

DISEÑO Y ENSAMBLE DE MANIPULADOR CARTESIANO PARA EL
ALMACENAMIENTO Y PALETIZADO DE PRODUCTOS MEDIANTE EL
USO DE LOS MÓDULOS FISCHERTECHNICK.

JORDI SEBASTIAN PULGARÍN CASTAÑO
1088027155

NATALIA RIVERA RESTREPO
1112786033

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
INGENIERÍA INDUSTRIAL
PEREIRA
2017

DISEÑO Y ENSAMBLE DE MANIPULADOR CARTESIANO PARA EL
ALMACENAMIENTO Y PALETIZADO DE PRODUCTOS MEDIANTE EL
USO DE LOS MODULOS FISCHERTECHNICK.

JORDI SEBASTIAN PULGARÍN CASTAÑO
1088027155

NATALIA RIVERA RESTREPO
1112786033

Anteproyecto

Director

John Andrés Muñoz Guevara

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
INGENIERÍA INDUSTRIAL
PEREIRA
2017

CONTENIDO

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
1.1. TÍTULO DEL PROYECTO	6
1.2. ÁREA DE INVESTIGACIÓN	6
1.3. MATERIAS DE INVESTIGACIÓN.....	6
1.4. DEFINICIÓN DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN	6
1.5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	7
1.5.1. Planteamiento del Problema.	7
1.5.2. Formulación del Problema.....	7
1.5.3. Sistematización del Problema.....	7
1.6. JUSTIFICACIÓN	8
1.7. OBJETIVOS.....	9
1.7.1. Objetivo General.	9
1.7.2. Objetivos Específicos.....	9
1.8. MARCO DE REFERENCIA.....	9
1.8.1. Marco Teórico.	9
1.8.2. Marco Conceptual.....	19
1.8.3. Marco Espacial.	21
1.9. ASPECTOS METODOLÓGICOS	22
1.9.1. Tipo de Estudio de Investigación.	22
1.9.2. Fuentes y Técnicas para Recolectar Información	22
1.9.3. Cronograma de trabajo.....	23
2. ESTABLECIMIENTO DE LA CONFIGURACIÓN CINEMÁTICA	24
2.1. CONFIGURACIÓN CINEMÁTICA.....	24
2.1.1. CLASIFICACIÓN DE LOS ROBOTS MANIPULADORES.....	24
2.1.2. ROBOT MANIPULADOR SELECCIONADO	25
2.2. CONTROL CINEMÁTICO	25
2.2.1. DEFINICIÓN DE LOS MOVIMIENTOS Y GRADOS DE LIBERTAD	25
2.2.2. FUNCIONES DEL CONTROL CINEMÁTICO	28
2.3. ÁREA DE TRABAJO.....	28
3.1. MATRICES DE ROTACIÓN.	29

3.2. COORDENADAS Y MATRICES HOMOGÉNEAS	30
3.3. MODELOS CINEMÁTICOS DIRECTOS	30
3.1.1. METODOLOGÍA DE DENAVIT- HARTENBERG.....	30
3.4. MODELOS CINEMÁTICOS INVERSOS	33
4. MECANISMOS DE MOVIMIENTO PARA LAS ARTICULACIONES.....	37
4.1. ACTUADORES	37
4.2. SENSORES.....	38
5. EFECTORES FINALES.....	39
5.1. EFECTOR FINAL DE ALMACENAMIENTO	39
5.2. EFECTOR FINAL DE PALETIZADO	40
6. CONSTRUCCIÓN Y PROGRAMACIÓN	41
BIBLIOGRAFÍA.....	47

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Autómatas famosos	10
Tabla 2. Tipos de manipuladores	12
Tabla 3. Sistemas de transmisión para robots	14
Tabla 4. Características de distintos tipos de actuadores para robots	15
Tabla 5. Tipos de sensores internos de robots	15
Tabla 6. Herramientas terminales para robots	16
Tabla 7. Parámetros Denavit-Hartenderg	32

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. TÍTULO DEL PROYECTO

Diseño y ensamble de manipulador cartesiano para el almacenamiento y paletizado de productos mediante el uso de los módulos Fischertechnik.

1.2. ÁREA DE INVESTIGACIÓN

El área de investigación se centra en la automatización del proceso de almacenamiento y paletizado de productos, atendiendo las temáticas de producción, logística, programación y automatización

1.3. MATERIAS DE INVESTIGACIÓN

En el desarrollo de la investigación, se abordarán las diferentes áreas que se requieren para realizar la automatización de almacenaje y paletizado, las cuales se vinculan directamente con los enfoques de la ingeniería industrial, entre ellas se encuentran:

- Seminario de investigación
- Producción I, II y III
- Automatización
- Logística
- Formulación y evaluación de proyectos
- Trabajo de grado

1.4. DEFINICIÓN DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN

A diario se encuentran procesos de almacenamiento manual en los procesos productivos de las empresas, que conllevan grandes esfuerzos físicos para los operarios, desorden en las bodegas y desperdicios de espacio, por ello las empresas buscan optimizar dichas operaciones por medio de la automatización del almacenamiento que permite clasificar y organizar los inventarios, reduciendo espacios y minimizar la carga laboral de los operarios.

El almacenamiento automático constituye una parte esencial de la logística de la cadena productiva, ya que puede ejercer control en la entrada y salida, ayudando a optimizar los tiempos de búsqueda, organización y despacho.

1.5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Construir un manipulador cartesiano para el proceso de almacenamiento y paletizado de fichas mediante el uso de los módulos Fischertechnik y programarlo mediante el software ROBO Pro, el cual haga parte de la línea de producción automatizada presente en el Laboratorio de Logística de la Facultad de Ingeniería Industrial.

1.5.1. Planteamiento del Problema.

En el Laboratorio de Logística de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de Pereira, se encuentran los equipos de automatización de procesos de la marca Fischertechnik, donde actualmente la línea de procesos cuenta con una serie de estaciones orientadas a la simulación de procesos de transformación de productos. Con el fin de crear una línea de transformación completa nace la necesidad de diseñar y ensamblar un sistema de almacenamiento y paletizado de fichas que se acople a la línea actual.

Para mejorar esta situación se plantea la idea de construir y programar un manipulador con los módulos de Fischertechnik en el cual se puedan realizar las acciones de almacenamiento y paletizado, para así poder enseñar de una manera diferente y novedosa distinta temática de las materias dictadas en Ingeniería Industrial y también de otras facultades de la Universidad. Esta enseñanza se dará combinando la teoría con la práctica ya que se contará con un aparato más flexible a las necesidades de la comunidad estudiantil.

1.5.2. Formulación del Problema.

¿Cómo se debe diseñar y construir un manipulador cartesiano capaz de realizar los procesos de almacenamiento y paletizado de productos mediante el uso de los módulos Fischertechnik?

1.5.3. Sistematización del Problema.

- ¿Qué configuraciones existen actualmente para la construcción de manipuladores con tres grados de libertad?
- ¿Cuáles son las principales características del modelo cinemático directo?
- ¿Cuáles son las principales características del modelo cinemático inverso?
- ¿Qué piezas son las adecuadas y necesarias para este mecanismo?
- ¿Cómo se debe programar un sistema automático de almacenamiento y paletizado?

1.6. JUSTIFICACIÓN

Las empresas están en cambios constantes que requieren de una mejor adecuación de las estructuras de almacenamiento, ya sea porque se necesite almacenar una mayor cantidad de recurso o minimizar el espacio usado en almacenamiento.

Una de las opciones que se tiene es la compra de un nuevo espacio o construcción de un nuevo nivel, esta decisión debe ir sustentada teniendo en cuenta diversas variables de costos de terreno, planeación, estudios y rentabilidad esperada, en muchas ocasiones dicha opción demanda grandes esfuerzos y tiempo, por lo que el almacenamiento automatizado ha tomado mayor fuerza. Cuando en los centros de distribución se usan tecnologías automáticas haciendo que el almacén se comporte como una gran máquina que ejecuta órdenes del sistema de información con poca asistencia del recurso humano, se puede decir que se tiene un almacén automático.

Un almacén automático facilita la búsqueda del recurso necesario en la operación, reduciendo esfuerzo del personal y tiempo de producción, minimizan los espacios requeridos para almacenar y permite adicionar cambios en pro de la mejora continua.

Las principales ventajas de esta clase de almacenamiento son:

- Reducción de los errores
- Menores costos de operación en volúmenes grandes
- Retorno de la inversión a largo plazo
- Utiliza un volumen menor al del almacenamiento convencional ya que aprovecha toda la altura
- Minimiza el daño de producto, pérdidas desconocidas o mermas
- Conlleva a una mejor calidad en el manejo del producto.

Por lo tanto, este tipo de almacenamiento es una buena opción para cualquier empresa que requiera almacenar sus productos. En el espacio en el cual estará situado el trabajo de grado es conveniente, ya que con los módulos de Fischertechnik se muestra un sistema productivo automatizado y para todo sistema productivo es necesario almacenar los productos terminados mientras se les entrega al cliente final es por esta razón que es de gran utilidad la implementación de un sistema de almacenamiento automático para las fichas que se procesan, se requiere que sea automático para que su funcionamiento no afecte el de los demás módulos.

1.7. OBJETIVOS

1.7.1. Objetivo General.

Diseñar y ensamblar un manipulador cartesiano para el proceso de almacenamiento y paletizado de fichas mediante el uso de los módulos Fischertechnik.

1.7.2. Objetivos Específicos.

- Establecer la configuración cinemática del manipulador cartesiano para la aplicación en el proceso de almacenamiento y paletizado.
- Generar los modelos cinemáticos directos e inversos del manipulador cartesiano para la programación de las rutinas de trabajo.
- Definir los mecanismos de movimiento para las articulaciones del manipulador cartesiano
- Realizar el diseño de los efectores finales para el almacenamiento y paletizado de fichas.
- Realizar la construcción, programación y puesta en marcha del manipulador cartesiano.

1.8. MARCO DE REFERENCIA

1.8.1. Marco Teórico.

El hombre a través de los años, hasta antes de cristo, se ha ingeniado la manera de imitar funciones y movimientos de los seres vivos y en general de los seres vivos, a causa de esto se pueden encontrar diferentes ejemplos de creaciones hechas por el ser humano, destinadas en un comienzo a la diversión y entretenimiento, que realizaban movimientos característicos de las personas, sin embargo como lo menciona Barrientos “realizar mecanismos destinados a la diversión, sino que les dio una aplicación práctica, introduciendo en la vida cotidiana de la realeza”, se refleja con esto un primer intento por utilizar un mecanismo novedoso en beneficio de las necesidades propias de las personas, para ese tiempo exclusividad de la realeza. Es claro que para este tiempo el concepto de robot no estaba dentro de lo pensado por los ingenieros de la época, tanto así que a estos mecanismos los denominaban autómatas, palabra que viene del griego automatos, y según Barrientos es “máquina que imita la figura y movimientos de un ser humano”. Estos autómatas estuvieron presentes durante

varios siglos algunos de los más famosos se pueden evidenciar en la siguiente tabla.

Tabla 1. Autómatas famosos

Año	Autor	Autómata
1352	Desconocido	Gallo de la catedral de Estrasburgo
1499	L. Da Vinci	León mecánico
1525	J. Turriano	Hombre de palo
1738	J de Vaucanson	Flautista, tamborilero, pato, muñecas mecánicas de tamaño humano
1769	W. Von Kempelen	Jugador de ajedrez
1770	Familia Droz	Escriba, organista, dibujante
1805	H. Maillardet	Muñeca mecánica capaz de dibujar

Fuente: Barrientos, A. Fundamentos de Robótica.

Pasaron muchos años desde la invención del primer autómata hasta que se usara la palabra robot por primera vez, la cual según Barrientos “fue usada por primera vez en el año 1921, cuando el escritor checo Karel Capek estrena en el teatro nacional de Praga su obra Rossum's Universal Robot”. La palabra no tiene un gran uso en sus primeros años, pero gracias a los diferentes autores literarios de la época y sus obras de ciencia ficción principalmente, se genera un mayor uso y recordación para la población en general, he allí que las personas del común tengan un concepto de los robots más literario e ignoren lo que en realidad puede representar.

Los robots han sido un apoyo para las empresas de manufactura que han estado en la búsqueda de hacer las tareas y operaciones de una forma más eficiente, siendo esta alternativa la más utilizadas en los últimos años por diferentes organizaciones alrededor del mundo y esto se debe principalmente a las diferentes ventajas que ofrecen frente a las personas, como lo menciona Craig “Los robots no solo se están volviendo más baratos, sino también más efectivos, más rápidos, precisos y flexibles”¹. Desde la creación y puesta en marcha de lo que se conoce como robot industrial a comienzos del siglo XX, y con los avances tecnológicos en este mismo siglo se ha fortalecido la idea de utilizarlos cada vez más en las industrias según Craig “A medida que los robots se vuelvan más efectivos en cuanto al costo por sus tareas, y a medida que aumente el costo de la mano de obra humana, habrá más trabajos que se conviertan en candidatos

¹ Craig, John. Robótica. Tercera. México: Prentice Hall México, 2006. pág. 408

para la automatización robótica”².

La implementación de robots en la industria genera grandes beneficios para las organizaciones aumentando la productividad y disminuyendo costos para el producto. Sin embargo, esto genera un gran impacto en la sociedad, ya que esta herramienta por lo general es utilizada para reemplazar la actividad que realizan trabajadores en la empresa, siendo estas personas despedidas y en su lugar quedan máquinas, aumentando el desempleo de las personas con nivel bajo de escolaridad e igualmente obligando a las personas a tener un nivel académico alto para poder alcanzar un empleo, se puede citar un ejemplo reciente en el cual una empresa china “Changying Precision Technology” reemplazó a 600 trabajadores por 60 brazos robóticos, y la idea es que la planta en su totalidad sea operada por máquinas y las personas que intervengan solo sean para garantizar el correcto funcionamiento de estos robots. No obstante los robots no son perfectos y si bien pueden servir para reemplazar diferentes tareas realizadas por las personas hay muchas que solo el ser humano puede realizar como lo menciona Porter “a lo largo de la historia, cuando una máquina ha asumido el trabajo que antes realizaba una persona, ha hecho a su vez más necesaria las capacidades humanas complementarias”³.

Por otro lado los robots desde su creación como cualquier ser humano ha sufrido cambios, y es por esto que ha sido necesario que se defina y clasifique, por lo cual es importante conocer en primer lugar que es un robot industrial para ello se puede tomar como referencia la definición dada por diferentes entidades connotadores del tema

La Organización Internacional de Estándares (ISO) lo define así:

“Manipulador multifuncional reprogramable con varios grados de libertad, capaz de manipular materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas”⁴

Por otro lado la Federación Internacional de Robótica (IFR) lo define así:

“Por robot industrial de manipulación se entiende a una máquina de manipulación automática reprogramable y multifuncional con tres o más ejes que pueden posicionar y orientar materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales para la ejecución de trabajos diversos en las diferentes etapas de la producción industrial, ya sea en posición fija o en movimiento”⁵

² *Ibíd.* p. 1.

³ Porter, Eduardo. La tecnología amenaza la mano de obra. Elpaís.com. 2014

⁴ ISO. Citado por: Barrientos, Antonio, *et al.* Fundamentos de robótica. Madrid: McGraw-Hill, 1997. p. 10.

⁵ IFR. Citado por: Barrientos, Antonio, *et al.* Fundamentos de robótica. Madrid: McGraw-Hill,

Por último la Asociación Industrial de Robótica (RIA) define lo siguiente:

“Un robot Industrial es un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas”⁶

Llegado a este punto se puede conocer que identifica un robot industrial y de allí lo importante de saber que clasificaciones recibe por lo cual en la siguiente tabla se ilustra las clasificaciones establecidas por la Asociación francesa de robótica industrial.

Tabla 2. Tipos de manipuladores

Tipo A	Manipulador con control manual o telemando.
Tipo B	Manipulador automático con ciclos preajustados; regulación mediante fines de carrera o topes; control por PLC; accionamiento neumático, eléctrico o hidráulico.
Tipo C	Robot programable con trayectoria continua o punto a punto. Carece de conocimientos sobre su entorno.
Tipo D	Robot capaz de adquirir datos de su entorno, readaptando su tarea en función de éstos.

Fuente: Barrientos, A. Fundamentos de Robótica.

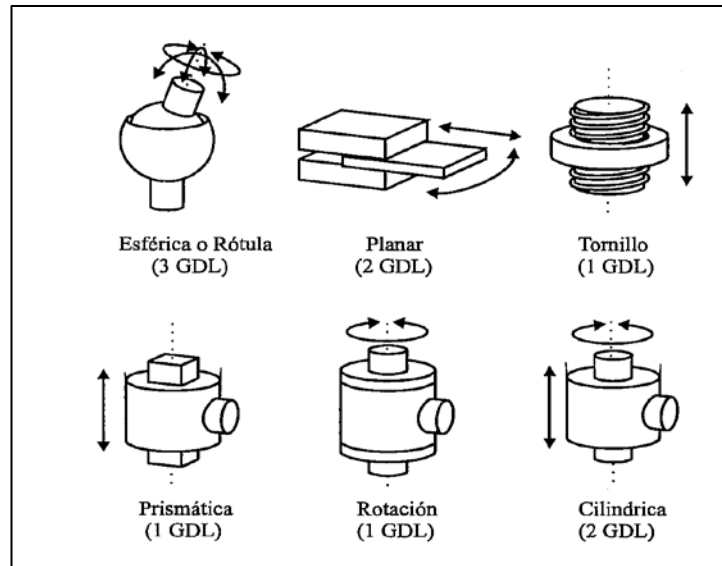
Del mismo modo es importante conocer de qué se compone un robot, por ende se debe hablar de su morfología y los diferentes elementos que la componen.

En primer lugar está la estructura mecánica, la cual está definida por las articulaciones con las cuales cuenta el robot, estas se pueden observar en la ilustración 1 y dependiendo de la combinación de articulaciones se pueden definir configuraciones de robot los cuales pueden verse en la ilustración 2.

1997. p. 10.

⁶ RIA. Citado por: Barrientos, Antonio, *et al.* Fundamentos de robótica. Madrid: McGraw-Hill, 1997. p. 10.

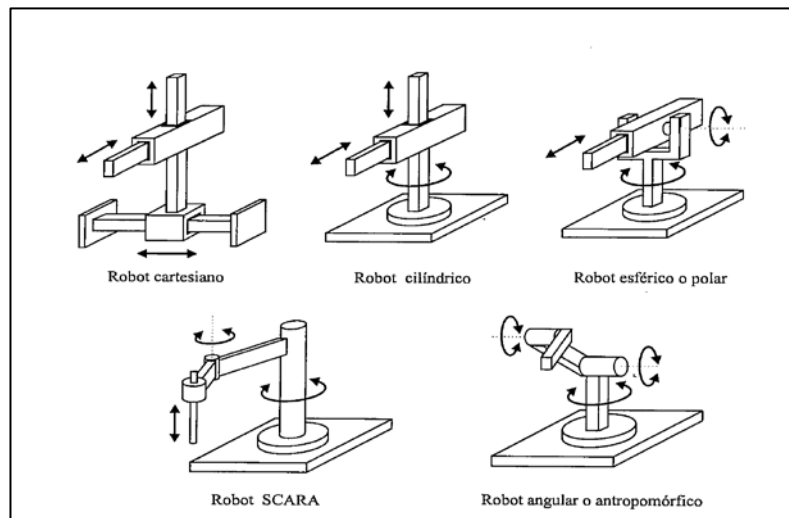
Ilustración 1. Tipos de articulaciones para robots



Fuente: Barrientos, A. Fundamentos de Robótica.

GDL significa grados de libertad, y está definida como cada uno de los movimientos independientes que puede realizar cada articulación con respecto de la anterior

Ilustración 2. Configuraciones más frecuentes en robots industriales



Fuente: Barrientos, A. Fundamentos de Robótica.

Los robots se configuran de estas maneras con el objetivo de otorgar los grados de libertad que requiera para realizar sus tareas, a causa de esto se pueden encontrar robots con configuraciones diferentes e igualmente operativas, ya que los grados de libertad necesarios dependen principalmente del entorno al cual estará expuesto el robot.

En segundo lugar se encuentran las transmisiones, las cuales son las encargadas de relacionar los actuadores con las articulaciones, ya que las articulaciones por sí solas no son capaces de generar o transformar energía cinética y estas necesitan moverse, por ello el movimiento se transmite desde el actuador hasta la articulación procurando reducir el momento de inercia del robot, también los sistemas de transmisión tienen como finalidad transformar el movimiento, ya sea de lineal a circular o viceversa como se observa en la tabla.

Tabla 3. Sistemas de transmisión para robots

Entrada-Salida	Denominación	Ventajas	Inconvenientes
Circular-Circular	Engranaje	Pares altos	Holguras
	Correa dentada	Distancia grande	-
	Cadena	Distancia grande	Ruido
	Paralelogramo	-	Giro limitado
	Cable	-	Deformabilidad
Circular-Lineal	Tornillo sin fin	Poca holgura	Rozamiento
	Cremallera	Holgura media	Rozamiento
Lineal-Circular	Paral. articulado	-	Control difícil
	Cremallera	Holgura media	Rozamiento

Fuente: Barrientos, A. Fundamentos de Robótica.

Un buen sistema de transmisión según Barrientos debe cumplir lo siguiente “debe tener un tamaño y peso reducido, se ha de evitar que presente juegos u holguras considerables y se debe buscar transmisiones con gran rendimiento”⁷.

En tercer lugar están los actuadores, caracterizados principalmente por generar el movimiento en los robots, estos utilizan tres fuentes de energía las cuales son neumática, hidráulica y eléctrica.

A su vez la selección de alguno de estos depende de las características que se requieran para el robot algunas que se puedan tener en cuenta son las siguientes:

- Potencia
- Controlabilidad
- Peso y volumen
- Precisión
- Velocidad
- Mantenimiento
- Costo

En la siguiente tabla se identifica de una manera más clara que opción elegir dependiendo de los requerimientos del robot.

⁷ Barrientos, Antonio, *et al.* Fundamentos de robótica. Madrid: McGraw-Hill, 1997. p. 20

Tabla 4. Características de distintos tipos de actuadores para robots

	Neumático	Hidráulico	Eléctrico
Energía	· Aire a presión (5-10 bar)	· Aceite mineral (50-100 bar)	· Corriente eléctrica
Opciones	· Cilindros · Motor de paletas · Motor de pistón	· Cilindros · Motor de paletas · Motor de pistones axiales	· Corriente continua · Corriente alterna · Motor paso a paso
Ventajas	· Baratos · Rápidos · Sencillos · Robustos	· Rápidos · Alta relación potencia-peso · Autolubricantes · Alta capacidad de carga · Estabilidad frente a cargas estáticas	· Precisos · Fiables · Fácil control · Sencilla instalación · Silenciosos
Desventajas	· Dificultad de control continuo · Instalación especial (compresor, filtros) · Ruidoso	· Dificil mantenimiento · Instalación especial (filtros, eliminación aire) · Frecuentes fugas · Caros	· Potencia limitada

Fuente: Barrientos, A. Fundamentos de Robótica.

En Cuarto lugar están los sensores internos, estos encargados de que el robot conozca espacialmente donde se encuentra detectando la posición y velocidad a la cual realiza los movimientos, estos sensores entregan esta información para que el robot pueda operar de una manera eficaz, los tipos de sensores internos pueden verse en la siguiente tabla.

Tabla 5. Tipos de sensores internos de robots

Presencia	· Inductivo		
	· Capacitivo		
	· Efecto hall		
	· Célula Reed		
	· Óptico		
Posición	· Ultrasonido		
	· Contacto		
	Analógicos	· Potenciómetros	
		· Resolver	
		· Sincro	
		· Inductosyn	
	· LVDT		
Digitales	· Encoders absolutos		
	· Encoders incrementales		
	· Regla óptica		
Velocidad	· Tacogeneratriz		

Fuente: Barrientos, A. Fundamentos de Robótica.

Por último están los elementos terminales, son conocidos también como efectores finales y están encargados de relacionarse con el entorno, ya que son

los que finalmente tienen contacto directo con los elementos que el robot deberá manipular, particularmente estos no tienen la versatilidad del robot ya que en muchas ocasiones estos elementos son diseños con un único fin, algunas de las herramientas terminales para robots pueden ilustrarse en la siguiente tabla

Tabla 6. Herramientas terminales para robots

Tipo de herramienta	Comentarios
Pinza soldadura por puntos	Dos electrodos que se cierran sobre la pieza a soldar.
Soplete soldadura al arco	Aportan el flujo de electrodo que se funde.
Cucharón para colada	Para trabajos de fundición.
Atornillador	Suelen incluir la alimentación de tornillos.
Fresa-lija	Para perfilar, eliminar rebabas, pulir, etc.
Pistola de pintura	Por pulverización de la pintura.
Cañón láser	Para corte de materiales, soldadura o inspección.
Cañón de agua a presión	Para corte de materiales.

Fuente: Barrientos, A. Fundamentos de Robótica.

Paralelamente se puede enfatizar que para el diseño y ensamble del manipulador cartesiano, se utiliza el sistema modular de kits mecánicos electrónicos y computarizados llamado Fischertechnik, es un sistema flexible y escalable, de calidad y fabricación alemana, utilizado para jugar, modelar y simular con realismo sistemas mecatrónicos. Lo cual permite tener una visión más cercana de la realidad que viven las industrias, se pueden construir máquinas automáticas que realicen diversos procesos, en nuestro caso, almacenamiento y paletizado.

El creador, Artur Fischer – (Waldachtal-Tumlingen 1919-2016) – quizá el inventor más productivo de Alemania, en su haber con más de 1,000 patentes, entre ellas el flash electrónico sincronizado para cámara, el taquete de poliamida e innumerables complementos para la construcción y automotrices. En el 2014 recibe la distinción honoraria de la Oficina Europea de Patentes del Inventor alemán más famoso de todos los tiempos. Su empresa FischerWerke emplea a más de 4,000 personas alrededor del mundo

Los módulos de Fischertechnik son ideales para tratar varios temas, entre los cuales se encuentran:

- Mecatrónica
- Robótica
- Estática y Dinámica
- Electrónica
- Neumática

- Energías Renovables

Según la compañía Compel S.A, Fischertechnik es un sistema constructivo de numerosos componentes que replican los elementos utilizados en máquinas y dispositivos reales, lo que permite maximizar el aprendizaje mientras los niños y jóvenes diseñan y simulan con un sentido práctico y entretenido.

El diseño de los componentes de Fischertechnik es multifuncional y armónico, por lo tanto todos sus elementos son compatibles entre sí, y las posibilidades de configuraciones son casi infinitas.

Según los creadores del sistema FischerWerke los kits Fischertechnik apoyan el desarrollo de habilidades y el entendimiento conceptual de virtualmente cada área de los programas académicos. Ciencias, matemáticas y educación tecnológica son por supuesto las más relevantes, sin embargo estos kits también promueven activamente el desarrollo intelectual en lenguaje, artes aplicadas, trabajo en grupo, y la comprensión de implicaciones sociales. A los estudiantes les ayuda a convertirse en ciudadanos educados.⁸

Llegado a este punto es importante tratar los temas referidos al almacenamiento y paletizado, ya que es la actividad a desarrollar con el diseño, construcción y programación del manipulador cartesiano. El almacenamiento está presente en todos los sistemas productivos, antes, durante y después, cuando se requiere materia prima para un proceso posterior, la correcta administración de éste ayuda a obtener resultados esperados en la producción y mantiene un flujo continuo del material.

Desde el momento de la creación del comercio nace la necesidad de saber cómo y dónde almacenar un producto, para que este conserve sus características y logre la calidad esperada.

El almacenamiento se puede clasificar en convencional y automatizado, ambos cumplen las mismas funciones pero por diferentes medios, los módulos de Fischertechnik permiten crear diseños y prototipos de almacenes automatizados, la facilidad de los sistemas automáticos es que logran la reducción de costes y el aumento de la productividad de la cadena logística.

Los almacenes que utilizan equipos robotizados para la manipulación de la carga, permiten ganar altura, rapidez y seguridad, aprovechar al máximo el espacio disponible debido a la compactación de la mercancía, el

⁸ RO-BOTICA. Ro-botica.com. Ro-botica Global S.L. 2017.

aprovechamiento en altura, flexibilidad de las soluciones y reducción de la superficie edificada. Estos sistemas están equipados con un software de gestión que permite identificar y controlar toda la mercancía.

El almacenamiento va de la mano con el paletizado, ya que paletizar según el manual de logística de paletización, significa agrupar sobre una superficie una cierta cantidad de objetos que en forma individual son poco manejables, pesados y/o voluminosos; o bien objetos fáciles de desplazar pero numerosos, cuya manipulación y transporte requerirían de mucho tiempo y trabajo; con la finalidad de conformar una unidad de manejo que pueda ser transportada y almacenada con el mínimo esfuerzo y en una sola operación y en un tiempo muy corto.

También se mencionan los principales beneficios de paletizar según lo menciona NoegaSystems⁹:

- Aumento en la productividad
- Disminución de los tiempos de carga, descarga y almacenamiento
- Disminución en los costos de carga y descarga
- Mejor aprovechamiento del espacio
- Almacenamiento vertical
- Mejora los procesos de clasificación de productos
- Disminuye los daños de los productos al reducirse la manipulación
- Simplificación en el manejo de los inventarios
- Mayor rentabilidad por metro cuadrado de almacenamiento

Finalmente es de suma importancia referirse a la programación ya que es gracias a esta y los elementos que la componen para su debido funcionamiento, que se puede hablar actualmente de sistemas automatizados, como lo mencionan López y González “La utilización práctica del robot industrial para la automatización de procesos de producción se enmarca, por tanto, dentro de un entorno informático, en donde el control y gestión de los distintos flujos de información es un ingrediente esencial”¹⁰.

Es por esto que los sistemas informáticos han sido de gran ayuda, y con respecto a los sistemas automatizados son el pilar actualmente ya que su uso es de carácter obligatorio para un correcto funcionamiento, nos lo cuenta López

⁹ NoegaSystems. Soluciones de almacenaje. noegasystems.com. 2015.

¹⁰ López, Hilario y González, Rafael. Programación de robots industriales. Oviedo: Servicio de publicaciones, Universidad de Oviedo, 1996. p. 20

González.

“Un robot industrial funcionando de forma aislada no es la única posibilidad. Lo más normal es que dicho robot esté integrado en una línea de montaje o en una célula flexible de fabricación (...) esta coordinación está normalmente encomendada a un computador central que distribuye y coordina los flujos de información de cada uno de los controladores locales” ¹¹

1.8.2. Marco Conceptual.

El diseño estadístico de experimentos utiliza ciencias como las matemáticas y la estadística para su desarrollo, por lo cual posee un lenguaje propio:

Articulación

Elementos de los cuales se compone un robot.

Automatización

Proceso en el cual se utilizan varias máquinas para realizar una actividad de forma autónoma.

Controlabilidad

Propiedad en sistemas de control que permite una estabilización de estos.

Efectivo

Hacer las cosas de una forma correcta

Energía cinética

Energía asociada al movimiento de los cuerpos

Energía hidráulica

Energía que emplea las corrientes de agua como principal elemento para transformar energía

Energía neumática

Energía que emplea el aire comprimido como principal elemento para transmitir energía.

Escalable

Habilidad para reaccionar y adaptarse a los diferentes usos.

¹¹ Ibid. p. 21

Fischertechnik

Es un sistema dinámico que permite la construcción de módulos con los cuales se representa a pequeña escala la realidad de los sistemas productivos.

FischerWerke

Empresa familiar multinacional alemana de automoción, juguetes y consultoría.

Grados de libertad

Movimientos independientes que puede realizar un robot respecto una articulación de la otra.

Holgura

Dimensión más amplia a la establecida.

Inercia

Giro de un cuerpo en torno a un eje principal.

Manipulador cartesiano

Cualquier dispositivo mecánico que posee articulaciones destinado a mover materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas.

Mecatrónica

Es la combinación entre ingeniería mecánica y electrónica, para lograr un control automático de los sistemas, que integra tanto el diseño como el funcionamiento.

Morfología

Estructura de la cual se compone un robot

Momento de inercia

Paletizado

Agrupar ciertos objetos con características similares para facilitar la manipulación de los mismos.

Productividad

Relación entre los elementos generados por una empresa y los elementos que requieren para eso

Prototipo

Primera creación o modelo para la construcción de algún objeto, sujeto a cambios y mejoras.

Robot

Maquina programable compuesta de diferentes elementos para lograr mayor movilidad y alcance

Robótica

Es una técnica que involucra la construcción y funcionamiento de robots.

1.8.3. Marco Espacial.

De acuerdo con el planteamiento del problema y los objetivos de la investigación propuesta el lugar en el cual se diseñará y ensamblará un manipulador cartesiano será el laboratorio de logística ubicado en el Primer Piso de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de Pereira.

1.9. ASPECTOS METODOLÓGICOS

1.9.1. Tipo de Estudio de Investigación.

Para el Diseño y ensamble de un manipulador cartesiano se va a realizar un estudio aplicado, en el cual se probaran diferentes alternativas de elementos mecánicos, la cuáles serán las variables a modificar, que faciliten la realización del manipulador, y con lo cual este pueda realizar el proceso de almacenamiento y paletizado de fichas.

1.9.2. Fuentes y Técnicas para Recolectar Información

Se utilizarán fuentes secundarias, como las técnicas de:

- Investigación: Con el fin de obtener la información necesaria sobre el proceso, que permita realizar una adecuada construcción del manipulador.
- Experimentación: Realizando pruebas de los elementos que ofrecen los módulos de Fischertechnik, buscando obtener los elementos ideales para el manipulador que se quiere representar.

1.9.3. Cronograma de trabajo

	FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Conocimiento de los materiales	■	■	■	■																																								
Capacitación uso de Robo-Pro	■	■	■	■	■	■	■	■																																				
Investigación de los componentes de un robot									■	■	■	■																																
Contrucción del manipulador									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																
Pruebas mecánicas del manipulador																									■	■	■	■	■	■	■	■												
Programación																													■	■	■	■	■	■	■	■								
Documentación																																									■	■	■	■

2. ESTABLECIMIENTO DE LA CONFIGURACIÓN CINEMÁTICA

2.1. CONFIGURACIÓN CINEMÁTICA

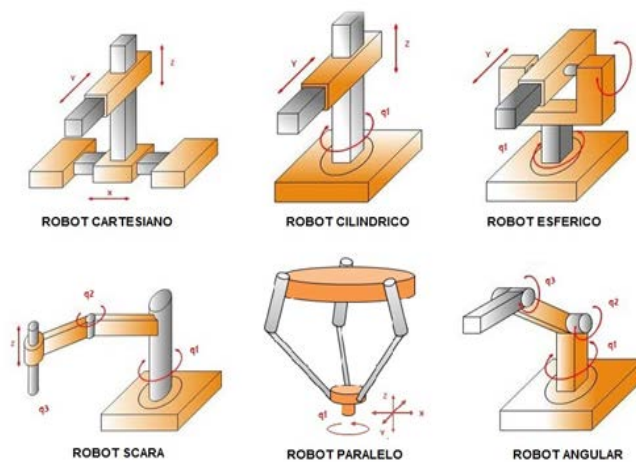
2.1.1. CLASIFICACIÓN DE LOS ROBOTS MANIPULADORES

Los robots pueden ser clasificados según diversas características, principalmente se tienen presentes factores como la configuración cinemática, área de trabajo, número de ejes y grados de libertad. Para lograr un correcto diseño, el robot debe ser creado pensando en las funciones que va a desempeñar en el proceso, la complejidad de los movimientos y las trayectorias determinadas.

La configuración cinemática se compone principalmente por movimientos lineales, rotacionales y en ocasiones la combinación de ambos, los cuales permiten que el manipulador realice determinadas tareas en su área de trabajo.

La forma del área de trabajo es descrita por la configuración cinemática que sigue el robot a lo largo de su trayectoria, dentro de las clasificaciones que se tienen se encuentran áreas rectangulares, cilíndricas, esféricas u ovaladas. En la siguiente figura podemos observar cómo se clasifican los robots manipuladores industriales, con sus ejes de movimiento y grados de libertad.

Ilustración 3. Configuración de Robots Manipuladores Industriales.



Fuente: Guevara, J. Diseño de robot manipulador para paletizado de productos en la planta de grupo familia medellín.

2.1.2. ROBOT MANIPULADOR SELECCIONADO

Para realizar un manipulador que pueda almacenar y paletizar, se pueden usar diversos tipos de robots, el de más fácil manejo es el robot cartesiano, el cual realiza movimientos lineales y tiene 3 grados de libertad en el robot ensamblado, compuestos por sus ejes (x, y, z), que son los indicados según lo mencionado anteriormente.

Debido a que los movimientos característicos de un robot de almacenamiento convencional constan de desplazamientos lineales, propios de la configuración para robot cartesiano, es la mejor opción por su fácil manejo.¹²

Ilustración 4. Configuración del Robot Manipulador Industrial seleccionado.



Fuente: Guevara, J. Diseño de robot manipulador para paletizado de productos en la planta de grupo familia medellín.

2.2. CONTROL CINEMÁTICO

2.2.1. DEFINICIÓN DE LOS MOVIMIENTOS Y GRADOS DE LIBERTAD

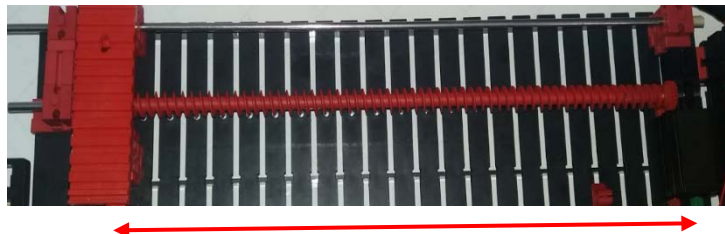
Uno de los temas cruciales es establecer una correcta configuración de los movimientos del manipulador cartesiano, cuyo objetivo fundamental

¹² **GUEVARA, Jhon Andrés Muñoz. (2016).** *Diseño de robot manipulador para paletizado de productos en la planta de grupo familia medellín* (tesis de postgrado). Universidad tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.

es generar estrategias adecuadas de control que redunden en una mayor calidad de los movimientos, para que este cumpla con la función de almacenar y paletizar. Estos procesos se encuentran presentes en los sistemas productivos de la mayoría de empresas industriales y cumplen con la función de dar una disposición final al bien producido de manera práctica, mejorando tiempos y minimizando costos.

El proceso de almacenamiento es la acumulación de objetos por un tiempo determinado, comprendiendo procesos de carga, descarga, traslado de objetos hacia un determinado destino y preparación de pedidos, para lo cual el manipulador debe lograr un movimiento de desplazamiento básico, que permita mover la pieza de un lugar a otro en un eje de trayectoria, teniendo como base un grado de libertad, lo que indica que el manipulador realiza un movimiento independiente con respecto al anterior, derecha e izquierda (eje y).

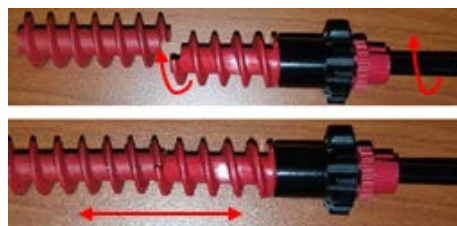
Ilustración 5. Eje y del manipulador



Fuente: Autores

Para generar dicho movimiento se hace uso de tornillo sin fin; este dispositivo cumple la función de transmitir un movimiento circular del motor eléctrico en lineal, aprovechando la presión que ejerce un engrane sobre un el inicio del tornillo sin fin, el cual transmite a los demás tornillos generando un desplazamiento en el eje, logrando mayor estabilidad y fuerza.

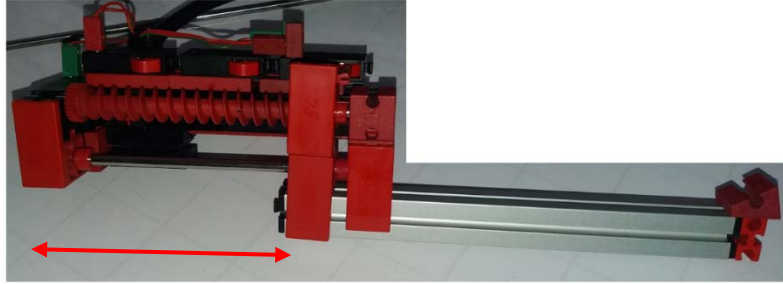
Ilustración 6. Funcionamiento tornillo sin fin



Fuente: Autores

Cuando se tiene un mecanismo de movimiento, se requiere de un dispositivo que permita la sujeción de la pieza a mover, dicho mecanismo usa igualmente un tornillo sin fin que además de sostener la pieza permite moverla hacia adelante y atrás (eje x).

Ilustración 7. Eje x del manipulador



Fuente: Autores

Hasta el momento se logra representar un almacén de un solo nivel, para un mejor aprovechamiento del espacio se requiere de otro movimiento que pueda desplazar las fichas arriba y abajo (eje z). Permitir recopilar las fichas a diferentes alturas aumenta la capacidad de almacenamiento, ahorrando el porcentaje de superficie ocupada.

Dado que el robot se mueve de un extremo a otro se usa nuevamente un sistema de transmisión denominado tornillo sin fin, que logra poca holgura en movimientos lineales, para generar un desplazamiento vertical de la ficha.

Ilustración 8. Eje z del manipulador



Fuente: Autores

Las principales variables determinantes en el almacenamiento son el tiempo que pueden estar los bienes guardados y los requerimientos de dichos materiales.

La integración de los 3 ejes de movimiento permite tener un robot con 3 grados de libertad, capaz de realizar diversas funciones entre las cuales se encuentra almacenar y paletizar, esta última se define como la acción de agrupar varios objetos sobre una superficie para ser transportados y almacenados con el mínimo esfuerzo.

2.2.2. FUNCIONES DEL CONTROL CINEMÁTICO

El control cinemático además de determinar los ejes de movimiento y grados de libertad, debe fijar ciertos aspectos:

- Puntos de destino
Inicio y fin de cada eje de movimiento en la programación
- Precisión
Velocidad y tiempo
- Tipo de trayectoria deseada
Las trayectorias que realiza el manipulador se pueden clasificar como trayectorias punto a punto, las cuales se caracterizan por ir desde una posición inicial hasta una final en el menor tiempo posible, para lo cual se realiza movimiento eje a eje, que se caracteriza por mover un eje a la vez, para la realización de este movimiento se obtiene un tiempo mayor de ciclo sin embargo se ahorra potencia en los actuadores y facilidad en la programación por lo cual no se requiere un PLC de mayor capacidad.

2.3. ÁREA DE TRABAJO

El área de trabajo es el espacio donde se ubica el robot y además donde realiza sus movimientos, para este caso el área está delimitada por una placa que actúa de base de aproximadamente 38 cm x 23 cm, sobre esta placa estará ubicado el robot manipulador cartesiano y el almacén donde se ubican las piezas.

El robot tiene una movilidad de 33 cm a lo largo del eje Z, 22 cm a lo largo del eje X, 7 cm a lo largo del eje Y.

3. MODELOS CINEMÁTICOS DIRECTOS E INVERSOS

3.1. MATRICES DE ROTACIÓN.

Una matriz de rotación se define como una matriz de transformación que actúa sobre un vector de posición en un espacio tridimensional que se encuentra en un sistema de referencia rotado $ouvw$ (sistema móvil) a un sistema de coordenadas de referencia xyz . Un vector que se encuentre en el plano se puede representar de la siguiente forma:

$$P_{xyz} = [p_x, p_y, p_z]^T = p_x \cdot i_x + p_y \cdot j_y + p_z \cdot k_z$$

$$P_{uvw} = [p_u, p_v, p_w]^T = p_u \cdot i_u + p_v \cdot j_v + p_w \cdot k_w$$

Realizando una serie de transformación se obtiene

$$\begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} p_u \\ p_v \\ p_w \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} i_x i_u & i_x j_v & i_x k_w \\ j_y i_u & j_y j_v & j_y k_w \\ k_z i_u & k_z j_v & k_z k_w \end{bmatrix}$$

R es la matriz de rotación que define la orientación del sistema $ouvw$ con respecto al sistema xyz , esta matriz es ortogonal y por lo tanto la inversa R^{-1} es igual a la traspuesta R^T . $R^{-1} = R^T$

Con esta matriz se realiza la representación de la orientación de sistemas girados únicamente sobre uno de sus ejes principales.

De acuerdo a esto se obtiene las siguientes matrices que representa las rotaciones sobre los ejes xyz

$$R(x, \alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

$$R(y, \alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & \sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

$$R(z, \alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

3.2. COORDENADAS Y MATRICES HOMOGÉNEAS

Para poder localizar un objeto en el espacio, es decir, posición y orientación conjuntamente se utilizan las matrices homogéneas las cuales permiten tener en una sola matriz la posición y la orientación de un objeto respecto a un sistema de referencia.

La matriz de transformación homogénea es 4X4, transforma un vector de posición expresado en coordenadas homogéneas desde un sistema de coordenadas hasta otro sistema de coordenadas. Esta matriz está compuesta por 4 submatrices de distinto tamaño. Una submatriz $R_{3 \times 3}$ que representa la rotación, una submatriz $P_{3 \times 1}$ que corresponde al vector de traslación, una submatriz $f_{1 \times 3}$ que representa una transformación de perspectiva y una submatriz $w_{1 \times 1}$ que representa un escalar. (Como se cita en Godoy y Rodríguez, 2007)

$$T = \begin{bmatrix} R_{3 \times 3} & P_{3 \times 1} \\ f_{1 \times 3} & w_{1 \times 1} \end{bmatrix}$$

3.3. MODELOS CINEMÁTICOS DIRECTOS

3.1.1. METODOLOGÍA DE DENAVIT- HARTENBERG

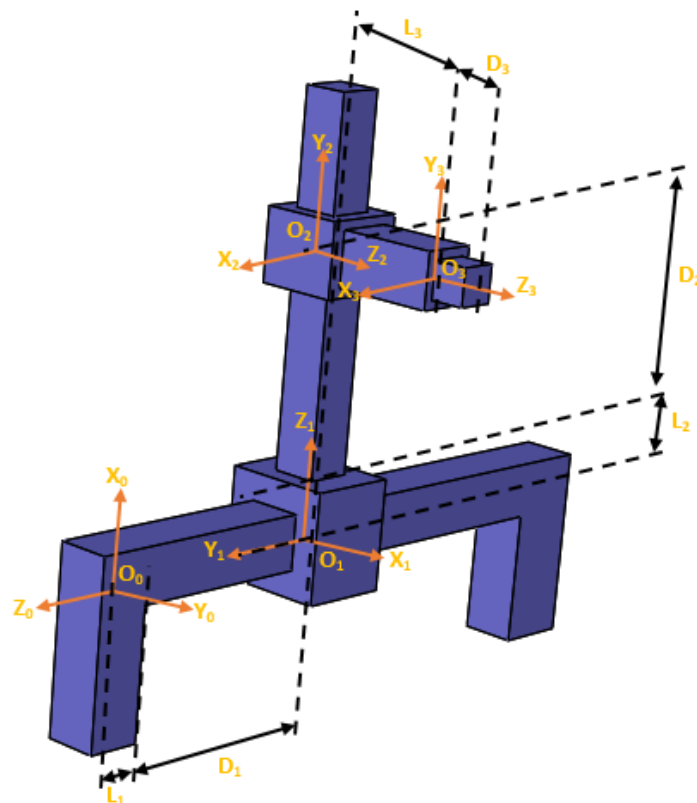
Para el desarrollo de esta metodología se define el origen de los sistemas de coordenadas de las articulaciones. Se denota el eje i como el eje de conexión de los elementos $i-1$ a i ; para definir el marco del elemento i

La metodología para la cinemática directa basada en la sistemática Denavit-Hartenberg, se desarrolla en 9 pasos los cuales se describen a continuación:

1. Definir las direcciones de los ejes Z_0, Z_1, \dots, Z_{n-1}

2. Definir el origen O_0 del sistema de coordenadas de la base del eje Z_0
3. Definir el origen O_i en la intersección Z_i con la normal común entre los ejes Z_{i-1} y Z_i
4. Escoger el eje X_i a lo largo de la normal común a los ejes Z_{i-1} y Z_i con dirección de la articulación $i+1$
5. Escoger el eje Y_i , para que con X_i se cumpla la regla de la mano derecha.
6. Escoger el sistema de coordenadas de la herramienta donde X_n sea normal a Z_{n-1}
7. Para $i=1,2,\dots,n$ construir una tabla con los parámetros de $a_i, d_i, \alpha_i, \Theta_i$
8. Con estos parámetros se calculan las matrices de transformación homogéneas.
9. Una vez obtenidos los parámetros representar el modelo de la cinemática directa para la posición y orientación del sistema de coordenadas de la herramienta.

Ilustración 9. Configuración mecánica del Robot Cartesiano



Fuente: Autores

Una vez determinados los marcos de los elementos, la posición y orientación de cada uno de ellos, es posible establecer los parámetros:

- α_i : Angulo entre los ejes Z_{i-1} y Z_i alrededor del eje X_i , puede tomarse positivo cuando la rotación se hace en sentido horario
- θ_i : Angulo entre los ejes X_{i-1} y X_i alrededor de Z_{i-1} , puede tomarse positivo cuando la rotación se hace en sentido horario
- d_i : Coordenada de O_i a lo largo de Z_{i-1}
- a_i : Distancia entre O_i y O_{i+1} a lo largo de X_{i+1}

De acuerdo con los anteriores parámetros y teniendo en cuenta la figura 5 se encuentran los parámetros Denavit-Hartenberg que representan la cinemática del robot:

Tabla 7. Parámetros Denavit-Hartenberg

Eslabón	α_i	θ_i	d_i	a_i
1	90	90	d1	0
2	90	90	d2	0
3	0	0	d3	0

Fuente: Autores

Utilizando la ecuación 10.0 se obtienen las matrices homogéneas para cada eslabón.

$$A_i^{i-1} = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\cos\alpha_i \sin\theta_i & \sin\alpha_i \sin\theta_i & a_i \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\alpha_i \cos\theta_i & -\sin\alpha_i \cos\theta_i & a_i \sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_1^0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_2^1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

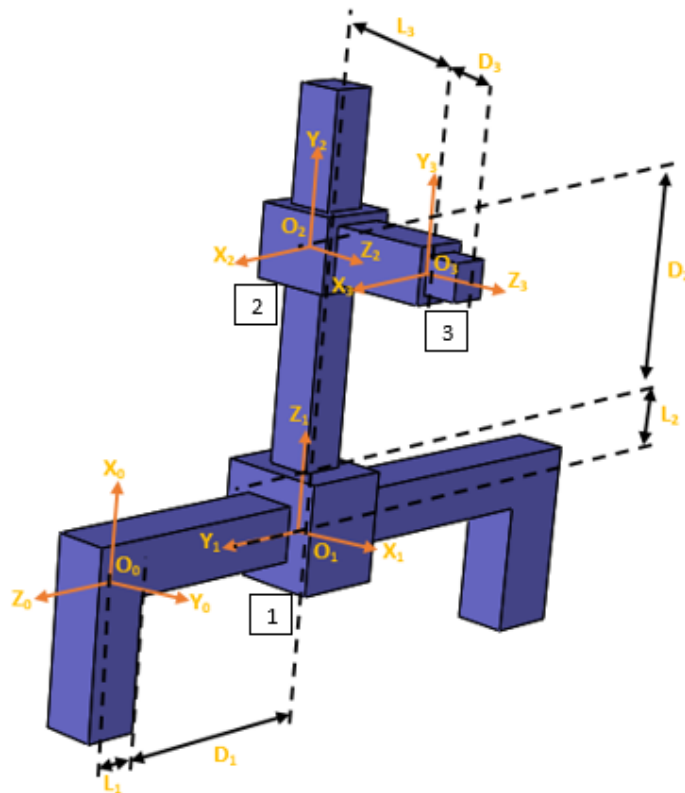
$$T = A_1^0 A_2^1 A_3^2$$

$$T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & d_2 \\ 0 & 0 & 1 & -d_3 \\ 1 & 0 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

3.4. MODELOS CINEMÁTICOS INVERSOS

La cinemática inversa busca encontrar los valores que tienen que tomar las articulaciones del robot para que su elemento final se encuentre en una posición y orientación dada. Actualmente se pueden encontrar tres metodologías para la obtención de estos valores, los tres métodos son el método geométrico, el de la matriz de transformación homogénea y el método de desacoplo cinemático. El método geométrico es adecuado para robots con pocos grados de libertad en donde la posición del extremo final es fácil de definir utilizando la geometría misma del robot.¹³ En este caso como el robot cartesiano maneja 3 ejes de movimiento se hace conveniente utilizar esta metodología.

Ilustración 10. Configuración mecánica del Robot Cartesiano

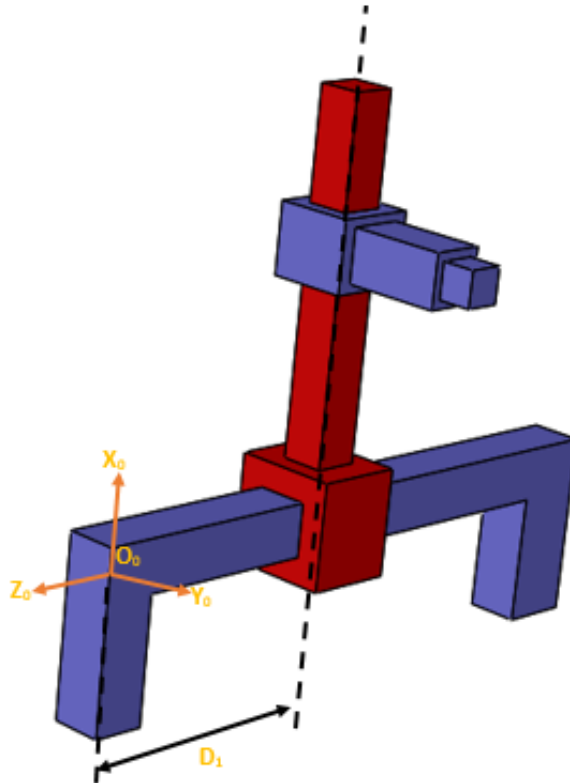


Fuente: Autores

¹³ BARRIENTOS, Antonio. Fundamentos de Robótica, 2^{da} edición, Madrid: McGraw Hill, 1997, 317 pág.

El primer paso será realizar el análisis sobre el punto de referencia definido por las coordenadas (X_1, Y_1, Z_1) , con respecto al punto inicial (X_0, Y_0, Z_0) ; Ya que la articulación ubicada en este punto 1 es de tipo prismática posee un grado de libertad lineal. Se puede definir geoméricamente que la ecuación para determinar la posición de la articulación D_1 está dada por:

Ilustración 11. Articulación Prismática D1 Robot Cartesiano.



Fuente: Autores

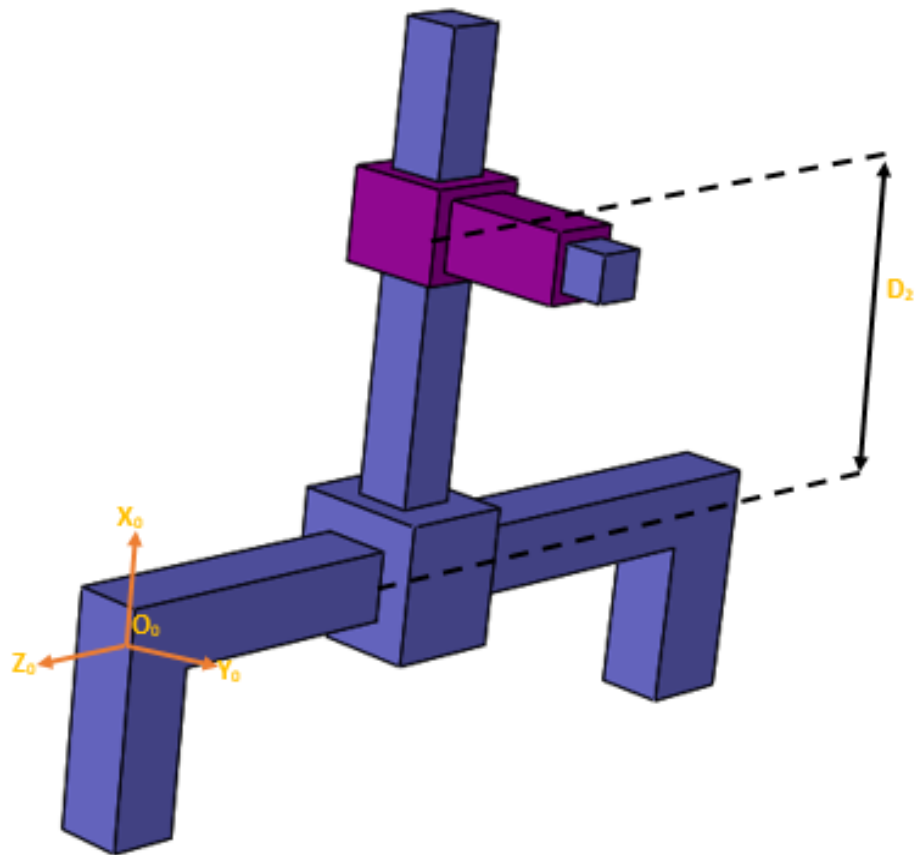
$$D_1 = Py$$

Dónde: $D1$ = Valor de la articulación 1.
 Py = Posición sobre el eje Y .

El valor de D_1 es igual a Py , debido a que el eje de movimiento de la articulación prismática 1 definida por (X_1, Y_1, Z_1) , se mueve sobre el eje coordenado Y_1 el cual tiene la misma orientación y dirección que el eje coordenado Z_0 . Así como lo muestra la imagen anterior.

La articulación número 2 referenciada con las coordenadas (X_2, Y_2, Z_2) , es al igual que la primera, de tipo prismática con un solo grado de libertad, geoméricamente se puede definir que la ecuación que determina la posición de la articulación D_2 está dada por:

Ilustración 12. Articulación Prismática D2 Robot Cartesiano.



Fuente: Autores

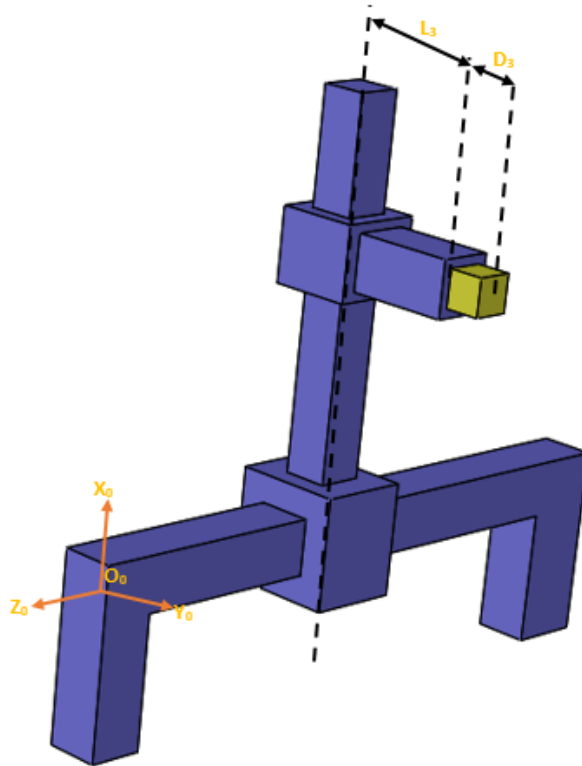
$$D_2 = P_z$$

Dónde: D_2 = Valor de la articulación 2.
 P_z = Posición sobre el eje Z .

El valor de D_2 es igual a P_z , debido a que el eje de movimiento de la articulación prismática 2 definida por (X_2, Y_2, Z_2) , se mueve sobre el eje coordenado Z_1 el cual tiene la misma orientación y dirección que el eje coordenado X_0 . Así como lo muestra la imagen anterior.

La articulación número 3 referenciada con las coordenadas (X_3, Y_3, Z_3) , es al igual que la primera, de tipo prismática con un solo grado de libertad, geoméricamente se puede definir que la ecuación que determina la posición de la articulación D_3 está dada por:

Ilustración 13. Articulación Prismática D3 Robot Cartesiano.



Fuente: Autores

$$D_3 = P_x - L_3$$

dónde: D_3 = Valor de la articulación 3.
 P_x = Posición sobre el eje X.
 L_3 = Distancia entre los ejes X_2 y X_3 sobre el eje Z_2 .

A continuación se resume el grupo de ecuaciones que representan el modelo cinemático inverso para el Robot Cartesiano en estudio:

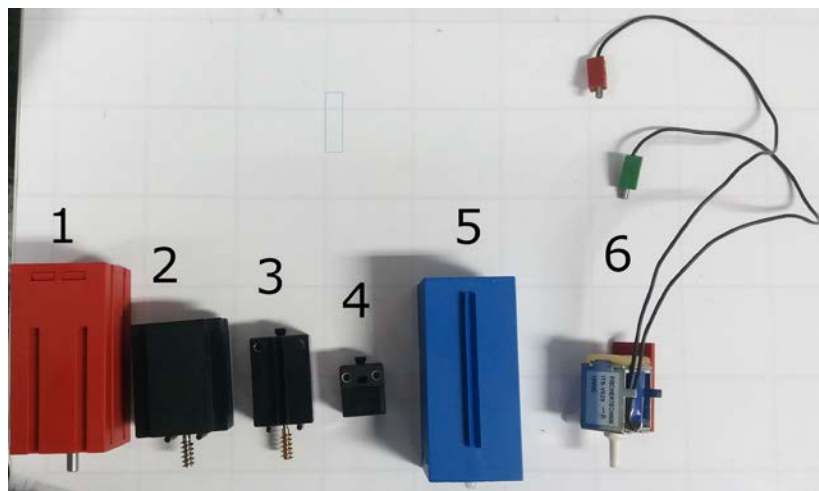
$$\begin{aligned} \text{Articulación Prismática 1 : } D_1 &= P_y \\ \text{Articulación Prismática 2 : } D_2 &= P_z \\ \text{Articulación Prismática 3 : } D_3 &= P_x - l_3 \end{aligned}$$

4. MECANISMOS DE MOVIMIENTO PARA LAS ARTICULACIONES

4.1. ACTUADORES

Los actuadores son dispositivos que transforman la energía en alguna acción que tiene como finalidad generar un efecto sobre un proceso automatizado. El manipulador cartesiano hace uso de diferentes tipos de actuadores como lo son: motores eléctricos, electro válvula, compresor y fototransistor (luz).

Ilustración 14. Actuadores del manipulador



Fuente: Autores

1. **Encoder-engine:** motor eléctrico paso a paso, usado para mover el “eje z” por medio de un tornillo sin fin, el motor tiene un contador integrado que permite facilitar el número de paradas durante la trayectoria definida.
2. **Mini motor 6-9V,** es un motor eléctrico convencional usado para generar movimiento en el “eje y” por medio del mismo sistema tornillo sin fin, el cual permite mayor estabilidad y menor error que la cremallera y/o escalera.
3. **XS Motor 9V,** motor eléctrico de tamaño reducido, se usa para realizar diversas acciones en el manipulador, dispensar las estibas, mover la banda transportadora y movimiento “eje x”.
4. **Photo transistor,** emisor de luz para captar señales e interpretar acciones a seguir, permite identificar la posición de la ficha durante el recorrido en la banda transportadora.

5. **Compresor**, se usa para expulsar aire con presión elevada con el fin de realizar un movimiento.
6. **Electroválvula**, controla el paso de aire del compresor para generar la acción de movimiento que crea vacío y puede lograr la acción de capturar una ficha que posteriormente es transportada.

4.2. SENSORES

Los sensores son dispositivos que permiten que el manipulador interactúe con su entorno, tienen como objetivo dar a conocer posición actual, límites de distancia y coordenadas de encuentro con los demás objetos de interacción.

Algunos de los sensores usados para el manipulador cartesiano se describen a continuación:

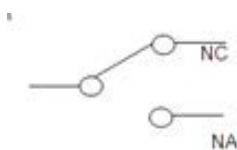
Ilustración 95. Sensores usados en el manipulador



Fuente: Autores

1. **Mini switch:** es un sensor pulsador o también llamados fin de carrera, el cual se activa cuando algún objeto acciona la parte móvil que posee, cumple con el objetivo de posicionar el manipulador en todo el “eje x” y “eje y”. su funcionamiento consiste en un interruptor que tiene una parte abierta NA y una cerrada NC, donde la parte móvil hace contacto cuando llega al final de su recorrido y acciona la pieza móvil haciendo que pase corriente al circuito, mandando 1 cuando es accionado y 0 cuando no.

Ilustración 106. Funcionamiento Mini switch



Fuente: Autores

- 2. Photo transistor assembled:** es un sensor fototransistor que se encarga de mandar un haz de luz que es interrumpido por algún objeto que se quiere detectar, dicho sensor es empleado para detectar la posición de la ficha dentro del proceso y se ubica al final de la banda transportadora, es de doble respuesta como el sensor pulsador envía una señal sea 1 o 0 cuando detecta un objeto que interrumpe la señal.
- 3. Reed contact:** es un lector magnético de proximidad, activa una señal cuando detecta un objeto magnético, captan distancias mayores que los pulsadores y fototransistores. este sensor es usado en el dispensador de estiba y cumple la función de distribuir una estiba en el momento preciso para albergar la ficha y realizar el proceso.
- 4. Color sensor:** es un sensor de color que como su nombre lo indica lee un color en un rango de 0 a 1200 que detecta por medio de un haz de luz que envía hacia un objeto (ficha). se usa para determinar el color de la ficha (tipo de producto) a almacenar y paletizar.

5. EFECTORES FINALES

Para la robótica un efector final se puede entender como un dispositivo que permite la interacción del robot con el ambiente, generalmente se encuentra en el extremo y su diseño depende de las funciones que requiera desempeñar.

5.1. EFECTOR FINAL DE ALMACENAMIENTO

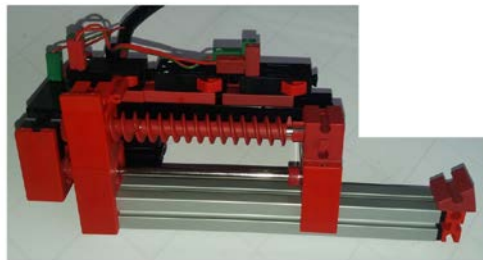
El efector final de almacenamiento es el encargado de recibir, mantener, transportar y entregar la estiba que contiene la ficha, su diseño debe permitir un ensamble y sujeción perfecta para que la estiba llegue a su destino final sin error alguno.

Siendo un efector final de contacto se incluye en la categoría **Contigutive**, en

la cual se requiere el contacto directo, la adhesión como el pegamento, tensión superficial o congelación.

El diseño elegido para el efector está conformado por una pieza metálica recta, que permite un desplazamiento por medio del funcionamiento de tornillo sin fin explicado en capítulos anteriores, al final de dicha pieza se tiene otra ficha en con un ángulo de inclinación de 45° para que la estiba no se mueva durante el tiempo en el que es transportada hacia su destino.

Ilustración 117. Efector final de almacenamiento



Instante inicial



Instante final

Fuente: Autores

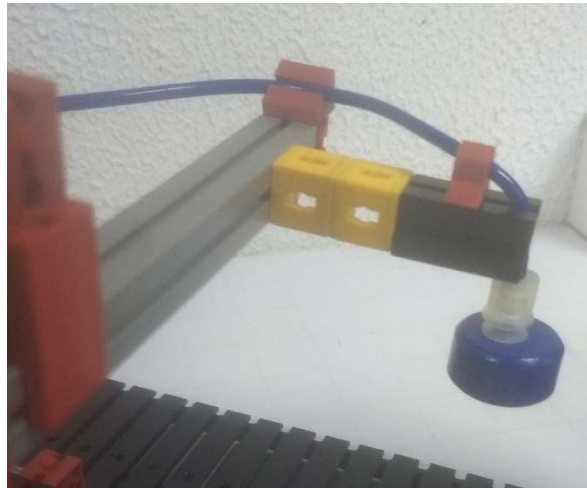
5.2. EFECTOR FINAL DE PALETIZADO

El efector final del paletizado debe cumplir con la función de capturar la ficha, transportarla y entregarla al destino final.

La categoría en la cual se ubica este efector final es denominada **Astrictive**, son efectores que usan fuerza de succión aplicada a la superficie de los objetos, ya sea por vacío, magneto-o electro adhesión.

El diseño adecuado para el efector final de paletizado es la ventosa, cuyo funcionamiento es generado por medio de una electroválvula y cilindros que generan vacío y permiten succionar la ficha para que esta pueda ser manipulada.

Ilustración 128. Efecto final de paletizado

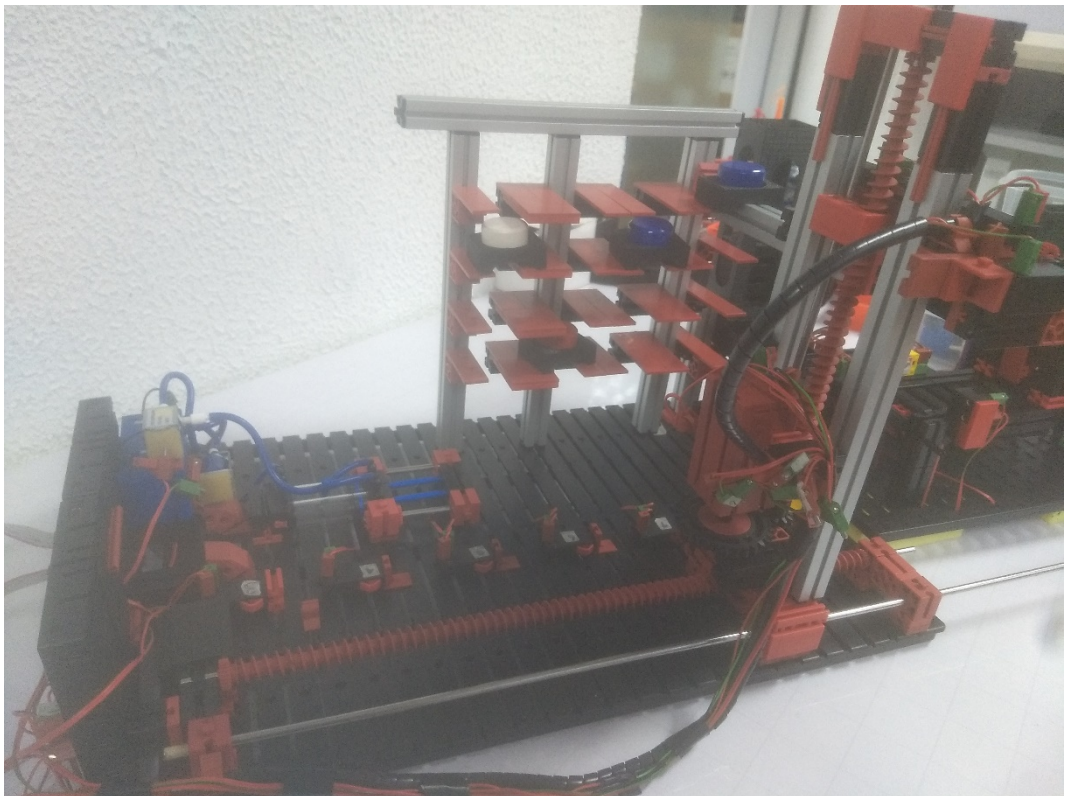


Fuente: Autores

6. CONSTRUCCIÓN Y PROGRAMACIÓN

En la construcción del robot cartesiano se utilizaron diferentes fichas ofrecidas por fischertecnik, las cuales sirvieron para ofrecer una solidez adecuada sin perder la movilidad requerida para realizar las acciones de almacenamiento y paletizado, en las siguientes imágenes se puede evidenciar el resultado final.

Ilustración 139. Robot de almacenamiento visto de frente



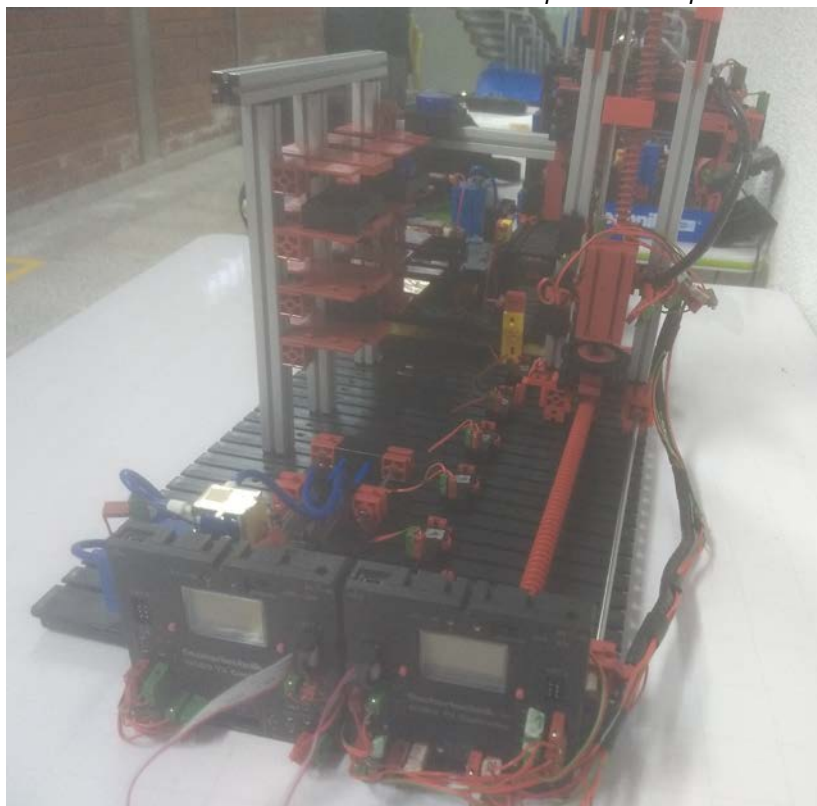
Fuente: Autores

Ilustración 20. Robot de almacenamiento visto por el lado derecho



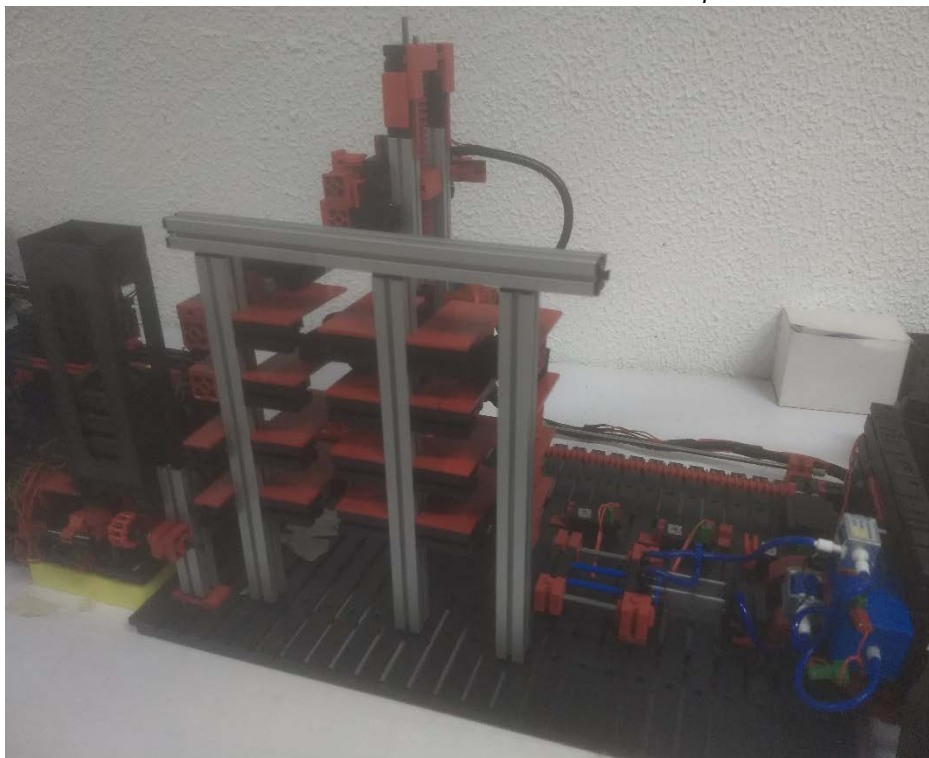
Fuente: Autores

Ilustración 21. Robot de almacenamiento visto por el lado izquierdo



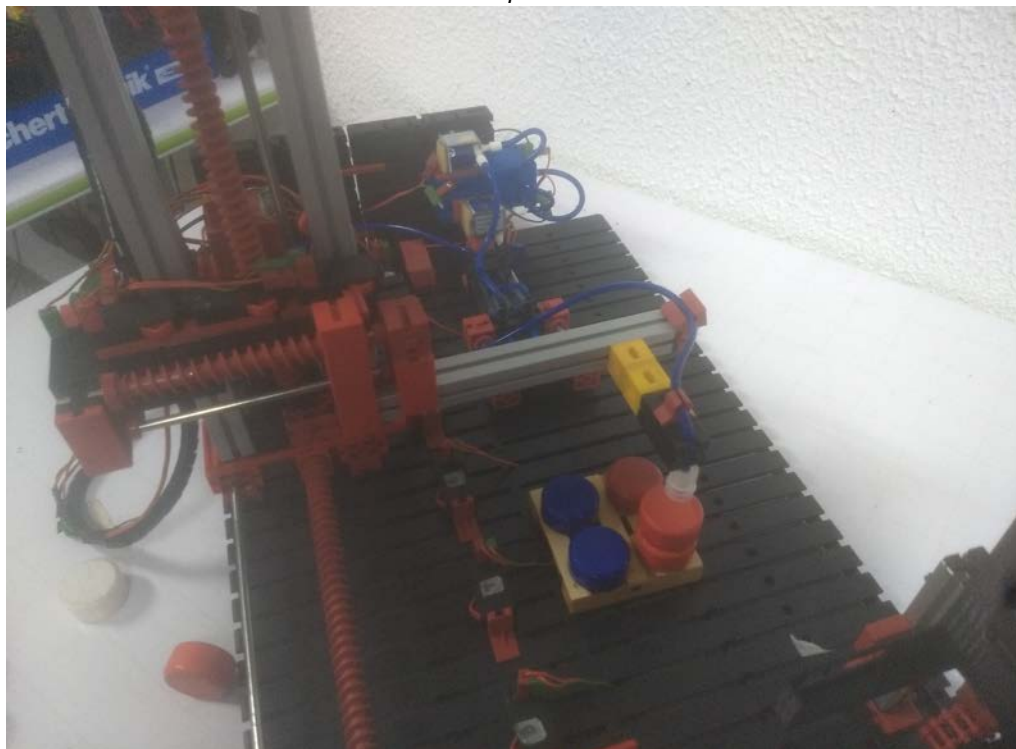
Fuente: Autores

Ilustración 22. Robot de almacenamiento visto de espaldas



Fuente: Autores

Ilustración 23. Robot de paletizado visto de lado



Fuente: Autores

Para lograr un correcto funcionamiento del robot, se debe realizar también una adecuada programación, con la cual el robot pueda ser automático en su funcionamiento, para ello se debe realizar una programación con el software ROBO PRO, este es un lenguaje grafico de programación, que principalmente está basado en el uso de diagramas de bloques para la respectiva programación.

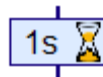
Los elementos utilizados en la programación son los siguientes:



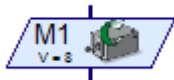
Este elemento es el que le da inicio al programa, se debe poner al comienzo y con el comienza la programación.



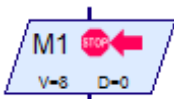
Este elemento es el que le da fin al programa, con el acaba la programación y debe ponerse al final.



Este elemento sirve como temporizador, se utiliza cuando se necesita que el programa espere un tiempo determinado alguna acción por parte de un actuador o el reconocimiento adecuado de un sensor.



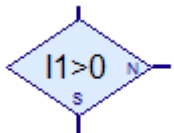
Este elemento es el que indica a los actuadores que deben realizar una acción, puede estar representado en 3 direcciones, derecha, izquierda y detener, estas direcciones depende de las conexiones en el PLC.



Este elemento es el apropiado cuando se utilizan motor paso a paso como el Encoder-engine, se usa las distancias que dan los respectivos pulsos del contador asociado a este motor, debe ir de la mano con el elemento siguiente ya que este requiere que el sensor determine el número de pulsos dados por el motor.



Este elemento es el asociado a los sensores digitales, puede ser usado en diferentes situaciones, valores iguales a 0 o 1, cambio de 0 a 1 o 1 a 0 o cualquier cambio.



Este elemento es un condicional el cual se utiliza para tomar una decisión de que opción escoger, es el utilizado principalmente para los sensores análogos, ya que permite usarlo para variaciones diferentes a 0 y 1.

Dentro de lo que se puede encontrar en el software hay unas características más específicas como lo son:

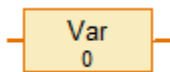
- Subprogramas: Son ventanas que se agregan al programa principal y que ayudan a realizar una programación más limpia y manejable para el programador pudiendo organizar los elementos en diferentes ventanas y comunicándolos ente éstas.
- Variables: Son utilizadas para múltiples cosas, su utilidad radica en que pueden variar entre cualquier número, permite realizar entre otras cosas conteo, acción en la cual se utilizan principalmente en este trabajo.



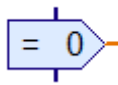
Este elemento es con el cual se le da inicio a un subprograma, es necesario usarlo para poder comunicar un subprograma con otros subprogramas o el programa principal.



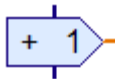
Este elemento es con el cual se le da fin a un subprograma, es necesario usarlo para poder comunicar un subprograma con otros subprogramas o el programa principal.



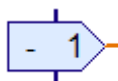
Este elemento es donde se almacena la variable, esta puede sufrir todo tipo de alteraciones principalmente cambios por operaciones matemáticas



Este elemento sirve para convertir el valor de una variable en 0.



Este elemento sirve para adicionar en 1 el valor de una variable.



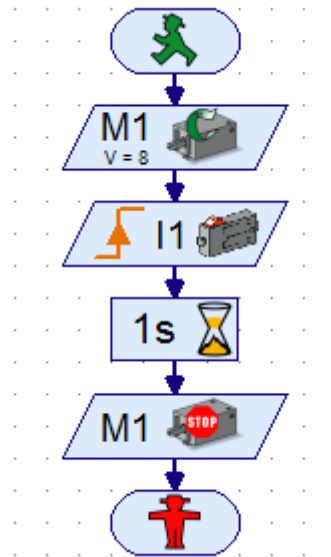
Este elemento sirve para restar en 1 el valor de una variable.



Este elemento es un condicional asociado a una variable, se utiliza principalmente cuando se usan las variables para decisiones en la programación.

Un ejemplo de la programación por diagrama de bloques se puede evidenciar en la siguiente imagen

Ilustración 22. Robot de almacenamiento visto de espaldas



Fuente: Autores

En este diagrama se puede observar cómo se le da un inicio al programa, seguido se da inicio a un actuador, este realiza su función hasta un segundo después de que un sensor hace el cambio de su valor 0 a un valor 1, después de esto se detiene el actuador y ya se da por finalizada la programación.

Para realizar una adecuada programación se debe tener bien definido un proceso lógico, ya que es con base en éste que se realiza una correcta y rápida programación, ya que hay diversas formas en las cuales se pueden programar, pero sin una estructura inicial se comete el error de trabajar bajo la metodología del ensayo y error, alargando los tiempos de manera considerable.

La lógica para el caso del almacenamiento se fundamentó en la necesidad de tener almacenadas las fichas en diferentes posiciones, y como afectaba que alguna posición ya estuviera ocupada. Para el caso del paletizado la estructura es aún más sencilla, ya que hay unas posiciones también fijas pero menores a las del almacenamiento y lo que se debe garantizar es que la secuencia sea continua.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Craig, John.** *Robótica*. Tercera. Mexico : Prentice Hall Mexico, 2006. pág. 408.
2. **Porter, Eduardo.** La tecnología amenaza la mano de obra. *Elpaís.com*. [En línea] 30 de Abril de 2004. [Citado el: 14 de Agosto de 2017.] https://elpais.com/tecnologia/2014/04/30/actualidad/1398871052_175326.html.
3. **Barrientos, Antonio, y otros.** *Fundamentos de robótica*. Madrid : McGraw-Hill, 1997. 84-481-0815-9.
4. **Lopez, Hilario y Gonzalez, Rafael.** *Programación de robots industriales*. Obiedo : Servicio de publicaciones, Universidad de Obiedo, 1996. 84-7468-912-0.
5. **RO-BOTICA.** Ro-botica.com. *Ro-botica Global S.L.* [En línea] 2017. [Citado el: 10 de Agosto de 2017.] <https://ro-botica.com/tienda/Fischertechnik>.
6. **NoegaSystems.** Soluciones de almacenaje. *noegasystems.com*. [En línea] Disqus, 8 de Septiembre de 2015. [Citado el: 9 de Agosto de 2017.] <https://www.noegasystems.com/blog/estanterias/sistemas-de-almacenaje-automaticos>.
7. **ARQHYS, Revista.** ARQHYS ARQUITECTURA. *Efactor del robot*. [En línea] 2012. [Citado el: 26 de 12 de 2017.] <http://www.arqhys.com/articulos/efector-robot.html>.
8. **GODOY, Rubén & RODRÍGUEZ, Willy.** Diseño y modelamiento de un robot cartesiano para el posicionamiento de piezas. Tesis de pregrado Bogotá D.C.: Universidad de la Salle. 2007. 123p
9. **GUEVARA, Jhon.** *Capitulo III. diseño de robot manipulador para paletizado de productos en la planta de grupo familia medellín. Tesis de Maestría Pereira* : Universidad tecnologica de Pereira. 2015. 166p