

# Control Automático II - Ing. Electrónica

## Laboratorio 1

### 1. Introducción

El siguiente laboratorio tiene como objetivo principal incorporar los conceptos esenciales para la implementación de la técnica de control por realimentación de estados. Se les proporcionará un sistema dado por un circuito analógico y deberán implementar conceptos vistos en los primeros 5 Trabajos Prácticos.

Se debe confeccionar un informe acorde al desarrollo y resultados obtenidos, siguiendo una serie de incisos.

Considerando el diagrama mostrado en la Figura 1 del circuito eléctrico correspondiente a la placa a utilizar en este laboratorio, se pueden reconocer en él tres bloques básicos:

- I. Un bloque que contiene la representación electrónica del modelo linealizado de un sistema real a controlar. Históricamente, este bloque se ha denominado “computadora analógica” debido a que representa el sistema real y su control utilizando amplificadores operacionales.
- II. Un bloque que sirve para corregir errores de estado estacionario.
- III. Un bloque que permite implementar fácilmente estrategias de control por realimentación de estados.

### 2. Tareas

- A) Identificar en el diagrama eléctrico esquemático provisto la composición de cada uno de los bloques mencionados y recuadrarlos de manera clara.
- B) Obtener la función de transferencia de cada uno de ellos.
- C) Determinar una realización de estados del bloque I) y del bloque II) por separado.
- D) Una vez identificadas las matrices A y B determinar la controlabilidad del sistema y la observabilidad de cada uno de los estados tomados como salida.
- E) Determinar los autovalores de lazo abierto del sistema.

Los siguientes puntos se realizan trabajando sobre el hardware. En las figuras 2 y 3 puede verse el esquemático y la vista de los componentes de la placa a utilizar respectivamente. A continuación, se proporcionan una serie de consideraciones previas al uso práctico de la placa de laboratorio:

- La alimentación es simétrica +10V; -10V. El cable *rojo* corresponde a +10V; el *negro* a -10V y el *azul* al punto medio o tierra. Identificar previamente.
- Tener cuidado de no realizar cortocircuitos entre las entradas de alimentación. De ser necesario fijar los terminales de la fuente con cinta aisladora sobre la mesa de trabajo. Liberar la mesa de trabajo de herramientas metálicas, cables, o demás elementos que perturben el entorno de operación.

- Se provee un esquemático de componentes de la placa. Sobre su derecha aparece un conjunto de terminales en forma de puente donde se realizan tanto las mediciones como la alimentación de señal. Identificarlos.
- La amplitud de la señal de entrada usada para realizar las experiencias debe seleccionarse de acuerdo a los valores de alimentación. Se recomienda usar una señal cuadrada de  $\pm 5V$ .
- La frecuencia de la alimentación de entrada debe seleccionarse de acuerdo a las constantes temporales del fenómeno que se desea visualizar. Realizar los cálculos previamente.
- Sobre los potenciómetros se seleccionan las resistencias que determinan las ganancias de realimentación. En el esquemático puede observarse que el primero de ellos, en sentido vertical, corresponde a la ganancia de realimentación de  $x_2$ , el segundo a la de  $x_1$  y el tercero al estado integral. Operarlos en forma delicada con un destornillador apropiado.
- Para realizar una correcta selección de los valores de resistencia se debe proceder del siguiente modo: 1) apagar la fuente y generador de señal. 2) sacar los *jumbers* que intercalan los potenciómetros en el circuito. 3) mover el tornillo hasta seleccionar el valor de resistencia deseado. Para ello medir con un óhmetro entre los terminales internos de los *jumbers*. 4) colocar los *jumbers* que correspondan a la realimentación buscada. 5) encender la fuente y el generador de señal. 6) verificar comportamiento de la salida ( $x_1$ ) observando y midiendo con el osciloscopio. Esta etapa puede ayudarse con simulaciones realizadas previamente y comparando los resultados.

- F) ¿Qué experiencia sencilla podría realizar para corroborar el comportamiento dinámico caracterizado por la posición de los autovalores obtenidos? Realizarla y corroborar.
- G)  $K_1$  y  $K_2$  corresponden a las ganancias de realimentación de los estados  $x_1$  y  $x_2$  y a su vez, como puede verse en el circuito, éstas están determinadas por los cocientes  $R_{22}/R_{11}$  y  $R_{22}/R_{12}$  respectivamente. Sabiendo que  $R_{22} = 47k\Omega$ , determinar los valores de  $R_{11}$  y  $R_{12}$  para obtener un sistema de lazo cerrado que se comporte de acuerdo con:<sup>1</sup>
- a. Autovalores posicionados en  $\lambda_1 = -100 + j300$  ;  $\lambda_2 = -100 - j300$
  - b. Autovalores posicionados en  $\lambda_1 = -100$  ;  $\lambda_2 = -500$
  - c. Autovalores posicionados en  $\lambda_1 = -100 + j100$  ;  $\lambda_2 = -100 - j100$

Identificar en esta nueva topología cual es la entrada del sistema.

- H) Determinar analíticamente el error de estado estacionario a una señal tipo escalón unitario para cada uno de los casos anteriores.
- I) **Sin conectar ningún jumper ni la alimentación**, seleccionar los valores de resistencias calculadas para el caso *a.* mediante los 2 potenciómetros correspondientes. Luego colocar los dos *jumbers*, alimentar el circuito y realizar un ensayo que permita verificar el correcto posicionamiento de los autovalores pedidos. Determinar el error de estado estacionario y compararlo con lo calculado.
- J) Realizar el mismo procedimiento para los casos *b.* y *c.*
- K) Se quiere eliminar el error de estado estacionario en la salida  $x_1$  del sistema. ¿Qué topología debería armar con el circuito presentado en la figura que permita esa posibilidad? Graficarla previamente como ayuda.

---

<sup>1</sup>**NOTA:** para seleccionar los valores de las resistencias de realimentación hacerlo con los *jumbers* desconectados

- L) Nuevamente, si  $K_1$ ,  $K_2$  y  $K_{int}$  corresponden a las ganancias de realimentación de los estados  $x_1$ ,  $x_2$  y el estado integrador  $x_{int}$  y, como puede verse en el circuito, éstas están determinadas por los cocientes  $R_{22}/R_{11}$ ,  $R_{22}/R_{12}$  y  $R_{22}/R_{int}$  respectivamente, determinar sus valores para obtener un sistema de lazo cerrado que se comporte de acuerdo con:
- Autovalores posicionados en  $\lambda_1 = -100 + j300$  ;  $\lambda_2 = -100 - j300$  ;  $\lambda_3 = -500$
  - Autovalores posicionados en  $\lambda_1 = -100$  ;  $\lambda_2 = -500$  ;  $\lambda_3 = -500$
  - Autovalores posicionados en  $\lambda_1 = -100 + j100$  ;  $\lambda_2 = -100 - j100$  ;  $\lambda_3 = -500$
- M) **Sin conectar ningún jumper ni la alimentación**, seleccionar los valores de resistencias calculadas para el caso *a.* mediante los 3 potenciómetros correspondientes. Luego colocar los dos *jumpers*, alimentar el circuito y realizar un ensayo que permita verificar el correcto posicionamiento de los autovalores pedidos. Verificar el error de estado estacionario.
- N) Realizar el mismo procedimiento para los casos *b.* y *c.*
- Ñ) Determinar la matriz de ganancias y la estructura de un observador discreto que permita observar la dinámica de las variables de estado del sistema. Implementarlo en MATLAB y simular.

Valores		
$R_1 = 47k\Omega$	$R_8 = 47k\Omega$	$C1 = 1\mu F$
$R_2 = 10k\Omega$	$R_9 = 47k\Omega$	$C2 = 1\mu F$
$R_3 = 47k\Omega$	$R_{10} = 10k\Omega$	$C3 = 1\mu F$
$R_4 = 47k\Omega$	$R_{13} = 47k\Omega$	
$R_5 = 10k\Omega$	$R_{17} = 47k\Omega$	
$R_6 = 47k\Omega$	$R_{18} = 47k\Omega$	
$R_7 = 47k\Omega$	$R_{22} = 47k\Omega$	

Cuadro 1: Valores circuitales.

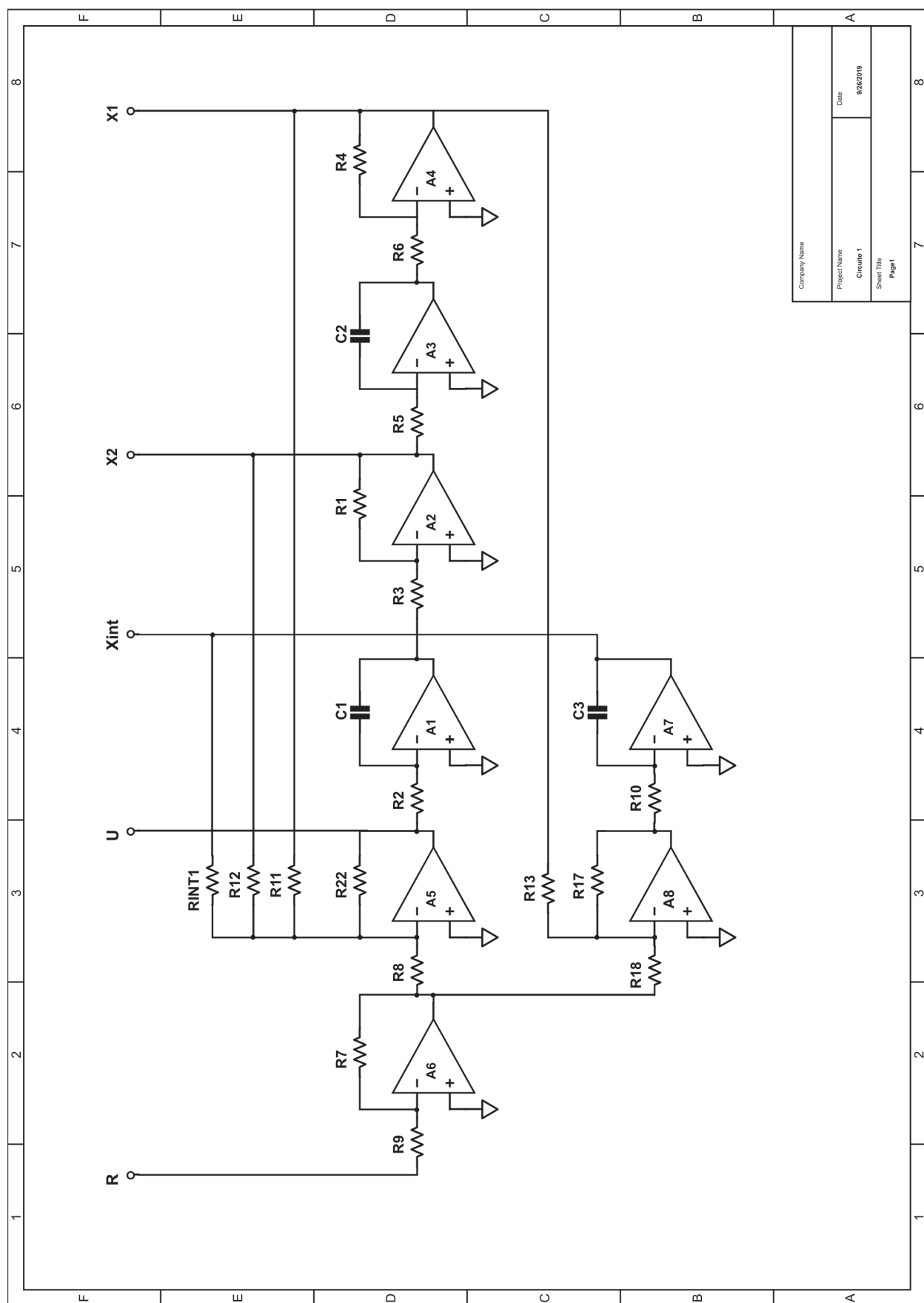


Figura 1: Circuito de laboratorio.

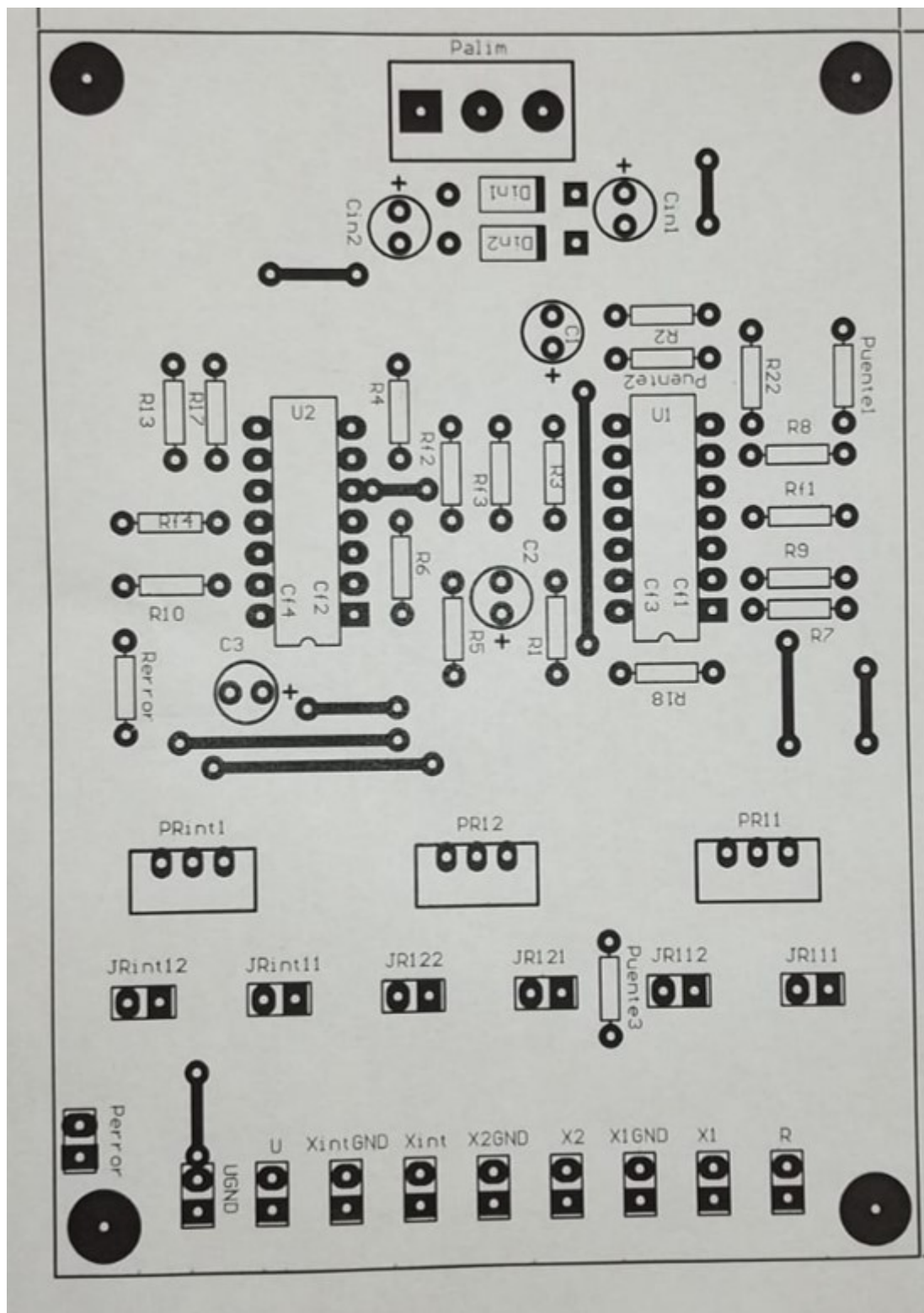


Figura 2: Esquemático de la placa.

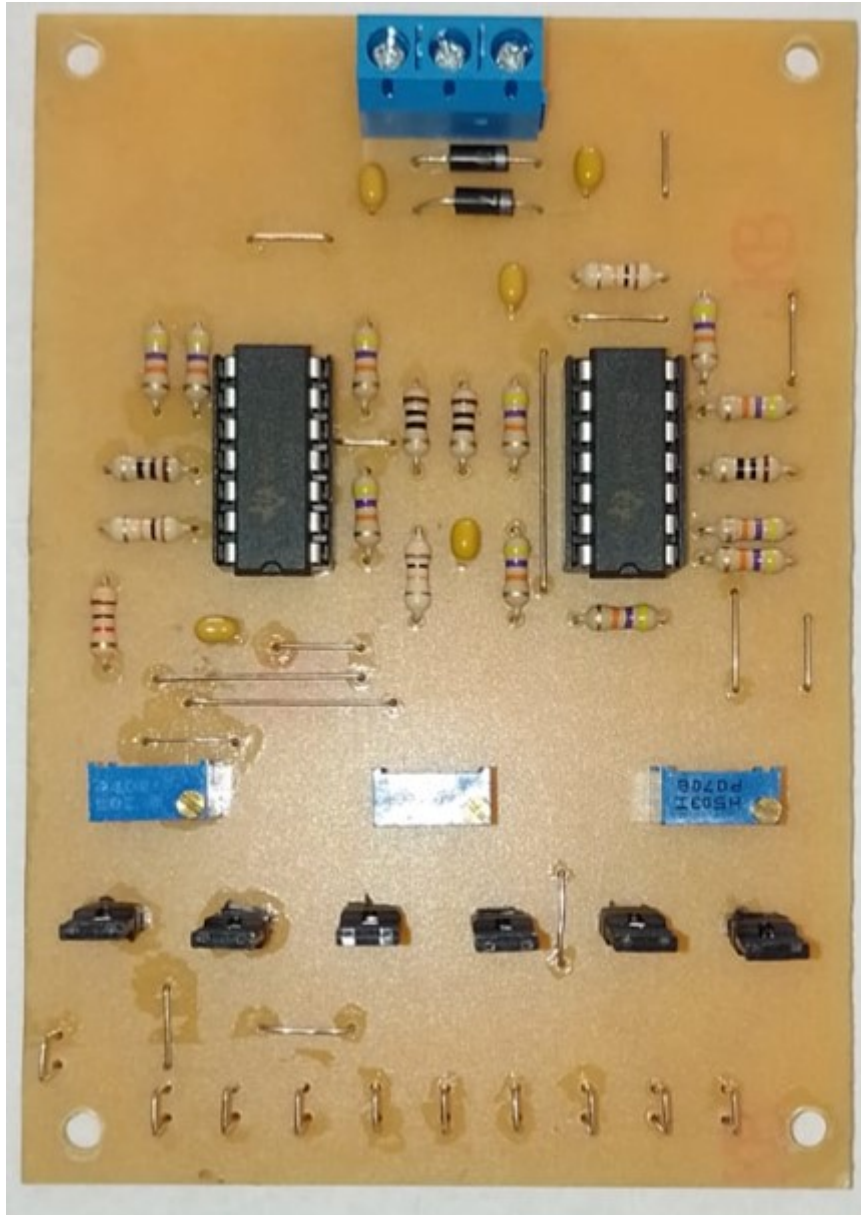


Figura 3: Vista superior de la placa.