

UNIVERSIDAD METROPOLITANA

Departamento de Energía y Automatización — Escuela de Ingeniería
Caracas, Venezuela

ROBÓTICA INDUSTRIAL — FPTEN27

MODELO DE PRÁCTICA B

Primer Examen Parcial · Temas 1 al 7

Prof. José Montilva · Trimestre Septiembre – Diciembre 2026

Instrucciones

Este es un modelo de práctica: tiene la misma estructura, los mismos pesos y la misma duración del Primer Parcial, pero las preguntas no son las del examen real. El solucionario está al final del documento; úsalo solo después de haber intentado resolver el modelo completo. Duración: 90 minutos. Se califica sobre 100 puntos y la nota se escala a 20. Las respuestas van en las hojas blancas que se entregan aparte, identificando con claridad el número de cada pregunta; no escriba en este cuadernillo. Se evalúa la justificación técnica, no la extensión: responda en 2 a 4 líneas salvo que se indique lo contrario. No se permite el uso de calculadora programable, teléfono ni material de apoyo.

PARTE I.A — Selección simple (12 puntos)

Indique la letra de la opción correcta. Cada pregunta vale 3 puntos. No hay penalización por respuesta incorrecta.

1. Un robot formado por una articulación rotacional en la base, seguida de una articulación prismática vertical y una articulación prismática radial, corresponde a la configuración:
a) Cilíndrica. b) Cartesiana. c) SCARA. d) Antropomórfica.
2. La resolución de la salida generada por analogWrite() en un Arduino UNO es de:
a) 10 bits, es decir, 1024 niveles. b) 8 bits, es decir, 256 niveles.
c) 12 bits, es decir, 4096 niveles. d) Variable: depende del sensor que se conecte.
3. Un sensor ultrasónico determina la distancia a un objeto:
a) Midiendo el cambio de capacitancia entre el electrodo y el objeto.
b) Midiendo las corrientes inducidas en el material del objeto.
c) Midiendo el tiempo que tarda en regresar el eco del pulso sonoro emitido.
d) Comparando el color reflejado por el objeto con una referencia.
4. En un servomotor de posición del tipo usado en robótica educativa, la posición ordenada se codifica en:
a) La amplitud de la tensión aplicada al motor.
b) La frecuencia de la señal, que varía entre 50 y 300 Hz.
c) La corriente media que circula por el devanado.
d) El ancho del pulso de una señal periódica, del orden de 1 a 2 ms dentro de un período de 20 ms.

PARTE I.B — Verdadero / Falso (12 puntos)

Indique si la afirmación es verdadera o falsa. Si la considera falsa, explique en una o dos líneas por qué lo es. Cada pregunta vale 4 puntos: 2 por la respuesta y 2 por la justificación cuando corresponda.

5. Un sensor de proximidad capacitivo puede detectar el nivel de un líquido a través de la pared plástica del recipiente que lo contiene. (4 pts)
6. Configurar el driver de un motor paso a paso en modo micropaso (microstepping) aumenta el par que el motor es capaz de entregar. (4 pts)
7. En un sistema de control en lazo abierto, el controlador comprueba mediante un sensor que la acción ordenada se haya cumplido antes de continuar. (4 pts)

PARTE II — Morfología, estructura mecánica y grados de libertad (16 puntos)

Enunciado común a las preguntas 8 a 11. Un taller instala un brazo robótico para cargar y descargar piezas en una máquina de mecanizado. El brazo tiene base fija y la siguiente cadena, enumerada desde la base: una primera articulación rotacional de eje vertical que gira toda la estructura; una segunda y una tercera articulaciones rotacionales de ejes horizontales y paralelos entre sí, que elevan y pliegan el brazo; y una muñeca con dos articulaciones rotacionales adicionales que orientan la herramienta.

8. Identifique la configuración de los tres primeros ejes del brazo y escríbala en notación de pares cinemáticos (R para rotacional, P para prismática). Justifique a partir de la disposición de los ejes. (4 pts)
9. ¿Cuántos grados de libertad tiene el robot completo? Indique si con ese número puede situar la herramienta en cualquier posición y con cualquier orientación dentro de su espacio de trabajo, y explique por qué. (4 pts)
10. Describa cualitativamente la forma del volumen de trabajo de este brazo e indique qué lo limita en la práctica. (4 pts)
11. En muchos brazos de esta configuración los motores del codo y de la muñeca no se montan en la articulación que accionan, sino cerca de la base, transmitiendo el movimiento por correas o barras. Explique la razón mecánica de esa decisión y mencione una desventaja que introduce. (4 pts)

PARTE III — Señales de entrada/salida y microcontroladores (15 puntos)

12. Un sensor de temperatura entrega una salida lineal de 0 V a 5 V para un rango de medida de 0 °C a 100 °C. (6 pts)
 - a) Conectado a un Arduino UNO (ADC de 10 bits, referencia 5 V), ¿cuál es la resolución de la medida en grados Celsius? (2 pts)
 - b) Si se migra a un ESP32, cuyo ADC es de 12 bits con la misma referencia, ¿cómo cambia esa resolución? (2 pts)
 - c) ¿Mejorar la resolución del convertidor mejora automáticamente la exactitud de la medida? Justifique. (2 pts)
13. Un sensor industrial entrega una señal de 0 V a 10 V y la entrada analógica del Arduino admite como máximo 5 V. (5 pts)
 - a) Proponga el acondicionamiento necesario e indique los valores o la relación que emplearía. (3 pts)
 - b) ¿Por qué no es aceptable conectar el sensor directamente y corregir la lectura por software? (2 pts)
14. Clasifique las siguientes cuatro señales de la estación como analógicas o digitales y explique brevemente cada clasificación: (i) final de carrera, (ii) potenciómetro de posición, (iii) salida PWM hacia el driver del motor, (iv) tren de pulsos de un encoder incremental. (4 pts)

PARTE IV — Ejercicio integrador aplicado (30 puntos)

Escenario. Una mesa de posicionamiento lineal desplaza piezas a lo largo de un único eje, movida por un motor paso a paso acoplado a un husillo y gobernado por un driver con entradas STEP y DIR. En el extremo izquierdo del recorrido hay un final de carrera que marca el origen. Una pinza neumática, accionada por una electroválvula, sujeta la pieza en la posición de trabajo. Lo controla un Arduino UNO con el siguiente programa.

```
const int STEP = 4;    // un pulso = un paso del motor
const int DIR  = 5;    // sentido de giro
const int FC   = 2;    // final de carrera de origen
const int VAL  = 8;    // electroválvula de la pinza

void darPaso() {        // genera un pulso en STEP
  digitalWrite(STEP, HIGH);
  delay(1);
  digitalWrite(STEP, LOW);
  delay(1);
}

void setup() {
  pinMode(STEP, OUTPUT);
  pinMode(DIR, OUTPUT);
  pinMode(VAL, OUTPUT);
  pinMode(FC, INPUT_PULLUP);
  digitalWrite(VAL, LOW);

  digitalWrite(DIR, LOW);
  while (digitalRead(FC) == HIGH) {
    darPaso();
  }
}
```

```

    }
}

void loop() {
    digitalWrite(DIR, HIGH);
    for (int i = 0; i < 2000; i++) {
        darPaso();
    }
    digitalWrite(VAL, HIGH);
    delay(400);
    digitalWrite(VAL, LOW);
    delay(1000);
}

```

15. Explique qué hace el bloque que está dentro de setup() después de configurar los pines, cómo se llama esa rutina y por qué resulta imprescindible en un eje accionado por motor paso a paso. Indique además, para cada uno de los cuatro pines, el tipo de señal y el sentido. **(6 pts)**
16. El motor es de $1,8^\circ$ por paso y el husillo avanza 2 mm por vuelta. Con el driver en paso completo: (a) ¿cuánto se desplaza la mesa en los 2000 pasos del loop?; (b) ¿cuál es la resolución teórica por paso?; (c) ¿cuál sería esa resolución si el driver se configura en 1/8 de micropaso? **(6 pts)**
17. Justifique el uso de un motor paso a paso frente a un motor de corriente continua con puente H para este eje. Indique además qué sensor añadiría si la aplicación exigiera garantizar la posición alcanzada. **(6 pts)**
18. Describa en palabras, sin escribir código, qué modificaría para que: (i) la rutina de origen no quede atrapada indefinidamente si el final de carrera está dañado; y (ii) la pinza no se accione si el eje no alcanzó la posición de trabajo. **(6 pts)**
19. Identifique tres debilidades del sistema tal como está implementado y proponga una optimización para cada una. **(6 pts)**

PARTE V — Sensores y actuadores: análisis puntual (15 puntos)

20. Compare el encoder incremental, el encoder absoluto y el potenciómetro como sensores de posición, indicando para cada uno qué entrega, qué ocurre tras un corte de energía y un criterio de selección. **(5 pts)**
21. Compare el actuador neumático con el actuador eléctrico para la pinza de esta estación: indique dos ventajas y dos desventajas del neumático. **(5 pts)**
22. Explique por qué la bobina de una electroválvula no debe conectarse directamente a un pin del microcontrolador, qué componentes deben interponerse y qué función cumple cada uno. **(5 pts)**

SOLUCIONARIO — MODELO DE PRÁCTICA B

Cómo leer este solucionario. Lo que aparece en cada respuesta es lo que se espera que escribas para obtener los puntos completos: dos a cuatro líneas. No hace falta más. Lo que va en gris, marcado como "para saber más", es información adicional que no se exige en el examen y que está ahí solo por si te da curiosidad. Se acepta cualquier respuesta correcta aunque no coincida palabra por palabra.

Parte I.A — Selección simple (3 pts c/u)

- 1) a. Cilíndrica: un giro en la base más dos desplazamientos, uno vertical y uno radial.
- 2) b. analogWrite() admite valores de 0 a 255, es decir 8 bits. No hay que confundirlo con analogRead(), que es de 10 bits.
- 3) c. El ultrasónico mide el tiempo que tarda en volver el eco del pulso de sonido que emitió.
- 4) d. La posición se codifica en el ancho del pulso, entre 1 y 2 ms, dentro de un período fijo de unos 20 ms. No depende de la amplitud ni de la frecuencia.

Parte I.B — Verdadero / Falso (2 pts respuesta + 2 pts justificación)

- 5) **VERDADERO.** No requiere justificación.

Para saber más (no se exige en el examen): funciona porque el sensor capacitivo reacciona al cambio de material frente a su electrodo, y el plástico no bloquea el campo eléctrico.

- 6) **FALSO.** El micropaso divide cada paso en partes más pequeñas, así que mejora la resolución y suaviza el movimiento, pero no aumenta el par; más bien lo reduce por micropaso.
- 7) **FALSO.** Verificar con un sensor que la acción se cumplió es precisamente lo que define al lazo cerrado. En lazo abierto el controlador da la orden y asume que se cumplió.

Parte II — Morfología, estructura mecánica y GDL (4 pts c/u)

- 8) Antropomórfica o articulada, notación RRR. Las tres articulaciones son rotacionales: la primera gira toda la estructura sobre un eje vertical y las otras dos tienen ejes horizontales paralelos, que elevan y pliegan el brazo. (2 pts la identificación + 2 pts la justificación.)
- 9) 5 GDL: tres del brazo y dos de la muñeca. No alcanza cualquier combinación de posición y orientación, porque para eso hacen falta 6: tres para la posición y tres para la orientación. Llega a cualquier punto de su volumen, pero no con cualquier inclinación.
- 10) Es aproximadamente una esfera hueca alrededor de la base: el alcance máximo lo da la suma del brazo y el antebrazo, y queda una zona interior que no puede alcanzar. En la práctica lo limitan los toques de giro de cada articulación y los choques del brazo consigo mismo o con la máquina.
- 11) Porque un motor montado en el codo es peso que el hombro tiene que mover y sostener, lo que obliga a motores más grandes y resta velocidad. Poniéndolos cerca de la base el brazo queda más liviano. La desventaja es que la correa o la barra introduce holgura y elasticidad entre el motor y la articulación.

Parte III — Señales de E/S y microcontroladores

- 12) a) $100\text{ °C} \div 1024 \approx 0,1\text{ °C}$ por nivel.
- 12) b) Con 12 bits hay 4096 niveles: $100\text{ °C} \div 4096 \approx 0,024\text{ °C}$. Mejora cuatro veces.
- 12) c) No. Más resolución significa escalones más pequeños, pero la exactitud depende del error del propio sensor y del ruido. Si la medida tiene ruido de varias décimas de grado, los bits de más solo sirven para medir ese ruido con más detalle.
- 13) a) Un divisor de tensión que reduzca la señal a la mitad: dos resistencias iguales, por ejemplo de 10 kΩ, con la salida tomada en el punto medio. Así los 10 V del sensor llegan al Arduino como 5 V.
- 13) b) Porque el daño es físico y ocurre antes de que el programa pueda hacer nada: el pin admite como máximo la tensión de alimentación, y aplicarle 10 V lo destruye. El software no protege al hardware.
- 14) Final de carrera: digital, solo tiene dos estados. Potenciómetro: analógica, la tensión varía de forma continua con la posición. Salida PWM: digital, porque conmuta entre dos niveles; imita un valor intermedio por el promedio, pero el pin nunca entrega una tensión intermedia. Encoder incremental: digital, un tren de pulsos que se cuentan.

Parte IV — Ejercicio integrador aplicado (6 pts c/u)

- 15) Es la rutina de búsqueda de origen, llamada homing. Fija el sentido hacia la izquierda y va dando pasos mientras el final de carrera no esté pisado; cuando la mesa lo toca, la lectura cambia y el bucle termina, dejando el eje en el cero. Es imprescindible porque el motor paso a paso solo cuenta los pulsos que él mismo generó y al encender no tiene forma de saber dónde quedó la mesa. Pines: STEP y DIR son salidas digitales, VAL es salida digital hacia la válvula y FC es entrada digital. (3 pts la explicación + 3 pts los pines.)

- 16) a) $360^\circ \div 1,8^\circ = 200$ pasos por vuelta. 2000 pasos son 10 vueltas, y a 2 mm por vuelta la mesa avanza 20 mm.
- 16) b) $2 \text{ mm} \div 200 \text{ pasos} = 0,01 \text{ mm por paso}$.
- 16) c) Con 1/8 de micropaso hay 1600 micropasos por vuelta: $2 \text{ mm} \div 1600 = 0,00125 \text{ mm}$.
- Para saber más (no se exige en el examen): esa es la resolución de comando; la exactitud real no mejora en la misma proporción, porque la limitan el juego del husillo y la precisión del propio motor.*
- 17) Porque el paso a paso avanza una distancia conocida por cada pulso y además sostiene la posición cuando está detenido, de modo que posiciona sin necesidad de sensores. Un motor de corriente continua solo permite regular velocidad y sentido: para posicionar necesitaría un encoder y un lazo de control. Si hubiera que garantizar la posición, se añadiría precisamente un encoder.
- 18) (i) Contar los pasos que se dan durante la búsqueda de origen y detener la rutina con aviso de falla si se supera el recorrido máximo del eje. Tal como está, si el final de carrera se daña el bucle no termina nunca.
- 18) (ii) Condicionar la apertura de la válvula a que la búsqueda de origen haya terminado bien y a que el conteo de pasos corresponda a la posición de trabajo. Que el bucle de pasos haya terminado no prueba que la mesa se haya movido.
- 19) Tres cualesquiera, con su mejora (2 pts cada par). El final de carrera se lee sin filtrar y el contacto rebota, así que el origen puede quedar corrido: conviene confirmar la lectura antes de darla por buena. El eje trabaja en lazo abierto, de modo que una pérdida de pasos desplaza todo sin aviso: conviene añadir un encoder. La válvula se acciona directamente desde el pin, que no puede dar esa corriente: hay que usar un transistor o un módulo de relé. También vale señalar que la mesa nunca regresa, que no hay paro de emergencia o que el programa queda bloqueado mientras da los pasos.

Parte V — Sensores y actuadores (5 pts c/u)

- 20) Encoder incremental: entrega pulsos, o sea desplazamiento relativo; al cortarse la energía pierde la referencia y hay que buscar el origen; se elige por precio y resolución. Encoder absoluto: entrega un valor distinto para cada posición; conserva la posición tras el corte; se elige cuando buscar el origen es incómodo o peligroso. Potenciómetro: entrega una tensión proporcional al ángulo y también conserva la posición; se elige por sencillez y bajo costo, aceptando que se desgasta.
- 21) Ventajas del neumático: da mucha fuerza con poco peso y es sencillo y barato, y aguanta golpes y sobrecargas sin dañarse. Desventajas: necesita toda una red de aire comprimido y es ruidoso, y como el aire se comprime resulta difícil controlar posiciones intermedias, así que en la práctica trabaja entre dos toques.
- 22) Por dos razones: la bobina consume más corriente de la que un pin puede dar, y al cortar la corriente genera un pico de tensión que daña la electrónica. Entre el pin y la bobina se pone un transistor, que es el que maneja la corriente, y en paralelo con la bobina un diodo, que da salida a ese pico. También puede usarse un módulo de relé, que ya trae todo eso.

Para saber más (no se exige en el examen): ese diodo se llama diodo volante o de libre circulación, y el pico aparece porque la bobina se opone a que la corriente cese bruscamente.

Fuentes del contenido

- Matarić, M. J. (2007). The Robotics Primer. MIT Press. Capítulos 4 (efectores, actuadores y grados de libertad), 7 y 8 (sensores).
- Correll, N., Hayes, B., Heckman, C. y Roncone, A. Introduction to Autonomous Robots. Capítulos de sensado, acondicionamiento y actuación.
- Angeles, J. Fundamentals of Robotic Mechanical Systems. Capítulo 1: pares cinemáticos, cadenas abiertas y cerradas, grados de libertad y arquitecturas de manipuladores.
- Arduino. Referencia oficial del lenguaje, funciones analogRead() y analogWrite(): 10 bits en la lectura (0–1023) y 8 bits en la escritura (0–255). <https://www.arduino.cc/reference/en/>
- Microchip. Hoja de datos del ATmega328P, características eléctricas: corriente máxima por pin de E/S.