

UNIVERSIDAD METROPOLITANA

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

ROBÓTICA INDUSTRIAL — FPTEN27

MODELO DE PRÁCTICA A

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.

- Un manipulador cuyas dos primeras articulaciones son rotacionales con ejes verticales paralelos, y cuya tercera es prismática vertical, corresponde a la configuración:
a) Cartesiana. b) SCARA. c) Esférica o polar. d) Antropomórfica.
- En un Arduino UNO, la función `analogRead()` devuelve un número entero en el rango:
a) 0 a 1023, porque el convertidor analógico-digital es de 10 bits.
b) 0 a 255, porque el convertidor analógico-digital es de 8 bits.
c) 0 a 4095, porque el convertidor analógico-digital es de 12 bits.
d) 0 a 5, porque la tensión de referencia es de 5 V.
- Un sensor de proximidad inductivo:
a) Detecta sin contacto cualquier objeto sólido, sea metálico o no.
b) Detecta únicamente objetos metálicos, a partir de las corrientes inducidas que su campo genera en el material.
c) Requiere contacto físico con la pieza para conmutar su salida.
d) Determina la distancia midiendo el tiempo de vuelo de un pulso sonoro.
- En el accionamiento de un motor de corriente continua, la función del puente H es:
a) Convertir la señal PWM en una señal analógica verdadera.
b) Reducir la velocidad de salida del motor mediante un tren de engranajes.
c) Permitir invertir la polaridad aplicada al motor y, con ello, su sentido de giro.
d) Medir la corriente consumida por el motor para protegerlo.

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.

- Un encoder incremental conserva el valor de la posición del eje después de un corte de energía, por lo que la máquina no necesita una rutina de búsqueda de origen al encender. (4 pts)
- Un microcontrolador integra en un mismo encapsulado la unidad de procesamiento, la memoria y los periféricos de entrada/salida, mientras que una plataforma basada en microprocesador requiere esos bloques como circuitos externos. (4 pts)
- Los grados de libertad de un manipulador coinciden siempre con el número de eslabones que forman su cadena cinemática. (4 pts)

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

Enunciado común a las preguntas 8 a 11. Una planta de manufactura instala un manipulador sobre una banda transportadora para tomar piezas y depositarlas en cajas. El manipulador tiene base fija y la siguiente cadena, enumerada desde la base: una primera articulación rotacional de eje vertical; una segunda articulación rotacional cuyo eje es vertical y paralelo al anterior; una tercera articulación prismática que desplaza la herramienta verticalmente; y una cuarta articulación rotacional de eje vertical que orienta la pinza.

8. Identifique la configuración del manipulador y escríbala en notación de pares cinemáticos (R para rotacional, P para prismática), ordenada desde la base. Justifique a partir de la disposición de los ejes. (4 pts)
9. ¿Cuántos grados de libertad tiene el manipulador? Indique si puede alcanzar cualquier posición y cualquier orientación dentro de su espacio de trabajo, y explique su respuesta. (4 pts)
10. Describa cualitativamente la forma del volumen de trabajo de este manipulador e indique qué parámetros mecánicos lo determinan. (4 pts)
11. Clasifique la cadena cinemática del manipulador como abierta o cerrada. Mencione una ventaja y una desventaja de esa arquitectura frente a un robot paralelo tipo delta para esta misma estación. (4 pts)

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

12. Un sensor de presión de 0 a 10 bar entrega una salida de tensión lineal entre 0,5 V y 4,5 V. Se conecta a una entrada analógica de un Arduino UNO, cuyo convertidor A/D es de 10 bits con tensión de referencia de 5 V. (6 pts)
 - a) ¿Cuál es la resolución del convertidor, expresada en milivoltios por nivel? (2 pts)
 - b) ¿Cuántos niveles del convertidor se aprovechan realmente con este sensor? (2 pts)
 - c) ¿A cuántos bar equivale un nivel del convertidor? (2 pts)
13. El motor de la banda se acciona con la instrucción `analogWrite(pinMotor, 64)` sobre una alimentación de 5 V. (5 pts)
 - a) ¿Qué ciclo útil representa y cuál es el valor medio de tensión que ve el motor? (3 pts)
 - b) ¿Puede afirmarse que esa salida es una señal analógica? Justifique. (2 pts)
14. La estación necesita, por un lado, leer sensores y conmutar salidas con tiempos de respuesta del orden de milisegundos y, por otro, incorporar más adelante inspección por cámara. Indique qué tipo de plataforma de cómputo asignaría a cada función y justifique con un criterio técnico. (4 pts)

PARTE IV — Ejercicio integrador aplicado (30 puntos)

Escenario. En una estación de clasificación, las piezas avanzan sobre una banda movida por un motor de corriente continua a través de un puente H. Una barrera óptica detecta la llegada de la pieza a la zona de inspección. Un sensor de proximidad inductivo determina si la pieza es metálica. Una compuerta accionada por un servomotor desvía las piezas metálicas hacia un contenedor lateral; las no metálicas siguen de largo. El sistema está gobernado por un Arduino UNO con el siguiente programa.

```
#include <Servo.h>
Servo compuerta;
const int BARRERA = 2;    // sensor optico de presencia
const int INDUCT = 3;     // sensor inductivo
const int MOTOR_EN = 9;   // habilitacion del puente H
const int MOTOR_D = 7;    // direccion del puente H

void setup() {
  pinMode(BARRERA, INPUT_PULLUP);
  pinMode(INDUCT, INPUT_PULLUP);
  pinMode(MOTOR_D, OUTPUT);
  compuerta.attach(6);
  digitalWrite(MOTOR_D, HIGH);
  analogWrite(MOTOR_EN, 150);
  compuerta.write(0);
}

void loop() {
  if (digitalRead(BARRERA) == LOW) {
    delay(120);
    if (digitalRead(INDUCT) == LOW) {
      compuerta.write(60);
    } else {
      compuerta.write(0);
    }
  }
}
```

```
}  
  delay(500);  
}  
}
```

15. Explique en sus palabras qué hace el programa, desde que arranca hasta que clasifica una pieza. Indique además, para cada uno de los cinco pines utilizados, el tipo de señal (digital, analógica o PWM) y el sentido (entrada o salida). **(6 pts)**
16. Justifique por qué el sensor inductivo es la elección correcta para distinguir piezas metálicas, frente a un sensor capacitivo y frente a uno óptico. **(6 pts)**
17. La compuerta debe pasar de 0° a 60° en aproximadamente 0,2 s y mantener esa posición mientras la pieza la empuja. Compare servomotor, solenoide y motor paso a paso para esa función y justifique cuál es la elección adecuada. **(6 pts)**
18. Describa en palabras, sin escribir código, qué modificaría en la lógica del programa para que: (i) la banda se detenga si transcurren 30 segundos sin que pase ninguna pieza; y (ii) el programa no quede bloqueado mientras espera. **(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 las tres tecnologías de sensado de proximidad siguientes, indicando para cada una su principio físico, un caso donde conviene usarla y una limitación: inductivo, capacitivo y ultrasónico. **(5 pts)**
21. Explique la diferencia entre un motor paso a paso y un servomotor en términos de lazo abierto y lazo cerrado, e indique qué ocurre si el motor paso a paso se sobrecarga durante el movimiento. **(5 pts)**
22. Se decide usar un potenciómetro lineal como sensor de posición de la compuerta. Describa cómo se conecta al Arduino y por qué su salida es apta para una entrada analógica. Indique además qué problema introduce un cable de señal largo y cómo lo mitigaría. **(5 pts)**

SOLUCIONARIO — MODELO DE PRÁCTICA A

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) **b.** SCARA: dos articulaciones rotacionales de eje vertical paralelo más una prismática vertical.
- 2) **a.** El convertidor del Arduino UNO es de 10 bits, así que entrega valores de 0 a 1023.
- 3) **b.** El sensor inductivo solo reacciona ante materiales metálicos.

Para saber más (no se exige en el examen): lo detecta porque su campo magnético induce corrientes parásitas en el metal, llamadas corrientes de Foucault.

- 4) **c.** El puente H invierte la polaridad aplicada al motor y con ella el sentido de giro. El PWM controla la velocidad; el puente H, el sentido.

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

- 5) **FALSO.** El encoder incremental solo cuenta pulsos de desplazamiento: al cortarse la energía pierde la cuenta y hay que volver a buscar el origen. El que conserva la posición es el encoder absoluto.
- 6) **VERDADERO.** No requiere justificación.
- 7) **FALSO.** Los grados de libertad son el número de articulaciones que se pueden mover de forma independiente, no el número de eslabones.

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

- 8) SCARA, notación RRPR. Los dos primeros ejes son rotacionales y verticales paralelos, de modo que el brazo se mueve en el plano horizontal; la prismática sube y baja la herramienta y la última rotacional orienta la pinza. (2 pts la identificación + 2 pts la justificación.)
- 9) 4 GDL. Alcanza cualquier posición dentro de su volumen de trabajo, pero solo puede orientar la pinza girándola alrededor del eje vertical. Para posición y orientación libres harían falta 6 GDL.
- 10) Es la figura que barren los dos brazos en el plano horizontal (una corona o riñón), con la altura que le da la carrera de la articulación prismática. Depende de la longitud de los dos eslabones, de los límites de giro y de esa carrera.
- 11) Cadena abierta. Ventaja: más volumen de trabajo para el mismo tamaño de robot y cinemática más sencilla. Desventaja: menos rigidez, y el error de cada articulación se suma hacia el extremo.

Parte III — Señales de E/S y microcontroladores

- 12) **a)** $5\text{ V} \div 1024 = 4,88\text{ mV}$ por nivel.
- 12) **b)** El sensor recorre $4,5 - 0,5 = 4,0\text{ V}$. Entonces $4,0\text{ V} \div 4,88\text{ mV} \approx 819$ niveles, un 80 % de la escala.
- 12) **c)** $10\text{ bar} \div 819 \approx 0,012\text{ bar}$ por nivel, es decir unos 12 mbar.
- 13) **a)** 64 de 255 es un 25 % de ciclo útil, así que el valor medio es $0,25 \times 5\text{ V} \approx 1,25\text{ V}$.
- 13) **b)** No. Es una señal digital que conmuta entre 0 V y 5 V; el motor percibe el promedio porque no alcanza a seguir la conmutación. Una salida analógica de verdad necesita un DAC.

Para saber más (no se exige en el examen): en la mayoría de los pines del UNO esa conmutación ocurre a unos 490 Hz.

- 14) Un microcontrolador para el control de la estación, porque responde de inmediato, no depende de un sistema operativo y ya trae las entradas y salidas necesarias. Un microprocesador, tipo Raspberry Pi, para la cámara, porque procesar imágenes exige sistema operativo y capacidad de cálculo. Lo habitual es usar los dos juntos.

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

- 15) Al arrancar pone la banda en marcha y la compuerta en 0° . Luego espera a que la barrera detecte una pieza; cuando eso ocurre espera 120 ms a que la pieza quede frente al sensor inductivo y lo consulta: si es metálica mueve la compuerta a 60° para desviarla, y si no, la deja en 0° . Después espera 500 ms para no procesar dos veces la misma pieza. Pines: barrera e inductivo son entradas digitales; MOTOR_EN es salida PWM; MOTOR_D es salida digital; el servo es salida digital por ancho de pulso. (3 pts la explicación + 3 pts los pines.)
- 16) Porque el inductivo solo detecta metal, que es justo lo que se quiere separar. El capacitivo detecta casi cualquier material, así que se activaría también con las piezas plásticas. El óptico detecta que hay una pieza, pero no de qué está hecha.

- 17) El servomotor. Llega a un ángulo concreto, lo sostiene mientras la pieza lo empuja y se maneja con un solo pin. El solenoide solo tiene dos posiciones y no permite ángulos intermedios. El paso a paso funcionaría, pero necesita driver y búsqueda de origen para un movimiento que va entre dos posiciones fijas.
- 18) (i) Guardar con `millis()` el momento de la última pieza detectada y, si pasan 30 segundos sin detectar ninguna, apagar la banda con `analogWrite(MOTOR_EN, 0)`.
- 18) (ii) Sustituir los `delay()` por esperas con `millis()`, porque `delay()` congela el programa: durante esos 120 ms y esos 500 ms no se lee ningún sensor ni se puede atender un paro de emergencia.
- 19) Tres cualesquiera, con su mejora (2 pts cada par). Las esperas fijas de 120 ms y 500 ms suponen que la banda siempre va a la misma velocidad: conviene sincronizar con un sensor en la posición de inspección. Los sensores se leen sin filtrar, de modo que un rebote o algo de ruido puede contar una pieza dos veces: conviene confirmar la lectura antes de darla por buena. El motor va en lazo abierto con PWM fijo, así que pierde velocidad al aumentar la carga: conviene medir la velocidad real con un encoder. También vale señalar que no hay paro de emergencia ni detección de atasco.

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

- 20) Inductivo: campo magnético; sirve para detectar metal incluso con polvo o grasa; solo detecta metales y su alcance es corto. Capacitivo: campo eléctrico; sirve para plásticos, líquidos o granos, incluso a través de una pared delgada; detecta casi todo, así que no discrimina materiales. Ultrasónico: eco de un pulso de sonido; sirve para medir distancias de centímetros a metros sin contacto; falla con superficies blandas o inclinadas.
- 21) El paso a paso trabaja en lazo abierto: avanza un paso por cada pulso y nadie verifica que se haya movido. El servomotor trabaja en lazo cerrado: mide su propia posición y corrige el error. Si el paso a paso se sobrecarga, pierde pasos sin avisar y todas las posiciones siguientes quedan desplazadas.
- 22) Se conecta como divisor de tensión: un extremo a 5 V, el otro a GND y el cursor a una entrada analógica. Su salida es una tensión entre 0 V y 5 V proporcional al ángulo, que es exactamente el rango que admite el convertidor. Un cable largo capta ruido eléctrico; se mitiga con cable apantallado y promediando varias lecturas.

Para saber más (no se exige en el examen): también ayuda un filtro RC junto al pin o un amplificador operacional como seguidor para bajar la impedancia de la señal.

Fuentes del contenido

- Matarić, M. J. (2007). The Robotics Primer. MIT Press. Capítulos 4 (efectores y actuadores, grados de libertad), 7 y 8 (sensores y sensores simples).
- Correll, N., Hayes, B., Heckman, C. y Roncone, A. Introduction to Autonomous Robots. Capítulos de locomoción, sensado y acondicionamiento de señal.
- Angeles, J. Fundamentals of Robotic Mechanical Systems. Capítulo 1: cadenas cinemáticas abiertas y cerradas, pares cinemáticos y grados de libertad.
- Arduino. Referencia oficial del lenguaje, funciones `analogRead()` y `analogWrite()`: 10 bits en la lectura (0–1023), 8 bits en la escritura (0–255) y PWM de aproximadamente 490 Hz en la mayoría de los pines del UNO. <https://www.arduino.cc/reference/en/>