

# Contenido

Plataforma de contenidos interactivos	XIX
---------------------------------------	-----

Página Web del libro	XX
----------------------	----

Prólogo	XXV
---------	-----

Capítulo 1 Robótica	1
------------------------	---

1.1 Introducción	3
------------------	---

 Cirugía robotizada	7
---	---

1.2 Tipos de robots	9
---------------------	---

1.2.1 Robots móviles	9
----------------------	---

 Robots móviles	9
--	---

1.2.2 Robots humanoides	10
-------------------------	----

 Robots humanoides	11
---	----

1.2.3 Robots industriales	12
---------------------------	----


 Componentes de un robot	16
---	----

1.3 Control de robots manipuladores	17
-------------------------------------	----




1.4 Tecnología de robots	19
--------------------------	----


 Sistema de engranes	20
---	----

 Servomotores de transmisión directa	21
---	----



1.5 Estadísticas de robótica	23
1.6 Historia de la robótica	26
 Contribuciones de Leonardo	28
1.7 Sociedades científicas de robótica	33
1.8 Resumen	37
1.9 Referencias selectas	38
1.10 Problemas propuestos	42




<b>Capítulo 2</b> <b>Servomotores y sensores</b>	<b>45</b>
---	-----------

2.1 Introducción	47
2.2 Servomotores	49
2.2.1 Principios básicos de motores eléctricos	53
 Sistemas de engranaje	56
2.2.2 Servomotores de transmisión directa	58
 Tecnología de transmisión directa	58
 Programación de robots manipuladores	62
2.3 Sensores	69
2.3.1 Resolvers	70
2.3.2 Potenciómetros	71
2.3.3 Tacómetro	72
2.4 Encoders	73
2.4.1 Encoder incremental	77
2.4.2 Encoder Absoluto	80

2.4.3	Encoder magnético	83
2.4.4	Aspectos importantes de los encoders	85
2.4.5	Construcción de un encoder incremental	87
	Encoder incremental	88
2.4.6	Glosario para encoders	89
2.5	Resumen	90
2.6	Referencias selectas	92
2.7	Problemas propuestos	94

<b>Capítulo 3</b> <b>Preliminares matemáticos</b>	<b>97</b>
--	-----------


3.1	Introducción	99
3.2	Vectores	100
3.2.1	Operaciones entre vectores	102
3.2.2	Norma euclidiana	105
3.3	Matrices	106
3.3.1	Matrices especiales	108
3.3.2	Operaciones de matrices	109
	Operaciones con matrices	109
	Producto de matrices	112
3.3.3	Norma espectral	126
3.4	Funciones definidas positivas	128
3.4.1	Derivadas parciales de funciones de energía	137
3.5	Sistemas dinámicos	144

3.5.1 Puntos de equilibrio	148
3.6 Teoría de estabilidad de Lyapunov	150
3.6.1 Estabilidad en el sentido de Lyapunov	152
3.6.2 Función candidata de Lyapunov	157
3.6.3 Método directo de Lyapunov	158
 Simulación de sistemas dinámicos	166
 Sistema dinámico no lineal	174
 Péndulo	182
3.6.4 Principio de invariancia de Lasalle	183
3.7 Norma $\mathcal{L}$	186
3.7.1 Relación entre $\mathcal{L}$ y estabilidad de Lyapunov	189
3.8 Resumen	192
3.9 Referencias selectas	194
3.10 Problemas propuestos	197

## Capítulo 4

### Cinemática de robots manipuladores




201

4.1 Introducción	203
4.2 Morfología del robot	203
4.3 Transformaciones homogéneas	208
 Transformaciones homogéneas	209
4.4 Cinemática	210
4.4.1 Convención Denavit-Hartenberg	212
4.4.2 Selección de sistemas de referencia	214


4.4.3 Algoritmo Denavit-Hartenberg	217
4.4.4 Cinemática diferencial	218
4.5 Tipos de robots industriales	221
4.5.1 Robot antropomórfico (RRR)	231
4.5.2 Configuración SCARA (RRP)	236
4.5.3 Configuración esférica (RRP)	238
4.5.4 Configuración cilíndrica (RPP)	241
4.5.5 Configuración cartesiana (RRR)	243
4.6 Resumen	245
4.7 Referencias selectas	246
4.8 Problemas propuestos	248









<b>Capítulo 5</b>	
<b>Dinámica de robots manipuladores</b>	<b>251</b>

5.1 Introducción	253
5.2 Ecuaciones de Euler-Lagrange	255
5.3 Modelo dinámico	257
5.3.1 Propiedades del modelo dinámico	259
5.3.2 Efecto inercial	259
5.3.3 Fuerzas centrípetas y de Coriolis	261
5.3.4 Par gravitaciona	262
5.3.5 Fenómeno de fricción	263
5.3.6 Linealidad en los parámetros	264
5.3.7 Modelo de energía	266
5.3.8 Modelo de potencia	267



5.3.9 Ejemplos de modelado dinámico	267
 Péndulo robot	275
 Robot de 2 gdl	286
5.4 Modelo dinámico cartesiano	287
5.4.1 Propiedades del modelo dinámico cartesiano	290
5.5 Identificación paramétrica	291
5.5.1 Mínimos cuadrados	293
5.5.2 Algoritmo recursivo de mínimos cuadrados	295
 Mínimos cuadrados	301
5.5.3 Modelo de regresión dinámico filtrado	302
5.5.4 Regresión lineal del modelo de energía	304
5.5.5 Modelo de regresión de la potencia filtrada	307
5.6 Robot experimental de 3 gdl	315
5.7 Resumen	322
5.8 Referencias selectas	323
5.9 Problemas propuestos	327

<b>Capítulo 6</b> <b>Control de posición de robots manipuladores</b>	<b>331</b>
---	------------

6.1 Introducción	333
6.2 Regulación	334
6.2.1 Control PD	336
6.2.2 Análisis cualitativo del control PD	342
 Control PD péndulo	343

 Videos del péndulo	346
 Simulador péndulo	352
 Robot 2 gdl PD	355
 Videos experimentales. Control PD de un péndulo	356
6.2.3 Control proporcional integral derivativo	357
 PID	358
6.3 Moldeo de energía	359
6.3.1 Control con acciones no acotadas	365
6.3.2 Control con acciones acotadas	376
6.3.3 Ejemplos de algoritmos de control de posición	390
6.4 Índice de desempeño	394
6.5 Aplicaciones de control de posición	404
6.5.1 Control cartesiano	404
6.5.2 Visual servoing	411
 Visual servoing	411
6.5.3 Control punto a punto	413
6.5.4 Programación de instrucciones robot	415
 Inteligencia artificial	415
6.5.5 Robótica industrial	419
 Programación FANUC	421
6.6 Resumen	423
6.7 Referencias selectas	424
6.8 Problemas propuestos	431





<b>Capítulo 7</b>	
<b>Control de trayectoria de robots manipuladores</b>	<b>437</b>

7.1	Introducción	439
7.2	Control PD +	443
7.2.1	Análisis de estabilidad asintótica PD+	446
7.3.	Moldeo de energía PD+	451
7.3.1	Ejemplos de control de trayectoria tipo PD+	456
7.4	Control par calculado	459
7.4.1	Moldeo de energía par calculado	460
7.5	Aspectos prácticos	464
	Esquemas de control de trayectoria	464
	Videos de robots manipuladores	465
7.6	Resumen	465
7.7	Referencias selectas	466
7.8	Problemas propuestos	469

<b>Capítulo 8</b>	
<b>Control de fuerza/impedancia</b>	<b>471</b>

8.1	Introducción	473
8.2	Sensores de fuerza/par	475
8.2.1	Transductor Nano17	476
8.2.2	Transductor Gamma	477





8.2.3 Transductor Omega250	477
8.3 Sistemas hápticos	479
8.4 Modelado del entorno	481
8.5 Control de fuerza	481
8.5.1 Control de fuerza con lazo interno de posición	482
8.5.2 Control de fuerza: lazo interno de velocidad	483
 Sistema robótico controlado por fuerza	484
8.6 Control híbrido de fuerza/posición	485
 Robot manipulador SCARA	487
8.7 Control de impedancia	488
8.7.1 Control de impedancia con base en par	490
 Robot cartesiano de 1 gdl	491
8.7.2 Control de impedancia con base en posición	491
8.7.3 Enfoque alternativo al control de impedancia	493
 Robot manipulador de 2 gdl	495
8.8 Aplicaciones	498
8.9 Resumen	503
8.10 Referencias selectas	504
8.11 Problemas propuestos	507

**Capítulo 9**

**Robótica móvil**

**509**

9.1 Introducción	511
9.2 Robots móviles	513

9.2.1 Descripción de un robot móvil con ruedas	513
9.2.2 Tipos de ruedas	515
9.3 Configuración de robots móviles	520
9.3.1 Configuración Ackerman	520
9.3.2 Configuración triciclo clásico	521
9.3.3 Direccionamiento diferencial	521
9.3.4 Configuración síncrona	522
9.3.5 Movilidad y direccionabilidad	523
9.4 Cinemática de robots móviles	526
9.5 Dinámica de robots móviles	529
9.6 Control de robots móviles	530
 Robot móvil tipo unicycle	533
9.6.1 Control por retroalimentación no lineal	536
 Robot móvil tipo (2,0)	539
9.7 Resumen	541
9.8 Referencias selectas	542
9.9 Problemas propuestos	544

**Índice analítico****547**