

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	III
AGRADECIMIENTOS	V
TABLA DE CONTENIDOS	V
LISTA DE TABLAS	IX
LISTA DE FIGURAS	X
ABREVIACIONES	X
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.2. ESTADO DEL ARTE.....	1
1.2.1. INTRODUCCIÓN A LA ROBÓTICA.....	1
1.2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS ROBOTS.....	2
1.2.3. ROBOTS INDUSTRIALES:	3
1.2.4. APLICACIONES DE ROBOTS INDUSTRIALES	7
1.2.5. MORFOLOGÍA DE LOS ROBOTS INDUSTRIALES	7
1.2.6. ELEMENTO TERMINAL	9
1.2.7. GRADOS DE LIBERTAD	11
1.2.8. ROBOT ANTROPOMÓRFICO	11
1.2.9. ACTUADORES.....	16
1.2.10. TIPOS DE TRAYECTORIAS.....	19
1.2.11. GENERACIÓN DE TRAYECTORIA	21
1.2.12. INTERPOLACIÓN DE TRAYECTORIAS	21
1.2.13. DISCUSIÓN	24
1.3. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	25
1.4. OBJETIVOS	26
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	26
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
1.5. ALCANCES	26
1.6. LIMITACIONES	26
1.7. METODOLOGÍA	27
1.7.1. ESTUDIO TEÓRICO DE LOS FUNDAMENTOS DE LA ROBÓTICA Y MECANISMOS	27
1.7.2. DISEÑO MECÁNICO Y SIMULACIÓN DE UN ROBOT ANTROPOMÓRFICO DE 6 GRADOS DE LIBERTAD.....	27
1.7.3. ESTUDIO TEÓRICO DE LA CINEMÁTICA Y DINÁMICA DEL MANIPULADOR	27
1.7.4. SIMULACIÓN DE LA CINEMÁTICA Y DINÁMICA DEL MANIPULADOR.....	28
1.7.5. SIMULACIÓN DEL MANIPULADOR EN SIMMECHANICS – MULTIBODY	28

1.7.6. ESTUDIO TEÓRICO PARA LA GENERACIÓN DE TRAYECTORIAS	28
1.7.7. SIMULACIÓN PARA LA GENERACIÓN DE TRAYECTORIAS EN UN ROBOT ANTROPOMÓRFICO DE 6 GDL	28
1.8. RESUMEN CAPÍTULO 1	29
CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN MATEMÁTICA DE UN ROBOT ANTROPOMÓRFICO DE 6 GRADOS DE LIBERTAD.....	30
2.1. INTRODUCCIÓN	30
2.2. CINEMÁTICA DIRECTA	30
2.2.1. ALGORITMO DE DENAVIT-HARTENBERG PARA LA OBTENCIÓN DEL MODELO CINEMÁTICO DIRECTO	31
2.2.2. ANÁLISIS DE CINEMÁTICA DIRECTA DE UN ROBOT ANTROPOMÓRFICO DE 6 GDL ..	32
2.3. CINEMÁTICA INVERSA	38
2.3.1. ANÁLISIS DE CINEMÁTICA INVERSA DE UN ROBOT ANTROPOMÓRFICO DE 6 GDL ..	38
2.4. DINÁMICA	48
2.4.1. ANÁLISIS DE LA DINÁMICA DE UN ROBOT ANTROPOMÓRFICO DE 6 GDL.....	48
2.4.2. ANÁLISIS DE LA DINÁMICA DE LOS ACTUADORES DE UN MANIPULADOR.....	50
2.5. RESUMEN CAPÍTULO 2	52
CAPÍTULO 3. DISEÑO DE UN ROBOT ANTROPOMÓRFICO DE 6 GRADOS DE LIBERTAD	53
3.1. INTRODUCCIÓN	53
3.2. CÁLCULO DE TORQUES	53
3.3. TRANSMISIONES DEL ROBOT	60
3.4. DISEÑO DE LA BASE.....	61
3.5. DISEÑO DE LA CADERA	63
3.6. DISEÑO DEL BRAZO	65
3.7. DISEÑO DEL ANTEBRAZO	67
3.8. DISEÑO MUÑECA.....	68
3.9. DISEÑO PINZA	68
3.10. ENSAMBLAJE FINAL	69
3.11. ANÁLISIS DE ESFUERZOS	70
3.12. COSTOS PARA IMPLEMENTAR EL MANIPULADOR	73
3.13. RESUMEN CAPÍTULO 3	76
CAPÍTULO 4. CONFIGURACIONES NECESARIAS PARA GENERAR UNA TRAYECTORIA EN UN ROBOT ANTROPOMÓRFICO DE 6 GRADOS DE LIBERTAD.....	77
4.1. INTRODUCCIÓN	77
4.2. COMUNICACIÓN DEL MODELO CAD CON MATLAB MEDIANTE SIMSCAPE MULTIBODY LINK.....	77

PASO 1: REALIZAR INSTALACIÓN DE LOS PROGRAMAS A UTILIZAR	78
PASO 2: DESCARGA DEL PLUGIN/ADDON	78
PASO 3: INSTALACIÓN DEL PLUGIN/ADDON EN MATLAB Y EN EL SOFTWARE DE CAD.	80
PASO 4: CAMBIAR “COMAS POR PUNTOS”	82
PASO 5: ABRIR EL DISEÑO MECÁNICO EN MATLAB.	82
4.3. LIBRERÍA DE PETER CORKE.....	83
4.4. INTEGRACIÓN DEL MODELO CAD DESDE INVENTOR HACIA MATLAB	84
4.4.1. CINEMÁTICA DIRECTA MEDIANTE LA LIBRERÍA DE PETER CORKE	89
4.4.2. CINEMÁTICA INVERSA MEDIANTE LA LIBRERÍA DE PETER CORKE	90
4.5. DINÁMICA	90
4.6. RESUMEN CAPÍTULO 4	91
CAPÍTULO 5. RESULTADOS SIMULACIONES	92
5.1. INTRODUCCIÓN	92
5.2. GENERACIÓN DE TRAYECTORIA.....	92
5.3. TORQUES	105
5.4. DISCUSIÓN	107
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES	109
6.1. INTRODUCCIÓN	109
6.2. CONCLUSIONES	109
6.3. TRABAJOS FUTUROS	111
BIBLIOGRAFÍA	112
ANEXOS	119
ANEXO A. PLANOS MECÁNICOS	119
ANEXO B. CÓDIGOS	135

Lista de tablas

TABLA 1.1 - TIPOS DE BRAZOS MANIPULADORES O INDUSTRIALES.	3
TABLA 2.1 – PARÁMETROS DE DENAVIT-HARTENBERG PARA UN MANIPULADOR DE 6 GDL	35
TABLA 3.1 – PARÁMETROS PARA LOS TORQUES.....	54
TABLA 3.2 – PARÁMETROS PARA LAS TRANSMISIONES	61
TABLA 3.3 – VALORES DE ACTUADORES Y TRANSMISIONES	73
TABLA 3.4 – COSTOS DE LAS PIEZAS DEL MANIPULADOR	73
TABLA 4.1 – CARACTERÍSTICAS SEGÚN CADA SOFTWARE CAD [40].....	78
TABLA 5.1 – VALORES INICIALES Y FINALES PARA LA SIMULACIÓN DE TRAYECTORIA	94

Lista de figuras

FIG. 1.1 – PORTADA DE LA OBRA DE TEATRO ROSSUM’S UNIVERSAL ROBOTS Y ESCENA DE UNA REPRESENTACIÓN [14].....	2
FIG. 1.2 – MANIPULADOR CARTESIANO [14].....	4
FIG. 1.3 – MANIPULADOR CILÍNDRICO [14].....	5
FIG. 1.4 – MANIPULADOR ESFÉRICO [14].....	5
FIG. 1.5 – MANIPULADOR SCARA [14].....	6
FIG. 1.6 – MANIPULADOR ANTROPOMÓRFICO [14].....	7
FIG. 1.7 – EJEMPLO DE DOS ESLABONES CON UNA ARTICULACIÓN [14].....	8
FIG. 1.8 – ELEMENTOS DE UN ROBOT MANIPULADOR [14].....	9
FIG. 1.9 – PINZA DE DOS DEDOS CON ACCIONAMIENTO NEUMÁTICO [18].....	10
FIG. 1.10 – VENTOSA PARA MANIPULACIÓN POR VACÍO [18].....	10
FIG. 1.11 – ANTORCHA DE SOLDADURA AL ARCO [18].....	10
FIG. 1.12 – EJEMPLO DE SISTEMA CON 1 Y 2 GDL [14].....	11
FIG. 1.13 – PRIMER ROBOT DE LA HISTORIA (UNIMATE) [14].....	12
FIG. 1.14 – STANFORD ARM [14].....	12
FIG. 1.15 – PRIMER ROBOT INDUSTRIAL DE KUKA, LLAMADO FAMULUS. [70].....	13
FIG. 1.16 – BRAZO ROBÓTICO DE ACCIONAMIENTO DIRECTO [14].....	13
FIG. 1.17 - ROBOT PUMA [18].....	14
FIG. 1.18 - ROBOT IRB6 DE LA FIRMA SUECA ASEA [18].....	15
FIG. 1.19 – MOTOR CC – 12 V.....	17
FIG. 1.20 – MOTOR PASO A PASO NEMA 17.....	18
FIG. 1.21 – SERVOMOTOR [45].....	19
FIG. 1.22 – POSICIÓN, VELOCIDAD Y ACELERACIÓN PARA UN INTERPOLADOR LINEAL [18].....	23
FIG. 2.1– CONCEPTO DE CINEMÁTICA DIRECTA E INVERSA [18].....	31
FIG. 2.2 – CONFIGURACIÓN DE UN ROBOT ANTROPOMÓRFICO CON PINZA [41].....	33
FIG. 2.3 – CONFIGURACIÓN DE ESLABONES Y ARTICULACIONES SEGÚN D-H.....	33
FIG. 2.4 – UBICACIÓN DE EJES EN CADA ARTICULACIÓN DEL MANIPULADOR SEGÚN D-H.....	34
FIG. 2.5 – CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE UN MANIPULADOR DE 6 GDL SEGÚN D-H.....	35
FIG. 2.6 – PROBLEMA CINEMÁTICO INVERSO PARA UN ROBOT ANTROPOMÓRFICO DE 6 GDL.....	40
FIG. 2.7 –DESACOPLAMIENTO CINEMÁTICO PARA UN ROBOT ANTROPOMÓRFICO DE 6 GDL.....	40
FIG. 2.8 –PROYECCIÓN DEL PROBLEMA CINEMÁTICO SOBRE EL PLANO ZR.....	41
FIG. 2.9 – RESULTADO DE LA PROYECCIÓN DEL PROBLEMA CINEMÁTICO SOBRE EL PLANO ZR.....	41
FIG. 2.10 – TRAZO DE LÍNEA RECTA H.....	42
FIG. 2.11 – TRIÁNGULO DEL CUAL SE OBTIENE EL VALOR DE θ_3	43
FIG. 2.12 – MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA DE EXCITACIÓN SEPARADA.....	51
FIG. 3.1 – PLANTEAMIENTO DE TORQUES QUE ACTÚAN EN EL ROBOT.....	54
FIG. 3.2 – DISTANCIAS ENTRE TORQUES.....	55
FIG. 3.3 – TORQUE EN EL PUNTO A.....	56
FIG. 3.4 – TORQUE EN EL PUNTO B.....	57

FIG. 3.5 – TORQUE EN EL PUNTO C	58
FIG. 3.6 – TORQUE EN EL PUNTO D.....	59
FIG. 3.7 – PLANTEAMIENTO PARA LAS RELACIONES DE TRANSMISIÓN.....	60
FIG. 3.8 – ENSAMBLAJE DE LA BASE.....	62
FIG. 3.9 – ENSAMBLAJE ACTUADOR A LA BASE.....	62
FIG. 3.10 – TRANSMISIÓN EN LA BASE DEL MANIPULADOR.....	63
FIG. 3.11 – ENSAMBLAJE DE CADERA VISTA PRINCIPAL.....	64
FIG. 3.12 – TRANSMISIÓN DE LA CADERA.....	64
FIG. 3.13 – ENSAMBLAJE DE CADERA VISTA FRONTAL.....	65
FIG. 3.14 – ENSAMBLAJE DEL BRAZO VISTA PRINCIPAL.....	65
FIG. 3.15 – ENSAMBLAJE DEL BRAZO CON SU TRANSMISIÓN.....	66
FIG. 3.16 – ENSAMBLAJE DE PERNOS EN EL BRAZO, PARTE A.....	66
FIG. 3.17 – ENSAMBLAJE DE PERNOS EN EL BRAZO, PARTE B.....	66
FIG. 3.18 – ENSAMBLAJE DEL ANTEBRAZO.....	67
FIG. 3.19 – ENSAMBLAJE DEL ANTEBRAZO CON TRANSMISIÓN.....	67
FIG. 3.20 – ENSAMBLAJE MUÑECA.....	68
FIG. 3.21 – ENSAMBLAJE PINZA.....	68
FIG. 3.22 – ENSAMBLAJE ROBOT ANTROPOMÓRFICO DE 6 GDL, VISTA FRONTAL.....	69
FIG. 3.23 – ENSAMBLAJE ROBOT ANTROPOMÓRFICO DE 6 GDL VISTA SUPERIOR.....	69
FIG. 3.24 – ENSAMBLAJE FINAL ROBOT ANTROPOMÓRFICO DE 6 GDL.....	70
.....	70
FIG. 3.25 – TENSIÓN DE VON MISES AL APLICAR CARGA MÁXIMA SOBRE LA PINZA.....	71
FIG. 3.26 – TENSIÓN DE VON MISES AL APLICAR CARGA MÁXIMA SOBRE LA MUÑECA.....	71
FIG. 3.26 - DESPLAZAMIENTO DEL MANIPULADOR AL APLICAR CARGA MÁXIMA SOBRE LA PINZA.....	72
FIG. 3.27 – DESPLAZAMIENTO DEL MANIPULADOR AL APLICAR CARGA MÁXIMA SOBRE LA MUÑECA.....	72
FIG. 3.29 – ESTIMACIÓN DE COSTOS DE LA CADERA EN EL SOFTWARE CURA.....	75
FIG. 3.30 – ESTIMACIÓN DE COSTOS UNA PARTE DE LA BASE EN EL SOFTWARE CURA (50% DE RELLENO).....	75
FIG. 4.1 – ESPACIO EN BLANCO PARA INTRODUCIR EL CORREO QUE TIENEN LICENCIA DE MATLAB [40].....	79
FIG. 4.2 – EJEMPLO DE CORREO INSTITUCIONAL QUE TIENE LICENCIA DE MATLAB [40].....	79
FIG. 4.3 – ARCHIVOS SELECCIONADOS PARA ESTE TUTORIAL [40].....	80
FIG. 4.4 – CARPETA DE UBICACIÓN DE ARCHIVOS.....	80
FIG. 4.5 – COMANDOS A EJECUTAR PARA LA INSTALACIÓN DEL PLUGIN.....	81
FIG. 4.6 – MENSAJE DE INSTALACIÓN COMPLETADA Y REVISIÓN DE DOCUMENTACIÓN.....	81
FIG. 4.7 – COMANDO FINAL PARA CONECTAR CON INVENTOR.....	81
FIG. 4.8 – COMPROBACIÓN DEL VÍNCULO DE COMUNICACIÓN.....	82
FIG. 4.9 – COMPLEMENTO PARA EXPORTAR EL DISEÑO CAD A MATLAB.....	83
FIG-4.10 – CURRENT FOLDER DONDE DEBEN ESTAR LOS ARCHIVOS CREADOS POR INVENTOR EN MATLAB.....	83
FIG. 4.11 – ARCHIVO PARA LA INSTALACIÓN DE LIBRERÍA DE PETER COORKE [64].....	83
FIG. 4.12 – DISEÑO MECÁNICO CREADO EN INVENTOR EXPORTADO A MATLAB.....	84
FIG. 4.13 – BLOQUES GENERADOS EN SIMSCAPE MULTIBODY EN MATLAB.....	84
FIG. 4.14 – ROBOT ANTROPOMÓRFICO DISEÑADO EN EL ENTORNO DE SIMULACIÓN.....	85
FIG. 4.15 – CONFIGURACIÓN DE LA ACTUACIÓN DE CADA ARTICULACIÓN.....	86

FIG. 4.16 – CONFIGURACIÓN PARA SENSAR LAS VARIABLES.....	86
FIG. 4.17 – CONFIGURACIÓN DEL CONVERTIDOR EN RADIANES.....	87
FIG. 4.18 – CONFIGURACIONES IMPORTANTES PARA QUE FUNCIONE LA SIMULACIÓN.....	88
FIG. 4.19 – TRANSFORMACIÓN DE GRADOS A RADIANES.....	88
FIG. 4.20 – ENTRADA DE DATOS AL MANIPULADOR.....	89
FIG. 4.21 – SIMULACIÓN CINEMÁTICA DIRECTA CON LIBRERÍA DE PETER CORKE.....	90
FIG. 5.1 – DIAGRAMA DE BLOQUES PARA UN GENERADOR DE TRAYECTORIA [18].....	93
FIG. 5.2 – MOVIMIENTO DE LA ARTICULACIÓN 1.....	95
FIG. 5.3 – MOVIMIENTO DE LA ARTICULACIÓN 2.....	95
FIG. 5.4 – MOVIMIENTO DE LA ARTICULACIÓN 3.....	96
FIG. 5.5 – MOVIMIENTO DE LA ARTICULACIÓN 4.....	96
FIG. 5.6 – MOVIMIENTO DE LA ARTICULACIÓN 5.....	97
FIG. 5.7 – TRAYECTORIA PICK AND PLACE ARTICULACIÓN 1.....	98
FIG. 5.8 – TRAYECTORIA PICK AND PLACE ARTICULACIÓN 2.....	98
FIG. 5.9 – TRAYECTORIA PICK AND PLACE ARTICULACIÓN 3.....	99
FIG. 5.10 – TRAYECTORIA PICK AND PLACE ARTICULACIÓN 4.....	99
FIG. 5.11 – TRAYECTORIA PICK AND PLACE ARTICULACIÓN 5.....	100
FIG. 5.12 – POSICIÓN INICIAL DEL MANIPULADOR.....	101
FIG. 5.13 – POSICIÓN DEL MANIPULADOR TRANSCURRIDOS 2.5 [S].....	101
FIG. 5.14 – POSICIÓN FINAL DEL MANIPULADOR.....	102
FIG. 5.15 – POSICIÓN DEL MANIPULADOR TRANSCURRIDOS 8 [S].....	102
FIG. 5.16 – POSICIÓN DEL MANIPULADOR TRANSCURRIDOS 10 [S] (REGRESO A POSICIÓN INICIAL).....	103
FIG. 5.17 – POSICIÓN DE TRAYECTORIA PICK AND PLACE ARTICULACIÓN 1 EN SIMSCAPE MULTIBODY.....	103
FIG. 5.18 – VELOCIDAD DE TRAYECTORIA PICK AND PLACE ARTICULACIÓN 1 EN SIMSCAPE MULTIBODY.....	104
FIG. 5.19 – ACELERACIÓN DE TRAYECTORIA PICK AND PLACE ARTICULACIÓN 1 EN SIMSCAPE MULTIBODY.....	104
.....	104
FIG. 5.20 – TORQUE PARA LA ARTICULACIÓN 2.....	105
FIG. 5.21 – TORQUE PARA LA ARTICULACIÓN 3.....	106
FIG. 5.22 – TORQUE PARA LA ARTICULACIÓN 4.....	106
FIG. 5.23 – TORQUE PARA LA ARTICULACIÓN 5.....	106