

Tabla de Contenidos

LISTA DE TABLAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
NOMENCLATURA	X
ABREVIACIONES	XI
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.2 ROBOT TIPO BALLBOT	1
1.3 TRABAJOS PREVIOS	2
1.3.1 Locomoción	3
1.3.2 Modelo dinámico	4
1.3.3 Esquemas de control.....	6
1.3.4 Discusión	7
1.4 OBJETIVOS	8
1.4.1 Objetivo General	8
1.4.2 Objetivos Específicos.....	8
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES	8
1.6 METODOLOGÍA	9
CAPÍTULO 2. MODELO	10
2.1 INTRODUCCIÓN	10
2.2 PÉNDULO INVERTIDO	10
2.3 SIMULACIÓN PÉNDULO	11
2.4 MODELO BALLBOT	12
2.5 SIMULACIÓN BALLBOT	14
CAPÍTULO 3. DISEÑO MECÁNICO.....	16
3.1 INTRODUCCIÓN	16
3.2 MOTORES.....	16
3.3 RUEDAS	17
3.4 ESTRUCTURA	17
3.5 BALÓN	20
3.6 DISEÑO 3D.....	20
CAPÍTULO 4. CONSTRUCCIÓN.....	22
4.1 INTRODUCCIÓN	22
4.2 MECÁNICA.....	22
4.3 ELECTRÓNICA	24
4.4 ENSAMBLE.....	27
CAPÍTULO 5. CONTROL	29
5.1 INTRODUCCIÓN	29
5.2 DEFINICIÓN DE VARIABLES	30
5.3 DESCRIPCIÓN LINGÜÍSTICA	30
5.4 REGLAS.....	32
5.5 FUNCIONES DE PERTENENCIA.....	33
5.6 APLICACIÓN	34
CAPÍTULO 6. RESULTADOS EXPERIMENTALES	37
6.1 INTRODUCCIÓN	37
6.2 FILTRO.....	37

6.3	PRUEBAS.....	39
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES		42
7.1	SUMARIO	42
7.2	CONCLUSIONES.....	42
7.3	TRABAJO FUTURO	43
7.3.1	<i>Apartado mecánico.....</i>	<i>43</i>
7.3.2	<i>Apartado electrónico.....</i>	<i>43</i>
7.3.3	<i>Apartado de control.....</i>	<i>44</i>

Lista de Tablas

TABLA 1.1 TIPOS DE CONTROL EN ROBOTS BALLBOTS CONSTRUIDOS.....	2
TABLA 1.2 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS BALLBOTS DESTACADOS.	8
TABLA 2.1 PARÁMETROS DEL SISTEMA PÉNDULO.	11
TABLA 2.2 PARÁMETROS DEL SISTEMA BALLBOT.	15
TABLA 3.1 COMPARATIVA ENTRE MOTORES POLOLU DISPONIBLES.	16
TABLA 3.2 PARÁMETROS FINALES DEL ROBOT.....	20
TABLA 4.1 DATOS DE CORRIENTE SUMINISTRADA POR LA TARJETA NUCLEO-STM32L432KC	25
TABLA 5.1 TABLA DE ACCIONES DEL CONTROLADOR FUZZY.	33

Lista de Figuras

FIG. 1.1 COMPARACIÓN ENTRE ROBOTS MÓVILES ESTÁTICAMENTE ESTABLES Y UN BALLBOT, (EL RECTÁNGULO EN A), REPRESENTA APROXIMADAMENTE EL TAMAÑO DE UNA PUERTA).	2
FIG. 1.2 BALLBOTS DESTACADOS CONSTRUIDOS HASTA LA FECHA.	3
FIG. 1.3 SISTEMA DESACOPADO GENERAL DE UN BALLBOT.	5
FIG. 1.4 SISTEMA ACOPLADO GENERAL DE UN BALLBOT.	5
FIG. 1.5 ESQUEMAS DE CONTROL. A) CMU, B) AAU.	7
FIG. 2.1 ESQUEMA DEL SISTEMA. A) PÉNDULO B) BALLBOT.	10
FIG. 2.2 ESQUEMA LAZO ABIERTO DEL PÉNDULO.	11
FIG. 2.3 SIMULACIÓN DEL PÉNDULO CON CONDICIÓN INICIAL $-\pi/4$	12
FIG. 2.4 REPRESENTACIÓN 2D DE UN BALLBOT.	13
FIG. 2.5 COMPORTAMIENTO EN CONDICIONES INICIALES $-\pi/4$. A) PÉNDULO B) PÉNDULO VS BALLBOT.	15
FIG. 3.1 RUEDA COMERCIAL PARA HOBBIES.	17
FIG. 3.2 SISTEMAS DE LOCOMOCIÓN. A) 120° DE DESFASE, B) 90° DE DESFASE.	18
FIG. 3.3 DESCOMPOSICIÓN DE FUERZAS EN CADA MOTOR.	18
FIG. 3.4 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE BÁSICO.	19
FIG. 3.5 BALÓN DE BASQUETBOL N° 7.	20
FIG. 3.6 DISEÑO CAD DEL BALLBOT UT.	21
FIG. 4.1 SOPORTE DE MOTORES. A) DISEÑO CAD B) CONSTRUCCIÓN FÍSICA.	22
FIG. 4.2 RUEDAS OMNIDIRECCIONALES DEL BALLBOT UT.	23
FIG. 4.3 ENSAMBLE DE MOTOR, RUEDA Y SOPORTE DE MOTOR. A) DISEÑO CAD B) CONSTRUCCIÓN FÍSICA.	23
FIG. 4.4 PISO 0 ROBOT BALLBOT UT. A) DISEÑO CAD, B) CONSTRUCCIÓN FÍSICA.	24
FIG. 4.5 MICROCONTROLADOR DE 32 BITS NUCLEO-STM32L432KC.	24
FIG. 4.6 PLACA MONSTER DC MOTOR DRIVER VNH2SP30.	25
FIG. 4.7 PLACA DE DISTRIBUCIÓN DE VOLTAJES.	26
FIG. 4.8 PLACA IMU 9250 10 AXIS.	27
FIG. 4.9 ESQUEMA GENERAL DE CONEXIÓN.	27
FIG. 4.10 ENSAMBLE BALLBOT UT.	28
FIG. 5.1 ESQUEMA GENERAL DE UN CONTROLADOR FUZZY.	29
FIG. 5.2 ESQUEMA DE CONTROL FUZZY EN BALLBOT UT.	30
FIG. 5.3 ALGUNOS CASOS POSIBLES DE $E(T)$ Y $DE(T)$ EN UN BALLBOT.	32
FIG. 5.4 FUNCIONES DE PERTENENCIA.	33
FIG. 5.5 SALIDA DEL CONTROLADOR FUZZY.	34
FIG. 5.6 REPRESENTACIÓN MÉTODO COG.	34
FIG. 5.7 COMPARATIVA ENTRE SIMULACIÓN Y ACCIÓN DE CONTROL DE SISTEMAS PÉNDULO Y BALLBOT EN UN SOLO PLANO.	35
FIG. 5.8 PRUEBAS ANTE REFERENCIAS VARIADAS. A) VARIACIÓN DE 0.05 [RAD] B) RUIDO EN TORNO A 0 [RAD] C) FUSIÓN	

ENTRE A Y B D) VARIACIÓN DE 0.1 [RAD] EN RAMPA E) VARIACIÓN SINUSOIDAL CON RUIDO.....	36
FIG. 6.1 FILTRO DE MADGWICK CON DISTINTOS VALORES DE BETA SIN PERTURBACIÓN.	37
FIG. 6.2 COMPORTAMIENTO DEL FILTRO CON PERTURBACIÓN EN PITCH.....	38
FIG. 6.3 COMPORTAMIENTO DEL FILTRO CON PERTURBACIÓN EN ROLL.....	38
FIG. 6.4 SECUENCIA DE DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL.	39
FIG. 6.5 FILTRO DE SEÑALES INERCIALES Y ACCIÓN DE CONTROL EN MOVIMIENTO HORIZONTAL. A) PLANO SAGITAL B) <i>PLANO CORONAL</i> ,	39
FIG. 6.6 FILTRO DE SEÑALES INERCIALES Y ACCIÓN DE CONTROL ANTE OBSTÁCULO DE TIPO PELDAÑO. A) PLANO SAGITAL <i>B) PLANO CORONAL</i> ,	40
FIG. 6.7 SECUENCIA DE SUBIDA A OBSTÁCULO.	40
FIG. 6.8 INCLINACIÓN VS ACCIÓN DE CONTROL.....	41