

## Anexo 1

# Guía de manejo del programa

Rev. 3.05

## 1 Requisitos para uso del programa *ControlP*

### 1.1 Se requiere

Un ordenador PC o compatible, con los siguientes *mínimos*:

- Sistema operativo: Windows 2000/XP/Vista/7/8/8.1 o superior. Se irá actualizando a las futuras versiones de Windows.
- Memoria RAM: cantidad irrelevante.
- Tarjeta gráfica/monitor: resolución 1024x768 píxels o mayor.
- Disco duro: espacio disponible no significativo (unos 3 MB).
- El programa es portable. Puede ser instalado en cualquier dispositivo de almacenamiento extraíble, tal como una memoria lápiz USB o un disco duro portátil (basta con unos 3 MB de capacidad disponible).
- Impresora a color: recomendable (para impresión de gráficos en color).

### 1.2 Notas sobre resolución de pantalla

El programa se ajusta automáticamente a la resolución *vigente* en el momento de su ejecución. Ocupa toda la pantalla salvo la barra de tareas de Windows. No obstante, en los menús se dispone de una opción que permite ocultar la barra de tareas, así como la barra de título del propio programa, con el fin de disponer de un espacio extra para los gráficos.

## 2 Instalación del programa

### 2.1 Obtención del fichero para la instalación

El fichero de instalación puede descargarse gratuitamente, vía Internet, desde:

<http://www.alfredoroca.com>

Se dispone de dos opciones: **Instalación manual** o **instalación automática**.

### 2.2 Modos de instalación

#### 2.2.1 Instalación manual

- 1.- Descargar el archivo "**FicherosControlP.zip**" en cualquier carpeta, p. ej.: C:\Archivos de programa\ControlP

(El tamaño de este fichero es de 790 KB, aproximadamente).

- 2.- Desempaquetarlo con doble clic y ya puede ejecutarse el programa (Fichero ejecutable: **ControlP.exe**).

También puede instalarse en un pendrive (memoria lápiz USB) o en un disco externo. Es portable.

#### 2.2.2 Instalación automática

- 1.- Descargar el archivo "**InstalaControlP.exe**" en cualquier carpeta, p. ej.: C:\Archivos de programa\ControlP

(El tamaño de este fichero es de 840 KB, aproximadamente).

- 2.- Ejecutarlo con doble clic y seguir las instrucciones en pantalla.

#### **Nota importante**

Véanse siempre las recomendaciones que hubiese con relación a la versión de Windows en la zona de descarga de la página Web.

### 2.3 Uso del programa

Este programa es de libre difusión para **usos no comerciales**. No obstante, el autor se reserva los derechos de propiedad intelectual (copyright) que le pertenecen. En los ficheros Licencia.txt y Leame.txt (ubicados en la carpeta de instalación) se expresan las condiciones, limitaciones y **precauciones** que deberán ser tenidas en cuenta para uso del programa.

La aplicación práctica, en un proceso o sistema real, de las conclusiones obtenidas ensayando su simulación con el programa *ControlP*, deberá efectuarse con mucha prudencia y será **importante e inexcusable** la lectura previa del apartado **PRECAUCIÓN**, localizado en ambos ficheros de texto y al final de esta Guía.

### 3 Arranque del programa

Si se ha efectuado la instalación en su opción *automática*, acceder al menú de Inicio > Programas (o Todos los programas), localizar la línea conteniendo el nombre o la carpeta **ControlP** y proseguir con el modo habitual de operar con *Windows*. Si la instalación se ha efectuado con la opción *manual*, acceder a la carpeta de instalación del programa, localizar el fichero ControlP.exe y ejecutarlo con doble clic.

En breves instantes se mostrará en pantalla el

#### MENÚ GENERAL DE OPCIONES

a partir del cual se podrá entrar en las distintas opciones que ofrece el programa.

Conviene recordar que para disponer de un icono de *acceso directo* en el *Escritorio* de *Windows*, basta con “arrastrar” el icono de la línea de acceso del menú Inicio > Programas y soltarlo sobre una zona vacía del Escritorio, mientras *se mantiene pulsada* la tecla <Ctrl> (para evitar “mover”). O también puede hacerse: Botón derecho > Enviar a > Escritorio (crear acceso directo).

Para conseguir la máxima eficiencia y comodidad en el manejo del programa, se permite la navegación entre las opciones del menú situado en la parte inferior de la pantalla. Esto se lleva a cabo de manera muy simple utilizando el teclado, de acuerdo con las breves indicaciones que aparecen normalmente en la citada zona, acordes con el contexto del momento. En dicho menú se contemplan las opciones *más usuales* del programa.

Obviamente, en todo momento puede operarse a la manera convencional de *Windows*, mediante el ratón, utilizando los típicos menús desplegados de la parte superior de la pantalla (barra de menús). Algunas de las opciones del programa, las menos usuales, sólo están disponibles desde este menú.

A continuación se describen de manera resumida las principales características de manejo y operación del programa.

Para obtener el máximo rendimiento del mismo, puede seguirse, a modo de curso o de consulta, el libro **Control automático de procesos industriales** y en especial las *prácticas* que en él se desarrollan (véase el **Contenido** del libro o el **menú Información** del propio programa).

No obstante, el programa **ControlP** permite analizar, ejecutar y resolver muchos de los ejemplos, ejercicios y problemas que se plantean en numerosos libros y tratados sobre

*Teoría de control automático de procesos y sistemas controlados*

## 4 Menú principal de *Windows*

Los menús y opciones disponibles son diferentes según se haya entrado en una opción de *Componentes básicos* o en una de *Lazos de control*, según se muestra en la siguiente tabla. Algunas de las opciones son comunes a ambos casos.

### Estructura de los menús

<i>Componentes básicos</i>	<i>Lazos de control</i>
<p><b>Archivo</b>            Cargar configuración propia...            Cargar configuración original...            Guardar configuración actual...</p> <hr/> <p>Imprimir ▶            Gráfico + datos de configuración...              Sólo el gráfico...   Sólo los datos...</p> <hr/> <p>Preferencias...            Color de fondo   Separador decimal              Puntero del ratón   Sonidos              Salvapantallas   Barra de tareas</p> <p>Otras opciones</p> <hr/> <p>Salir (Alt+F4)</p>	<p><b>Archivo</b>            Cargar configuración propia...            Cargar configuración original...            Guardar configuración actual...</p> <hr/> <p>Imprimir ▶            Gráfico + datos de configuración...              Sólo el gráfico...   Sólo los datos...</p> <hr/> <p>Preferencias...            Color de fondo   Separador decimal              Puntero del ratón   Sonidos              Salvapantallas   Barra de tareas</p> <p>Otras opciones</p> <hr/> <p>Salir (Alt+F4)</p>
<p><b>Menú general</b>  <b>Menú general de opciones (Esc)...</b>  <u>Componentes básicos</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="radio"/> Retardo de primer orden</li> <li><input type="radio"/> Retardo de segundo orden</li> <li><input type="radio"/> Tiempo muerto</li> <li><input type="radio"/> Adelanto-retardo</li> <li><input type="radio"/> Anticipativo</li> <li><input type="radio"/> Controlador P+D</li> <li><input type="radio"/> Controlador P+I</li> <li><input type="radio"/> Controlador P+I+D</li> </ul>	<p><b>Menú general</b>  <b>Menú general de opciones (Esc)...</b>  <u>Lazos de control</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="radio"/> Control de un lazo cerrado simple</li> <li><input type="radio"/> Control en cascada</li> <li><input type="radio"/> Control en adelanto (feedforward)</li> </ul>
<p><b>Frecuencial</b>            Diagrama Real            Diagrama de Bode            Diagrama de Nyquist            Diagrama de Black            Todos los diagramas</p> <hr/> <p>Marcas de frecuencia...</p> <hr/>	<p><b>Frecuencial</b>            Diagrama Real            Diagrama de Bode            Diagrama de Nyquist            Diagrama de Black            Todos los diagramas</p> <hr/> <p>Marcas de frecuencia...            Frecuencia crítica (resonancia)...            Frecuencia de cruce de ganancia...            Frecuencia de pico de resonancia...</p> <hr/> <p>Búsqueda de la frecuencia para el... ▶            módulo del último punto pulsado...            ángulo del último punto pulsado...</p> <hr/>

- Límites de las escalas de frecuencia...  
 Unidades en las escalas de frecuencia ▶  
 Log  $\omega$  (Alt+W)  
  $\omega$  [rad/mn] (Alt+W)

Borrar al cambiar de componente

Cambiar parám. de los componentes...

Info sobre escalas en análisis frec.  
 Info sobre marcas mediante ratón

Info sobre la búsqueda de frecuencias ▶  
 Crítica o de cruce de ganancia...  
 De pico de resonancia...

### Temporal

Respuesta al impulso  
 Respuesta al escalón  
 Respuesta a la rampa

Cambiar parámetros del componente...  
 Constantes de la Respuesta temporal...  
 Cambiar duración de la Respuesta...

- Borrar al cambiar tipo de Respuesta  
 Borrar al cambiar de Componente

### Cambios

Parámetros del componente...

Límites de las escalas de frecuencia...  
 Duración de la Respuesta temporal...  
 Constantes de la Respuesta temporal...

- Límites de las escalas de frecuencia...  
 Unidades en las escalas de frecuencia ▶  
 Log  $\omega$  (Alt+W)  
  $\omega$  [rad/mn] (Alt+W)

Modo del lazo Respuesta frecuencial ▶  
 En lazo abierto  
 En lazo cerrado

Modo del lazo en la Resp. frec. (Cuadro)

Cambiar parám. de los componentes...

Info sobre escalas en análisis frec.  
 Info sobre marcas mediante ratón

Info sobre la búsqueda de frecuencias ▶  
 Crítica o de cruce de ganancia...  
 De pico de resonancia...

### Temporal

Respuesta al escalón condiciones iniciales  
 Respuesta a las rampas programadas

Cambiar parámetros de los componentes...  
 Cambiar duración de la Respuesta...  
 Programación de las rampas...  
 Cambiar frecuencia de muestreo (F.M.)...

Modo presentación de la Resp. temporal ▶  
 Todas las variables  
 Medida y Variable controlada  
 Variable controlada (Proceso)  
 Medida y Salida controlador  
 Medida

Modo present. Resp. temporal (Cuadro)

- Ver progresar la ejecución de los gráficos  
 La ejecución avanza paso a paso  
 Muestra valores finales de las variables

Info condiciones iniciales de un sistema...  
 Info sobre la frecuencia de muestreo (FM)...

### Cambios

Parámetros de los componentes... (Alt+X)  
 Asignación de bloques (Diagrama) (Alt+X)  
 Límites de las escalas de frecuencia...  
 Duración de la Respuesta temporal...  
 Programación de las rampas...  
 Hacer nulos (neutros) los bloques...

Modo del lazo en Respuesta frecuencial ▶  
 En lazo abierto  
 En lazo cerrado

Modo del lazo en Resp. frec. (Cuadro)

<p>Color de fondo de pantalla...</p> <p>Preferencias...</p>	<p>Modo presentación de la Resp. temporal ▶ (Véase el menú <b>Temporal</b>)</p> <p>Modo presentación Resp. temp. (Cuadro)</p> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <p>Frecuencia de muestreo (F.M.)...</p> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <p>Color de fondo de pantalla...</p> <p>Preferencias...</p>
---	---

(Véase esta misma opción en el menú **Archivo**)

[Común a **Componentes básicos y Lazos de control**] —————▶

### Miscelán.

<p>Borrar pantalla [Borrar los gráficos presentes en pantalla]</p> <p>Vista anterior (Pulsar A repetidamente) [Alternar la vista con el gráfico anterior]</p>	
<p>Diagrama de bloques... (Alt+X) [Deshabilitado para Componentes básicos]</p> <p>Ver parámetros de los bloques activos [Deshabilitado para Componentes básicos]</p> <p>Hacer nulos (neutros) los bloques... [Deshabilitado para Componentes básicos]</p>	
<p>Calculadora ABACUS®</p> <p>Calculadora de Windows®</p>	
<p>Mostrar/Ocultar barra de tareas</p> <p>Comportamiento del puntero del ratón</p> <p>Definir separador decimal</p> <p>Habilitar/Silenciar sonidos de aviso</p> <p>Permitir/Desactivar salvapantallas</p>	<p>▶ <input checked="" type="radio"/> Por defecto   <input type="radio"/> Ocultar</p> <p>▶ <input type="radio"/> Normal   <input checked="" type="radio"/> Inteligente</p> <p>▶ <input checked="" type="radio"/> Coma (,)   <input type="radio"/> Punto (.)</p> <p>▶ <input checked="" type="radio"/> Habilitar   <input type="radio"/> Silenciar</p> <p>▶ <input checked="" type="radio"/> Permitir   <input type="radio"/> Desactivar</p>
<p>Color de fondo de pantalla...</p>	
<p>Otras opciones... [Otras opciones de acceso por teclado]</p>	
<p>Preferencias... [Véase esta misma opción en el menú <b>Archivo</b>]</p>	

### Saber

<p>Info sobre escalas en análisis frecuencial...</p> <p>Info sobre marcas mediante ratón...</p> <p>Info condiciones iniciales de un sistema...</p> <p>Info sobre frecuencia de muestreo (FM)...</p>	
<p>Info sobre la búsqueda de frecuencias ▶</p> <p style="padding-left: 20px;">Crítica o de cruce de ganancia</p> <p style="padding-left: 20px;">De pico de resonancia</p>	
<p>Info sobre navegación por teclado...</p> <p>Info sobre configuración del sistema...</p>	

### Información

<p>Información...</p> <p>Comprobar actualización</p> <p>Actualización gratuita...</p> <p>Acerca de ControlP...</p>	
--	--

## 5 Descripción de las principales opciones

### 5.1 Análisis de los componentes básicos

Permitirá el estudio y análisis de los componentes básicos o elementos fundamentales, constituyentes de un sistema controlado. Analizados como elementos aislados nos proporcionan las funciones básicas en las que un sistema puede desglosarse.

Se contemplan los siguientes **componentes básicos**:

- Retardo de primer orden
- Retardo de segundo orden
- Tiempo muerto
- Adelanto-retardo
- Anticipativo
- Controlador P+D
- Controlador P+I
- Controlador P+I+D

### 5.2 Simulación de lazos de control

Se podrán simular y analizar los tres tipos principales de **lazos o sistemas de control** en lazo cerrado:

- Control de un lazo cerrado simple
- Control en cascada
- Control en adelanto (feedforward)

### 5.3 Menús de opciones

Una vez se ha seleccionado del *MENÚ GENERAL* cualquiera de las opciones disponibles y se ha aceptado el *Diagrama de bloques*, en el caso de *Lazos de control*, se manejarán básicamente cuatro menús, ya sean convencionales de *Windows* o por mediación del teclado (otros menús serán vistos más adelante):

- Frecuencial
- Temporal
- Cambios
- Miscelán. (Misceláneos)

A continuación se describen las principales características de estas opciones.

### 5.3.1 Menú Frecuencial

Permite efectuar el *análisis frecuencial* del *componente* o *lazo* seleccionado.

La frecuencia viene siempre representada en escala logarítmica, expresada en términos de pulsación ( $\omega = 2\pi f$ ), y tiene como unidad el radián por minuto (rad/mn). Por defecto se anota precisamente el valor de su *logaritmo decimal* ( $\log \omega$ ); así, por ejemplo, la cifra 0 significa 1 rad/mn, 1 para 10 rad/mn, -1 para 0,1 rad/mn, 2 para 100 rad/mn, etc. Los límites de las escalas de frecuencia pueden ajustarse entre los valores de -4 a +3, lo que equivale a 0,0001 y 1.000 rad/mn, respectivamente, esto es, de 0,265  $\mu$ Hz a 2,65 Hz. Nótese que el primer valor significa un periodo de 43,6 días, es decir, una frecuencia notablemente baja.

La ganancia se representará en escalas lineales o logarítmicas, según el tipo de gráfico, y podrá ser ajustada entre una amplitud mínima de -4 a +4 dB a una amplitud máxima de -60 a +60 dB, en las escalas logarítmicas, o entre un mínimo de módulo 0 a 1 y un máximo de 0 a 1.000, en las escalas lineales.

El ángulo de fase vendrá representado siempre en escala lineal y en grados sexagesimales, pudiendo elegirse los márgenes de -90° a +90°, -180° a +180° o -360° a +360°.

Se presentan las siguientes opciones (**Menú teclado – Menú Windows**):

- **Real – Diagrama Real**

Muestra la respuesta frecuencial del componente o lazo, en una escala lineal para la amplitud o módulo de la ganancia, y logarítmica para la frecuencia. Muestra también, en línea de puntos, el ángulo de fase, en una escala lineal para el ángulo.

- **Bode – Diagrama de Bode**

Traza la respuesta frecuencial en coordenadas logarítmicas, tanto para la ganancia (dB), como para la frecuencia. También muestra el ángulo de fase en línea de puntos, en una escala lineal para el ángulo.

- **Nyquist – Diagrama de Nyquist**

Representación de la respuesta frecuencial en coordenadas polares. La punta de una pequeña flecha dibujada sobre la curva, muestra la posición correspondiente a la frecuencia  $\omega = 1$ . Unas marcas formadas por pequeños círculos indican las posiciones de las frecuencias potencias de 10. La flecha señala el sentido del orden creciente de frecuencias.

- **Black – Diagrama de Black**

La respuesta frecuencial queda representada en un gráfico cartesiano en que las abscisas muestran el ángulo de fase, y las ordenadas la ganancia en dB. Asimismo, se muestran una flecha y unas marcas, según se han descrito para el diagrama de Nyquist en el punto anterior.

- **Todos – Todos los diagramas**

Se presentan simultáneamente en pantalla los cuatro gráficos que se han citado, en una disposición de escalas coherentemente alineadas.

- **Marcas – Marcas de frecuencia**

Una vez obtenido un gráfico de *respuesta frecuencial*, esta opción efectuará una marca parpadeante sobre la curva de respuesta, correspondiente a la frecuencia (pulsación) que sea introducida desde teclado. Al fondo de la pantalla, se muestran numéricamente, en formato óptimo para cada variable, los valores resultantes del *módulo*, la *ganancia* en dB y el *ángulo de fase* en radianes y grados, así como el valor de la propia *frecuencia* y del *periodo* equivalente. Cualquiera de dichos valores puede ser **copiado** al “portapapeles” de *Windows*, mediante el botón *vertical* [COP].

La marca podrá suprimirse pulsando las teclas <Espacio> o <Esc> o bien fijarla en el gráfico pulsando <Intro> (o también mediante botones).

Cuando la posición de la marca se localice fuera de los límites del marco de pantalla establecido para el gráfico, el programa dará el oportuno aviso; pero, no obstante, se mostrarán igualmente los valores numéricos resultantes.

- **Crítica – Frecuencia crítica (resonancia)**

Esta opción sólo aplica a *Lazos de control* en *lazo abierto*. Permite hallar, de manera rápida y cómoda, el valor de la *frecuencia crítica* o *de resonancia*, indicando las magnitudes del *módulo*, la *ganancia* y el *ángulo*. Véase lo dicho en el apartado **Marcas**.

La *frecuencia crítica* o *de resonancia* es aquella en la que se tiene un ángulo de fase de  $\pm 180^\circ$  ( $\pm \pi$  rad).

- **Cruce – Frecuencia de cruce de ganancia**

Esta opción sólo aplica a *Lazos de control* en *lazo abierto*. Permite hallar, de manera rápida y cómoda, el valor de la *frecuencia de cruce de ganancia*, indicando las magnitudes del *módulo*, la *ganancia* y el *ángulo*. Véase lo dicho más atrás en el apartado **Marcas**.

La *frecuencia de cruce de ganancia* es aquella en la que el módulo vale la unidad (ganancia 0 dB).

- **Pico – Frecuencia de pico de resonancia**

Esta opción sólo aplica a *Lazos de control* en *lazo cerrado*. Permite hallar, de manera rápida y cómoda, el valor de la *frecuencia de pico de resonancia* (si lo hay), indicando las magnitudes del *módulo*, la *ganancia* y el *ángulo* correspondientes a la frecuencia del pico. Véase lo dicho más atrás en el apartado **Marcas**.

Para la obtención de estas frecuencias conviene introducir un valor tentativo o aproximado de la frecuencia (normalmente sirve cualquier valor), en torno al cual el programa iniciará la búsqueda de una solución. Una vez encontrada, se efectuará una marca sobre el gráfico y se mostrarán los correspondientes valores, como si de la opción *Marcas* se tratara.

Téngase presente que determinados sistemas tienen múltiples soluciones para cualquiera de dichas frecuencias de cruce o de pico de resonancia. En estos casos la solución encontrada dependerá del valor tentativo que se haya introducido para iniciar la búsqueda (normalmente se encontrará la solución más cercana al valor tentativo).

Existe la posibilidad de que el programa presente un mensaje indicando que no se ha podido hallar ninguna solución. Ello puede ser debido a que realmente no existe solución alguna. La ejecución de las opciones *Real*, *Bode* o *Todos* podrá servir de ayuda para determinar los valores aproximados de prueba. El diagrama de *Nyquist* muestra de manera inequívoca la existencia o no de alguna solución (cruce de la curva con el eje real o con el círculo de módulo 1). La búsqueda de la solución se efectúa, en último extremo, exhaustivamente dentro de los márgenes de frecuencias de  $10^{-5}$  a  $10^4$  rad/mn., independientemente de los límites de frecuencia con los que se esté operando.

### 5.3.2 Menú Temporal

#### a) Para *Componentes básicos*

Ejecuta la respuesta temporal frente a tres posibles formas o funciones de excitación, cuya magnitud podrá ser especificada, y son:

- **Impulso**
- **Escalón**
- **Rampa**

La respuesta es representada en un gráfico del tipo “papel rayado” continuo, teniendo como abscisas la escala de tiempos y como ordenadas la magnitud de la variable en %.

El tiempo o *duración* de la simulación, en términos del proceso, puede seleccionarse entre 0,1 y 60 minutos y, dependiendo de este valor, se mostrarán líneas divisorias del tiempo de distinto intervalo de separación. En todos los casos el tiempo vendrá expresado en minutos (en realidad sería con la unidad de tiempo asignada a los parámetros).

La escala de los valores de las variables es lineal y opera entre los márgenes del 0% al 100%, con divisiones cada 10%. La gráfica de respuesta podrá rebasar aproximadamente en un 1,5% los límites de los márgenes citados; es decir, que el margen real de representación de las respuestas estará comprendido entre  $-1,5$  y  $+101,5\%$ . Aquellos valores que salgan de estos márgenes no serán representados gráficamente.

#### b) Para *Lazos de control*

Ejecuta la respuesta temporal del lazo frente a dos posibles formas o funciones de excitación, según se describen más adelante.

La respuesta es representada en un gráfico del tipo “papel rayado” continuo, y tiene como abscisas la escala de tiempos y como ordenadas la magnitud de las variables.

El tiempo o *duración* de la simulación, en términos del proceso, puede seleccionarse entre 1 y 120 minutos y, en función de este valor, se mostrarán líneas divisorias del tiempo con distinto intervalo de separación. En todos los casos, el tiempo vendrá expresado en minutos (en realidad sería con la unidad de tiempo asignada a los parámetros).

La escala de los valores de las variables es lineal y opera entre los márgenes del 0% al 100%, con divisiones cada 10%. La gráfica de respuesta podrá rebasar aproximadamente en un 1,5% los límites de los márgenes citados; es decir, que el margen real de representación de las respuestas estará comprendido entre  $-1,5$  y  $+101,5\%$ . Aquellos valores que salgan de estos márgenes no serán representados gráficamente.

Las dos posibles formas de excitación son:

- **Escalón condiciones iniciales**

Se mostrará la respuesta temporal del sistema controlado al ser sometido a un salto en escalón, en el tiempo cero, definido por los valores asignados a los parámetros *Consigna C* y *Consigna anterior Ca*, correspondientes al punto de consigna del controlador.

Asimismo, se ejecutarán los correspondientes escalones definidos por los valores fijados en los campos *Entrada actual (carga) U* y *Entrada anterior Ua* de los bloques perturbación, y serán aplicados en los respectivos instantes definidos en el campo *Tiempo de espera* de dichos bloques.

- **Rampas programadas**

En este caso, el sistema mostrará su respuesta temporal según se ha indicado en el punto anterior, con la excepción de que se aplicará como señal de excitación, en el bloque que a tal efecto se haya seleccionado, unas rampas programables en tiempo y en amplitud (ver más adelante la opción *Rampas*).

### 5.3.3 Menú Cambios

Permite visualizar o efectuar cambios en los valores de los parámetros de los componentes, límites de las escalas de frecuencia, duración de la respuesta, escalas y constantes de trabajo, valores de los tiempos en la programación de las rampas, etc.

Se presentan las siguientes opciones (**Menú teclado – Menú Windows**):

- **Parámetros – *Parámetros del componente o componentes***

- a) *En Componentes básicos*

Esta opción permite cambiar el valor los parámetros que definen al componente seleccionado, por ejemplo: ganancia, tiempo integral, constante de tiempo, tiempo muerto, factor de amortiguación, etc.

- b) *En Lazos de control*

En el caso de lazos de control, la ejecución de esta opción presenta en pantalla el *Diagrama de bloques* correspondiente al lazo seleccionado. Esto permite modificar, tanto la asignación del tipo de componente a cada bloque (por ejemplo: controlador P+I, P+I+D o integral; retardo de primer orden o de segundo orden; etc.), como del valor de los parámetros de estos componentes (por ejemplo: ganancia, tiempo integral, tiempo derivativo, constante de tiempo, factor de amortiguación, etc.).

- **Límites – *Límites de las escalas de frecuencia***

Esta opción permitirá modificar las escalas de trabajo para el análisis frecuencial:

- Amplitud de las escalas de módulo y ganancia
- Amplitud de la escala del ángulo de fase
- Límites de frecuencia (márgenes inicial y final) del análisis

- **Duración – *Duración de la respuesta temporal***

Cambio de la duración de la respuesta temporal expresada en minutos.

- **Constantes – *Constantes de la respuesta temporal*** (para *Comp. básicos*)

Cambio de las constantes de trabajo para respuesta temporal:

- Valores del impulso, escalón y pendiente de la rampa
- Valor inicial o de base (origen de referencia)
- Duración de la respuesta en minutos

- **Rampas – *Programación de las rampas*** (para *Lazos de control*)

Esta opción mostrará una ventana en la que se mostrará un croquis acotado de las *Rampas programables*, las cuales constituirán la señal de excitación o entrada al bloque que sea seleccionado para tal efecto.

Asimismo, en dicha ventana se mostrarán unos cuadros que permitirán efectuar las siguientes operaciones:

- *Asignar el bloque* que se desea someter a la acción de las rampas en el transcurso de la respuesta temporal. La selección del *tipo* de componente asociado a dicho bloque, así como los *niveles de señal* y de los *parámetros de los componentes*, puede ser efectuada previa o posteriormente a la asignación del bloque, procediendo según se ha indicado más atrás en la opción *Parámetros*, o también desde el correspondiente acceso [Editar] en esta misma ventana.
- *Definir la distribución de los tiempos* de inicio y terminación de cada uno de los *tramos* de las rampas y, por tanto, su *duración*, *pendiente* y *separación* entre ellos. Ello permitirá simular, además, las funciones pulso, impulso, escalón, rampa, triangular, diente de sierra, trapecio... situadas en cualquier momento a lo largo del transcurso de la respuesta. Se tendrá acceso a la edición del valor de la *Duración*, cuyo valor podrá ser modificado mediante el botón [Editar].

Serán mostrados, asimismo, los *niveles de señal* de la amplitud de las rampas; esto es, los valores *límite inferior* y *superior* de las mismas, los cuales pertenecerán a los valores *anterior* y *actual* de la señal de excitación del componente asociado al bloque seleccionado (cambio del punto de consigna para el bloque controlador o cambio de carga para un bloque del tipo perturbación).

El programa advertirá cuando se seleccione un bloque cuyos límites inferior y superior sean iguales, dado que ello significaría la definición de unas rampas de amplitud nula. Asimismo, el programa no permitirá una asignación de tiempos incoherentes y avisará si se fijan tiempos superiores al valor del tiempo asignado a la *Duración*.

Si el bloque seleccionado es una perturbación, la respuesta contendrá, además, los efectos producidos por los cambios del punto de consigna en el controlador, es decir, que se *superpondrán* los efectos debidos a la *perturbación* con los efectos debidos al cambio del *punto de consigna*. Estos últimos podrán anularse haciendo  $C = Ca$  en los valores del bloque *Controlador* [C-1].

- **Modos** (para *Lazos de control*)

- a) **Modo del lazo en la respuesta frecuencial**

Permite seleccionar entre las dos modalidades siguientes:

- *En lazo abierto*

- En esta opción los cálculos (y los correspondientes gráficos) serán efectuados considerando el lazo de control *abierto*.

- *En lazo cerrado*

Los cálculos (y los correspondientes gráficos) serán efectuados considerando el lazo de control *cerrado*.

Será posible superponer las gráficas de respuesta frecuencial, independientemente de los cambios de modo que se efectúen, es decir, que los gráficos no se borrarán debido a estos cambios de modo.

El modo vigente con el que se va a ejecutar la gráfica de respuesta frecuencial se indica en la pantalla en el selector de botones de la esquina superior derecha (que a su vez sirve para seleccionarla) así como en la zona del menú de teclado. En la leyenda del lado contrario quedará reflejado el color de la última gráfica efectuada.

## b) *Modo de presentación de la respuesta temporal*

Permite seleccionar entre las cinco modalidades siguientes:

- *Todas las variables*

Representación de las principales *señales* y *variables* del sistema, indicadas en el diagrama de bloques (cuatro o siete, según el lazo seleccionado).

Las gráficas serán en línea continua, cada una de ellas en distinto color, permitiendo así una fácil identificación. La *Consigna anterior* y la *Consigna actual* serán en línea de puntos. Si aplica, las líneas de las *Rampas programadas*, serán dibujadas en línea de trazo discontinuo, igualmente en colores fácilmente identificables. (Las líneas de las *Consignas* se muestran con una mayor separación entre sus puntos).

Cada nueva gráfica de respuesta borrará la anterior, a efectos de evitar confusión en la interpretación de los resultados. Cuando se desee hacer comparaciones deberá recurrirse a la opción "Miscelán. > Vista anterior" (o también pulsando repetidamente la tecla <A>). Las opciones que se describen a continuación efectúan siempre la superposición de respuestas sucesivas.

- *Medida y Salida Controlador*

Representación gráfica de la señal de *Medida* en línea continua y de la señal de *Salida del Controlador*, la *Consigna anterior* y la *actual* en línea de puntos. Si aplica, se dibujarán en línea de trazo discontinuo las *Rampas programadas*. Todas serán del mismo color, cambiando para cada nueva respuesta y superponible a las anteriores.

- *Medida y Variable controlada*

Representación gráfica de la señal de *Medida* en línea continua y de la *Variable controlada* en línea de puntos. Véase lo indicado en el párrafo anterior para *Consignas*, *Rampas programadas* y colores.

- *Medida*

Representación gráfica únicamente de la señal de *Medida* en línea continua. Del mismo modo que en los dos casos anteriores, se representan la *Consigna anterior*, la *actual* y la *Rampas programadas*.

- *Variable controlada*

Representación gráfica únicamente de la *Variable controlada* en línea continua. Del mismo modo que en los tres casos anteriores, se representan las *Consignas* y las *Rampas programadas*.

En las cuatro últimas modalidades, aunque se efectúe algún cambio en la asignación de bloques o en los valores de los parámetros de sus componentes, cada nueva respuesta *no borrará* las anteriores; sino que simplemente se irá superponiendo a las mismas, pero cambiando cada vez de color, en un ciclo o rueda de 10 colores diferentes. Ello permite una precisa identificación y comparación entre las sucesivas respuestas.

En todos los casos, una pequeña leyenda, en la parte superior izquierda de la pantalla, indicará la correspondencia entre cada línea gráfica y su señal o variable asociada del sistema. En el modo de presentación “*Todas las variables*”, el orden en que se muestran las letras de las variables es el orden de prioridad, en caso de producirse superposiciones entre las gráficas. La ejecución de la opción *Diagrama* podrá ser clarificadora.

- **Muestreo – Frecuencia de muestreo** (para *Lazos de control*)

Esta opción permite elegir la *frecuencia de muestreo (F.M.)*, esto es, las veces que durante un segundo de *tiempo simulado* se actualizan los valores de las variables (refresco de la totalidad de las variables del sistema). Se expresa en *muestras/segundo*. El intervalo del tiempo de muestreo será, por tanto,  $(1/F.M.)$ . También es llamado *periodo de muestreo* o *periodo de discretización del tiempo*. En cada uno de estos periodos el sistema es totalmente recalculado, actualizándose el progreso de su representación gráfica en pantalla.

La elección está limitada a valores fijos que van de 1 a 16, en potencias de 2. Cuanto menor sea esta frecuencia, mayor será la rapidez en la ejecución de las gráficas, pero menor la precisión de los resultados, como consecuencia de una discretización del tiempo más grosera. Por el contrario, cuanto mayor se elija la frecuencia de muestreo se tendrá una menor rapidez, pero una mayor precisión en los cálculos y, por tanto, en la representación gráfica. Sin embargo, normalmente la frecuencia de 1 muestra/segundo (frecuencia por defecto) es adecuada, dado que los algoritmos empleados en los cálculos son altamente precisos y eficientes.

Podrá ser necesario aumentar dicha frecuencia en aquellos casos en que se hayan asignado valores de constantes de tiempo muy pequeñas, próximas al propio intervalo de muestreo  $(1/F.M.)$ .

### 5.3.4 Menú Miscelán (Misceláneos)

Permite efectuar operaciones misceláneas o auxiliares. Se dispone de las siguientes opciones (**Menú teclado – Menú Windows**):

- **Borrar – *Borrar pantalla***

Para borrar de la pantalla el dibujo actual.

El dibujo puede ser recuperado mediante la opción *Miscelán > Vista anterior*, de acuerdo a cómo se indica en la opción que sigue a continuación.

- **Anterior – *Vista anterior***

Permite ver en pantalla el dibujo anterior al presente. Nótese que pulsando repetidamente la tecla <A> puede alternarse, en rápida sucesión, la visualización de la pantalla actual con la anterior. Resulta muy útil para efectuar comparaciones entre distintas respuestas que, no obstante, no se desea (o no es posible) mezclar o superponer en un mismo gráfico.

- **Diagrama – *Ver Diagrama de bloques*** (para *Lazos de control*)

Muestra el *Diagrama de bloques* del mismo modo que lo hace la opción Parámetros (o el atajo de teclado <Alt> + <X>), lo que permite modificar la configuración del lazo (bloques asignados y parámetros).

En la parte inferior del panel se muestran una serie de botones provistos de las etiquetas y las acciones que se indican a continuación:

- [Ver todos]: Muestra una relación de los componentes asignados a los bloques que conforman el lazo, así como los valores de sus parámetros. Ofrece, además, la posibilidad de imprimir la configuración del sistema (bloques asignados y el valor de sus parámetros).
- [Guardar config.]: Guarda en disco la configuración actual del sistema.
- [Recuperar config.]: Carga una configuración guardada en el disco.
- [Bloques nulos]: Carga una configuración “neutra”, según se describe más adelante en la opción Nulos.
- [Config. original]: Carga la configuración original “de fábrica”.

En las cuatro opciones de operaciones en disco que se acaban de mencionar, se entiende por “configuración” (config.) el conjunto de los valores y características del sistema (bloques, parámetros, duración, límites, rampas, etc.), según se describen y detallan al pulsar en las opciones equivalentes del menú Archivo de la barra de menús.

Asimismo, en la parte superior derecha del *Diagrama* se encuentra el botón [Info condiciones iniciales] que al ser pulsado muestra una descripción genérica de los requisitos que debe satisfacer el estado de equilibrio de las variables en las *condiciones iniciales* de un sistema (cuando  $t = 0$ ), y se describe cómo opera el programa para *ajustarlas automáticamente*, antes de emprender la *Respuesta temporal*.

- **Ver parámetros – Ver parámetros de los bloques activos** (*Lazos de control*)

Muestra una relación de los componentes asignados a los bloques que conforman el lazo, así como los valores de sus parámetros.

Equivale a la opción [Ver todos], antes mencionada en Diagrama.

- **Nulos – Hacer nulos los bloques** (para *Lazos de control*)

Establece una configuración “neutra” que hace que queden seleccionados los componentes más sencillos de cada bloque (controlador P+D, válvula lineal; procesos, medidores y perturbaciones del tipo ganancia, etc.), y les asigna unos valores a sus parámetros de tal manera que hace nulos (lo más simples posible) los bloques.

**Importante:** Después de ejecutar esta opción, se tiene la seguridad de que no existe ningún bloque previamente configurado (especialmente de perturbación), que introduzca efectos inadvertidos en el sistema.

Las siguientes variables y condiciones del entorno de trabajo se mantienen *inalteradas* con relación a cómo se encontraban con anterioridad a la ejecución a dicha opción:

- *Duración* de la Respuesta temporal
- *Límites de las escalas* en Análisis frecuencial
- *Frecuencia de muestreo* de la Respuesta temporal
- *Modo del lazo* en la Respuesta frecuencial
- *Modo de presentación* de la Respuesta temporal

**Nota:** En estas condiciones no es posible ejecutar una *Respuesta temporal*, debido a que todos los bloques del lazo son de tipo ganancia, por lo que es preciso efectuar las debidas asignaciones de bloques y de parámetros. En todo caso, el programa lanza la oportuna advertencia.

## 5.4 Otros menús

A continuación se describen los menús y opciones que **no** se encuentran accesibles mediante la navegación por menú de teclado.

### 5.4.1 Menú Archivo

Este menú convencional de *Windows*, muestra las opciones de guardar y cargar configuraciones del disco duro, las cuales conducen al Diagrama de bloques, según se ha descrito previamente. Ofrece, además, las siguientes opciones:

- **Imprimir**

Permite imprimir las pantallas gráficas, los datos de configuración del sistema o la combinación de ambos. Hay que destacar que si se activa el cuadro de diálogo Imprimir > Propiedades, que aparece al solicitar los servicios de impresión, y se configura la impresora para papel en Orientación horizontal (hoja apaisada), los gráficos son ampliados para ajustarse a la superficie disponible de papel, con lo que queda mejorada la resolución de los mismos.

En una impresora en color, los gráficos son reproducidos sobre el papel con los mismos colores que se muestran en pantalla, tras pequeños ajustes por razones de contraste. El *color de fondo de pantalla*, cualquiera que sea, siempre es interpretado como correspondiente al color del papel (blanco), es decir, que no produce aportación alguna de tinta al papel.

- **Preferencias**

Permite la configuración de preferencias del entorno de trabajo, como son:

- *Color de fondo* de los gráficos (fondo de pantalla).

Esta opción está relacionada con la del menú Cambios > Color de fondo, que permite definir con precisión el color de fondo de pantalla.

- *Separador decimal*. Permite establecer como separador decimal el *punto*, la *coma* o el símbolo que tenga *Windows* por defecto.

*Windows* establece la utilización y presentación de los números con un símbolo como separador decimal (normalmente la *coma* o el *punto*), el cual se determina en:

Panel de control > Configuración regional > Personalizar/ Número > Símbolo decimal

En todos los casos, al introducir un valor, es *indiferente* teclear la *coma* o el *punto* decimal, ya que será convertido instantáneamente al símbolo que corresponda a lo que se tenga establecido.

- *Puntero del ratón*. Puede elegirse el comportamiento normal o una variante “inteligente” en la que al abrir una ventana o cuadro de diálogo el puntero se posiciona sobre el botón que con mayor probabilidad va a tener que accionarse. Esta es la opción por defecto.

- *Sonidos de aviso de error.* Puede optarse por silenciar los sonidos que *Windows* genera cuando se produce un error. Estos sonidos se determinan en: Panel de control > Dispositivos de sonido/Sonidos (o algo similar).
- *Salvapantallas.* Permite deshabilitar el salvapantallas.
- *Barra de tareas.* Es posible ocultar la *barra de tareas* (al fondo de la pantalla), lo que proporciona espacio adicional para los gráficos y en consecuencia se tiene una mejora en la resolución. La otra alternativa es establecer el estado por defecto de *Windows* (botón derecho sobre la barra de tareas > Propiedades >  Ocultar automáticamente la barra de tareas).

### **Notas:**

La selección de preferencias que se efectúe quedará memorizada de manera permanente al salir del programa. Se aplicará cada vez que se entre en el mismo, hasta que sea nuevamente modificada. Si se desea aplicar alguna de las opciones solamente durante la sesión en curso, puede recurrirse al menú desplegable Miscelán de la barra de menús de *Windows* (cabecera pantalla).

Al salir del programa se restablecen las condiciones que se tenían antes de entrar en el mismo (estado de la barra de tareas, estado del salvapantallas, puntero del ratón, habilitación de sonidos y separador decimal).

#### **5.4.2 Menú “Menú general”**

Valga la redundancia de esta cabecera porque este menú conduce a desplegar el cuadro denominado **MENÚ GENERAL DE OPCIONES**, a partir del cual se puede entrar en las distintas opciones que ofrece el programa. La pulsación de la tecla <Esc>, repetidamente, conduce siempre a desplegar este cuadro, desde el que, además, es posible salir directamente del programa (botón [Salir] o <S>).

#### **5.4.3 Menús especiales**

Entre los menús desplegables que no están disponibles mediante la navegación por teclado, y sólo desde la barra de menús, se encuentran los siguientes:

- **Cambios > Color de fondo**

Permite diseñar el color de fondo con absoluta precisión y determinar que sea el color por defecto cada vez que se entre en el programa.

- **Miscelán > Calculadora ABACUS**

Abre el calculador técnico-científico *Abacus* que permite efectuar cualquier tipo de cálculo matemático que se precise. El calculador puede cerrarse sin

pérdida de datos: cada vez que se reabre (dentro de una misma sesión) se encuentra en las mismas condiciones que cuando se cerró. Dispone de las funciones *Copiar* y *Pegar* desde y hacia el *portapapeles* de *Windows*.

- **Miscelán > Calculadora de *Windows***

Abre la calculadora de *Windows*.

- **Miscelán > (*Cinco líneas de preferencias de trabajo*)**

Se dispone de la posibilidad de aplicar las opciones sobre preferencias del entorno de trabajo sólo durante la sesión en curso. Por ejemplo, ocultar o mostrar la barra de tareas, definir el separador decimal, etc. Las selecciones que aquí se hagan se pierden al salir del programa. Para mantenerlas memorizadas debe recurrirse al menú *Preferencias*, descrito anteriormente, el cual también se encuentra accesible desde este mismo menú *Miscelán*.

#### 5.4.4 Menú Información

Facilita una *sinopsis* y un *índice* del libro **Control de procesos** e información sobre las entidades editoras del mismo (en España y en Latinoamérica). A efectos de la descarga o actualización gratuita del programa *ControlP*, también ofrece un enlace con la dirección Web de Internet.

#### 5.4.5 Menús redundantes

Puede comprobarse fácilmente que son bastantes las opciones a las que se puede acceder desde distintos menús. Esto facilita al usuario la navegación por el programa y la búsqueda de una determinada función. Por ejemplo, la función *Cambiar la duración de la Respuesta temporal* se localiza tanto en el menú *Temporal* como en el menú *Cambios*, además de poder accederse desde el menú de teclado (<C> + <D>); o sea Cambios > Duración.

Por otra parte, al abrir determinadas ventanas de diálogo, como por ejemplo la de *Programación de las rampas* o la del *Diagrama de bloques* se dispone de botones de acceso a funciones que se corresponden con opciones existentes en los menús desplegables o de teclado (*Editar*, *Duración*, etc.).

Es por ello que algunas opciones no han sido mencionadas más que en una sola ocasión, por lo que se recomienda al usuario que compruebe por simple inspección todas las posibilidades existentes. Téngase en cuenta que los menús y opciones correspondientes a *Componentes básicos* difieren sensiblemente de los de *Lazos de control* los cuales son mucho más amplios.

En el apartado 4 de este mismo anexo (pág. 582 y sigtes.), se ha detallado la relación de las opciones disponibles en los menús desplegados.

#### 5.4.6 Otras opciones en la ejecución de una *Respuesta temporal*

Cuando se ejecuta una respuesta temporal correspondiente a una opción de *Lazos de control*, aparece en la esquina superior derecha de la pantalla un cuadro con tres casillas de verificación, con las siguientes tres opciones:

- Ver el progreso gráfico
- Avanzar paso a paso
- Muestra valores finales

Si se marca la casilla Ver el progreso gráfico (marcada por defecto) se mostrará la evolución en la generación de los gráficos durante la ejecución de la respuesta temporal. Si se desmarca, el gráfico será mostrado una vez completada su ejecución. En este caso lo hará más rápidamente, pero, no obstante, las diferencias sólo serán apreciables si se ha establecido una *duración* muy larga y acaso con una frecuencia de muestreo elevada.

Al marcar la casilla Avanzar paso a paso, el gráfico temporal progresa en *modo paso a paso* el cual consiste en que la evolución de la gráfica permanece congelada y en la ventana inferior se visualizan, en modo numérico, las *magnitudes instantáneas de las variables* del sistema (incluida la *desviación*), así como el *tiempo* transcurrido. Cada vez que se pulsa brevemente la tecla <Espacio>, el *tiempo* se incrementa en un intervalo igual al periodo de muestreo, se actualiza la gráfica y queda nuevamente congelado a la espera de una nueva pulsación. Si se mantiene pulsada la tecla <Espacio> se irán sucediendo de manera continua los citados incrementos de *tiempo*. En ambos casos, para cada sucesivo intervalo de tiempo (paso), se irán actualizando tanto la progresión de las gráficas como la visualización numérica de las magnitudes de las variables. En cualquier momento puede optarse por proseguir de manera normal o por interrumpir la ejecución.

El *modo paso a paso* permite conocer los valores de las variables en el estado inicial de equilibrio, cuando  $t=0$ , y todavía no se han hecho efectivos los cambios ni en el punto de consigna ni en las perturbaciones (la presentación en pantalla queda congelada justo al inicio de la respuesta, cuando el *tiempo* vale cero).

Hay que hacer notar que la respuesta temporal también puede invocarse en el modo *paso a paso* pulsando simultáneamente las teclas <Ctrl> + <Intro>, cuando ya esté marcada la línea inferior del menú de teclado (segundo nivel).

La casilla Muestra valores finales activada provoca que una vez finalizada la ejecución de la gráfica de respuesta temporal se muestren los valores finales alcanzados en todas las variables del sistema, incluida la desviación final.

En la zona del menú de teclado se muestra la información del estado de activación de los modos Avanzar paso a paso y Muestra valores finales.

**Nota:** Estas opciones también están disponibles en el menú Temporal desplegable de la barra de menús (en las opciones de *Lazos de control*).

## 6 Control de errores

El programa *ControlP* tiene un filtrado de datos de entrada y de pulsación de teclas, que impide la comisión de la mayoría de los errores más usuales. En algunos casos, simplemente queda a la espera de una pulsación válida o bien responde con un mensaje de aviso. En otros casos, como consecuencia de la entrada de un dato numérico fuera de límites admisibles, muestra un panel indicando qué variables se encuentran afectadas y de qué modo, o bien muestra un mensaje indicando el tipo de error cometido y los límites aceptables del valor a introducir, solicitando la oportuna corrección.

También informa con un mensaje de advertencia si detecta algún tipo de posible incoherencia entre determinadas opciones seleccionadas, pero que por no tratarse de un verdadero error y no poder conocer las intenciones del usuario (cuando éste insiste: «*A pesar de todo, esto es lo que deseo...*»), el programa prosigue su marcha normal, salvo en alguna ocasión que presenta la opción de modificar los datos o continuar.

Sin embargo, no siempre es posible conocer a priori si el valor introducido de un parámetro o una combinación de tales valores, puede producir respuestas (especialmente las temporales) que, en un momento determinado, ocasionen que la magnitud de las variables rebase los márgenes razonables de trabajo, o incluso que produzcan el desbordamiento de la capacidad de cálculo del procesador. En un proceso real, ello significaría, en ambos casos, la saturación o el deterioro de algún equipo o componente. En estos supuestos, el programa, debido a su carácter esencialmente didáctico, permite una excursión de las variables de hasta 10 veces el margen nominal, tanto en el sentido positivo como en el negativo; es decir, que puede operar entre los valores  $-1.000\% \dots +1.000\%$ .

Esto implica que si la salida de un controlador es negativa también lo será la apertura de la válvula y, por tanto, la acción correctora del caudal será de signo contrario al normal. Esta concesión sería, en general, absolutamente inconcebible y carente de sentido en la práctica (aunque podría argumentarse que, con matices, este es el comportamiento de un control en “rango partido”). Como excepción, tanto en el tipo de *válvula isoporcentual* como en el *medidor cuadrático*, la variable de salida queda limitada a valores nulos o positivos. No obstante, debe tenerse en cuenta que fijando una variación del punto de consigna o cambio de carga lo suficientemente pequeña, se evitarían estos rebasamientos, pero desde el punto de vista didáctico, resulta práctico fijar estas variaciones con amplitudes importantes, con el fin de observar más cómodamente los efectos producidos por la perturbación (provocamos un “efecto lupa”, dada la proporcionalidad entre causa y efecto en los sistemas lineales).

Una vez se haya rebasado alguno de estos límites, o bien se haya producido un desbordamiento de máquina en algún cálculo intermedio, el programa abandona el proceso normal de progresión en los cálculos y de presentación en pantalla, e informa de la anomalía mediante un mensaje, invitando a modificar los valores introducidos. No especifica cuál es el dato causante del error, por no ser posible determinarlo, dado que puede ser debido al efecto de una combinación inadecuada de diversos parámetros, sin que ninguno en particular sea el “culpable”.

Se espera que en ningún caso y en ninguna circunstancia el programa termine inesperadamente o bloquee al ordenador. Siempre será posible reanudar el trabajo, una vez efectuadas las correcciones pertinentes.

## 7 Ficheros del programa

A continuación se relacionan los ficheros que se obtendrán en el disco duro, una vez efectuada la instalación del programa, así como la especificación de los ficheros que serán generados por el propio usuario en las operaciones de archivo de configuraciones.

### 7.1 Ficheros generados en la instalación

ControlP.exe	Programa ejecutable principal.
CnfgOrig.LC?	Ficheros de configuración original. (*)
BlqNulos.LC?	Ficheros de configuración de bloques nulos. (*)
Historico.txt	Fichero de seguimiento histórico de las revisiones.
Leame.txt	Recomendaciones interesantes (¡importante!). Posibilidad de que incluya anotaciones de última hora.
Licencia.txt	Condiciones de uso del programa y precauciones.

(\*) El símbolo comodín “?” se corresponde, según el tipo de lazo a que se haga referencia, con el siguiente carácter:

“1” para *Control de un lazo cerrado simple* (extensión “.LC1”)

“2” para *Control en cascada* (extensión “.LC2”)

“3” para *Control en adelanto* (extensión “.LC3”)

### 7.2 Ficheros generados por el usuario

Preferen.cfg Fichero de configuración de preferencias de usuario.  
Se genera al salir por primera vez del programa y puede eliminarse en cualquier momento sin más consecuencias que la pérdida de la configuración de preferencias de usuario (volverá a generarse en la siguiente sesión).

Cuando se guarda un fichero de configuración de sistema, el cuadro de diálogo que aparece al pulsar el botón [Guardar config.] permite asignar un nombre cualquiera, estándar de *Windows*, al fichero. La extensión será colocada automáticamente como LC1, LC2 o LC3, según el tipo de lazo al que pertenezca, tal como se ha indicado en el apartado anterior. Un ejemplo para un lazo de control en cascada podría ser: “Caudal torre.LC2”, en cuyo caso sólo habría que teclear “Caudal torre”, dado que el programa añadiría la extensión, “.LC2”.

## 8 Misceláneos. Peculiaridades de un programa de simulación

### 8.1 Generalidades

Antes que nada hay que señalar que el objetivo del programa *ControlP*, es efectuar una simulación por ordenador PC de *sistemas controlados, totalmente analógicos*; es decir, la presentación de las respuestas temporal y frecuencial que se obtendrían en un sistema real con todos sus componentes analógicos. No debe confundirse, por tanto, con la simulación de un *control digital de procesos*, en donde se asumiría que los algoritmos de control a utilizar serían los específicos para estos casos, así como la existencia de un determinado periodo de muestreo en la lectura y actualización de los valores de las variables.

Por otra parte, y refiriéndonos a la respuesta temporal, en toda simulación puede optarse por operar en *tiempo real*, o bien por la obtención de la respuesta “*lo antes posible*”. En el primer caso, y en especial cuando se tratase de un sistema lento de respuesta, se requerirían largos tiempos de espera para la consecución de resultados. En el programa *ControlP* se ha optado por el segundo criterio (“*lo antes posible*”). Con ello, una respuesta temporal de, por ejemplo, 30 minutos de “*duración*”, es obtenida en escasos segundos de tiempo natural o incluso en menos de 1 segundo. En especial, si se desmarca la casilla “Ver el progreso gráfico” el tiempo de presentación de la gráfica temporal es todavía mucho menor.

En una simulación por ordenador se ejecutan una serie de operaciones secuenciales con el propósito de que nos muestren gráficamente qué sucedería en el sistema real. No hay una relación significativa entre la variable *tiempo* del sistema simulado y el tiempo natural en el progreso de la presentación en pantalla.

Todo control digital de un proceso real comporta una serie de imperfecciones e imprecisiones inherentes a la propia metodología, que, no obstante, carecen de importancia práctica (apenas pueden ser verificadas); mientras que en una simulación, y en especial si es con fines didácticos, son puestas de manifiesto por el *Análisis frecuencial*.

## 8.2 Tiempo muerto virtual oculto en el sistema

Toda simulación digital de un sistema en lazo cerrado, en la que la variable *tiempo* es discretizada, conlleva implícito un tiempo muerto virtual, oculto en el sistema, equivalente a la mitad del intervalo del tiempo de discretización (periodo de muestreo). Ello es debido a que cada vez que se incrementa la variable *tiempo* (al final de cada ciclo de escrutación secuencial de todos los componentes y de la ejecución de los cálculos pertinentes), la información que se dispone de las variables pertenece al tiempo anterior al recién actualizado. Es como si la información llegara a todos los puntos con un pequeño retraso.

En un sistema analógico real (o simulado analógicamente), la totalidad de las variables evoluciona simultáneamente y de forma continua en el tiempo (equivale a decir que el periodo de muestreo es infinitesimal), de tal manera que el fluir de las acciones es continua y simultánea en todos sus componentes. En un sistema digital, puesto que hay que recurrir a métodos de *cálculo numérico*, el cálculo de la actualización de los valores de las variables hay que efectuarlo de forma secuencial, progresando de bloque en bloque y siguiendo el circuito del lazo hasta completarlo (incluyendo el resto de los componentes no contenidos en el mismo). El valor de la variable de salida de un bloque será el de entrada del bloque siguiente. Siempre habrá, necesariamente, un punto o bloque inicial (inicio de la secuencia), a partir del cual el cálculo de las variables se irá propagando hasta alcanzar nuevamente el bloque inicial, con lo que se completará el ciclo. En este momento, hay que incrementar la variable *tiempo* y repetir el ciclo con los nuevos valores calculados. Por todo ello, la información que recibe el bloque inicial pertenece, inevitablemente, al tiempo anterior; dicho más exactamente, corresponde al momento intermedio entre ambos, puesto que en un proceso real las variables habrían ido evolucionando de forma continua a lo largo de este intervalo de tiempo. Este fenómeno equivale a la interposición de un tiempo muerto virtual, indeseado, igual a la mitad del tiempo de discretización, y es independiente del método de cálculo numérico empleado. Es obvio que antes de comenzar la ejecución de la respuesta es preciso definir los valores iniciales de *todas* las variables (condiciones iniciales, en las que se asume que el sistema está en equilibrio). Estos valores tienen que ser coherentes con la configuración y parámetros del sistema, así como con los valores de las variables fijadas por el usuario (por ejemplo, puntos de consigna). El programa *ControlP* efectúa esta operación de manera automática, antes de emprender la Respuesta temporal.

Nótese que este fenómeno es independiente también de la velocidad de cálculo del ordenador utilizado. El tiempo de discretización en una simulación hay que fijarlo a priori, y no tiene relación con la velocidad de cálculo y de presentación de la respuesta, que sí dependen de la velocidad del ordenador. Por el contrario, en el control de procesos por ordenador, cuanto mayor sea la velocidad de cálculo, menor será el tiempo necesario para efectuar un ciclo de cálculo completo

y, por tanto, menor podrá ser el periodo de muestreo; si bien, en la práctica, suele estar predeterminado. Es evidente que en una simulación podemos disminuir este periodo tanto como se desee, pero a costa de hacer más lenta la presentación de la respuesta en pantalla. En el límite, con un tiempo de discretización infinitesimal, la duración de la presentación sería infinita (a menos que se inventara un ordenador infinitamente veloz); aunque, en contrapartida, se tendría una respuesta exactamente representativa de la del sistema analógico simulado, sin ningún tipo de imprecisión. En simulación es más correcto hablar de *tiempo de discretización* o, mejor aún, de *intervalo de discretización del tiempo*, que no de *periodo* o *intervalo de muestreo*, el cual debería reservarse para operaciones en tiempo real.

El inconveniente que se ha descrito, si no se resuelve satisfactoriamente, puede causar un notable falseamiento en la respuesta temporal. Así, por ejemplo, dado un sistema que, por cálculo teórico o por análisis frecuencial, se sepa que está en el límite de estabilidad, es decir, crítico, se manifestaría como ligeramente inestable en la respuesta temporal, mostrando oscilaciones de amplitud creciente en vez de sostenida. En el programa *ControlP*, este inconveniente se resuelve en gran medida por la aplicación de algoritmos de corrección especiales, cuya descripción, por tediosa, será aquí omitida.

### 8.3 El problema de las variables discontinuas

Otro inconveniente que surge en el diseño de un programa de simulación digital de sistemas dinámicos, es que los algoritmos o métodos convencionales de integración numérica, que necesariamente hay que utilizar (incluso los más sofisticados, como los de Runge-Kutta, Adams-Moulton, Milne, etc.), no responden correctamente en los instantes que siguen a los cambios bruscos en la variable de entrada (funciones discontinuas de la variable independiente), tales como un salto en escalón o un cambio de entrada en rampa; situaciones que acontecen con la súbita aparición de perturbaciones en el proceso. El programa *ControlP* emplea un método práctico de corrección, con resultados satisfactorios, cuya descripción, también por tediosa, será igualmente omitida.

No obstante, si en algún caso particular se desea una mayor precisión, téngase presente que la reducción del tiempo de discretización (aumento de la frecuencia de muestreo) mejorará, como ya se ha dicho, la fidelidad de la respuesta en cualquiera de los dos casos citados; si bien, a costa de aumentar la duración (en tiempo natural) de la ejecución de la misma. Por lo general, será satisfactorio el empleo de un intervalo de discretización de 1 segundo, pero puede elegirse entre valores que van desde 1 hasta 1/16-avo de segundo; es decir, una frecuencia de muestreo de 1 a 16 muestras/segundo.

## ¡PRECAUCIÓN!

El programa *ControlP* es un programa *esencialmente didáctico* y se ha diseñado *exclusivamente* para tal fin.

La aplicación práctica, en un proceso o sistema real, de las conclusiones obtenidas ensayando su simulación con el programa, deberá efectuarse **con mucha prudencia.**

Los gráficos de las respuestas temporal y frecuencial, así como los datos numéricos, mostrados por el programa, son muy precisos –prácticamente exactos–, pero...

...en los sistemas o plantas reales difícilmente se conocen con absoluta exactitud los valores de los parámetros de sus componentes. Asimismo, son inevitables las imprecisiones e incertidumbres en la calibración de los instrumentos (inherentes en todo dispositivo práctico, incluidos los patrones utilizados). Y, por otra parte –y esto es lo más importante–, **los sistemas reales suelen contener gran cantidad de elementos, más o menos ocultos o imprevisibles, que no se habrán tenido en cuenta en la simulación**, tales como pequeños retardos y tiempos muertos, histéresis, holguras o bandas muertas, fricciones, discontinuidades, parámetros distribuidos, no linealidades, deriva funcional o errática de parámetros, efectos inerciales, desajustes mecánicos o de instrumentación, perturbaciones impredecibles, influencias del entorno o ambientales, señales inducidas, señales parasitarias o con ruido, ruidos inherentes del propio proceso, fatiga o envejecimiento de equipos, desgaste o degradación de materiales, fugas de fluidos, fugas térmicas, fugas eléctricas, incrustaciones, lodos, floculación, contaminación, interacciones, estratificaciones, esponjamiento, evaporación, congelación, cavitación, golpes de ariete, reacciones químicas, saturaciones fisicoquímicas o de componentes, cracking, carbonificación o cooking, etc.; lo que, en conjunto, **puede provocar que...**

**los comportamientos de ambos sistemas –real y simulado– sean sensible o notablemente diferentes entre sí.**

En todos los casos, el usuario utilizará el programa bajo su entera responsabilidad y en ningún caso el autor ni la sociedad editora del libro asumirán responsabilidad alguna por los daños o perjuicios, directos o indirectos, que puedan derivarse del uso del programa, incluso si son debidos a cualquier deficiencia o anomalía que pueda surgir en su funcionamiento.

Asimismo, ni el autor ni la sociedad editora están obligados a subsanar, en ningún momento y de ningún modo, ninguna de las citadas deficiencias o anomalías. Sin embargo, el programa se halla muy depurado y es altamente improbable la aparición de tales inconveniencias.

El programa se suministra tal como es, con sus alcances y sus limitaciones, y no se asumirá, en firme, reclamación o exigencia alguna para la inclusión de funciones que actualmente no estén implementadas o para modificar las que lo están.

No obstante, se agradecerá y será gratamente recibida y gustosamente considerada cualquier **sugerencia** que proponga una mejora del programa.

Asimismo, se agradecerá cualquier información de una posible anomalía detectada en su funcionamiento:

[aroca@alfredoroca.com](mailto:aroca@alfredoroca.com)

El fichero conteniendo la presente **Guía** puede descargarse en la dirección:

<http://www.alfredoroca.com>

**Guía de manejo del programa**

© Alfredo Roca Cusidó