un resultado similar usando lógica ladder.

### El filtro analógico incorporado en el PLC DL06

El PLC DL06 tiene un filtro pasabajo seleccionable de primer orden en la entrada de PV que puede ser particularmente útil durante la sintonía automática, usando el método de lazo cerrado. **Recomendamos usar un filtro durante la sintonía automática.** Usted puede eliminar el filtro después que la sintonía automática se ha completado, o continúe a usarlo si la señal de la entrada de PV es ruidosa.



El Bit 2 de la palabra Modo de PID 2 habilita / deshabilita el control del filtro para la PV (0=deshabilita del filtro pasa bajo, 1=habilita). La frecuencia de corte del filtro pasa bajo es determinada usando la memoria addr + 24 en la tabla de parámetros de lazos, la constante del filtro. El formato de datos del valor de la constante del filtro es BCD, con una coma decimal implicada 00X,X, como sigue:

- La constante del filtro tiene un rango válido de 000,1 a 001,0.
- *DirectSOFT* convierte los valores encima del rango válido a 001,0 y los valores debajo de este rango a 000,1.
- Un valor de 000,0 o 001,1 a 999,9 esencialmente deshabilita el filtro.
- Valores cerca de 001,0 tienen como resultado una frecuencia de corte más alta, mientras que valores más cerca a 000,1 tienen como resultado frecuencias de cortes bajas.

El algoritmo que se usa en el filtro incorporado es:

$$y_i = k (x_i - y_{i-1}) + y_{i-1}$$

$y_i$  es la salida actual del filtro;

$x_i$  es la entrada actual del filtro

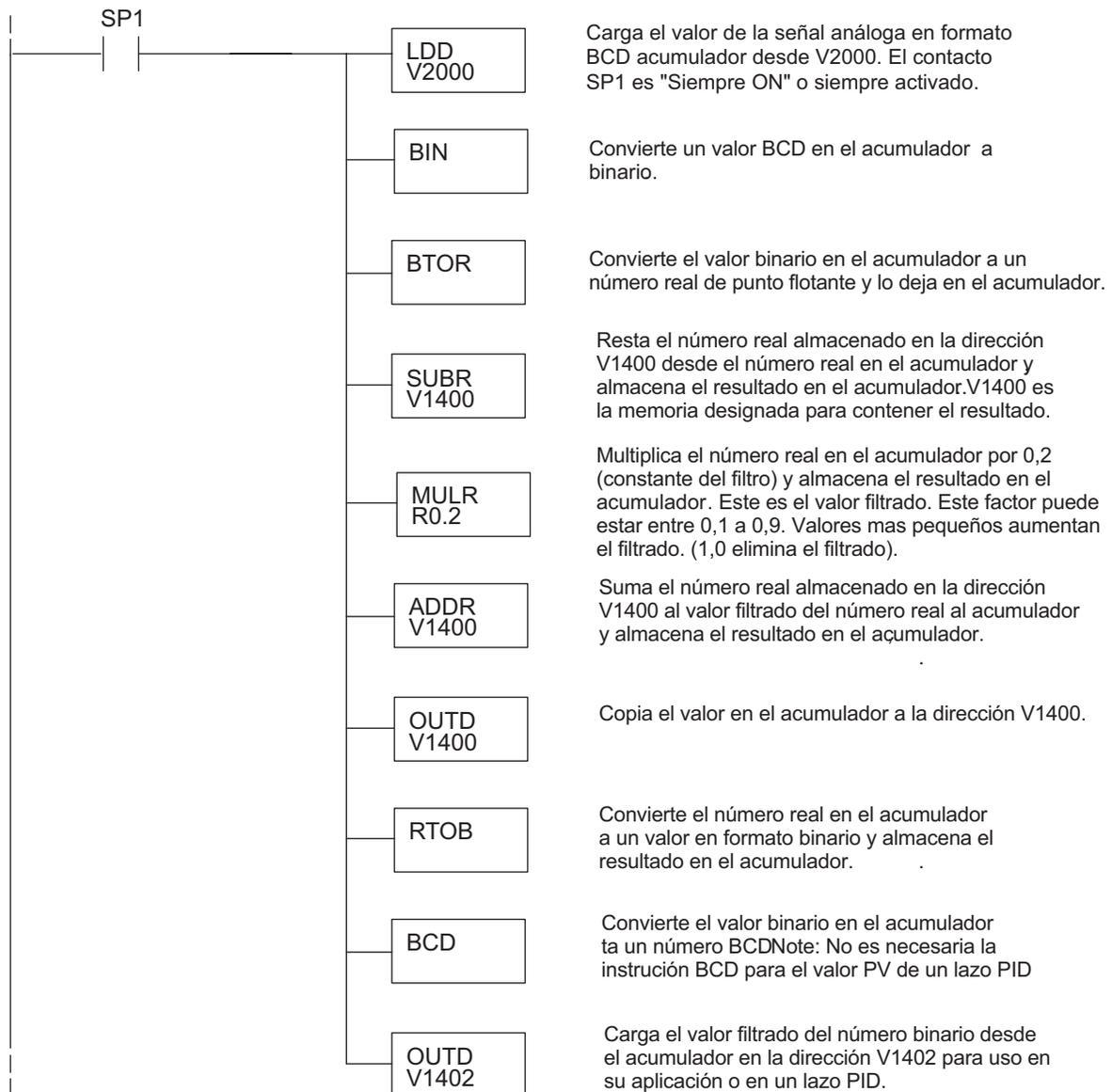
$y_{i-1}$  es la salida previa del filtro

K es el Factor de Filtro de Entrada PV

### Creando un filtro analógico en lógica ladder

Se puede construir un algoritmo similar en su programa ladder. Se pueden filtrar eficazmente sus entradas analógicas usando cualquier método. El ejemplo de programación siguiente describe la lógica ladder que usted necesitará. Asegúrese de cambiar las direcciones de memoria del ejemplo a las que Ud. usará en su caso.

El filtrado puede inducir un error de 1 parte en 1000 en su salida debido al "redondeo". Si su proceso no puede tolerar un error de 1 en 1000, no use el filtrado. Debido al error de redondeo, usted no debe usar cero o el valor mayor del rango como puntos de alarmas. Además, cuanto más pequeña es la constante del filtro mayor es el efecto de amortiguamiento, pero más lento es el tiempo de reacción. Asegúrese que una respuesta más lenta es aceptable al controlar su proceso.



## Usando la instrucción inteligente IBox del filtro en *DirectSOFT5*

Para los que estén usando *DirectSOFT 5*, se puede usar la instrucción inteligente Ib-402, el filtro en binario (decimal). Este IBox realizará un filtro de primer orden sobre las informaciones en bruto sobre un intervalo definido de tiempo. La ecuación es,

$$\text{Nuevo} = \text{Viejo} + [(\text{Bruto} - \text{Viejo}) / \text{FDC}]$$

donde

Nuevo = Nuevo valor filtrado

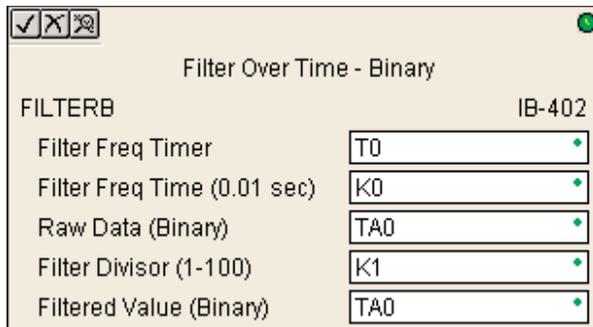
Viejo = Valor filtrado antiguo

FDC = Constante de división del filtro

Bruto = Informaciones en bruto

La constante de división del filtro es un número entero en el rango K1 a K100, tal que si igual a K1, no se realiza ningún filtrado. Al aumentar este valor, el filtrado aumenta.

El período en el cual se realiza el cálculo se especifica por tiempo en centésimos de segundo (0,01 segundo) como el parámetro **Filter Freq Time**. Observe que esta instrucción tiene un temporizador que está embutido en el IBox y no se debe usar en ningún otro lugar en su programa. La instrucción puede ser activada o desactivada en el renglón. Si está desactivada, el valor del filtro no es actualizado. En el primer barrido del programa, el valor del filtro se inicializa a 0 para dar al cálculo un punto de partida consistente.



### Ejemplo de FilterB

Lo que sigue es un ejemplo de cómo se usa el IBox FilterB en un programa ladder. Se usa la instrucción de filtrar un valor binario que esté en V2000. El temporizador (T1) se configura en 0,5 segundos, el período en el cual será realizado el cálculo del filtro. La constante del filtro se coloca como 3.0. Un valor más grande aumentará el efecto de alisamiento del filtro. Un valor de 1 resulta sin filtrado. El valor filtrado será almacenado en V2100.



Vea el capítulo 5 del manual D0-06USER-MSP, página 242, para una información más detallada.

Por último, también se puede usar un filtro de “promedio rodante”. Vea el documento AN-MISC-023 en el sitio de Internet de AUTOMATION DIRECT en la parte de apoyo técnico.

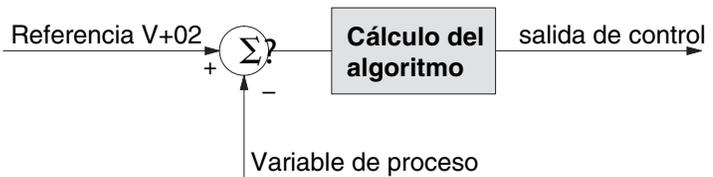
## Generador de Ramp/Soak (Rampa y valor constante)

### Introducción a Ramp/soak

En la descripción de la operación básica de control de lazos se dijo que la referencia (SP) para un lazo se puede generar de varias maneras, dependiendo del modo que opera el lazo y las preferencias en la programación. En la figura de abajo, el generador de Ramp/Soak (Rampa y valor constante) es una de las maneras en que se puede generar el SP. Es la responsabilidad de su programa ladder de asegurar que ocurre sólo un valor de SP en un determinado momento, en `addr + 02`.

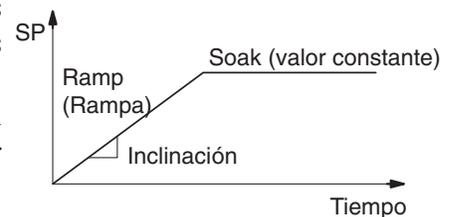
**Origen de referencias:**

- Por el operador
- Generador Ramp/soak
- Programa ladder
- Otra salida de un lazo (cascada)



Si la referencia SP del proceso cambia muy raramente o puede tolerar cambios escalón, probablemente no necesitará usar el generador de Ramp/Soak. Sin embargo, algunos procesos requieren cambios precisamente controlados del valor de SP. El generador de Ramp/Soak puede reducir la cantidad de programación requerida para estas aplicaciones.

Los términos "Ramp" y "Soak" tienen significados especiales en el área del control de proceso y se refiere a valores deseados de referencia (SP) en aplicaciones de control de temperatura. En la figura a la derecha, la referencia (SP) aumenta durante el segmento de rampa. Permanece estabilizada en un valor durante el segmento soak.



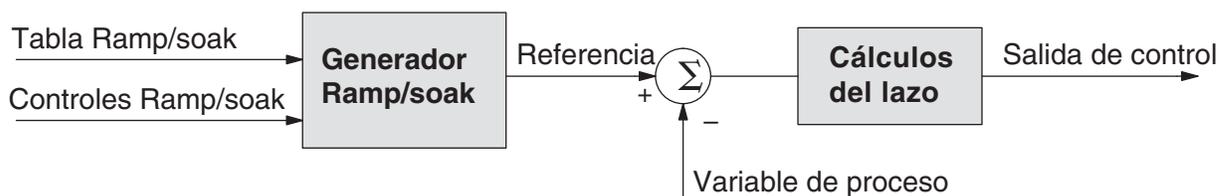
Pueden ser generados perfiles de SP especificando una serie de segmentos Ramp/Soak en una tabla especial.

Los segmentos de rampas se especifican en unidades de SP por segundo. El tiempo de **Soak** es programado en minutos.

Es instructivo ver el generador de Ramp/Soak como una función dedicada para generar los valores de SP, como mostrado abajo. Tiene dos categorías de entradas, que determinan la SP generada.

La tabla Ramp/Soak se debe programar por adelantado, conteniendo los valores que definirán el perfil de la Ramp/Soak. El lazo lee de la tabla durante cada cálculo de PID, como sea necesario.

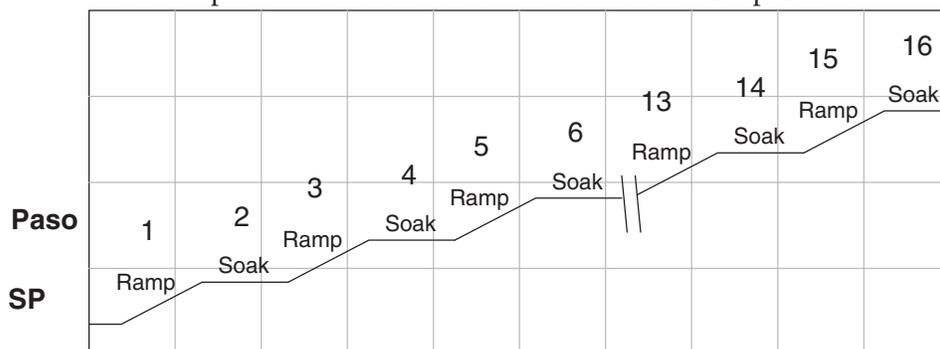
Los controles de la referencia Ramp/Soak son bits en una palabra especial de la tabla de lazos que controla el comienzo y la parada en tiempo real de la funcionalidad del generador de Ramp/Soak. El programa ladder puede supervisar el estado del perfil de la Ramp/Soak (rampa corriente/número del segmento).



Ahora que hemos descrito la operación general del generador de Ramp/Soak listamos sus características específicas:

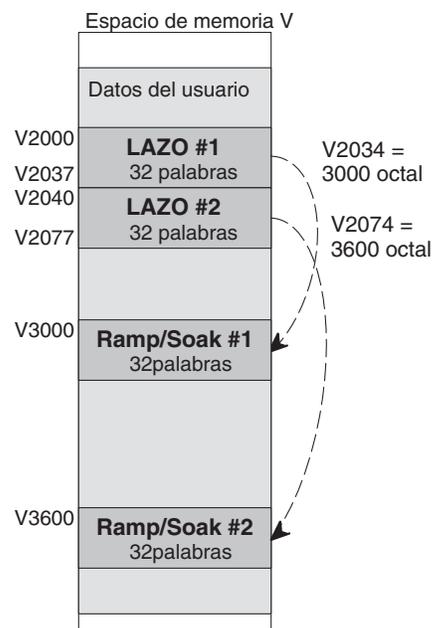
- Cada lazo tiene su propio generador Ramp/Soak (el uso es opcional).
- Usted puede especificar hasta ocho pasos de Ramp/Soak (16 segmentos).
- El generador de ramp/Soak puede funcionar en cualquier momento si el PLC está en el modo RUN. Su operación es independiente del modo del lazo (Manual o Automático).
- Los controles en tiempo real de Ramp/Soak incluyen Start ( iniciar), Hold (mantención del valor), Resume (Reanude), y Jog.
- La supervisión de Ramp/Soak incluye Perfil Completado, Desvío (SP menos PV), y número corriente del paso de Ramp/Soak.

La figura siguiente muestra un perfil compuesto de pares de segmentos Ramp/Soak. Los segmentos se numeran individualmente como pasos de 1 a 16. La inclinación de cada una de las rampas puede ser positiva o negativa. El generador de Ramp/Soak (Rampa y valor constante) sabe automáticamente si debe aumentar o disminuir el SP basado en los valores relativos de los valores extremos de la rampa. Estos valores vienen de la tabla de Ramp/Soak .



### La Tabla Ramp/Soak

Los parámetros que definen el perfil de Ramp/Soak para un lazo están en la tabla de Ramp/Soak. Cada lazo puede tener su propia tabla Ramp/Soak y es opcional. Recuerde que la tabla de parámetros de lazos consiste de un bloque de 32 palabras de memoria para cada lazo y ocupan una área contigua de memoria. Sin embargo, la tabla Ramp/Soak para un lazo se localiza individualmente porque es opcional para cada lazo. Un puntero de dirección especifica la dirección inicial de la tabla Ramp/Soak, en la dirección **addr + 34** en la tabla de lazos. En el ejemplo a la derecha, las tablas de parámetros de lazos para el Lazo #1 y #2 ocupan 32 palabras en un bloque contiguo, como mostrado. Cada tabla tiene un puntero a la tabla Ramp/Soak, independientemente localizada en otra parte en la memoria. Por supuesto, usted puede localizar todas las tablas en un grupo, obviamente sin superponerlas.



## Capítulo 8: Operación de control PID

Los parámetros en la tabla Ramp/Soak (Rampa y valor constante) deben ser definidos por el usuario. La manera más conveniente es usando *DirectSOFT*, que tiene una tabla especial para ser llenada con los valores programados. Se necesitan cuatro parámetros para definir un par de segmentos Ramp/Soak, como mostrado abajo.

- **Valor de fin de rampa** – especifica el valor del destino SP para el fin de la rampa. Use el mismo formato de datos para este número del que usted usa para SP (Formato binario). Puede estar encima o debajo del valor de inicio de SP, de modo que la inclinación podría estar ser hacia arriba o hacia abajo (No es necesario saber el valor de SP que comienza la rampa #1).
- **La inclinación de la rampa** – especifica el aumento de la referencia SP en unidades por segundo. Es un número BCD de 00,00 a 99,99 (usa 2 puntos de decimal).
- **Duración del Soak** – Especifica el tiempo de segmento constante en minutos, en el rango desde 000,1 to 999,9 minutos en BCD (punto decimal implicado).
- **Desvío de PV en Soak** – (opcional) especifica un desvío admisible de la variable de proceso PV encima y debajo del valor de referencia SP durante el período Soak. Es generado un bit del estado de la alarma del desvío de PV por el generador de Ramp/Soak.

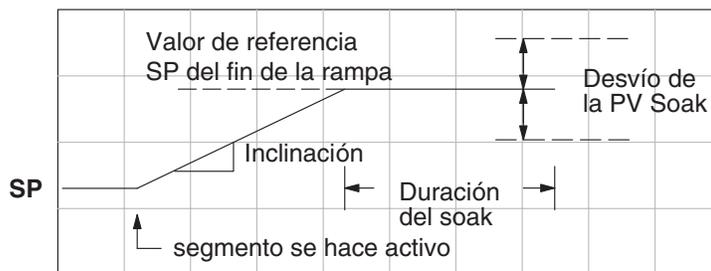


Tabla Ramp/Soak	
V+00	XXXX Valor final SP de rampa
V+01	XXXX Inclinación de rampa
V+02	XXXX Duración del Soak
V+03	XXXX Desvío de PV Soak

El segmento de la rampa se activa cuando el segmento Soak previo termina. Si la rampa es el primer segmento, se activa cuando el generador de Ramp/Soak comienza y asume automáticamente la referencia SP corriente como la referencia SP inicial.

Avance	Paso	Descripción	Avance	Paso	Descripción
+ 00	1	Valor de fin de rampa	+ 20	9	Valor de fin de rampa
+ 01	1	Inclinación de rampa	+ 21	9	Inclinación de rampa
+ 02	2	Duración del Soak	+ 22	10	Duración del Soak
+ 03	2	Desvío de PV en Soak	+ 23	10	Desvío de PV en Soak
+ 04	3	Valor de fin de rampa	+ 24	11	Valor de fin de rampa
+ 05	3	Inclinación de rampa	+ 25	11	Inclinación de rampa
+ 06	4	Duración del Soak	+ 26	12	Duración del Soak
+ 07	4	Desvío de PV en Soak	+ 27	12	Desvío de PV en Soak
+ 10	5	Valor de fin de rampa	+ 30	13	Valor de fin de rampa
+ 11	5	Inclinación de rampa	+ 31	13	Inclinación de rampa
+ 12	6	Duración del Soak	+ 32	14	Duración del Soak
+ 13	6	Desvío de PV en Soak	+ 33	14	Desvío de PV en Soak
+ 14	7	Valor de fin de rampa	+ 34	15	Valor de fin de rampa
+ 15	7	Inclinación de rampa	+ 35	15	Inclinación de rampa
+ 16	8	Duración del Soak	+ 36	16	Duración del Soak
+ 17	8	Desvío de PV en Soak	+ 37	16	Desvío de PV en Soak

Muchas aplicaciones no requieren todos los 16 pasos de Ramp/ Soak. Use 0's en la tabla para pasos no usados. El generador finaliza el perfil cuando encuentra una rampa = 0

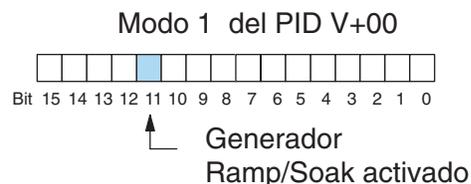
### Los indicadores de bit de la tabla Ramp/Soak

Las definiciones de los bits de la palabra de la Tabla Ramp/Soak, Addr+33, están en la lista en la tabla siguiente:

Bit	Descripción del bit	Lee/escrive	Bit=0	Bit=1
0	Partir perfil Ramp / Soak	escribe	–	Parte en transición 0-1
1	Congelar perfil Ramp / Soak	escribe	–	Congela en transición 0-1
2	Reanudar perfil Ramp / soak	escribe	–	Reanuda en transición 0-1
3	Jog del perfil Ramp / Soak	escribe	–	Jog en transición 0-1
4	Perfil Ramp / Soak completado	Lee	–	Perfil completado
5	Desvío de la entrada PV en Ramp / Soak	Lee	Off	On
6	Perfil Ramp / Soak congelado	Lee	Off	On
7	Reservado	Lee	Off	On
8–15	Paso corriente en perfil R/S	Lee	Decodifique como byte (hex)	

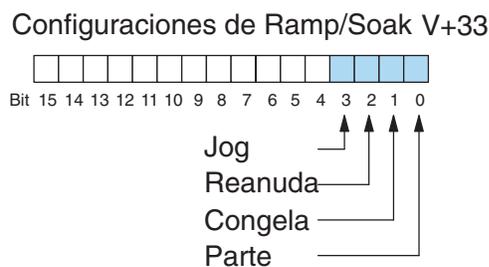
### Activando el generador de Ramp/Soak

El principal control de activación para permitir la generación del valor de referencia SP con Ramp/Soak se hace con el bit 11 de la palabra Modo de PID 1 addr + 00, como mostrado a la derecha. Los otros controles de la Ramp/Soak en el addr + 33 mostrado en la tabla encima no funcionarán a menos que este bit sea 1 durante el proceso de Ramp/ Soak.



### Controles de la Ramp/Soak

Los cuatro controles principales para el generador de Ramp/Soak están en los bits 0 a 3 de la palabra de configuración de la Ramp/Soak en la tabla de parámetros de lazos. *DirectSOFT* controla estos bits directamente desde el diálogo de configuración de la Ramp/Soak. Sin embargo, usted debe usar la lógica ladder para controlar estos bits durante la ejecución del programa. Recomendamos usar la instrucción bit de palabra (Bit-of Word).



La lógica ladder debe colocar el bit de control en "1" para ordenar la función correspondiente. Cuando el controlador de lazo lee el valor de la Ramp/Soak, apaga automáticamente el bit. Por lo tanto, no es necesario ejecutar una instrucción de Reset del bit, cuando la CPU está en el modo RUN.

El programa ejemplo a la derecha muestra cómo un interruptor X0 externo puede prender y el contacto de PD usa la transición de 0 para 1 para poner el bit apropiado de control para comenzar el perfil Ramp/Soak. Esto usa la instrucción Bit-of-Word.

### Partir el generador de Ramp/Soak



El estado normal de los bits de control para la Ramp/Soak son todos ceros. La lógica ladder debe poner sólo un bit de control a la vez.

- **Start** – una transición 0 a 1 comenzará a ejecutar el perfil. La CPU debe estar en el modo RUN y el lazo puede estar en el modo Manual o Automático. Si el perfil no es interrumpido por una orden de Hold o Jog, termina normalmente.
- **Hold** – una transición 0 a 1 parará el perfil de Ramp/Soak (Rampa y valor constante) en su estado actual, y el valor de SP se congelará.
- **Resume** – Una transición 0 a 1 causa que el generador de Ramp/Soak reanude la operación si está en el estado Hold. Los valores de SP comienzan desde el valor previo.
- **Jog** – Una transición 0 a 1 causará que el generador de Ramp/Soak (Rampa y valor constante) pare la ejecución del segmento (paso) actual, y vaya al próximo segmento.

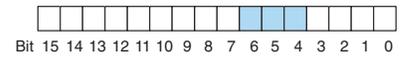
### Supervisión del perfil de Ramp/Soak

Usted puede supervisar el estado del perfil de la Ramp/Soak usando otros bits en la palabra de configuración de Ramp/Soak **addr + 33**, como mostrado a la derecha.

- El Perfil R/ S Completado – Es igual a 1 cuando se termina el ultimo paso programado.
- Desvío de PV – Es igual a 1 cuando el error (SP-PV) excede el desvío especificado en la tabla de R/S.
- El Perfil esta en Hold – Es igual a 1 cuando el perfil estaba activo pero ahora está en Hold.

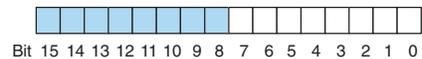
El número del paso actual está disponible en los 8 bits superiores de la palabra Configuración de Ramp/Soak **addr + 33**. Los bits representan un número de 2 dígitos hexadecimales, en el rango de 1 a 10. La lógica ladder puede supervisar éstos bits para sincronizar otras partes del programa con el perfil de la Ramp/Soak. Cargue esta palabra al acumulador y haga un right shift de 8 bits y se obtiene el número del paso.

Valores para Ramp/Soak V+33



Perfil R/S congelado  
Desvío de PV en Soak  
Perfil R/S completado

Valores para Ramp/Soak V+33



Paso corriente del perfil,  
hexadecimal de 2 dígitos

Valor = 01 a 10 hexadecimal  
o 1 a 16 decimal

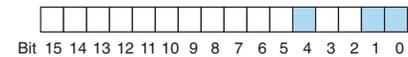
### Errores de programación de Ramp/Soak

La dirección inicial para la tabla Ramp/Soak debe ser una dirección válida. Si la dirección apunta fuera del rango de memoria de usuario V, uno de los bits a la derecha prenderá cuando comienza el generador de Ramp/Soak. Recomendamos usar *DirectSOFT* para configurar la tabla Ramp/Soak. Verifica las direcciones automáticamente para usted.

### Probando el perfil de Ramp/Soak

Es muy recomendable probar el perfil de Ramp/Soak antes de usarlo para controlar el proceso. Esto es fácil de hacer, porque el generador de Ramp/Soak correrá aún cuando el lazo está en modo Manual. Usando el PID View de *DirectSOFT* será un ahorro de tiempo porque dibujará el perfil en la pantalla para usted. Asegúrese de colocar la base de tiempo del grafico lo suficiente lento para mostrar por lo menos un par de rampas/ segmentos en el grafico.

Error de tabla Ramp/Soak V+35



Dirección inicial en rango  
de memoria V reservada

Dirección inicial fuera del  
rango superior de memoria V

Dirección inicial fuera del  
rango inferior de memoria V

## Ejemplo de Ramp/Soak con *DirectSOFT*

El ejemplo siguiente le muestra como configurar la función Ramp/Soak.

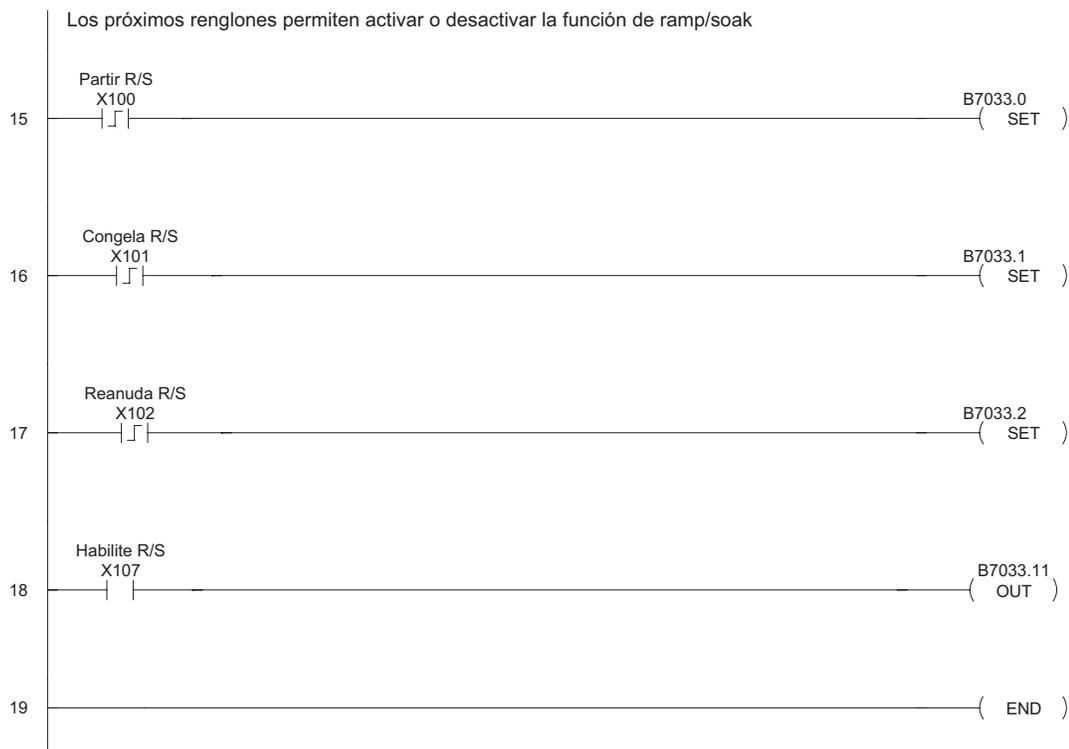
### Configure el perfil de ramp/soak en el diálogo PID Setup

El primer paso es usar Setup PID en *DirectSOFT* para configurar el perfil de la referencia del proceso. Abra la ventana Setup PID y seleccione la lengüeta R/S, y luego entre los datos de rampa y soak.

	Ramp		Soak	
	SP	Slope	Time	Deviation
1	3000	1.00	2.0	200
2	3200	2.00	1.0	100
3	3400	3.00	1.0	100
4	3000	1.50	2.0	100
5	0	0.00	0.0	0
6	0	0.00	0.0	0

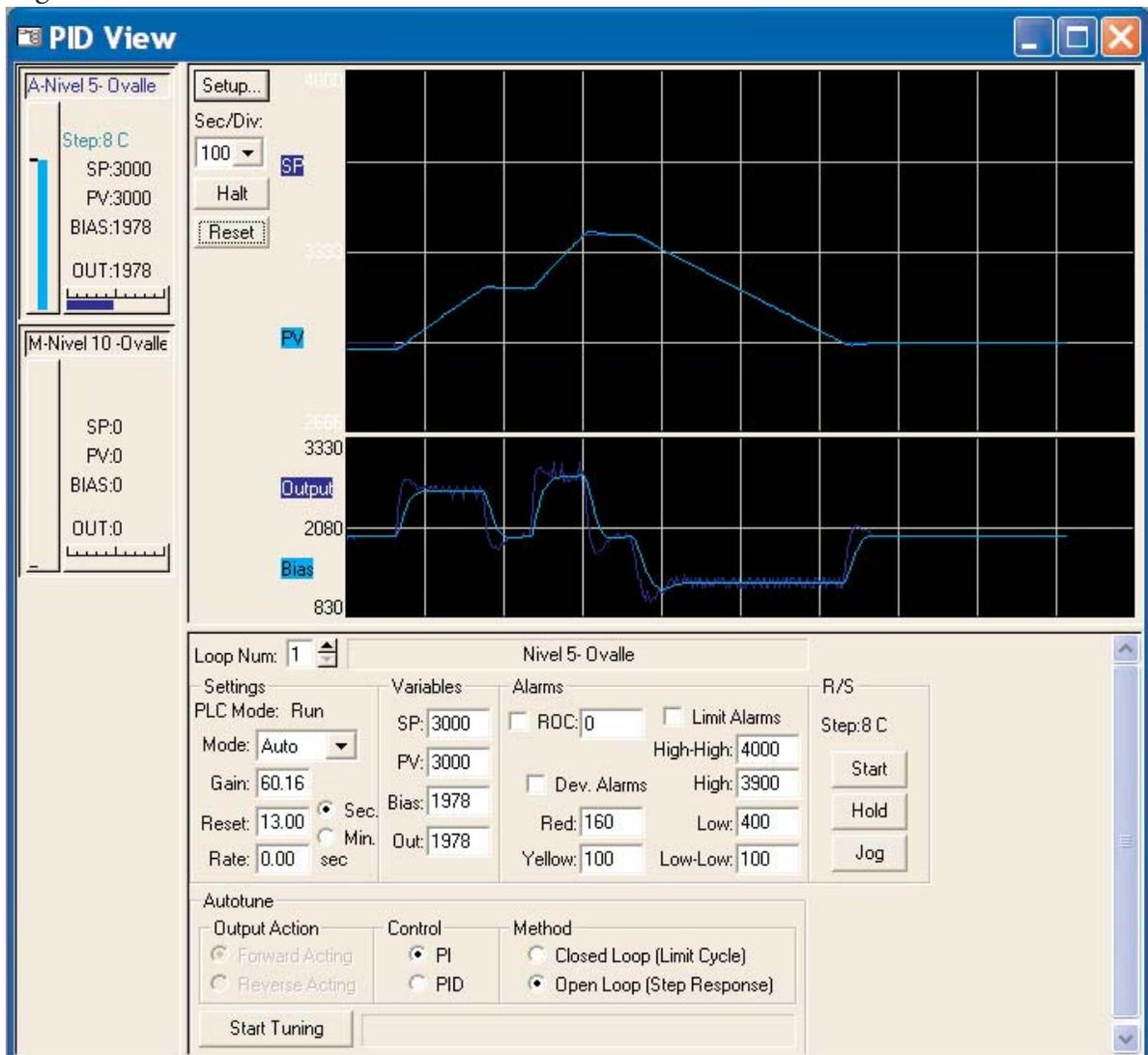
### Programando el control de Ramp/Soak en lógica ladder

Vea la tabla de descripción de los bits de Ramp/Soak en la página 8-62 para agregar los renglones de control a su programa similar a los renglones de la lógica de abajo. La tabla de PID comienza en V7000.



### Pruebe el perfil de ejemplo de ramp/soak

Pruebe el comportamiento de la función Ramp/Soak usando PID View, va a resultar algo como sigue.



Al activar X100 comienza el perfil de ramp /soak,

Note como la referencia sube en la primera rampa, desde el valor 3000 hasta 3200. Esta rampa tien una unidad por segundom, de modo que son 200 segundos.

En 3200 se queda por dos minutos, lo que es 120 segundos

Luego continúa hasta 3400 con una rampa de 100 segundos.

En 3400 se queda por un minuto, lo que es 60 segundos

Luego baja hasta 3000 con una rampa negativa de 1.5 unidades poe segundo.

Vea la curva obtenida. Note que la curva es la de la referencia. La variable de proceso PV trata de seguir esa curva, pero no siempre se obtiene lo mismo.

## Control en cascada

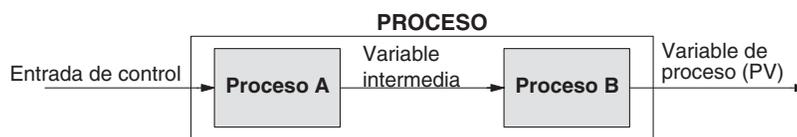
### Introducción a lazos en cascada

Los lazos en cascada son una técnica avanzada de control que es superior al control individual de lazo en ciertas situaciones. Como el nombre implica, en cascada significa que un lazo es conectado a otro lazo. Además de los modos Manual (lazo abierto) y Automático (lazo cerrado), el PLC DL06 también puede suministrar el modo en cascada.



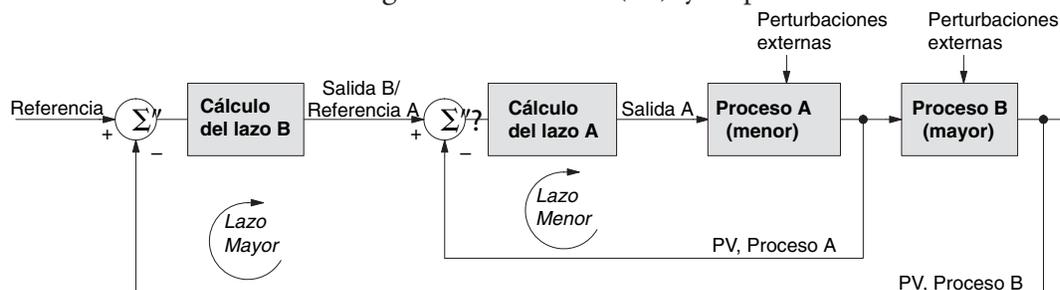
**NOTA:** Los lazos en cascada son una técnica avanzada del control de procesos. Por lo tanto recomendamos su uso sólo para ingenieros experimentados de control de procesos.

Cuándo un proceso de fabricación es complejo y contiene un atraso de tiempo en la entrada de control para procesar la variable de salida, aún un lazo perfectamente sintonizado alrededor de proceso puede hacer el control lento e inexacto. Puede ser que los actuadores operen en una propiedad física que afecta eventualmente la variable de proceso, medido por una propiedad física diferente. Identificar la variable intermediaria nos permite dividir el proceso en dos partes, como es mostrado en la figura siguiente.



¡Un lazo en cascada es un sistema en que simplemente agregamos otro lazo en el proceso para controlar la variable intermediaria más precisamente! Esto también separa la fuente del atraso del control en dos partes.

El esquema debajo muestra un sistema del control de cascada, mostrando que es simplemente un lazo anidado dentro de otro. El lazo interno se llama **lazo menor** y el lazo externo se llama **lazo mayor**. Para obtener estabilidad, el lazo menor debe ser el lazo que responde más rápido en los dos. Hay que agregar el sensor adicional para medir la variable intermediaria (PV para el proceso A). Note que la referencia (SP) para el lazo menor se genera automáticamente usando la salida del lazo mayor. Una vez que el control en cascada es programado y depurado sólo necesitamos tratar con la variable original de referencia (SP) y de proceso en el nivel de sistema.



Los lazos en cascada se comportan como un lazo, pero con el desempeño mejorado sobre la solución anterior de lazo simple.

Uno de los beneficios del control en cascada puede ser vistos examinando su respuesta a perturbaciones externas. Recuerde que el lazo secundario es de actuación más rápida que el lazo mayor. Por lo tanto, si una perturbación afecta el proceso A en el lazo menor, el cálculo de PID en el lazo A puede corregir el error resultante antes que el lazo mayor vea el efecto.

### Los lazos en cascada en el PLC DL06

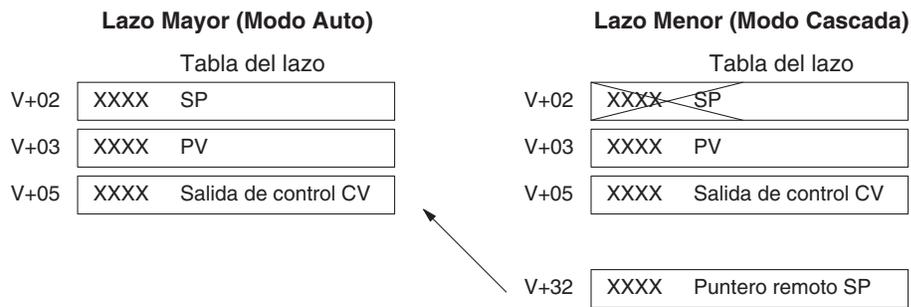
En el uso del término de "lazos en cascada", debemos hacer una distinción importante. Sólo el lazo menor estará verdaderamente en el modo en cascada. En la operación normal, el lazo mayor debe estar en modo automático. Si usted tiene más de dos lazos en cascada JUNTOS, el lazo más exterior (mayor) debe estar en el modo automático durante la operación normal y todos los lazos interiores en el modo en Cascada.



**NOTA:** *Técnicamente, ambos lazos mayor y menor están "en cascada" en la terminología estricta de control de procesos. Desgraciadamente, no podemos retener esta convención cuando se controlan los modos del lazo. Recuerde que todo lazo menor estará en el modo en Cascada, y sólo el lazo más exterior (mayor) estará en el modo automático.*

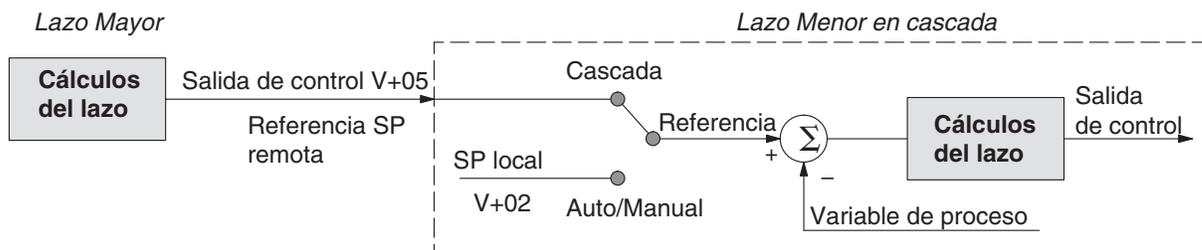
Usted puede colocar en cascada tantos lazos como sea necesario en el DL06 y puede tener múltiples grupos de lazos en cascada. Para una operación apropiada de los lazos en cascada se debe usar el mismo rango de datos (12/15 bits) y ser unipolares/bipolares en el lazo mayor y menor.

Para preparar un lazo para la operación del modo en cascada como un lazo menor, usted debe programar el puntero remoto de referencia (SP) en la dirección de la tabla de parámetros de lazos **addr + 32**, como mostrado abajo. El puntero debe ser la dirección **addr + 05** (la salida de control) del lazo mayor. En el modo en cascada, el lazo menor ignorará el valor de SP local (**addr+02**) y leerá entonces la salida de control del lazo mayor como la referencia SP.



Cuando se usa PID View de *DirectSOFT* para mirar el valor de SP del lazo menor, *DirectSOFT* lee automáticamente la salida de control del lazo mayor y lo lleva a la referencia SP del lazo menor. La dirección normal de SP del lazo menor, **addr + 02**, permanece igual.

Ahora, usamos la configuración de parámetros de lazos encima y dibujamos el diagrama equivalente, mostrado abajo.



Recuerde que el lazo mayor va al modo Manual automáticamente si su lazo menor es sacado del modo en cascada.

### Sintonizando lazos en cascada

Al sintonizar lazos en cascada necesitaremos desconectar la relación en cascada y sintonizar los lazos individualmente, usando uno de los procedimientos de sintonía de lazo descritos previamente.

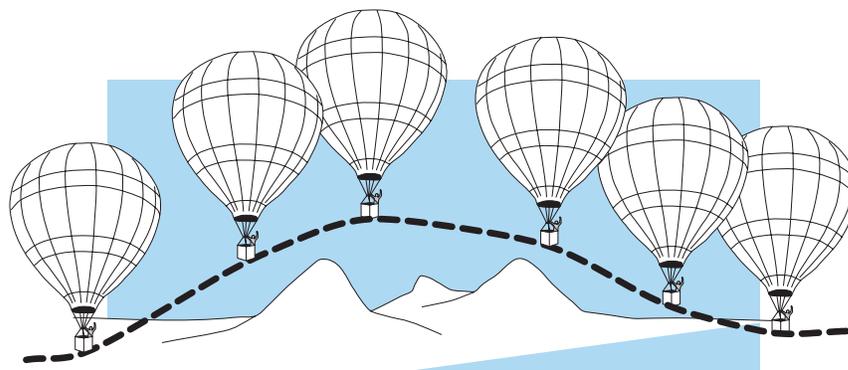
1. Si usted no usa la sintonía automática, entonces encuentre el período de muestreo para el lazo menor, usando el método discutido previamente en este capítulo. Luego coloque el período de muestreo del lazo mayor más lento que el lazo menor por un factor de 10. Use este valor como punto de partida.
2. Sintonice el lazo menor primero. Deje el lazo mayor en modo Manual, y necesitará generar los cambios de SP para el lazo menor manualmente como descrito en el procedimiento de la sintonía del lazo.
3. Verifique que el lazo menor dé una respuesta críticamente amortiguada con un 10% de cambio de SP en el Modo automático. Esto termina la sintonía el lazo menor.
4. En este paso necesitará colocar el lazo Menor en el modo en Cascada y el lazo Mayor en el modo automático. Sintonizaremos el lazo mayor con el lazo menor como un componente en serie al proceso completo. Por lo tanto, no vuelva y sintonice el lazo menor otra vez mientras hace la sintonía del lazo mayor.
5. Afine el lazo mayor, siguiendo el procedimiento normal de la sintonía del lazo en esta sección. La respuesta del lazo mayor PV es la respuesta completa de los lazos en cascada juntos.

### Control de pulsos con amplitud modulada (PWM)

El controlador de lazos de PID en el PLC DL06 genera una señal similar a una señal analógica de la salida de control en un rango numérico. El valor de la salida de control es adecuado para manejar un módulo analógico de salida que es conectado al proceso. En el campo de control de proceso, esto se llama control continuo o analógico, porque la salida está en algún nivel continuamente.

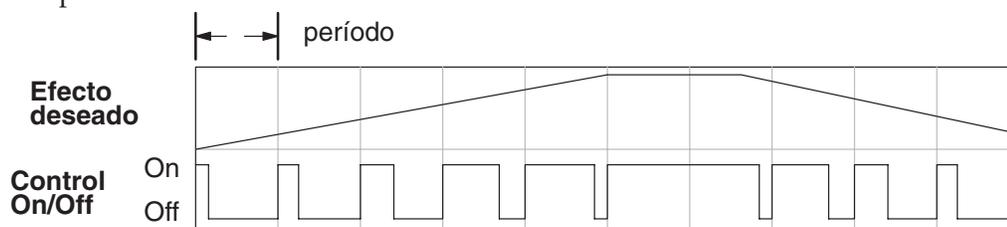
Aunque el control continuo puede ser suave y robusto, el costo de los componentes de control (tales como actuadores, controladores de alta corriente) pueden ser caros. Una forma simplificada de control se llama control de pulsos de amplitud modulada (o PWM). Este método usa actuadores discretos ON-OFF que están activados o desactivados (sin valores intermedios). Los componentes para sistemas discretos de control son de costo más bajo que los componentes de trabajo continuo de control.

En esta sección, le mostraremos cómo convertir la salida de control de un lazo a control de pulsos de amplitud modulada (PWM) para aplicaciones que necesitan de este tipo de control. Veamos como prentiendo y apagando alternadamente una carga se puede controlar un proceso. El esquema de abajo muestra un globo de aire caliente que sube siguiendo un trayecto a través de algunas montañas.



El trayecto deseado es la *referencia* (SP). El piloto del globo prende y apaga el quemador alternadamente, lo que es la *salida de control* CV. La gran masa de aire en el globo promedia efectivamente el efecto del quemador, convirtiendo los chorros de calor en un efecto continuo: cambia lentamente la temperatura del globo y últimamente la altitud, que es la *variable de proceso* PV.

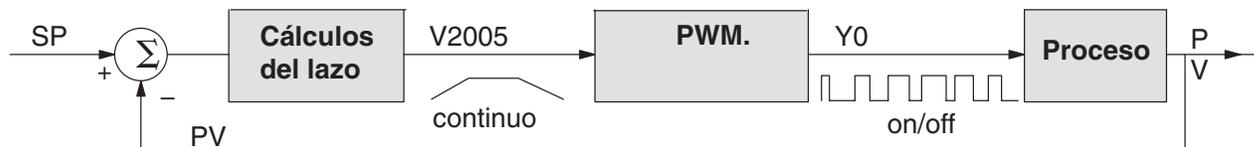
El control de pulsos de amplitud modulada se aproxima al control continuo en virtud de su ciclo, la razón del tiempo con el quemador funcionando y no funcionando. La figura siguiente muestra un ejemplo de cómo el ciclo se aproxima a un nivel continuo cuando es promediado por una masa grande del proceso.



Si hiciéramos un gráfico de los tiempos del quemador activado o no en el globo de aire caliente, veríamos probablemente una relación muy semejante a su efecto en la temperatura del globo y altitud.

### Ejemplo de programa de control PWM

El segmento siguiente ladder proporciona un control de tiempo ON/OFF en una salida. Convierte la salida continua en V2005 a un control discreto usando la bobina de salida Y0.



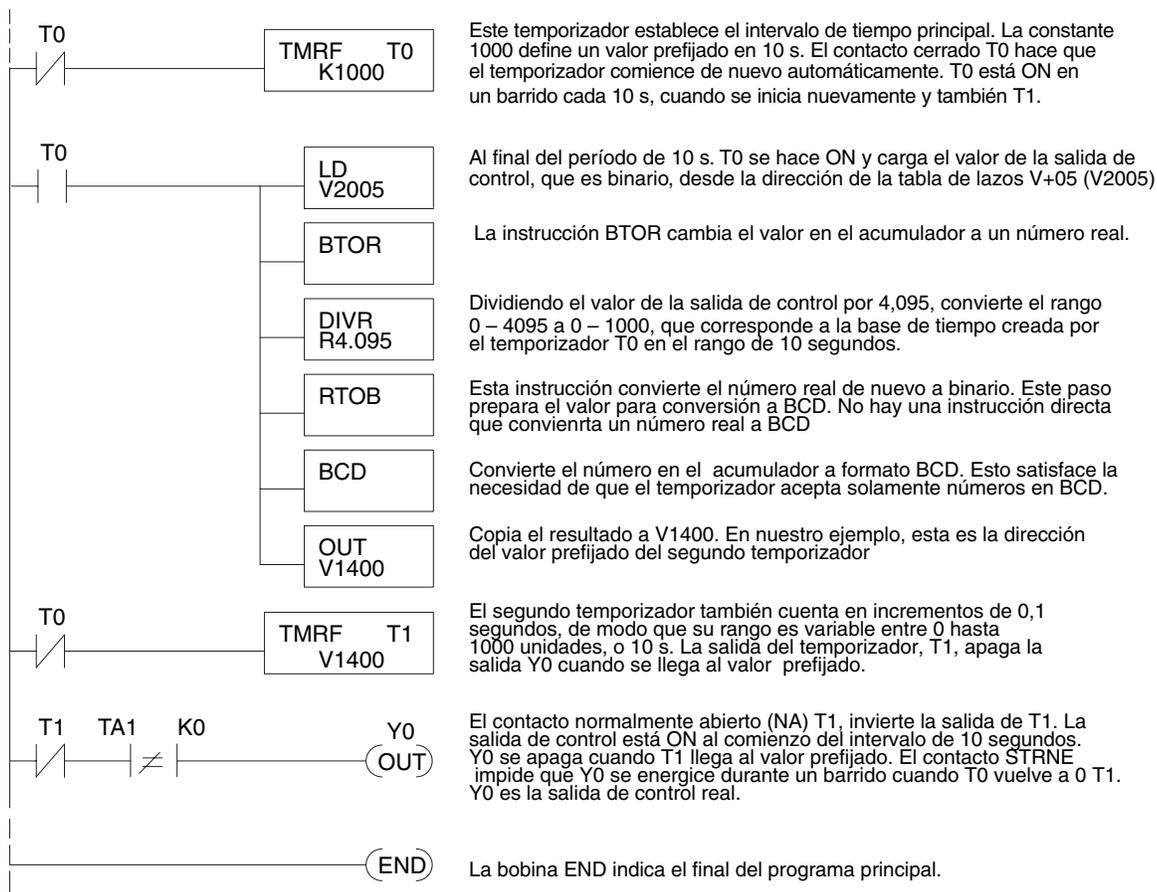
El programa ejemplo usa dos temporizadores para generar el control ON/OFF. Hace las suposiciones siguientes, que se pueden modificar para adaptarlas a su aplicación:

- La tabla del lazo PID comienza en V2000, de modo que la salida de control está en V2005.
- El formato de datos de la salida de control es de 12 bits, unipolar (0 - FFF) o 0-4095.
- La salida de control ON/OFF es Y0.

El programa PWM debe hacer similar la resolución de la salida (1 en 1000) a la resolución de la base de tiempo de T0 (también 1 en 1000).

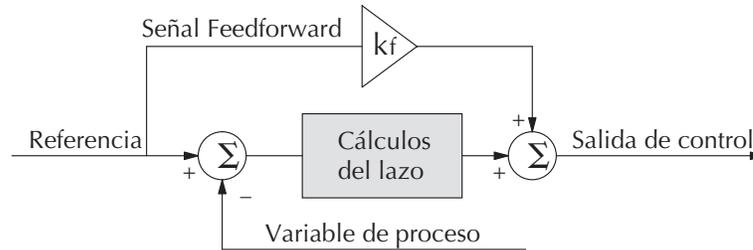


**NOTA:** Algunos procesos cambian demasiado rápidamente para este control de tiempo. Considere la velocidad de su proceso cuando usted escoge este método de control. Use el control continuo para los procesos que cambian demasiado rápido para control de tipo PWM.



## El Control feedforward

El control feedforward es una mejora al control de lazo cerrado. Es muy útil para disminuir los efectos de una perturbación *cuantificable y previsible* en un lazo o del cambio repentino en la señal de referencia SP. El uso de esta característica es una opción disponible en el PLC DL06. Sin embargo, es mejor aplicar y afinar un lazo sin feedforward y sólo agregarlo si se necesita aún un mejor desempeño del control del lazo. El término "feedforward" se refiere a la técnica de control mostrada en el esquema adyacente. El valor entrante de referencia se suma con la salida alrededor de la ecuación de PID, como se muestra en el diagrama de la figura de abajo.



En una sección anterior en el término de la tendencia (bias), dijimos que "el valor del término de la tendencia establece una región de trabajo" o un punto de operación para la salida de control. *Cuándo el error fluctúa alrededor de cero, la salida fluctúa alrededor del valor de tendencia (Bias).* Ahora, cuando hay un cambio en la referencia, se genera un error y la salida debe cambiar a un nuevo punto de operación. Esto sucede también si una perturbación introduce un desvío nuevo de la variable de proceso en el lazo. El lazo no "sabe ir" al nuevo punto de operación... la corrección de tendencia (o bias) debe incrementar/decrementar hasta que el error desaparezca y entonces la tendencia (bias) ha encontrado el nuevo punto de operación.

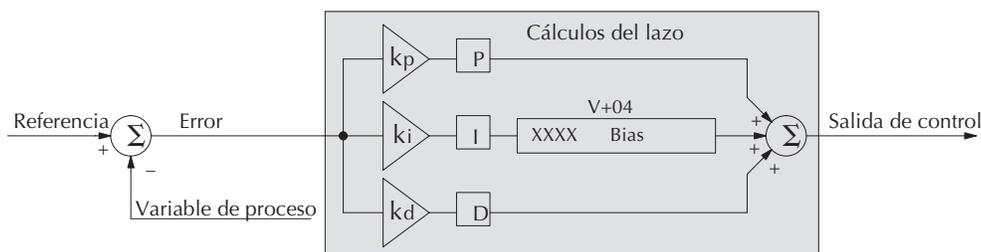
Suponga que somos capaces de saber que un cambio repentino de referencia (SP) está a punto de ocurrir (común en algunas aplicaciones). Podemos evitar gran parte del error resultante en primer lugar, si podemos cambiar rápidamente la salida al nuevo punto de operación. Si sabemos (de pruebas anteriores) a qué nuevo punto de operación (el valor de la tendencia) se llegará después del cambio de la referencia (SP), podemos cambiar artificialmente la salida directamente (que es feedforward).

Los beneficios de usar feedforward son:

- El error de SP-PV se reduce durante cambios previsibles de referencia (SP) o perturbaciones.
- El uso apropiado de feedforward permitirá que reduzcamos la ganancia integral. Reduciendo la ganancia integral nos da un sistema estable de control.

Feedforward es muy fácil de usar en el controlador de lazos DL06, como mostrado abajo. El término de tendencia está disponible al usuario en una dirección especial de lectura/escritura, en la dirección de la tabla de Parámetros PID **addr + 04**.

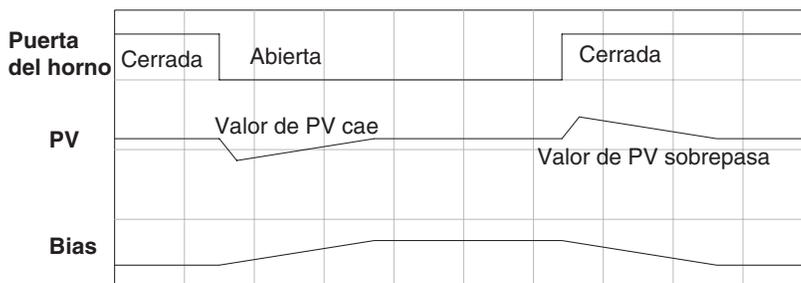
Dirección de la tabla de parámetros V+04.



Para cambiar la tendencia (el punto de operación), la lógica ladder sólo tiene que escribir el valor deseado a **addr + 04**. El cálculo del lazo de PID lee primero el valor de la tendencia (bias) desde el **addr + 04** y modifica el valor basado en el cálculo actual de integración. Luego escribe el resultado de vuelta a la dirección **addr + 04**. Esta configuración crea un tipo "transparente" del valor de la tendencia. Todo lo que tiene que hacer para aplicar control feedforward es escribir el valor correcto a la tendencia en el tiempo correcto (el ejemplo de abajo muestra cómo hacerlo).



**NOTA:** *Cuándo escriba a la tendencia, se debe tener cuidado para diseñar la lógica ladder para escribir el valor sólo una vez, actualmente cuando deba ocurrir el punto de operación con la nueva tendencia. Si la lógica ladder escribe el valor de la tendencia en cada barrido, el integrador del lazo se incapacita efectivamente.*



### Ejemplo de feedforward

¿Cómo sabemos cuando escribir al término de la tendencia, y qué valor debe escribirse? Suponga que tenemos un lazo de control de temperatura de un horno, y hemos sintonizado ya el lazo para óptimo desempeño. Vea la figura de abajo. Note que cuando el operario abre la puerta del horno, la temperatura baja un poco mientras la tendencia del lazo ajusta a la pérdida de calor. Luego, cuando la puerta cierra, la temperatura sobrepasa la referencia SP hasta que el lazo se ajuste otra vez. El control de Feedforward puede ayudar a disminuir este efecto.

Primero, registramos la cantidad de cambio de tendencia que se genera por el controlador cuando la puerta abre o cierra. Luego, escribimos un programa ladder para detectar el estado de un interruptor límite de la puerta del horno. Cuándo la puerta se abre, el programa ladder lee el valor actual de la tendencia desde **addr + 04**, agrega la cantidad deseada de cambio, y lo escribe de vuelta a la memoria **addr + 04**. Cuándo la puerta cierra, duplicamos el procedimiento, pero ahora restamos la cantidad deseada de cambio. La figura siguiente muestra los resultados.



Los cambios en la tendencia son el resultado de escrituras de valor feedforward al valor de la tendencia. Podemos ver que las variaciones de PV se reducen. La misma técnica puede ser aplicada para cambios en la referencia (SP).

## Ejemplo de programa ladder con control PID

### Programa ladder asociado a un lazo de control PID

Después de que el o los lazos de control PID, han sido configurados con *DirectSOFT*, se necesitará modificar el programa ladder para incluir los renglones necesarios para configurar el módulo analógico de E/S que se usará como interface al proceso.

El programa siguiente de ejemplo muestra cómo se usa y configura un módulo de medición de temperatura con RTD, F0-04RTD, y un módulo analógico de combinación, F0-4AD2DA-2 pasa un lazo de control PID. Este ejemplo asume que la tabla de PID para el lazo 1 tiene una dirección inicial en V2100.

Por lo tanto las principales variables en este lazo son:

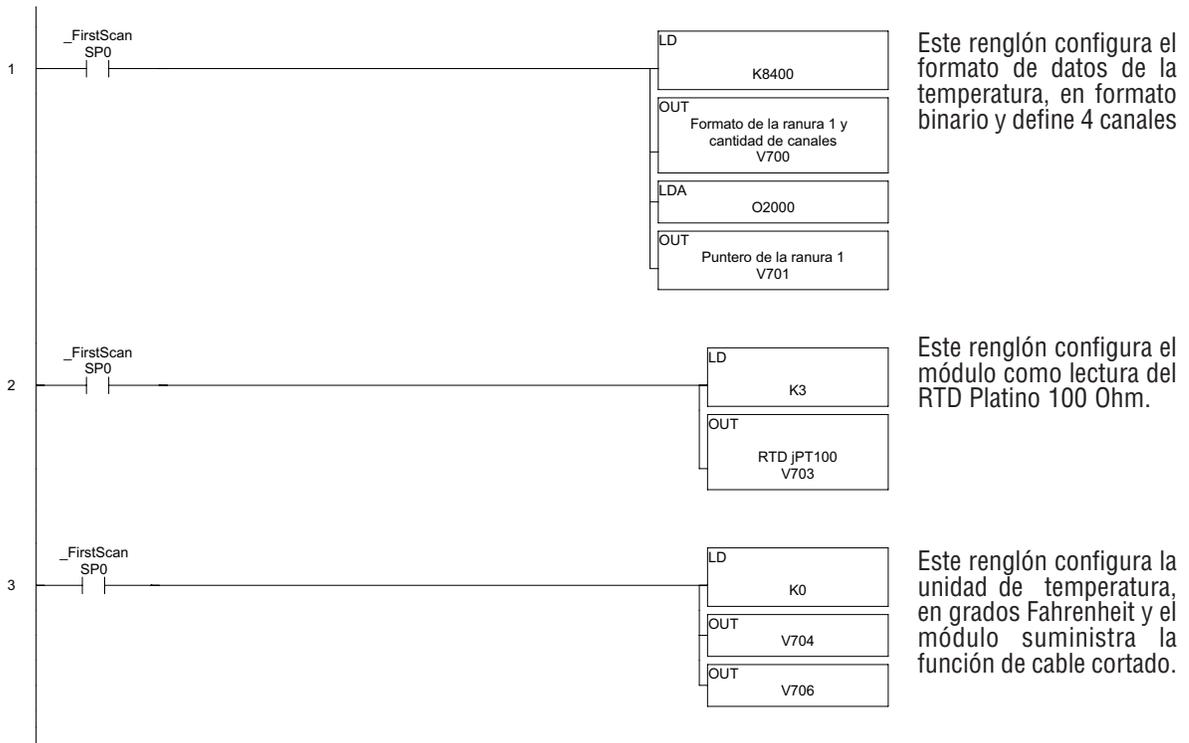
[V2102] = Referencia SP

[V2103] = Variable de proceso PV

[V2105] = Salida de control CV

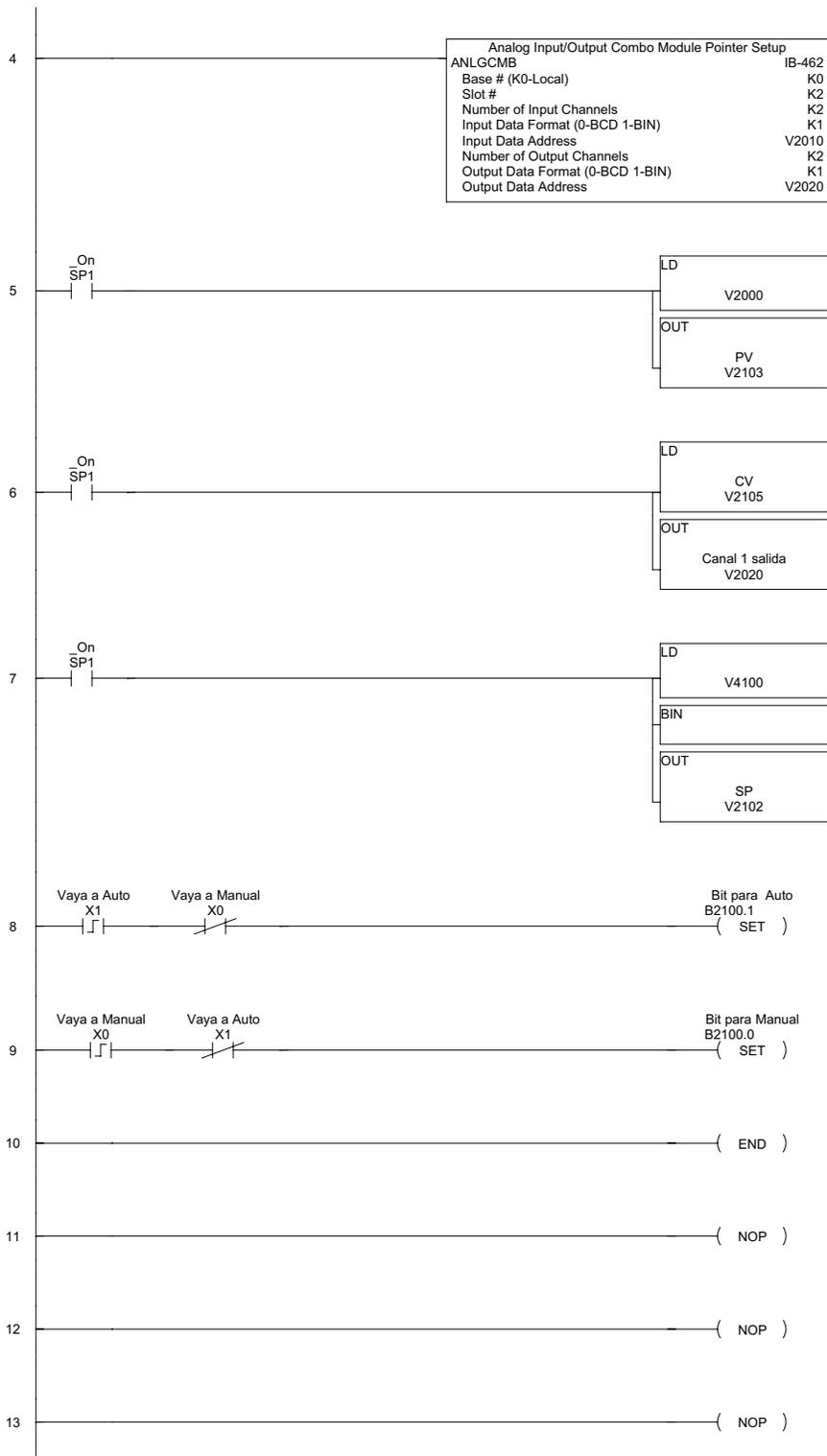
Todos los módulos analógicos de entradas y salidas usados con el PLC DL06 son configurados de una manera similar, con *DirectSOFT*. *DirectSOFT5* ofrece Iboxes para configuración de módulos analógicos, que hacen esta acción aún mas simple.

8



Programa continuado en la próxima página

## Programa continuado desde la página anterior



Este renglón configura el módulo de 2 entradas y 2 salidas en la ranura 2.

Se colocan las entradas en las memorias V2010 y V2011 y las salidas en V2020 y V2021

Este renglón copia en contenido de la memoria V2000, la variable de proceso o temperatura, en V2103, en la tabla de PID

Este renglón copia en contenido de la memoria V2105, la salida de control, en V2020

Este renglón copia en contenido de la memoria V1400, la referencia de temperatura, en V2102

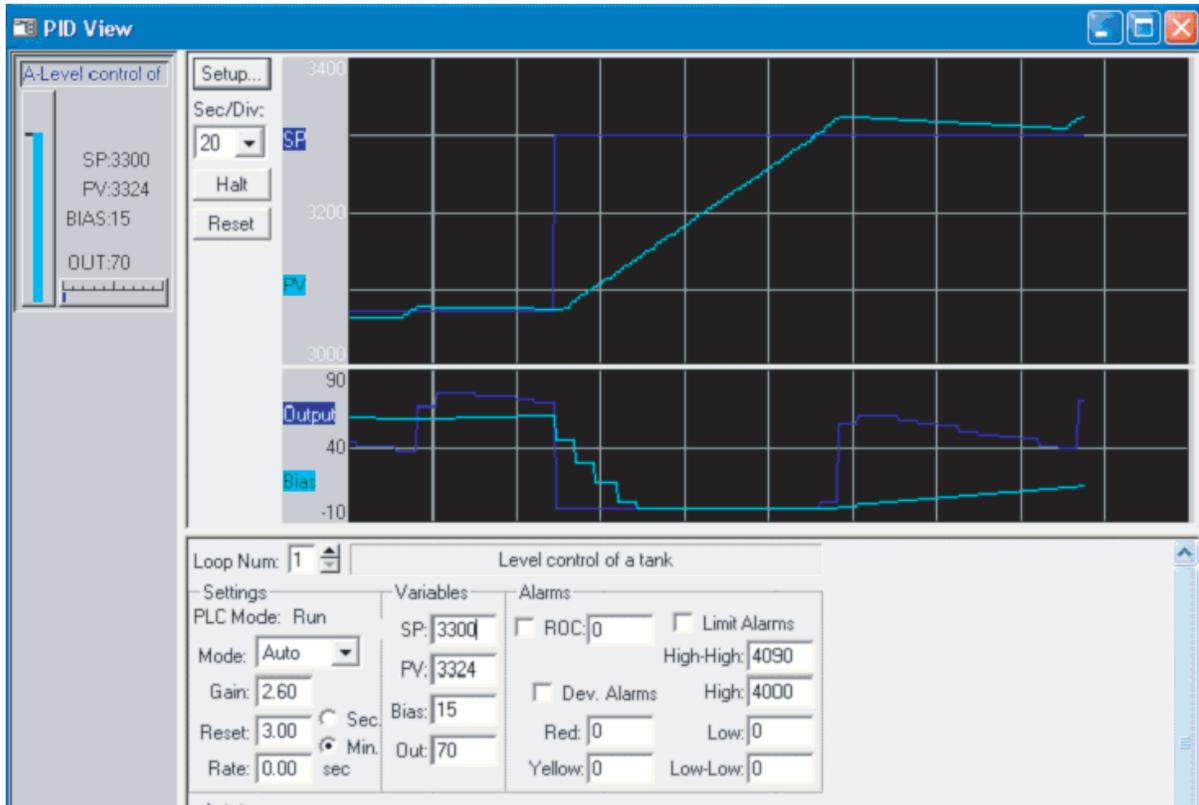
Este renglón selecciona el modo del lazo como Auto

Este renglón selecciona el modo del lazo como Manual

## Capítulo 8: Operación de control PID

Observe que los módulos usados en el ejemplo de control PID fueron configurados en formato binario (o decimal en *DirectSOFT*). Este formato podría haber sido configurado como BCD. En este caso, los datos BCD deberían haber sido convertidos a formato binario antes de almacenar estos datos en las memorias de la tabla PID correspondientes a la referencia (SP) y la variable de proceso (PV) y la salida de control debería ser convertida desde formato binario a BCD antes de almacenar el valor en la memoria del módulo de salida analógica.

La ventana PID View se verá de la siguiente forma después que se haya sintonizado el lazo de control. Note como un escalón de referencia es seguido por la variable de proceso.



## Consejos para búsqueda de fallas en PID

### **Pregunta: El lazo no entra en modo Automático.**

**Respuesta:** Verifique lo siguiente para posibles causas:

- Hay una alarma de PV o un error de programación de alarma de PV.
- El lazo es el lazo mayor de un par en cascada y el lazo menor no está en el modo de Cascada.

### **Pregunta: La salida de control CV permanece en cero constantemente cuando el lazo está en el modo automático.**

**Respuesta:** Verifique lo siguiente para posibles causas:

- El límite superior de la Salida de Control en la dirección de la tabla de lazos **addr + 31** es cero.
- El lazo se va a saturación, porque el error nunca va a cero y cambia el signo del valor (algebraico).

### **Pregunta: El valor de la Salida de Control no es cero, pero no es correcto.**

**Respuesta:** Verifique lo siguiente para posibles causas:

- Los valores de ganancia se han entrado impropriadamente. Recuerde, las ganancias se entran en la tabla del lazo en BCD, mientras el SP y PV están en binario. Si usted usa *DirectSOFT*, muestra la referencia SP, la variable de proceso PV, Bias (tendencia) y salida de control en decimal (BCD), convirtiéndolo a binario antes de actualizar la tabla de lazos.

### **Pregunta: El generador de Ramp/Soak no opera cuando se activa el bit Start.**

**Respuesta:** Verifique lo siguiente para posibles causas:

- El bit de habilitación de la Ramp/Soak está apagado. Verifique el estado del bit 11 de la dirección de la tabla de parámetros de lazos **addr + 00**. Debe ser configurado igual a 1.
- El bit HOLD u otros bits en el control de la Ramp/Soak está ON.
- Los valores de inicio del SP y el primer valor de fin de rampa SP son los mismos, así que el primer segmento de rampa no tiene inclinación y no tiene consecuentemente duración. El generador de Ramp/Soak se mueve rápidamente al segmento SOAK, dando la ilusión que la primera rampa no trabaja.
- El lazo está en el modo en Cascada, y trata de obtener el SP remotamente.
- El valor superior límite de SP en la dirección de tabla de lazos **addr + 27** es muy bajo.
- Verifique su programa ladder para verificar que no está escribiendo al SP (la dirección en la tabla del lazo **addr+02**). Una manera rápida de hacer esto será colocar temporalmente una instrucción END al comienzo del programa y luego vaya al modo RUN y comience manualmente el generador Ramp/Soak.

### **Pregunta: El valor de PV en la tabla es constante, aunque el módulo analógico recibe una señal de PV.**

**Respuesta:** Su programa ladder debe leer el valor analógico del módulo correctamente y lo escribe en la dirección de la tabla de lazos **addr + 03**. Verifique que el módulo analógico genera el valor y el código ladder trabaja.

### **Pregunta: La ganancia derivativa no parece tener ningún afecto en la salida.**

**Respuesta.** El límite derivativo probablemente está habilitado y entonces no hay ningún efecto en la salida (vea la sección de limitación de ganancia derivativa)

**Pregunta: La referencia (SP) aparece estar cambiando por sí misma.**

**Respuesta:** Verifique lo siguiente para posibles causas:

- El generador de Ramp/Soak está habilitado y está generando una referencia (SP).
- Si este síntoma ocurre en cambios de modo de Manual a Automático, el lazo pone automáticamente el SP = PV (característica de transferencia sin saltos [Bumpless mode]).
- Verifique su programa ladder para verificar que no está escribiendo al valor de referencia SP (en la dirección de la tabla de lazos **addr+02**). Una manera rápida de hacer esto es colocar temporalmente una instrucción END al comienzo de su programa y luego vaya al modo RUN.

**Pregunta: El SP y PV que he entrado en *DirectSOFT* trabaja bien pero estos valores no trabajan adecuadamente cuando el programa ladder escribe los datos.**

**Respuesta:** El PID View en *DirectSOFT* entra SP, PV y valores de Tendencia en valor decimal y los muestra en decimal para su conveniencia. Por ejemplo, cuando el formato de datos es unipolar, 12 bits, el rango de valores es de 0 a 4095. Sin embargo, la tabla de lazos requiere éstos en hexadecimal, de modo que *DirectSOFT* los convierte para usted. Los valores en el rango de la tabla van de 0 a FFF, para el formato de 12 bits unipolar.

**Pregunta: El lazo parece inestable e imposible de sintonizar, con ninguna ganancia trabaja.**

**Respuesta:** Verifique lo siguiente para posibles causas:

- El período de muestreo del lazo está ajustado muy grande. Vea la sección de este capítulo para escoger el tiempo de actualización del lazo.
- Las ganancias son muy altas. Empiece reduciendo la ganancia derivativa a cero. Luego reduzca la ganancia integral y la ganancia proporcional si fuera necesario.
- Hay mucho atraso en su proceso. Esto significa que el PV reacciona muy lento para controlar los cambios de la salida. Puede haber demasiada "distancia" entre el actuador y el sensor de PV, o el actuador puede ser débil en la transferencia de energía al proceso.
- Puede haber una perturbación del proceso que está exigiendo demasiado al lazo de control. Asegúrese que la variable de proceso PV es relativamente constante cuando la referencia SP está estable.

## Glosario de la terminología de lazos de control PID

**Modo automático:** un modo operacional de un lazo, en el cual hace cálculos de PID y pone al día la salida del control del lazo.

**Congelamiento de Bias:** Método de preservar el valor bias (punto de funcionamiento) para una salida del control, inhibiendo el integrador cuando la salida se va fuera del rango. La ventaja es una recuperación más rápida del lazo.

**Término de Bias o tendencia:** En la forma de la posición de la ecuación de PID, es la suma del integrador y del valor inicial de la salida del control.

**Bumpless Transfer (Transferencia sin saltos):** Método de cambiar el modo de la operación de un lazo evitando un cambio repentino en la salida de control. Esta consecuencia es evitada artificialmente haciendo el SP y el PV iguales, o el término bias y la salida de control en el momento del cambio de modo.

**Lazos de Cascada:** Un lazo conectado en cascada recibe su valor de referencia de la salida de control de otro lazo. Los lazos conectados en cascada tienen una relación mayor/menor, y trabajan juntos para controlar una variable de proceso PV.

**Modo en cascada:** Un modo operacional de un lazo, en el cual recibe su SP desde la salida de otro lazo.

**Control continuo:** Control de un proceso hecho entregando una señal (analógica) como salida de control.

**Lazo de acción directa:** Lazo en el cual el PV aumenta en respuesta a un aumento de la salida de control. Es decir, el proceso tiene una ganancia positiva.

**Error:** La diferencia en valor entre el SP y el PV, es decir,  $\text{Error} = \text{SP} - \text{PV}$ .

**Banda muerta de error:** una característica opcional que hace el lazo insensible a los errores cuando son pequeños. Usted puede especificar el tamaño de la banda muerta.

**Error al cuadrado:** Una característica opcional que multiplica el error por sí mismo, pero conserva la muestra algebraica original. Reduce el efecto de errores pequeños, mientras que magnifica el efecto de errores grandes.

**Feedforward** Método de optimizar la respuesta del control de un lazo cuando un cambio en la compensación de la referencia o de la perturbación es conocido y tiene un efecto cuantificable en el término bias.

**Salida de control :** El resultado numérico de una ecuación PID que es enviada por el lazo con la intención de anular el error actual.

**Ganancia derivativa :** Constante que determina la magnitud del término derivativo PID en respuesta al error actual.

**Ganancia integral (Reset):** Constante que determina la magnitud del término integral PID en respuesta al error actual.

**Lazo mayor :** En el control en cascada, es el lazo que genera una referencia para el lazo conectado en cascada.

**Modo Manual:** un modo operacional de un lazo, el cual los cálculos de PID se paran. El operador debe controlar manualmente el lazo escribiendo al valor de la salida del control directamente.

**Lazo menor:** en control de cascada, el lazo de menor importancia es el lazo subordinado que recibe su SP del lazo principal.

**Control PWM :** Método simple de controlar un proceso, encendiendo y apagando la energía en el sistema. La masa del proceso tiene el efecto de suavizar y hacer un promedio al PV. Un programa simple ladder puede convertir el lazo continuo del PLC DL06 a control PWM.

**Lazo de control PID:** Método matemático de control a circuito cerrado envolviendo la suma de tres términos basados en valores proporcionales, integrales, y derivativos del error. Los tres términos tienen ganancias independientes, permitiendo que una optimice (afine o sintonice) el lazo para un sistema físico particular.

**Algoritmo de posición:** Se calcula la salida de control de modo que responda al desvío del PV desde la referencia SP (error).

**Proceso:** El procedimiento de fabricación que agrega valor a las materias primas. El control de proceso se refiere particularmente a inducir cambios químicos al material en proceso.

**Variable de proceso (PV):** Una medida cuantitativa de la variable (PV) de una característica física del material en el proceso, que afecta la calidad del producto final y es importante supervisar y controlar.

**Ganancia proporcional:** Constante que determina la magnitud del término proporcional PID en respuesta al error actual.

**Alarma absoluta de PV:** Alarma programable que compara el valor del PV a valores límites de alarma.

**Alarma de desvío de PV:** Alarma programable que compara la diferencia entre los valores de SP y PV a un valor de umbral de desvío.

**Perfil Ramp / Soak:** un sistema de valores del SP llamados un perfil, que se genera en tiempo real sobre cada cálculo del lazo. El perfil consiste en una serie de rampa y empapa los pares del segmento, simplificando grandemente la tarea de programar el PLC para generar tales secuencias del SP.

**Tasa:** diferenciador también llamado, el término de la tarifa responde a los cambios en el término del error.

**Referencia remota :** la dirección en donde un lazo lee su valor de referencia (setpoint) cuando se configura mientras que el lazo de menor importancia en una topología conectada en cascada del lazo.

**Reset:** también llamado integral, el término de reajuste que suma cada error muestreado al anterior, manteniendo un total de funcionamiento llamado bias.

**Reset Windup:** Una condición creada cuando el lazo no puede encontrar equilibrio y el error persistente hace la suma integral crecer excesivamente (saturación). Reset wind up causa una recuperación adicional retrasada cuando se remedia la falla original del lazo.

**Lazo de acción reversa o inversa:** Lazo en el cual el PV aumenta en respuesta a una disminución de la salida de control. Es decir el proceso tiene una ganancia negativa.

**Tiempo de muestreo :** El tiempo entre los cálculos del lazo PID. El método de control de proceso de la CPU se llama un controlador de muestreo, porque muestrea el SP y el PV solamente periódicamente..

**Valor de referencia (SP)** El valor deseado para la variable de proceso. El valor de referencia (SP) es el comando de la entrada al controlador del lazo durante la operación del lazo cerrado.

**Soak Deviation:** Es una medida de la diferencia entre la SP y la PV durante un segmento de Soak del perfil Ramp/Soak, cuando el generador R/S está activo.

**Respuesta escalón:** El comportamiento de la variable de proceso en respuesta a un cambio escalón en la SP (en la operación del lazo cerrado), o un cambio escalón en la salida de control (en la operación de lazo abierto).

**Transferencia:** El cambio a partir de un modo operacional del lazo a otro (entre manual, automático, o en cascada). La palabra "transferencia" se refiere a la transferencia de control de la salida de control o de la SP, dependiendo del cambio de modo particular.

**Algoritmo de velocidad:** La salida de control se calcula para representar el índice del cambio (velocidad) para que la PV llegue a ser igual a la SP.

## Bibliografía

Fundamentals of Process Control Theory, 3a. Edición Autor: Paul W. Murrill Publicado por: Instrument Society of America ISBN 1-55617-297-4	Application Concepts of Process Control Autor: Paul W. Murrill Publicado por: Instrument Society of America ISBN 1-55617-080-7
PID Controllers: Theory, Design, and Tuning, 2a. Edición Autor: K. Astrom y T Hagglund Publicado por: Instrument Society of America ISBN 1-55617-516-7	Fundamentals of Temperature, Pressure, and Flow Measurements, 3a. Edición Autor: Robert P. Benedict Publicado por: John Wiley and Sons ISBN 0-471-89383-8
Process/Industrial Instruments & Controls Handbook, 4a. Edición Autor (Editor-in-Chief): Douglas M. Considine Publicado por: McGraw-Hill, Inc . . . . . ISBN 0-07-012445-0	pH Measurement and Control Autor: Gregory K. McMillan Publicado por: Instrument Society of America ISBN 1-55617-483-7
Instrument Engineer's Handbook, Volumen 2: Process Control, 3a. Edición Autor (Editor-in-Chief): Bela G. Liptak Publicado por: Chilton . . . ISBN 0-8019-8242-1	Instrument Engineer's Handbook, Volumen 1: Process Measurement, 3a. Edición Autor (Editor-in-Chief): Bela G. Liptak Publicado por: Chilton . . . ISBN 0-8019-8197-2

