

## Tabla de Contenidos

CAPÍTULO 1	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	MOTIVACIÓN	1
1.2.	ANTECEDENTES	3
1.3.	OBJETIVOS	15
1.4.	ESTRUCTURA DE LA TESIS	18
CAPÍTULO 2	MODELADO DEL ROBOT MANIPULADOR	21
2.1.	MODELO CINEMÁTICO	22
2.2.	MODELO DINÁMICO	28
2.2.1.	Formulación de Gibbs-Appell	30
2.2.2.	Forma Lineal de las Ecuaciones del Movimiento Respecto a los Parámetros Inerciales. Modelo de Barras	35
2.2.3.	Forma Lineal de las Ecuaciones del Movimiento Respecto a los Parámetros Inerciales. Modelo de Actuadores	42
2.2.4.	Modelización de la Fricción	50
2.3.	REDUCCIÓN DEL MODELO	55
2.3.1.	Descomposición en Valores Singulares (SVD)	57
2.3.2.	Descomposición QR	60

2.3.3.	Parámetros Base para los Modelos Reducidos	63
<b>CAPÍTULO 3 DISEÑO DE TRAYECTORIAS OPTIMIZADAS</b>		<b>69</b>
3.1.	OPTIMIZACIÓN DE LA TRAYECTORIA	70
3.2.	PARAMETRIZACIÓN DE LA TRAYECTORIA	74
3.3.	EJEMPLOS DE APLICACIÓN	78
<b>CAPÍTULO 4 ESQUEMAS DE IDENTIFICACIÓN</b>		<b>87</b>
4.1.	IDENTIFICACIÓN DIRECTA	88
4.2.	IDENTIFICACIÓN INDIRECTA	91
4.2.1.	Identificación de la Gravedad y la Fricción	93
4.2.2.	Identificación del Resto del Modelo Dinámico	97
4.3.	FACTIBILIDAD FÍSICA DEL CONJUNTO DE PARÁMETROS BASE IDENTIFICADO	98
<b>CAPÍTULO 5 RESULTADOS EXPERIMENTALES</b>		<b>107</b>
5.1.	VALORES DE LOS PARÁMETROS BASE	109
5.1.1.	Modelo Dinámico de Barras Rígidas	110
5.1.2.	Modelo Dinámico de Barras Rígidas y Actuadores	111
5.1.3.	Modelo de Fricción	113

5.2.	VALIDACIÓN DEL MODELO	114
5.2.1.	Modelo Dinámico de Barras Rígidas sin Errores	114
5.2.2.	Modelo Dinámico de Barras Rígidas con Simulación de Errores de Medida	115
5.3.	RESULTADOS DE LA IDENTIFICACIÓN	121
5.3.1.	Modelado de la Fricción	123
5.3.2.	Comparación de los Métodos de Identificación Propuestos	136
5.3.3.	Modelo de los Actuadores	171
5.3.4.	Factibilidad Física	180
CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES		189
CAPÍTULO 7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		195
ANEXO A DATOS DE UN PUMA 560		203
A.1.	MODELO CINEMÁTICO DE LAS BARRAS	203
A.2.	MODELO CINEMÁTICO DE LOS ACTUADORES	204
A.3.	RESTRICCIONES CINEMÁTICAS	206
ANEXO B IDENTIFICACIÓN DE LA FRICCIÓN		209

ANEXO C	DESARROLLO DE UN SISTEMA ROBÓTICO INDUSTRIAL: PUMA 560	213
C.1.	ARQUITECTURA DEL PUMA 560	213
C.1.1.	Brazo Robot	213
C.1.2.	Unidad de Control	214
C.1.3.	Arquitectura Original	215
C.2.	ARQUITECTURA DE CONTROL ABIERTA	218
C.2.1.	Introducción	218
C.2.2.	Arquitectura de Control Propuesta	218