

# Índice general

<b>Resumen</b>	<b>I</b>
<b>Abstract</b>	<b>III</b>
<b>Resum</b>	<b>V</b>
	<b>VII</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>XI</b>
<b>Nomenclatura</b>	<b>XIII</b>
<b>Índice general</b>	<b>XVII</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación . . . . .	1
1.2. Antecedentes . . . . .	5
1.2.1. Modelo Dinámico . . . . .	5
1.2.2. Parámetros Base . . . . .	8
1.2.3. Diseño de Experimentos . . . . .	9
1.2.4. Procedimiento de Estimación . . . . .	12
1.2.5. Factibilidad Física . . . . .	14
1.2.6. Simplificación del Modelo . . . . .	15
1.3. Objetivos . . . . .	17
1.4. Organización de la Tesis . . . . .	18
<b>2. Modelado de Robots Paralelos</b>	<b>19</b>
2.1. Modelado cinemático de robots paralelos . . . . .	20
2.1.1. Sistemas de coordenadas . . . . .	20
2.1.2. Cinemática inversa y directa . . . . .	24

2.1.3. Formulación de la cinemática directa . . . . .	26
2.2. Modelo Dinámico de Sólido Rígido . . . . .	30
2.3. Modelado de la Fricción en los Pares de los Robots . . . . .	33
2.4. Modelado de los elementos activos . . . . .	37
2.5. Modelo Dinámico Utilizado en la Identificación de Parámetros . . . . .	38
2.6. Modelo canónico . . . . .	40
2.6.1. Modelo en forma lineal de un robots serial de 2-GDL . . . . .	40
2.6.2. Parámetros Base Obtenidos Mediante Álgebra Lineal . . . . .	42
2.7. Resumen . . . . .	45
<b>3. Diseño de Experimentos</b>	<b>47</b>
3.1. Criterios para Obtener Trayectorias Óptimas . . . . .	48
3.2. Trayectorias Optimas Mediante Técnicas Multicriterio . . . . .	53
3.3. Parametrización de la Trayectoria . . . . .	54
3.4. Restricciones . . . . .	57
3.4.1. Restricciones en los Actuadores . . . . .	58
3.4.2. Restricciones debido a Pares Esféricos . . . . .	59
3.4.3. Restricciones por el Espacio de Trabajo . . . . .	61
3.4.4. Restricciones debido a la Estimación Inicial de la Trayectoria . . . . .	62
3.5. Ejemplos de Trayectorias Óptimas . . . . .	63
3.5.1. Determinación del Número de puntos de la trayectoria . . . . .	64
3.5.2. Trayectorias Óptimas para un Robot Paralelo 3-RPS . . . . .	65
3.5.3. Trayectorias Óptimas para un Robot Paralelo 3-PRS . . . . .	69
3.6. Adquisición de Datos y Procesamiento . . . . .	71
3.6.1. Mediciones . . . . .	71
3.6.2. Procesamiento de Datos . . . . .	72
3.7. Resumen . . . . .	73
<b>4. Casos de Estudio: Robots Paralelos de 3-GDL</b>	<b>75</b>
4.1. Métodos y Ensayos . . . . .	76
4.1.1. Análisis de la Desviación Estándar . . . . .	78
4.1.2. Factibilidad Física . . . . .	79
4.1.3. Verificación de la Identificación . . . . .	80
4.2. Identificabilidad de los Parámetros Dinámicos Robot 3-RPS . . . . .	80
4.2.1. Resultados Robot 3-RPS Simulado . . . . .	86
4.2.2. Resultados Robot 3-RPS Real . . . . .	91
4.3. Conjuntos de Parámetros Base . . . . .	93
4.4. Resumen . . . . .	99

<b>5. Obtención del Conjunto de Parámetros Significativos</b>	<b>101</b>
5.1. Procedimiento para Identificación . . . . .	103
5.2. Valores a Priori de los Parámetros . . . . .	104
5.2.1. Fricción Juntas Prismáticas . . . . .	104
5.3. Conjuntos Base . . . . .	106
5.4. Caracterización de los Parámetros Dinámicos . . . . .	107
5.5. Verificación de la Factibilidad . . . . .	109
5.6. Estimación de los Parámetros Base . . . . .	111
5.7. Simplificación del Modelo . . . . .	113
5.7.1. Reducción del Modelo por Análisis de la Desviación Estándar . . . . .	113
5.8. Validación . . . . .	114
5.9. Aplicación al Robot Paralelo 3-RPS . . . . .	114
5.9.1. Diseño del Experimento . . . . .	115
5.9.2. Ecuaciones de Factibilidad . . . . .	116
5.9.3. Estimación de los Parámetros de Modelo . . . . .	117
5.9.4. Validación del Modelo . . . . .	119
5.9.5. Fricción no Lineal en Pares Prismáticos . . . . .	121
5.10. Aplicación al Robot Paralelo 3-PRS . . . . .	123
5.10.1. Diseño del Experimento . . . . .	123
5.10.2. Ecuaciones de Factibilidad . . . . .	124
5.10.3. Estimación de los Parámetros de Modelo . . . . .	126
5.10.4. Validación del Modelo . . . . .	127
5.11. Discusión . . . . .	127
5.12. Resumen . . . . .	131
<b>6. Simulación Dinámica Basada en Parámetros Identificados</b>	<b>133</b>
6.1. Modelo Dinámico Directo . . . . .	134
6.2. Problema de la Fricción Discontinua . . . . .	139
6.2.1. Determinación de la Fricción en la fase de <i>stick</i> . . . . .	141
6.3. Resultados . . . . .	144
6.3.1. Robot 3-RPS . . . . .	144
6.4. Resumen . . . . .	150
<b>7. Conclusiones</b>	<b>151</b>
7.1. Futuros Trabajos . . . . .	154
<b>Bibliografía</b>	<b>157</b>

<b>Anexo A</b>	<b>167</b>
A.1. Descripción de los Robots Paralelos . . . . .	167
A.2. Especificaciones de los Actuadores y Motores . . . . .	169
A.2.1. Actuadores . . . . .	169
A.2.2. Motores . . . . .	170
A.3. Determinación de la Fricción en los Actuadores . . . . .	171
<b>Anexo B</b>	<b>173</b>
B.1. Cinemática directa del robots 3-RPS . . . . .	173
B.1.1. Problema de Posición . . . . .	173
B.1.2. Problema de Velocidad y Aceleración . . . . .	175