

Tabla de contenido

Índice de Tablas	VII
Índice de Ilustraciones	VIII
1. Introducción	1
1.1. Contexto y motivación	1
1.2. Hipótesis	3
1.3. Objetivos	3
1.4. Aportes del trabajo	3
1.5. Metodología	4
1.6. Estructura de la tesis	5
2. Antecedentes y estado del arte	6
2.1. La mano humana	6
2.1.1. Anatomía de la mano	7
2.1.2. Taxonomía de agarres	8
2.2. Manos robóticas antropomórficas	9
2.2.1. Sistemas completamente actuados y sobre actuados	11
2.2.2. Sistemas sub-actuados	13
2.3. Actuadores de rigidez variable	15
2.3.1. Actuación por cuerdas trenzadas	15
2.4. Manipulación de objetos	17
2.4.1. Fuerza de agarre y sensado	17
2.4.2. Evaluación de la manipulación en manos robóticas	18
3. Marco teórico	20
3.1. Actuación por cuerdas torcidas <i>TSA</i>	20
3.1.1. Modelo de cinemática y dinámica	21
3.2. Controladores PID	23
3.3. Motor BLDC	24
4. Diseño y control de la mano	26
4.1. Criterios de diseño	26

4.1.1.	Mano robótica	26
4.1.2.	Sistemas de actuación TSA	27
4.2.	Diseño mecánico	28
4.2.1.	Diseño de la Mano	28
4.2.1.1.	Diseño de los dedos	29
4.2.1.2.	Rango de movimiento	32
4.2.2.	Diseño del sistema de actuación TSA	35
4.2.2.1.	Estudio y selección de parámetros	35
4.2.2.2.	Dimensionamiento del motor	39
4.2.3.	Selección de componentes	42
4.2.3.1.	Motor	42
4.2.3.2.	Sensor de fuerza	42
4.2.4.	Estructura mecánica	43
4.2.4.1.	Soporte de motor y acople mecánico	43
4.2.4.2.	Soporte sensor de fuerza	44
4.2.4.3.	Antebrazo	45
4.2.5.	Fabricación	46
4.3.	Sistema de control de la mano	51
4.3.1.	Esquema general	51
4.3.2.	Control de un dedo	52
4.3.3.	Control de motores	52
4.3.3.1.	Control de posición	53
4.3.3.2.	Control de tensión	53
5.	Experimentos y análisis	55
5.1.	Análisis del sistema TSA	55
5.2.	Control de tensión y fuerza de agarre de la mano	58
5.3.	Validación de agarre seguro de la mano	62
5.3.1.	Configuración experimental	62
5.3.2.	Objetos	62
5.3.3.	Procedimiento y puntuación	65
5.3.4.	Resultados	66
5.3.5.	Análisis de resultados	68
5.4.	Pruebas de agarre de diferentes objetos cotidianos	70
5.5.	Compatibilidad con el robot Bender	76
5.5.1.	Integración de hardware	76
5.5.2.	Integración de software	77
6.	Conclusiones	78
6.1.	Conclusiones generales	78

6.2. Trabajo futuro	79
Bibliografía	81
Anexos	85
A. Placas electrónicas del sistema	86
A.1. Placa para el controlador de un dedo	86
A.2. Placa para el controlador de un motor	86
A.3. Placa amplificadora del sensor de fuerza	86
A.4. Placa de distribución de energía	88
B. Información técnica de componentes comerciales	90
B.1. Arduino Mega 2560 R3	90
B.2. Arduino Nano R3	91
C. Fabricación de fundas de silicona	92
D. Tabla de selección de arreglos ortogonales de Taguchi	95
E. Resumen extendido	95