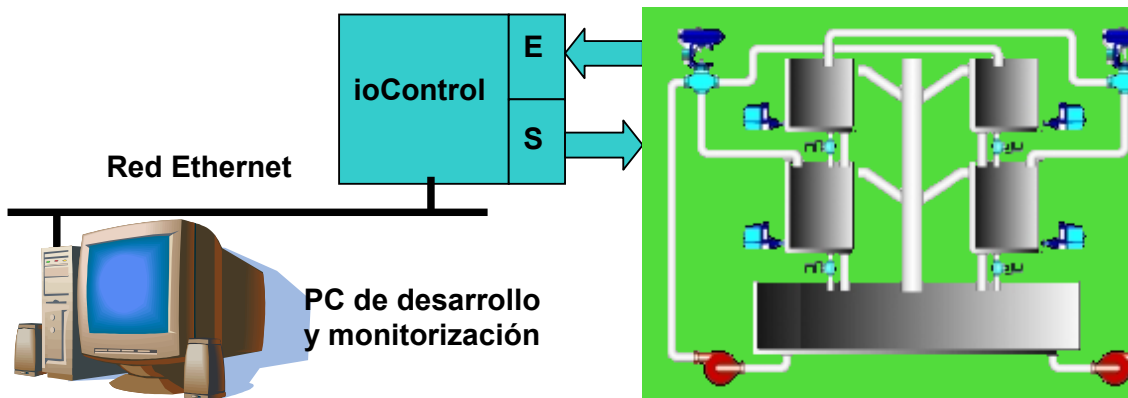


## PRÁCTICA 7: Control de la planta de los depósitos en el espacio de estados

### OBJETIVOS:

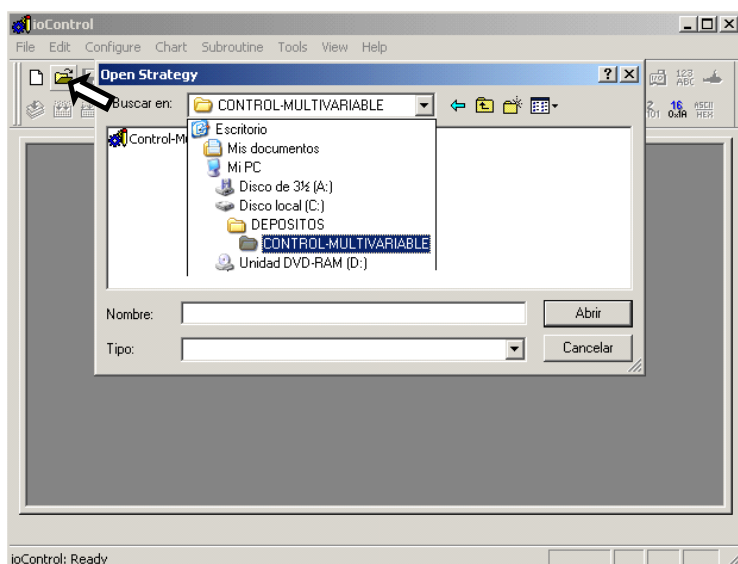
Realizar la carga desde el PC de un programa de control en el módulo ioControl de la planta de los depósitos, monitorizarla y controlarla mediante el programa de monitorización ejecutado en el PC. Observar algunas de las posibilidades de control del sistema: manual, automática e implementación de un control multivariable.



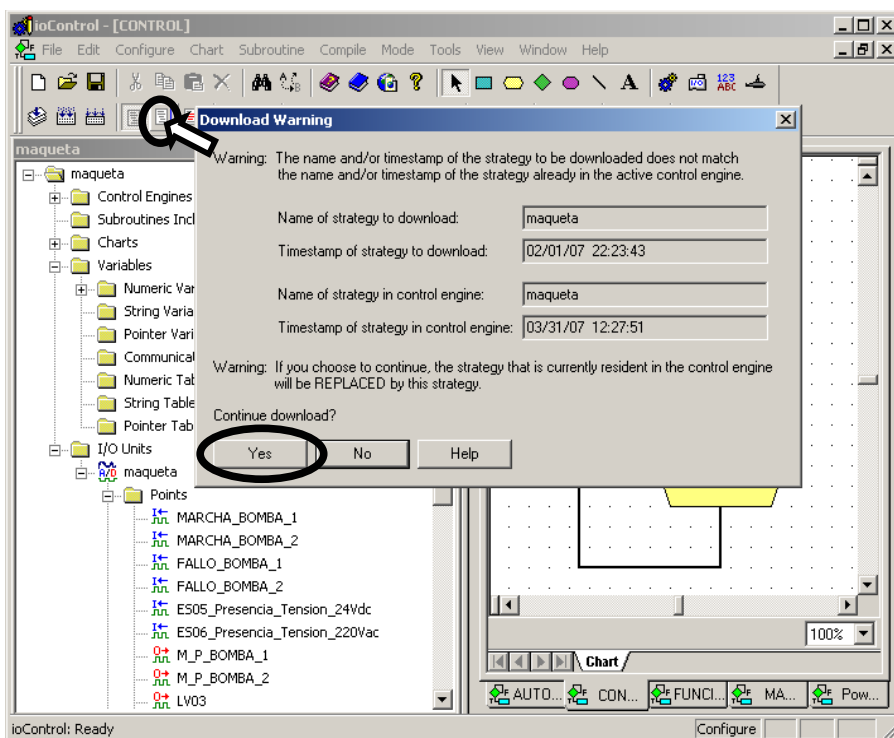
DURACIÓN: 2h.

### DESARROLLO:

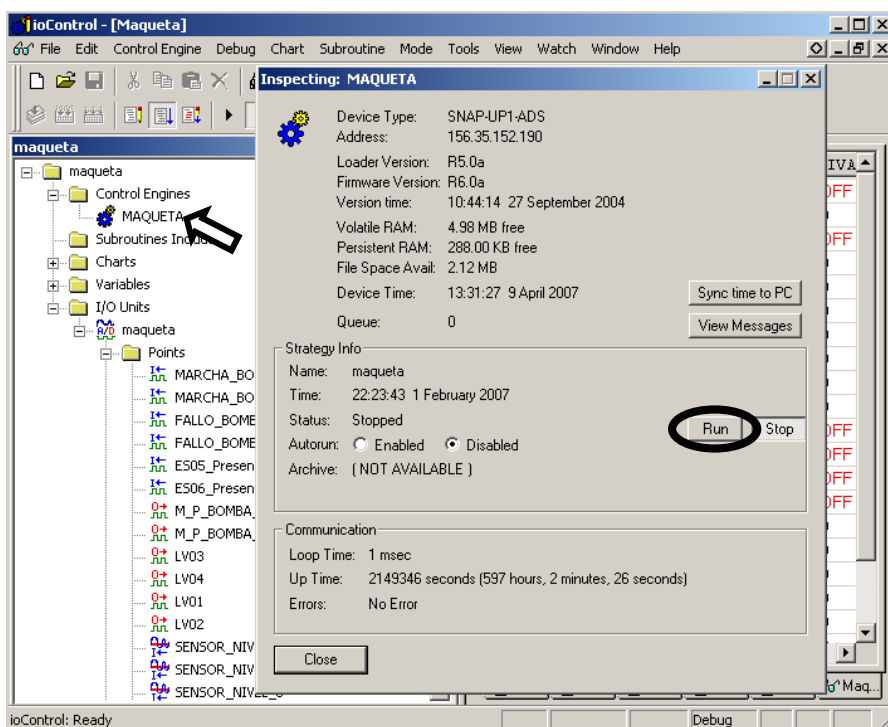
1. Poner en marcha el PC.
2. Arrancar el programa “ioControl” que se encuentra bajo el menú:  
Inicio->Programas->Opto22->ioproject Software->ioControl->ioControl
3. Abrir la estrategia de control “Control-Multivariable” que se encuentra en la ruta que muestra la figura siguiente:



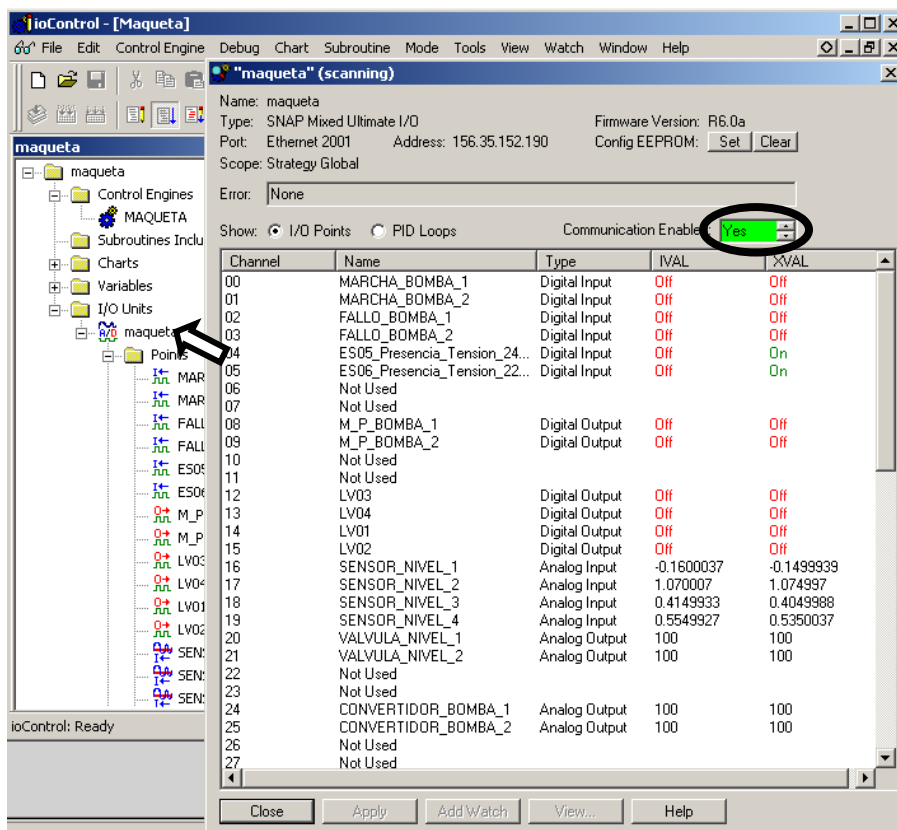
4. Cargar la estrategia de control en el módulo ioControl mediante el botón indicado en la siguiente figura y aceptando con el botón “Yes” la ventana de confirmación en el caso de que aparezca:



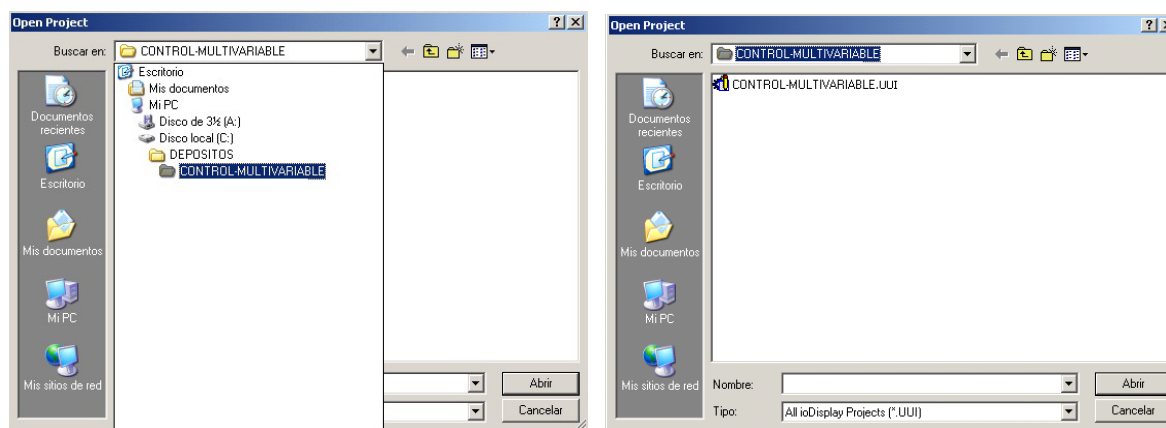
5. Poner en marcha la estrategia de control en el módulo ioControl haciendo doble clic sobre el nombre “Maqueta”, indicado en la figura siguiente, y pulsando si es necesario el botón “RUN” de la ventana de diálogo que aparece.



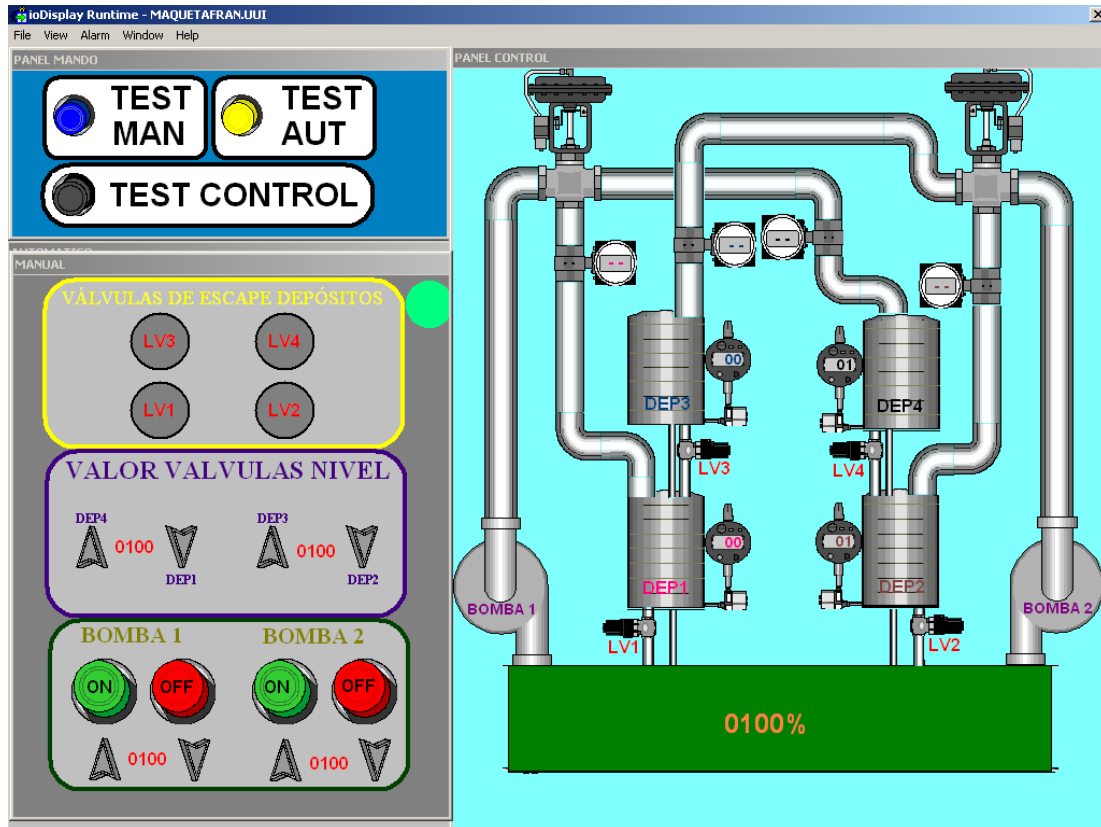
6. Activar la lectura de las variables de entrada y salida del módulo ioControl haciendo doble clic sobre el nombre “maqueta” en la sección “I/O Units”, como se indica en la figura siguiente, y situando si es necesario la opción “Communication Enabled” en “Yes” en la ventana de diálogo que aparece.



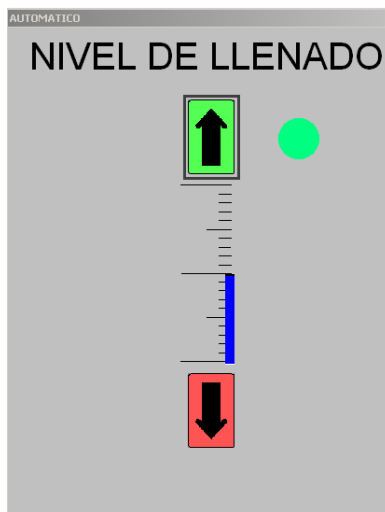
7. Arrancar el programa “ioDisplay Runtime” que se encuentra bajo el menú: Inicio->Programas->Opto22->ioProject Software->ioDisplay->Runtime
8. Si no aparece al arrancar el programa, abrir la pantalla de monitorización del proyecto “Control-Multivariable.UUI” que se encuentra en la ruta indicada en la figura siguiente:



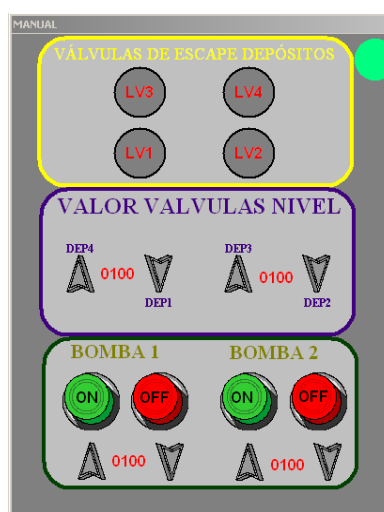
9. Sobre los botones de la parte superior izquierda se pueden seleccionar tres formas diferentes de probar el funcionamiento de la planta: TEST AUTOMATICO, TEST MANUAL y TEST DE CONTROL



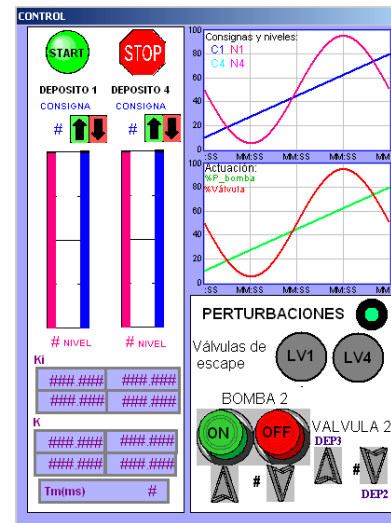
TEST AUTOMATICO



TEST MANUAL

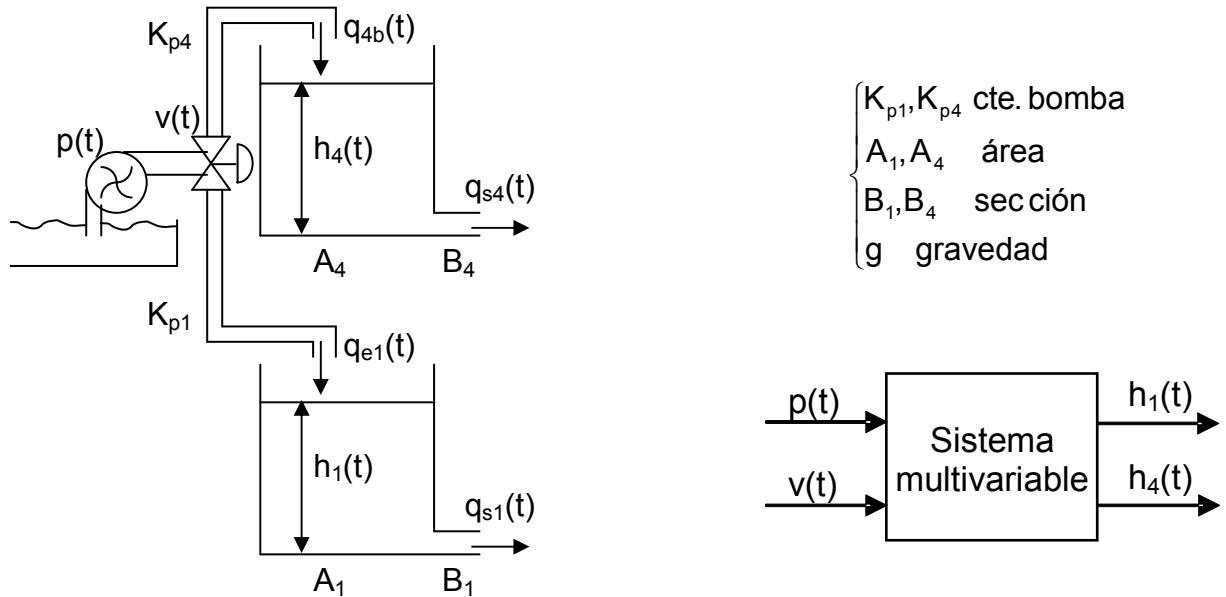


TEST DE CONTROL

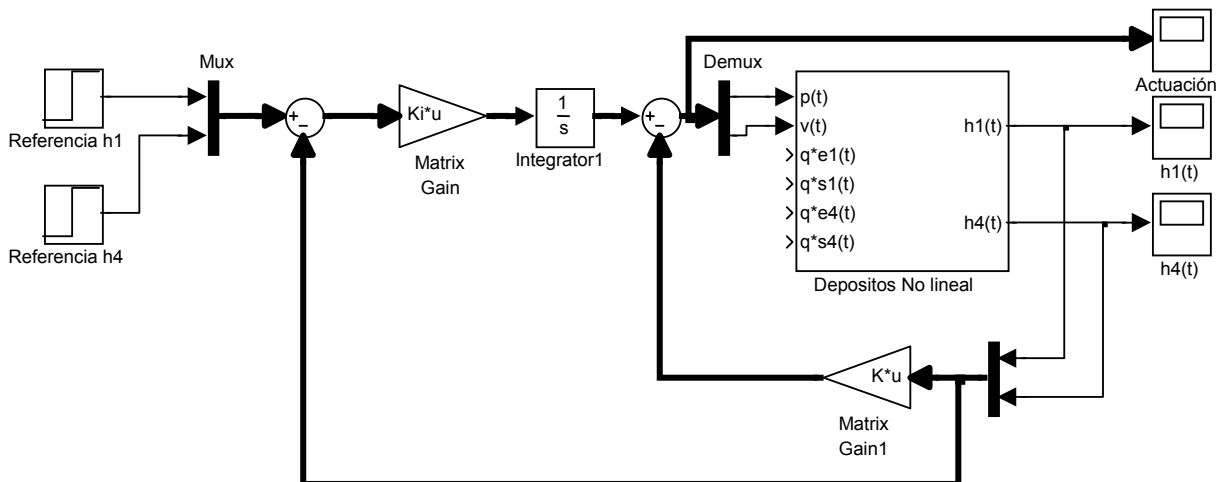


- TEST AUTOMATICO: comenzando con este TEST se puede comprobar el correcto funcionamiento de todos los elementos de la planta, ya que el programa realiza el llenado y vaciado secuencial de los depósitos 1-4-2-3 hasta el nivel fijado mediante los cursores verde y rojo en la ventana "NIVEL DE LLENADO". En el sinóptico de la planta veremos el valor de las distintas variables. Si se observa cualquier deficiencia en el comportamiento de los actuadores o sensores de la planta, advertir al profesor.
- TEST MANUAL: este panel permite el control manual de todos los elementos de actuación de la planta, Bombas, Válvulas proporcionales y Válvulas todo/nada de la planta.
- TEST DE CONTROL: con este panel se implementa un control multivariable integral, para el control del nivel de los depósitos 1 y 4, utilizando como

elementos de actuación la bomba 1 y la válvula 1 y como sensores los presostatos correspondientes de cada depósito. El esquema utilizado para el modelado matemático se describe en la siguiente figura:



10. Trabajando con el TEST DE CONTROL, se implementa un control multivariable diseñado en el espacio de estado según el esquema de la figura siguiente:



Los valores de los coeficientes de las matrices de realimentación de estados  $K$  y de la matriz de realimentación del control integral  $K_i$  se pueden introducir a través de la pantalla. También se puede modificar el tiempo de muestreo,  $T_m$  (se emplea por defecto un tiempo de muestreo de un segundo). Hay que hacer notar algunos aspectos particulares de este esquema de control:

- a. Las variables de estado consideradas coinciden con las variables de salida del sistema por lo que se utilizan para la realimentación de ambas matrices (habría que medir o estimar las variables de estado de forma independiente si no coincidieran con las variables de salida).

- b. Las matrices obtenidas en el diseño con el modelo de estado del sistema continuo son válidas para el control discreto, simplemente implementando el integrador que aparece en el bucle de control de forma discreta ( $T_m/(z-1)$ ).
- c. En la realización práctica del control, la bomba no puede generar el caudal suficiente como para llenar ambos depósitos, por lo que es recomendable no subir las consignas de nivel por encima del 50%.
- d. De la misma manera, si las perturbaciones introducidas en el sistema son muy severas (por ejemplo, la apertura de las válvulas de vaciado de los depósitos) es posible que la bomba no pueda generar el caudal necesario para mantener el seguimiento de las referencias.
11. Los lazos de control que se utilizan en este TEST están realizados por programa. Se ha implementado el producto de las matrices y el cálculo de la integral de forma sencilla. Se puede acceder al código del algoritmo de control a través del gráfico CONTROL de la aplicación "ioControl", haciendo doble clic en el bloque "Block 1", como muestran las siguientes figuras :

The image shows two windows from the ioControl application. The left window displays a control block diagram with a feedback loop. A block labeled 'Block 1' is highlighted with a double-click cursor. The right window, titled 'OptoScript - CONTROL - Block 1', shows the code for this block. The code is as follows:

```

// Cálculo del error: referencias - sensores
CTRL_ERROR_D1 = CTRL_ILENADO_D1 - SENSOR_NIVEL_1;
CTRL_ERROR_D4 = CTRL_ILENADO_D4 - SENSOR_NIVEL_4;

// Tiempo de muestreo elegido
CTRL_Tm = CTRL_Tm_milisec / 1000 ;

// Producto por la matriz KI de los errores
CTRL_EKI_I_D1 = CTRL_KI_11 * CTRL_ERROR_D1 + CTRL_KI_12 * CTRL_ERROR_D4;
CTRL_EKI_I_D4 = CTRL_KI_21 * CTRL_ERROR_D1 + CTRL_KI_22 * CTRL_ERROR_D4;

// Cálculo de la integral de la salida del producto de los errores por KI
CTRL_EKI_I_D1 = CTRL_EKI_I_D1_old + CTRL_EKI_I_D1 * CTRL_Tm;
CTRL_EKI_I_D4 = CTRL_EKI_I_D4_old + CTRL_EKI_I_D4 * CTRL_Tm;

// Producto por la matriz K de la señal de los sensores
CTRL_NK_D1 = CTRL_K_11 * SENSOR_NIVEL_1 + CTRL_K_12 * SENSOR_NIVEL_4;
CTRL_NK_D4 = CTRL_K_21 * SENSOR_NIVEL_1 + CTRL_K_22 * SENSOR_NIVEL_4;

// Cálculo de la potencia para el convertidor de la bomba y de la válvula:
// Integral - (K por la señal de los sensores)
CONVERTIDOR_BOMBA_1 = CTRL_EKI_I_D1 - CTRL_NK_D1;
VALVULA_NIVEL_1 = CTRL_EKI_I_D4 - CTRL_NK_D4;

// Guardar valores para el cálculo de la integral en la siguiente iteración
CTRL_EKI_I_D1_old = CTRL_EKI_I_D1;
CTRL_EKI_I_D1_old = CTRL_EKI_I_D1;

CTRL_EKI_I_D4_old = CTRL_EKI_I_D4;
CTRL_EKI_I_D4_old = CTRL_EKI_I_D4;

// Retardo hasta la siguiente iteración
DelayMsec(CTRL_Tm_milisec);
  
```

12. Introduzca mediante la pantalla TEST DE CONTROL los valores de las matrices  $K_i$  y  $K$ , obtenidas en los apartados 3 y 4 de la "Práctica 6" y compare el comportamiento de ambas implementaciones del control.



### EXPERIMENTO:

- a. Introducir los valores de las matrices a probar en el experimento.
- b. Poner como punto de funcionamiento inicial la Referencia de H1 al 30% y la Referencia de H4 al 30%.
- c. Arrancar el lazo de control pulsando "START".
- d. Esperar a que se establezca el nivel de los depósitos entorno a los valores de referencia.
- e. Provocar un escalón en la referencia de H1 de 10 unidades (30%→40%) y esperar a que se establezca el nivel de los depósitos entorno a los valores de referencia.
- f. Provocar un escalón en la referencia de H4 de 10 unidades (30%→40%) y esperar a que se establezca el nivel de los depósitos entorno a los valores de referencia.
- g. Provocar una perturbación aportando un caudal extra al Depósito 1 (incremento de  $Q_{e1}$ ): poner la Valvula 2 al 100% y la Bomba 2 al 20%.
- h. Pulsar el botón ON de la Bomba 2 y esperar a que se establezca el nivel de los depósitos entorno a los valores de referencia.
- i. Finalizar el experimento: pulsar el botón OFF de la Bomba 2 y parar el lazo de control pulsando "STOP".

### Prueba adicional:

A partir de la situación del apartado "h." se puede abrir la valvula LV1 provocando un caudal neto de fuga en el Depósito 1 (incremento de  $Q_{s1}$  superior al anterior incremento de  $Q_{e1}$ ). La Bomba 1 se pondrá al 100% (saturación) y no podrá mantener el nivel al 40% en ambos depósitos. Si se bajan las referencias de H1 y H4 al 30% el sistema volverá a controlar correctamente. Tras la prueba, cerrar la válvula LV1 y finalizar el experimento tal como se indica en el apartado "i."