

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES): NOMBRES Y APELLIDOS COMPLETOS

NOMBRE(S): MARIA CAROLINA APELLIDOS: DUQUE SUAREZ

NOMBRE(S): DIANA MARCELA APELLIDOS: RODRIGUEZ RODRIGUEZ

FACULTAD: INGENIERIA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA ELECTRONICA

DIRECTOR:

NOMBRE(S): SERGIO IVAN APELLIDOS: QUINTERO AYALA

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): PROPUESTA METODOLÓGICA FORMAL PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL CINEMÁTICO Y DINÁMICO EN MANIPULADORES INDUSTRIALES SERIALES

RESUMEN

El avance de robots manipuladores ha tenido un rápido y significativo progreso debido a las necesidades del mundo actual, es en este contexto que se han renovado los mecanismos y sistemas de control bajo los cuales funcionan, conducentes a mejorar en la eficiencia, precisión, rapidez, confiabilidad y capacidad de los robots.

Los modelos cinemáticos relacionan las posiciones en el espacio cartesiano con las posiciones en el espacio de coordenadas articulares de los eslabones y los modelos dinámicos relacionan los torques de los eslabones con las posiciones, velocidad y aceleraciones angulares

en coordenadas articulares de los eslabones.

En este documento se realiza un planteamiento metodológico para el diseño de un sistema de control cinemático y dinámico en manipuladores seriales a través del análisis de simulación, lo cual permite observar el comportamiento de estos sistemas de control con respecto al planteamiento y poder tomar decisiones con respecto al diseño del manipulador.

PALABRAS CLAVE: MÁXIMO Control cinemático, Control dinámico, manipulador serial industrial, articulaciones, trayectorias.

CARACTERISTICAS:

PÁGINAS: 193 **PLANOS:** ___ **ILUSTRACIONES:** 130 **CD ROOM:** ___

**PROPUESTA METODOLÓGICA FORMAL PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS
DE CONTROL CINEMÁTICO Y DINÁMICO EN MANIPULADORES SERIALES
INDUSTRIALES**

**MARIA CAROLINA DUQUE SUAREZ
DIANA MARCELA RODRIGUEZ RODRIGUEZ**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
CÚCUTA
2015**

**PROPUESTA METODOLÓGICA FORMAL PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS
DE CONTROL CINEMÁTICO Y DINÁMICO EN MANIPULADORES SERIALES
INDUSTRIALES**

MARIA CAROLINA DUQUE SUAREZ

DIANA MARCELA RODRIGUEZ RODRIGUEZ

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electrónico

DIRECTOR:

ING. SERGIO IVAN QUINTERO AYALA

CODIRECTOR:

M.Sc OSCAR MANUEL DUQUE SUAREZ

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIAS

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

CÚCUTA

2015

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE UN TRABAJO DE GRADO

FECHA: SAN JOSÉ DE CÚCUTA, 05 DE OCTUBRE DE 2015

HORA: 3:00 p.m.

LUGAR: AULA LG 112

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

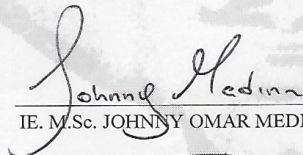
Título de la Tesis: "PROPUESTA METODOLÓGICA FORMAL PARA EL DISEÑO DE SISTEMA DE CONTROL CINEMÁTICO Y DINÁMICO EN MANIPULADORES SERIALES INDUSTRIALES".

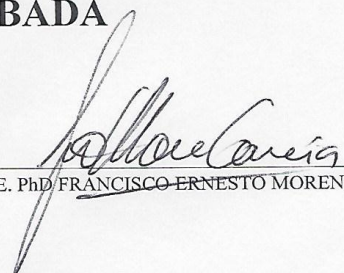
Jurados: IE. M.Sc. JOHNNY OMAR MEDINA DURAN
IE. PhD FRANCISCO ERNESTO MORENO GARCÍA

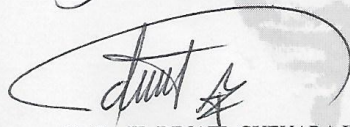
Director: IE. Esp. SERGIO IVÁN QUINTERO AYALA

Nombre de los Estudiantes	Código	Calificación	
		Letra	Número
DIANA MARCELA RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ	1160503	Cuatro, cuatro	4.4
MARÍA CAROLINA DUQUE SUÁREZ	1160494	Cuatro, cuatro	4.4

APROBADA


IE. M.Sc. JOHNNY OMAR MEDINA DURÁN


IE. PhD FRANCISCO ERNESTO MORENO GARCÍA


Vo.Bo. IE. DINAEL GUEVARA IBARRA, Ph.D.
Coordinador Comité Curricular
Ingeniería Electrónica

Queremos dedicar nuestro trabajo de grado en especial a Dios por darnos salud, fortaleza y fe para culminar esta etapa de nuestras vidas. También por darnos unos grandes padres y hermanos que nos apoyaron y guiaron durante todos nuestros pasos y han hecho de nosotras personas integrales. Por supuesto, el agradecimiento más profundo y sentido va para nuestras familias dedicamos este trabajo por su paciencia, sacrificio y bendiciones porque sin ellos no seríamos lo que somos, les damos mil gracias por su amor, motivación y comprensión

Queremos extender un sincero agradecimiento al Ing. Sergio Ivan, director del proyecto, y M.Sc Oscar Duque Suarez, codirector del proyecto, por su gran apoyo, paciencia, disponibilidad y colaboración para compartir su experiencia y amplio conocimiento durante todo este tiempo para culminar nuestro trabajo de grado.

También queremos agradecer a nuestros amigos que indirectamente contribuyeron para que nosotras alcanzáramos nuestras metas y aquellas personas que con sus buenas vibras hicieron que nos llenáramos de fuerza para demostrar que si podíamos.

A la Universidad Francisco de Paula Santander por darnos la oportunidad de estudiar y ser profesionales. También nos gustaría agradecer a nuestros profesores que durante toda nuestra formación profesional aportaron con un granito de arena a nuestra carrera.

Con mucho cariño y aprecio:

Diana y Carolina

Contenido

	Pág.
Introducción	22
Descripción del problema	23
1. Formulación del problema	23
2. Justificación.....	24
3. Objetivos	25
3.1. Objetivo General.....	25
3.2. Objetivos Específicos	25
4. Delimitación.....	26
5. Referentes Teóricos.....	26
6. Antecedentes	27
7. Marco Teórico	31
7.1. Estado del arte	31
7.2. Conceptos Generales	32
7.2.1. Clasificación de un robot industrial.....	34
7.3.Herramientas Matemáticas Para La Localización Espacial	37
7.3.1. Localización Espacial	38
7.3.2. Representación De La Posición.....	39
7.3.2.1. Representación de la Orientación Mediante Matrices De Rotación	40
7.4. Matrices De Rotación. Composición De Rotaciones	43
7.5. Matrices De Rotación. Interpretación Geométrica.....	43

7.6. Usos De La Matriz De Rotación	44
7.7. Ángulos Euler.....	44
7.7.1. Ángulos Euler (WUW).....	45
7.7.2. Ángulos Euler WW (ZYZ)	45
7.7.3. Ángulos Euler XYZ (Guiñada, Cabeceo, Alabeo)	46
7.8. Matrices De Transformación Homogénea	47
7.8.1. Coordenadas Homogéneas	47
7.8.2. Traslación Con Matrices Homogéneas.....	48
7.8.3. Rotación Con Matrices Homogéneas	48
7.9. Combinación De Rotaciones Y Traslaciones.....	49
7.9.1. Orden de la Combinación de Rotaciones y Traslaciones	49
7.10. Interpretación Geométrica De Las Matrices De Transformación Homogénea.....	50
7.11. Comparación Entre Los Métodos De Localización Espacial.....	53
7.12. Morfología De Los Manipuladores	53
7.12.1. Estructura Mecánica. Configuraciones.....	54
7.12.1.1. Transmisiones y Reductores	56
7.12.1.2. Actuadores	59
7.12.1.3. Sensores Internos	60
7.12.1.4. Elementos Terminales.....	61
7.13. Cinemática Directa E Inversa.....	63
7.13.1. Cinemática del Robot	63

7.13.2. Cinemática Directa	64
7.13.2.1. Modos de encontrar el modelo cinemático directo	65
7.13.2.2. Resolución del problema cinemático directo mediante matrices de transformación homogénea.....	65
7.13.2.3. Algoritmo de Denavit – Hartenberg para la obtención del modelo cinemático directo	69
7.13.3. Cinemática Inversa	70
7.13.3.1. Problemas de la cinemática inversa.	72
7.13.3.2. Soluciones múltiples	72
7.13.3.3. Resolución de la cinemática inversa por métodos geométricos.....	72
7.13.3.4. Resolución de la cinemática inversa por método analítico.....	73
7.13.3.5. Resolución de la cinemática inversa por método desacoplo cinemático.	74
7.14. Matriz Jacobiana	75
7.14.1 Jacobiana Analítica.....	76
7.14.2 Jacobiana Geométrica.....	77
7.14.3 Jacobiana Inversa.....	79
7.14.3.1. Jacobiana Pseudoinversa.....	80
7.14.3.2. Configuraciones Singulares	81
7.15. Dinámica Directa E Inversa	82
7.15.1. Complejidad del modelo dinámico de un robot	83
7.15.2. Utilidad del modelo dinámico de un robot	83

7.15.3. Estructura mecánica de un robot rígido, descripción general.....	84
7.15.4. Modelo Dinámico Directo E Inverso De Un Robot	85
7.15.4.1. Modelo dinámico inverso	85
7.15.4.2. Formulaciones del modelo dinámico de un robot.....	85
7.15.5. Formulación De Lagrange Euler	86
7.15.6. Algoritmos Computacionales	86
7.15.7. Algoritmo Computacional De Lagrange	87
7.15.8. Características Del Método Computacional De Lagrange	91
7.16. Control Cinemático	91
7.16.1. Limitaciones de los accionamientos	92
7.16.2. Funciones del control cinemático	92
7.16.2.1. Etapas del control cinemático de un robot de 2 gdl	93
7.16.3. Tipos De Trayectorias	95
7.16.3.1. Trayectorias punto a punto.....	95
7.16.3.2. Trayectorias coordinadas o isócronas	97
7.16.3.3. Trayectorias continuas	97
7.16.4. Trayectorias En El Espacio De Tareas	97
7.16.4.1. Posición.....	97
7.16.4.2. Orientación.....	98
7.16.5. Interpolación De Trayectorias	98

7.16.5.1. Tipos de interpoladores.....	99
7.16.5.2. Interpoladores lineales	99
7.16.5.3. Interpoladores polinomios	101
7.16.5.4. Interpoladores cúbicos	101
7.16.5.5. Interpolador trapezoidal	103
7.16.5.6. Interpoladores a tramos, Caso velocidad inicial y final no nula, Ajuste parabólico	104
7.17. Control Dinámico.....	105
7.17. 1.Control monoarticular	106
7.17.2. Influencia del factor de reducción	107
7.17.3. Diagrama de bloques de una articulación.....	108
7.17.4. Control por prealimentación (FF) por inversión del modelo.....	109
7.17.5. Control realimentado	110
7.17.6. Control Prealimentado + Realimentado	110
7.17.7. Control con compensación de gravedad.....	111
7.17.8. Control PD + FF+G.....	112
7.17.9. Control multiarticular	113
7.17.10. Desacoplamiento por inversión del modelo	113
7.17.11. Control PID sobre el sistema desacoplado por prealimentación	114
7.17.12. Efectos de PID+ FF en multiarticular.....	115

7.17.13. Control Adaptativo	115
7.17.14. Planificación de ganancias.....	116
7.17.15. Control adaptativo con modelo de referencia MRAC	117
7.17.16. Control por par calculado adaptativo	118
8. Marco Legal	118
Metodológica	120
1. Control Cinemático	120
2. Control Dinámico.....	122
3. Metodología Final (Diagrama De Bloques).....	123
3.1. Control Cinemático	123
3.2. Control Dinámico	128
4. Formalizar La Metodología.....	131
4.1. Límites Y Restricciones.....	131
4.1.1. Control Cinemático.....	131
4.1.2. Control Dinámico.....	132
5. Normativas	132
Resultados-Caso De Estudio.....	134
1. Control Cinemático	134
2. Control Dinámico.....	160
2.1. Control prealimentado	160
2.2. Control realimentado	167

2.3. Control prealimentado + realimentado	171
2.4. Control dinámico sobre un robot de 4GDL.....	173
Conclusiones.....	186
Referencias Bibliográficas	189