

SISTEMA AUTOCALIBRABLE PARA PLATAFORMA ROBÓTICA MANIOBRADA MEDIANTE CABLES

ALFREDO JOSÉ MAUSSA CABALLERO

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Mecatrónico**

Director:

Sebastián Jiménez Gómez, M.Sc.



**UNIVERSIDAD EIA
INGENIERÍA MECATRÓNICA
ENVIGADO
2020**

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mi familia por haberme apoyado en realizar estudios en Ingeniería Mecatrónica, en conjunto con todo el apoyo que me han dado a lo largo de la carrera hasta la actualidad.

Gracias al profesor Sebastián Jiménez Gómez por dirigir y haber permitido realizar este trabajo de grado, adicional a su interés por resolver las inquietudes que surgían a lo largo del proyecto.

Gracias a la Universidad y a todos sus profesores por haber impartido educación y conocimiento necesario para lograr realizar este trabajo de grado y otros proyectos, disponiendo además de lugares adecuados para el estudio y herramientas para la construcción y prueba de prototipos.

Gracias, por último, a toda la comunidad productora de conocimiento la cual dispone de su dedicación, en muchos casos, de toda una vida en sus trabajos y proyectos para compartir como legado de generación en generación hasta lograr que personas como yo, aprendan sobre conocimientos que pudieron haber llevado toda una vida concebir.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	18
1 PRELIMINARES.....	19
1.1 Planteamiento del problema	19
1.2 Objetivos del proyecto	21
1.2.1 Objetivo General.....	21
1.2.2 Objetivos Específicos	21
1.3 Marco de referencia.....	21
1.3.1 Marco conceptual	21
1.3.2 Marco teórico.....	32
2 METODOLOGÍA.....	38
2.1 Diseño conceptual	38
2.1.1 Definir el problema: Empatizando el problema	39
2.1.2 Obtener información: Marco de referencia.....	39
2.1.3 Generación de conceptos.....	40
2.1.4 Evaluación y selección de conceptos	41
2.2 Diseño básico	46
2.2.1 Modelos matemáticos.....	46
2.2.2 Diseño CAD.....	48
2.2.3 Sistema de control SISO	49
2.2.4 Simulación SISO	50
2.3 Diseño de Detalle (parametrico y de configuración).....	53

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

2.3.1	Selección de alternativas.....	53
2.3.2	Descomposición física	54
2.3.3	Modelado parametrizable	54
2.3.4	Algoritmo de estimación de soportes	67
2.3.5	Sistema de control MIMO	73
2.3.6	Simulación MIMO	73
2.3.7	Control Conjunto.....	74
2.3.8	Construcción, experimentos y análisis.....	75
2.3.9	Programación	79
3	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	81
3.1	Evaluación.....	81
3.1.1	Toma de datos, experimentos	81
3.1.2	Análisis de resultados.....	86
3.1.3	Revisión de trabajo.....	110
3.1.4	Conclusiones.....	111
3.1.5	Trabajos futuros.....	112
4	REFERENCIAS	114
	ANEXOS	123

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Matriz morfológica.....	42
Tabla 2 Lista de implementos para los experimentos	82
Tabla 3 Datos resultados de experimento uno.....	83
Tabla 4 Datos resultados de experimento dos	84

pág.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Árbol tipológico de robots por cables auto calibrable	21
Figura 2 Comandado	23
Figura 3 Suspendido.....	23
Figura 4 Sobre restringido	23
Figura 5 Justamente restringido.....	23
Figura 6 Sub restringido.....	23
Figura 7 CDPRs 2d.....	24
Figura 8 CDPRs 3d.....	24
Figura 9 Robot por cables para rehabilitación inferior	29
Figura 10 Robot por cables.....	29
Figura 11 Análisis geométrico.....	32
Figura 12. Modelo vectorial.....	33
Figura 13 Espacio de trabajo en robot por cables planar.	36
Figura 14 Espacio de trabajo en robot por cables espaciales	36
Figura 15 Diagrama de metodología del proyecto.....	38
Figura 16 Soporte steadycam auxiliar para camarógrafos	39
Figura 17 análisis de causas	40
Figura 18 Descomposición funcional	41
Figura 19 Mosaico de poleas.....	48
Figura 20 Diseños preliminares	48
Figura 21 Diseño final de prototipo CDPR planar.....	49
Figura 22 Diseño final de prototipo CDPR espacial	49

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Figura 23 Diagrama de bloques 1: Sistema Motor-Polea-Encoder.....	50
Figura 24 Diagrama de bloques 2 Primer Lazo Cerrado, control independiente	50
Figura 25 Modelo SimsCape: Multibody del dispositivo móvil	51
Figura 27 Simulink - Diagrama de bloques	51
Figura 26 Modelo dinámico de compensación de fuerza	51
Figura 28 Simulación de compensación de fuerza.....	52
Figura 29 Comportamiento en lazo cerrado	52
Figura 30 Arquitectura física	54
Figura 31 Modelo del motor DC.....	55
Figura 32 Datos obtenidos de entrada y salida del motor	55
Figura 33 Resultado de caracterización con ajuste manual de parámetros.....	56
Figura 34 Resultado de caracterización con ajuste automático de parámetros.....	56
Figura 36 Cinemática inversa para CDPR planar.....	57
Figura 35 Cinemática inversa para CDPR espacial	57
Figura 37 Fuerza mínima entre otras del espacio nulo	63
Figura 38 ángulos respecto a la vertical.....	64
Figura 39 Espacio de trabajo en polares, cuerda uno	65
Figura 40 Espacio de trabajo en polares, cuerda dos	65
Figura 41 Espacio de trabajo en cuerda 1 coordenadas cartesianas	66
Figura 42 Espacio de trabajo en cuerda 2 coordenadas cartesianas	66
Figura 43 Aproximación uno de busquedad de soportes	67
Figura 44 Diagrama de bloques 3: lazo del tercer nivel, obtención de direcciones.....	68
Figura 45 Diagrama de bloques 3: lazo del tercer nivel, obtención de direcciones y magnitudes.....	69

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Figura 46 Modelo gráfico de búsqueda de soportes	69
Figura 47 Red neuronal de ángulos [°] vs iteraciones con alfa 1/25.....	70
Figura 48 Red neuronal de ángulos [°] vs iteraciones con alfa 1/100.....	70
Figura 49 Red neuronal de ángulos [°] vs iteraciones con alfa 1/50.....	70
Figura 50 Red neuronal de magnitudes [cm] vs iteraciones con alfa 1/1000.....	71
Figura 51 Red neuronal de magnitudes [cm] vs iteraciones con alfa 1/2000.....	71
Figura 52 Resultado deficiente con alfa 1/2000	72
Figura 53 Resultado teórico de búsqueda de ubicaciones de soportes.....	72
Figura 54 Diagrama de bloques 3 Lazo abierto de segundo nivel, control de movimiento.	73
Figura 55 Simulación de modelo CDPR espacial.....	74
Figura 57 Diagrama de bloques de control MIMO en Simulink.....	74
Figura 56 Simulación de modelo CDPR planar.....	74
Figura 58 Prototipo uno, diseño CAD.....	75
Figura 59 Prototipo uno construido	75
Figura 60 Diseño final CDPR espacial	76
Figura 61 Diseño final CDPR planar	76
Figura 62 Pieza estructural del diseño final.....	76
Figura 63 Diseño interno de piezas modulares	76
Figura 64 Ensamble completo	77
Figura 65 Peso del dispositivo	77
Figura 66 Integración de partes modulares.....	77
Figura 67 Ensamble modular de polea acoplada a motor	77
Figura 68 Ubicación de soporte dos.....	78

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Figura 69 Ubicación de soporte uno	78
Figura 70 Vista general de montaje para experimentos	78
Figura 71 Interfaz de usuario CDPR planar	80
Figura 72 Interfaz de usuario CDPR espacial	80
Figura 73 Báscula portátil	82
Figura 74 Vatímetro digital.....	82
Figura 75 Sensor MPU6050	82
Figura 76 Motor DC con encoder acoplado.....	82
Figura 77 Resultados de experimento uno de motor #1	87
Figura 78 Resultados teóricos de motor #1.....	87
Figura 79 Resumen de error del experimento uno en motor #1	88
Figura 80 Grado de correlación entre resultados y valores esperados en motor #1	88
Figura 81 Resultados de experimento uno de motor #2.....	89
Figura 82 Resultados teóricos de motor #2.....	89
Figura 83 Resumen de error del experimento uno en motor #2	90
Figura 84 Grado de correlación entre resultados y valores esperados en motor #2.....	90
Figura 85 Correlación entre fuerza y corriente en motor #1	91
Figura 86 Correlación con puntos filtrados en motor #1	92
Figura 87 Correlación de PWM y fuerza en motor #1	92
Figura 88 Correlación PWM y corriente en motor #1	93
Figura 89 Correlación entre fuerza y corriente en motor #2	93
Figura 90 Correlación de PWM y fuerza en motor #2	94
Figura 91 Correlación PWM y corriente en motor #2	94

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Figura 92 Progreso iterativo de red neuronal de direcciones en punto #1	96
Figura 93 Resumen de experimento uno en soporte #1.....	96
Figura 94 Resumen de experimento uno en soporte #2.....	97
Figura 95 Información de entrada para segunda red neuronal con ubicaciones aleatorias	99
Figura 96 Progreso iterativo de segunda red neuronal en búsqueda de los soportes	99
Figura 97 Resultados obtenidos para el subconjunto uno de cinco muestras	100
Figura 98 Información de entrada para segunda red neuronal con ubicaciones aleatorias	101
Figura 99 Progreso iterativo de segunda red neuronal en búsqueda de los soportes	101
Figura 100 Resultados obtenidos para el subconjunto uno de cinco muestras	102
Figura 101 Resultados obtenidos para el subconjunto dos de cinco muestras	102
Figura 102 Resultados obtenidos para el subconjunto tres de cinco muestras	103
Figura 103 Resultados obtenidos para el subconjunto cuatro de cinco muestras	103
Figura 104 Resultados obtenidos para el subconjunto cinco de cinco muestras.....	104
Figura 105 Resumen de estimaciones de soporte uno en muestras de cinco.....	104
Figura 106 Resumen de estimaciones de soporte dos en muestras de cinco	105
Figura 107 Resultados obtenidos para el subconjunto uno de tres muestras.....	105
Figura 108 Resultados obtenidos para el subconjunto dos de tres muestras.....	106
Figura 109 Resultados obtenidos para el subconjunto tres de tres muestras.....	106
Figura 110 Resumen de estimaciones de soporte uno en muestras de siete.....	107
Figura 111 Resumen de estimaciones de soporte dos en muestras de siete.....	107
Figura 112 Resultados obtenidos para el subconjunto uno de dos muestras.....	108
Figura 113 Resultados obtenidos para el subconjunto dos de dos muestras.....	108

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Figura 114 Resumen de estimaciones de soporte uno en muestras de once	109
Figura 115 Resumen de estimaciones de soporte dos en muestras de once.....	109
Figura 116 Resumen comparativo entre el tamaño de subconjuntos	110

pág.

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Progreso iterativo de red neuronal de direcciones en punto #2.....	123
Anexo 2 Progreso iterativo de red neuronal de direcciones en punto #3.....	124
Anexo 3 Progreso iterativo de red neuronal de direcciones en punto #4.....	124
Anexo 4 Progreso iterativo de red neuronal de direcciones en punto #5.....	125
Anexo 5 Progreso iterativo de red neuronal de direcciones en punto #6.....	125
Anexo 6 Progreso iterativo de red neuronal de direcciones en punto #7.....	126
Anexo 7 Progreso iterativo de red neuronal de direcciones en punto #8.....	126
Anexo 8 Progreso iterativo de red neuronal de direcciones en punto #9.....	127
Anexo 9 Progreso iterativo de red neuronal de direcciones en punto #10.....	127
Anexo 10 Progreso iterativo de red neuronal de direcciones en punto #11.....	128
Anexo 11 Progreso iterativo de red neuronal de direcciones en punto #12.....	128
Anexo 12 Progreso iterativo de red neuronal de direcciones en punto #13.....	129
Anexo 13 Progreso iterativo de red neuronal de direcciones en punto #14.....	129
Anexo 14 Progreso iterativo de red neuronal de direcciones en punto #15.....	130
Anexo 15 Progreso iterativo de red neuronal de direcciones en punto #16.....	130
Anexo 16 Progreso iterativo de red neuronal de direcciones en punto #17.....	131
Anexo 17 Progreso iterativo de red neuronal de direcciones en punto #18.....	131
Anexo 18 Progreso iterativo de red neuronal de direcciones en punto #19.....	132
Anexo 19 Progreso iterativo de red neuronal de direcciones en punto #20.....	132
Anexo 20 Progreso iterativo de red neuronal de direcciones en punto #21.....	133
Anexo 21 Progreso iterativo de red neuronal de direcciones en punto #22.....	133
Anexo 22 Progreso iterativo de red neuronal de direcciones en punto #23.....	134

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Anexo 23 Progreso iterativo de red neuronal de direcciones en punto #24.....	134
Anexo 24 Progreso iterativo de red neuronal de direcciones en punto #25.....	135
Anexo 25 Información de entrada para segunda red neuronal con ubicaciones aleatorias, subconjunto 2/5	135
Anexo 26 Progreso iterativo de segunda red neuronal en búsqueda de los soportes, subconjunto 2/5	136
Anexo 27 Información de entrada para segunda red neuronal con ubicaciones aleatorias, subconjunto 3/5	136
Anexo 28 Progreso iterativo de segunda red neuronal en búsqueda de los soportes, subconjunto 3/5	137
Anexo 29 Información de entrada para segunda red neuronal con ubicaciones aleatorias, subconjunto 4/5	137
Anexo 30 Progreso iterativo de segunda red neuronal en búsqueda de los soportes, subconjunto 4/5	138
Anexo 31 Información de entrada para segunda red neuronal con ubicaciones aleatorias, subconjunto 5/5	138
Anexo 32 Progreso iterativo de segunda red neuronal en búsqueda de los soportes, subconjunto 5/5	139
Anexo 33 Información de entrada para segunda red neuronal con ubicaciones aleatorias, subconjunto 1/3	139
Anexo 34 Progreso iterativo de segunda red neuronal en búsqueda de los soportes, subconjunto 1/3	140
Anexo 35 Información de entrada para segunda red neuronal con ubicaciones aleatorias, subconjunto 2/3	140
Anexo 36 Progreso iterativo de segunda red neuronal en búsqueda de los soportes, subconjunto 2/3	141
Anexo 37 Información de entrada para segunda red neuronal con ubicaciones aleatorias, subconjunto 3/3	141
Anexo 38 Progreso iterativo de segunda red neuronal en búsqueda de los soportes, subconjunto 3/3	142

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Anexo 39 Información de entrada para segunda red neuronal con ubicaciones aleatorias, subconjunto 1/2 142

Anexo 40 Progreso iterativo de segunda red neuronal en búsqueda de los soportes, subconjunto 1/2 143

Anexo 41 Información de entrada para segunda red neuronal con ubicaciones aleatorias, subconjunto 2/2 143

Anexo 42 Progreso iterativo de segunda red neuronal en búsqueda de los soportes, subconjunto 2/2 144

pág.

GLOSARIO

CDPR: *cable driven parallel robot*, o robot paralelo comando mediante cables.

RESUMEN

Se plantean las dificultades en las actividades de grabación, atendiendo a una solución dada en el estado del arte, se considera la robótica por cables como solución. Ante su baja accesibilidad de esta solución, se identifica una causa en la instalación inicial, esto a que requiere conocimientos técnicos a la hora de calibrar en una nueva zona de trabajo. La propuesta es un proceso de auto calibración, para facilitar este proceso.

Se investiga la morfología robótica y se clasifica este tipo de dispositivos, se encuentran las marcas registradas principales en el mercado mundial y se mencionan algunas alternativas aplicaciones de esta misma solución.

Se plantea una metodología de diseño en tres niveles; a nivel conceptual; a nivel preliminar o básico y por último detallado. En este proceso se abordan algunas herramientas alternativas para la solución de cinemática inversa y la dinámica, se propone un diseño modular con motores acoplados, y se desarrolla un algoritmo basado en redes neuronales para encontrar la ubicación de los soportes.

Por último, se realiza un experimento con datos tomados en una zona de trabajo, se evalúa en varios subconjuntos; la estimación de fuerza por medio de medidas de corriente en los motores; la estimación de direcciones por medio de fuerzas; y la estimación de la ubicación de los soportes por medio de un historial de puntos de movimiento relativo y sus correspondientes direcciones.

Palabras clave: robot por cables, auto calibración, diseño modular, modelo paramétrico.

ABSTRACT

There are some difficulties in streaming or recording activities, based on a solution given in the state of the art, cable robots are considered as a solution. Given the low accessibility of this solution, a cause is identified in the initial installation, which requires technical knowledge when calibrating in a new workspace. The proposal is a self-calibration process, to facilitate this issue.

Robotic morphology is investigated then this type of device is classified, the main trademarks in the world market are found and some alternative applications of this same solution are mentioned.

A three-level design methodology is proposed; at the conceptual level; at preliminary or basic level and finally detailed level. In this process, some alternative tools for the solution of inverse kinematics and dynamics are reviewed. A modular design with coupled motors is proposed, and an algorithm based on neural networks is developed to find the location of the fixed supports.

Finally, an experiment is carried out with data taken in a workspace, it is evaluated in several subsets: The estimation of force through the current measurements in the motors, the estimation of directions through the previous forces calculated, and finally the estimation of the location of the fixed supports through the history of relative movement points and their corresponding directions previously calculated and stored.

Keywords: cable driven parallel robots, self-calibration, modular design, parametric model.

INTRODUCCIÓN

Se plantea la metodología, proceso, y el diseño para construir una plataforma robótica mediante cables, la cual sería empleada para desplazar una cámara de grabación de video obteniendo la posibilidad de realizar tomas aéreas en interiores. Ofreciendo la posibilidad de auto calibración, esta plataforma tiene como objetivo ser rápidamente desplegable y disminuir los requerimientos técnicos en la instalación.

Se describe una breve revisión del estado del arte y vigilancia tecnológica en las cuales sirven como punto de partida y de referencia construyendo los cimientos para la fluidez de trabajo y posibles consideraciones futuras. En esta se identifican las arquitecturas de robots por cables, y se mencionan algunas aplicaciones similares y distintas a realizar tomas aéreas. Se describe y analiza conceptos útiles o necesarios en el marco teórico, considerando conceptos de robótica en cuanto a cinemática y dinámica, conceptos en control como arquitecturas posibles para su implementación en la plataforma. Luego se encuentra las consideraciones mecánicas a nivel básico para elaborar la construcción de prototipos. Por último, se cuenta con los resultados obtenidos en simulación y experimentales.

Con esto se busca ofrecer a un usuario la posibilidad de posicionar los soportes fijos en donde crea necesario, para cubrir una zona de trabajo desde el cual se desea obtener perspectivas aéreas, luego el sistema robótico realizará acciones de auto calibración sin intervención técnica o profesional. En este caso no se pretende recomendar las ubicaciones que garanticen un mejor desempeño para determinadas especificaciones de zona de trabajo y movimiento, se busca ajustarse a la ubicación de los soportes fijos que el usuario realice.

1 PRELIMINARES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la industria del entretenimiento, en eventos como conciertos, deportes, teatros y eventos personalizados. En los cuales el público de interés es cada vez más exigente en la visualización y fluidez de los escenarios, buscando recibir perspectivas desde variados ángulos (Robycam ofrece frenéticas tomas aéreas en el torneo de eSports ESL One Katowice 2019), la necesidad de captar perspectivas aéreas se ha hecho necesaria para el confort del espectador.

Los camarógrafos deben lidiar con una serie de dificultades (Las lesiones de los fotógrafos), estos deben estar de pie durante el evento en cuestión. El uso de cámaras tipo réflex hace necesario visualizar la imagen mientras es grabada, al realizar desplazamientos se abre la posibilidad a torceduras o esguinces, debido a estar sumergido y concentrado en la toma de grabación. Los camarógrafos lidian en todo momento con el peso del instrumento de grabación, el cual tiene un peso desde 5 kg y en ocasiones hasta 20 kg, por ello suelen recibir ayuda de estabilizadores de cámara los cuales adicionalmente tienen correas para largas jornadas de grabación, y así disminuir dolores crónicos y contracciones musculares.

Los requerimientos de realizar grabaciones desde las perspectivas más llamativas, sobre todo en obtener tomas aéreas fluidas, lleva consigo dificultades al cubrir las perspectivas más cruciales durante eventos en vivo, y debido a la no repetibilidad de los sucesos ocurridos en eventos, es de importancia lograr captar esos momentos decisivos sin fallas, sea en ocasiones especiales como una celebraciones matrimoniales, momentos cruciales en eventos deportivos (anotaciones), conciertos, u otros tipos de eventos en vivo (Por qué la filmación de eventos puede ser tan difícil para una Productora Audiovisual).

Se requiere de habilidad al desplazar el instrumento de grabación dentro del escenario y en mantener la estabilidad durante grabaciones, aumentando la dificultad a la medida en que se realicen movimientos rápidos, giros, y desplazamientos. El camarógrafo mientras está concentrado en la grabación, ajustando parámetros como el “zoom”, “Pan”, “Enfoque”, entre otros, debe simultáneamente ser consciente de objetos en el escenario o evento y lograr la evasión de obstáculos y espectadores. Espectadores a los cuales se les obstaculizaría la visibilidad al estar el camarógrafo de por medio en el evento (La cámara aérea, un paso más en la apuesta por la innovación tecnológica de LaLiga, 2016).

Otro aspecto que dificulta la grabación de eventos sería el manejo de cables alimentadores de energía eléctrica, o cables de transmisión de datos. Los cuales pueden limitar el movimiento de quien porte la cámara. Así mismo en casos de que sea una estructura posea escalones o edificaciones de más de un nivel, debido a límites humanos en velocidad, movimientos verticales, estabilidad en el efector final, evasión de obstáculos terrestres, y la concentración simultánea en obtener una buena grabación, puede dificultar el objetivo de compartir las mejores experiencias de lo sucedido en evento.

El empleo de robots por cables, en transmisiones de eventos comenzó en los años 70, en su momento fue una idea atractiva por el hecho de ofrecer una perspectiva nunca vista, de

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

mayor fluidez en el evento, al flotar sobre la escena. sin embargo, fue perdiendo utilidad por su alto costo de instalación, lo cual no lo hacía práctico, como mencionan en (Ordenadores y Portátiles, 2014) Se tardaban mínimo 2 días para realizar una instalación. Desde principios del siglo XXI se han vuelto a utilizar, pero bajo circunstancias especiales como eventos de gran magnitud, muchas veces a nivel mundial ya que son los que se permiten costear este tipo de comodidades a la hora de transmitir su evento.

Las soluciones de robots por cables rápidamente desplegables tienen dificultades al definir los parámetros de la cinemática como mencionan las desventajas expuestas por (Khalilpour, Bourbour, Khorrambakht, & Kariminasab), esto debido al constantemente cambio de la zona de trabajo del robot, considerando esto, se requiere de calibración inicial de los parámetros cinemáticos al instalar en un escenario distinto . Al emplear engranajes relativos en los actuadores, es necesario configurar las medidas iniciales realizando mediciones de la longitud de los cables y la ubicación de los soportes fijos (Lau, 2018) (Bosscher, II, & Tummino, 2005), desde una referencia geométrica con centro de coordenadas definido. Una ineficiente distribución de fuerzas en las cuerdas abre la posibilidad de obtener movimientos indeseados, al quedar holgada al menos en una cuerda, la fuerza resultante sería distinta de la deseada provocando un movimiento debido al error en la fuerza resultante, igualmente, al disminuir la cantidad de actuadores que soportan la carga puede que estos no cuenten con la capacidad suficiente para sostener el sistema. Con el sistema de auto calibración se evitaría que un usuario requiera mano de obra técnica para dar solución con estos problemas. Considerando corregir adicionalmente una posible des calibración paulatina durante su funcionamiento, la cual podría deteriorar con el transcurrir del tiempo su precisión (Borgstrom, y otros, 2009). Con esto se busca evitar no solo la instalación inicial sino también el mantenimiento de dicha calibración a lo largo del tiempo, y así disminuir el costo asociado a este tipo de soluciones bajo el mando de un operador o técnico.

El empleo de plataformas robóticas mediante cables para el posicionamiento hace que estos dispositivos sean más ligeros, seguros, rápidos, con mayor capacidad de carga y mayor espacio de trabajo (Verhoeven, 2004). Este tipo de robots suele utilizar íntegramente la energía (Crespo, 2015), tienen baja inercia, amplia zona de trabajo, entre otras ventajas declaradas por (Khalilpour, Bourbour, Khorrambakht, & Kariminasab), lo que garantiza una alta eficiencia en cuanto al desplazamiento, siendo esta una ventaja comparable frente opciones como los drones, los cuales producen sonidos fuertes, perjudicando el evento en caso de requerir grabación de sonido.

La implementación de una cámara como efector final en una plataforma robótica móvil paralelo mediante cables permitirá desarrollar un sistema flexible, mediante algoritmos de control y/o de aprendizaje automático, el cual se ajustará para dar estabilidad en la plataforma, posteriormente dirigirá el seguimiento de posición deseada del efector final según la perspectiva de grabación, y luego ajustará automáticamente los parámetros de control respectivos a la posición de los soportes, de tal forma que permita su instalación automáticamente en diversas estructuras, logrando ser asequible sin requerir labor técnica al realizar la instalación.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de auto calibración en distintas zonas de trabajo para una plataforma robótica suspendida mediante cables.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Desarrollar el modelo matemático de un robot por cables considerando el análisis cinemático y dinámico.
2. Diseñar la función de auto calibración en ubicación de los soportes, del robot por cables.
3. Evaluar auto calibración del robot por cables para movimientos en zonas de trabajo distintas, aplicando una carga predefinida.

1.3 MARCO DE REFERENCIA

1.3.1 Marco conceptual

Se presenta un diagrama de árbol Figura 1 Árbol tipológico de robots por cables auto calibrable. Este parte desde la definición de robot hasta robots auto calibrables paralelos comandados mediante cables, definiciones referenciadas en sus respectivos apartados.

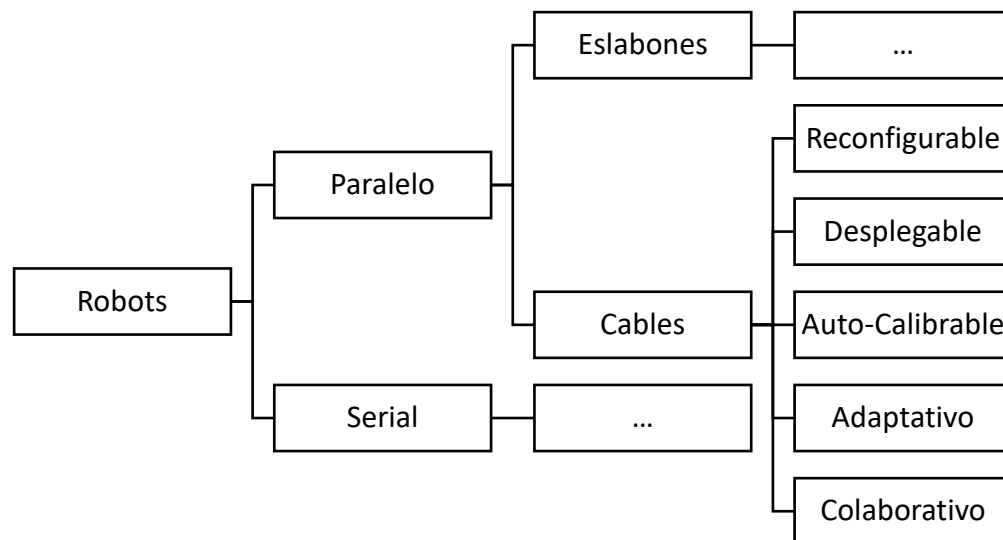


Figura 1 Árbol tipológico de robots por cables auto calibrable

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

1.3.1.1 Conceptos previos

Como una alternativa a las diversas definiciones que se pueden encontrar en el estado del arte en temas de robótica, se utiliza este pequeño espacio para presentar la perspectiva resumida del autor basado en sus estudios académicos universitarios de los conceptos, robots, robótica serial, robótica paralela, y robótica paralela mediante eslabones. Encontrando información más detallada acerca de robots seriales y paralelos en el libro escrito por (Tsai, 1999).

- **Robots**

Un robot es aquello medianamente configurable internamente para que ante comandos de entradas o requisitos, este realiza tareas mecánicas en respuesta, de tal forma que imita un proceso o un agente que toma decisiones independientemente y ejecuta tareas. Como describen (Aracil, Saltarén, Sabater, & Reinoso, 2006) los robots son la respuesta a la búsqueda de realizar las actividades complejas que realiza la mano del hombre.

- **Serial**

Los robot seriales, son aquellos en los que al tener varios actuadores, estos secuencialmente se encuentran acoplados uno a uno desde un punto fijo unidos, como menciona Tasai, en cadena abierta hasta un actuador final, mencionando adicionalmente que sus diseños se encuentra basados en el comportamiento de brazos en seres vivos.

- **Paralelo**

Los robots paralelos por el contrario son aquellos cuyos actuadores están ligados directamente y simultaneamente sobre un efector final, sin que la posición relativa de uno afecte a la del otro. Describiendo un poco de su historia en (Robots paralelos:Máquinas con un pasado para una robótica del futuro, 2006) cuenta entre algunos detalles el que los robots paralelos son aquellos de estructura mecánica en cadena cerrada, permitiendo el apoyo en paralelo de más de un solo brazo en la carga de una determinada tarea y simplificando la cadena cinemática permitiendo mayor integridad en el uso de la energía empleada.

- **Paralelo mediante Eslabones**

Sus actuadores se configuran en cadena cerrada con el efector final por medio de un eslabón rígido, aumentando la capacidad de reacción en esfuerzo mecánico. Estos operan velocidades altas, por lo que se utilizan aplicaciones en de tomar y poner. Aracil, Saltarén, Sabater, y Reinoso mencionan; la plataforma Gough, la plataforma Stewart, entre otros .

1.3.1.2 Cables (CDPR)

Sus actuadores interactúan en cadena cerrada con el efector final por medio de cuerdas, las cuales solo ofrecen reacción mecánica a extensión, mas no en compresión. Esto permite una zona de trabajo amplia y de mayor flexibilidad dada la función de cambio en la longitud de las cuerdas. Una investigación detallada del estado del arte la comparte (Gosselin).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.