



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Estudio y diseño de un robot
especializado en el pulido con
HyDRA de superficies ópticas**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniera en Telecomunicaciones

P R E S E N T A

Viviana Vázquez De Jesús

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Elfego Guillermo Ruíz Schneider



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: M. I. Mario Alfredo Ibarra Carrillo

Secretario: Ing. Margarita Bautista González

Vocal: Dr. Elfego Guillermo Ruiz Schneider

1er. Suplente: M. I. Virgilio Ricardo Lázaro Zermeño

2do. Suplente: Dr. Ernesto Ramírez Cruz

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

Universidad Nacional Autónoma De México

TUTOR DE TESIS

Elfego Guillermo Ruíz Schneider

FIRMA

Índice temático

Índice de imágenes	5
Agradecimientos.....	7
Resumen.....	8
Introducción.....	9
Capítulo 1) Robótica.....	10
1.1) Historia de los Robots	11
1.2) Subsistema de control	15
1.2.1) Microcontroladores.....	15
1.2.2) Comunicación I2C	15
1.3) Sistemas de reconocimiento	16
1.3.1) Giroscopio.....	16
1.3.2) Detector de obstáculos	18
1.3.3) Sistema de Navegación Inercial	19
1.3.4) Cámaras.....	19
1.4) Motores	20
1.4.1) Motor DC	20
1.4.2) Servomotor	21
1.5) Cinemática inversa	21
1.6) Grados de libertad.....	25
1.6.1) Movimiento y dimensiones.....	25
1.6.2) Seis grados de libertad	26
1.6.3) 6 Grados de libertad en robótica	26
1.7) Clasificación	27
1.7.1 Robots:	27
1.7.2 Clasificación de robots por aplicación:	28
1.7.3 Clasificación de robots por sistema de coordenadas:.....	29
1.7.4 Clasificación de robots por su sistema de potencia:.....	30
1.7.5 Clasificación de robots por el método de control:.....	31
1.7.6 Clasificación de robots por el método de programación:.....	31

1.8) Representación de la posición y orientación	32
1.8.1) Posición y orientación en el plano.....	32
1.8.2) Posición y orientación en el espacio.....	35
Capítulo 2) Pulido con HyDRA.....	40
2.1) La plataforma de pulido de HyDRA.....	41
2.1.1) Pulido de fuerza cero	42
2.1.2) Función de influencia de la herramienta y tasas de remoción del material de la superficie a pulir	43
2.1.3) Software	44
2.2) Pulido pulsado	45
2.3) Parámetros de pulido	46
2.3.1) Pulido determinístico.....	47
Capítulo 3) Robot + HyDRA	48
3.1) Descripción	48
3.2) Justificación	48
3.3) Diseño preliminar	50
3.4) Grados de libertad con Pololu	52
3.5) Simulaciones con el software Pololu Maestro Control Center	57
3.6) Dimensiones de la longitud de paso del robot.....	61
Capítulo 4) Robots comerciales.....	63
Capítulo 5) Lentes y aberraciones en telescopios	68
5.1) Lentes: diseño y aberraciones	68
5.1.1) Aberraciones	71
Conclusiones	72
Lista de abreviaturas	73
Glosario.....	74
Referencias.....	76
Datasheet	79

Índice de imágenes

Ilustración 1. La egipcia Clepsydra, or Water	11
Ilustración 2. Modelo de robot diseñado por Leonardo da Vinci	13
Ilustración 3. “Runaround”, el primer cuento en enumerar las tres leyes de la robótica	14
Ilustración 4. Órdenes de magnitud de tamaño la tecnología MEMS	17
Ilustración 5. Sensor óptico tipo barrera.....	18
Ilustración 6. Sensor óptico de reflexión.....	18
Ilustración 7. ‘Junta de pasador simple completa rotatoria’	22
Ilustración 8. ‘Par prismático’	23
Ilustración 9. ‘Par cilíndrico’	23
Ilustración 10. ‘Par esférico, rotula o articulación’	24
Ilustración 11. ‘Par plano’	24
Ilustración 12. ‘Par helicoidal o de tornillo’	24
Ilustración 13. ‘The six degrees of freedom: forward/back, up/down, left/right, pitch, yaw, roll’	26
Ilustración 14. Un AGV autónomo.....	27
Ilustración 15. El robot caminante de la Universidad Estatal de Ohio, un hexápodo	27
Ilustración 16. Robot paralelo Adept Quattro	28
Ilustración 17. Un brazo de robot cartesiano.....	29
Ilustración 18. Brazo de robot cilíndrico dentro de su volumen de trabajo	29
Ilustración 19. Robot esférico	30
Ilustración 20. ‘Vector de coordenadas en el plano’.....	32
Ilustración 21. ‘Coordenadas polares’	33
Ilustración 22. ‘Localización de un objeto en posición y orientación’.....	33
Ilustración 23. ‘Traslación del sistema de coordenadas’	34
Ilustración 24. ‘Rotación del sistema de coordenadas’	35
Ilustración 25. ‘Posición en el espacio’	36
Ilustración 26. ‘Representación de la posición empleando coordenadas cilíndricas’	37
Ilustración 27. ‘Representación de la posición empleando coordenadas esféricas’	37
Ilustración 28. ‘Posición y orientación en el espacio’	38
Ilustración 29. ‘Cambio de sistemas de referencia en el espacio’	39
Ilustración 30. Función de influencia de herramienta	40
Ilustración 31. a) Distribución de presión en función del radio de la herramienta b) Fuerza aplicada por la herramienta HyDRa en función de la distancia Z de la superficie de trabajo para acelerar las presiones.....	43
Ilustración 32. Tasa de eliminación volumétrica DV en función de la presión de aceleración (P_T) para diferentes agentes de pulido	44
Ilustración 33. Interfaz principal del software HyTPT que muestra los cuatro pasos	45
Ilustración 34. ‘Scara parallelo - ITS Meccatronico’	49
Ilustración 35. ‘High – speed SCARA parallel robot’	49
36. a) Simulación por computadora con software ‘Algor’ de SCARA parallel, con brazos iguales formando un paralelepípedo de modo que el movimiento angular de un servomotor se refleje en el desplazamiento de un solo eje.....	50
Ilustración 37. ‘Propuesta de robot tipo trípode’.....	51
Ilustración 38. ‘Propuesta de robot tipo cuadrupedo’	51
Ilustración 39. ‘Propuesta de robot tipo hexápodo’	52
Ilustración 40. ‘Cargador SONY modelo EP 800’.....	53

Ilustración 41. 'VTS05A 8g / 1,0 kg / Servo .17sec'	53
Ilustración 45. 'Microcontrolador servo USB de 6 canales Micro Maestro'	56
Ilustración 43. Esquema para la obtención y resolución de ecuaciones de la longitud de paso del robot	62

Agradecimientos

A mis padres Ofelia e Isidoro por darme la oportunidad de existir, por fomentarme siempre estudiar, por sus enseñanzas, por su amor, su paciencia, por guiarme en el camino y por ayudarme a hacerlo posible.

A mis hermanas y hermano, Aurora, Erendira, Imelda y Moctezuma por ser unos segundos padres para mí, por acompañarme en mi camino, por las enseñanzas, por cuidarme, por estar al pie del cañón siempre.

A mi apreciada Universidad Nacional Autónoma de México y a mi muy querida Facultad de Ingeniería.

A la Lic. Norma Tirado por las conversaciones tan largas y reflexivas, que me permitieron crecer como persona.

A la Dra. Olga Mucharraz que, conociendo de mi interés por los instrumentos ópticos, tuvo la amabilidad de contactarme con un experto en el área.

Al Dr. Elfego Ruiz, por invitarme a participar en su proyecto, por compartirme su conocimiento y por permitirme tomar ese trabajo de investigación para la realización de mi tesis.

A los miembros del jurado por el tiempo invertido y por las retroalimentaciones hechas al respecto: M. I. Mario Alfredo Ibarra, Ing. Margarita Bautista, M. I. Ricardo Lázaro y al Dr. Ernesto Ramírez.

Al M. I. Juventino Cuellar por su amabilidad y paciencia en mi proceso de titulación.

A mis estimados amig@s, Fer, Argelia, Arly, Adrian Azpi, Lalito, René, César Villanueva, Óscar, Pablo y Jhovan, sin ustedes esta aventura llamada Universidad no hubiera sido lo mismo, gracias por todos los momentos, las risas, los inolvidables fines de semestre, por su complicidad, ayuda, lealtad y cariño.

Resumen

A partir de la herramienta de pulido HyDRA, cuya función es el pulido de superficies ópticas mediante la expulsión de una sustancia acuosa, la cual es propulsada por una boquilla de área reducida, en comparación con la superficie óptica, resulta que la huella de erosión es pequeña lo que hace que el pulido sea lento.

Además, como el fluido acuoso contiene sustancias tóxicas para el ser humano la acción reacción de pulido resulta peligroso para quien trabaja cerca de ella.

La importancia de la herramienta HyDRA es que ayuda a pulir lentes; y la importancia de un buen pulido radica en que un telescopio tenga buena resolución.

La herramienta HyDRA pertenece al Instituto de Astronomía de Astronomía Ensenada BC.

Esta tesis presenta la propuesta de que, a partir de la creación de un robot, se puedan añadir varios de estos que al trabajar en paralelo se agilice el trabajo de pulido, evitando así el daño de la toxicidad al ser humano.

Se incluyen la investigación del costo del mercado para comparar los costos de los robots que hay en el mercado, así como sus características, además de especificaciones de su software y desempeño.

También se incluyen en el trabajo la clasificación, los principales elementos y dispositivos necesarios para el funcionamiento de un robot pulidor. Además, se presentan las principales formas de la representación y orientación del robot.

De igual forma se incluyen los tipos de aberraciones más comunes en los lentes.

Introducción

El robot se define, de manera formal en la Organización Internacional para la Estandarización (ISO ~ *International Organization for Standardization* ~ *Organización Internacional de Normalización*) como un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materiales, piezas herramientas o dispositivos especiales a través de movimientos variables programados hará el desempeño de tareas diversas. (Kumar, 2010; 5).

La robótica es una rama de la ingeniería que estudia el diseño, manufactura, aplicaciones, funcionamiento y tipos de robot desde su aparición hasta la actualidad.

Para que un robot funcione, este debe estar integrado por varios componentes que al interactuar entre sí hacen posible su funcionamiento.

Éstos componentes pueden ser de tipo mecánico, electrónico, electromecánico, entre otros; los de tipo mecánico pueden ser: motores de DC, servomotores, etc.; los de tipo electrónico: microcontroladores y/o microprocesadores, etc.; sensores como: giroscopio, detector de obstáculos, sistema de navegación inercial, cámaras, etc.

Los sistemas de un robot funcionan de forma muy similar a la de un ser humano.

La clasificación de los robots es muy amplia y variada; pueden estar clasificados tanto por su objetivo a realizar como por su diseño. Ejemplo de los robots que cumplen su objetivo, son los robots industriales, los robots de servicio y los robots espaciales; mientras que ejemplo de robots por diseño son los de tipo humanoide y animaloide.

Capítulo 1) Robótica

El término robot aparece por primera vez en 1921 en la obra teatral R.U.R. (Rossum's Universal Robots) del novelista y autor dramático checo Karel Capek en cuyo idioma la palabra “robota” significa: fuerza de trabajo o servidumbre. **(Ollero, 2001; 414)**

La palabra robot usualmente es usada para referirse a un agente mecánico que realiza una o más tareas en las cuales imita a un humano o animal ya sea a través de programación o comandos. **(Galang, 2017; 1)**

Los robots son definidos como bestias artificiales que pueden realizar un enorme trabajo dentro de un corto tiempo. Un robot está destinado a ser usado para el servicio de la sociedad; el abuso de un sistema robótico puede crear una enorme catástrofe. **(Mukherjee, 2016; 2)**

Con el paso de los años la aceptación del término ‘robot’ creció, es importante recordar que el termino robot nace asociado a la idea de trabajo y producción. En 1915, Leonardo Torres Quevedo declaró a la revista “Scientific American”. **(Ollero, 2001; 2)**

‘Los robots actuales son obras de Ingeniería y como tales son concebidas para producir bienes y servicios o explotar recursos naturales. Desde esta perspectiva son máquinas con las que se continúa una actividad que parte de los orígenes de la humanidad, y que desde el comienzo de la Edad Moderna se fundamenta esencialmente en conocimiento científicos’. **(Ollero, 2001; 1)**

En nuestro siglo el desarrollo de máquinas ha estado fuertemente influido por el progreso tecnológico. De esta forma se pasa de máquinas que tienen como objetivo exclusivo la amplificación de la potencia muscular del hombre, sustituyéndolo en su trabajo físico, a máquinas o instrumentos que son también capaces de procesar información, complementando, o incluso sustituyendo, al hombre en algunas actividades intelectuales. **(Ollero, 2001; 1)**

1.1) Historia de los Robots

Desde la antigüedad, el ser humano ha sentido fascinación por las máquinas que imitan la figuras y los movimientos de seres animados. Existe una larga tradición de autómatas desde el mundo griego hasta nuestro siglo, pasando por los autómatas de los artesanos franceses y suizos del siglo XVIII que ya incorporaban interesantes dispositivos mecánicos para el control automático de movimientos. **(Ollero, 2001; 1).**

La historia de los robots se originó en el mundo antiguo. El concepto moderno empezó a desarrollarse con la Revolución Industrial la cual permitió el uso de maquinaria compleja y subsecuentemente el uso de electricidad. Esto permitió alimentar máquinas con motores compactos. Fue así como, a principios del siglo XX, la noción de un robot humanoide fue desarrollada. **(Galang, 2017; 1)**

La robótica la podemos encontrar en años antes de Cristo:

- ★ Siglo IV a. C.: Conceptos similares a un robot se pueden encontrar ya en el siglo IV a. C, cuando el matemático griego Archytas de Tarentum postuló un pájaro mecánico al que llamó "La paloma", que fue propulsado por vapor. **(Galang, 2017; 3).**
- ★ Año 250 a. C.: Otro autómata temprano fue la 'Clepsydra' [Ver Ilustración 1], hecha en 250 a. C. por Ctesibius de Alejandría, un físico e inventor del periodo helenístico de Egipto. Héroe de Alejandría (10 - 70 d. C.) hizo numerosas innovaciones en el campo de la automatización, incluyendo uno que supuestamente podía hablar. **(Galang, 2017; 3).**

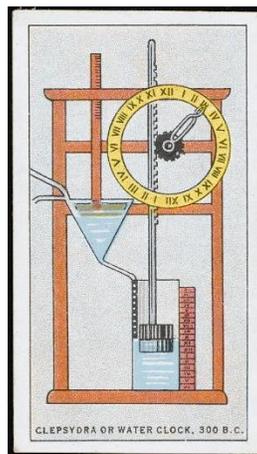


Ilustración 1. La egipcia Clepsydra, or Water. Ilustración obtenida de: <https://pixels.com/featured/the-egyptian-clepsydra-or-water-mary-evans-picture-library.html> (Consultada agosto 2019). Evans, M.

Clepsydra, antiguo dispositivo para medir el tiempo por el flujo gradual de agua. En otra forma, el recipiente se llenó con agua que se le permitió escapar a través de un agujero, y el tiempo se leyó desde líneas graduadas en el interior que medían el nivel del agua restante. [1]

Las clepsydras se usaron por ejemplo para el cronometraje de los discursos de los oradores; más tarde en el siglo XVI, Galileo usó una de mercurio para cronometrar sus cuerpos experimentales en caída. [2]

- ★ En la antigua China, una cuenta de autómatas se encuentra en el texto de Lie Zi, escrito en el siglo III a. C., en el que el Rey Mu Zhou (1023 – 957 a. C.), se presenta con una figura mecánica de tamaño natural con forma humana de Yan Shi, un "artífice".
(Galang, 2017; 4).
- ★ El ingeniero artístico de principios del siglo XVIII, Villard de Honnecourt, elaboró planes para varios autómatas. A finales del siglo XIII, Roberto II conde de Artois construyó un jardín de placer en su castillo de Hesdin en el que se incorporó una serie de estos autómatas con formas humanoides y animaloides. (Galang, 2017; 4).
- ★ Uno de los principales diseños recordados de robot humanoide fue diseñado por Leonardo Da Vinci [Ver Ilustración 2] (1452 – 1519) alrededor de (1495). Su cuaderno fue redescubierto en 1950, contiene los dibujos detallados de la mecánica del caballero y su armadura la cual fue diseñada para sentarse, agitar sus brazos, mover su cabeza, y mandíbula. El diseño es probable que esté basado anatómicamente en “El hombre de Vitruvio”, pero no se sabe si intentó construir el robot. (Galang, 2017; 4).



Ilustración 2. De izquierda a derecha. Izquierda. Modelo diseñado alrededor de 1495 para un concurso en Milán (del cual Leonardo había sido encargado por el duque de Milán). Derecha. Utilizando varios dibujos de Vinci diferentes como planos, el robotista Mark Rosheim construyó un prototipo del caballero robótico en 2002, que presenta muchas de las funciones originalmente pensada. [3]

- ★ 1700: algunos autómatas fueron contruidos con capacidades como: dibujar, volar y tocar un instrumento; algunos de los trabajos más famosos de este periodo fueron creados por Jacques de Vaucanson en 1737. (Galang, 2017; 5).

Siglo XX. Robots Autónomos Modernos

Se trata de imitar movimientos de seres vivos, pero también de demostrar técnicas de control remoto, incluyéndose en algunos casos funciones sensoriales primarias. (Ollero, 2001; 2).

En 1941 – 1942, Isaac Asimov formuló las tres leyes de la robótica, y en el proceso acuñó la palabra “robótica”. En 1948, Norbert Wiener formuló los principios de la cibernética, que son base de la robótica práctica. (Galang, 2017; 7).

Las tres leyes de la Robótica (La ley de Asimov) son un conjunto de reglas creadas por el autor de ciencia ficción Isaac Asimov. Las reglas fueron presentadas en su cuento de 1942 “Runaround”, aunque habían sido presagiadas en algunas historias. Las tres leyes, son citadas como “Manual de Robótica”, edición 56, 2058 d. C. éstas son: [Ver Ilustración 3]

1. Un robot no debe dañar a un ser humano ni, por su inacción dejar que un ser humano sufra daño.
2. Un robot debe obedecer las órdenes que le son dadas por un ser humano, excepto si estas entran en conflicto con la primera ley.
3. Un robot debe proteger su propia existencia a menos que ésta entre en conflicto con las dos primeras leyes. **(Kumar, 2010; 2).**

Más tarde, Fuller (1999) introdujo una cuarta ley que dice:

4. Un robot podrá tomar el trabajo de un ser humano, pero no debe dejar a esta persona sin empleo. **(Kumar, 2010; 2).**

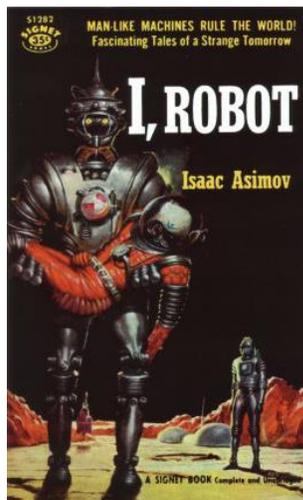


Ilustración 3. Ilustra la historia de “Runaround”, el primer cuento en enumerar las tres leyes de la robótica (1950). I, Robot. Ilustración obtenida de: https://en.wikipedia.org/wiki/Three_Laws_of_Robotics. (Consultada Jul 2019) Asimov, I.

La historia de los robots está vinculada al desarrollo de la inteligencia artificial. **(Galang, 2017; 7)** El primer robot operado y programado digitalmente fue inventado por George Devol en 1954 y fue por último llamado el “Unimate”. Por último, puso las fundaciones de industria robótica moderna. Devol vendió el primer “Unimate” a General Motors en 1960, y este fue instalado en 1961 en la planta de Trenton en Nueva Jersey para elevar piezas calientes de metal para una máquina de fundición a presión y apilarlos. **(Galang, 2017; 8).**

El primer robot móvil con capacidad de reconocer sus alrededores es Shakey que fue construido en 1970 por el Instituto de Investigación de Stanford (ahora SRI Internacional - Stanford Research Institute). Shakey combinó múltiples sensores de entrada, incluyendo cámaras de TV, láser telémetros, sensores de golpe para navegación. **(Galang, 2017; 8).**

La década de los ochentas

La aparición en 1972 del microprocesador suministra un impulso decisivo al control por computador, haciendo rentables numerosísimas aplicaciones entre las que se cuenta el control de robots. Los avances en microelectrónica de los años ochenta, con la tecnología de los circuitos de gran escala de integración, acentúan esta tendencia. **(Ollero, 2001; 3)**

1.2) Subsistema de control

1.2.1) Microcontroladores

Son también conocidos como microcomputadoras y son usados en aplicaciones embebidas en la mayoría de los casos. Un microcontrolador es un chip integrado que contiene un procesador, memoria, puertos de entrada y salida programables llamados de propósito general (*GPIO ~ General Purpose Input/Output ~ Propósito General de Entrada y Salida*). Pueden tener una RAM (*Random Access Memory ~ Memoria de Acceso Aleatorio*) muy pequeña, una memoria ROM (*Read Only Memory ~ Memoria de sólo lectura*) programable como la memoria flash donde se almacenan programas e instrucciones. Tiene la potencia de realizar tareas en tiempo real con ayuda de software embebido. **(Mukherjee, 2016; 8)**

1.2.2) Comunicación I2C

Inter – Integrated Circuit (*I2C ~ Inter-Integrated Circuits ~ Circuitos Inter Integrados*), es un protocolo de comunicación que conecta un número de dispositivos con circuitos integrados. Esto es similar para la comunicación serial síncrona donde la señal tiene dos líneas, una serie de datos y los otros relojes seriales (*SCL – Serial Clock – Reloj Serial*), que pasan de maestro a esclavo. **(Mukherjee, 2016; 12)**

1.3) Sistemas de reconocimiento

Una llanta de robot muy básica debe sentir por donde se mueve o los obstáculos que puede encontrarse en el camino. Un robot consiste en muchos sensores en tiempo para detectar la orientación, localización, dirección, etc. **(Mukherjee, 2016; 24)**

En la mayoría los robots industriales actuales, la velocidad de operación debe ser pequeña. **(Ollero, 2001; 6).**

Nótese que interesa al programador pueda expresar los movimientos en coordenadas cartesianas y no en ángulos o desplazamientos de las articulaciones. **(Ollero, 2001; 7).**

Al final de los años setenta y principios de los ochenta se adoptan lenguajes estructurados con herramientas de programación en tiempo real que progresivamente se introducen en los robots industriales comerciales. **(Ollero, 2001; 7)**

1.3.1) Giroscopio

La tarea principal un sensor giroscopio es darle orientación a un sistema con respecto a la Tierra. Es el principio básico del momento angular del sistema.

En nuestros días, la mayoría de los sistemas electrónicos robo-electrónicos usan sistemas micro electromecánicos (MEMS ~ Micro-Electromechanical-System – Sistemas Micro-Electromecánicos) sistema de giroscopio. **(Mukherjee, 2016; 24)**

Los Sistemas-Micro-Electro-Mecánicos o MEMS, son una tecnología que, en su forma más general puede ser definida como elementos mecánicos y electro-mecánicos miniaturizados que se realizan con técnicas de micro fabricación. (2012). [4]

Las dimensiones físicas críticas de los dispositivos MEMS pueden variar desde muy por debajo de 1μ [Ver Ilustración 4] en el extremo inferior del espectro de dimensiones, hasta varios milímetros. [5]

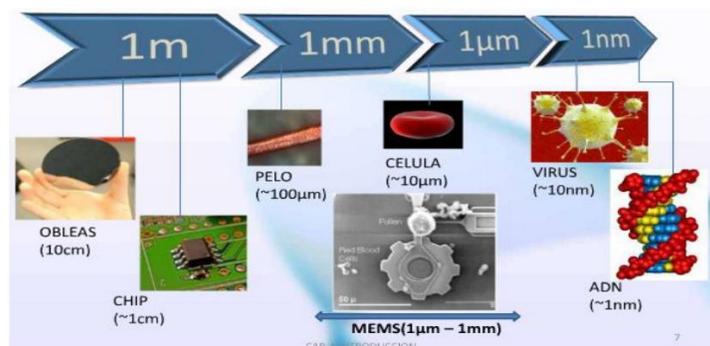


Ilustración 4. Órdenes de magnitud de tamaño la tecnología MEMS, (Consultada agosto 2019) [6]

Asimismo, los tipos de dispositivos de MEMS pueden variar de estructuras relativamente simples que no tienen elementos móviles, a los sistemas electromecánicos extremadamente complejos con múltiples elementos móviles bajo el control de la microelectrónica integrada. [7]

Existen varios tipos de giroscopios entre los que se encuentran los mecánicos, los electrónicos y los ópticos.

Los giróscopos o giroscopios, mecánicos están constituidos por un volante o masa que rota suficientemente rápido alrededor de un eje estando la masa distribuida en la periferia con objeto de que el momento de inercia del eje de rotación sea alto. (Ollero, 2001; 188)

Nótese que existen tres ejes: el eje de rotación del volante, o rotor, un eje de perpendicular al de rotación del volante, que define el pivote interno, horizontal y un tercer eje perpendicular que define el pivote externo, vertical. (Ollero, 2001; 188)

Los giroscopios electrónicos. Son normalmente sensores de velocidad angular que emplean el efecto de Coriolis (Ollero, 2001; 190) (depende de la velocidad de giro). La medida de la velocidad se obtiene determinando la diferencia de las vibraciones a diferentes ángulos. (Ollero, 2001; 190).

El giroscopios ópticos. El dispositivo básico consisten en dos haces láser en direcciones opuestas formando un circuito cerrado. Los patrones de interferencia formados dividiendo y mezclando porciones de los haces se utilizan para determinar la magnitud y dirección de la velocidad de rotación del dispositivo. (Ollero, 2001; 190)

1.3.2) Detector de obstáculos

Es muy conocido como un sensor detector de obstáculos ultrasónico. Es un sensor ultrasónico que puede usar la distancia del objeto para enviar una señal ultrasónica hacia el objeto. El envío y recepción en tiempo del sonido son recordados. (Mukherjee, 2016; 25)

Cabe mencionar los sensores que detectan la presencia de un objeto. (Ollero, 2001; 178)

La presencia de objetos puede detectarse también mediante sensores ópticos tipo barrera [Ver Ilustración 5] en los que el objeto intersecta la línea entre el emisor y el receptor. Se emplean diodos emisores de luz y fotodetectores tales como fotorresistores, fotodiodos o fototransistores.

Los fotorresistores o fotocélulas son resistencias cuyo valor cambia con la intensidad de la luz recibida. (Ollero, 2001; 179)

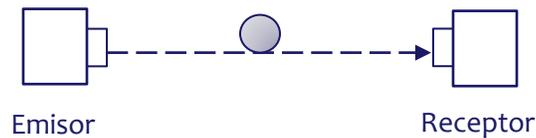


Ilustración 5. Sensor óptico tipo barrera. Ilustración obtenida del libro: Robótica. Manipuladores y robots móviles. Ollero, A.

Se emplean también sensores ópticos en los que el emisor y receptor se ponen sobre el robot detectándose la presencia del objeto por la reflexión de la luz en el objeto [Ver Ilustración 6]. El enfoque se consigue mediante lentes de longitudes de onda, tales como 880, inmediatamente inferiores a la visible. A estos sensores se les determina también sensores de proximidad. (Ollero, 2001; 179).

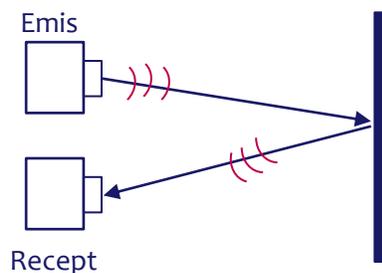


Ilustración 6. Sensor óptico de reflexión. Ilustración obtenida del libro: Robótica. Manipuladores y robots móviles. Ollero, A.

1.3.3) Sistema de Navegación Inercial

En vehículos terrestres es frecuente que las aceleraciones sean reducidas, por lo que la relación señal/ruido¹ es baja dificultando la medida correcta. Asimismo, las posiciones estimadas acumulan derivas, necesitándose sensores de alta calidad para obtener valores aceptables de error de posición. Es importante que la plataforma esté estabilizada, por lo cual es necesario emplear giroscopios ópticos de calidad para la medida de las orientaciones. **(Ollero, 2001; 191)**

1.3.4) Cámaras

En los primeros sistemas de teleoperación se emplearon cámaras de tubo de vacío. En la actualidad se usan cámaras CCD (Charged Coupled Device ~ Dispositivo de Carga Acoplada), consiguiéndose cada vez una mayor resolución en el detector (cámaras de varios miles de elementos en cada una de las dos dimensiones) lo que resulta difícil de aprovechar utilizando tecnologías poco convencionales de visualización, debido a las limitaciones de muestreo y transmisión. **(Ollero, 2001; 414)**

Otro aspecto que debe ser analizado es la necesidad o no de visión en color. Para ello es necesario estudiar de forma detallada la tarea, ya que, en caso de no ser relevante para dicha tarea, cuando existen limitaciones en la transmisión digital de imágenes se recomienda la transmisión monocroma. **(Ollero, 2001; 414)**

Las cámaras actuales admiten disparo electrónico y ganancia de señal controlada remota y electrónicamente. **(Ollero, 2001; 414)**

1. Para poder empezar a operar con este sistema es preciso que se le dote de una posición inicial. Como en cualquier sistema donde se emplea una integración matemática, sólo es posible calcular los parámetros actuales si conocemos los iniciales. Es entonces cuando en INS (Inertial Navigation System – Sistema de Navegación Inercial) o su versión más moderna IRS (Integrated Reception System – Sistema de Recepción Integrado) puede alinearse para poder efectuar los cálculos de navegación. Una vez alineado el sistema inercial, este es capaz de calcular los parámetros más importantes de navegación de forma autónoma. [8]

Con respecto a la apertura, hay que señalar que el control del iris de la cámara es interesante para conseguir imágenes con un número elevado de niveles de grises. Existen estudios que han puesto de manifiesto la posibilidad de teleoperar con sólo 16 niveles de grises, aunque, en general, las condiciones ideales de la vida humana involucra, aproximadamente 158. (Ollero, 2001; 414).

Un campo de vista angular suministra perspectiva, lo cual es de interés para realizar movimientos gruesos, pero la resolución espacial resultante es menor, lo que dificulta o incluso puede impedir los movimientos finos. (Ollero, 2001; 415)

1.4) Motores

Cuando un cable conduce una corriente es introducido un campo magnético, que experimenta una fuerza normal al plano formado por el campo magnético y la corriente eléctrica como muestra la siguiente ecuación. (Niku, 2001; 186)

$$\vec{F} = \vec{I} \times \vec{B} \quad \text{Ecuación 1.4}$$

Donde:

\vec{F} : Fuerza de Lorentz ['N' - Newton]

\vec{I} : Corriente eléctrica ['A' - Ampere]

\vec{B} : Campo magnético ['T' - Tesla]

Si el alambre es adjunto a un centro de rotación. El resultado del par causará que gire alrededor del centro de rotación. Al cambiar la dirección del campo magnético o la corriente, causará que el cable gire continuamente alrededor del centro de rotación. (Niku, 2001; 186)

1.4.1) Motor DC

Un motor de corriente directa tiene un conjunto de bobinas conocido como embobinado de armadura, dentro de otro conjunto de imanes permanentes (estator). Aplicando voltaje a las bobinas, se produce un par en la armadura dando como resultado movimiento.

El rotor es la parte interna del motor que rota. Un rotor consiste en un embobinado de armadura, el cual es generalmente conectado a un circuito externo vía un conmutador mecánico. El rotor y el estator están arreglados con materiales ferromagnéticos y separados por aislamiento de aire. El embobinado del rotor y el estator está arreglado por conexiones en serie y paralelo. **(Mukherjee, 2016; 27)**

Dos condiciones necesarias para producir fuerza en el conductor:

- El conductor debe acarrear corriente
- Debe haber un campo magnético.

Al existir estas dos condiciones, la fuerza puede ser aplicada al conductor la cual podrá mover el conductor en dirección perpendicular al campo magnético.

(Mukherjee, 2016; 27)

1.4.2) Servomotor

Es un dispositivo mecánico motorizado que puede ser instruido para mover las salidas de los ejes adjuntos a las llantas o brazos de los servos, para una posición específica. Dentro de la caja del servo hay un motor mecánico de DC ligado a una posición de realimentación con un potenciómetro, caja de cambios, electrónica de realimentación, circuitos de control de lazo y circuitos electrónicos del motor. **(Mukherjee, 2016; 28)**

1.5) Cinemática inversa

Cinemática es la relación entre posiciones, velocidades y aceleraciones de los enlaces de manipulación de brazos, dedos o piernas. **(Galang, 2017; 13).**

La cinemática inversa se refiere al uso de ecuaciones cinemáticas de un robot para determinar los parámetros de articulación que proporcionan una posición deseada del efector final. La especificación del movimiento de un robot para que su efector final logre una tarea deseada se conoce como planificación de movimiento. **(Galang, 2017; 20).**

Un sistema mecánico está compuesto por diversas articulaciones. Normalmente se distingue entre el brazo y el órgano terminal o efector final que puede ser intercambiable, empleando pinzas o dispositivos específicos para diferentes tareas. (Ollero, 2001; 5).

El aumento del número de articulaciones aporta mayor maniobrabilidad, pero dificulta el problema del control, obteniéndose normalmente menores precisiones por acumulación de errores. (Ollero, 2001; 5).

Las ecuaciones que describen el movimiento del brazo articulado son ecuaciones diferenciales no lineales y acopladas, para las que, en un caso general, resulta difícil obtener soluciones analíticas. Físicamente, los términos de acoplamiento representan: pares gravitacionales que dependen de la posición de las articulaciones, pares de reacción debidos a las aceleraciones de otras articulaciones y pares debidos a la aceleración de Coriolis y fuerzas centrífugas. La magnitud de estas interacciones depende de las características del brazo y de la carga. (Ollero, 2001; 5).

- Tipos de pares cinemáticos

1. Par o junta de rotación (Un grado de libertad)



Ilustración 7. 'Junta de pasador simple completa rotatoria'. Ilustración obtenida del sitio: <https://www.slideshare.net/Masson72/analisis-cinematico-de-mecanismos-unidad-2>. (Consultada: agosto 2019)
Villalpando, A.

2. Par prismático (Un grado de libertad)

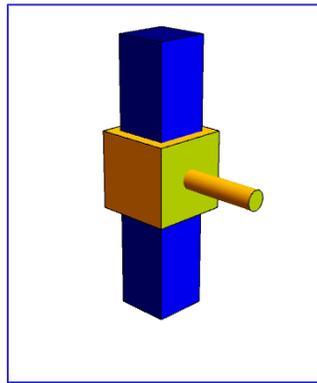


Ilustración 8. 'Par prismático'. Ilustración obtenida de <http://laplace.us.es/wiki/index.php/Archivo:Par-prismatico.gif>
(Consultada: agosto 2019)

3. Par cilíndrico (Dos grados de libertad)

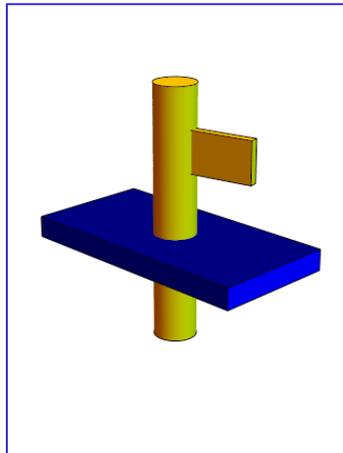


Ilustración 9. 'Par cilíndrico'. Ilustración obtenida de <http://laplace.us.es/wiki/index.php/Archivo:Par-cilindrico.gif>
(Consultada: agosto 2019)

4. Par de rótulo (Tres grados de libertad)

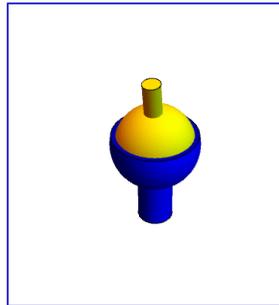


Ilustración 10. 'Par esférico, rotula o articulación'. Ilustración obtenida de <http://laplace.us.es/wiki/index.php/Archivo:Par-esferico.gif> (Consultada: agosto 2019)

5. Par plano (Tres grados de libertad)

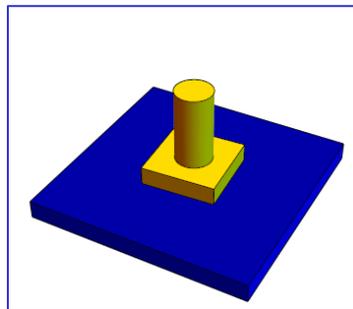


Ilustración 11. 'Par plano'. Ilustración obtenida de <http://laplace.us.es/wiki/index.php/Archivo:Par-plano.gif> (Consultada: agosto 2019)

6. Par helicoidal o tornillo (Un grado de libertad)

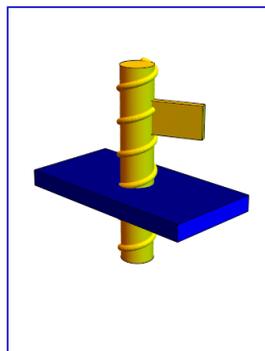


Ilustración 12. 'Par helicoidal o de tornillo'. Ilustración obtenida de <http://laplace.us.es/wiki/index.php/Archivo:Par-helicoidal.gif> (Consultada: agosto 2019)

1.6) Grados de libertad

En física, los grados de libertad (*DOF ~ Degrees of Freedom ~ Grados de Libertad*) de un sistema mecánico son el número de parámetros independientes que define su configuración. Este es el número de parámetros que determina el estado de un sistema físico y su importancia para el análisis de sistemas de cuerpos en Ingeniería mecánica, Ingeniería aeronáutica, robótica e Ingeniería estructural. (Galang, 2017; 47).

1.6.1) Movimiento y dimensiones

La posición de un cuerpo rígido de n – dimensiones está definida por la transformación,

$$T = [A, d] \quad 1.6.1$$

Donde d es una translación de n – dimensiones

A una matriz cuadrada de rotación

La cual tiene ‘ n ’ grados de libertad translación y

$n * \left(\frac{n-1}{2}\right)$ grados de libertad de rotación.

(Galang, 2017; 48).

Los grados de libertad de un sistema pueden ser vistos como el número mínimo de coordenadas requeridas para especificar la configuración. (Galang, 2017; 47) Aplicando la definición tenemos:

- Para una partícula simple en un plano con dos coordenadas define su localización así que tiene dos grados de libertad.
- Una partícula en el espacio requiere de tres coordenadas, así que tiene tres grados de libertad.
- Dos partículas en el espacio tienen una combinación de seis grados de libertad.

(Galang, 2017; 48)

1.6.2) Seis grados de libertad

Seis grados de libertad (6DoF) [Ver Ilustración 13] se refiere a la libertad de movimiento de un cuerpo rígido en un espacio tridimensional. Específicamente, el cuerpo es libre para cambiar la posición de hacia adelante/ hacia atrás, arriba / abajo, izquierda / derecha, translación y rotación en tres ejes perpendiculares, combinados con cambios en orientación a través de rotación sobre tres ejes perpendiculares, a menudo llamado lanzamiento, derrape y rodaje. (Galang, 2017; 48).

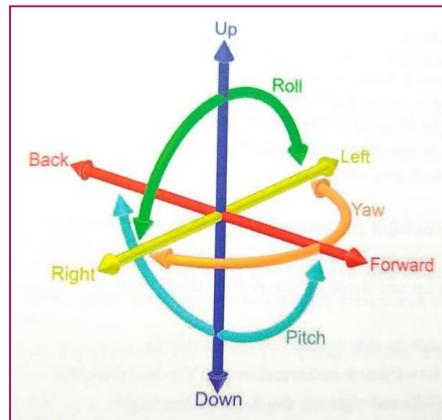


Ilustración 13. 'The six degrees of freedom: forward/back, up/down, left/right, pitch, yaw, roll'. Ilustración obtenida del libro: Introduction to robotics. Maureen, G.

1.6.3) 6 Grados de libertad en robótica

Sistemas manipuladores en serie y paralelo son generalmente diseñados para rotación y traslación con seis grados de libertad, que consisten en tres de rotación y tres de translación. Proporcionando una relación directa entre las posiciones de su actuador y la configuración del manipulador definida por su cinemática inversa.

Los brazos de los robots son descritos por sus grados de libertad, a mayor número de uniones mayor flexibilidad tendrá, en contraste con la definición abstracta de grados de libertad lo cual mide la capacidad de almacenamiento agregado al sistema.

(Galang, 2017; 49)

1.7) Clasificación

1.7.1 Robots:

- Vehículos guiados automáticamente (AGV ~ Automatic Guided Vehicle ~ Vehículos Guiados Automáticamente)

Son sistemas robóticos móviles que se usan comúnmente para el manejo de materiales en fábricas. Por lo general, estos AGV autónomos [Ver Ilustración 14] siguen una trayectoria que está señalada en el piso de la nave. También existen AGV autónomos que no necesitan una trayectoria cableada. Asimismo, hay características adicionales, por ejemplo, la capacidad de movimiento omnidireccional. (Kumar, 2010; 7)



Ilustración 14. Un AGV autónomo. Ilustración obtenida del libro: *Introducción a la Robótica*. Kumar, S.

- Robots caminantes

Estos robots caminan como seres humanos. Se usan en los ejércitos, en la exploración subacuática y en lugares de terreno accidentado. [Ver Ilustración 15] (Kumar, 2010; 7)

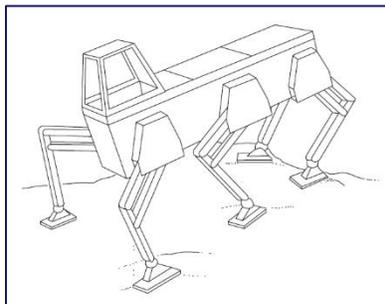


Ilustración 15. El robot caminante de la Universidad Estatal de Ohio, un hexápodo. Ilustración obtenida del libro: *Introducción a la robótica*. Kumar, S.

- Robots paralelos

Como lo indica su nombre, estos robots tienen una configuración paralela, en contraste con la estructura de tipo serial de un robot industrial. En este sentido, un robot caminante con todas sus patas en contacto con el suelo es un robot paralelo [Ver Ilustración 16]. (Kumar, 2010; 7)



Ilustración 16. Robot paralelo Adept Quattro (Consultada agosto 2019) Ilustración obtenida de: <https://info.vinssa.com/robot-paralelo-adept-quattro-eplc800h>

1.7.2 Clasificación de robots por aplicación:

Este método se vuelve más relevante, pues cada vez más robots se están diseñando para servir en tareas específicas. (Kumar, 2010; 24)

- De ensamble

Muchos robots están diseñados para trabajos de ensamble y no serán muy fácilmente adaptables para otras aplicaciones. (Kumar, 2010; 24)

- De soldadura

Para la soldadura de costura, algunos proveedores proporcionan sistemas de soldadura completos junto con el robot, es decir, el equipo de soldadura con sus unidades de manejo de materiales, sus mesas giratorias, etc., juntas como una unidad integral. Este sistema robótico integral se llama “robot de soldadura”, aunque su unidad manipuladora independiente podría adaptarse para una variedad de tareas. (Kumar, 2010; 24)

- De trabajo pesado

Algunos robots están específicamente diseñados para la manipulación de cargas pesadas y, por lo tanto, se llaman “robots de trabajo pesado”. (Kumar, 2010; 24)

1.7.3 Clasificación de robots por sistema de coordenadas:

- Cartesiano (x, y, z)

Cuando el brazo de un robot se mueve de modo rectilíneo, es decir, en las direcciones de las coordenadas ‘x’, ‘y’ y ‘z’ del sistema de coordenadas cartesianas rectangulares diestras, se le llama tipo cartesiano o rectangular [Ver Ilustración 17]. (Kumar, 2010; 24)

El robot asociado se conoce entonces como robot cartesiano. Se llama a los movimientos desplazamiento ‘x’, altura o elevación ‘y’ y alcance ‘z’ del brazo. (Kumar, 2010; 24)

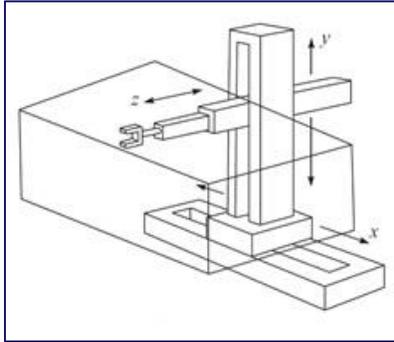


Ilustración 17. Un brazo de robot cartesiano. Ilustración obtenida del libro: Introducción a la robótica. Kumar, S.

- Cilíndrico (θ , y, z)

Los puntos que puede alcanzar pueden ser convenientemente especificados con coordenadas cilíndricas, es decir, ángulo θ , altura ‘y’ y radio ‘z’, [Ver Ilustración 18]. Un robot con este tipo de brazo se denomina robot cilíndrico, cuyo brazo se mueve por medio de θ , ‘y’ y ‘z’, es decir, tiene una rotación de base, una elevación y un alcance, respectivamente. (Kumar, 2010; 25).

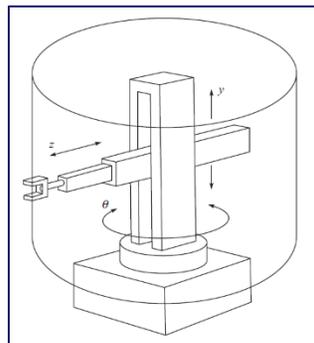


Ilustración 18. Brazo de robot cilíndrico dentro de su volumen de trabajo. Ilustración obtenida del libro: Introducción a la robótica. Kumar, S.

- Esférico o polar (r, θ)

Cuando el brazo de un robot es capaz de cambiar su configuración moviendo sus dos articulaciones de revoluta y su articulación prismática, es decir, cuando la segunda articulación prismática a lo largo de la altura y del tipo cilíndrico es reemplazada por una articulación de revoluta con su eje girado 90° respecto al eje z, se denomina brazo de robot esférico o polar [Ver [Ilustración 19](#)]; la posición del brazo se describe convenientemente por medio de las coordenadas esféricas θ, φ y z. (Kumar, 2010; 26)

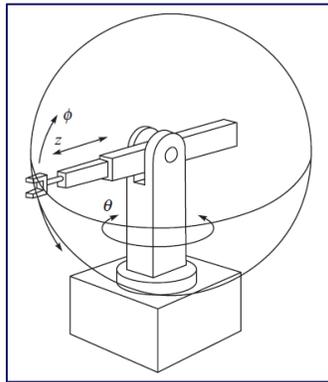


Ilustración 19. Robot esférico. Ilustración obtenida del libro: Introducción a la robótica. Kumar, S.

1.7.4 Clasificación de robots por su sistema de potencia:

- Accionados por energía eléctrica

Hoy en día, el método de accionamiento más común es la energía eléctrica mediante el uso de varios tipos de motores, por ejemplo, el motor de pasos, servo CD y servo CA sin escobillas.

(Kumar, 2010; 29)

- Accionados por energía de fluidos

- Sistemas neumáticos

Los robots neumáticos se utilizan en trabajos de ensamble ligero o embalaje, pero por lo regular no son convenientes para tareas pesadas o donde se necesite control de velocidad.

- Sistemas hidráulicos

Los robots hidráulicos se utilizan en aplicaciones de cargas pesadas debido a su alta proporción potencia-tamaño. (Kumar, 2010; 29)

1.7.5 Clasificación de robots por el método de control:

- Servocontrolado / No servocontrolado

Los robots son servocontrolados (ciclo cerrado) o no servocontrolados (ciclo abierto). Con el fin de aprovechar las ventajas completas del control digital o por microprocesador, lograr una buena precisión en condiciones de carga pesada y llevar a cabo tareas complejas con seguridad, se requiere el servocontrol completo. En este método de control, se transmiten comandos a los actuadores de los brazos para mover cada eje únicamente con la cantidad necesaria.

(Kumar, 2010; 30)

- Control de trayectoria

En un control de trayectoria punto a punto, el brazo del robot se mueve desde un punto deseado hasta el siguiente sin considerar la trayectoria que se toma entre ellos. La trayectoria real que se toma podrá ser el resultado de una combinación de movimientos de eslabones del brazo, calculada para proporcionar el tiempo mínimo de viaje entre los puntos. **(Kumar, 2010; 29)**

1.7.6 Clasificación de robots por el método de programación:

- Online

Los métodos online requieren el uso directo del robot y utilizan un teach pendant (caja de enseñanza) para la programación punto a punto, así como brazos de esclavo o un accesorio de empuñadura de pistola para la programación de trayectoria continua. **(Kumar, 2010; 30)**

- Offline

Los robots más recientes tienen la posibilidad de programación offline, es decir, el robot puede seguir trabajando en una tarea particular, mientras se prepara un programa para una nueva tarea en una terminal de computación, utilizando el lenguaje de programación del robot, por ejemplo, VAL (Variable Assembly Language ~ Lenguaje de Ensamblaje Variable), ALU (Arithmetic Logic Unit ~ Unidad Aritmética Lógica) u otros. **(Kumar, 2010; 30)**

1.8) Representación de la posición y orientación

En robótica es necesario poder describir de forma conveniente las posiciones de forma conveniente las posiciones y orientaciones de los objetos en el espacio. Se comienza por estudiar la posición y orientación en el plano introduciendo las operaciones elementales de rotación y traslación, y considerando los cambios de sistemas de referencia. (Ollero, 2001; 39).

1.8.1) Posición y orientación en el plano

En este subtema emplearé la notación de Craig. (Ollero, 2001; 39)

Estudio mediante: dos coordenadas y un ángulo de orientación. (Ollero, 2001; 40)

[Ver Ilustración 20]

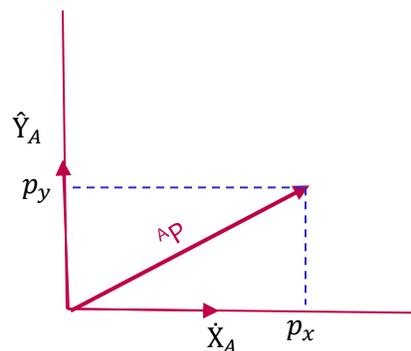


Ilustración 20. 'Vector de coordenadas en el plano'. Ilustración obtenida del libro: Robótica. Manipuladores y robots móviles. Ollero, A.

Supóngase un sistema de coordenadas de referencia fijo al que se designará como sistema **A**. La posición con respecto a este sistema se representará mediante un vector de posición ${}^A P$, cuyas componentes son las coordenadas de este punto: (Ollero, 2001; 40)

$${}^A P = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 1.8.1}$$

Cuyo sistema, tiene como vectores unitarios \hat{X}_A, \hat{Y}_A .

Otra posible forma de expresar las coordenadas de un punto respecto a un sistema de referencia es mediante el empleo de coordenadas polares. [Ver Ilustración 21]

Considérese también otro sistema de coordenadas con vectores unitarios \hat{X}_B, \hat{Y}_B . La dirección del vector \hat{Y}_B forma un ángulo θ con el vector \hat{Y}_A . (Ollero, 2001; 40) [Ver Ilustración 22]

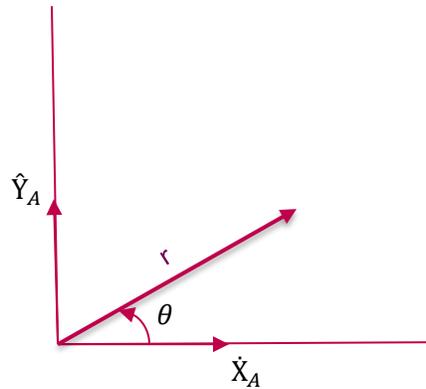


Ilustración 21. 'Coordenadas polares'. Ilustración obtenida del libro: Robótica. Manipuladores y robots móviles. Ollero, A.

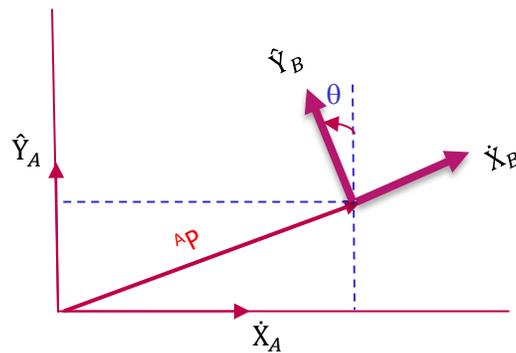


Ilustración 22. 'Localización de un objeto en posición y orientación'. Ilustración obtenida del libro: Robótica. Manipuladores y robots móviles, Ollero, A.

Si se expresan los vectores unitarios del sistema **B** en el **A** se escribirá ${}^A\hat{X}_B, {}^A\hat{Y}_B$. Estos dos vectores se disponen según las columnas de una matriz. (Ollero, 2001; 41) [Ver Ilustración 23]

$${}^A_R = [{}^A\hat{X}_B \quad {}^A\hat{Y}_B] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} \\ r_{21} & r_{22} \end{bmatrix} \quad \text{Matriz de rotación}$$

Si el ángulo de orientación es θ , de la 'Imagen 6' se deduce:

$${}^A_R = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\text{sen } \theta \\ \text{sen } \theta & \cos \theta \end{bmatrix}$$

Teniendo en cuenta que los vectores de la columna son **ortonormales**², puede escribirse:

$${}^A_B R = {}^A_B R^{-1} = {}^A_B R^T \quad \text{Ollero, 2001; 41)}$$

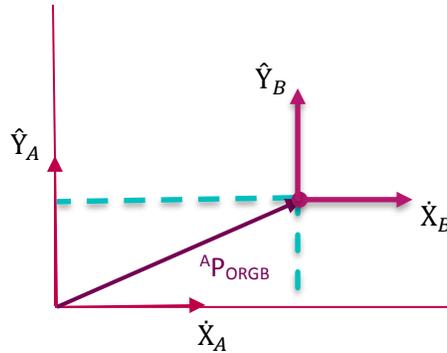


Ilustración 23. 'Traslación del sistema de coordenadas'. Ilustración obtenida del libro: *Robótica. Manipuladores y robots móviles*, Ollero, A.

Supóngase que el sistema **B** tiene sus vectores de dirección coincidentes con los del **A**. Este problema se presentaría cuando el robot se desplazara sin cambiar de orientación. El origen del sistema **B** se localizará con respecto al **A**, mediante el vector: (Ollero, 2001; 41)

$${}^A P_{ORGB} = [{}^A p_{xORGB} \quad {}^A p_{yORGB}]^T \quad \text{Ecuación 1.8.2}$$

Por consiguiente, las coordenadas de un punto cualquiera del plano en los dos sistemas están relacionadas mediante: (Ollero, 2001; 42)

$${}^A p_x = {}^B p_x + {}^A p_{xorgb} \quad \text{Ecuación 1.8.3}$$

$${}^A p_y = {}^B p_y + {}^A p_{yorgb} \quad \text{Ecuación 1.8.4}$$

Expresiones en las cuales las componentes de los vectores pueden sumarse por estar estos vectores en la misma dirección. (Ollero, 2001; 42)

2. Base ortonormal: una base de un espacio vectorial es ortonormal cuando es una base ortogonal* y sus vectores son unitarios. [9]

*. **Base ortogonal:** una base de un espacio vectorial es ortogonal cuando los vectores que la forman son perpendiculares ** dos a dos. [9]

** **Vectores ortogonales:** Dos vectores $u, v \in \mathbb{R}^n$, no nulos, decimos que son ortogonales cuando son vectores perpendiculares, es decir, forman un ángulo recto (90°). Que dos vectores $u, v \in \mathbb{R}^n$ son ortogonales se representa por $u \perp v$, es decir: $u \perp v \Rightarrow \alpha = 90^\circ \Rightarrow \cos \alpha = 0$. [10]

Supóngase ahora que el origen del sistema **B** coincide con el del **A** pero la orientación es diferente. Esta circunstancia se presenta al estudiar movimiento de rotación. Asimismo, este sería el caso cuando el sistema de referencia **A** se desplazará con el robot, pero mantuviera su orientación constante, mientras que el sistema **B** además de desplazarse con el robot girara también con él. [Ver Ilustración 24]

En este caso, las coordenadas expresadas en el sistema A en función de las del **B**, vienen dadas por:

$${}^A p_x = {}^B \dot{X}_A \bullet {}^B p \quad \text{Ecuación 1.8.5}$$

$${}^A p_y = {}^B \dot{Y}_A \bullet {}^B p \quad \text{Ecuación 1.8.6}$$

Las ecuaciones 1.8.5 y 1.8.6 indican las proyecciones de vector ${}^A p$, que define el punto sobre los ejes unitarios del sistema de referencia. Se escriben de la siguiente forma: (Ollero, 2001; 42)

$${}^A p = {}^A_B R {}^B p = \begin{bmatrix} {}^B \dot{X}_A^T \\ {}^B \dot{Y}_A^T \end{bmatrix} {}^B p \quad \text{Ecuación 1.8.7}$$

En un caso general, en el cambio de sistemas de referencia existirán tanto traslaciones y como rotaciones. (Ollero, 2001; 43)

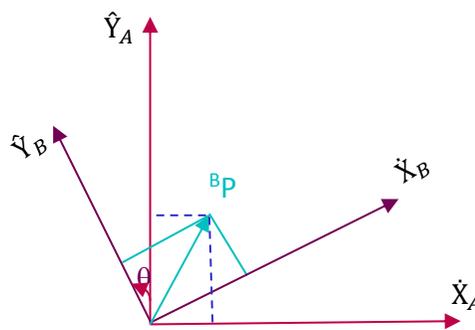


Ilustración 24. 'Rotación del sistema de coordenadas'. Ilustración obtenida del libro: Robótica. Manipuladores y robots móviles. Ollero, A.

1.8.2) Posición y orientación en el espacio

En robótica resulta imprescindible poder representar posiciones y orientaciones en el espacio. Asimismo, en robótica móvil, cada vez tiene mayor interés considerar los modelos en tres dimensiones. Este interés es evidente en vehículos autónomos, aéreos o submarinos, pero

también se emplean estos modelos para estudiar la navegación en terrenos no planos (asféricos³) de robots con ruedas o con patas. (Ollero, 2001; 44) [Ver Ilustración 25]

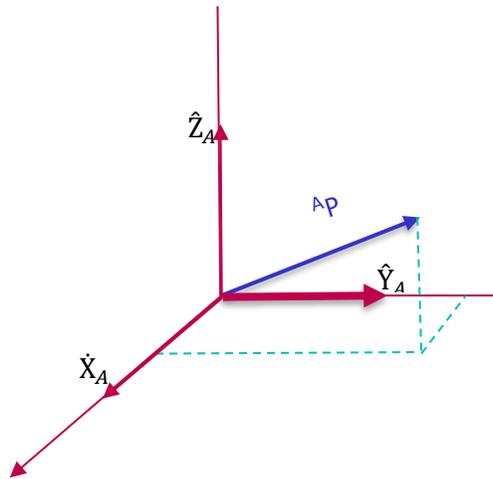


Ilustración 25. 'Posición en el espacio'. Ilustración obtenida del libro: Robótica. Manipuladores y robots móviles. Ollero, A.

(Ollero, 2001; 45)

Sea ${}^A P$ el vector de posición de un sistema **A**, para un vehículo autónomo. Se escribe:

$${}^A P = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación 1.8.8}$$

Siendo p_x , p_y , y p_z las coordenadas.

La posición de un punto en el espacio también puede representarse mediante coordenadas cilíndricas. En este caso las coordenadas son la distancia 'r', el ángulo θ y la distancia 'z' entre el punto y su proyección sobre el plano $\hat{X}_A - \hat{Y}_A$. (Ollero, 2001; 45) [Ver Ilustración 26]

3. La lente asférica se define como una lente cuya superficie de perfiles no son partes de una esfera o cilindro. Lo que quiere decir, que la lente tiene la curva más plana que las lentes convencionales, dándole un perfil más atractivo delgado.

Esto significa que tiene la misma curva a través de toda su superficie. La lente asférica tienen una superficie que cambia gradualmente la curvatura del centro de la lente hasta el borde.

Una ventajas de los cristales esféricos, es que tienen mayor calidad óptica. El diseño de la lente asférica reduce las distorsiones corrigiendo las aberraciones ópticas.

Crear un campo de visión más amplio y una mejor visión periférica, permite mejorar significativamente la calidad de la imagen. [11]

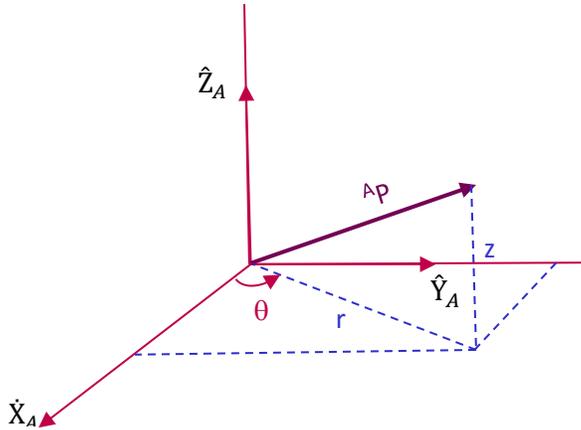


Ilustración 26. 'Representación de la posición empleando coordenadas cilíndricas'. Ilustración obtenida del libro: *Robótica. Manipuladores y robots móviles*. Ollero, A.

Se representan las coordenadas esféricas que permiten representar la posición de un punto mediante la distancia 'r' y los dos ángulos ϕ y θ . (Ollero, 2001; 45) [Ver Ilustración 27]

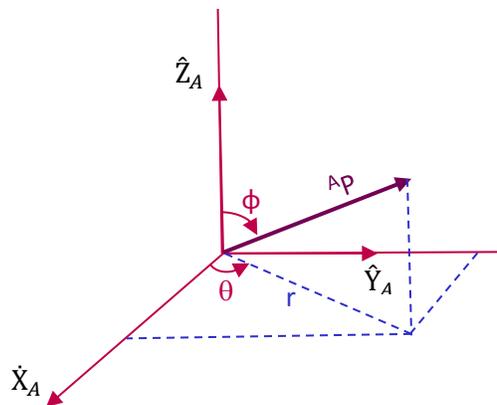


Ilustración 27. 'Representación de la posición empleando coordenadas esféricas'. Ilustración obtenida del libro: *Robótica. Manipuladores y robots móviles*. Ollero, A.

La orientación de un cuerpo se describe mediante el sistema de coordenadas **B** solidario al cuerpo.

Sean $\hat{X}_B, \hat{Y}_B, \hat{Z}_B$ los vectores unitarios en la dirección de los ejes de un sistema de coordenadas **B**. Si se desea expresar que estos vectores se representan en el sistema **A**, se escribirá ${}^A\hat{X}_B, {}^A\hat{Y}_B, {}^A\hat{Z}_B$. En este caso la matriz de rotación es:

$${}^A_R = [{}^A\hat{X}_B, {}^A\hat{Y}_B, {}^A\hat{Z}_B] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad \dots \text{Ecuación 1.8.9}$$

(Ollero, 2001; 46)

La localización (posición y orientación) en el espacio se determina por medio de cuatro vectores de tres elementos, formando tres de ellos la matriz de rotación ${}^A_B R$ del sistema **B** que se mueve solidario al sólido rígido con respecto a un sistema de referencia **A**, y el cuarto la posición del origen ${}^A P_{ORGB}$ del sistema **B** solidario al cuerpo expresada en el sistema de referencia **A**.

[Ver Ilustración 28]

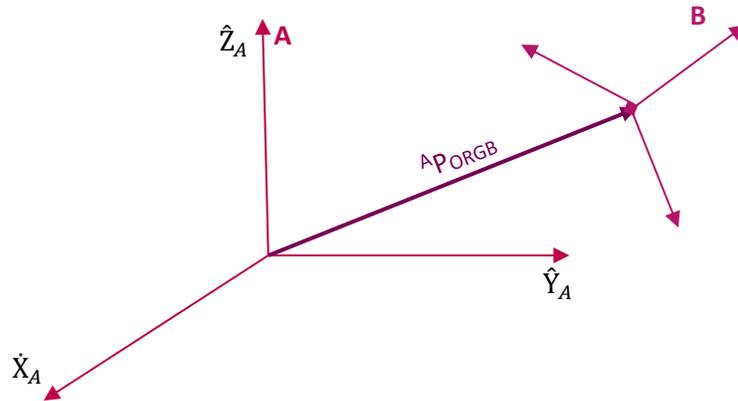


Ilustración 28. 'Posición y orientación en el espacio'. Ilustración obtenida del libro: Robótica. Manipuladores y robots móviles. Ollero, A.

(Ollero, 2001; 46)

Un cambio en la posición manteniendo constante la orientación puede representarse mediante la matriz de rotación unidad y un vector con los cambios en las coordenadas del punto.

Suponiendo que **A** y **B** tienen la misma orientación, la traslación puede expresarse mediante:

$${}^A P = {}^B P + {}^A P_{ORGB} \quad \text{Ecuación 1.8.10}$$

Obsérvese que los dos vectores de la derecha de la ecuación puede sumarse debido a que ambos sistemas de referencia tienen la misma orientación. [Ver Ilustración 29]

La rotación puede expresarse mediante

$${}^A_B R = {}^B_A R^{-1} = {}^B_A R^T \quad \text{Ecuación 1.8.11}$$

Igualdades que se justifican teniendo en cuenta que las columnas son vectores ortonormales. En términos de estos vectores puede escribirse. (Ollero, 2001; 47)

$${}^A_B R = [{}^A\hat{X}_B \quad {}^A\hat{Y}_B \quad {}^A\hat{Z}_B] = \begin{bmatrix} {}^B\hat{X}_A^T \\ {}^B\hat{Y}_A^T \\ {}^B\hat{Z}_A^T \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación 1.8.12}$$

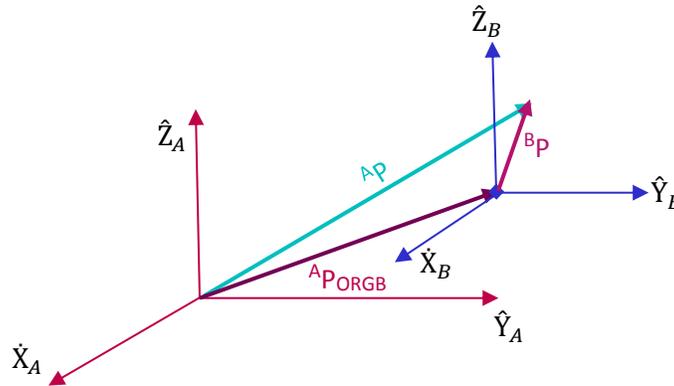


Ilustración 29. 'Cambio de sistemas de referencia en el espacio'. Ilustración obtenida del libro: *Robótica. Manipuladores y robots móviles*. Ollero, A.

(Ollero, 2001; 47)

Suponiendo que los orígenes de **A** y **B** son coincidentes, puede escribirse:

$$A_P = {}^A_B R^B P \quad \text{Ecuación 1.8.13}$$

Si se recuerda que los componentes de A_P pueden considerarse como las proyecciones del vector que define el punto en los vectores unitarios, definiendo así el sistema de referencia, se tiene así:

$$\begin{aligned} A_{p_x} &= {}^B\hat{X}_A \cdot {}^B P \\ A_{p_y} &= {}^B\hat{Y}_A \cdot {}^B P \\ A_{p_z} &= {}^B\hat{Z}_A \cdot {}^B P \end{aligned} \quad \text{Ecuación 1.8.14}$$

(Ollero, 2001; 48)

Capítulo 2) Pulido con HyDRA

La idea de pulir con la herramienta HyDRA, es por la precisión de pulido, por el récord de remoción que tiene, esto es, $\frac{\lambda}{200}$ donde, λ es la longitud de onda de la luz visible o bien se estandarizó en el color rojo en Å que es equivalente a 6328 Å.

La herramienta de pulido HyDRA, lleva a cabo un pulido químico mecánico con polvos abrasivos de menos de 1 μm que al chocar con la superficie la rayan.

A grandes rasgos la herramienta HyDRA funciona como un transistor que se tiene que polarizar.

El nombre viene del inglés ‘HyDrodynamic Radial’ polishing tool, herramienta de pulido radial hidrodinámico.

Una huella de eliminación estática típica tiene la forma que se muestra en la **Ilustración 30**. Como se puede ver, la eliminación tiene lugar en una región con diámetro de aproximadamente 5 mm de diámetro con una *geometría de M⁴*, donde la eliminación en el centro es 20% menor que la región periférica. La eliminación es una función de flujo acuoso, es decir, la tasa de flujo (F_1), densidad de flujo (ρ) que dada la presión del aire (P_T) es una función lineal de tiempo de permanencia. A fin de lograr un pulido determinístico donde todos los parámetros de las herramientas sean controlados con precisión. [12]

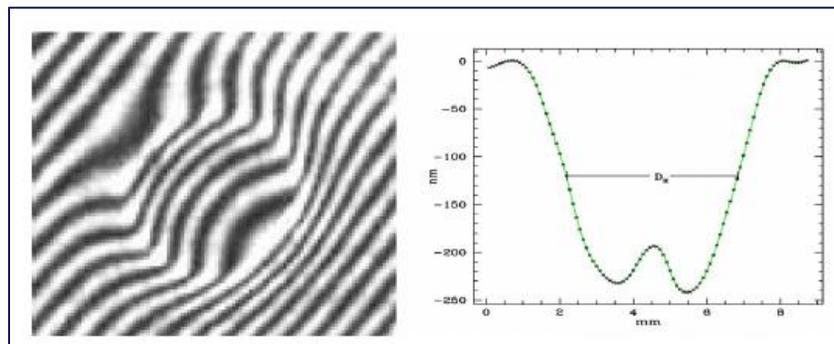


Ilustración 30. Función de influencia de herramienta. Perfil de la función de eliminación, extraído del interferograma superior. Este perfil se obtuvo operando la herramienta en una posición fija sobre la pieza de trabajo durante 2 segundos. D_H es el ancho completo a la mitad como máximo (FWHM) de la función de eliminación. Los diámetros de huella de la herramienta generalmente oscilan entre 3 y 10 mm, dependiendo de la herramienta en particular. (Consultada agosto 2019). Ilustración obtenida de: Ruiz, E; Salas, L; Luna, E; Sohn, E y Herrera, J., HyDRA: Vortex polishing with a deterministic hydrodynamic radial polishing tool, pp. 3 [12]

4. Geometría de M / Del Inglés M- shaped: imagen corregida

Perfil de la función de eliminación, extraído del interferograma superior. Este perfil se obtuvo operando la herramienta en una posición fija sobre la pieza de trabajo durante 2 segundos. D_H es el ancho completo a la mitad como máximo (FWHM) de la función de eliminación. Los diámetros de huella de la herramienta generalmente oscilan entre 3 y 10 mm, dependiendo de la herramienta en particular. [12]

2.1) La plataforma de pulido de HyDRA

La herramienta HyDRA es parte de un complejo robot de pulido, que consiste en el posicionamiento de un dispositivo CNC (Control Numérico Computarizado), su sistema de control consiste en un fluido más aire comprimido, una unidad de manejo de compuesto acuoso la cual revuelve el compuesto y controla la densidad de la sustancia acuosa y una paquetería de software que obtiene mapas de error de una serie de interferómetros que generan *permanencia de tiempo/ velocidad constante*⁵ (PWM Pulse Width Modulation ~ Modulación por ancho de pulsos) basado en trayectorias para corregir la figura de pieza, dependiendo del método elegido (operación por pulsos o continua). La herramienta HyDRA está unida a una máquina de pulido de cinco grados de libertad, una máquina de pulido con realimentación de fuerza, basada sobre una CNC cartesiana de 2.4² m, con dos grados de libertad adicionales, implementado por medio de tres actuadores con seis patas. Esta configuración permite generar y pulir cualquier superficie geométrica. [12]

Puesto que todos los parámetros de pulido permanecen constantes por control de realimentación, el efecto de eliminación es sólo una función de tiempo de permanencia. Así, la corrección de la figura es dependiente de la trayectoria que sigue la herramienta y de la velocidad en cada punto a lo largo de ella. Así, es necesario que la CNC tenga la capacidad de seguir trayectorias en cinco dimensiones con velocidades controladas mientras, se controlan los movimientos del eje 'z' en tiempo real para adaptarlo a la superficie, ejerciendo fuerza cero. [12]

5. Cuando pulas con varias HyDRA, todas están fijadas a la misma estructura, en ese caso se puede ir a velocidad constante disparando solo las que se requieran, el tiempo que una de estas permanezca en un solo sitio (casi instantáneamente) determina que tanto erosionas. La erosión es proporcional al tiempo de permanencia, de la herramienta sobre la superficie. [12]

A pesar de que la repetibilidad de la máquina es sólo aproximadamente 10 μm , el control de eliminación tiene exactitud nanométrica debido a una celda de carga que regula la altura de la herramienta sobre las piezas de trabajo. [12]

Esto permite que la herramienta siga el contorno de la superficie. La unidad de acondicionamiento acuoso es un sistema que suministra una mezcla adecuada de arena suspendida en agua para el subsistema de suministro del compuesto acuoso de la HyDRA. [12]

También es responsable de capturar y reincorporar el polvo y la suspensión líquida que es expulsada a través de la herramienta HyDRA. La densidad es continuamente monitoreada con un fotodensitómetro y controlada por medio de una pasta para pulir y sistemas de suministro de agua. Los sistemas de retorno consisten en un soplador que succiona el flujo acuoso expulsado el aire y los reincorpora en la unidad de acondicionamiento acuoso, pasando a través de un sistema de lavado con aire. [12]

2.1.1) Pulido de fuerza cero

Una de las principales ventajas de la herramienta HyDRA es que puede ser sintonizada para ejercer fuerza cero sobre el área de la superficie mientras mantenga sus tasas de eliminación aproximadamente a $[10 \frac{\text{mm}^3}{\text{h}}]$. [12]

A medida que el compuesto acuoso se expulsa a través de la boquilla de la herramienta HyDRA, la energía rotacional del fluido es convertida en velocidad radial. El arrastre generado por el flujo radial crea una baja presión central mientras que en la zona interior se genera un vórtice. Esto a su vez está limitado por un impulso anular positivo. Este efecto contrasta con la técnica de pulido lineal por chorro, en el que este tiene incidencia normal a la superficie. [12]

A medida que el compuesto acuoso se expulsa a través de la boquilla de la herramienta HyDRA, la energía de rotación del fluido es convertida a velocidad radial. El arrastre generado por el flujo radial crea una baja presión central mientras en la zona interior se genera un vórtice. Esto a su vez está limitado por un impulso anular positivo. Este efecto contrasta con la técnica de pulido lineal por chorro en que este tiene incidencia normal, el perfil de presión es una distribución Gaussiana [Ver Ilustración 31, a] con un máximo en el centro del chorro, mientras que la

distribución de presión para HyDRa en la pieza de trabajo tiene valores negativos [Ver Ilustración 31, b] y en el centro de la huella está rodeada por una región positiva de presión anular. Esto permite un ajuste neto de fuerza cero en la pieza de trabajo. [12]

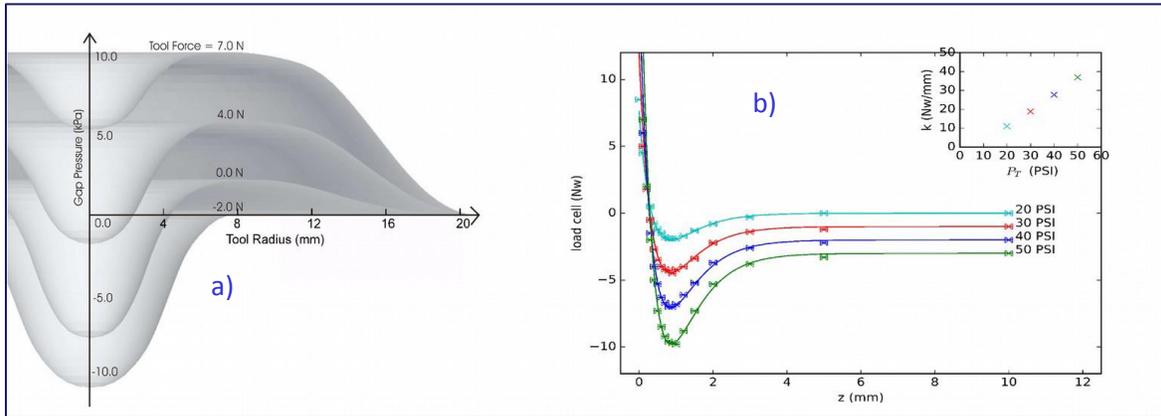


Ilustración 31. a) Distribución de presión en función del radio de la herramienta para diferentes operaciones presiones. b) Fuerza aplicada por la herramienta HyDRa en función de la distancia Z de la superficie de trabajo para acelerar las presiones. PT = 20, 30, 40 y 50 PSI. (Consultada agosto 2019)

Ilustración obtenida de: Ruiz, E; Salas, L; Luna, E; Sohn, E y Herrera, J., HyDRa: Vortex polishing with a deterministic hydrodynamic radial polishing tool, pp. 5 [12]

2.1.2) Función de influencia de la herramienta y tasas de remoción del material de la superficie a pulir

Se han desarrollado una serie de herramientas para diferentes requerimientos de tasas de eliminación con rango de $1 - 600 \left[\frac{mm^3}{h} \right]$. A continuación, se presentarán mediciones de tasas de medición estática y volumétrica para una herramienta con tasa de eliminación media con una boquilla con diámetro de $7 \mu m$. Varios materiales pulidores se han sido probados como el óxido de cerio (Opalina) con partículas de tamaño de $1 \mu m$ y óxido de aluminio (μ -grano) con tamaños de partícula que oscilan de los $5 - 12 [\mu m]$, suspendidas en agua en una densidad relativa constante de 1.09. Se pulieron muestras de diferentes materiales como ventanas de vidrio estándar, sin agua, sílice fundida, borosilicato y vitrocerámica de Ohara. [12] [Ver Ilustración 32]

Las medidas se realizaron escaneando la herramienta sobre un área de la muestra con una velocidad constante y una altura de herramienta correspondiente a fuerza cero. La depresión resultante fue inspeccionada con un interferómetro donde la profundidad y el volumen del

material eliminado fueron cuantificados con estas mediciones, la tasa de eliminación estática D_S (profundidad/tiempo) y la tasa de eliminación volumétrica D_V se calcularon. Realizamos estas medidas con diferentes condiciones operacionales acelerando la presión (P_T) y fluido acuoso (f_p). En todos los casos la densidad relativa del flujo acuoso se mantuvo en 1.09 [12]

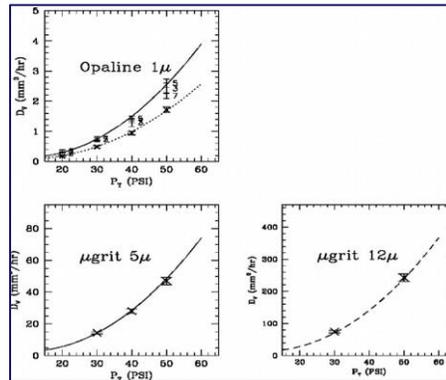


Ilustración 32. Tasa de eliminación volumétrica D_V en función de la presión de aceleración (P_T) para diferentes agentes de pulido: 1 [µm] de óxido de cerio (Opaline), 5 [µm] de óxido de aluminio [µgрит] y 12 [µm] óxido de aluminio. Se presentan las tasas de pulido opalino para vidrio de ventana (línea continua), fundido sílice y borosilicato (línea punteada). [12]

Ilustración obtenida de: Ruiz, E; Salas, L; Luna, E; Sohn, E y Herrera, J., HyDRA: Vortex polishing with a deterministic hydrodynamic radial polishing tool, pp. 8 [12]

2.1.3) Software

La herramienta de planificación de la trayectoria de la HyDRA (HyTPT) [Ver Ilustración 33] es un paquete de software específicamente para la herramienta HyDRA. Alimenta el código de mecanizado con una CNC o cualquier computadora revisando un dispositivo de posicionamiento que maneje la herramienta HyDRA, basado en el *mapa de error*⁶ que ha sido obtenido interferométricamente. Cuando sólo hay una herramienta HyDRA disponible, la cantidad de material que está eliminado en cada posición específica es proporcional al tiempo de permanencia. [12]

6. Es un mapa con la topografía (alturas) de los errores en la superficie, que le indica al sistema donde erosionar la superficie hasta su perfección, puede tener cualquier geometría. Este mapa se obtiene procesando cubos de imágenes de barrido interferométrico. Se obtiene una resolución de 0.2nm. [12]

Este tiempo puede ser controlado, ya sea por la velocidad de la herramienta a lo largo de la trayectoria dada cuando se opera la herramienta en modo continuo, o por el ancho de los pulsos cuando está en modo pulsado. [12]

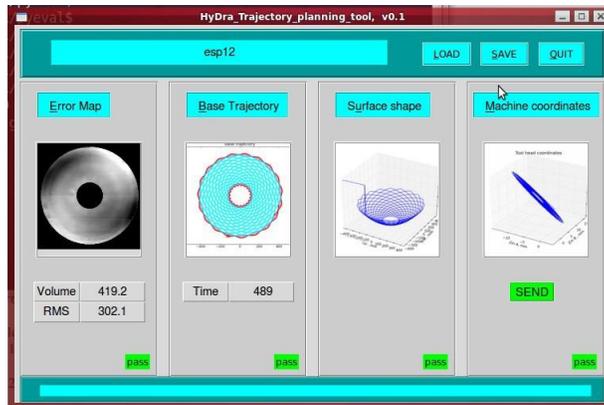


Ilustración 33. Interfaz principal del software HyTPT que muestra los cuatro pasos. Ilustración obtenida de: Ruiz, E; Salas, L; Luna, E; Sohn, E y Herrera, J., HyDRA: Vortex polishing with a deterministic hydrodynamic radial polishing tool, pp. 9 [12]

2.2) Pulido pulsado

Debido a las propiedades hidrodinámicas, la herramienta HyDRA, no permite modificar o cambiar cualquiera de sus parámetros operativos mientras está en operación para que, con el fin de controlar la eliminación, el tiempo de permanencia sea modificado por medio de la velocidad de la herramienta. Sin embargo, hay una velocidad máxima para la herramienta impuesta por la CNC que fija una cantidad mínima de material diferente de cero que puede ser removida con la herramienta. Esto plantea problemas para varias aplicaciones operativas, tales como correcciones de zona, pulido multi - cabezas o teselado⁷, así como problemas de bordes. [12]

La posibilidad de operar la herramienta HyDRA de manera conmutada amplía en conjunto su rendimiento y eficiencia, así como nuevas aplicaciones. No es simple cambiar la mayoría de los parámetros operativos de la herramienta, ya que la herramienta pierde inclinación y, a su vez, su capacidad de flotación. [12]

Restaurar estos parámetros, toma tiempo y produce efectos no deseados como cavitación⁸. [12]

7. Teselado: Fraccionar una superficie cuando no la puedes tratar como un todo.

8. Cavitación: del latín *cavus*, que significa cavidad y se refiere a la formación de burbujas compuestas por gases y/o vapores en fluidos. Más estrictamente puede ser definida como la ruptura del líquido, la cual da paso a la formación de burbujas de gas que crecen y posteriormente colapsan a una velocidad mayor que la del sonido, emitiendo ondas de choque. [13]

Esto ha limitado nuestra estrategia de pulido a tener que barrer siempre toda la superficie a pulir⁹. Si sólo se debe pulir una pequeña sección de la superficie, esta región debe ser abordada con la herramienta inclinada, dejando una pista no deseada, así como marcas de salida y aproximación. [12]

Un nuevo diseño de herramienta HyDRa, permite cambiar el flujo de lodo sin perder la inclinación de la herramienta, lo que permite para conmutar frecuencias de hasta 10 Hz, con pulsos tan estrechos como 10 ms. Esto se logra mediante significa una electroválvula sobrecargada instalada en o cerca de la herramienta. Esto permite el implementación de pulsos de pulido que se pueden aplicar por píxel o en un exploración continua usando técnicas de modulación de ancho de pulso (PWM). Con esta característica, el tiempo puede controlarse por debajo del mínimo alcanzable mediante una acción continua en el máxima velocidad del CNC. [12]

El nuevo diseño de la herramienta HyDRa, permite cambiar el flujo acuso sin perder la inclinación de la herramienta, permitiendo cambiar frecuencias para un máximo de 10 Hz, con pulsos tan estrechos como de 10 ms. Esto se logra mediante una electroválvula sobrecargada instalada en o cerca de la herramienta. Por una implementación de pulido por pulsos que puede ser aplicada por pixel basada o en un escaneo continuo usando técnicas de Modulación por Ancho de Pulsos (PWM). Con esta característica, el tiempo de permanencia puede ser controlado bajo el mínimo alcanzable por una acción continua en la velocidad máxima de la CNC. [12]

2.3) Parámetros de pulido

De las múltiples técnicas de acabado actualmente en uso, las que se basan en el pulido por debajo de la abertura pueden ser candidatos para el pulido determinista, siempre que se minimice la incertidumbre de los parámetros clave de pulido. El pulido determinista se basa en una función de influencia de herramienta estable y predecible; por lo tanto, es imprescindible que se caracterice por completo para cada material que será pulido. [12]

9. Esferas, parábolas, hipérbolas, elipses, planos y forma libre en lentes, espejos o prismas. [12]

Simultáneamente, la metrología es un factor determinante de la calidad final de la superficie, ya que limita la precisión de los mapas de error que se pueden obtener. [12]

2.3.1) Pulido determinístico

Para maximizar el rendimiento de pulido, se crea una espuma abrasiva en la primera etapa de la herramienta. Esto permite incrementar la velocidad de pulido de las partículas, mejorando así la eliminación del material. Ésta espuma se produce combinando una suspensión de flujo constante (f) (unos pocos $\left[\frac{ml}{s}\right]$), con aire que se mantiene a una presión constante (P_p). Este fluido se acelera luego con aire a presión con una presión de propulsión (P_T), en una o más cavidades cilíndricas. La espuma abrasiva resultante es expulsada por la herramienta por una boquilla, donde se produce un vórtice que se convierte en un flujo radial, generando una huella de erosión uniforme. Existe una relación del flujo acuoso (f) con la presión de flujo acuoso (P_p) para cada valor de presión de aceleración (P_T). Esto, además, depende de las características físicas de la herramienta, como sus dimensiones totales, la geometría de la cámara o cámaras de aceleración, así como la forma de la boquilla. Esta relación establece un diagrama operativo que define la inclinación de la herramienta. En esta sección, se elige el control de (f) aunque es posible seleccionar el control para (f) o (P_p). La eliminación (D) de HyDRA depende principalmente de cuatro parámetros de funcionamiento independientes: concentración de masa de arena (ρ_i), presión de aire de propulsión (P_T), flujo acuoso (f) y distancia de la herramienta sobre la pieza de trabajo Z . Para obtener superficies pulidas determinísticamente, los errores aportados por cada uno de estos parámetros deben tenerse en cuenta y controlarse. [12]

Capítulo 3) Robot + HyDRA

3.1) Descripción

Estudio y diseño de un robot capaz de moverse sobre una superficie óptica, transportando una o más HyDRA de 2ª generación, con el fin de pulir la superficie de los lentes determinísticamente.

Los modos que podemos usar para pulir las superficies son pulidos de tipo determinístico como el pulido de fuerza cero y el pulido pulsado. Sin embargo, la idea de proponer este robot nace de la idea de la HyDRA pulsada.

Se optó por estudiar el robot de tres patas (trípode), se sabe que cada pata requiere de 2 actuadores, los hay hidráulicos y electromecánicos. El tórax se mueve con errores en dos ejes, sólo 'x' y 'y', en el eje de 'z' no.

Cada pata termina con dos zapatas hidrostáticas, la superior simplemente desliza bajo la placa – bastidor y la inferior que se fija o desliza sobre la superficie a pulir. El uso de zapatas hidrostáticas permite hacer vacío con la superficie a pulir, generando así presión positiva bajo la zapata.

El movimiento del robot es omnidireccional. Movimiento sin fricción.

Soporta cualquier peso, ya que este no recae sobre los actuadores ni articulaciones.

3.2) Justificación

El robot con tres patas para su locomoción usa el sistema 'SCARA paralelo' [Ver Ilustración 33], con esta configuración siempre avanza estable sobre la superficie esférica.

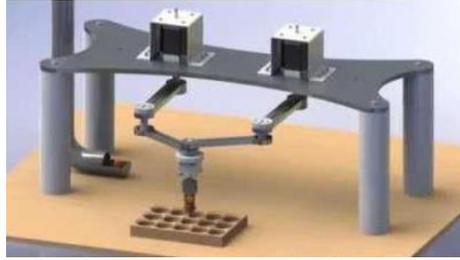
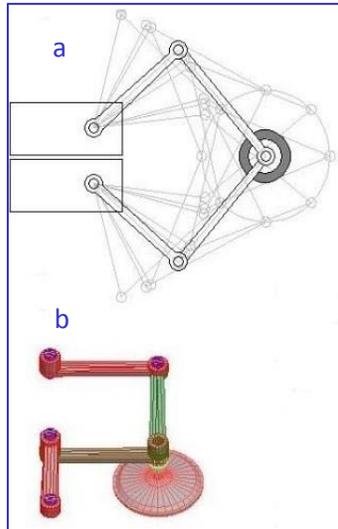


Ilustración 34. 'Scara paralelo - ITS Meccatronico'. Ilustración obtenida del sitio web: <https://www.youtube.com/watch?v=O5DLIsArOf0>. Rossetto, (Consultada Julio 2019) N; Bellei, Stefano; Dario, Nicholas; Sabbion, Andrea; Savio, Paolo; Stefanelli, Federico



Ilustración 35. 'High - speed SCARA parallel robot'. Ilustración obtenida del sitio web: https://www.youtube.com/watch?v=R_AIzCTYBNS&feature=youtu.be&goback=.gde_47867_member_255238050 (Consultada Julio 2019).

Con el objetivo de simplificar las ecuaciones, se propone un arreglo con brazos iguales (L) y ortogonales [Ver Ilustración 36, b], motores a $2L$. Formando un paralelepípedo [Ver Ilustración 36, a], de modo que el movimiento angular de un servo se refleja en el desplazamiento de sólo un eje.



36. a) Simulación por computadora con software 'Algor' de SCARA parallel, con brazos iguales formando un paralelepípedo de modo que el movimiento angular de un servomotor se refleje en el desplazamiento de un solo eje. Un robot tipo SCARA parallel tiene una configuración articulada en un sistema cilíndrico, de un eje giratorio y dos ejes lineales. el sistema articulado donde se apoya el área circular se desplaza sobre el eje ' θ ' sobre un eje giratorio, al mismo tiempo sobre un eje ' y ' que se desplaza hacia arriba y hacia abajo y por último sobre el eje ' z ' que se mueve hacia adelante y hacia atrás.

b) Arreglo de brazos iguales (L) y ortogonales, con círculo de acción (rojo), con diámetro = L , para $\pm 30^\circ$.

Ruíz, E.; Salas, L.; Luna, E.; Sohn, E; Herrera, J. (2018) 'Arreglo de brazos iguales y ortogonales'. Cortesía del Dr. Elfego G. Ruíz. Ruíz, E.; Salas, L.; Luna, E.; Sohn, E; Herrera, J. (2018) 'Simulación gráfica del funcionamiento de los servos'. Cortesía del Dr. Elfego G. Ruíz.

Ventajas y desventajas

- ✚ El movimiento del robot es omnidireccional.
- ✚ Soporta cualquier peso ya que este no recae sobre los actuadores ni articulaciones.
- ✚ Movimiento sin fricción.
- ✚ Su caminar es lento pues puede deslizar/soltar una sola pata a la vez.

3.3) Diseño preliminar

En este subcapítulo presenté la propuesta del robot móvil, de tres patas o trípode debido a que por su geometría es más estable, porque ocupa un menor número de servomotores, por el número de microcontroladores además por la forma en que se acomodan las patas a la superficie de tipo

asférica y porque al plantear las ecuaciones en número son menor y menos complejas que con un robot con mayor número de patas.

- Robot de tres patas

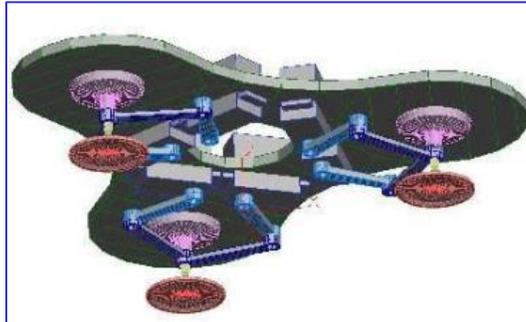


Ilustración 37. 'Propuesta de robot tipo trípode'. Cortesía del Dr. Elfego G. Ruiz. (2018) Ruíz, E.; Salas, L.; Luna, E.; Sohn, E.; Herrera, J.

Con tres patas siempre avanza estable sobre la superficie asférica, su andar es lento ya que sólo puede deslizar/soltar una pata a la vez. Su movimiento es omnidireccional y sin fricción.

- Robot de cuatro patas (cuadrupedo)

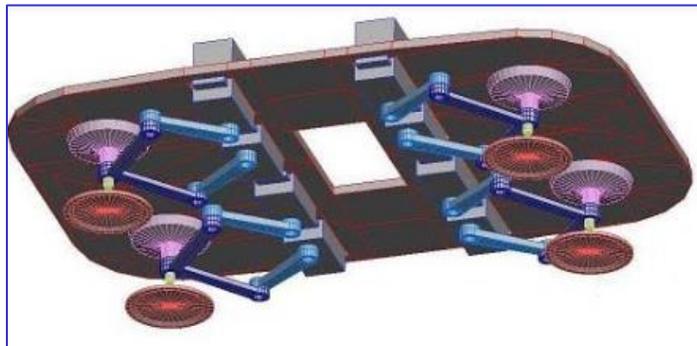


Ilustración 38. 'Propuesta de robot tipo cuadrupedo'. Cortesía del Dr. Elfego G. Ruiz. (2018) Ruíz, E.; Salas, L.; Luna, E.; Sohn, E.; Herrera, J.

Un robot con sistema 'Scara paralelo', puede caminar deslizando de dos en dos patas a la vez. Tiene movimiento omnidireccional y movimiento sin fricción.

- Robot de seis patas (hexapodo)

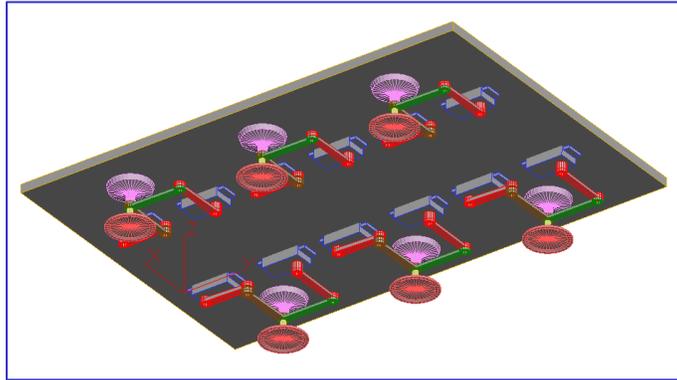


Ilustración 39. 'Propuesta de robot tipo hexápodo'. Cortesía del Dr. Elfecho G. Ruiz. (2018) Ruíz, E.; Salas, L.; Luna, E.; Sohn, E; Herrera, J.

3.4) Grados de libertad con Pololu

Equipo utilizado

- Laptop HP ENVY

Sistema Operativo: Windows 8.1 Single Language

Procesador: Intel (R) Core (TM) i5 – 5200U CPU @ 2.20 GHz

Memoria instalada (RAM): 6.00 GB

Tipo de sistema: Sistema operativo de 64 bits, procesador de x64

- Hub USB 2.0 + Lector de tarjetas multimedia

Características eléctricas

DC: 5V DC 500 mA

- Cargador para celular SONY by Sony Ericsson

Modelo: EP800

Input: 100 – 240 VAC ~ 150 mA 50 – 60 Hz

Output: 5.0 VDC a 850 mA

S/N: 31.13W Tipo: CAA – 0002016 – USB



Ilustración 40. 'Cargador SONY modelo EP 800'. (Consultada Julio 2019) Ilustración obtenida del sitio web: https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-547430167-cargador-de-pared-sony-xperia-ep-800-pared-datos-nuevo-_JM?quantity=1&variation=39261395047

- Servomotor VTS – 05 A

Dimensiones: 22.5 x 12.8 x 23.3 mm

Masa: 8.0 g

Sistema de control: control de ancho de pulso, 1500 μ s neutral

Voltaje de operación: 4.8 ~ 6.0 V (DC)

Dirección STD: A la izquierda / pulso que viaja sw 800 – 2200 μ seg

Tensión de prueba: 4.8 V

6.0 V

Velocidad de operación: 0.19 seg / 60° sin la carga

0.17 seg/60° sin la carga

Par de torsión: ≥ 1.0 kgf.cm

≥ 1.2 kgf.cm

Corriente que circula: ~ 0.2 A

~ 0.3 A

Ángulo de salida: $\geq 170^\circ$

Ancho de banda muerto: 5 μ seg



Ilustración 41. VTS05A 8g / 1,0 kg / Servo .17sec. (Consultada Julio 2019) Ilustración obtenida del sitio web: https://hobbyking.com/es_es/vts05a-8g-1-0kg-17sec-ervo.html?__store=es_es

- Power HD 1900 A

Dimensiones: 22.9 x 12 x.0 x 27. 3 mm

Masa: 9 g

Digital: Norte

Corriente sin carga @ 6V: 140 mA

Bloqueo de corriente @ 6V: 830 mA

Velocidad @ 6V: 0.08 s / 60 °

Par de torsión a 6V: 1.5 Kg • cm

Velocidad @ 4.8 V: 0.11 s / 60 °

Par de torsión a 4.8 V: 1.2 Kg • cm

Longitud del cable: 6 in



Ilustración 42. 'Power HD Micro Servo HD-1900A'. (Consultada Julio 2019). Ilustración obtenida del sitio web: <https://www.pololu.com/product/1050>

- Micro Maestro Pinout

- Número de canales: 6
- Canales de entrada analógicos: 6
- Canales de entrada digital: 0
- Dimensiones: 3.05 cm x 2.16 cm
- Masa: 3 g

- Cable de alimentación: USB a mini USB.
- Alimentación externa: 5 – 16 V conectada a las entradas Vin y GND.

- SIG (0,1, 2, ...) se utilizan para enviar pulsos a servos, controlar salidas digitales y medir voltajes analógicos. Líneas protegidas por resistencias de 220 Ω . El límite de corriente de entrada o salida es de 60 mA.
- La línea RX se utiliza para recibir bytes serie TTL no invertidos (0 – 5 V), como los de los UART (*Universal Asynchronous Receiver – Transmitter ~ Transmisor/Receptor Asíncrono Universal*) del microcontrolador, estos bytes pueden ser comandos en serie, bytes arbitrarios para enviar a la computadora a través de la conexión USB, o ambos.
- La línea TX transmite bytes seriales TTL no invertidos (0–5 V), estos bytes pueden ser respuestas a comandos en serie enviados al Maestro o bytes arbitrarios enviados desde la computadora a través de la conexión USB.

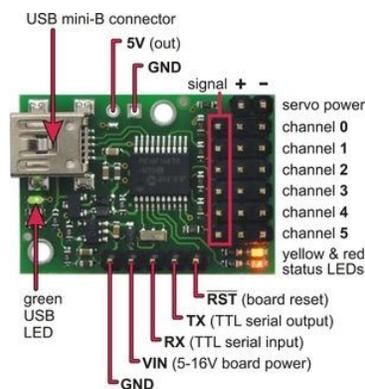


Ilustración 43. 'Microcontrolador servo USB de 6 canales Micro Maestro (ensamblado)'. (Consultada Julio 2019).
 Ilustración obtenida del sitio web: <https://www.pololu.com/product/1350>

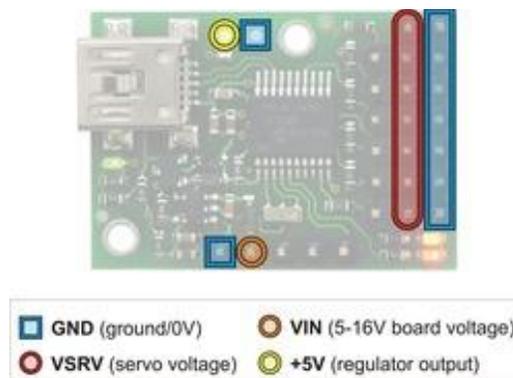


Ilustración 44. 'Microcontrolador servo USB de 6 canales Micro Maestro (ensamblado)'. (Consultada Julio 2019)
 Ilustración obtenida del sitio web: <https://www.pololu.com/product/1350>

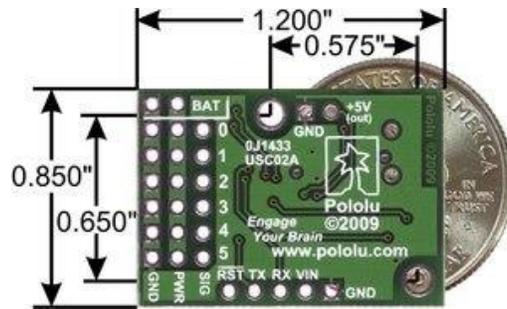


Ilustración 4542. (Consultada Julio 2019) 'Microcontrolador servo USB de 6 canales Micro Maestro (ensamblado)'.

Ilustración obtenida del sitio web: <https://www.pololu.com/product/1350>

- Webcam de visión nocturna infrarroja

- Resolución efectiva 1.3 mpx
- Interfaz: puerto USB 2.0
- Dimensiones: 1.8 x 3.07 x 2.83 cm
- Marca: Agama, modelo V1325R



Ilustración 46. Webcam de visión nocturna infrarroja. (agosto 2019) Ilustración propia del autor.

- Cables

1. USB a micro USB



Ilustración 47. (Consultada Julio 2019) 'CABLE_USB/MICROUSB. Cable USB-A Macho a Micro USB-B Macho, 2m'. Ilustración obtenida del sitio web: <https://www.tienda.dmd.es/CABLEUSB/MICROUSB-Cable-USB-A-Macho-a-Micro-USB-B-Macho-2m>

4. Jumpers hembra – hembra



Ilustración 48. (Consultada Julio 2019) 'Jumper Hembra-Hembra de 20 cm'. Ilustración obtenida del sitio web: <http://www.voltix.com.mx/opencvoltix/JUM-HH20>

3.5) Simulaciones con el software Pololu Maestro Control Center

Este subcapítulo contiene las simulaciones obtenidas del microcontrolador Pololu Micro Maestro en conjunto con los dos servos, el HD 1900 A y el Vigor VTS 05 A, alimentados por un cable de cargador de celular con 5 [V] y unidos también a una webcam unida a los dos servos por medio de dos piezas de plástico; como tiene dos cables de salida USB (el del microcontrolador y el de la cámara) usé un hub USB.

El microcontrolador Pololu Micro Maestro tiene 6 canales en los que puedo hacer combinaciones con las salidas de los servos, por cuestiones de espacio en las conexiones, dado que son jumpers hembra, tomé la entrada 2 y la entrada 4.

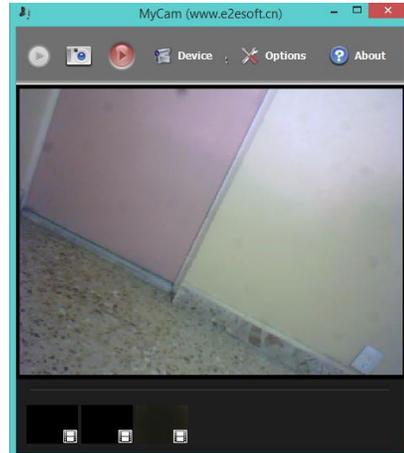
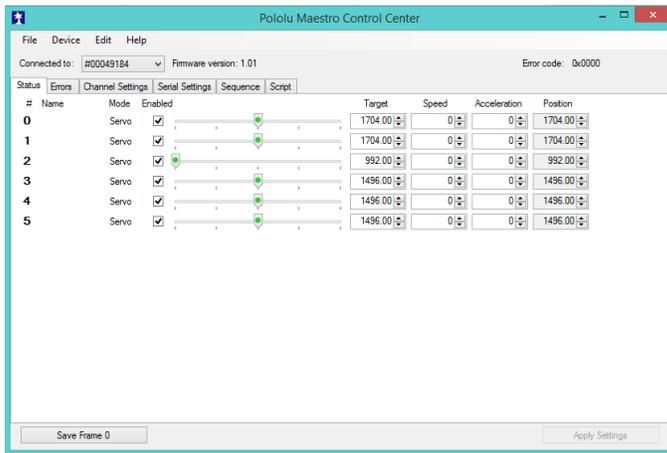


Ilustración 49. Barrido del servo en el pin 2, en su posición mínima

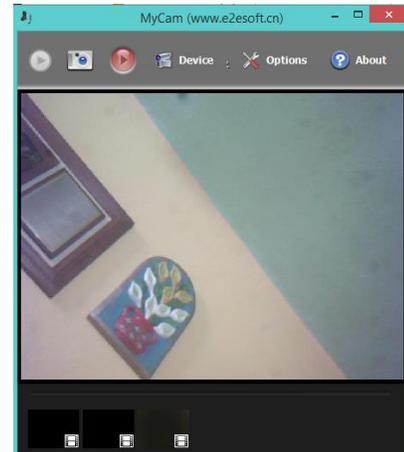
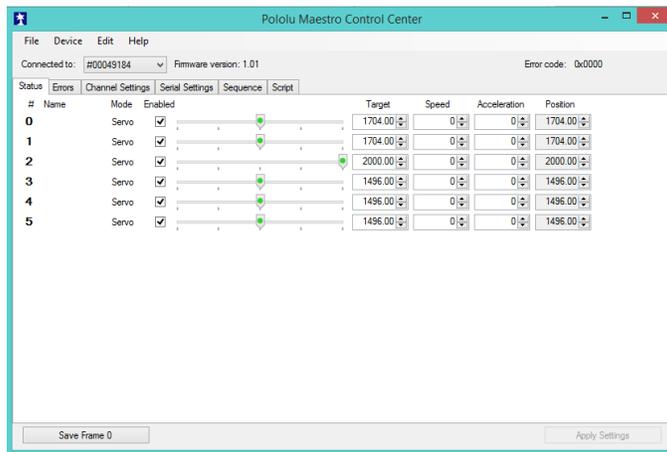


Ilustración 50. Barrido del servo en el pin 2, en su posición máxima

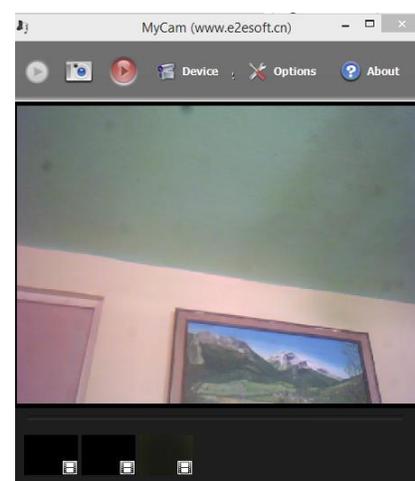
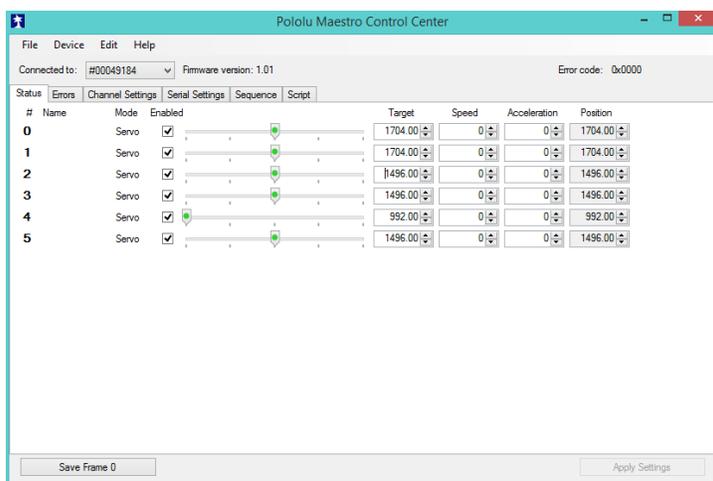


Ilustración 51. Barrido del servo en el pin 4, en su posición mínima

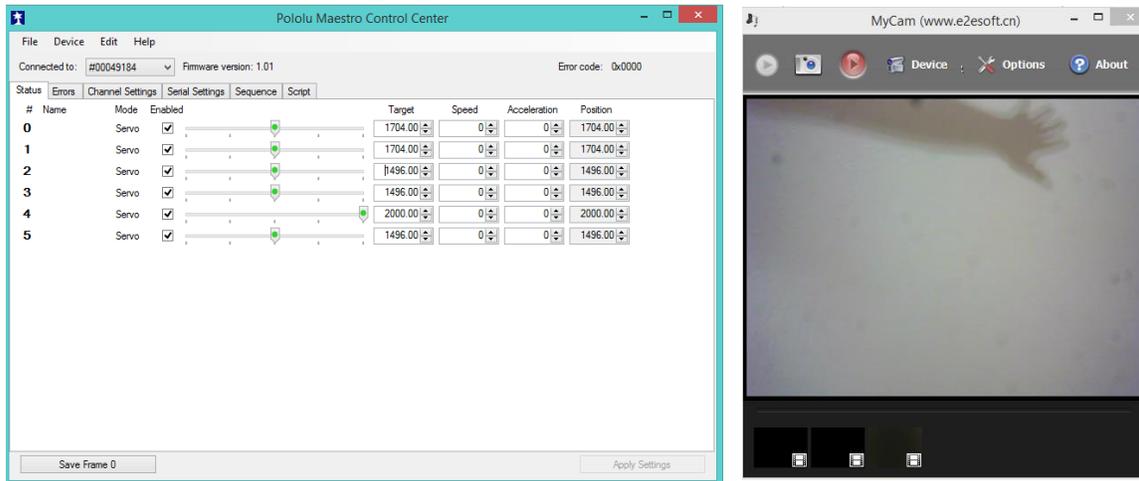


Ilustración 52. Barrido del servo en el pin 4 en su posición máxima

El software 'Pololu Maestro Control Center' permite habilitar y deshabilitar los servos a utilizar, también hacer un barrido del engranaje de los servos más preciso del que las líneas que están marcadas en las barras, también permite guardar la secuencia [Ver imagen 53], reproducirlas [Ver imagen 54, 55] y ver su código fuente [Ver imagen 56], esto para poder observar de forma gráfica los grados de libertad.

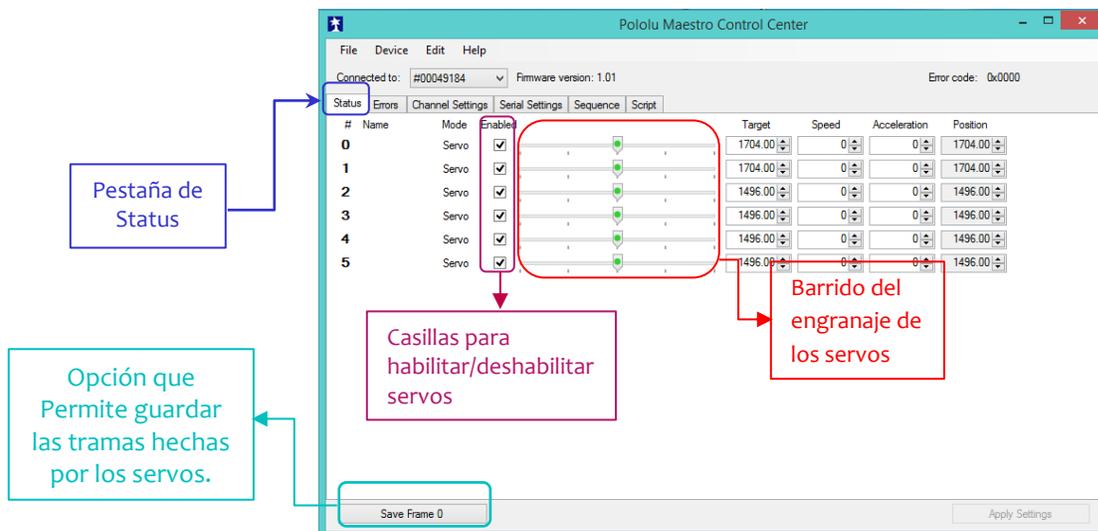


Ilustración 53. Características de la pestaña 'Status'

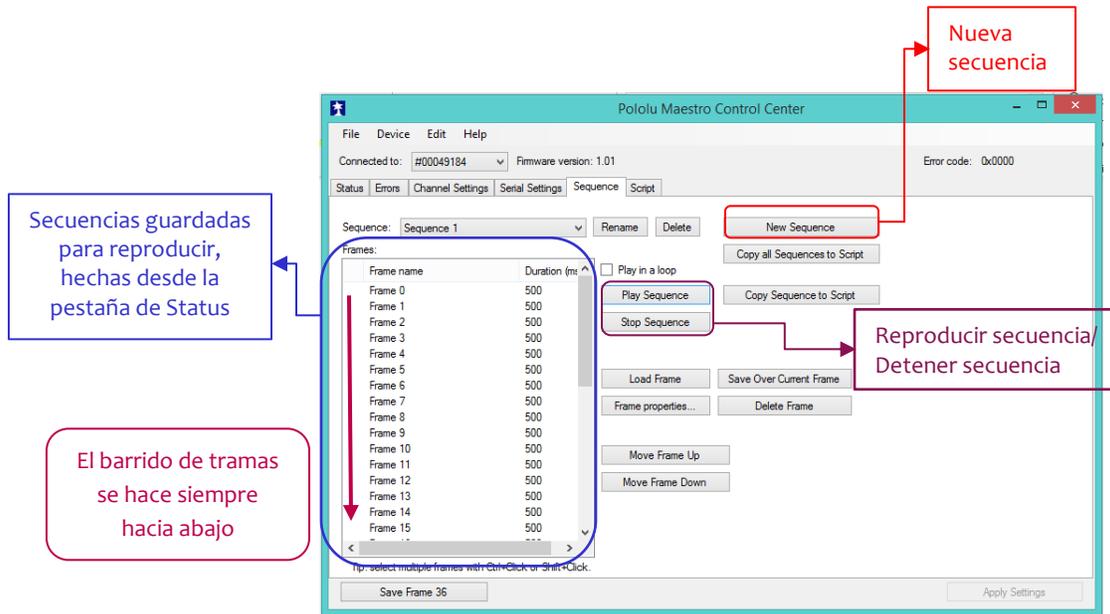


Ilustración 54. Características de reproducción de la pestaña 'Sequence'

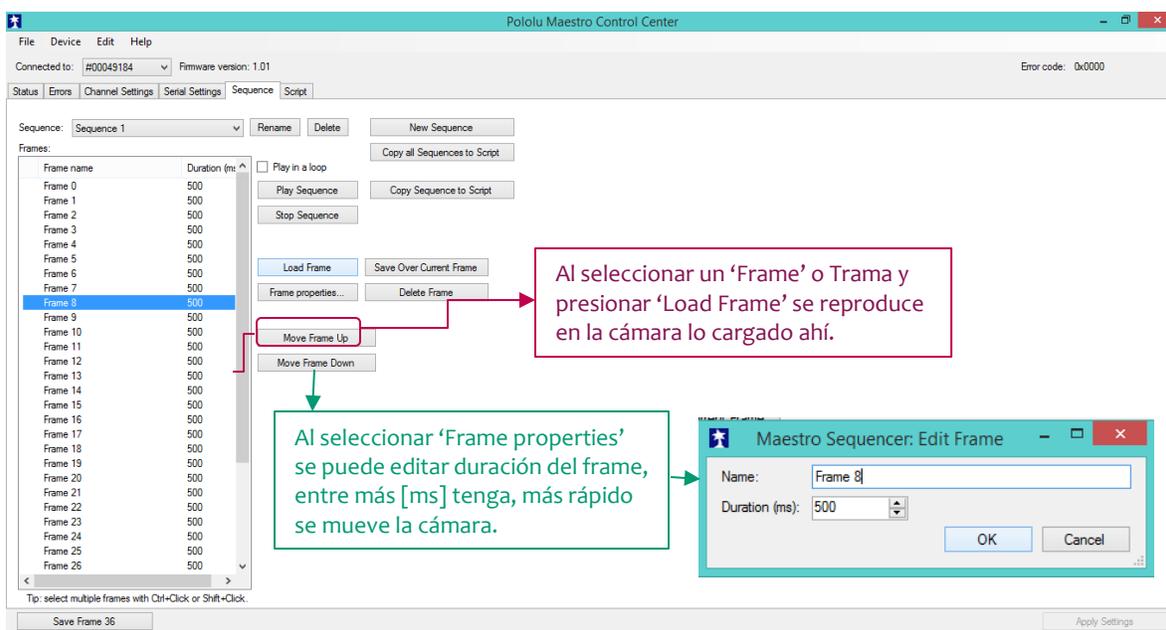


Ilustración 55. Características de la carga de una trama y la edición de sus propiedades

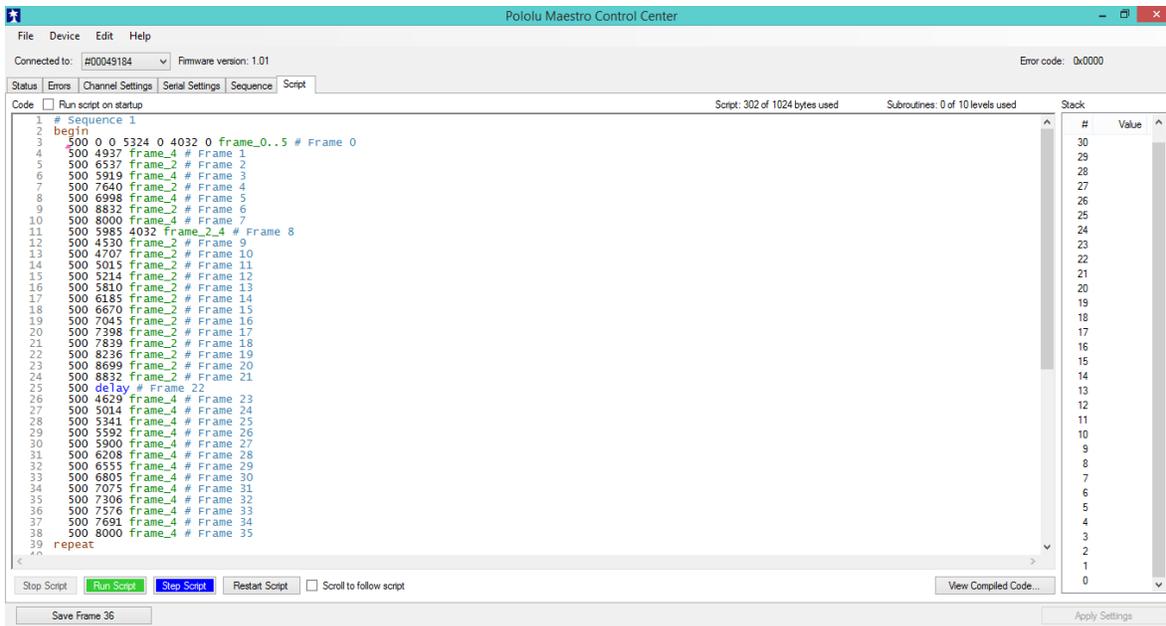


Ilustración 56. Código fuente generado por el software de la secuencia de los servos

3.6) Dimensiones de la longitud de paso del robot

En el presente subcapítulo presento el esquema que describe la forma de caminar del robot tipo trípode propuesto en esta tesis. Es un esquema que propone lados iguales L , con ángulos de desplazamiento α , β diferentes de 0 .

Se sabe sólo que las dimensiones de la longitud de paso del robot¹⁰, se sabe que está en función de x , y , α , β .

$$(x, y) = f(\alpha, \beta)$$

$$(\alpha, \beta) = g(x, y)$$

10. Es la distancia entre dos barridos sucesivos o la distancia entre dos huellas de erosión adyacentes. Esta distancia depende del diámetro de la huella de erosión. Para una huella típica de 7mm usamos un paso de 0.2mm. Así la superficie pulida queda sin rizos, es decir, lisa.

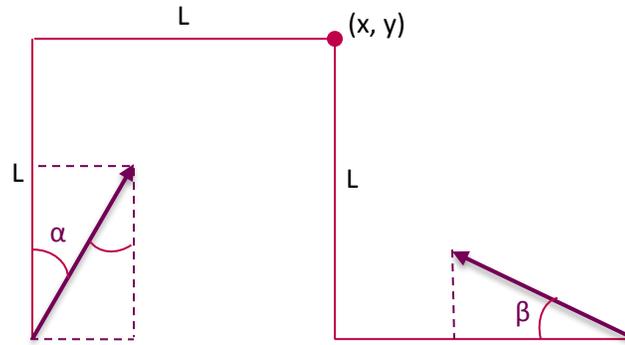


Ilustración 57. Esquema para la obtención y resolución de ecuaciones de la longitud de paso del robot (2019). Cortesía del Dr. Elfego G. Ruiz. Ruíz, E.; Salas, L.; Luna, E.; Sohn, E; Herrera, J.

Capítulo 4) Robots comerciales

En este capítulo presento tres modelos de robots comerciales, se incluyen la investigación de costos del mercado, características, software y desempeño.

Sin embargo, se optó por no comprar ninguno de estos modelos, por razones como que no son aptos para posicionar la herramienta HyDRA, la posición inherente de los servos, porque generan movimientos indeseables en los tres ejes 'x', 'y' y 'z', mientras que el modelo propuesto, es decir, el trípode y la idea de que tenga dos servos en cada pata hace que tenga errores sólo en los ejes 'x' y 'y', en 'z' no.

- **Lynxmotion BH3 – R Hexapod Robot Kit (BotBoarduino 645 MG) BH3RCAU – BLK**

Precio: \$ 848.37 USD – Base circular – Código del producto: RB – Lyn – 486

Descripción:

- Camina en cualquier dirección.

- Usa 18 servos HS – 475¹¹ / HS – 645¹² para las piernas.

- Servo Hitec HS 475 HB

Servo ideal para aviones en 3D de tamaño medio. Su velocidad ayuda a realizar las maniobras en 3D que requieren una rápida respuesta.

Su engranaje de karbonita, tiene menos desgaste que el plástico a la hora de tomar holgura. Todo esto se completa con unos 5.5 [Kg] de fuerza a 6 [V].

- Servo HS 645 MG

Es la elección perfecta para esos aviones deportivos más grandes o camiones monstruos y buggies que requieren un servo de alto par duradero.

11. [14]

12. [15]

Con su exclusiva tecnología de tren de engranajes M/P¹³ y metal, el HS-645MG ofrece uno de los trenes de engranajes más fuertes disponibles en cualquier servo.

Controlando el robot:

- El programa PowerPod le permite caminar con velocidad variable, en cualquier dirección, rotación o combinación.
- El levantamiento de piernas y la altura de marcha son ajustables, así como la velocidad de marcha.
- Hay modos de caminar predeterminados, para hierva alta, piso de baldosas, bajo perfil y operación normal.
- Puedes rotar el cuerpo en cada eje.
- Hay poses reprogramables y modo de suspensión (accesibles desde el controlador).
- Recomendado el PS2 inalámbrico (alta velocidad).
- Modo de control: en serie.
- PowerPod, programa gratuito de Windows que automatiza la creación del programa para el procesador Atom.

Opciones de encendido

* Cargadores

- Cargador inteligente universal Ni – Cad y Ni – MH

* Baterías

- Paquete de baterías Ni – MH 2800 mAh de 6 V

SSC – 32 Servo Sequencer Utility (creado utilizando FlowBotics Studio).

13. Módulo/Paso. Módulo (m): es la relación que existe entre el diámetro primitivo del engranaje y el número de dientes (z) que contiene la rueda. Para que dos engranajes puedan engranar deben tener el mismo módulo. Se mide en [mm]. Paso (p) y módulo (m) están relacionados a través de la siguiente expresión $\rightarrow p = m \cdot \pi$
Paso (p): también llamado paso circular es la distancia medida sobre la circunferencia primitiva entre puntos homólogos de dos dientes consecutivos. Matemáticamente se define como $\rightarrow p = \pi \cdot d / z$. Donde 'p' es el paso del diente en [mm], 'd' el valor del diámetro primitivo en [mm] y 'z' el número de dientes. [16]



Ilustración 58. Hexápodo de base circular 'Kit de robot hexápodo Lynxmotion BH3-R'. (Consultada Julio 2019) Ilustración obtenida del sitio web: <https://www.robotshop.com/en/lynxmotion-bh3-r-hexapod-robot-kit-bh3rcau-blk.html>

- **ROBUG Arduino basado en el kit de robot Hexapodo**

Precio: \$ 89 USD – Base rectangular

Componentes:

- Arduino Uno R3
- Escudo del Sensor
- Sensor ultrasónico HCSR04
- MG90 Micro Servos (2)
- Separadores de latón de 6mm (26)
- Separadores de latón de 25mm (6)
- Tornillos de máquina de acero inoxidable M3 x 5mm (60)
- Tuercas de fijación de nylon M3 (10)

Software:

- Código abierto para desarrollar
- Código estándar será enviado a los clientes

Dimensiones

- Tamaño 10 x 10 x 15''

- Altura 6''
- Peso [Kg]: 0.4

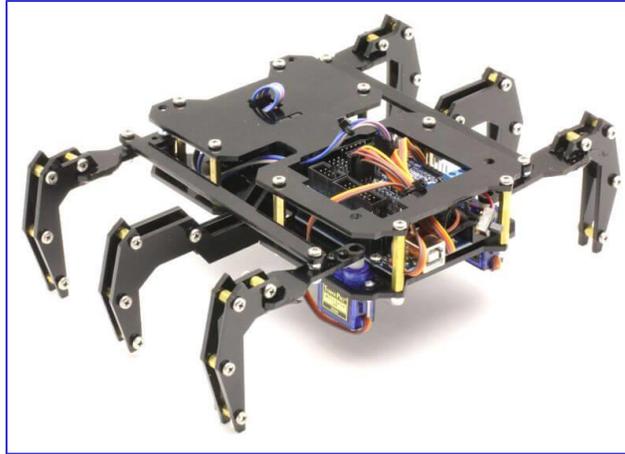


Ilustración 59. Hexápodo de base rectangular (Consultada Julio 2019) 'ROBUG Arduino basado en Hexápodo Robot Kit'.
Ilustración obtenida del sitio web: <https://www.jsumo.com/robug-arduino-based-hexapod-robot-kit-black>

- **PhantomX AX-12 Quadruped**

Precio: \$ 949. 95 USD – Base cuadrada

Características del producto:

- Servos Robot Dynamixel serie AX avanzados
- Piernas de 3 grados de libertad
- Arduino compatible ArbotiX Robocontroller
- Software de código abierto
- Motor de marcha impulsado por la cinemática inversa avanzada
- 4 diferentes andares para caminar disponibles
- Bateria LiPo de alta calidad
- Construcción robusta en ABS
- Agregue armas, pinzas, cámaras, giro, inclinación, incluso computadoras
- Toneladas de E/S disponibles y totalmente programables para la autonomía

El kit incluye

- Actuadores Dynamixel 12x AX – 12a
- Phantom Quadrupe Hardware & Body Kit
- ArbotiX Robocontroller
- ArbotiX Comander
- 2X módulos Xbee 1mw
- 8x F2 Bioloid Frames
- Marcos biológicos 8x F3
- 11.1 v 3s 2100 mAh Thunder Power LiPo batería
- Kit de inicio del cargador del cargador de equilibrio LiPo
- Adaptador FTDI
- Interfaz USB (Universal Serial Bus) XBee
- Cable USB a Mini – B
- Botella de 10 ml de Turbo – Lock

¿De qué trata el ArbotiX?

Arduino basado en Atmel

Servos AX – 12 A Dynamixel y el sistema bioloid de robotis: interfaz serial TTL (*Transistor ~ Transistor Logic ~ Lógica Transistor - Transistor*)



Ilustración 6o. 'Kit PhantomX AX Quadrupe Mark II'. (Consultada Julio 2019). Ilustración obtenida del sitio web: <https://www.trossenrobotics.com/p/PhantomX-AX-12-Quadrupe.aspx>

Capítulo 5) Lentes y aberraciones en telescopios

Distorsiones de la imagen de telescopios

Como todo instrumento óptico, los telescopios son afectados por muchas aberraciones. Aquí discutiré dos problemas.

Lentes de telescopios y telescopios reflectores

Las aberraciones cromáticas fueron identificadas desde hace tiempo como un obstáculo para la mejora técnica de las lentes de los telescopios. Isaac Newton (1642 – 1727) fue uno de los primeros en descubrir la óptica de las lentes refractivas, que sufren por la dispersión podría sustituirse por la óptica reflectiva o los telescopios reflectores, los cuales en nuestros días se han convertido en un dispositivo con diseño estándar. (Meschede, 2017; 168)

5.1) Lentes: diseño y aberraciones

La lente convexa esférica es, por así decirlo, el caso cardinal de un lente convexa. Sin embargo, todas las lentes esféricas causan aberraciones, y la aplicación de ciertos diseños depende completamente del área de aplicación. Como regla general, recordemos la aproximación paraxial: la forma linealizada de la Ley de Snell ($\sin \theta \rightarrow \theta, n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$) se cumple mejor cuanto más pequeños son los ángulos de refracción. Por lo tanto, es conveniente distribuir la refracción de los rayos de un haz, pasando a través de una lente, de la manera más uniforme posible a las dos superficies de refracción. En un sistema de lentes múltiples (doblete, triplete, etc.) se encuentran disponibles varias superficies curvas y sus grados de libertad están disponibles. Sin embargo, el sistema de lentes perfecto, que corrige varios tipos de aberraciones al mismo tiempo, no puede realizarse de esta manera, y, por lo tanto, todos los sistemas múltiples ('objetivos') están generalmente diseñados para aplicaciones específicas.

(Meschede, 2017; 169, 170)

Lentes planos convexos

Este tipo de lentes sólo tiene una superficie curva y así puede ser manufacturada bastante barato. Para los típicos índices de refracción de las gafas técnicas de $n = 1.5$, $f = -\frac{1}{D} \cong 2R$. Atentos a un rayo de luz, el lente plano convexo puede ser usado en dos diferentes orientaciones. (Meschede, 2017; 170)

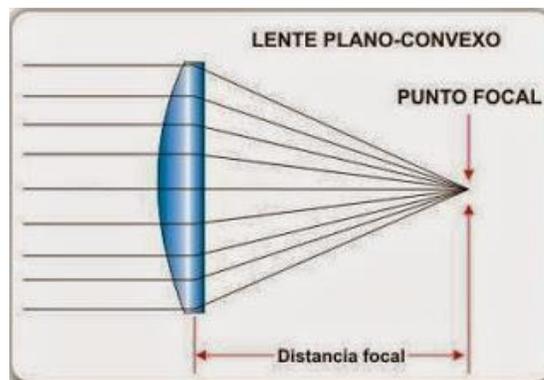


Ilustración 61. Lente plano convexo. (Consultada agosto 2019) Ilustración obtenida de: <http://www.experimentoscaseros.info/2013/10/como-hacer-lente-macro-para-movil-celular.html>

Lentes y dobletes biconvexos

Podríamos imaginar un lente biconvexo que está compuesto por dos lentes planos convexos [Ver Ilustración 62, a] espalda con espalda [Ver Ilustración 62, b]. Sin embargo, la potencia refractiva agregan, y podemos buscar lentes comunes de nuevo de acuerdo con un índice de refracción $n \sim 1.5$.

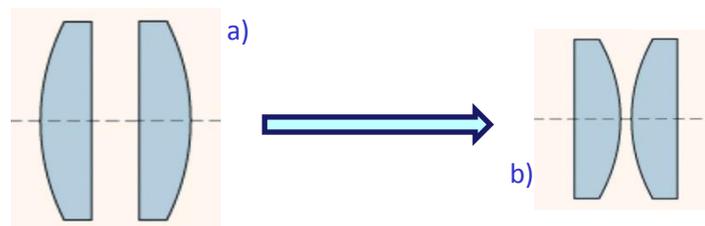


Ilustración 62. a) Lentes planos convexos y b) Dobletes planos biconvexos espalda con espalda. (Consultada agosto 2019) Ilustración obtenida del libro: Optics, light and lasers. Meschede, D.

Para una imagen 1:1, los lentes singletes biconvexos tienen aberraciones esféricas mínimas, las cuales son importantes, por ejemplo, para colimadores. Sin embargo, la potencia refractiva de las lentes planas convexas añaden exactamente de la misma forma si están montados con sus superficies esféricas opuestas la una con la otra.

Por lo tanto, en la imagen 1:1 la potencia refractiva está distribuida por cuatro superficies, logrando así una mayor reducción de aberraciones. (Meschede, 2017; 171)

Lentes con meniscos

Los lentes con meniscos [Ver Ilustración 63]. pueden minimizar como singletes las aberraciones para una distancia determinada entre los objetos y la imagen. En efecto, son ante todo partes de lentes múltiples objetivos y servicios, por ejemplo, para cambiar la longitud del foco de otros lentes, sin introducir aberraciones adicionales o coma. Cada componente es llamado ‘aplanático’. (Meschede, 2017; 171)



Ilustración 63. Lente con meniscos. (Consultada agosto 2019) Ilustración obtenida de: <https://www.tutareaescolar.com/wp-content/uploads/tipos-de-lentes.png>

5.1.1) Aberraciones

Astigmatismo

Si los puntos de objeto no mienten sobre el eje óptico, entonces el eje de simetría es violado, y tenemos para discutir los planos ‘sagital’ y ‘tangencial’ planos de propagación que separan el haz. La longitud efectiva del foco de un lente depende sobre el ángulo de incidencia.

(Meschede, 2017; 174)

Coma y distorsión

Entre todas las aberraciones de imagen, la única llamada ‘coma’ (de la palabra griega para cabello largo) o aberraciones asimétricas es lo más molesto. Coma causa un cometa con cola, para puntos de objeto sin eje. (Meschede, 2017; 175)

Aberraciones cromáticas

Las aberraciones cromáticas son causadas por la dispersión de los materiales ópticos, desde el índice de refracción de los lentes usados que dependen de la longitud de onda. La potencia refractiva de un lente convexo es en general mayor en una luz azul¹⁴ que en una luz roja¹⁵.

(Meschede, 2017; 176)

14. La longitud de onda de la luz es de alrededor de 470 nm.

15. La longitud de onda de la luz roja es de alrededor de 645 – 700 nm.

Conclusiones

El principal objetivo de esta tesis es el estudio y diseño de un robot especializado en el pulido de superficies ópticas, es por eso por lo que a partir de empaparme de lo que implicaba robots y pulido de superficies ópticas me ayudó en la propuesta.

Al investigar en el mercado sobre costos y características, así como su software y desempeño encontrando en común que usan Arduino, que son de código abierto, con precios variables, sin embargo, la idea se planteó para desarrollar, así que los modelos vistos sólo se usaron como referencia.

De acuerdo con la clasificación de los robots, noté que estos tienen una amplia gama y que pueden pertenecer a una clasificación y varias subcategorías, mi propuesta por ejemplo 'Trípode', es un robot tipo caminante, con sistema de coordenadas cartesianas con método de control servocontrolado.

Según la información encontrada, se plantea el robot Trípode como un primer acercamiento, las razones son que su desplazamiento es omnidireccional, se traslada de una pata en una pata, aunque sea de forma lenta, las ecuaciones de longitud de paso a resolver serían más sencillas.

La idea de añadir varios robots para que trabajen en paralelo resulta más eficiente y permite una optimización de tiempo.

La herramienta HyDRA con la que trabajaría en conjunto el robot, aborda tres tipos de pulidos principales: fuerza cero, determinístico y pulido pulsado, de los cuales el determinístico es el más común, mientras que el de fuerza cero es el que plantea llevar a cabo con el robot.

Al llevar a cabo el pulido sobre las superficies, se pueden generar varios tipos de aberraciones esto es fallas sobre el pulido, que de ser corregidas correctamente se puede decir que el lente está aplanático o bien que no tiene ninguna aberración.

Lista de abreviaturas

AGV: Automatic Guided Vehicle (Vehículos Guiados Automaticamente)

CCD: Charged Coupled Device (Dispositivo de Carga Acoplada)

CNC: Control Numérico Computarizado

DC: Direct Current (Corriente Directa)

DOF: Degrees of Freedom (Grados de Libertad)

FTDI: Future Technology Devices International

GPIO: General Purpose Input/Output (Propósito General de Entrada y Salida)

HD: High Definition (Alta definición)

I2C: Inter – Integrated Circuits (Circuitos Inter Integrados)

ISO: International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización)

MEMS: Micro Electromechanical System (Sistemas Micro – electro - mecánicos)

PWM: Pulse Width Modulation (Modulación por ancho de pulsos)

RAM: Random Access Memory (Memoria de Acceso Aleatorio)

ROM: Read Only Memory (Memoria de sólo Lectura)

SCARA: Selective Compliant Assembly Robot Arm o Selective Compliant Articulated Robot Arm (Brazo robótico de ensamblaje selectivo conforme o Brazo robótico articulado con cumplimiento selectivo).

SCL: Serial Clock (Reloj Serial)

SCU: Slurry Conditioning Unit (Unidad de Acondicionamiento Acuoso)

SRI: Stanford Research Institute (Instituto de Investigación de Stanford)

TTL: Transistor - Transistor Logic (Lógica Transistor - Transistor)

UART: Universal Asynchronous Receiver – Transmitter (Transmisor – Receptor universal asíncrono)

USB: (Universal Serial Bus ~ Bus en Serie Universal).

Glosario

Abrasiva: dicho de un producto que sirve para desgastar o pulir, por fricción, sustancias duras como metales, vidrios, etc.

Acuoso: Abundante en agua.

Articulación: Unión entre dos piezas rígidas que permite el movimiento relativo entre ellas.

Dispersión: Descomposición de una radiación en sus diferentes longitudes de onda por la acción del medio de propagación, como la luz cuando atraviesa las gotas de lluvia formando el arco iris.

Erosión: del latín erosio, la erosión es el desgaste que se produce en la superficie de un cuerpo por la acción de agentes externos (como el viento o el agua) o por la fricción continua de otros cuerpos.

Exactitud: La exactitud se refiere a cuán cerca se está del resultado correcto y mejora con herramientas calibradas correctamente.

Fricción: se conoce como fuerza de fricción a la que realiza una oposición al desplazamiento de una superficie sobre otra, o a aquella opuesta al comienzo de un movimiento.

Fuerza centrífuga: una fuerza ficticia que surge al describir el desplazamiento de un objeto en un sistema de referencia que está en rotación.

Par: puede entenderse como el momento de fuerza o momento dinámico. Se trata de una magnitud vectorial que se obtiene a partir del punto de aplicación de la fuerza. La misma está constituida por el producto vectorial.

Parámetros: Variable que, en una familia de elementos, sirve para identificar cada uno de ellos mediante su valor numérico.

Presurizar: mantener la presión atmosférica normal en un recinto, independientemente de la presión exterior, como en la cabina de pasajeros de un avión.

Propulsada: Lanzar o impulsar una cosa con fuerza hacia delante.

Repetibilidad: en la metodología científica, cualidad de repetible.

Resolución: La resolución es la mínima variación de la magnitud medida que da lugar a una variación perceptible de la indicación del correspondiente valor. Dicho de otra forma, la resolución nos indica el valor mínimo a partir del cual notaremos una variación o salto en la medida de aquello que estemos midiendo.

Singlete: en óptica se les llama lente simple o lente sencilla.

Toxicidad: Grado de efectividad de una sustancia tóxica.

Velocidad radial: es la velocidad de un objeto a lo largo de la línea visual del observador. Esto es la componente de la velocidad con la que el objeto se acerca o aleja del observador, aunque no se mueva exactamente en dirección de colisión con el observador. Es perpendicular a la velocidad transversal del objeto.

Referencias

Ollero, A. (2001). Robótica, manipuladores y robots móviles. Barcelona, España: Marcombo Boixareu Editores.

Pp.: 1 – 3, 5 – 7, 39 – 48, 178, 179, 188 – 191, 414, 415

Galang, M. (2017). Introduction to robotics. NY, USA: Delve Publishing LLC.

Pp.: 1, 3 – 5, 7, 8, 13, 20, 47 - 49

Dey, N. & Mukherjee, A. (2016). Embedded System and Robotics with Open Source Tools. Florida, USA: CRC Press Taylor & Francis Group.

Pp.: 2, 8, 12, 24, 25, 27, 28

Meschede, D. (2017). Optics, light and lasers. Weinheim, Germany: Wiley, Vch.

Pp. 168, 170, 171, 174, 175, 176

Kumar, S. (2008). Introducción a la robótica. India: Mc Graw Hill.

Pp. 2, 5, 7, 24 – 26, 29, 30

Niku, S. (2001). Introduction to Robotics. New Jersey, USA: Pearson education.

Pp. 186

Referencias

- [1] Betts, J. (2019). Reloj de agua DISPOSITIVO DE CRONOMETRAJE, agosto 2019, de Enciclopedia Británica Sitio web: <https://www.britannica.com/technology/clepsydra>
- [2] Betts, J. (2019). Reloj de agua DISPOSITIVO DE CRONOMETRAJE. agosto 2019, de Enciclopedia Británica Sitio web: <https://www.britannica.com/technology/clepsydra>
- [3] (2018). Los robots. 27 agosto 2019, de Sociedad de Robots de Leonardo da Vinci Sitio web: <https://www.leonardorobotsociety.org/the-robots.html>
- [4] Tecnología MEMS. agosto de 2019, de Consorcio Mexicano de Microsistemas Sitio web: http://www.cva.itesm.mx/biblioteca/pagina_con_formato_version_oct/apaweb.html
- [5] Tecnología MEMS. agosto de 2019, de Consorcio Mexicano de Microsistemas Sitio web: http://www.cva.itesm.mx/biblioteca/pagina_con_formato_version_oct/apaweb.html
- [6] Órdenes de magnitud de tamaño la tecnología MEMS. agosto 2019, de Universidad de Sevilla Sitio web: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4966/fichero/e.+Tecnología+MEMS.pdf>
- [7] Tecnología MEMS. agosto de 2019, de Consorcio Mexicano de Microsistemas Sitio web: http://www.cva.itesm.mx/biblioteca/pagina_con_formato_version_oct/apaweb.html
- [8] Principios de la navegación inercial I. 10 agosto 2019, de sin autor Sitio web: <https://greatbustardsflight.blogspot.com/2016/10/principios-de-la-navegacion-inercial-i.html>
- [9] Base ortogonal y base ortonormal. agosto 2019, de Universidad de Barcelona Sitio web: <http://www.ub.edu/glossarimateco/content/base-ortogonal-y-base-ortonormal>
- [10] Vectores ortogonales. agosto 2019, de Universidad de Barcelona Sitio web: <http://www.ub.edu/glossarimateco/content/vectores-ortogonales>

Referencias

[11] (2013). ¿Qué es una lente Asférica? 11 agosto 2019, de Venoptix Instrumentos Opticos. Sitio web: <https://www.venoptix.com/blog/lente-asferica>

[12] Ruíz, E.; Salas, L.; Luna, E.; Sohn, E y Herrera, J. (2007) HyDRa: Vortex polishing with a deterministic hydrodynamic radial polishing tool. Ensenada, B. C. México.
Pp. 2, 3, 5, 7 – 10, 15 – 17

[13] Cavitación. 9 agosto 2019, de Universidad de Sonora Sitio web: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/22520/Capitulo1.pdf>

[14] (2015). Servo Hitec HS-475HB, 5,5 Kg, rodamientos a bolas, y piñonería de Karbonite. 10 agosto 2019, de Hobby Play Sitio web: https://www.hobbyplay.net/radio-control/servo_hitec_hs_475hb_55_kg_rodamientos_a_bolas_y_pinoneria_de_karbonite

[15] (2019). Servo HS-645MG. 10 agosto 2019, de Servocity Sitio web: <https://www.servocity.com/hs-645mg-servo>

[16] Fundamentos de las Transmisiones por Engranajes. 10 agosto 2019, de Ingemecanica Sitio web: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn150.html>

Datasheet

- Microcontrolador Pololu Maestro Servo Controller – Guía del Usuario

<https://www.pololu.com/docs/pdf/0J40/maestro.pdf>

- Servo HD 1900

<https://www.pololu.com/file/0J321/HD-1900A.pdf>

- Servo VTS-05A

<http://www.vigorprecision.com.hk/uploadfile/20120530/20120530173605804.pdf>

- Kit Phantom AX Cuadrúpedo Mark II

<https://www.trossenrobotics.com/p/PhantomX-AX-12-Quadruped.aspx>

- Robug Arduino Hexápodo

<https://www.jsumo.com/robug-arduino-based-hexapod-robot-kit-black>

- R Hexápodo Robots Kit – Lynxmotion BH3

<http://www.lynxmotion.com/c-100-bh3-r.aspxSC>

- Cámara web Agama V-1325R Night Vision Infrared

<https://www.amazon.com.mx/Agama-V-1325R-Vision-Infrared-Webcam/dp/B002XQ30XS>