

# INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA

## Examen Final (24 de enero de 2018)

APELLIDOS:	
NOMBRE:	NIF/NIE:

El examen consta de **CUATRO MÁS UNA** preguntas que se encuentran repartidas entre ambas caras de las hojas. Lea cuidadosamente los enunciados del examen. Si tiene alguna duda, consúltela con el profesor. No se limite a dar la solución del ejercicio pues debe explicar claramente cuáles han sido los pasos que lo han conducido al resultado final. Respete las normas de comportamiento en el examen. Se invalidará cualquier respuesta que, aunque sea correcta, no venga acompañada de un detallado razonamiento lógico.

Se admite el uso de bolígrafo azul y/o negro, calculadora científica básica y reglas para subrayado.

---

### BLOQUE 1: TEORÍA (30%)

#### PREGUNTA 1 (30%)

Escoja TRES de las siguientes cuatro preguntas y responda cada una de ellas en no más de media página.

1. Explique qué diferencias hay entre **fiabilidad**, **resolución** y **precisión** de un sistema de medida.
2. ¿Por qué se debe medir siempre la temperatura a la que trabaja una galga extensiométrica?
3. ¿Cuál es la ventaja del puente de admitancias al medir capacidades diferenciales?
4. Explique, brevemente, qué es un **convertor DC-DC por inyección de carga** y cuál es su uso principal en instrumentación electrónica.

---

### BLOQUE 2: EJERCICIOS (50%)

#### PROBLEMA 2 (20%)

En un determinado diseño, se ha decidido utilizar una referencia de tensión ADR420, que se caracteriza por que con una entrada de alimentación de 5 V, a una temperatura de 25 °C y sin carga externa proporciona 2,048 V en la salida. Otros datos de interés son los coeficientes de regulación de línea, de carga y de temperatura cuyos valores son, respectivamente, 35 ppm/V, -70 ppm/mA y 10 ppm/°C.

Sabiendo que el sistema trabajará entre -20 y 75°C, que la tensión de alimentación puede ir de 6 a 15 V y que la carga resistiva en la salida puede variar entre 500  $\Omega$  y 10 k $\Omega$ , determine entre qué valores puede estar la tensión de salida. Redondee los valores de salida en el  $\mu$ V.

### PROBLEMA 3 (30%)

Hemos creado un bloque de acondicionamiento de la señal que convierte una tensión de entrada en otra entre 0 y 3,3 V. El valor eficaz del ruido en la salida del bloque es de  $\pm 1.3$  mV por lo que se agrega a continuación un filtro LP que lo reduce a  $\pm 10$   $\mu$ V. A continuación, es necesario codificar esta señal con una resolución de 1 mV y muestreada a una frecuencia de 8 kHz.

1. ¿Cuál es la resolución mínima que se requiere al ADC? ¿y la recomendable?
2. Disponemos de un ADC de 11 bits de resolución y con frecuencia máxima de trabajo igual a 1 Msps. ¿Podríamos utilizarlo?

---

### BLOQUE 3: DESARROLLO (20%)

### PROBLEMA 4 (20%)

Necesitamos construir un sistema para manejar un ventilador que evita el sobrecalentamiento de un determinado elemento (p.e., un microprocesador). La velocidad de giro de este ventilador se controla con una señal de tensión  $V_{CTRL}$ , que puede ir de 1 V a 5 V, siendo la velocidad de giro proporcional a  $\max(V_{CTRL} - 1, 0)$ . Es necesario que:

- El ventilador se active si y sólo si se rebase una determinada temperatura,  $T_{ACT}$ .
- En caso de que esta temperatura se supere, la velocidad de giro debe ser proporcional a la temperatura centígrada,  $T$ , no a  $T - T_{ACT}$ .

Esboce el diseño de un sistema que sea capaz de realizar esto. No es necesario que calcule los valores exactos de los parámetros. Si cree que puede introducir alguna propiedad adicional a las dos mencionadas anteriormente, no dude en incorporarla.

---

### BLOQUE 4: PRESENTACIONES EN CLASE (+10%)

### PREGUNTA 5 (+10%)

Responda a DOS de las siguiente cuatro preguntas explicadas por los alumnos en las presentaciones en clase. No rellene más de una página en total.

1. Explique brevemente el mecanismo de funcionamiento de una pantalla de móvil tipo resistivo.
2. ¿Cuál es el mecanismo de funcionamiento de los sensores tipo "tilt"?
3. ¿Qué se entiende por un *smart sensor*?
4. ¿Cuál es la función de los encapsulados y a qué se deben las distintas formas que existen?

**IMPORTANTE:** Aquellos alumnos cuyo tema se haya usado para plantear alguna de las cuatro preguntas anteriores, deben descartarla y elegir ésta en su lugar:

- ¿Por qué se utiliza  $\text{GeCl}_4$  para construir la parte óptica de las cámara infrarrojas?

## Respuesta a la PREGUNTA 1 (30%)

Escoja TRES de las siguientes cuatro preguntas y responda cada una de ellas en no más de media página.

1. Explique qué diferencias hay entre **fiabilidad**, **resolución** y **precisión** de un sistema de medida.
2. ¿Por qué se debe medir siempre la temperatura a la que trabaja una galga extensiométrica?
3. ¿Cuál es la ventaja del puente de admitancias al medir capacidades diferenciales?
4. Explique, brevemente, qué es un conversor DC-DC por inyección de carga y cuál es su uso principal en instrumentación electrónica.

---

Debe reseñarse que la puntuación se reparte equitativamente entre las tres opciones elegidas. En otras palabras, cada una de ellas vale 1 punto sobre 10.

### Pregunta 1

Se habla de fiabilidad cuando la salida del sistema marca correctamente el valor de la señal medida, aunque es posible que el sistema tenga una alta incertidumbre por redondeo.

La resolución es un valor numérico (Decimales, cifras significativas, número de bits, etc.) que es mayor cuanto menor sea el error de redondeo. Sin embargo, es posible que el valor de la salida, con su estrecho margen de redondeo, no se corresponda con el valor real.

Cuando un sistema es fiable y con alta resolución, se dice que es preciso.

### Pregunta 2

Al cambiar la temperatura, se va a producir un cambio en el valor de la resistencia de galga. Esto puede interpretarse erróneamente como un esfuerzo y debe corregirse midiendo la temperatura con otro sensor y corrigiéndolo por *software*. Los fabricantes tienen que proporcionar no sólo el valor del factor de galga sino también el coeficiente térmico de temperatura.

### Pregunta 3

En un puente de admitancias, la amplitud de la señal diferencia es directamente proporcional a la variación de las capacidades y no es necesario realizar ninguna aproximación matemática.

### Pregunta 4

Éstos son convertidores capaces de transformar una tensión en un múltiplo entero, o incluso de cambiarles el signo. Utilizan conmutadores y capacidades para ellos. Se utilizan en sistemas alimentados con una tensión unipolar baja (baterías, USB, etc.) para obtener valores de tensiones de alimentación más apropiados que permitan hacer funcionar correctamente los dispositivos electrónicos.

## Solución al PROBLEMA 2 (20%)

En un determinado diseño, se ha decidido utilizar una referencia de tensión ADR420, que se caracteriza por que con una entrada de alimentación de 5 V, a una temperatura de 25 °C y sin carga externa proporciona 2,048 V en la salida. Otros datos de interés son los coeficientes de regulación de línea, de carga y de temperatura cuyos valores son, respectivamente, 35 ppm/V, -70 ppm/mA y 10 ppm/°C.

Sabiendo que el sistema trabajará entre -20 y 75°C, que la tensión de alimentación puede ir de 6 a 15 V y que la carga resistiva en la salida puede variar entre 500  $\Omega$  y 10 k $\Omega$ , determine entre qué valores puede estar la tensión de salida. Redondee los valores de salida en el  $\mu$ V.

---

Las influencias de los parámetros físicos se suman de manera lineal. Está claro que el máximo valor de tensión se alcanzará con máxima temperatura, máxima tensión de alimentación y mínima corriente de salida. Por el contrario, el mínimo se alcanzará en situaciones opuestas.

El máximo valor de la tensión de salida es 15 V, la máxima temperatura es 75°C y la mínima corriente será  $\sim 2.048/10k = 0.2048$  mA. En este último caso, hemos hecho una aproximación para facilitar los cálculos. De este modo:

$$\begin{aligned} V_{OUT,MAX} &= V_{OUT,0} \cdot \left(1 + 35 \cdot 10^{-6} \cdot (15 - 5) - 70 \cdot 10^{-6} \cdot 0,2048 + 10 \cdot 10^{-6} \cdot (75 - 25)\right) = \\ &= V_{OUT,0} \cdot \left(1 + 35 \cdot 10^{-5} - 1.43 \cdot 10^{-5} + 50 \cdot 10^{-5}\right) = 1.0008357 \cdot V_{OUT,0} = 2.049712 \text{ V} \end{aligned}$$

En tanto que el valor mínimo se alcanzará con 6 V en la entrada, una carga de  $\sim 2,048/0,5k = 4,096$  mA y una temperatura de -20 °C. Por tanto:

$$\begin{aligned} V_{OUT,MIN} &= V_{OUT,0} \cdot \left(1 + 35 \cdot 10^{-6} \cdot (6 - 5) - 70 \cdot 10^{-6} \cdot 4,096 + 10 \cdot 10^{-6} \cdot (-20 - 25)\right) = \\ &= V_{OUT,0} \cdot \left(1 + 3,5 \cdot 10^{-5} - 28,7 \cdot 10^{-5} - 45 \cdot 10^{-5}\right) = 0.999867 \cdot V_{OUT,0} = 2.046562 \text{ V} \end{aligned}$$

Por tanto, la salida estará entre 2,046562 y 2,049712 V.

### Solución al PROBLEMA 3 (30%)

Hemos creado un bloque de acondicionamiento de la señal que convierte una tensión de entrada en otra entre 0 y 3,3 V. El valor eficaz del ruido en la salida del bloque es de  $\pm 1.3$  mV por lo que se agrega a continuación un filtro LP que lo reduce a  $\pm 10$   $\mu$ V. A continuación, es necesario codificar esta señal con una resolución de 1 mV y muestreada a una frecuencia de 8 kHz.

1. ¿Cuál es la resolución mínima que se requiere al ADC? ¿y la recomendable?
2. Disponemos de un ADC de 11 bits de resolución y con frecuencia máxima de trabajo igual a 1 Msps. ¿Podríamos utilizarlo?

La señal está entre 0 y 3,3 V con lo que el ADC tendrá como niveles de tensiones de referencia  $V_{REF,+} = 3.3$  V y  $V_{REF,-} = 0$  V. Como la resolución requerida es 1 mV, es necesario que el  $V_{LSB}$  sea menor que esta cantidad. Por tanto:

$$V_{LSB} = \frac{V_{REF,+} - V_{REF,-}}{2^N} = \frac{3.3}{2^N} < 10^{-3} \Rightarrow 2^N > 3300 \Rightarrow N > \log_2 3300 = 11.68 \dots$$

Por tanto, necesitamos una resolución mínima de 12 bits para cumplir los requerimientos de diseño. Sin embargo, para compensar posibles no linealidades, es preferible utilizar un par de bits adicionales. Con un ADC de 14 bits de resolución, factores como la INL o el número efectivo de bits no nos afectarían.

Por supuesto que podríamos utilizar el ADC de 11 bits. Sin embargo, sería necesario realizar sobremuestreo. Como hay que muestrear a 8 kHz pero podemos llegar hasta 1 Msps, hay opción de realizar hasta  $\frac{10^6}{8 \cdot 10^3} = 125$  muestras temporales antes de generar otra a 8 kHz. Esto significa que podemos incrementar la resolución del ADC hasta:

$$4^m = 125 \Rightarrow m = \log_4 125 = 3.48 \dots \Rightarrow m_{max} = 3$$

Por tanto, podemos aumentar hasta 3 bits la resolución efectiva del ADC muestreando 64 veces y realizando algún tipo de media (simple, con ventana desplazante, etc.). Habría que muestrear a  $64 \cdot 8 = 512$  kHz y así sacar hasta  $11 + 3 = 14$  bits de resolución efectiva.

Ocurre, sin embargo, que el nivel de ruido en la entrada debe ser del orden de 1 LSB. Por tanto, habría que eliminar el filtro LP para cumplir los requerimientos.

## Solución al PROBLEMA 4 (20%)

Necesitamos construir un sistema para manejar un ventilador que evita el sobrecalentamiento de un determinado elemento (p.e., un microprocesador). La velocidad de giro de este ventilador se controla con una señal de tensión  $V_{CTRL}$ , que puede ir de 1 V a 5 V, siendo la velocidad de giro proporcional a  $\max(V_{CTRL} - 1, 0)$ . Es necesario que:

- El ventilador se active si y sólo si se rebase una determinada temperatura,  $T_{ACT}$ .
- En caso de que esta temperatura se supere, la velocidad de giro debe ser proporcional a la temperatura centígrada,  $T$ , no a  $T - T_{ACT}$ .

Esboce el diseño de un sistema que sea capaz de realizar esto. No es necesario que calcule los valores exactos de los parámetros. Si cree que puede introducir alguna propiedad adicional a las dos mencionadas anteriormente, no dude en incorporarla.

---

Hay varias formas de resolver el problema.

1. Un sensor de temperatura cualquiera cuya salida se amplificara y ajustara y que fuera leído con un microcontrolador. Luego, éste controlaría un DAC.
2. Usar un sensor de temperatura con salida en tensión y, si no fuera posible, uno que convirtiera la salida de corriente o resistencia en tensión. Esta salida se usaría para disparar un comparador (preferiblemente, con histéresis) que activaría un switch SPDT. Una entrada del switch, que correspondería al caso del comparador no disparado, estaría conectada a tierra y así mantendríamos el motor apagado. En la otra entrada, habríamos puesto una tensión proporcional a la salida del sensor de temperatura.

## Respuestas a la PREGUNTA 5 (+10%)

Responda a DOS de las siguiente cuatro preguntas explicadas por los alumnos en las presentaciones en clase. No rellene más de una página en total.

1. Explique brevemente el mecanismo de funcionamiento de una pantalla de móvil tipo resistivo.
2. ¿Cuál es el mecanismo de funcionamiento de los sensores tipo "tilt"?
3. ¿Qué se entiende por un smart sensor?.
4. ¿Cuál es la función de los encapsulados y a qué se deben las distintas formas que existen?.

**IMPORTANTE:** Aquellos alumnos cuyo tema se haya usado para plantear alguna de las cuatro preguntas anteriores, deben descartarla y elegir ésta en su lugar:

- ¿Por qué se utiliza  $\text{GeCl}_4$  para construir la parte óptica de las cámara infrarrojas?

- 
1. La pantalla está formada por dos láminas superpuestas. Al presionar sobre la lámina superior, ésta se pone en contacto en un determinado punto. Midiendo cómo cambia la resistencia entre las esquinas de la pantalla, p. e., se pueden calcular las coordenadas XY donde se ha ejercido la presión.
  2. En el sensor, hay una o dos bolitas metálicas que, en reposo, descansan sobre dos láminas metálicas produciendo un cortocircuito. Al girar el sensor, las bolas se mueven y el cortocircuito desaparece.

3. Un smart sensor es un sensor o conjunto de sensores junto con un bloque de acondicionamiento de la señal y un núcleo lógico para toma de decisiones que permite un autocalibrado de los dispositivos y una comunicación con el exterior de manera digital: I<sup>2</sup>C, WiFi, Bluetooth, etc.
4. El tipo de encapsulado que se utilice en un diseño depende de varios factores como la densidad de componentes exigida, las características de la placa, la necesidad de disipar más o menos potencia, la pericia del soldador, etc. El encapsulado externo de los componentes electrónicos tiene diversas funciones como:
  - (a) Ser soporte de la oblea de silicio y de los contactos y con ello permitir la conectividad eléctrica.
  - (b) Proteger de agentes externos como polvo, humedad y otros agentes químicos, luz, etc.
  - (c) Permitir el manejo de componentes.
  - (d) Disipar el calor generado por los dispositivos.
5. Se utiliza este material pues las cámaras infrarrojas trabajan con longitudes de onda entre 3-5 y 8-12  $\mu\text{m}$  y el dióxido de silicio, principal componente del cristal, absorbe toda la radiación electromagnética en ese rango.

Para uso de alumnos de la  
Universidad Complutense de Madrid  
<http://www.ucm.es>