

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PUCP

**DISEÑO CONCEPTUAL DE UN ROBOT MÓVIL PARA OPTIMIZAR
EL PROCESO DE PICKING EN EL ALMACÉN DE UNA EMPRESA**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DEL
GRADO DE BACHILLER EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN
INGENIERÍA MECATRÓNICA**

AUTOR

SILVIO SAÚL GUILLÉN MATOS

ASESOR:

DIEGO EDUARDO QUIROZ VELASQUEZ

Lima, Diciembre, 2020

RESUMEN

El siguiente trabajo presenta el diseño conceptual de un robot móvil para optimizar el proceso de Picking en el almacén de una empresa. Este proceso es uno de los más importantes en un almacén, ya que representa el inicio del flujo de suministro de productos a los clientes por parte de la empresa. El problema de este proceso está relacionado con el tiempo que toma implementarlo, ello representa un cuello de botella dentro del flujo de procesos del almacén.

Para lograr el objetivo general del trabajo se desarrolló un estudio del estado del arte actual para reconocer el estado de la tecnología relacionada con los robots utilizados en los almacenes, siguiendo la metodología del diseño según la norma VDI 2221. En el diseño conceptual se especificó los requerimientos del sistema, realizó la abstracción del sistema, determinó las funciones de cada dominio, se obtuvieron soluciones mediante el uso de la matriz morfológica por cada dominio, evaluó los conceptos de solución mediante un análisis técnico-económico y finalmente, se obtuvo un concepto de solución mejorado que cumpla con los requerimientos planteados.

El concepto de solución óptimo mejorado tiene las características necesarias para realizar las funciones definidas para optimizar el proceso de Picking en el almacén. Dicha solución se puede dividir en tres subsistemas: el subsistema para el desplazamiento del robot, el subsistema para la extracción de productos y el subsistema para el registro y programación de pedidos. La solución cuenta con un sistema hidráulico para el accionamiento de la sujeción de productos, dos sensores LiDAR y una cámara de profundidad para la detección del entorno. Finalmente, el control de los componentes del sistema se realiza con un microcontrolador y un microprocesador.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	i
INDICE DE TABLAS	iv
INDICE DE FIGURAS.....	v
INTRODUCCIÓN	1
1. TEMÁTICA	2
1.1 Marco Teórico	2
1.2 Problemática	10
1.3 Objetivos	14
1.4 Metodología	14
1.5 Estado del Arte.....	16
1.5.1 Referencias comerciales de robots para almacenes	17
1.5.2 Sistemas de locomoción.....	21
1.5.3 Algoritmos de Localización y Métodos de Planificación de Trayectorias para Robots Móviles	25
1.5.4 Tecnologías existentes	31
2. DISEÑO CONCEPTUAL	37
2.1 Requerimientos del sistema	37
2.2 Funciones parciales o proceso técnico.....	38
2.3 Estructura de funciones	38
2.3.1 Abstracción o función total del sistema	39
2.3.2 Dominio mecánico	41
2.3.3 Dominio sensores.....	42
2.3.4 Dominio energía.....	42
2.3.5 Dominio actuadores	43
2.3.6 Dominio control	43
2.3.7 Dominio interfaz	44
2.4 Matriz morfológica	46
2.5 Conceptos de solución	48
2.5.1 Concepto de solución 1	48
2.5.2 Concepto de solución 2.....	51
2.5.3 Concepto de solución 3.....	54
2.5.4 Concepto de solución 4.....	57
2.6 Evaluación de los conceptos de solución	60

2.7	Concepto de solución óptimo mejorado	64
2.8	Modelo 3D preliminar del concepto de solución óptimo mejorado	66
CONCLUSIONES		68
BIBLIOGRAFIA		70
ANEXO A: LISTA DE REQUERIMIENTOS		76
ANEXO B: MATRIZ MORFOLÓGICA POR DOMINIO.....		84



INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1: Comparación de tipos de montacargas	6
Tabla 1.2: Sistemas de Locomoción para RMR	24
Tabla 1.3: Métodos de planificación de trayectorias	30
Tabla 1.4: Características de sensores LiDAR.....	32
Tabla 1.5: Características de cámaras de profundidad.....	33
Tabla 1.6: Características de pantallas para interfaz.....	34
Tabla 1.7: Comparación de sistemas de accionamiento.....	35
Tabla 2.1: Requerimientos principales del sistema mecatrónico.....	37
Tabla 2.2: Soluciones obtenidas de la matriz morfológica	46
Tabla 2.3: Valor técnico de los conceptos de solución	62
Tabla 2.4: Valor económico de los conceptos de solución	62

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1: Procesos operativos en un almacén	3
Figura 1.2: Etapas del Picking	4
Figura 1.3: Tipos de montacargas	5
Figura 1.4: Estructura general del sistema de control de un robot móvil	7
Figura 1.5: Robots AMR para Picking.....	9
Figura 1.6: Robots móviles para clasificación de paquetes	9
Figura 1.7: Robots AGV para almacén	10
Figura 1.8: Tiempos de duración de las etapas del Picking	12
Figura 1.9: Índice de accidentes (sin medidas preventivas).....	13
Figura 1.10: Costes de accidentes (sin medidas preventivas).....	13
Figura 1.11: Proceso general de desarrollo y diseño según VDI 2221	15
Figura 1.12: Diagrama de flujo del funcionamiento del Robot-enabled case Picking	17
Figura 1.13: Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema	18
Figura 1.14: Robot Order Batch Picking	19
Figura 1.15: AGV 2STACK® SSI SCHAEFER	20
Figura 1.16: Grenzebach Automated Guided Vehicles (AGV)	21
Figura 1.17: Rueda fija.....	22
Figura 1.18: Rueda orientable centrada	22
Figura 1.19: Rueda de castor.....	23
Figura 1.20: Rueda sueca	23
Figura 1.21: Mapa estimado mediante SLAM.....	26

Figura 1.22: Un ejemplo de alineación de escaneo usando el algoritmo ICP en un ambiente real	27
Figura 1.23: Comparación de trayectoria lineal con zigzag real (GPS) y Kalman Filter	28
Figura 1.24: Comparación de trayectoria lineal con zigzag real (GPS) y Filter Information.....	28
Figura 1.25: Comparación de trayectoria real y Particle Filtering.....	29
Figura 1.26: Grado de visibilidad de un medio con 2 obstáculos	30
Figura 1.27: Diagrama de Voronoi	30
Figura 1.28: Representación de entorno mediante celdillas uniformes y celdillas de tamaño variable	30
Figura 1.29: Planificación de Trayectoria usando Campo Potencial Artificial	30
Figura 1.30: Montacarga Hidráulico	35
Figura 1.31: Montacarga Neumático.....	35
Figura 1.32: Montacarga Eléctrico.....	36
Figura 2.1: Caja negra (Blackbox) del sistema	41
Figura 2.2: Estructura de funciones del sistema.....	45
Figura 2.3: Primer concepto de solución.....	49
Figura 2.4: Primer concepto de solución y diagrama de operación de extracción.....	50
Figura 2.5: Segundo concepto de solución	52
Figura 2.6: Segundo concepto de solución y diagrama de operación de extracción..	53
Figura 2.7: Tercer concepto de solución.....	55
Figura 2.8: Tercer concepto de solución y diagrama de operación de extracción	56
Figura 2.9: Cuarto concepto de solución.....	58

Figura 2.10: Diagrama de operación de extracción y diagrama de operación general del robot	59
Figura 2.11: Diagrama de evaluación según VDI 2221	63
Figura 2.12: Concepto de solución óptimo mejorado y sistema hidráulico	64
Figura 2.13: Diagrama de operaciones para el usuario del robot (operario).....	65
Figura 2.14: Diagrama de bloques electrónico	65
Figura 2.15: Diagrama de flujo de software.....	66
Figura 2.16: Modelo 3D preliminar del concepto solución óptimo	67
Figura 2.17: Vista perfil del modelo 3D preliminar.....	67



INTRODUCCIÓN

Los robots móviles tienen múltiples aplicaciones en diversos procesos operativos de una empresa. En los últimos años, ante la exigencia en la eficacia del suministro de pedidos de las empresas a los clientes, estas buscan implementar soluciones para la automatización de sus almacenes. Es por ello que la introducción de esta tecnología es importante para optimizar uno de los procesos más importantes en el almacén como lo es el Picking. Esto traerá consigo beneficios económicos para la empresa y también mejorará el aspecto de la seguridad a los operarios, reduciendo el número de accidentes causados normalmente por la operación de maquinaria en zonas donde otros operarios están transitando. El presente trabajo realiza un estudio del estado del arte en torno a los robots utilizados en el almacén y el diseño conceptual de un robot móvil para optimizar el proceso de Picking en el almacén de una empresa.

En el primer capítulo, se desarrollará el marco teórico, también se definirá la problemática a resolver en conjunto con los objetivos, metodología a seguir y el alcance del trabajo. Asimismo, se desarrollará el estado de la tecnología respecto a patentes de sistemas y robots comerciales utilizados en la automatización de almacenes. Además, se presenta también de los componentes especializados utilizados en la implementación de estos robots y los sistemas de accionamiento para la sujeción de paquetes que utilizan los montacargas utilizados en los almacenes.

En el segundo capítulo, se definirán los requerimientos del sistema, así como las funciones que debe realizar. En relación con la metodología de trabajo propuesta, se plantearán cuatro conceptos de solución uniendo diferentes alternativas para cada función propuesta, mediante una matriz morfológica por dominio. Luego de realizar un análisis técnico-económico, se obtendrá un concepto de solución óptimo y este será corregido en aspectos específicos para obtener una solución óptima mejorada.

Finalmente se presentarán las conclusiones correspondientes al trabajo realizado.

CAPÍTULO 1

TEMÁTICA

En el presente capítulo se presenta el marco teórico sobre los procesos operativos en el almacén de una empresa y las tecnologías utilizadas para estos procesos. A partir de ello se hace una presentación de la problemática de la falta de optimización en el proceso de Picking en el almacén y la propuesta de solución. Asimismo, se explica la metodología para poder desarrollar el diseño. Por último, se menciona el estado del arte relacionado al diseño del sistema.

1.1 Marco teórico

La empresa en general tiene muchos espacios físicos los cuales son muy importantes para su continuo funcionamiento. El almacén es uno de ellos y es muy importante porque es el área donde se hace efectivo el servicio al cliente. El almacén, según Mecalux Soluciones de Almacenaje: “Es una instalación que, junto con los equipos de almacenaje, de manipulación, medios humanos y de gestión, nos permite regular las diferencias entre los flujos de entrada de mercancía (la que se recibe de proveedores, centros de fabricación, etc.) y los de salida (aquella mercancía que se envía a la producción, la venta, etc.)” (Mecalux Esmena, 2017). Los almacenes se pueden clasificar ya sea por su naturaleza del producto, su localización, su mecanización, flujo de materiales, etc. Entre las principales características, se encuentran los elementos que intervienen en un almacén: producto a almacenar, flujo de los productos, el espacio para almacenarlos, los equipos de almacenaje, los operarios y el sistema de gestión del almacén.

En la Figura 1.1 se pueden observar los procesos operativos en un almacén y se explicarán a continuación (Marco, 2017):

- . Recepción de Mercancía: Este primer proceso representa el inicio del final del acuerdo que se establece con el proveedor enfocándose en los aspectos relacionados a la entrada de la mercancía adquirida al almacén.
- . Ubicación de Mercancía: En cuanto a este segundo proceso, está enfocado en los recorridos a realizar por parte de los productos adquiridos desde la zona de recepción del almacén, hasta la zona de almacenaje final asignado previamente.

. Preparación de Mercancía (Picking): Este tercer proceso se encuentra asociado con las operaciones de salida de la mercancía del almacén, es decir, extracción y transporte para la expedición del mismo.

. Expedición de la Mercancía: Este último proceso comprende actividades cuya finalidad es controlar los pedidos que van a salir del almacén, además de posicionarla en el transporte que los llevará hacia la ubicación del cliente.

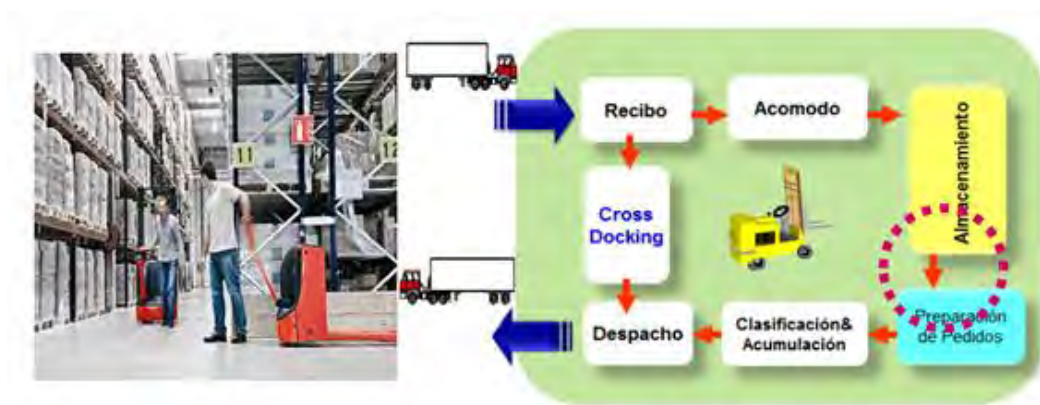


Figura 1.1. Procesos operativos en un almacén.

Fuente: <https://tactical-ithelp.zendesk.com/hc/es-419/articles/360013467654-PICKING-GLOG->

De todos estos procesos operativos en un almacén, el Picking es el que se explicará a mayor detalle a continuación debido a que es un proceso crítico en el que se generaban los mayores retrasos de toda la secuencia operativa del almacén. Dicho proceso de preparación de pedidos comprende las actividades de planificación, desplazamientos, extracción, verificación y acondicionamiento del pedido para su expedición. En la Figura 1.2 se muestran las etapas del proceso de Picking las cuales se describirán a continuación (Mecalux Esmena, 2019):

- 1) Planificación previa: En esta fase se permite asignar los recursos adecuados a cada pedido. Mientras más estandarizadas estén las unidades de carga y los procesos, más fluido será el Picking.
- 2) Desplazamientos de los operarios: Es aquella fase que consume más tiempo y, por tanto, más recursos. Los recorridos abarcan desde el punto de partida a la ubicación del primer producto, luego sucesivamente a los subsiguientes productos.
- 3) Extracción: El tiempo de recogida del producto es diferente dependiendo si se encuentra a bajo nivel o a un cierto nivel de altura que requiera elevarse unos metros. La mayoría de errores de Picking se producen en esta fase, por lo que se requiere precisión y seguridad al momento de la extracción.

- 4) Verificación y acondicionamiento del pedido: En esta fase se hace la revisión del pedido recogido en cuanto a cantidad y referencia y se acondiciona (etiquetado) para su posterior traslado a la zona de expedición.

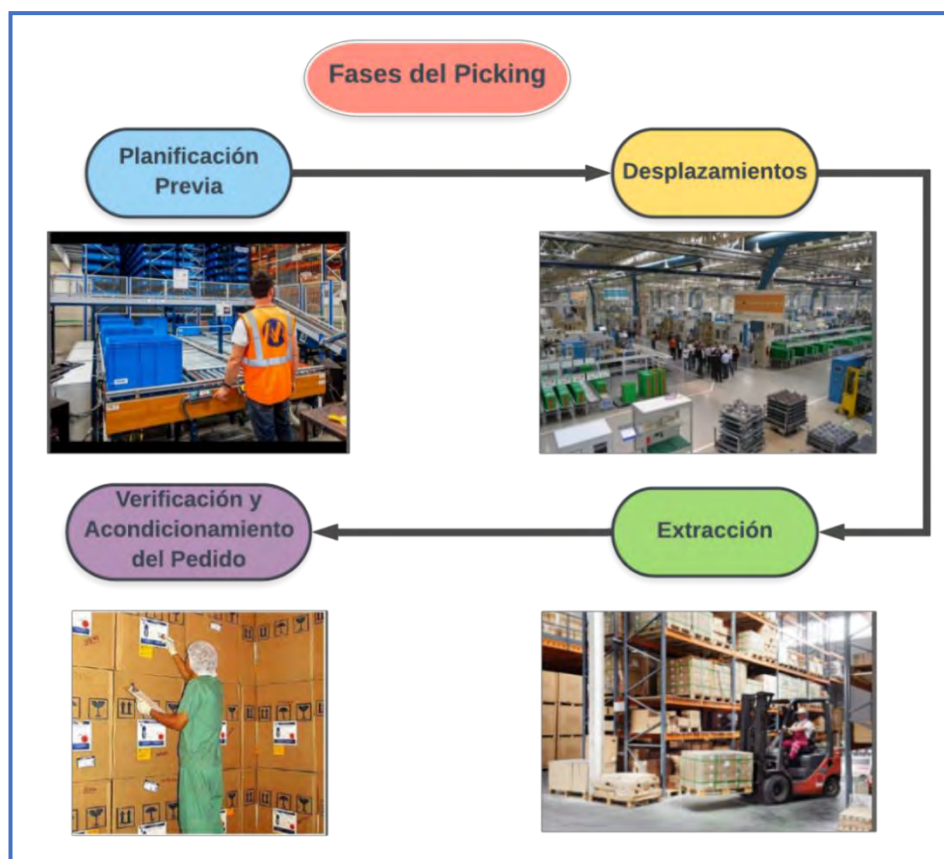


Figura 1.2. Etapas del Picking.

Fuente: https://prezi.com/p/gbo8kfj3rh_o/picking/

Tecnologías aplicadas en las operaciones del almacén

Dentro de las tecnologías aplicadas en los procesos operativos del almacén se encuentran dos: montacargas y robots. A continuación, se explicarán cada una de ellas.

Montacargas en los almacenes

Son vehículos de transporte que puede ser utilizado para transportar, remolcar, empujar, apilar, subir o bajar distintos objetos y elementos. La característica principal de esta maquinaria es su capacidad de soportar peso. También son llamados autoelevadores y son eficientes para cargar y transportar materiales pesados y optimizar el espacio de almacenamiento (Grúas y Aparejos, 2019).

Dentro de los montacargas utilizados para los almacenes se encuentran varios tipos: montacargas contrabalaceado, montacargas de tres ruedas, montacargas apilador,

patín hidráulico, patín eléctrico, montacargas lateral y montacargas telescópico (Grúas y Aparejos, 2019).

Los montacargas contrabalanceados (Figura 1.3.a) son los más comunes en el manejo de materiales, tienen dos horquillas para las cargas pesadas y objetos grandes. Los montacargas de tres ruedas (Figura 1.3.b) son ideales para espacios angostos por su maniobrabilidad para este tipo de espacios. Por otro lado, los montacargas apiladores (Figura 1.3.c) tienen la capacidad de levantar cargas a una elevada altura. Además, están los patines hidráulicos (Figura 1.3.d) los cuales dependen de la acción manual del operador, el operador “bombea” el patín para poder levantar la carga. También existen los patines eléctricos (Figura 1.3.e), los cuales son una versión mejorada de los hidráulicos en cuanto a la ergonomía y el impulso que, a diferencia de los hidráulicos, es a través de un motor. Además, son ideales para cargas pequeñas (pero también se pueden usar para cargas medianas y grandes). Los montacargas laterales (Figura 1.3.f) también son ideales para pasillos angostos, tienen horquillas al lado del equipo y pueden levantar cargas a lo largo y a lo ancho. Por último, los montacargas telescópicos (Figura 1.3.g) también son una opción para levantar cargas en altura y son capaces de alcanzar ángulos a los que otros equipos no pueden acceder fácilmente (Grúas y Aparejos, 2019).

En la Figura 1.3 se muestra en el orden respectivo de explicación los diferentes tipos de montacargas.



Figura 1.3. Tipos de montacargas: (a) Montacargas contrabalanceado (b) Montacargas de tres ruedas (c) Montacargas apilador (d) Patín hidráulico © Patín eléctrico (f) Montacargas lateral (g) Montacargas telescópico. Fuente: Grúas y Aparejos (2019)

En la Tabla 1.1 se muestra una comparación entre los diferentes tipos de montacargas:

Tabla 1.1. Comparación de tipos de montacargas. Fuente: Grúas y Aparejos (2019)

Tipo de Montacargas	Ventajas	Desventajas
Contrabalanceado	Son ideales para interiores del almacén, puede operar con gente alrededor.	No apto para almacenes con espacios angostos y tienen poca ventilación.
De tres ruedas	Mejor maniobrabilidad para espacios pequeños.	A comparación de los montacargas apiladores, son más grandes por lo que en espacios más reducidos no podrían operar.
Apilador	Son ideales para una operación de gran altura y almacenar en estantes.	Soportan cargas menores en comparación con los montacargas contrabalanceados.
Patín Hidráulico	Son equipos más económicos y no requieren mucho mantenimiento, pueden operar en espacios muy pequeños.	Depende la acción del operador ya que no utiliza energía eléctrica.
Patín Eléctrico	Más ergonómicos que los hidráulicos y el impulso es a través de un motor, ideal para cargas pequeñas.	Su costo es mayor que el patín hidráulico y también sus costos de mantenimiento y capacitación del operador.
Lateral	Tienen las horquillas al lado del equipo por lo que pueden levantar cargas a lo largo y a lo ancho.	Son equipos igual de costosos que los montacargas contrabalanceados.
Telescópico	Para cumplir tareas de gran altura y ángulos a los que otros montacargas no pueden acceder.	No pueden operar en almacenes con pasillos angostos.

Robots móviles y su aplicación en el almacén

De acuerdo con Bambino: “Los robots móviles son dispositivos de transporte automático, es decir, una plataforma mecánica dotada de un sistema de locomoción capaz de navegar a través de un determinado ambiente de trabajo, capacitado de cierto nivel de autonomía para su desplazamiento portando cargas” (Bambino, 2008). Sus aplicaciones son muy distintas y en su gran mayoría son tareas que requieren una mejora en términos de eficiencia, velocidad y seguridad como por ejemplo el traslado de materiales o productos. Bambino también señala que: “El principal problema a resolver en un robot móvil es generar trayectorias y guiar su movimiento según éstas, en base a la información del sistema de sensores externos (ultrasonidos, láser, visión), permitiendo al vehículo desplazarse en el ambiente de trabajo sin colisiones” (Bambino, 2008).

Es por esta razón que se necesita un sistema de control de trayectorias que tenga distintos niveles jerárquicos para que, de esta manera, con la información del sistema

de sensores, asegure la mayor autonomía posible. Hay dos aspectos que diferencian a los robots móviles de cualquier otro tipo de vehículo (Bambino, 2008):

. **Percepción:** Este aspecto indica que el robot debe establecer la correspondencia con su entorno, a través de sus sensores.

. **Razonamiento:** Por otro lado, el robot móvil debe alcanzar sus objetivos determinando que acciones son necesarios en base a su condición y la de su entorno.

En la Figura 1.4 se presenta el esquema general del sistema de control de un robot móvil y sus niveles los cuales se explicarán a continuación (Bambino, 2008):

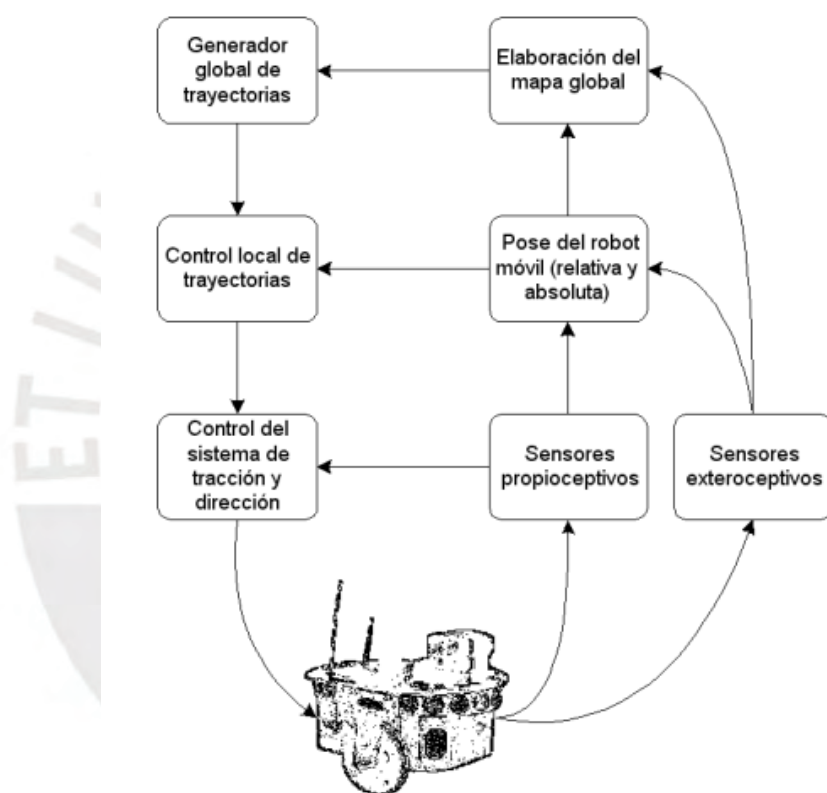


Figura 1.4. Estructura general del sistema de control de un robot móvil.

Fuente: https://www.aadeca.org/pdf/CP_monografias/monografia_robot_movil.pdf

. **Generador Global de Trayectorias (GGT):** Este nivel es el superior y se encarga de decidir aspectos relacionados a la trayectoria, esta según la tarea otorgada. Se consideran aspectos como coordenadas del destino y redefinición de la trayectoria si es que hay obstáculos.

. **Generador Local de Trayectorias (GLT):** Este nivel medio opera el robot móvil, encargándose de evitar los obstáculos presentes en la trayectoria, modificando la misma y controlando la velocidad del robot según la situación.

. Control Local del Sistema de Tracción y Dirección (CL): Por último, este nivel inferior está encargado de interpretar las referencias del GLT, para que luego genere las acciones de control y se alcance el destino. Dichas acciones generan que los motores trabajen adecuadamente para cumplir el objetivo indicado.

Entre los robots móviles aplicados en los almacenes se encuentran dos tipos que destacan: los robots móviles autónomos (AMR, por sus siglas en inglés) y los vehículos guiados automáticos (AGV, por sus siglas en inglés).

Los robots móviles autónomos, según Mecalux Esmena: “Son dispositivos capaces de realizar tareas y desplazarse por el almacén sin la necesidad de que un operario los dirija. Según el informe Warehouse Automation Market de LogisticsIQ, se estima que el mercado global de los robots móviles autónomos debería de superar los 4 000 millones de dólares para 2025, alcanzando una cuota de mercado cercana al 15% dentro del sector de la robotización de almacenes” (Mecalux Esmena, 2020). Es importante recordar que estos robots se conectan con el sistema de control del almacén (WCS, por sus siglas en inglés). Este tipo de robots se pueden clasificar según su función en:

Robots móviles para Picking

Existen dos tipos de estos robots los cuales son los AMR para Picking de hombre a producto y los AMR para Picking de producto a hombre. La diferencia principal entre ellos es que en el primero el robot móvil se comporta como un vehículo de carga, sobre el cual el operario deposita los productos extraídos y este lo acompaña de manera autónoma, mientras que en el segundo el robot móvil realiza la extracción del producto directamente (de pequeño a mediano tamaño) y lo desplaza a la estación de Picking donde los operarios verifican y preparan los pedidos (Mecalux Esmena, 2020). En las Figuras 1.5.a y 1.5.b se presentan ejemplos de AMR hombre a producto y producto a hombre respectivamente.

Robots AMR para Picking



Figura 1.5. Robots AMR para Picking: (a) Ejemplo de Robot AMR de hombre a producto (b) Ejemplo de Robot AMR de producto a hombre. Fuente: ARC Specialties (2019), Guo (2019)

Robots móviles de clasificación

Los AMR de clasificación tienen conductos de entrada para los productos que provienen de otra área dentro del almacén y conductos de salida para que se puedan realizar los despachos. La función que realizan los operarios es colocar los productos en estos robots, para que estos los clasifiquen y dirijan hacia su salida correspondiente (Mecalux Esmena, 2020).



Figura 1.6. Robots móviles para clasificación de paquetes.
Fuente: <https://www.mecalux.es/blog/robots-moviles>

Los vehículos de guiado automático AGV son robots móviles de transporte para el almacén, similares a las carretillas, que se desplazan automáticamente siguiendo una trayectoria trazada o programada de antemano. Para su guiado en el almacén se destacan tres principales sistemas los cuales son Filoguiado, Láserguiado y con Navegación Natural. Los AGV Filoguiado siguen el camino asignado previamente mediante un sistema que su mismo nombre lo indica, para ello en el suelo hay un hilo empotrado que emite un campo magnético y éste es captado por la máquina, este conducto describe el recorrido para que el AGV lo siga. Los AGV Láserguiado (LGV, por sus siglas en inglés) desprenden un láser, que se repele en deflectores ubicados en

el almacén. Luego, este láser es captado nuevamente por el AGV, obteniéndose las distancias de los puntos de control y su posición. Además, el AGV corrige de manera autónoma con el objetivo de continuar la trayectoria indicada. Por último, los AGV con Navegación Natural usan SLAM o navegación LiDAR (Mecalux Esmena, 2017). En las Figuras 1.7.a, 1.7.b y 1.7.c se muestran ejemplos de AGV Filoguiado, Láserguiado y con Navegación Natural, respectivamente.

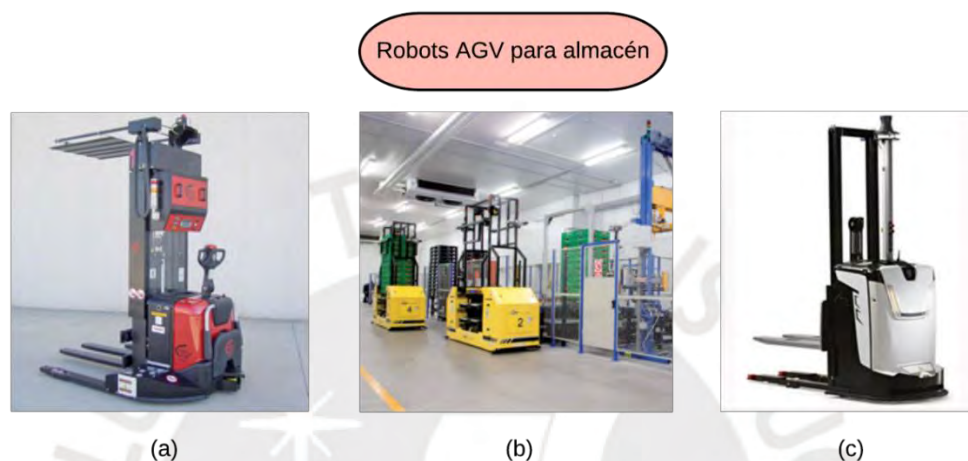


Figura 1.7. Robots AGV para almacén: (a) AGV Filoguiado (b) AGV Láserguiado (c) AGV con Navegación natural. Fuente: Mecalux Esmena (2017), Rocla AGV Solutions (2013)

La disputa entre los AMR y los AGV en su aplicación para los almacenes es pareja pues ambas tienen sus propias características. Por un lado, los AGV se trasladan de acuerdo a un camino predefinido, mientras que los robots autónomos se corrigen continuamente debido a la inteligencia artificial. Otro factor importante es la capacidad de carga: los AMR comúnmente cargan cajas livianas y los AGV habitualmente cargan los productos con palets. La competencia entre ambos seguirá debido a que tienen enfoques específicos distintos: los AGV son más eficientes en tareas con cargas grandes en aquellos almacenes cuyo proceso operativo sea estable. Mientras que los AMR presentan mucha más flexibilidad y una rápida implementación debido a que no se necesita predefinir las rutas a recorrer en el almacén, el robot toma sus propias decisiones y se adapta a los cambios (Mecalux Esmena, 2020).

1.2 Problemática

La importancia del almacén dentro de la empresa radica en que en él se puede ver la eficacia de los demás departamentos de la empresa. Hay 3 aspectos relacionados con

la importancia de los almacenes y cómo repercute en el negocio de una empresa (Noega Systems, 2019):

- Mejor servicio a clientes, que ha cobrado un carácter fundamental para las empresas (por ejemplo, en los comercios electrónicos, su plazo de respuesta).
- Aumento de la productividad, es otro aspecto que lo convierte en más competitiva a una empresa con respecto a la otra.
- Mayor número de referencias, que ahora sucede que la vida media de los productos se ha reducido considerablemente se necesitan muchas más referencias.

Pero existe un problema y es que dentro de los almacenes de las empresas hay una falta de máquinas de soporte en el proceso de Picking o preparación de pedidos requeridos por los clientes, que comprende las actividades de planificación, desplazamientos, extracción, verificación y acondicionamiento del pedido para su expedición. Existen distintas causas para esta problemática: la primera es que las empresas no prefieren invertir en un sistema que optimice este proceso debido a la alta inversión que se requiere, otra causa se debe a el recelo que existe por parte de los trabajadores de los almacenes de ser reemplazados por un sistema robótico que realice la misma función que ellos e incluso con mayor eficiencia y por último, sucede muchas veces que las pequeñas y medianas empresas no valoran la automatización de ciertos procesos porque suele haber una excesiva confianza en los procesos manuales para manejar la logística y esto genera fallos.

El proceso de Picking requiere de un tiempo considerable pues representan entre el 45% y el 75% del coste total de las operaciones de un almacén según los resultados de Noega Systems, dependiendo de la capacidad del operador del montacargas o en caso se realice de manera netamente manual (con escaleras, etc.). Otro aspecto a considerar es el tiempo que toma los recorridos para poder extraer el producto, normalmente es en esta actividad donde se invierte más tiempo (25 al 35%) y ello puede suponer un probable cuello de botella dentro del Picking (Noega Systems, 2015). Esto no es conveniente en caso de que haya un aumento en la demanda de pedidos para dentro de un plazo establecido. También podría no ser tan eficaz en caso de haber algún inconveniente por parte de uno de los operadores del almacén, ya que resultaría en un

efecto directo mediante una interrupción en el suministro de los pedidos a los clientes. En la Figura 1.8 se muestran los tiempos medios de las etapas del Picking:

Fase	Denominación	Tiempo medio (%)
I	Preparativos	Del 5 al 25%
II	Recorrido	Del 25 al 35%
III	Extracción	Del 10 al 35%
IV	Acondicionado	Del 15 al 25%
	Total de tiempo dedicado	100%

Figura 1.8. Tiempos de duración de las etapas del Picking.

Fuente: https://www.noegasystems.com/blog/logistica/preparacion-de-pedidos-picking#Coste_del_picking

Además, existen riesgos laborales asociados al operar un montacargas que tienen que ver con la velocidad máxima, distancia que se debe mantener entre montacarga y un operador que transita por el almacén e incluso en caso de un mantenimiento inapropiado de la carretilla elevadora, el operador podría resultar herido. Por ejemplo, en España según datos del Ministerio de Trabajo, Migraciones y Seguridad Social indica que en el primer semestre del 2019 ha habido un total de 28 404 accidentes de trabajo entre trabajadores y operadores de maquinaria móvil. También como dato interesante, debido a que muestra el alto número de accidentes que ocurren en los almacenes, se tiene que se han producido 29 896 accidentes de trabajo en almacenes y debido a labores de carga y descarga (Cadena de Suministro, 2019). Según el Sistema de Vigilancia Nacional de Fatalidades Traumáticas Ocupacionales (NTOF por sus siglas en inglés) los cuatro tipos de accidentes con montacargas de consecuencias mortales más comunes son (Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional, 2001):

- . Volcadura de Montacargas: 22%
- . Accidente por Montacargas en un trabajador a pie: 20%
- . Víctima aplastada por Montacargas: 16%
- . Caída de Víctima desde el Montacargas: 9%

Con respecto a que, si se hiciera de manera netamente manual, existen riesgos como la carga física que es causada por el sobreesfuerzo por manipulación manual de cargas y posturas forzadas. En caso ocurrieran accidentes laborales relacionados a estos riesgos resultarían muy perjudiciales tanto para la integridad del trabajador como para continuar con normalidad la ejecución de los distintos procesos en los almacenes y esto se traduce en pérdidas económicas para la empresa. Por ejemplo, según la NTP

472 presentado por el INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España) expone un caso práctico en una empresa para poder calcular el costo de los accidentes en el almacén (Gil Fisa, 1998). En las Figuras 1.9 y 1.10 se presenta la cantidad y costo de los accidentes respectivamente (costes en pesetas):

	Accidentes	I. Frecuencia	I. Gravedad	I. Incidencia	Duración Media
ALMACÉN	15	625	1,75	1500	7
PRODUCCIÓN	3	50	0,65	120	13
GLOBAL	18	150	0,68	360	9

Figura 1.9. Índice de accidentes (sin medidas preventivas).

Fuente: https://www.insst.es/documents/94886/326962/ntp_472.pdf/ab08d847-917f-4c6e-9188-6341c7f29d19

	ALMACÉN	PRODUCCIÓN	EMPRESA
Tiempo perdido	54150	26980	81130
Costes materiales	280000	13500000	13780000
Pérdidas	0	8580371	8580371
Gastos generales	678080	8943253	9621333
Otros tiempos	187397	334264	521661
TOTAL COSTES	1199627	31384868	32584495

Figura 1.10. Costes de accidentes (sin medidas preventivas).

Fuente: https://www.insst.es/documents/94886/326962/ntp_472.pdf/ab08d847-917f-4c6e-9188-6341c7f29d19

Se observa de la Figura 1.10 un considerable costo por los accidentes en el almacén de 1 199 627 pesetas (aprox 7210 euros) con solo 15 accidentes. Si la cantidad de accidentes ocurridos en un almacén fuera mayor como se indicó anteriormente de un rango cercano a 30 000 accidentes en un semestre los costes por accidentes crecería de manera desproporcionada, siguiendo una correlación lineal supondría un coste de 14 420 000 euros.

Por medio de este trabajo, debido a las razones explicadas anteriormente, se propone el diseño de un robot móvil para optimizar el proceso de Picking del almacén de una empresa.

1.3 Objetivos

Objetivo general

Proponer un concepto óptimo de solución que cumpla con los requerimientos planteados para la propuesta de solución al problema.

Objetivos específicos

- Definir la metodología a seguir para el desarrollo del trabajo.
- Investigar sobre el estado del arte relacionado al sistema propuesto.
- Definir los requerimientos y las funciones del sistema mecatrónico a desarrollar.
- Plantear conceptos de solución para la solución del problema siguiendo los requerimientos previamente definidos.
- Evaluar aspectos técnicos y económicos de los conceptos de solución planteados y elegir el concepto de solución óptimo.

Alcance

El presente proyecto no incluye la sustitución completa de los operarios de almacén en el proceso de Picking, solo para los procesos de desplazamiento, extracción y acondicionamiento del pedido. En el espacio de la zona de almacenaje debe haber el mínimo número de personal circulando para que solo estén operando el robot móvil y montacargas. Además, el proyecto estará restringido a almacenes con una altura máxima de 3.7 m (indicado en la Norma Técnica A.130: Requisitos de seguridad) considerando que el nivel de almacenamiento está a nivel del piso. Asimismo, el costo de este proyecto no debe ser elevado para que pueda representar una opción viable a los montacargas utilizados en los almacenes, los cuales tienen bajo costo de operación.

1.4 Metodología

La metodología de desarrollo de la tesis estará basada en la metodología alemana VDI 2221, con su recomendación “Métodos para el desarrollo y diseño de sistemas técnicos y productos”, el cual consiste en un proceso iterativo. En la Figura 1.11 se puede observar el proceso según la metodología indicada:

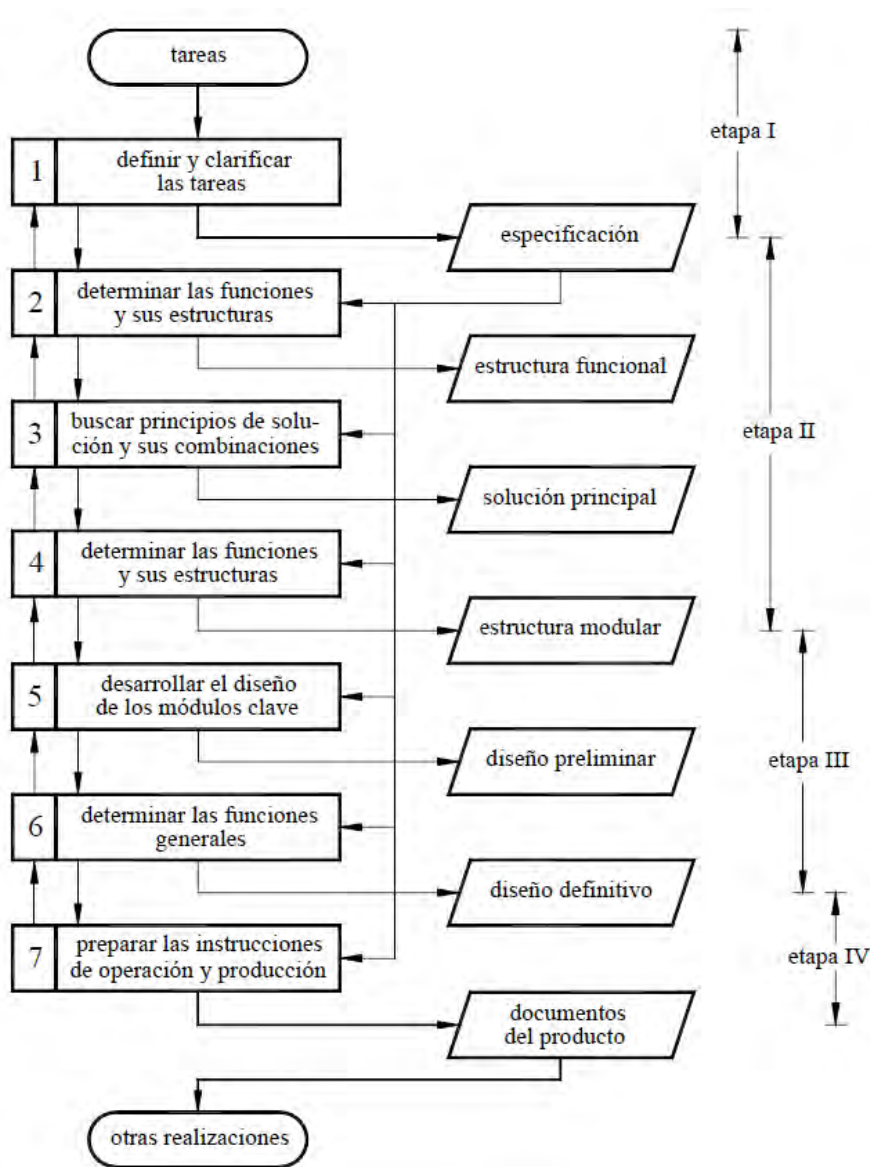


Figura 1.11. Proceso general de desarrollo y diseño según VDI 2221.
Fuente: Blanco (2015)

- Primera etapa: Esta etapa comprende dos aspectos:
 - Definir y clarificar las tareas, en este caso las tareas son representadas por la problemática que se quiere resolver. Se busca definir bien la problemática presente, la metodología a usar para el desarrollo del proyecto mecatrónico y realizar el estado del arte.
 - Especificación, en este caso se refiere a la lista de exigencias o requerimientos del robot móvil a desarrollar.

- Segunda etapa: Esta etapa comprende tres aspectos:
 - Determinar las funciones y sus estructuras, en este caso se refiere a que una vez se haya definido claramente las necesidades del robot móvil se puede realizar la estructura de funciones. Para este punto primero se debe realizar un proceso de abstracción del sistema (“Black-Box”), luego determinar los principios tecnológicos (determinar el proceso y las funciones parciales), luego fijar los procesos técnicos y determinar la aplicación de los sistemas técnicos y sus limitaciones para finalmente con esta información poder agrupar y formar una estructura de funciones óptima. Este punto se puede realizar por subsistemas (útil para diseño de robots) o por dominios.
 - Buscar principios de solución y sus combinaciones, en este caso se refiere a la búsqueda de los conceptos de solución y sus estructuras. Para lograr ello se debe tener como datos de entrada a la lista de exigencias, el estado del arte y la estructura de funciones. Para poder plantear los conceptos de solución se debe usar la matriz morfológica de Zwicky que toma en cuenta a las funciones parciales y a los portadores de las funciones.
 - Determinar el concepto de solución óptimo mediante la evaluación de los conceptos de solución propuestos en base a criterios técnicos (por ejemplo, estabilidad) y económicos (por ejemplo, costo de la tecnología).

1.5 Estado del arte

En esta sección se muestra un estudio previo sobre algunas referencias comerciales de robots utilizados en el proceso de Picking en almacenes. Asimismo, se presentan los sistemas de locomoción, algoritmos de localización y métodos de planificación de trayectorias para robots móviles. También se presentan tecnologías existentes que son de utilidad para el desarrollo de este robot móvil.

1.5.1 Referencias comerciales de robots para Picking en almacenes

- **Robot-enabled case Picking**

Esta patente de vehículo robótico, cuya función principal es recoger cajas en un almacén, cuenta con un procesador configurado para acceder a una memoria, un dispositivo de entrada de usuario, un dispositivo de salida y una plataforma de carga, y tiene acceso a una representación electrónica del almacén. Dicha representación incluye un mapa que define los pasillos para almacenar artículos dispuestos como caras de selección dentro del almacén. Se genera una lista de selección a partir de un pedido, luego esta lista de selección proporciona identificaciones de los artículos que se elegirán para cumplir con el pedido. Asimismo, de la lista de selección se determina una cantidad de paradas en las caras de selección asociadas con los elementos. Además, se genera una ruta dentro del mapa que incluye dicha cantidad de paradas (Weiss, 2015). En la Figura 1.12 se presenta el diagrama de flujo del funcionamiento del Robot-enabled case Picking.

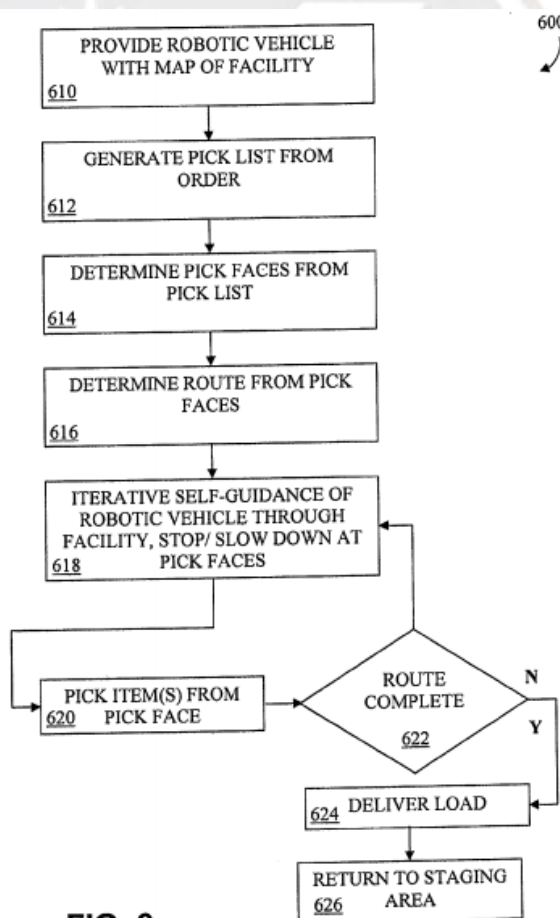


FIG. 6

Figura 1.12. Diagrama de flujo del funcionamiento del Robot-enabled case Picking.
Fuente: Extraído de (EE.UU. Patente No.20150073586^a1, 2015)

- **Order processing systems using Picking robots**

Esta patente presenta un sistema que, cuya función principal es transportar productos, incluye al menos un robot de recogida que cuenta como mínimo un dispositivo de procesamiento de pedidos que incluye un procesador de pedidos en comunicación con el procesador del robot. Uno de los dispositivos de procesamiento de pedidos y el procesador del robot están configurados para recibir al menos un pedido para poder generar un itinerario de recolección basado en, como mínimo, un producto y la información del almacén. Con ello se genera una ruta de viaje basado en el itinerario de selección, y el robot se desplaza a lo largo de la ruta. Es un robot que acompaña al operario para que él pueda recoger los pedidos y colocarlos en el robot y de manera automática el robot móvil se desplaza según el operario va desarrollando la extracción de los pedidos (Asaria y Woods, 2013). En la Figura 1.13 se presenta el diagrama de flujo del funcionamiento del sistema.

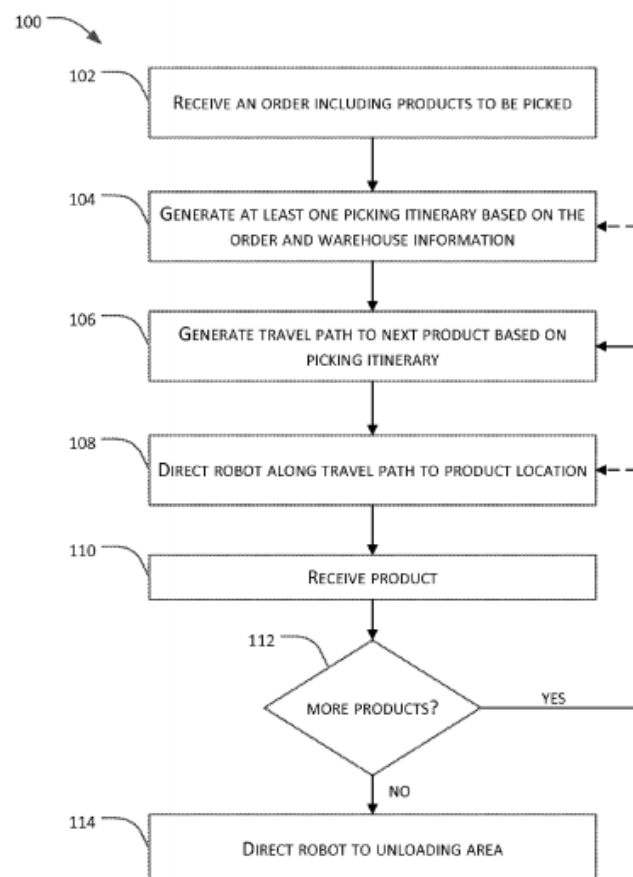


FIG. 8

Figura 1.13. Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema.
Fuente: Extraído de (EE.UU. Patente No.20130317642^a1,2013)

- **Robotic Batch Order Picking**

El robot, de la compañía Bastian Solutions, tiene la capacidad de operar las veinticuatro horas, los siete días de la semana. Además, el sistema es capaz de construir dos paletas mixtas cada quince minutos. El robot es operado de forma inalámbrica por un Programa de Control Maestro (MCP) que se integra con el Sistema de Gestión de Almacenes (WMS) de la instalación de la empresa para un máximo control y visibilidad de la productividad. La navegación del robot es flexible para cualquier almacén con mínimas modificaciones de infraestructura. Los robots son vehículos con guiado automático (AGV, por sus siglas en inglés) que usan la tecnología LIDAR (detección de luz y rango) para navegar sin problemas y de manera eficiente. Su diseño modular le permite a la empresa escalar fácilmente agregando más robots según sea necesario.

A diferencia de los AGV diseñados para operar en carriles de tráfico preestablecidos, estos robots móviles pueden trabajar alrededor y con operadores y otros vehículos (Bastian Solutions, 2017).

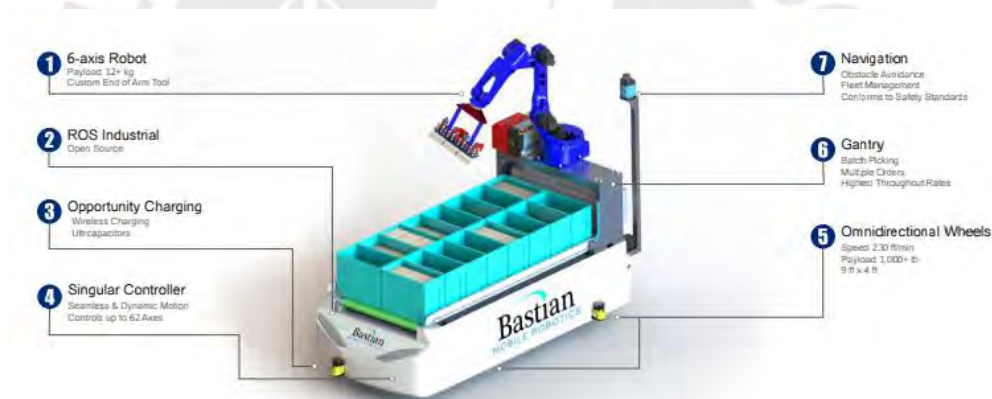


Figura 1.14. Robot Order Batch Picking.

Fuente: <https://www.bastiansolutions.com/assets/1/6/mobile-robotics-brochure-online.pdf>

- **AGV 2STACK®**

Este AGV, de la compañía SSI SCHAEFER, es un sistema de transporte autoguiado para manejo automatizado de paletas en almacenes, sistemas de Picking y entornos de producción. Tiene brazos de soporte en el medio o a los costados, su diseño cumple de manera óptima la función de levantar y apilar paletas. Este modelo es capaz de mover cargas de hasta 1,5 toneladas y tiene una altura máxima de elevación de 4 metros. Permite un transporte suave de las mercancías entre diferentes áreas de almacenamiento. Un controlador de flota gestiona y optimiza todos los transportes de pedidos. Este sistema puede recibir los pedidos relevantes de cualquier sistema de

gestión de almacén deseado. Además, esta solución puede realizar traslados de pedidos desde el piso a estantes de media altura. Por último, debido a su tamaño, su uso se puede extender en pequeños almacenes y espacios reducidos (SSI Schaefer, 2015).



Figura 1.15. AGV 2STACK® SSI SCHAEFER.

Fuente: <https://www.ssi-schaefer.com/en-lv/products/conveying-transport/automated-guided-vehicles/fts-2stack-606528>

- **Grenzebach Automated Guided Vehicles (AGV) for order Picking**

La compañía Grenzebach Group ha implementado una solución personalizada para un almacén de la manufacturera de cocinas Nolte Kuchen donde se encontraban los frentes de cocina de alta gama hechos de varios materiales, como vidrio, barniz y chapa de madera real, encargados individualmente para cocinas modernas. Esta solución consistió en 12 vehículos de transporte frontales estandarizados sin conductor y tuvo efectos económicos como por ejemplo un aumento significativo de la productividad durante el Picking frontal. El AGV se dirige de manera autónoma para recoger un carro de transporte frontal para luego continuar hacia el almacén donde lo recibe un miembro del personal de Nolte. El vehículo está programado para detenerse automáticamente en el lugar de recogida previsto dentro del pasillo de preparación de pedidos y señala con su luz láser qué frente tiene que elegir el empleado. En la pantalla del AGV se muestra más información sobre el frente de cocina (Grenzebach, 2017).



Figura 1.16. Grenzebach Automated Guided Vehicles (AGV).

Fuente: <https://www.grenzebach.com/press/nolte-kuechen-kitchens-driving-smart/>

1.6.2 Sistemas de locomoción de Robots Móviles

Los tipos de locomoción para los robots móviles terrestres pueden ser: con ruedas, cintas de deslizamiento (orugas), patas y otros. En la práctica en general son más comunes los robots móviles con ruedas debido a las siguientes consideraciones en el diseño (Trujillo, 2015):

- . Eficiencia: La mayoría de las instalaciones de los almacenes donde circularán los robots tienen superficies lisas.
- . Controlabilidad: No requiere mucha complejidad para el control de las ruedas.
- . Mantenimiento: A comparación de otros tipos de locomoción ofrecen menos desgaste en un ambiente de almacén donde es importante la operación continua.
- . Estabilidad: Debido a que las superficies de los almacenes son planas y no inclinadas, no se presenta problemas de balance.

Antes de continuar con los sistemas de locomoción de los robots disponibles, es importante explicar algunos conceptos sobre las ruedas para entender mejor los sistemas de locomoción (Automatización y Robótica Industrial 5 ESI, 2008):

- Rueda Motriz: También llamada rueda de tracción útil para el movimiento del robot móvil.
- Rueda Directriz: Es aquella rueda de direccionamiento que tiene orientación controlable.

Existen dos clases principales de ruedas: las convencionales y las suecas. En el caso de una convencional, el contacto entre la rueda y la superficie debe cumplir rotación pura sin resbalamiento (es decir que la velocidad del punto de contacto sea igual a cero). Entre las ruedas convencionales se distinguen tres tipos (Trujillo, 2015):

- Ruedas Fijas: Son aquellas que solo giran en torno a su eje sin tracción motriz.

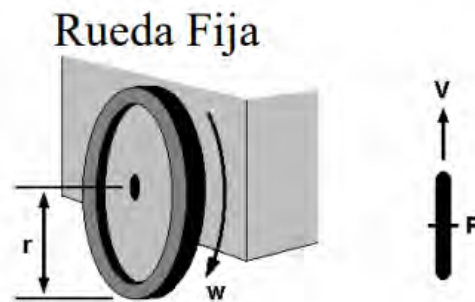


Figura 1.17. Rueda fija.

Fuente: Automatización y Robótica Industrial 5 Ing. Industrial ESI (2018)

- Rueda orientable centrada: Son aquellas ruedas cuyo movimiento de su plano respecto de la estructura es de rotación alrededor del eje vertical del centro de la rueda.

Rueda orientable centrada

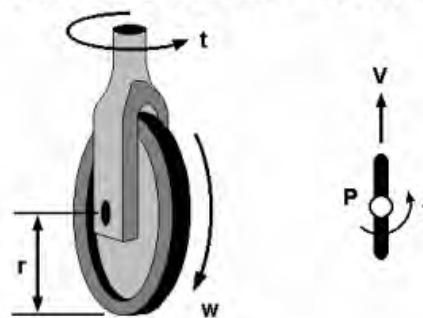


Figura 1.18. Rueda orientable centrada.

Fuente: Automatización y Robótica Industrial 5 Ing. Industrial ESI (2018)

- Ruedas locas o de castor: Son aquellas ruedas orientables, que brindan estabilidad al robot.

Rueda orientable descentrada (Rueda de Castor)

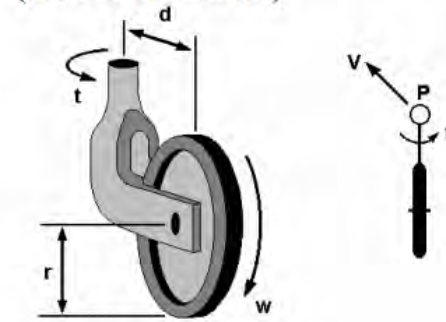


Figura 1.19. Rueda de castor.

Fuente: Automatización y Robótica Industrial 5 Ing. Industrial ESI (2018)

Asimismo, existen las ruedas suecas que, a diferencia de las convencionales, solo una componente de la velocidad del contacto de dicha rueda con la superficie es cero durante todo el movimiento (Trujillo, 2015).

Ruedas Suecas: Ruedas omnidireccionales

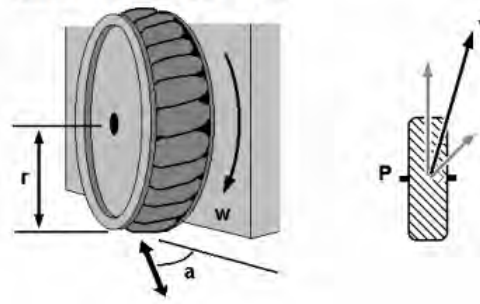
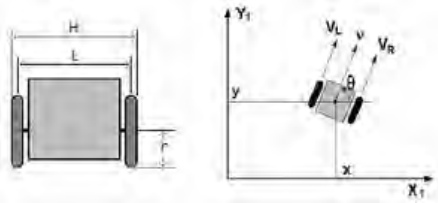
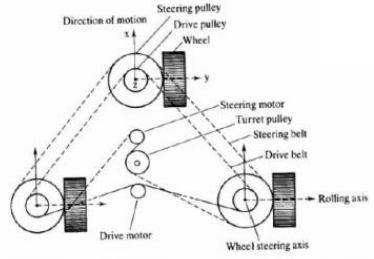
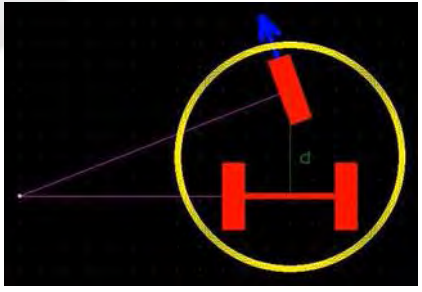


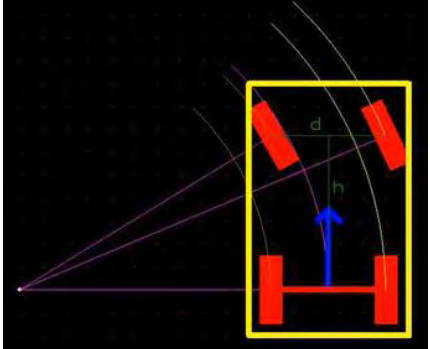
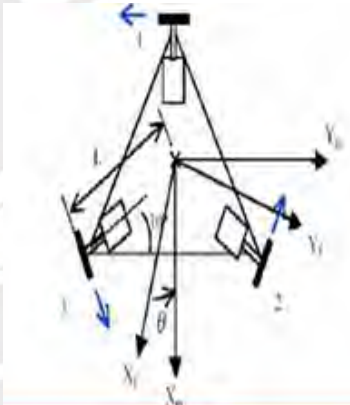
Figura 1.20. Rueda sueca.

Fuente: Automatización y Robótica Industrial 5 Ing. Industrial ESI (2018)

En la Tabla 1.2 se muestran los sistemas de locomoción principal para los robots móviles terrestres (RMR):

Tabla 1.2. Sistemas de Locomoción para RMR. Fuente: A. Castellanos (2016)

Sistema de locomoción	Descripción	Ventajas	Desventajas	Configuración
Diferencial	Es el sistema donde no hay ruedas directrices o paralelas entre sí con tracción independiente. Si se requiere cambiar de dirección se debe realizar la modificación de las velocidades relativas de las ruedas a izquierda y derecha.	<ul style="list-style-type: none"> . Sistema económico . Fácil implementación . Diseño simple 	<ul style="list-style-type: none"> . Control difícil debido a que la velocidad debe cambiar mientras el robot avanza (control dinámico de la velocidad). . Para las trayectorias rectas se requiere control de precisión 	 <p>Sistema de Locomoción Diferencial</p>
Síncrona	Es el sistema donde las ruedas se mueven sincrónicamente en velocidad y orientación por lo que el modelo es idéntico al del monociclo.	<ul style="list-style-type: none"> . Motores separados para traslación y rotación simplifican el control . Garantía mecánica durante el control en línea recta. . Restricciones holónomas (dependientes solamente de las coordenadas y el tiempo). 	<ul style="list-style-type: none"> . Diseño complejo y difícil implementación 	 <p>Sistema de Locomoción Síncrono</p>
Triciclo	Es el sistema donde hay 3 ruedas (dos traseras paralelas entre ellas y una delantera) formando un triángulo. Generalmente las ruedas traseras se utilizan como tracción, pero la rueda de dirección puede servir también.	<ul style="list-style-type: none"> . No hay deslizamiento . Las ruedas de tracción pueden ir a máxima velocidad, siempre que el radio de giro sea lo suficientemente grande . Tiene facilidad para ir en trayectorias rectas 	<ul style="list-style-type: none"> . El principal problema son los giros que dependen la distancia entre las ruedas traseras y la delantera . El radio de curvatura es limitado, por lo que se debe reducir la velocidad antes de entrar a una curva. 	 <p>Sistema Locomoción Triciclo</p>

<p>Ackerman</p>	<p>Es el sistema utilizado en la industria automóvil. Su configuración consiste: 2 ruedas con tracción trasera y 2 ruedas de dirección delantera. Está diseñada para evitar el derrape de las ruedas mediante la diferencia de ángulos entre las ruedas delanteras al momento del giro.</p>	<ul style="list-style-type: none"> . Fácil de implementar debido a que no habría preocupaciones por los problemas de estabilidad (repartición de peso menos exigente) . Un sistema simple de 4 barras controla la dirección 	<ul style="list-style-type: none"> . Restricciones no holónomas (dependientes de coordenadas, tiempo, velocidades, etc. 	 <p>Sistema de Locomoción Ackerman</p>
<p>Omnidireccional</p>	<p>Es el sistema que tiene diseños más complejos que permiten mayor libertad de movimiento que los sistemas de ruedas clásicos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> . Permiten movimientos complicados (reducen restricciones cinemáticas) 	<ul style="list-style-type: none"> . Control necesario en el movimiento en línea recta debido a que no hay garantías con las restricciones mecánicas. . La implementación es complicada debido a que se necesitan velocidades distintas para cada rueda (requiere un procesamiento adicional). 	 <p>Sistema de Locomoción Omnidireccional</p>

1.6.3 Algoritmos de Localización y Métodos de Planificación de Trayectorias para Robots Móviles

Algoritmos de Localización

En esta sección se presentarán los algoritmos de localización y control de movimiento más utilizados en aplicaciones de robots móviles.

SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)

Es un algoritmo cuyo objetivo es construir mapas de un entorno parcial o totalmente desconocido por un robot al mismo tiempo que estima su trayectoria al desplazarse por ese entorno usando dicho mapa. Algunos de los problemas que presenta este algoritmo son los siguientes (Verdejo, 2010):

- Acumulación de errores en los datos provenientes de la odometría (estimación de la posición relativa del robot), esto debido a que se trata de un cálculo incremental. Este problema podría generar errores en la precisión de la localización del robot.
- Problema para identificar correctamente la nueva localización de los puntos de referencia y los cambios del entorno a lo largo del tiempo. Esto se debe a que los entornos pueden tener una geometría totalmente desconocida y susceptible a cambios y ello genera errores en el mapeo.

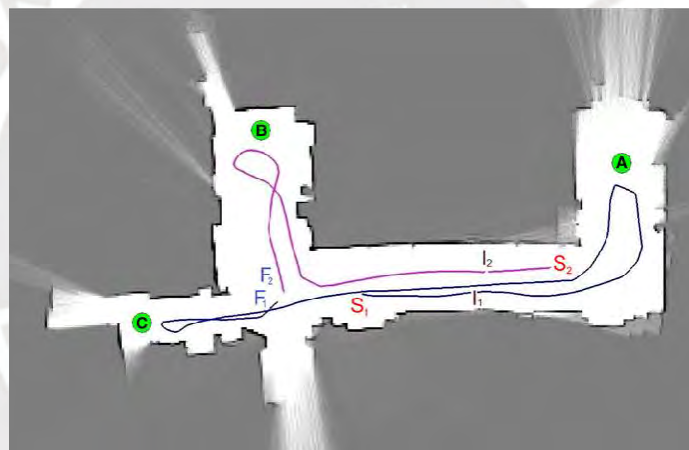


Figura 1.21. Mapa estimado mediante SLAM. Fuente:

https://www.researchgate.net/publication/220062042_Simultaneous_Localization_and_Mapping_Using_Rao-Blackwellized_Particle_Filters_in_Multi-Robot_Systems

ICP Algorithm

El Iterative Closest Point es un algoritmo que busca los pares de puntos más cercanos en un par de escaneos de entorno y minimiza su diferencia. Esta minimización se basa en puntos anteriores en el par del escaneo real y de referencia. Usando las coordenadas determinadas, se calcula la transformación afín, minimizando la diferencia de distancia mencionada anteriormente. Se dice que es iterativo ya que el proceso de minimización se repite hasta que se cumplan las condiciones de finalización. Este algoritmo es aplicable al mapeo 3D (Konecny, Prauzek y Hlavica, 2016).

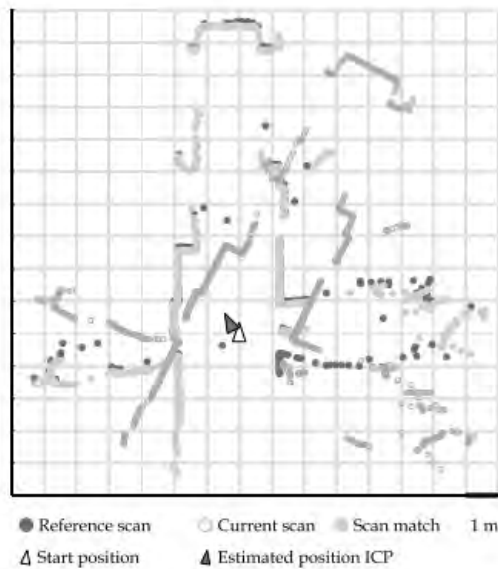


Figura 1.22. Un ejemplo de alineación de escaneo usando el algoritmo ICP en un ambiente real.
 Fuente: Konecny, Prauzek y Hlavica (2016)

Kalman Filter (KF)

Este algoritmo es el más empleado por sus resultados eficaces con respecto al trabajo con estados continuos, mediante el filtrado y estimación. Las etapas de este algoritmo se muestran a continuación (Jiménez, 2015):

- **Predicción:** En esta primera etapa, el filtro consigue anticipar eventos, realizando el cálculo del estado actual, x_t , a partir de uno anterior, x_{t-1} . Además, se requiere considerar para el instante actual las acciones de actuación, u_t , las cuales son facilitadas por un sistema de control.
- **Actualización:** Esta segunda etapa tiene que realizar correcciones para que el actual y verídico estado del sistema sea lo más parecida posible a la estimación obtenido del filtro. Esto es posible mediante de sensores que envían información del entorno, la cual es comparada con los resultados obtenidos de filtro de Kalman.

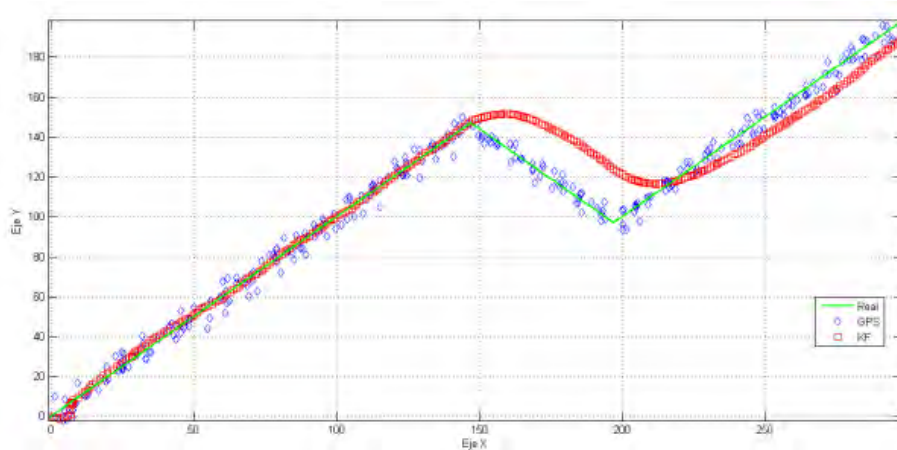


Figura 1.23. Comparación de trayectoria lineal con zigzag real (GPS) y Kalman Filter.
Fuente: M. Jiménez (2015)

Filter Information (IF)

La principal diferencia entre este filtro y el de Kalman radica en que se considera otras variables y su forma de operación, por lo que, esta diferencia genera que el costo computacional de cada algoritmo, es decir, las operaciones realizadas en el algoritmo del filtro de Kalman. Jiménez indica: “De esta manera, si se parte de un caso en el cual el robot posee un absoluto desconocimiento, en el KF se tendría una matriz de covarianza infinita mientras que la matriz de información es nula y va aumentando a medida que capta información del estado. Es aquí donde se refleja la mayor virtud del IF, es más fácil computar datos prácticamente nulos que cercanos al infinito, dado que la situación de incertidumbre total es un escenario más típico que la de tener conocimiento de antemano” (Jiménez, 2015).

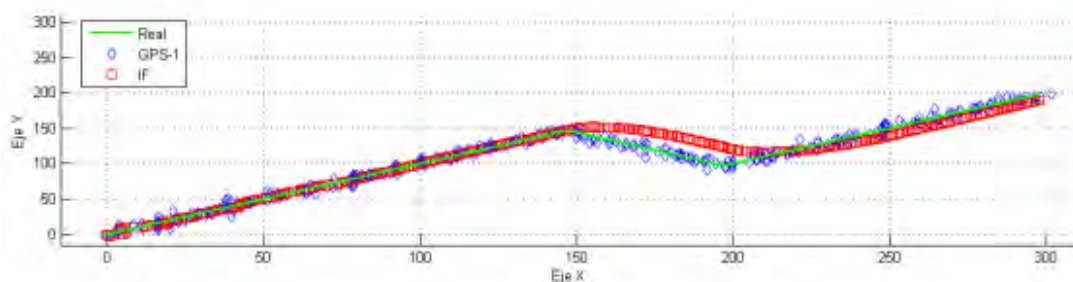


Figura 1.24. Comparación de trayectoria lineal con zigzag real (GPS) y Filter Information.
Fuente: M. Jiménez (2015)

Particle Filtering (PF)

El filtro de partículas es de tipo no paramétrico (su solución comprende finitos resultados). Debido a ello tiene la capacidad de operar con soluciones multimodales, además soporta todo tipo de modelos (movimientos y medidas) gracias a su flexibilidad en la búsqueda de soluciones, sin ser afectado por perturbaciones como el

ruido. Un aspecto negativo está referido a su gran carga computacional. Esto debido a que, en teoría, para obtener una exactitud altamente confiable se requiere un número infinito de resultados. Por ello se necesita demostrar que lo contrario, es decir, que basta con una cantidad razonable de partículas para aproximarse a una solución con una exactitud admisible para diversas aplicaciones y escenarios (Jiménez, 2015).

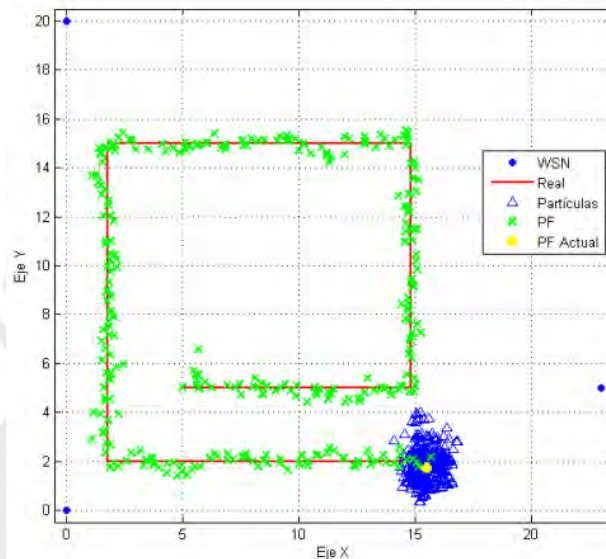
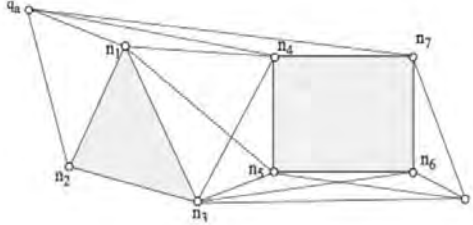
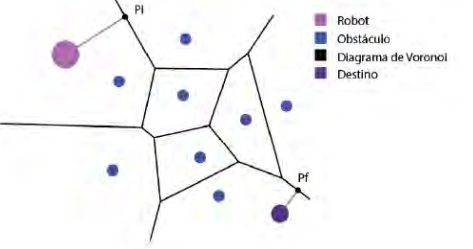
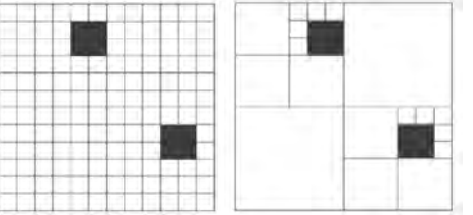
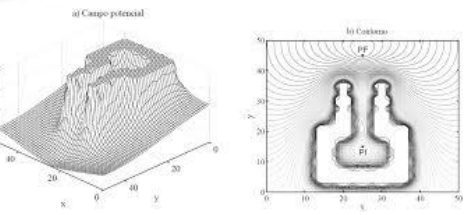


Figura 1.25. Comparación de trayectoria real y Particle Filtering.
Fuente: M. Jiménez (2015)

Métodos de Planificación de Trayectorias

La planificación de trayectorias es un aspecto muy importante para definir una trayectoria que permita al robot desplazarse desde su punto de partida hasta su destino reduciendo costos, como por ejemplo la distancia recorrida, la cual tiene mucha relación el consumo energético del robot (Martínez, 1995). En la Tabla 1.3 se presentan los principales métodos para la planificación de trayectorias para un robot móvil:

Tabla 1.3. Métodos de planificación de trayectorias.
Fuente: A. Padilla (2017)

Método de Planificación	Descripción	Imagen
<p>Grafo de Visibilidad</p>	<p>Este método considera un campo bidimensional donde los obstáculos están representados mediante polígonos. Estos son producto de los nodos visibles. Un aspecto favorable es su bajo coste computacional y uno en contra es que se considera al robot como un punto y se requiere de una representación exacta del entorno.</p>	 <p>Figura 1.26. Grado de visibilidad de un medio con 2 obstáculos. Fuente: V.F.M. Martinez (1995)</p>
<p>Diagrama de Voronoi</p>	<p>Este método tiene como objetivo principal trasladar al robot a su destino a través de un camino donde en lo posible no haya o haya obstáculos mínimos. Este diagrama está integrado por el lugar geométrico de los puntos ubicados a igual distancia entre los pares de puntos más cercanos entre sí.</p>	 <p>Figura 1.27. Diagrama de Voronoi. Fuente: V.F.M. Martinez (1995)</p>
<p>Método Quadtree</p>	<p>Este método lograr disminuir la cantidad de celdillas a escanear utilizando cuadrados no uniformes. Aquellas celdillas donde hubiese un obstáculo son etiquetadas como ocupadas. El entorno se divide en 4 secciones y si en alguna sección hay un obstáculo se sigue dividiendo hasta llegar a cuadrados muy pequeños.</p>	 <p>Figura 1.28. Representación de entorno mediante celdillas uniformes y celdillas de tamaño variable. Fuente: H. Noborio, T. Naniwa y S. Arimoto (1990)</p>
<p>Campo Potencial Artificial</p>	<p>Este último método estima al robot como una partícula sometida a un campo potencial artificial, en la que su destino atrae al robot y por otro lado, los obstáculos lo repelen. El potencial de atracción varía indirectamente proporcional con la proximidad (mientras más cerca, más aumenta la repulsión). El problema está cuando el robot está en una zona con potencial nulo, pero no es el destino.</p>	 <p>Figura 1.29. Planificación de Trayectoria usando Campo Potencial Artificial. Fuente: Espitia Cuchango, Helbert Eduardo, Sofrony Esmeral & Jorge Iván. (2012)</p>

1.6.4 Tecnologías existentes

En esta sección se mencionarán acerca de los distintos sensores de detección de entorno, microprocesadores, pantallas para la interfaz y los sistemas para el accionamiento de la plataforma móvil disponibles.

Sensores de detección de entorno

Entre los principales sensores de detección de entorno que se pueden utilizar en ambientes como almacenes, se encuentran los sensores LiDAR y las cámaras de profundidad.

Sensores LiDAR

Son sensores que usan la tecnología LiDAR, la cual es un sistema de medición y detección de objetos mediante láser. Emiten rayos de luz, cuando ese rayo se topa con un objeto rebota y vuelve a la posición en la que se encuentra el sensor LiDAR. Calculando el tiempo que tarda el rayo láser en ir y volver se puede determinar la distancia que hay entre el sensor y cualquier otro objeto. Por ello contiene un emisor de rayos láser infrarrojos, una lente que recoja los haces de luz cuando rebotan y un sistema que procese los datos para poder mapear el entorno delante del sensor (Sanz Romero, 2020).

En la Tabla 1.4 se observa una comparación entre algunos modelos de sensores LiDAR:

Tabla 1.4. Características de sensores LiDAR.


Fuente: Garmin (2018), SLAMTEC (2017), SLAMTEC (2018), Benewake (2019)

Característica	LiDAR LITE v3 HP	RP LiDAR A2M7/M8 360°	RP LiDAR A3M1 360°	Tfmini Plus LiDAR module
Rango	5 – 4000cm	0.15m – 8m	0 – 25m	0.1 – 12m
Precisión	. ± 5cm (<2m) . ± 2.5cm (≥ 2m)	. < 1% Distancia (todo el rango de distancia)	. < 1% Distancia (todo el rango de distancia)	. ± 5cm (0.1 – 6m) . ± 1% Dist. (6 – 12m)
Alimentación	5Vdc	5Vdc	5Vdc	5Vdc
Consumo de corriente	65 – 85 Ma	200 – 450 Ma	200 – 450Ma	≤110Ma
Tasa de Repetición	Más de 1kHz	4000 Hz Typ.	4000 Hz Typ.	1 – 1000Hz
Interfaces	I ² C, PWM	I ² C, PWM	I ² C, PWM	I ² C, UART
Dimensiones	20 x 48 x 40 mm	Ø75.7 x 40.8 mm	Ø76 x 41 mm	21 x 35 x 37 mm
Ángulo de Lectura	8mRad (0.458°)	0.9°	0.225°	3.6°
Peso	22g	190g	190g	11g
Temperatura de operación	-20 a 60°C	0 a 45°C	0 a 45°C	-20 a 75°C
Precio	\$149.99	\$325.38	\$610.98	\$56.19
Imagen				

Cámaras de profundidad

Estas cámaras permiten a los robots con las imágenes obtener profundidad de los objetos y entorno. Esto resulta de mucha utilidad para la detección de obstáculos que los LiDAR no puedan detectar con facilidad (como por ejemplo superficies transparentes debido a la tecnología que utilizan estos sensores). En la Tabla 1.5 se observa una comparación entre algunos modelos de cámaras de profundidad:






Tabla 1.5. Características de cámaras de profundidad.
Fuente: Intel (2019), eYs3D Microelectronics (2018)

Característica	Intel RealSense Depth Camera D415	Intel RealSense Depth Camera D435	Intel RealSense Depth Camera L515 LiDAR	Eys3D Stereo Camera EX8036
Rango	0.3 – 10m	0.2 – 10m	0.25 – 9m	0.2 – 3.5m
Corriente	700Ma	700Ma	380 – 780 Ma	350Ma – 900Ma
Resolución RGB	1920 x 1080	1920 x 1080	1920 x 1080	2560 x 960
FPS (Cuadros por segundo)	90 fps	90 fps	30 fps	90 fps
Interfaz y Requerimientos de Sistema	USB 2.0/USB 3.1 Gen 1 Ubuntu*16.xx/ Windows10	USB 2.0/USB 3.1 Gen 1 Ubuntu*16.xx/Wi ndows* 10	USB 3.1 Gen 1 Ubuntu*16.xx/18. 04 LTS Windows*10 (build 15063 or later)	USB3.0 o USB2.0 Type-MicroB
Dimensiones	99 x 20 x 23 mm	90 x 25 x 25 mm	61 x 26 x 15 mm	100x30x28 mm
Ángulo de visión (Horizontal y Vertical)	64° ± 3° (H) 41° ± 3° (V)	64° ± 3° (H) 41° ± 3° (V)	70° ± 2° (H) 55° ± 2° (V)	100° ± 2° (H) 67.5° ± 2° (V)
Precio	\$163.75	\$198.75	\$356.4	\$350
Imagen				

Pantallas para interfaz

Las pantallas permitirán implementar la interfaz del robot móvil, para poder programar el pedido y controlar el robot y éste pueda proceder a realizar los recorridos y extracción de los productos. En la Tabla 1.6 se observa una comparación entre algunos modelos de pantallas disponibles:

Tabla 1.6. Características de pantallas para interfaz.
Fuente: Digikey Electronics (2020), SIEMENS (2014)

Característica	3M MicroTouch Display C1500SS	Raspberry Pi 7" Touch Screen	Gen4 – HMI Display Module Series	1. DOP- 107WV HMI	SIEMENS HMI KTP700 BASIC
Resolución	1024 x 768	800 x 480	800 x 480	800 x 480	800 x 480
Tamaño pantalla (diagonal)	15"	7"	7"	7"	7"
Conectividad a Internet	No	No	No	Sí	Sí
Interfaz	USB	GPIO y cable para puerto DSI	GPIO	Ethernet, USB, COM	USB, Ethernet
Altavoces o buffer	No	No	Sí	Sí	No
Vibración	No	No	Sí	Sí	Sí
Voltaje	12 VDC	5 VDC	5 VDC	24 VDC	24 VDC
Temperatura de Operación	0 a 40°C	-20 a 70°C	-20 a 70°C	0 a 50°C	0 a 40°C
Precio	\$631.22	\$79	\$182.58	\$405	\$607
Imagen					


Sistemas para el accionamiento de la sujeción de paquetes

Se necesita un mecanismo para poder accionar la sujeción de paquetes del robot y que pueda desplazarse a una altura determinada y poder soportar el peso correspondiente a los productos recogidos. Los sistemas de accionamiento se clasifican en 3 tipos según la energía que utilizan: Sistema Hidráulico, Neumático y Eléctrico. El sistema hidráulico utiliza la presión de un fluido hidráulico para su accionamiento, los actuadores pueden ser del tipo cilindro, del tipo motores de aletas y pistones y válvulas. Se utilizan en robots que requieran velocidad para ejecutar tareas. Por otro lado, el sistema neumático utiliza como fuente de energía al aire. Al igual que los sistemas neumáticos, los actuadores pueden ser cilindros neumáticos, motores neumáticos (de aletas o de pistones axiales) y válvulas neumáticas. Por último, el sistema eléctrico utiliza como fuente de energía a la energía eléctrica. Es el más usado en robots industriales actuales, debido a sus características de control, sencillez y precisión, los

actuadores eléctricos pueden ser motores DC (servomotores), motores paso a paso, motores híbridos. Los motores AC (síncronos o asíncronos) no ha tenido mucha aplicación en robótica debido a la dificultad para su control (Sarmiento, 2012). En la tabla 1.7 se presenta una comparación de los sistemas de accionamiento.

Tabla 1.7. Comparación de sistemas de accionamiento.
Fuente: Sarmiento, I. (2012)

Sistema de accionamiento	Ventajas	Desventajas	Ejemplo de Aplicación
<p>Sistema Hidráulico</p>	<p>. Las características de este fluido son distintas al de los sistemas neumáticos (aire) pues su grado de compresibilidad es menor y por ello se obtiene mayor precisión que un sistema neumático. Por esta misma razón es que se puede realizar un control continuo más fácil, ya que hay más precisión en el posicionamiento del eje del cilindro hidráulico.</p> <p>. Posee estabilidad frente a cargas estáticas, es decir, soporta cargas como por ejemplo el peso sin aportar energía. Por último, también destacar su gran capacidad de carga y relación potencia-peso.</p>	<p>. Las elevadas presiones de trabajo pueden causar la existencia de fugas del fluido en la instalación.</p> <p>. La instalación es más difícil en comparación a la de los actuadores neumáticos y más aún que para los eléctricos. Por ello se necesitan filtros de partículas, equipos de eliminación de aire, sistemas de refrigeración y control de distribución.</p>	 <p>Figura 1.30. Montacarga Hidráulico. Fuente: https://machintecno.cl/producto/montacarga-hidraulico/</p>
<p>Sistema Neumático</p>	<p>. Son adecuados en dispositivos sencillos, para apertura y cierre de pinzas o en ciertas articulaciones de un robot (tipo scara).</p> <p>. Su sencillez y robustez hacen adecuado su uso en aquellos casos en los que sea suficiente un posicionamiento en dos situaciones diferentes.</p> <p>. Son más económicos que los hidráulicos</p>	<p>. Instalación especial pues se debe tener en cuenta que el empleo de un robot con algún accionamiento neumático deberá disponer de una unidad de mantenimiento, la cual incluye: compresor, sistema de distribución, filtros, etc.</p> <p>. Dificil control continuo debido al grado de compresibilidad del aire.</p> <p>. Son ruidosos</p>	 <p>Figura 1.31. Montacarga Neumático. Fuente: https://toyotamontacargas.mx/montacargas-neumatico-electrico</p>

Sistema Eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> . Son precisos y fiables para robots que no demanden altas velocidades ni potencia. . Son silenciosos . Su control es sencillo debido a que tienen precisión en su posicionamiento. . Son de fácil instalación pues no requieren sistemas adicionales como en el caso de los sistemas neumáticos o hidráulicos. 	<ul style="list-style-type: none"> . Tienen potencia limitada. Requieren de potencia para mantener la sujeción de la carga. 	 <p>Figura 1.32. Montacarga Eléctrico. Fuente: https://www.hyster.com/latin-america/es-mx/rango-de-productos/montacargas-electricos-de-4-ruedas/e2.2-3.5xn/</p>
--------------------------	--	--	---



CAPÍTULO 2

DISEÑO CONCEPTUAL

En el presente capítulo se presenta la lista de requerimientos del sistema mecatrónico que servirá para el desarrollo del proyecto. Asimismo, se presenta la estructura de funciones del sistema y la matriz morfológica para poder obtener variados conceptos de solución que luego serán desarrollados y evaluados en base a criterios técnicos y económicos. En la parte final de este capítulo se presentará el concepto de solución óptimo mejorado y su modelo 3D preliminar.

2.1 Requerimientos del Sistema

En el proceso de diseño de un sistema mecatrónico se requiere definir de manera adecuada los requerimientos del sistema, mediante las características principales que el sistema debe tener en base a la propuesta de solución. Los requerimientos que se han considerado para el sistema se presentan en el Anexo A. En la Tabla 2.1 se detallan los requerimientos principales del sistema.

Tabla 2.1. Requerimientos principales del sistema mecatrónico. Fuente: Elaboración Propia

Requerimiento	Descripción
Función Principal	Realizar el proceso de Picking de manera automática en base a un pedido programado para poder optimizar este proceso.
Geometría	El robot deberá tener dimensiones máximas son 200 x 150 x 250 cm. (considerando el sistema de sujeción sin extender en su totalidad). Dichas dimensiones permiten al sistema operar en almacenes de una altura mayor a 3m.
Fuerzas	. El robot móvil será capaz de llevar una carga de 1500 kg como máximo (para garantizar estabilidad del robot con la carga en la altura). . El robot móvil debe pesar como máximo 800 kg (para poder representar un contrapeso a la carga útil del robot).
Uso	El sistema está destinado a utilizarse en almacenes con una altura máxima de 3.7 m. Se pretende que el área de trabajo tenga un rango de temperatura de 15 a 45°C sin límite de humedad. Asimismo, durante la operación del robot no debe haber operarios (o lo menos posible) transitando por el espacio de los almacenes (área de operación del robot).
Energía	. El robot móvil trabajará con una batería recargable que tenga una duración máxima de 8 horas (autonomía). . La fuente de carga debe ser de 220 VAC 60Hz, que es la toma eléctrica que utilizan en gran parte de Europa y América del Sur.

2.2 Funciones parciales o proceso técnico

A. Programación del pedido

A.1. Ingresar al sistema del robot por medio la interfaz para programar el pedido

A.2. Asegurar que los productos del pedido estén disponibles en el almacén

A.3. Asegurar que el peso de los productos del pedido no exceda el límite permitido

B. Ejecución

B.1. Generar trayectorias para un desplazamiento óptimo según el pedido programado

B.2. Desplazar el robot a la ubicación del producto dentro del almacén

B.3. Ascender el sistema de sujeción a la altura del producto para poder extraerlo

B.4. Extraer el producto requerido según el pedido programado

B.5. Descender el sistema de sujeción a una altura adecuada para poder iniciar el traslado

B.6. Trasladar el producto a la zona de verificación y acondicionamiento del almacén

C. Fase Final

C.1. Dejar el producto en la zona de verificación y acondicionamiento

C.2. Verificar si se han extraído todos los productos del pedido

C.3. Reiniciar la secuencia en caso no se hayan completado todos los productos del pedido programado

2.3 Estructura de Funciones

2.3.1 Abstracción o función total del sistema

A continuación, se presentará la Caja negra (Blackbox) en el cual se muestran las entradas y salidas del sistema y representa el proceso de abstracción para abarcar las soluciones posibles. Estas entradas y salidas pueden ser de tres tipos: materia, energía e información.

Entradas del sistema

- Entradas de información
 - Señal de encendido: Señal que permite prender el robot para poder interactuar con él.
 - Señal de inicio programación de pedido: Señal que permite empezar a seleccionar los productos del pedido.
 - Señal de emergencia: Señal que tiene la capacidad de detener el sistema en cualquier proceso que se esté ejecutando y se puede activar en cualquier momento.
 - Señal de inicio de desplazamiento y extracción: Señal que permite dar inicio a los procesos de desplazamiento y extracción de los productos.

- Entradas de materia
 - Cajas de productos: La materia prima será las cajas de los productos que se encuentran sobre pallets en los racks de los almacenes.
 - Humedad y polvo: Son materia que pueden estar presentes en un ambiente de almacén.

- Entradas de energía
 - Energía Eléctrica proveniente de la batería, cuya fuente de carga debe ser 220V a 60 Hz, la cual alimentará a todo el sistema y los distintos sensores, controladores, sistema de accionamiento de sujeción, etc.
 - Energía hidráulica o neumática: Dependerá del tipo de sistema de accionamiento de sujeción de los productos, ya sea hidráulico (sería ejercida por un cilindro hidráulico) o neumático (sería ejercida por un cilindro neumático).

Salidas del sistema

- Salidas de materia
 - Cajas de productos extraídos y trasladados: Se encuentra en pallets y son trasladados a la zona de verificación y acondicionamiento.

- Salidas de información
 - Señal de estado del sistema: Señal que indicará el estado del robot. Este debe indicar si se encuentra en ejecución, la etapa que está realizando. Además de indicar si se ha pausado o detenido el proceso o ya se terminó con el pedido.
 - Señal de pedido terminado: Señal que indicará que el robot ya ha recogido todos los productos del pedido terminado.
 - Señal de cantidad de productos recogidos en el pedido: Señal que indica cuántos productos se han recogido hasta ese momento del pedido programado.
 - Señal de falla: Señal visual que se activará en caso se produzca un desperfecto de algún componente durante la ejecución del robot.
 - Señal de emergencia: Señal sonora que se activará si el sistema presenta una emergencia. Por ejemplo, si el robot traslada a una altura considerable el producto extraído, esto podría provocar un accidente perjudicial para el robot y los operadores cerca.

- Salidas de energía
 - Energía mecánica
 - Energía sonora
 - Energía lumínica
 - Energía térmica

En la Figura 2.1 se presenta la caja negra del sistema con sus respectivas entradas y salidas definidas anteriormente.

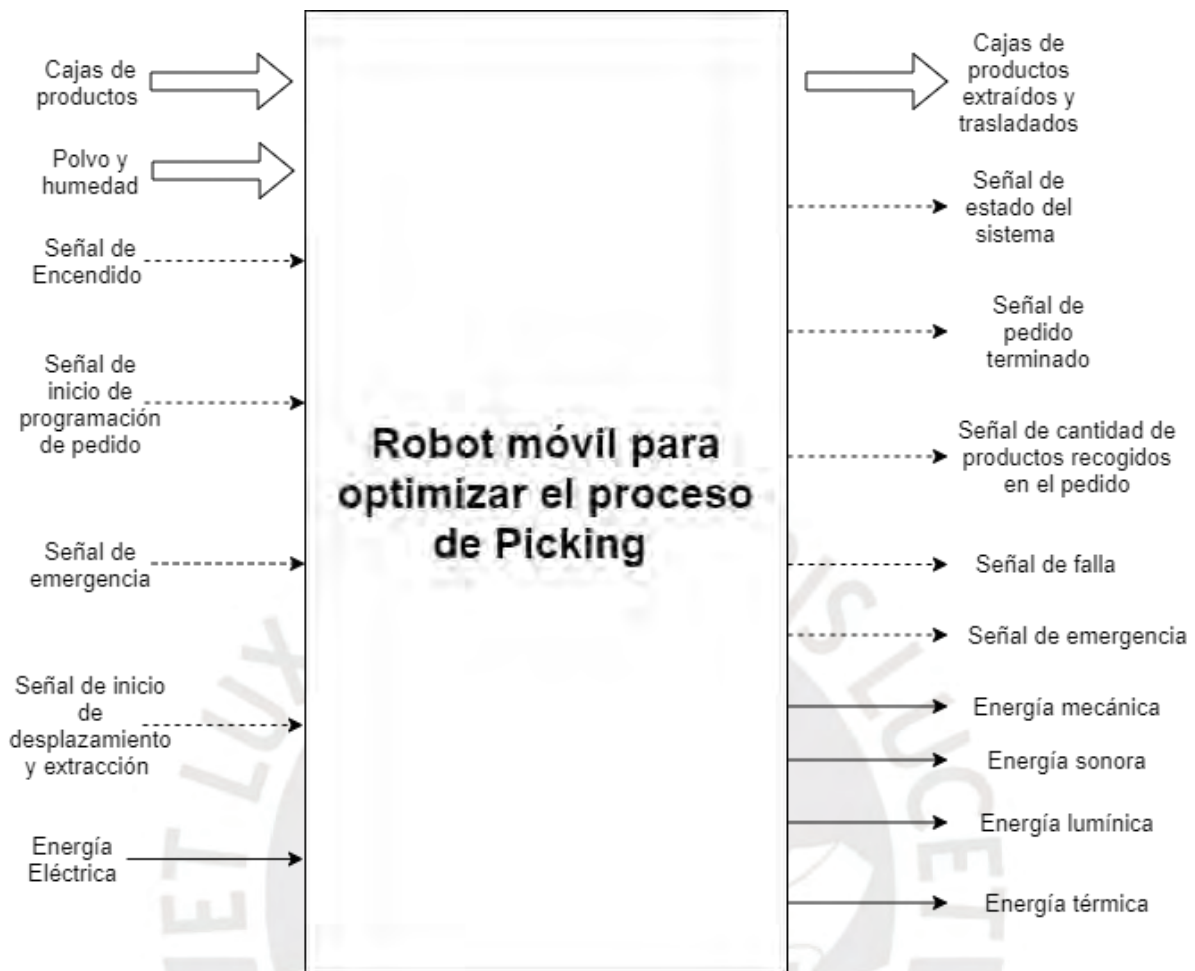


Figura 2.1. Caja negra (Blackbox) del sistema. Fuente: Elaboración propia.

2.3.2 Dominio Mecánico

Este dominio tiene las principales funciones o movimientos del sistema, las cuales se detallarán a continuación:

- **Desplazar a ubicación producto:** Esta función se encargará de llevar el robot a la ubicación del producto.
- **Posicionar para extracción:** Esta función se encargará de posicionar el robot para iniciar la extracción del producto.
- **Extraer producto:** Mediante esta función se extrae el producto del almacén con el sistema de sujeción.
- **Posicionar para traslado:** Esta función permite posicionar el robot para poder trasladar el producto.

- **Trasladar producto:** Permite trasladar el producto hacia la zona de verificación y acondicionamiento.
- **Dejar producto:** Mediante esta función se deja el producto en la zona de verificación y acondicionamiento.

2.3.3 Dominio sensores

Este dominio se encargará de sensar los datos del entorno, de los datos provistos por el operario a través de la interfaz, del sistema de sujeción, la velocidad:

- **Detectar entorno:** Con esta función se detectan la presencia de obstáculos y superficies alrededor.
- **Sensar velocidad:** Con esta función se puede monitorear la velocidad de desplazamiento del robot.
- **Sensar altura del sistema de sujeción:** Permite conocer a qué altura está el sistema de sujeción del sistema.
- **Sensar ubicación producto:** Permite conocer la ubicación del producto a extraer que se encuentra en los estantes del almacén.

2.3.4 Dominio energía

Este dominio se encarga de suministrar energía a los diferentes componentes del sistema, acondicionando la energía requerida para cada uno de ellos.

- **Energizar el sistema:** Mediante esta función se energiza el sistema con la energía eléctrica, para después ser acondicionada a los diferentes componentes.
- **Acondicionar energía para control:** Con esta función se regula el voltaje de entrada para el controlador.
- **Acondicionar energía para sensores:** Con esta función se regula el voltaje de entrada para los sensores del sistema.
- **Acondicionar energía para actuadores:** Con esta función se regula el voltaje de entrada para actuadores del sistema.
- **Acondicionar energía para interfaz:** Con esta función se regula el voltaje de entrada para la interfaz del sistema.

2.3.5 Dominio actuadores

Este dominio contiene las funciones que realizan una acción física en el sistema.

- **Accionar desplazamiento y posicionamiento para extracción:** El sistema se desplazará a la ubicación del producto y se posicionará para la extracción del producto del almacén.
- **Accionar extracción:** El sistema extraerá el producto de su ubicación dentro del almacén.
- **Accionar posicionamiento y traslado de producto:** El sistema se posicionará para el traslado del producto extraído y trasladará el producto extraído a la zona de verificación y acondicionamiento.
- **Accionar dejado de producto:** El sistema dejará automáticamente el producto en la zona de verificación y acondicionamiento y continuará en caso fuera con los demás productos del pedido.
- **Accionar parada de emergencia:** Actuador que permite funcionar la alarma del robot en caso de alguna emergencia.

2.3.6 Dominio Control

En este dominio se identifican y procesan los datos de los sensores y de los datos ingresados en la interfaz. Luego de ello, se mandan instrucciones e información a los actuadores e interfaz del sistema.

- **Generar rutas:** En base a la información obtenida de los sensores se genera la trayectoria para el desplazamiento del robot al producto.
- **Localizar el robot:** Permite procesar la data del posicionamiento del robot.
- **Recepcionar estado de la batería:** Permite obtener el estado de la batería durante el funcionamiento del robot.
- **Enviar señal de control:** Se envía señales de control a los actuadores para su respectivo movimiento.
- **Enviar información:** Envía a la interfaz las señales de cantidad de productos, señal de emergencia y señal de estado del proceso.
- **Corregir posición:** Envía una instrucción para poder corregir su posición para la adecuada extracción de los productos.

- **Conectar con sistema de gestión almacén:** Mediante esta función se permite conectar con el sistema de gestión del almacén para poder acceder a la información de los productos disponibles.

2.3.7 Dominio Interfaz

Este dominio se encargará de la interfaz de interacción humano - máquina, para facilitar el uso del robot.

- **Iniciar/Apagar el sistema:** El sistema contará con un método para encender todo el sistema o apagarlo.
- **Programar el pedido:** El operario mediante la pantalla podrá programar los productos que contienen el pedido requerido.
- **Mostrar cantidad de productos recogidos:** Mediante la interfaz se mostrará la cantidad de productos recogidos en el pedido en tiempo real.
- **Mostrar estado del proceso:** Función que permite mostrar el estado del proceso si está en marcha, detenido o mostrando una alerta por una falla.
- **Confirmar el pedido programado e inicio del proceso:** Función que permite confirmar el pedido programado por el operario para poder generar los recorridos según el pedido e indicar el inicio del proceso.
- **Mostrar señal de emergencia:** Mediante la interfaz se mostrará la señal de emergencia en caso sea requerido.

A continuación, en la Figura 2.2, en base a la información de a la información de las funciones de cada dominio y de las entradas y salidas de la caja negra, se ha elaborado la estructura de funciones del sistema.

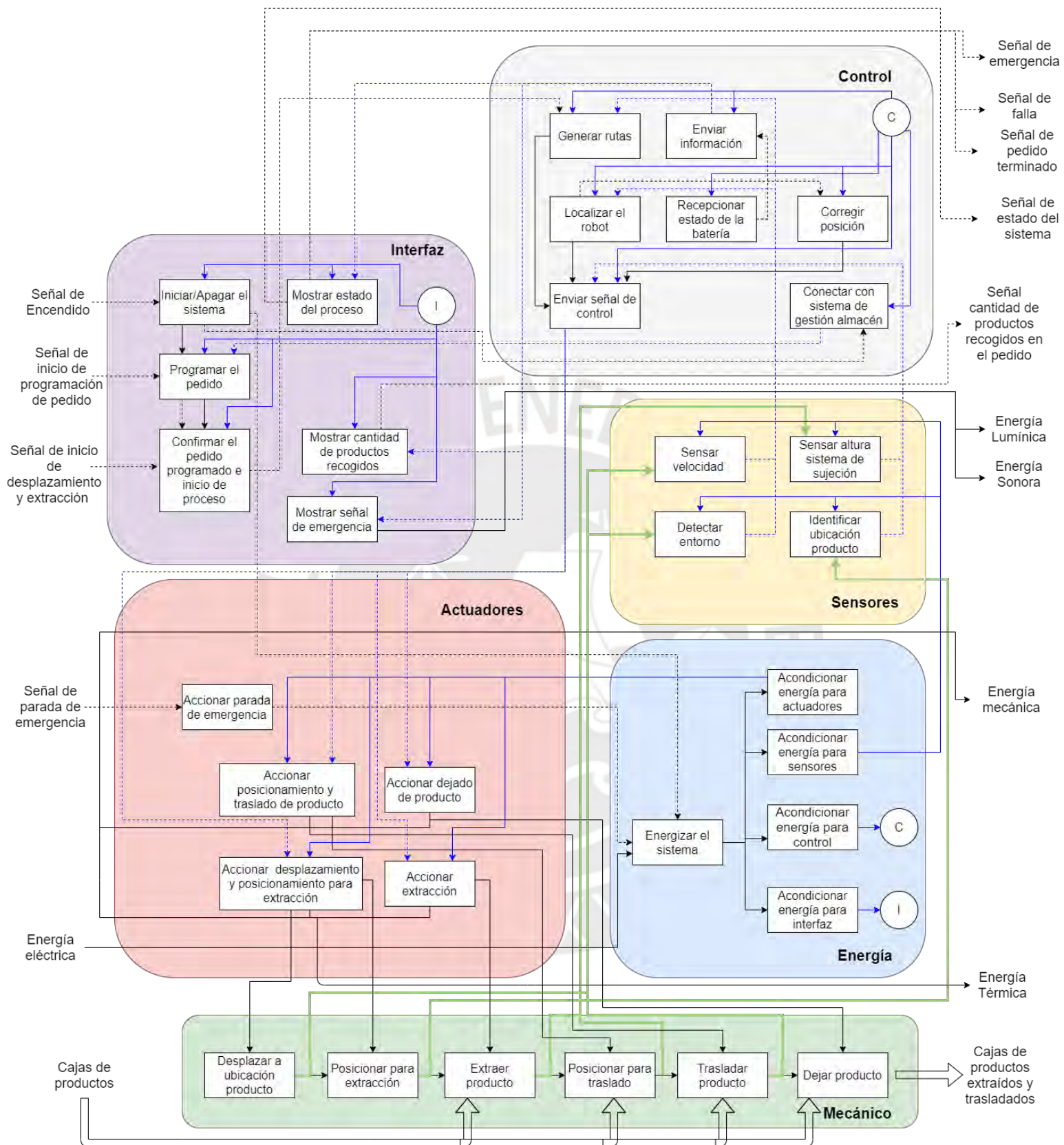


Figura 2.2. Estructura de funciones del sistema. Fuente: Elaboración propia

2.4 Matriz Morfológica

En esta sección se presenta el desarrollo de las matrices morfológicas de cada dominio, los cuales fueron descritos anteriormente. Mediante la matriz morfológica de Zwicky, se toma en cuenta a las funciones parciales y a los portadores de las funciones para poder elegir distintos conceptos de solución. La matriz morfológica por cada dominio se encuentra en el Anexo B. En la Tabla 2.2 se resumen las soluciones obtenidas para cada función del sistema.

Tabla 2.2. Soluciones obtenidas de la matriz morfológica. Fuente: Elaboración Propia

Dominio	Funciones	Conceptos de solución			
		Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4
Mecánico	Desplazar a ubicación producto y trasladar producto	Configuración diferencial	Configuración Ackermann	Configuración omnidireccional	Configuración diferencial
	Posicionar para extracción y posicionar para traslado	Rueda convencionales y ruedas orientables no centrada (castor)	Ruedas convencionales	Ruedas omnidireccionales	Brazo telescópico con dos horquillas
	Extraer producto y dejar producto	Horquilla de dos brazos	Mecanismo Doble Reach	Brazo robótico pinza	Horquilla de dos brazos
Sensores	Detectar entorno	LiDAR y cámara de profundidad	LiDAR y ultrasonido	LiDAR, cámara de profundidad y ultrasonido	Radar
	Sensar velocidad	Encoder rotativo óptico	Encoder cuadratura de Efecto Hall (magnético)	Encoder capacitivo	Encoder inductivo
	Sensar altura sistema de sujeción	Sensor láser	Sensor inductivo	Sensor inductivo	Sensor láser
	Sensar ubicación producto	Cámara de profundidad	Sensor inductivo	Cámara de profundidad	Sensor láser
Energía	Energizar el sistema	Baterías de Níquel de iones de litio (Li-Ion)	Baterías de Níquel de iones de litio (Li-Ion)	Baterías de Níquel e Hidruro metálico (Ni/MH)	Baterías de Níquel e Hidruro metálico (Ni/MH)
	Acondicionar energía para control, sensores, actuadores e interfaz	Convertidor DC-DC Step Down (Conmutado) 25XX	Módulo LM78XX Regulador Lineal	Regulador lineal de voltaje variable LM3XX	Convertidor lineal de voltaje multicanal

Actuadores	Accionar desplazamiento y posicionamiento para extracción, para salida y traslado de producto	Motor con escobillas DC	Motor sin escobillas DC	Servomotor	Servomotor
	Accionar extracción y dejado de producto	Cilindro hidráulico doble efecto	Cilindro neumático doble efecto	Actuador lineal eléctrico	Cilindro hidráulico doble efecto
	Accionar parada de emergencia	Palanca	Pantalla táctil	Palanca	Palanca
Control	Generar rutas	Diagrama de Voronoi	Diagrama de Voronoi	Diagrama de Voronoi	Método Quadtree
	Localizar el robot	SLAM con Particle Filter	SLAM con Kalman Filter	SLAM con Particle Filter	SLAM con ICP
	Recepcionar el estado de la batería	Módulo de detección de voltaje de batería	Sensor de voltaje efecto Hall	Sensor de voltaje efecto Hall	Módulo de detección de voltaje de batería
	Enviar señal de control	Microprocesador y microcontrolador	Microcontrolador	Computadora Embebida	Microprocesador
	Enviar información				
	Enviar señal de posicionamiento				
	Conectar con sistema de gestión almacén				
Interfaz	Iniciar/Apagar el sistema	Botón pulsador	Botón switch	Botón pulsador	Palanca
	Programar el pedido	Pantalla táctil	Pantalla táctil	Control remoto	Pantalla táctil
	Mostrar cantidad de productos recogidos			Pantalla LCD	Display segmentos ⁷
	Mostrar estado del proceso		Led indicador		Led indicador
	Confirmar el pedido programado e inicio del proceso		Botón pulsador		Botón pulsador
	Mostrar señal de emergencia		Luces Estroboscópicas	Luces Estroboscópicas	Pantalla táctil

2.5 Conceptos de solución

En la presente sección se presentan las soluciones propuestas en base a las alternativas formuladas en la matriz morfológica de cada dominio del sistema.

2.5.1 Concepto de solución 1

Este concepto de solución emplea un sistema de sujeción de dos horquillas, el cual emplea dos cilindros hidráulicos. El motivo de emplear cilindros hidráulicos es por la estabilidad del sistema hidráulico frente a cargas estáticas y a su elevada capacidad de carga, empleando dos actuadores se asegura el soporte de la carga del pallet a recoger por el robot. Para el movimiento se usan dos ruedas motrices traseras en configuración diferencial y dos ruedas de castor en la parte delantera. Esta configuración le permite al robot hacer giros sobre su propio eje (es decir el punto medio entre las ruedas de tracción) y ello permite una mejor maniobrabilidad en las curvas. Para sensar la velocidad de los motores se utilizan encoders rotativos ópticos. Para la detección del entorno se emplean dos sensores LiDAR (uno para la parte delantera y otro para la parte trasera), una cámara de profundidad y para sensar la altura de las horquillas se utilizan dos sensores láser. La cámara de profundidad servirá para sensar la distancia del robot al estante del almacén y también para poder detectar el identificador del producto y conocer su altura. Para el control cuenta con un microprocesador y un microcontrolador, asimismo se usan baterías de ion de litio. Para la generación de rutas se usa el método de Diagrama de Voronoi y para la localización del robot se usa el algoritmo SLAM con Filtro de Partículas. En las siguientes figuras se muestra el concepto de solución completo y su diagrama de operación específicamente desde la llegada a la ubicación del producto hasta el inicio del traslado.

Leyenda:

1. Sensor LiDAR
2. Luz estroboscópica
3. Cámara de Profundidad
4. Cilindro hidráulico
5. Ruedas de castor
6. Motor DC con escobillas
7. Encoder Rotativo óptico
8. Botón ON/OFF
9. Palanca de emergencia

- 10. Leds indicadores de estado
- 11. Pantalla táctil
- 12. Sensor láser
- 13. Microprocesador
- 14. Microcontrolador
- 15. Baterías de ion de litio
- 16. Ruedas convencionales

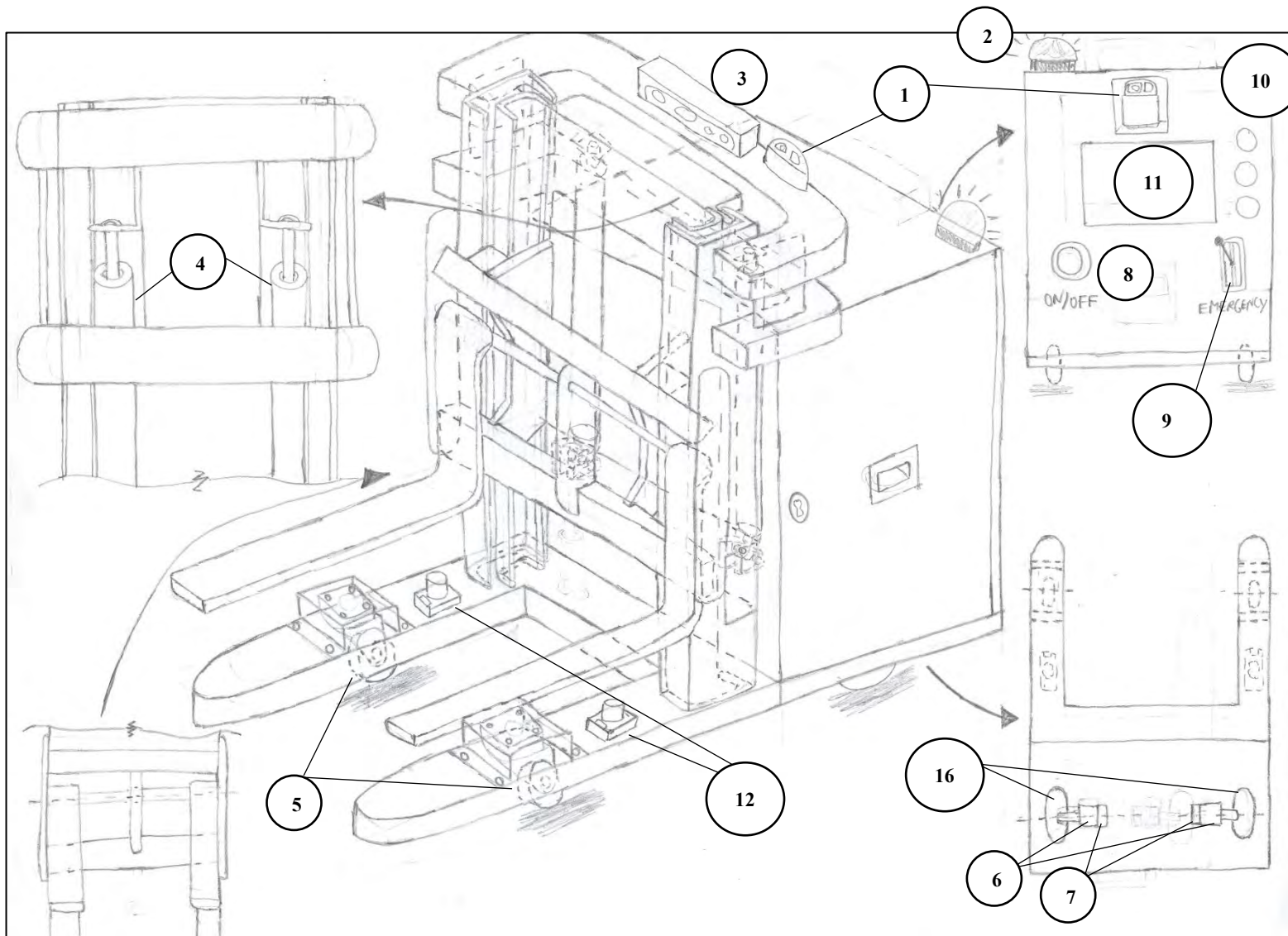


Figura 2.3. Primer concepto de solución. Fuente: Elaboración propia

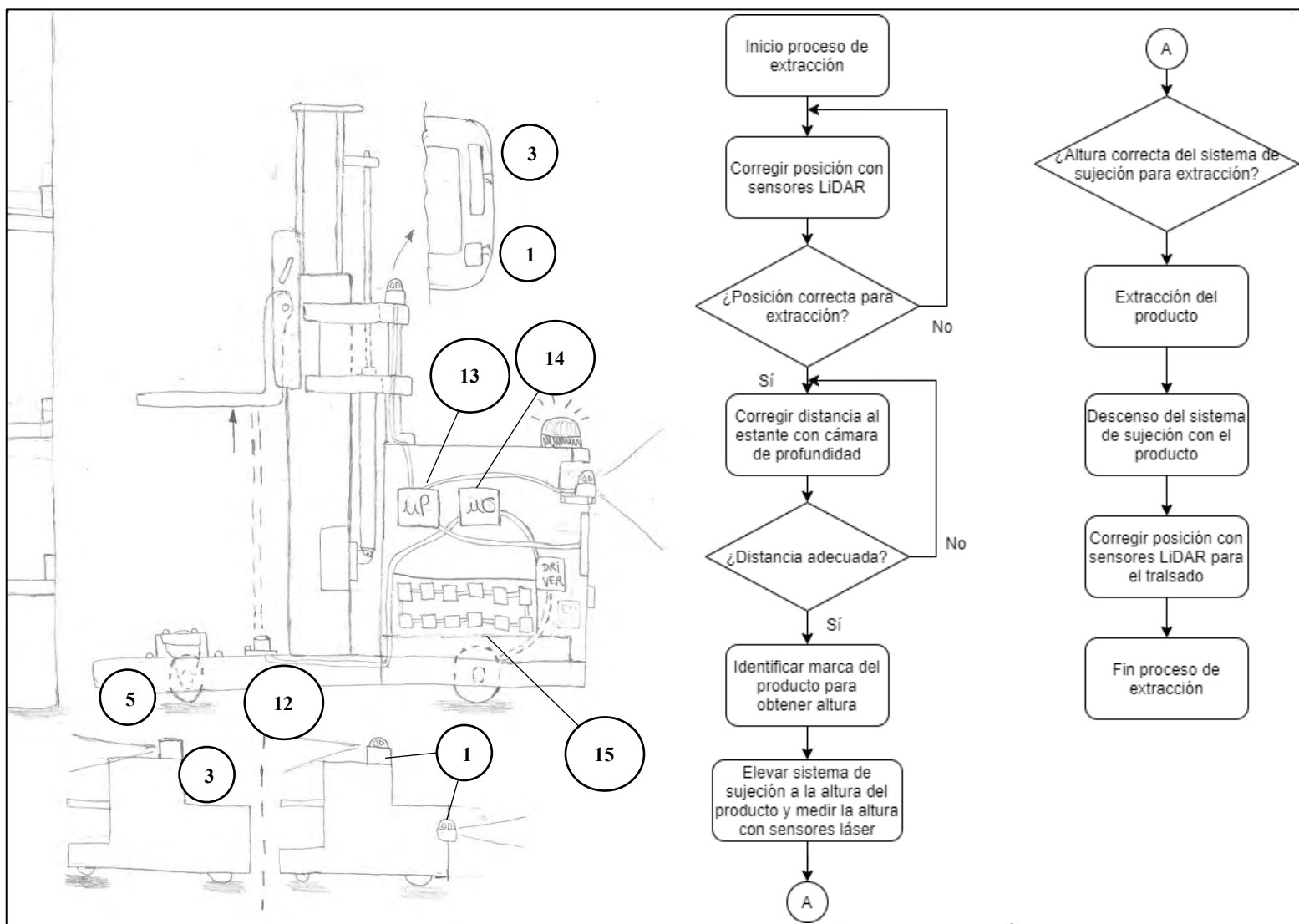


Figura 2.4. Primer concepto de solución (izquierda) y diagrama de operación de extracción (derecha).

Fuente: Elaboración propia

2.5.2 Concepto de solución 2

El segundo concepto de solución propuesto tiene un sistema de sujeción de dos horquillas de doble Reach, el cual usa dos cilindros neumáticos. El motivo de este sistema de sujeción neumático es debido a que son más robustos y sencillos; la cantidad de cilindros es para asegurar que soporte el peso total a cargar. Este concepto de solución utiliza para el movimiento una configuración Ackermann con dos ruedas motrices traseras y en la parte delantera dos ruedas convencionales. Con esta configuración le permite al robot tener una buena estabilidad en el desplazamiento y un buen control en las trayectorias rectas. En este concepto se usan encoders efecto Hall (magnético) para sensar la velocidad de los motores DC, los cuales son sin escobillas. Para la detección del entorno se utilizan dos sensores LiDAR (tanto para adelante como para atrás), dos sensores ultrasonido a los lados y para sensar la altura de las horquillas se utilizan dos sensores inductivos. En este caso la distancia al estante se medirá con un sensor inductivo. En esta solución se cuenta con un microcontrolador y también con baterías de ion de litio. Para la generación de rutas también se usa el método de Diagrama de Voronoi, mientras que para la localización del robot se usa el algoritmo SLAM con Filtro de Kalman. En las siguientes figuras se muestra el concepto de solución completo y su diagrama de operación específicamente desde la llegada a la ubicación del producto hasta el inicio del traslado.

Leyenda:

1. Sensor LiDAR
2. Luz estroboscópica
3. Cilindro neumático
4. Motor DC sin escobillas
5. Encoder efecto Hall (magnético)
6. Switch ON/OFF
7. Pantalla táctil
8. Sensor inductivo
9. Microcontrolador
10. Baterías de ion de litio
11. Sensor ultrasonido
12. Ruedas convencionales

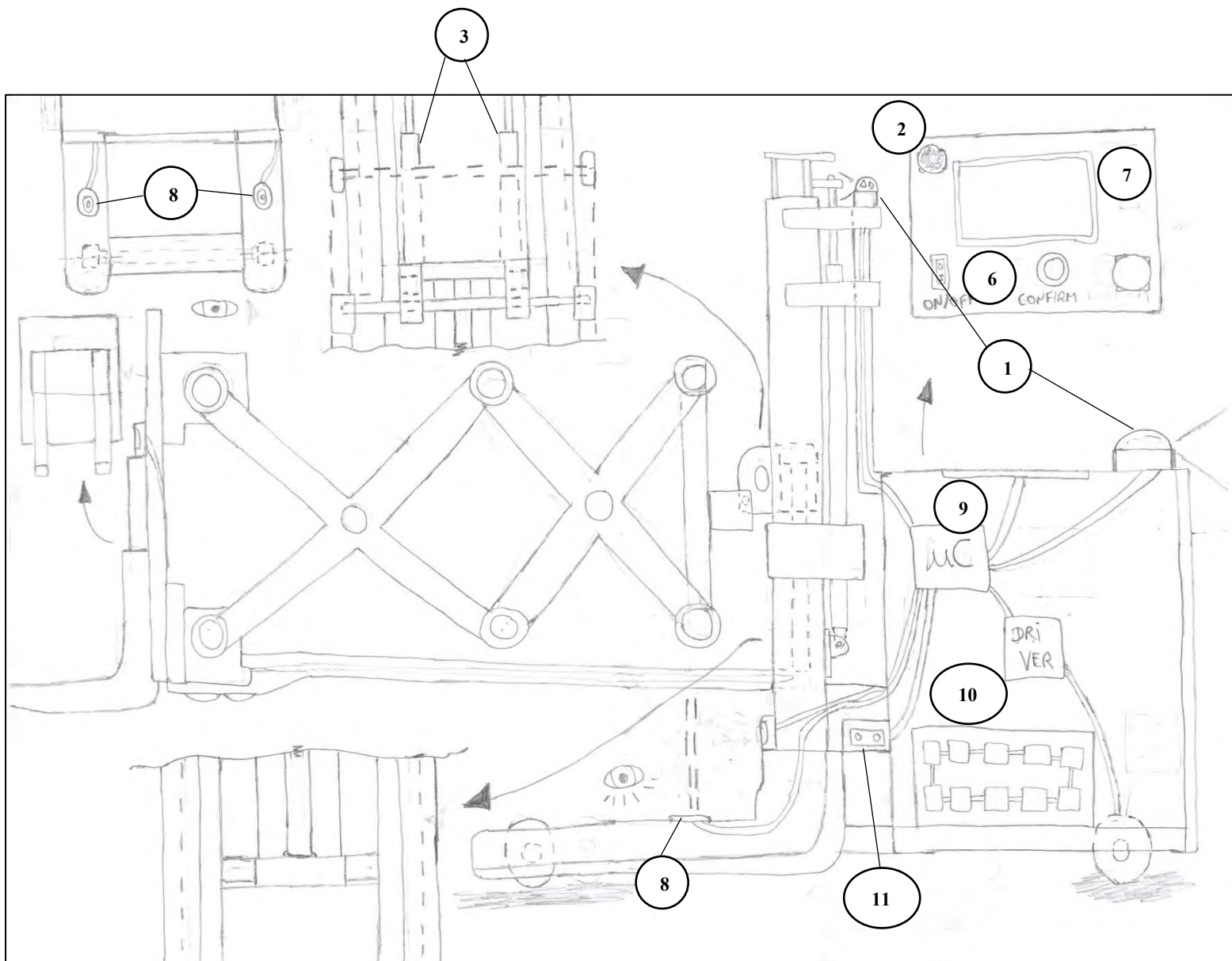


Figura 2.5. Segundo concepto de solución. Fuente: Elaboración propia

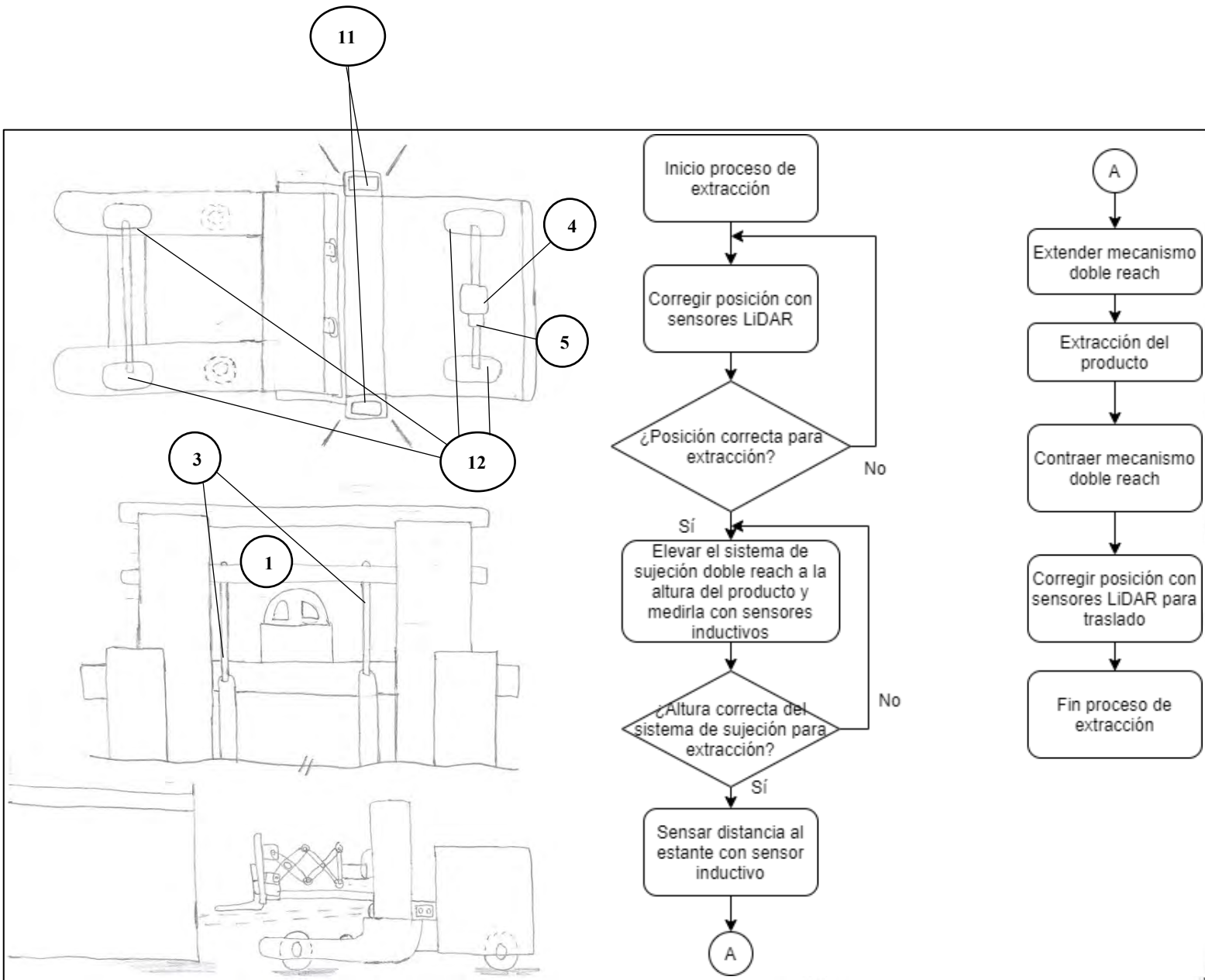


Figura 2.6. Segundo concepto de solución (izquierda) y diagrama de operación de extracción (derecha). Fuente: Elaboración propia

2.5.3 Concepto de solución 3

Este concepto de solución tiene un sistema de sujeción por medio de un brazo robótico de dos grados de libertad, el cual cuenta con una pinza, el brazo se desplaza a cierta altura mediante dos actuadores lineales eléctricos. El motivo de los actuadores eléctricos es debido a su sencillo control por la precisión de su posicionamiento. Además, este concepto utiliza para el movimiento se usan cuatro ruedas motrices en configuración omnidireccional, lo que le permite tener una completa maniobrabilidad, lo que permite que el robot pueda desplazarse en cualquier dirección sin necesidad de una orientación específica (rotar antes de desplazarse) y combinar rotación y traslación para que el robot llegue con la orientación requerida. Para la detección del entorno se utilizan dos sensores LiDAR, cuatro sensores ultrasonido en total (dos a cada lado) y para sensar la altura del sistema de sujeción se utiliza un sensor inductivo. La cámara de profundidad servirá para sensar la distancia del robot al estante y también para poder detectar el identificador del producto y determinar la altura a la que se encuentra, como en la primera solución. También tiene una computadora embebida y en este caso se usan baterías de níquel e hidruro metálico (Ni/MH). Para la generación de rutas se emplea el método de Diagrama de Voronoi y para la localización del robot se usa el algoritmo SLAM con Filtro de Partículas. En las siguientes figuras se muestra el concepto de solución completo y su diagrama de operación específicamente desde la llegada a la ubicación del producto hasta el inicio del traslado.

Leyenda:

1. Sensor LiDAR
2. Actuador lineal eléctrico
3. Cámara de profundidad
4. Servomotores
5. Botón ON/OFF
6. Pantalla táctil
7. Sensor inductivo
8. Computadora embebida
9. Baterías de níquel e hidruro metálico
10. Sensor ultrasonido
11. Ruedas omnidireccionales

12. Palanca de emergencia

13. Pantalla LCD

14. Control remoto

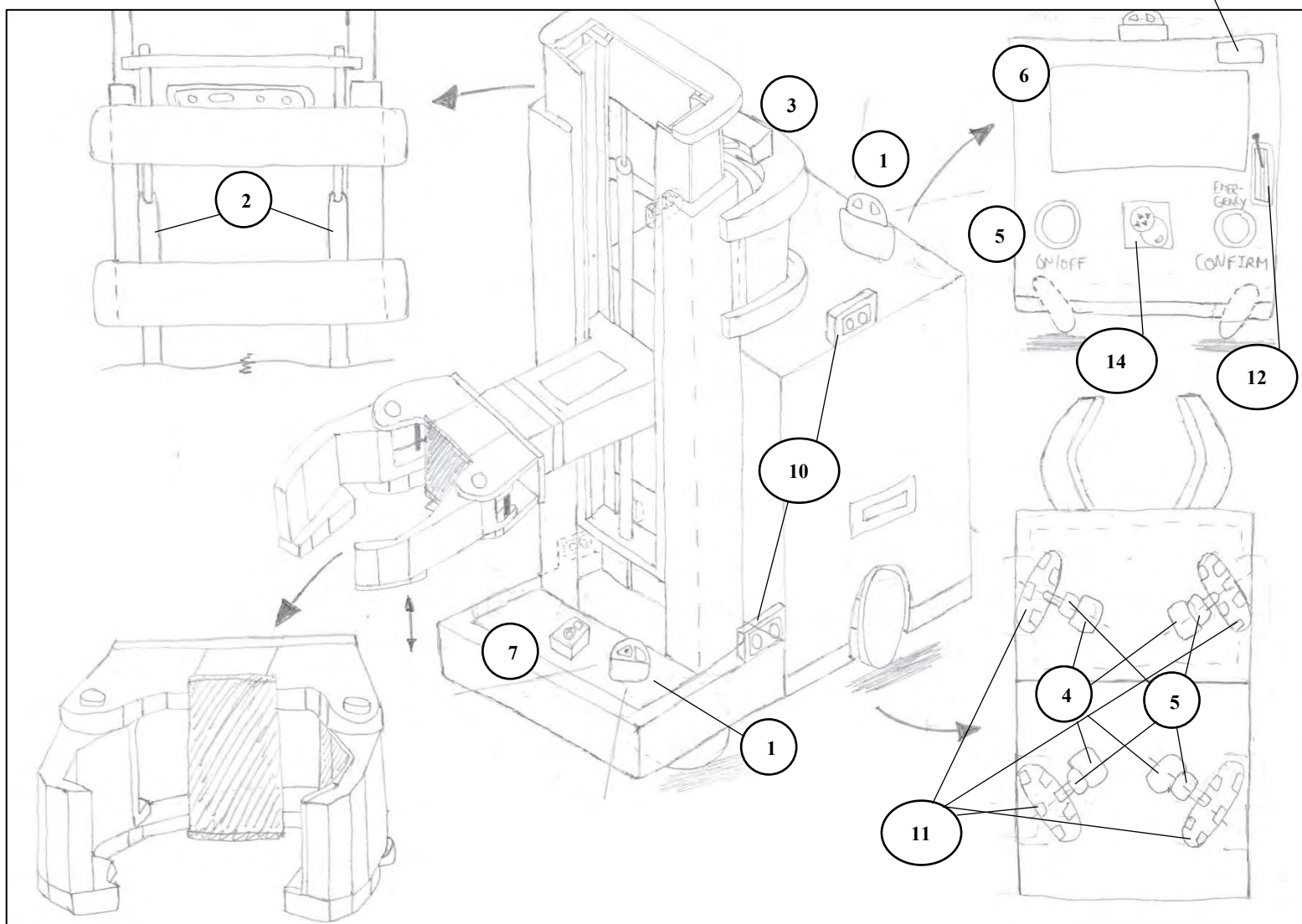


Figura 2.7. Tercer concepto de solución. Fuente: Elaboración propia

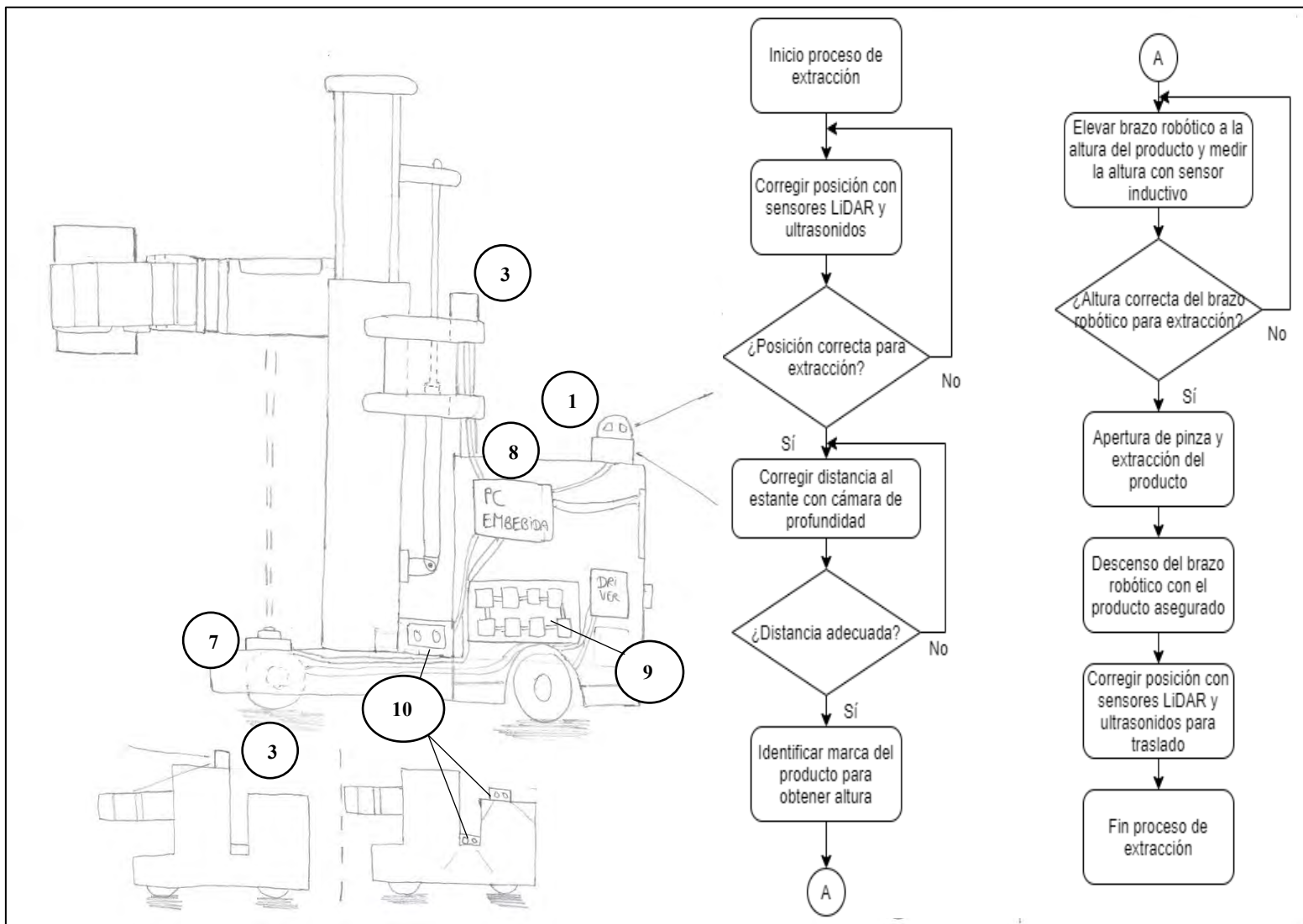


Figura 2.8. Tercer concepto de solución (izquierda) y diagrama de operación de extracción (derecha).

Fuente: Elaboración propia

2.5.3 Concepto de solución 4

El último concepto de solución propuesto tiene un sistema de sujeción basado en el de un montacargas telescópico con dos horquillas, el cual usa dos cilindros hidráulicos, los cuales se emplean debido a la buena precisión del control de posicionamiento de los mismos (mejor que los cilindros neumáticos). Además, este concepto de solución utiliza para el movimiento se usan dos ruedas motrices traseras en configuración diferencial y en la parte delantera se tiene dos convencionales. Con el empleo de esta configuración el robot tiene más posibilidades de giro (girar sobre sí mismo, girar sobre una rueda o girar mientras avanza). Para la detección del entorno se utilizan cuatro sensores de radar y para sensar la altura de las horquillas se utilizan tres sensores láser. En esta solución se cuenta con un microprocesador y también con baterías de níquel e hidruro metálico (Ni/MH). Para la generación de rutas también se usa el método Quadtree, mientras que para la localización del robot se usa el algoritmo SLAM con Filtro de Partículas. En las siguientes figuras se muestra el concepto de solución completo, su diagrama de operación específicamente desde la llegada a la ubicación del producto hasta el inicio del traslado y el diagrama de operación completo general. Este último diagrama de operación se puede aplicar para los cuatro conceptos de solución propuestos.

Leyenda:

1. Sensor Radar
2. Cilindro hidráulico
3. Servomotores
4. Botón ON/OFF
5. Pantalla táctil
6. Sensor láser
7. Microprocesador
8. Baterías de níquel e hidruro metálico
9. Ruedas convencionales
10. Palanca de emergencia
11. Display 7 segmentos

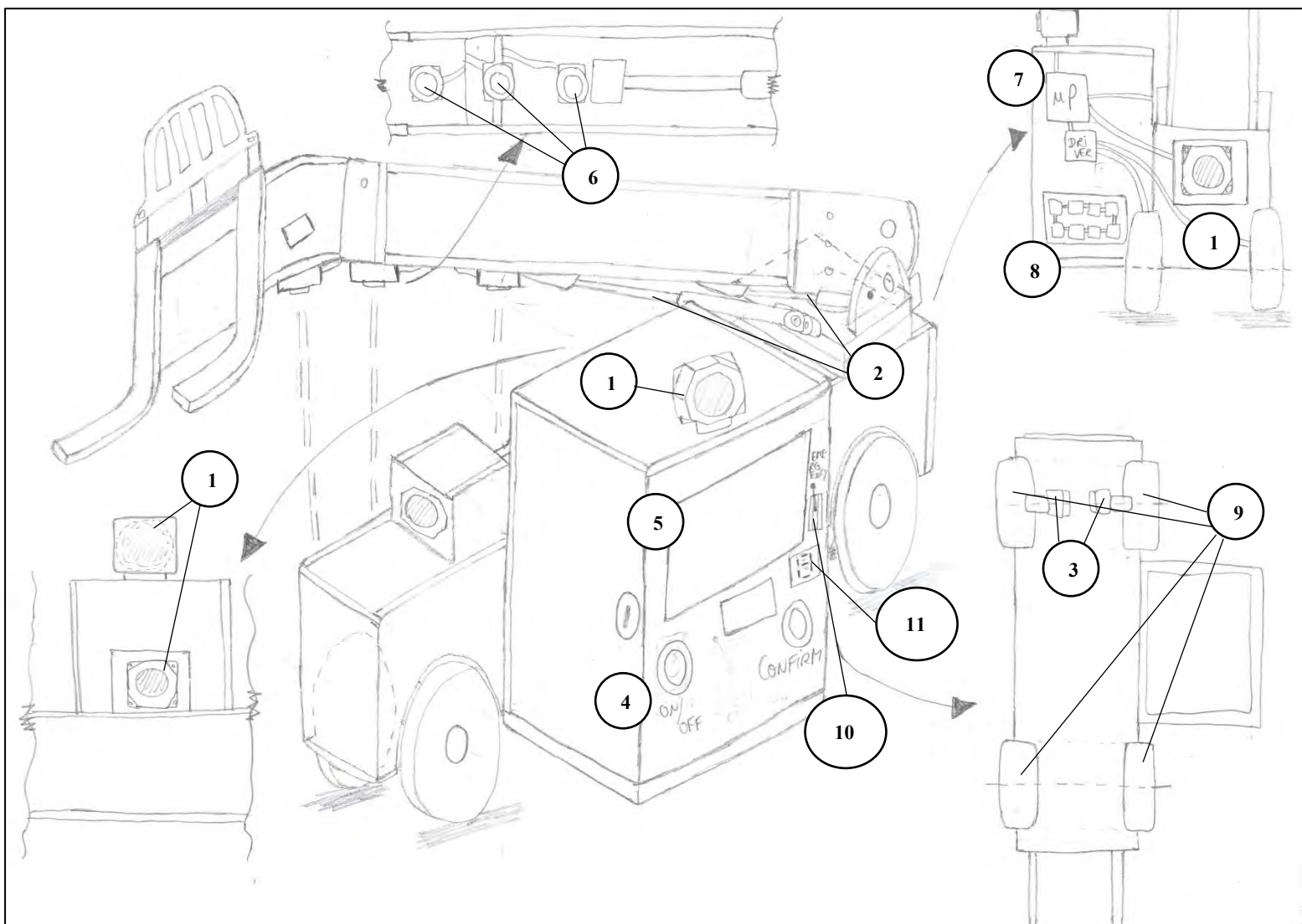


Figura 2.9. Cuarto concepto de solución. Fuente: Elaboración propia

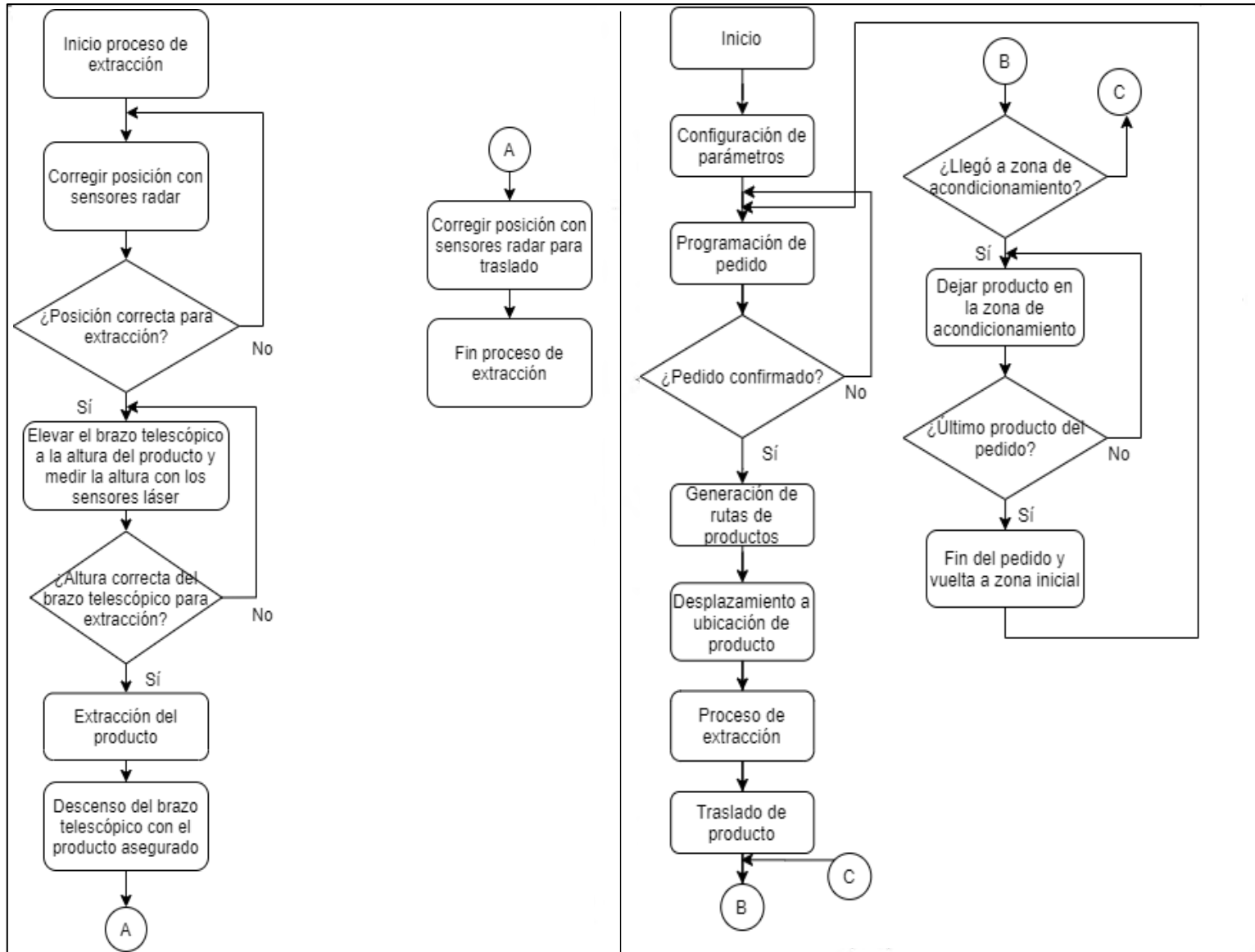


Figura 2.10. Diagrama de operación de extracción (izquierda) y diagrama de operación general del robot (derecha). Fuente: Elaboración Propia

2.6 Evaluación de los conceptos de solución

En esta sección se evaluarán los conceptos de solución integrados de acuerdo a la metodología establecida para el desarrollo, para lo cual se procederá a hacer un análisis técnico y económico de cada una de las propuestas presentadas anteriormente, para determinar la solución óptima.

A continuación, se explicarán los criterios empleados tanto en la evaluación técnica como en la económica:

Criterios de evaluación técnica

- Desplazamiento: Este criterio se refiere al correcto desplazamiento del robot y al control del mismo, según el sistema de locomoción elegido.
- Precisión de ubicación: Este criterio es referido a la precisión de la ubicación del robot en el almacén, así como para corregir la posición del robot tanto para la extracción como para el traslado.
- Manipulación de producto: Criterio que se refiere a la adecuada manipulación del producto a extraer por el robot, de manera que no se dañe.
- Seguridad: Este criterio se refiere a la seguridad del robot para el operario que programa el pedido, la seguridad de los componentes durante la operación, así como los distintos indicadores de alarma con los que cuenta el robot.
- Ergonomía: Este criterio se refiere al adecuado diseño del panel de operación para el óptimo desempeño del operario que programará el robot.
- Estabilidad: Aspecto que se refiere a la solidez del sistema de sujeción del producto cuando éste tiene un producto, en general a la solidez del robot.
- Diseño: Criterio referido a la forma del robot y aspectos como por ejemplo la resistencia a algún choque, deformación de la carcasa del mismo, etc.
- Función: Aspecto referido a la satisfacción de la función principal en base a los requerimientos definidos.

Criterios de evaluación económica

- Facilidad de Montaje: Criterio referido al costo tanto logístico como económico del montaje del robot.
- Costo de la tecnología: Aspecto que se refiere al costo de los componentes que conforman el concepto de solución.
- Mantenibilidad: Criterio que se refiere al costo requerido para el mantenimiento del robot.
- Número de piezas: Aspecto que toma en cuenta la cantidad de componentes y piezas para la implementación del robot.
- Facilidad de Adquisición de Materiales: Criterio referido a la dificultad para poder adquirir los materiales para la construcción del robot.
- Costos de operación: Aspecto referido a los gastos necesarios para poner en funcionamiento el robot durante la jornada en el almacén.
- Productividad: Criterio que se refiere a cuántos pedidos puede realizar el robot en un periodo tiempo según los recursos utilizados.
- Autonomía: Aspecto referido a la duración del robot en estado operativo y la eficiencia energética del dispositivo que almacena la energía eléctrica.

Los pesos indicados para cada criterio se dan en función de la importancia y para ello se considera más, en el caso de los criterios técnicos, el aspecto de la precisión de la ubicación, que mejora el desplazamiento y posicionamiento del robot; la manipulación del producto para la seguridad del mismo; la estabilidad que es importante en la extracción y el traslado con el producto, a fin de evitar accidentes cuando se desplace el robot con un producto; y finalmente el cumplimiento de la función en base a los requerimientos propuestos. Los demás criterios también tienen mucha importancia por ello el peso que se les ha brindado no se diferencia mucho de éstos y también entre ellos mismos.

En cuanto a los criterios económicos, se otorga más importancia al número de piezas o componentes del proyecto y a la productividad, pues es justamente lo que se busca mejorar con la implementación de este robot. Los demás criterios también se toman en cuenta en igual grado para el aspecto económico y por ello el peso otorgado a ellos es igual pero ligeramente menor a los anteriormente mencionados.

Tabla 2.3. Valor técnico de los conceptos de solución. Fuente: Norma VDI 2221

Diseño Mecatrónico - Evaluación de Proyectos													
Valor Técnico (Xi)													
Proyecto: Robot móvil para optimizar el Picking de una empresa													
Criterios de evaluación													
p: puntaje de 0 a 4													
0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien (ideal)													
g: peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación													
Variantes de Concepto/ Proyectos			Solución 1			Solución 2		Solución 3		Solución 4		Solución Ideal	
Nº	Criterios de evaluación técnica	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	
1	Desplazamiento	3	3	9	2	6	2	6	3	9	4	12	
2	Precisión de ubicación	4	3	12	2	8	3	12	2	8	4	16	
3	Manipulación de producto	4	3	12	3	12	2	8	3	12	4	16	
4	Seguridad	3	3	9	3	9	3	9	3	9	4	12	
5	Ergonomía	3	3	9	2	6	3	9	3	9	4	12	
6	Estabilidad	4	3	12	2	8	3	12	2	8	4	16	
7	Diseño	3	3	9	2	6	2	6	3	9	4	12	
8	Función	4	3	12	3	9	2	8	3	12	4	16	
Puntaje máximo Σp ó Σgp		28	25	84	19	64	20	70	22	76	32	112	
Valor técnico Xi			0.75			0.57		0.63		0.68		1	
Orden			1			4		3		2			

Tabla 2.4. Valor económico de los conceptos de solución. Fuente: Norma VDI 2221

Diseño Mecatrónico - Evaluación de Proyectos													
Valor Económico (Yi)													
Proyecto: Robot móvil para optimizar el Picking de una empresa													
Criterios de evaluación													
p: puntaje de 0 a 4													
0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien (ideal)													
g: peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación													
Variantes de Concepto/ Proyectos			Solución 1			Solución 2		Solución 3		Solución 4		Solución Ideal	
Nº	Criterios de evaluación técnica	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	
1	Facilidad de Montaje	3	3	9	2	6	2	6	2	6	4	12	
2	Costo de la tecnología	3	2	6	2	6	2	6	2	6	4	12	
3	Mantenibilidad	3	3	9	2	6	2	6	2	6	4	12	
4	Número de piezas	4	3	12	2	8	2	8	3	12	4	16	
5	Facilidad de Adquisición de Materiales	3	3	9	2	6	2	6	3	9	4	12	
6	Costos de operación	3	3	9	3	9	2	6	3	9	4	12	
7	Productividad	4	3	12	3	12	2	8	2	8	4	16	
8	Autonomía	3	3	9	3	9	3	9	3	9	4	12	
Puntaje máximo Σp ó Σgp		26	23	75	19	62	17	55	21	65	32	104	
Valor económico Yi			0.72			0.59		0.53		0.63		1	
Orden			1			3		4		2			

A continuación, se presenta el diagrama de evaluación en base a los valores técnicos y económicos y se busca uno cercano al ideal para tomarlo como concepto de solución óptimo.

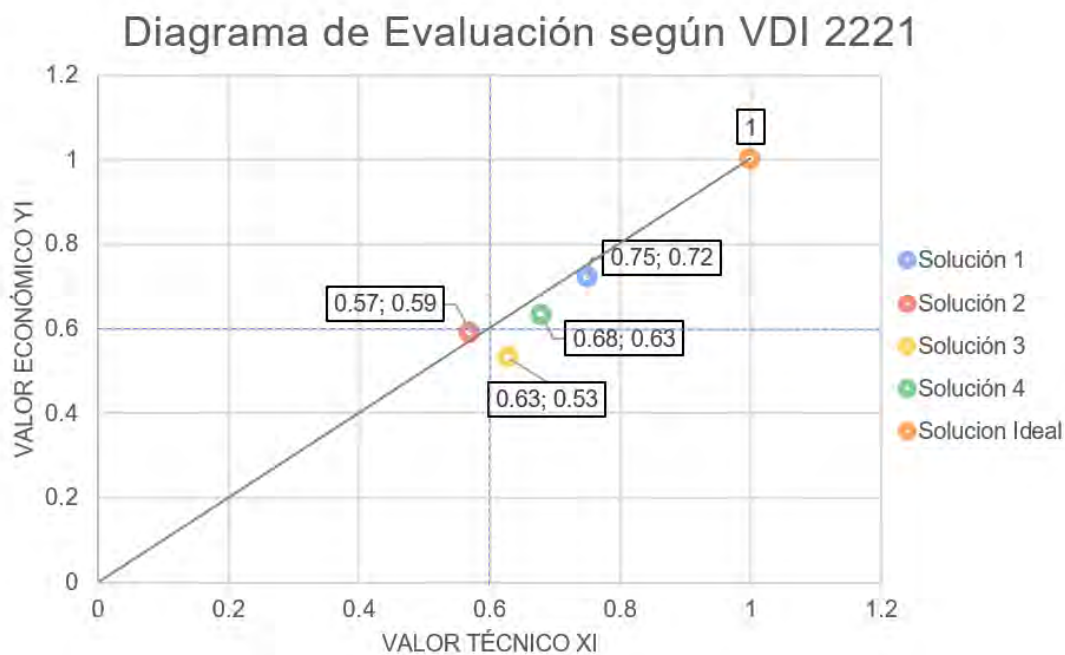


Figura 2.11. Diagrama de evaluación según VDI 2221. Fuente: Norma VDI 2221

De la Figura anterior se observa que la solución óptima es la primera solución pues posee los valores más cercanos a los del concepto de solución ideal. Tanto en el aspecto técnico como en el económico representa una solución óptima, pues sus valores son mayores a 0.7, lo cual es recomendado para verificar si el concepto de solución elegido es adecuado.

2.7 Concepto de solución óptimo mejorado

El concepto solución óptimo elegido a partir de la evaluación técnica y económica es el primero, el cual en esta sección se mejorará en cuanto a la distribución de los componentes y el sistema hidráulico. Asimismo, se presentará el diagrama de operaciones para el usuario del robot (operario), el diagrama de bloques electrónico y el diagrama de flujo de software. En la siguiente figura se presenta el concepto de solución mejorado y el sistema hidráulico para los dos cilindros de elevación. Este sistema sincroniza los dos cilindros para la elevación de la plataforma, también cuenta con dos válvulas de control de flujo para la velocidad del fluido que entra a los cilindros. Para controlar la posición de los cilindros hidráulicos se utiliza una electroválvula que se conectará al microcontrolador. Además, como en todo sistema hidráulico, el depósito de fluido, el cual será filtrado y accionado por una bomba hidráulica.

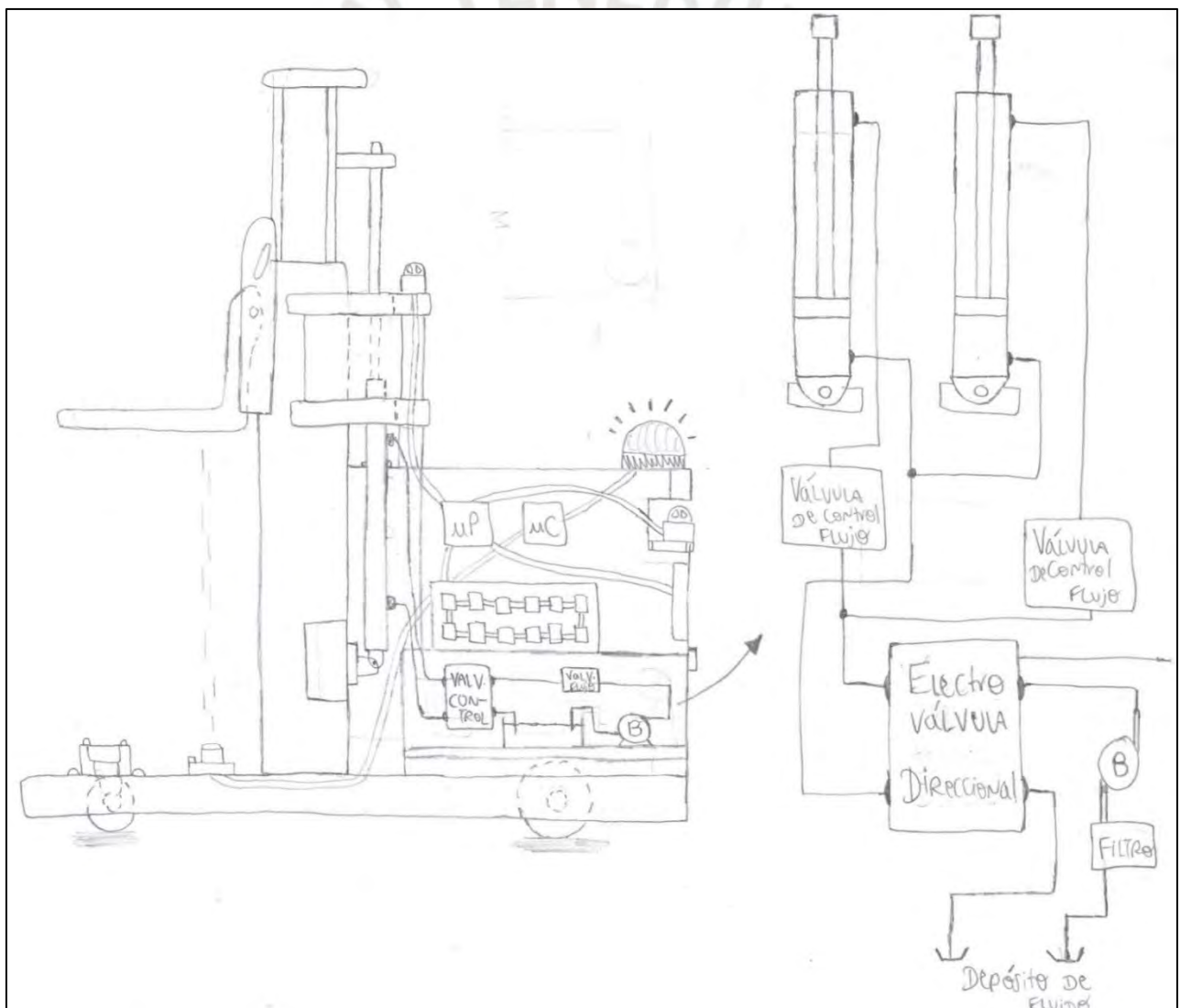


Figura 2.12. Concepto de solución óptimo mejorado (izquierda) y sistema hidráulico (derecha).

Fuente: Elaboración Propia

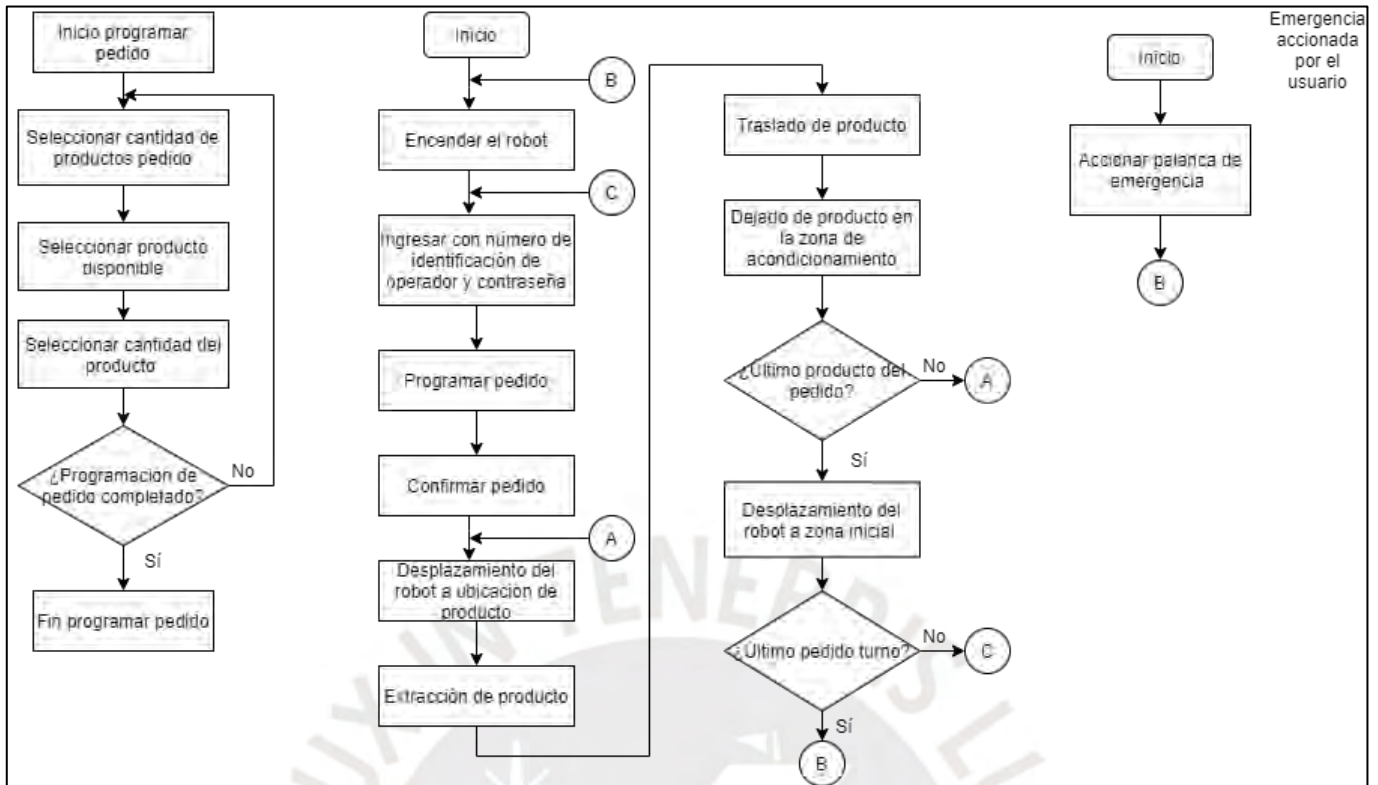


Figura 2.13. Diagrama de operaciones para el usuario del robot (operario). Fuente: Elaboración Propia

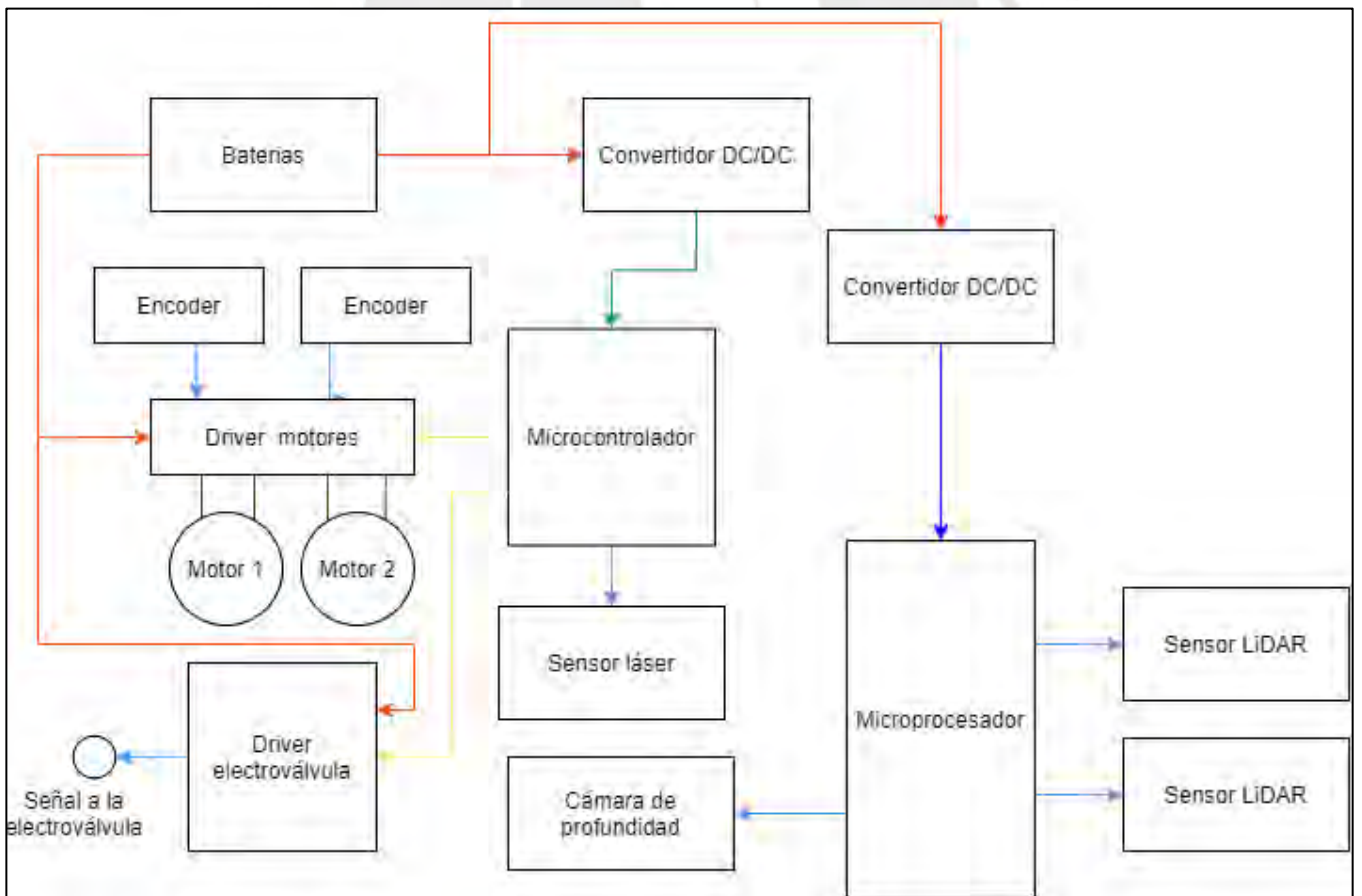


Figura 2.14. Diagrama de bloques electrónico. Fuente: Elaboración Propia

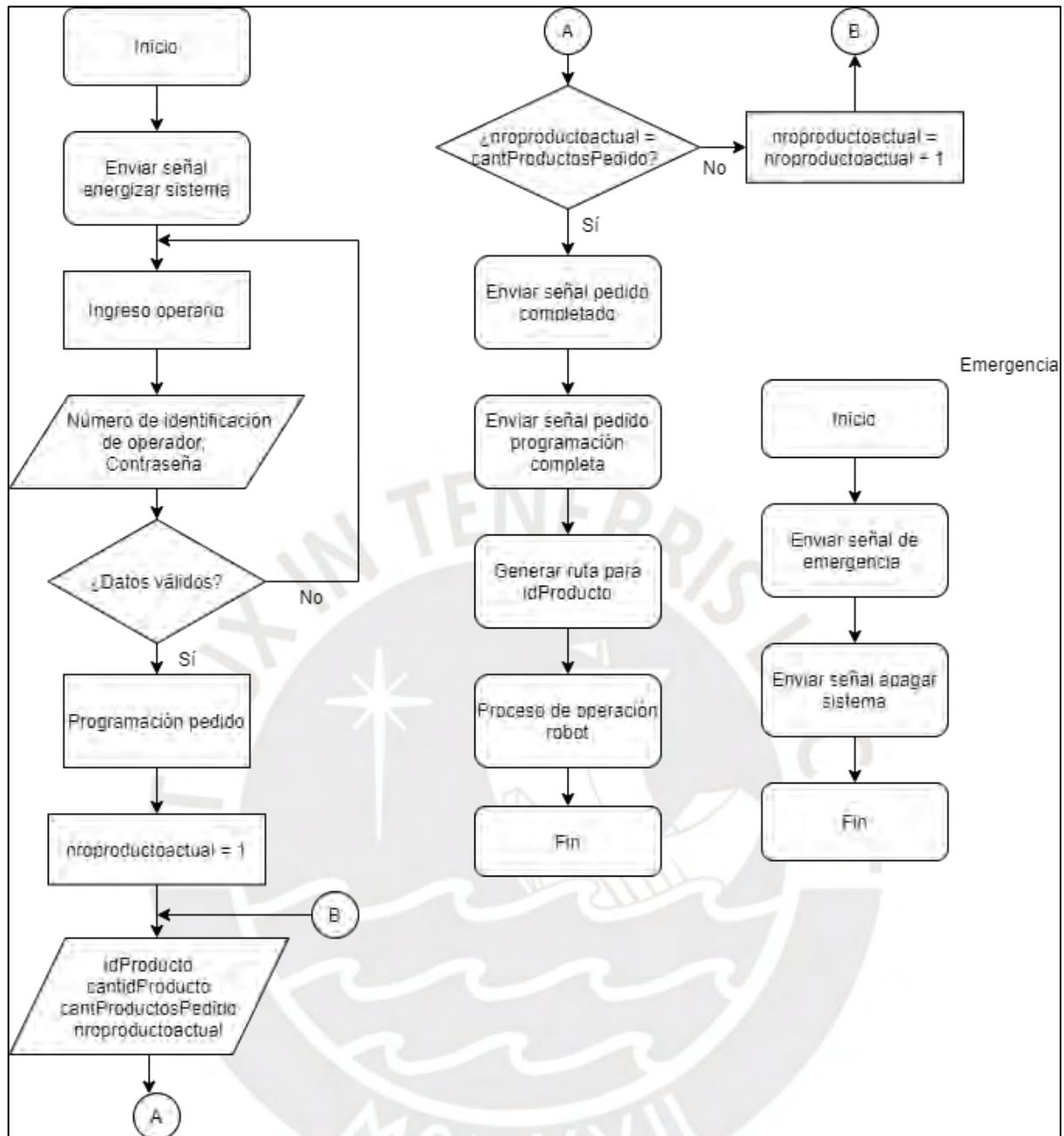


Figura 2.15. Diagrama de flujo de software. Fuente: Elaboración Propia

2.8. Modelo 3D preliminar del concepto de solución óptimo mejorado

En esta sección se muestra el diseño 3D preliminar del concepto de solución óptimo mejorado realizado en Autodesk Inventor Professional. En las figuras 2.16 y 2.17 se puede observar el sistema de sujeción de dos horquillas (1), el cual cuenta con dos cilindros hidráulicos para su ascenso y descenso, mientras que en la parte trasera se encuentra la interfaz para el operario (2) y la caja (3) donde se encontrarán los componentes electrónicos y el sistema hidráulico.

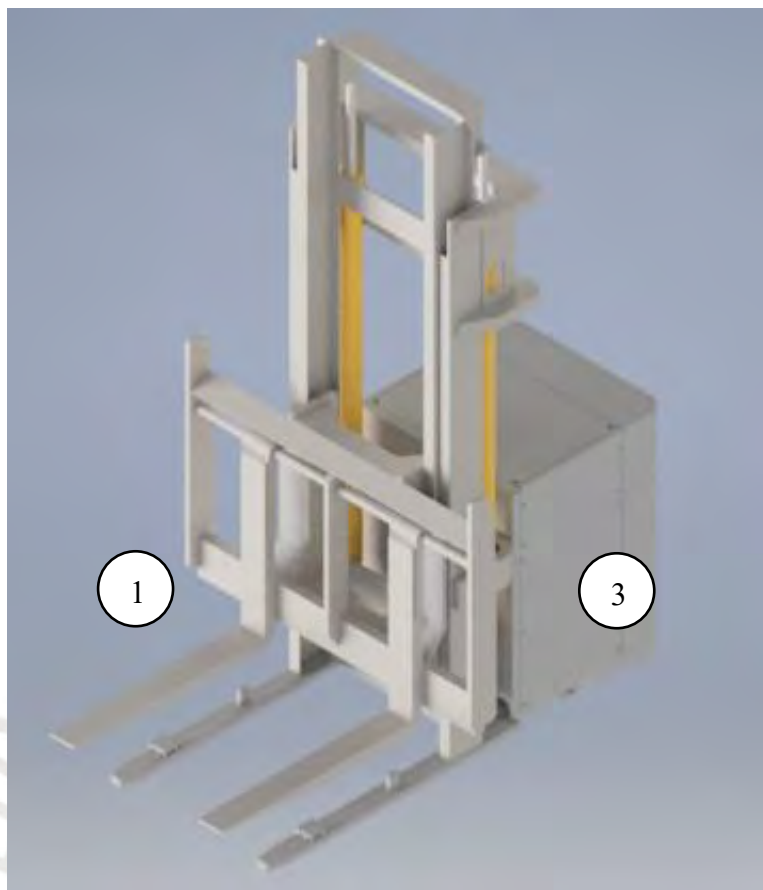


Figura 2.16. Modelo 3D preliminar concepto solución óptimo. Fuente: Elaboración Propia

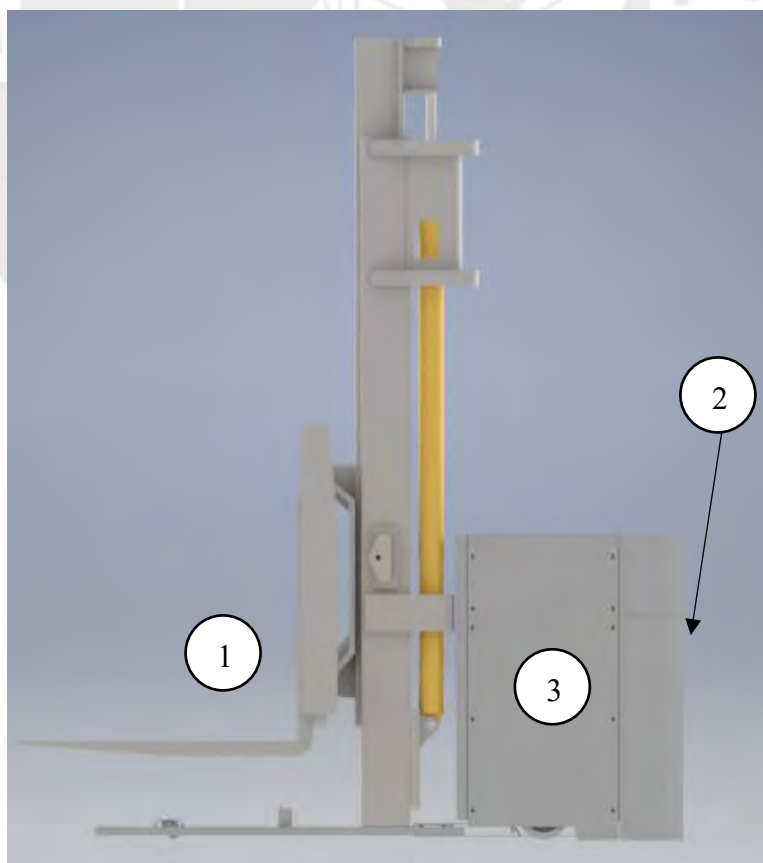
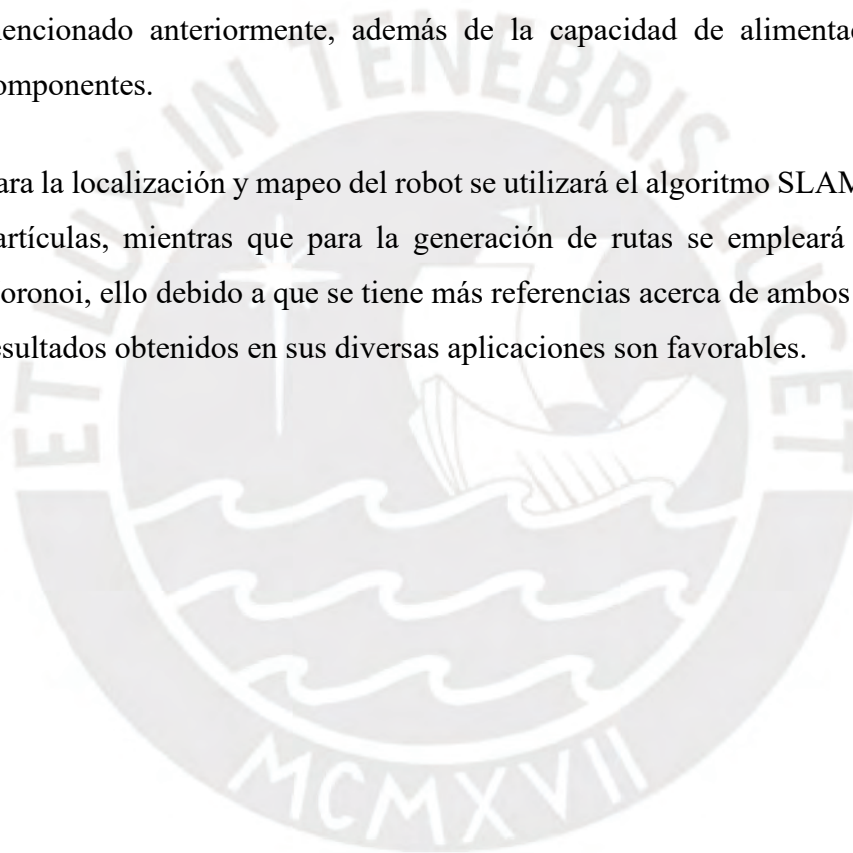


Figura 2.17. Vista perfil del modelo 3D preliminar. Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES

- Siguiendo la metodología propuesta se ha planteado conceptos de solución de los cuales, mediante el análisis técnico-económico, se eligió el concepto de solución óptimo con las características necesarias para optimizar el proceso de Picking en el almacén. Dicho sistema está compuesto de tres subsistemas: el subsistema para el desplazamiento del robot, el subsistema para la extracción de productos y el subsistema para el registro y programación de pedidos.
- El diseño planteado para el concepto de solución óptimo debe tener dimensiones máximas 200 x 150 x 250 cm, teniendo en cuenta el sistema de sujeción sin extender. Estas dimensiones permiten que el robot pueda trabajar en almacenes cuyos estantes tienen 3.7m de altura, como se indicó en el alcance.
- Esta solución permite extraer los productos de un pedido realizado y llevarlos a la zona de acondicionamiento y verificación. Luego de que el operario se haya registrado y programado el pedido correspondiente, el robot generará los recorridos para los productos que se han indicado y procederá ordenadamente a recogerlos según su ubicación. Finalmente, si el robot ha terminado con los productos del pedido volverá a la zona inicial a la espera de otro pedido por procesar.
- El operario del robot no necesita tener gran conocimiento para el manejo pues la interfaz de interacción será de fácil adaptación a él para que pueda proceder a programar el pedido y configurar otros parámetros. Antes de ello, el robot debe garantizar la óptima conexión con el sistema de gestión de almacén (WMS por sus siglas en inglés).
- El concepto de solución óptimo utiliza un sistema hidráulico debido a su gran capacidad de carga y estabilidad frente a cargas estáticas que, en este caso, será de mucha utilidad, mientras el sistema de sujeción esté descendiendo con el producto. La velocidad del descenso de los cilindros no debe ser elevada a fin de evitar accidentes y el número de cilindros utilizados en el mismo es para asegurar el soporte de la carga del pallet a extraer por el robot.

- El diseño planteado cuenta con el uso de una cámara de profundidad para poder identificar el producto a recoger y también para poder medir la distancia del robot a los estantes del almacén. Además, con los sensores LiDAR serán de utilidad para la detección del entorno y el adecuado posicionamiento mientras que los sensores láser servirán para medir la altura del sistema de sujeción de productos del robot.
- En cuanto a la electrónica, este diseño cuenta con un microprocesador y un microcontrolador para poder distribuir adecuadamente la capacidad de procesamiento en ambas, ello debido a la cantidad de componentes a controlar. El uso de solo uno de los dos podría generar un inadecuado funcionamiento por el motivo mencionado anteriormente, además de la capacidad de alimentación a dichos componentes.
- Para la localización y mapeo del robot se utilizará el algoritmo SLAM con Filtro de partículas, mientras que para la generación de rutas se empleará el método de Voronoi, ello debido a que se tiene más referencias acerca de ambos métodos y los resultados obtenidos en sus diversas aplicaciones son favorables.



BIBLIOGRAFÍA

- Mecalux Esmena (2019). Las fases del Picking o preparación de pedidos en el almacén. España: *Mecalux Soluciones de Almacenaje*. Recuperado de: <https://www.mecalux.es/blog/fases-picking-preparacion-pedidos>
- Yeraldin Martínez (8 de septiembre de 2019). PICKING. Prezi. Recuperado el 21 de abril de 2020 de: https://prezi.com/p/gbo8kfj3rh_o/picking/
- Noega Systems (2015). Picking: Preparación de pedidos en el almacén – Coste del Picking. España: *Noega Systems Soluciones de Almacenaje*. Recuperado de: https://www.noegasystems.com/blog/logistica/preparacion-de-pedidos-picking#Coste_del_picking
- Cadena de Suministro (2019). Los accidentes laborales en el transporte y la logística crecen un 8.3% anual. España: *Cadena de Suministro*. Recuperado de: <https://www.cadenadesuministro.es/noticias/los-accidentes-laborales-en-el-transporte-y-la-logistica-crecen-un-83-anual/>
- Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (2001). Prevención de lesiones y muertes de trabajadores que operan Montacargas o trabajan cerca de los mismos. Estados Unidos: *Centros para el Control y Prevención de Enfermedades*. Recuperado de: https://www.cdc.gov/spanish/niosh/docs/2001-109_sp/default.html
- Gil Fisa, Antonio (1998). *NTP 472: Aspectos económicos de la prevención de riesgos laborales: caso práctico*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, España. Recuperado de: https://www.insst.es/documents/94886/326962/ntp_472.pdf/ab08d847-917f-4c6e-9188-6341c7f29d19
- Blanca Romero, Elena (2015). *Metodología para el diseño de máquinas adaptadas a comunidades en desarrollo*. Universidad Politécnica de Catalunya, España, pp.25-29.

- Weiss, M. (2015). *Patente EE.UU. No.20150073586A1*. Massachusetts, Carlisle: U.S. Patent and Trademark Office.
- Asaria, A. y Woods, J. (2013). *Patente EE.UU. No.20130317642A1*. Ontario, Kitchener: U.S. Patent and Trademark Office.
- Bastian Solutions (2017). Robotic Order Batch Picking. Recuperado de: <https://www.bastiansolutions.com/assets/1/6/mobile-robotics-brochure-online.pdf>
- SSI Schaefer (2015). The auto-guided 2Stack[®] transport system automatically handles pallets of every type. Recuperado de: <https://www.ssi-schaefer.com/en-iv/products/conveying-transport/automated-guided-vehicles/fts-2stack-606528>
- Grenzebach (2017). Nolte Kuchen (Kitchens) driving smart. Recuperado de: <https://www.grenzebach.com/press/nolte-kuechen-kitchens-driving-smart/>
- Castellanos, A. (2016). Transmisiones y Tipos de Reducciones. SlidePlayer. Recuperado el 28 de abril de 2020 de: <https://slideplayer.es/slide/5441246/>
- Automatización y Robótica Industrial 5 Ing. Industrial ESI (2008). *Sistema de Locomoción de robots móviles*. Universidad de Sevilla, España. Recuperado de: http://www.esi2.us.es/~vivas/ayr2iaei/LOC_MOV.pdf
- Trujillo Mora, V. (2015). *Entender los diferentes tipos de Locomoción de los robots móviles (Locomoción con ruedas)*. Centro Universitario Zumpango UAEM, México. Recuperado de: <http://ri.uaemex.mx/oca/view/20.500.11799/35197/1/secme-21956.pdf>
- Verdejo, J (2010). Implementación del Filtro de Kalman extendido para SLAM. Recuperado de: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4535/fichero/Implementaci%C3%B3n+del+filtro+de+Kalman+extendido+para+SLAM%252FArchivo+02+El+problema+de+la+localizaci%C3%B3n+y+el+mapeo+simult%C3%A1neo.pdf>

- L. Carlone, J. Du, M. Kabuk y B. Pona (2011). Simultaneous Localization and Mapping Using Rao-Blackwellized Particle Filters in Multi Robot Systems. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/220062042_Simultaneous_Localization_and_Mapping_Using_Rao-Blackwellized_Particle_Filters_in_Multi_Robot_Systems
- Konecny, J., Prauzek, M. y Hlavica, J. (2016). ICP Algorithm in Mobile Robot Navigation: Analysis of Computational Demands in Embedded Solutions. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896316327173>
- M. Jiménez (2015). Algoritmos de localización de robots móviles empleando filtros estadísticos. Depto. de Ingeniería de Sistemas y Automática Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla, España.
- V.F.M. Martinez (1995). Planificación de Caminos mediante Grafos de Visibilidad. Recuperado de: <http://webpersonal.uma.es/~VFMM/PDF/cap3.pdf>
- V.F.M. Martinez (1995). Planificación de Trayectorias para Robots Móviles. Recuperado de: <http://webpersonal.uma.es/~VFMM/PDF/cap2.pdf>
- H. Noborio, T. Naniwa y S. Arimoto (1990). A quadtree-based path-planning Algorithm for a mobile robot. *Journal of Field Robotics*, vol. 7, nº 4, pp. 555-574.
- J. Borenstein & Y. Koren (1991). The Vector Field Histogram – Fast Obstacle Avoidance for Mobile Robots. *IEEE Journal of Robotics and Automation*, vol. 7, nº3, pp. 278-288.
- A. Padilla (2017). *Implementación y Comparativa de Algoritmos de Control y Planificación Local para Robots Móviles utilizando ROS*. Universidad Politécnica de Madrid, España.

- Espitia Cuchango, Helbert Eduardo, & Sofrony Esmeral, Jorge Iván. (2012).
 ALGORITMO PARA PLANEAR TRAYECTORIAS DE ROBOTS
 MÓVILES, EMPLEANDO CAMPOS POTENCIALES Y ENJAMBRES DE
 PARTÍCULAS ACTIVAS BROWNIANAS. *Ciencia e Ingeniería*
Neogranadina, 22(2), 75-96. Recuperado el 12 de mayo del 2020 de:
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-81702012000200005&lng=en&tlng=es.
- Sanz Romero, M. (2020). ¿Qué es LiDAR y en qué consiste?. España: *Computer Hoy*.
 Recuperado de: <https://computerhoy.com/reportajes/tecnologia/que-es-lidar-600001>
- Garmin (2018). LIDAR Lite v3HP Operation Manual and Technical Specifications.
 Recuperado de:
https://cdn.sparkfun.com/assets/9/a/6/a/d/LIDAR_Lite_v3HP_Operation_Manual_and_Technical_Specifications.pdf
- SLAMTEC (2017). RPLIDAR A2 Low Cost 360 Degree Laser Range Scanner
 Introduction and Datasheet. Recuperado de:
http://bucket.download.slamtec.com/d25d26d45180b88f3913796817e5db92e81cb823/LD208_SLAMTEC_rplidar_datasheet_A2M8_v1.0_en.pdf
- SLAMTEC (2018). RPLIDAR A3 Low Cost 360 Degree Laser Range Scanner
 Introduction and Datasheet. Recuperado de:
http://bucket.download.slamtec.com/aaf96dddba2f6a9baa03261628c01af9fc2f866c/LD310_SLAMTEC_rplidar_datasheet_A3M1_v1.0_en.pdf
- Benewake (2019). TFmini Plus LiDAR module. Recuperado de:
https://cdn.sparkfun.com/assets/2/b/0/3/8/TFmini_Plus-01-A02-Datasheet_EN.pdf
- Intel (2019). Intel RealSense D400 Series Product Family. Recuperado de:
<https://www.mouser.com/datasheet/2/612/Intel-RealSense-D400-Series-Datasheet-1383890.pdf>

- Intel (2019). Intel RealSense LiDAR Camera L515. Recuperado de:
https://cdn.sparkfun.com/assets/4/8/f/b/6/DS-16462-Intel_L515_RealSense_Lidar_Camera.pdf
- eYs3D Microelectronics (2018). eAP87606D100 (EX8036) Datasheet Depthmap Camera Module of eSP876U. Recuperado de:
https://cdn.sparkfun.com/assets/1/e/4/b/5/eAP87606D100_EX8036_Datasheet_Non-NDA-Rev1.0_20181031.pdf
- Digikey Electronics (2020). Human Machine Interface. Thief River Falls, EEUU: *Digikey*.
<https://www.digikey.com/products/es/industrial-automation-and-controls/human-machine-interface-hmi/946?k=touch%20screen>
- Digikey Electronics (2020). Display Modules LCD, OLED and graphic. Thief River Falls, EEUU: *Digikey*.
<https://www.digikey.com/products/es/optoelectronics/display-modules-lcd-oled-graphic/107?k=touch%20screen>
- SIEMENS (2014). SIMATIC HMI, KTP700 BASIC. Recuperado de:
<https://media.automation24.com/datasheet/es/6AV21232GB030AX0.pdf>
- Sarmiento, I. (2012). Sistemas de accionamientos. *Robótica y Mecatrónica*. Recuperado de: <http://informecatronica-robotica.blogspot.com/p/sistemas-de-accionamientos.html>
- Mecalux Esmena (2017). ¿Qué es un almacén?. España: *Mecalux Soluciones de Almacenaje*. Recuperado de: <https://www.mecalux.es/manual-almacen/almacen>
- Marco, J. (2017). Los Procesos Operativos Fundamentales del Almacén. *Blogs IMF Formación*. Recuperado de: <https://blogs.imf-formacion.com/blog/logistica/logistica/procesos-operativos-almacen/>

- Noega Systems (2019). Cómo ha evolucionado la Importancia del almacén en la empresa. España: *Noega Systems Soluciones de Almacenaje*. Recuperado de: https://www.noegasystems.com/blog/logistica/evolucion-importancia-del-almacen-en-la-empresa#Como_ha_evolucionado_el_trabajo_y_la_importancia_del_almacen
- Bambino, I. (2008). Una Introducción a los Robots Móviles. Argentina: *Asociación Argentina de Control Automático*. Recuperado de: https://www.aadeca.org/pdf/CP_monografias/monografia_robot_movil.pdf
- Mecalux Esmena (2020). Robots móviles, aplicaciones y usos en el almacén. España: *Mecalux Soluciones de Almacenaje*. Recuperado de: <https://www.mecalux.es/blog/robots-moviles>
- ARC Specialties (2019). ARC Specialties: AMR (Autonomous Mobile Robot) [Archivo de video]. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=6LJ1N9Xf4o8>
- Guo, T. (2019). Gyro Systems Inc. Autonomous Mobile Robot (AMR) with robot arm picking FOUP [Archivo de video]. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=cinSYyUmIy0>
- Mecalux Esmena (2017). Vehículos AGV Filoguiados y Láserguiados. España: *Mecalux Soluciones de Almacenaje*. Recuperado de: <https://www.mecalux.es/manual-almacen/carretillas/agv-filoguiado>
- Rocla AGV Solutions (2013). Fork Over Lift AGV. Finlandia: *Rocla AGV*. Recuperado de: <https://www.rocla-agv.com/en/products/fork-over-lift-agv>
- Grúas y Aparejos (2019). Montacargas para almacén. Recuperado de: <https://www.gruasyaparejos.com/montacargas/montacargas-para-almacen/>
- Grúas y Aparejos (2019). Tipos de montacargas. Recuperado de: <https://www.gruasyaparejos.com/montacargas/tipos-de-montacargas/>

ANEXO A: LISTA DE REQUERIMIENTOS

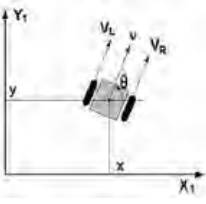
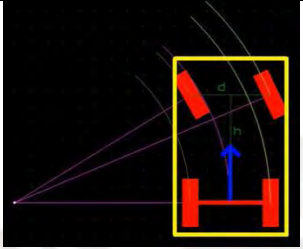
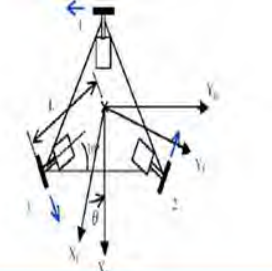
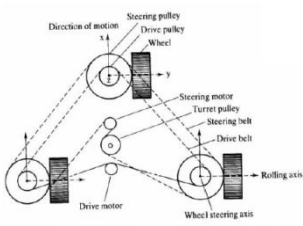


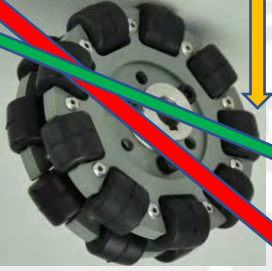


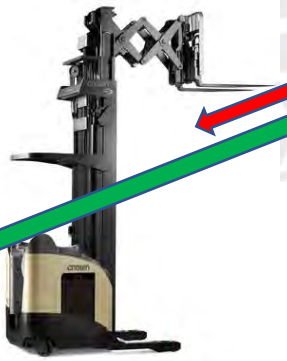
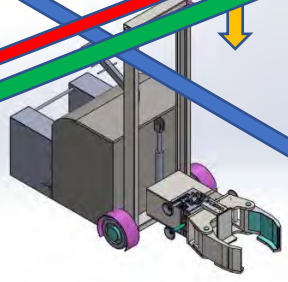

Requerimiento	Descripción	Deseo o Exigencia
Función Principal	Realizar el proceso de Picking de manera automática en base a un pedido programado. El desplazamiento y extracción de los productos será automatizado; así como el posterior transporte de los productos a la zona de verificación.	E
Materia	<p>Ingresar:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cajas de productos de los racks del almacén - Aceite hidráulico si el sistema de accionamiento de sujeción es hidráulico - Aire comprimido si el sistema de accionamiento de sujeción es neumático <p>Salida:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cajas de productos de los estantes del almacén 	E
Energía	<p>Ingresar:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Energía eléctrica - Energía mecánica <p>Salida:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Energía mecánica en forma de vibraciones y calor desprendido - Energía sonora - Energía lumínica <p>. El robot móvil trabajará con una batería recargable que tenga una duración máxima de 8 horas (autonomía). . La fuente de carga debe ser de 220 VAC 60Hz</p>	E
Señales	<p>Entrada:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Señal de encendido - Señal de inicio de programación de pedido - Señal de confirmación de pedido - Señal de emergencia - Señal de inicio de desplazamiento y extracción <p>Salida:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Señal de estado del sistema - Señal de pedido terminado - Señal de cantidad de productos recogidos en el pedido - Señal de falla - Señal de emergencia 	E
Transporte	El sistema debe ser transportable, las partes donde se encuentren componentes sensibles debe tener protección especial. Cuando esté en el almacén se mantendrá dentro del área correspondiente del Picking del almacén.	E
Montaje	El sistema debe tener un diseño de fácil desarmado para poder facilitar el mantenimiento, con especial atención en los componentes más sensibles.	D
Control	<p>El sistema deberá controlar:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La posición del robot en el almacén. - El desplazamiento del robot durante el proceso. 	D

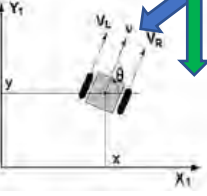
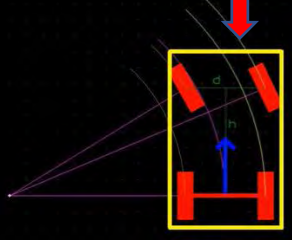
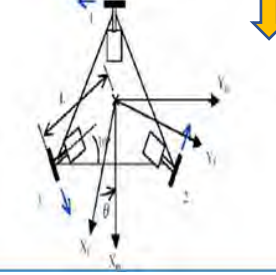
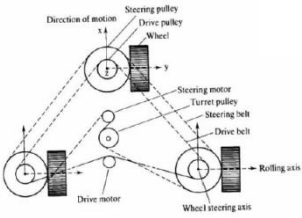





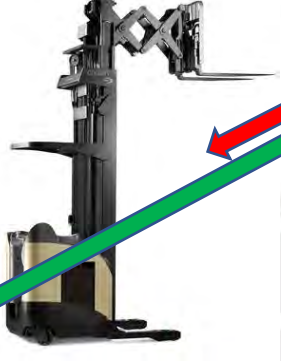
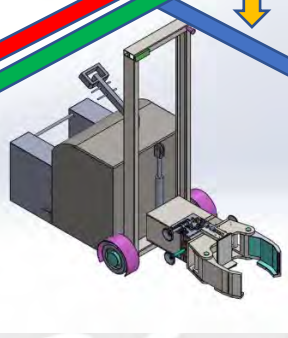

	- La altura del sistema de sujeción para los productos	
Geometría	El robot deberá tener dimensiones máximas son 200 x 150 x 250 cm.	D
Cinemática	. La velocidad máxima del robot móvil será de 2.5 m/s, debido a que con esa velocidad máxima podrá garantizar estabilidad y rapidez en los recorridos. . La velocidad promedio de bajada y elevación de la plataforma será de 30 m/min para garantizar el adecuado descenso de la carga recogida.	E
Fuerzas	. El robot móvil será capaz de llevar una carga de 1500 kg como máximo (para garantizar estabilidad del robot con la carga en la altura). . El robot móvil debe pesar como máximo 800 kg (para poder representar un contrapeso a la carga útil del robot).	E
Seguridad	. El robot deberá tener indicadores de emergencia y en la zona cerca a la interfaz no debe tener partes afiladas para seguridad del operario. . Se deben proteger los circuitos del robot móvil y así se evitará dañar los dispositivos electrónicos. . El robot deberá tener un sistema que apague los actuadores en caso de alguna falla. . El diseño del robot no debe arriesgar la integridad del operario, manteniendo aislados aquellos componentes que representen un peligro y aislando térmicamente aquellas zonas de temperaturas elevadas. . Se tomará un grado de certificación IP 65 el cual indica una alta protección contra el polvo y la humedad.	D
Material	Se utilizará acero inoxidable para aquellas partes donde estén las temperaturas altas, además de que es resistente a la humedad. Asimismo, se utilizará plancha de aluminio para la cubierta de la estructura robot considerando el bajo peso del material.	E
Software	El software con el que trabajará el sistema del robot móvil debe ser libre y debe conectarse con el sistema de gestión del almacén (WMS, por sus siglas en inglés) para poder acceder al inventario y poder programar los pedidos.	E
Ergonomía	La interfaz del robot se debe encontrar a una altura al alcance del operario (no menor a 1m) para su comodidad.	E
Mantenimiento	. En caso de gran desgaste de algún componente del sistema debe ser de fácil sustitución. . El sistema debe contar con un fácil acceso a su interior para poder realizar adecuadamente servicios de reparación, lubricación, etc.	E
Uso	El sistema está destinado a utilizarse en almacenes con una altura máxima de 3.7 m. Se pretende que el área de trabajo tenga un rango de temperatura de 15 a 45°C sin límite de humedad. El operario del almacén no deberá tener una alta capacitación debido a la facilidad de interacción a través de la interfaz.	E
Interfaz de usuario	El robot contará con una interfaz por la cual el operario ingresará las señales requeridas por el sistema, por ejemplo, para programar el pedido.	E

ANEXO B: MATRIZ MORFOLÓGICA POR DOMINIO






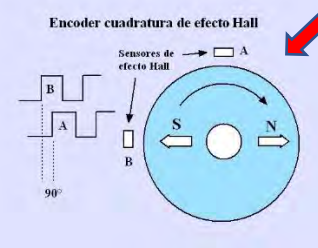

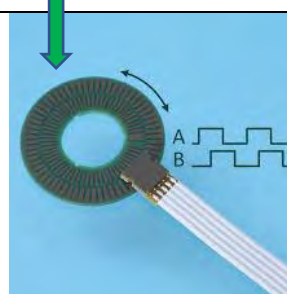




Legenda: S1. Azul, S2. Rojo, S3. Amarillo, S4. Verde.

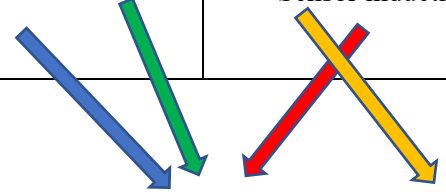
B.1 Dominio mecánico





Funciones	Portadores de Funciones			
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
1. Desplazar a ubicación producto	 <p>Configuración diferencial</p>	 <p>Configuración ackerman</p>	 <p>Configuración omnidireccional</p>	 <p>Configuración síncrona</p>
2. Posicionar para extracción	 <p>Ruedas omnidireccionales y ruedas orientables centradas</p>	 <p>Rueda convencionales y ruedas orientables no centrada (castor)</p>	 <p>Ruedas omnidireccionales</p>	 <p>Ruedas convencionales</p>
3. Extraer producto	 <p>Brazo telescópico con dos horquillas</p>	 <p>Mecanismo Doble Reach</p>	 <p>Brazo robótico pinza</p>	 <p>Horquilla de dos brazos</p>

<p>4. Posicionar para traslado</p>	 <p>Configuración Diferencial</p>	 <p>Configuración Ackerman</p>	 <p>Configuración omnidireccional</p>	 <p>Configuración Síncrona</p>
<p>5. Trasladar producto</p>	 <p>Ruedas omnidireccionales y ruedas orientables centradas</p>	 <p>Rueda convencionales y ruedas orientables no centrada (castor)</p>	 <p>Ruedas omnidireccionales</p>	 <p>Ruedas convencionales</p>
<p>6. Dejar producto</p>	 <p>Brazo telescópico con dos horquillas</p>	 <p>Mecanismo Doble Reach</p>	 <p>Brazo robótico pinza</p>	 <p>Horquilla de dos brazos</p>






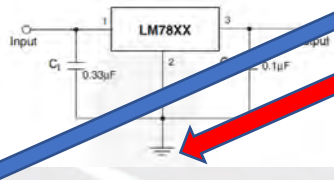
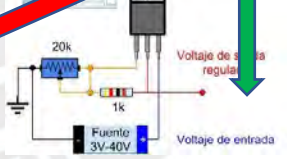

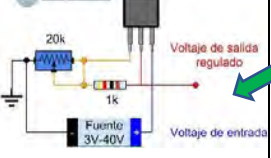

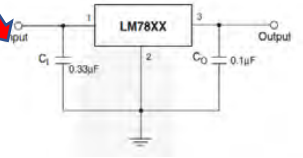

B.2 Dominio sensores

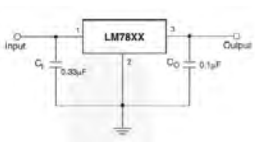
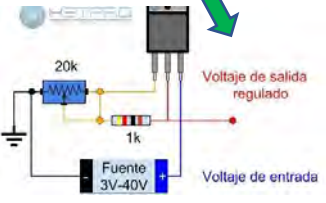



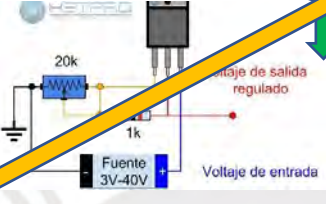
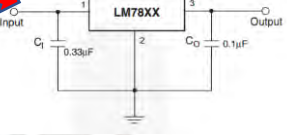

Funciones	Portadores de Funciones			
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
1. Detectar entorno	 <p>LiDAR y cámara de profundidad</p>	 <p>LiDAR, cámara de profundidad y ultrasonido</p>	 <p>LiDAR y ultrasonido</p>	 <p>Radar</p>
2. Sensar velocidad	 <p>Encoder rotativo óptico</p>	 <p>Encoder cuadratura de Efecto Hall (magnético)</p>	 <p>Encoder capacitivo</p>	 <p>Encoder inductivo</p>
3. Sensar altura sistema de sujeción	 <p>Ultrasonido</p>	 <p>Sensor láser</p>	 <p>Sensor inductivo</p>	 <p>Sensor de distancia por cinta</p>

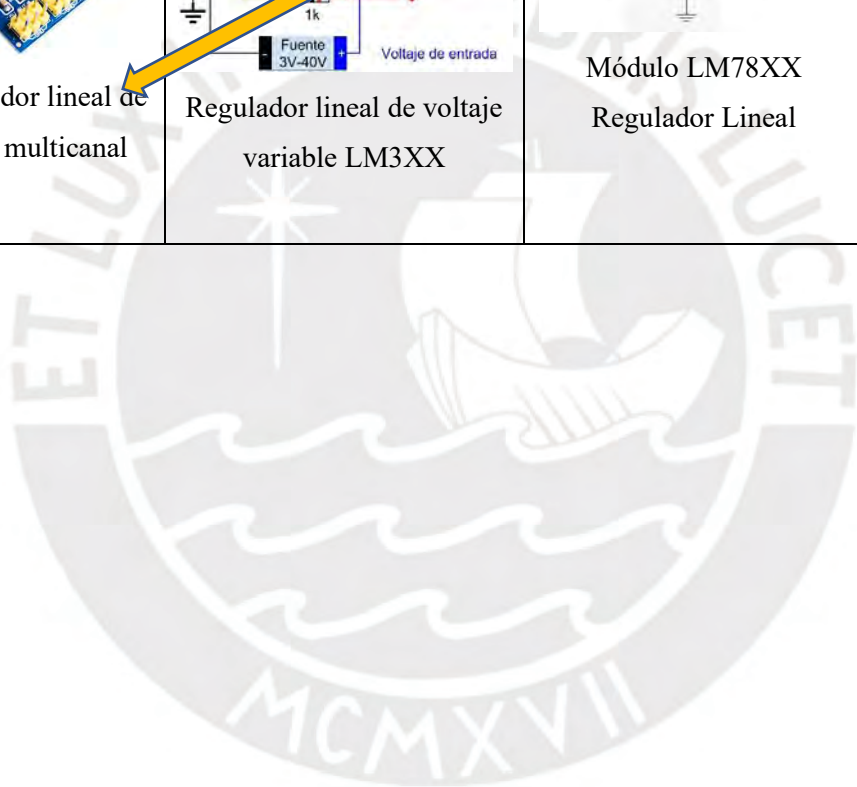


4. Sensar ubicación producto	 LiDAR	 Sensor inductivo	 Sensor láser	 Cámara de profundidad
				81

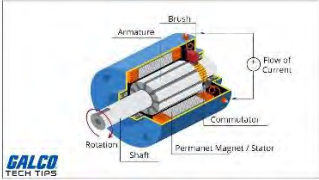




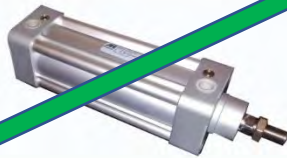

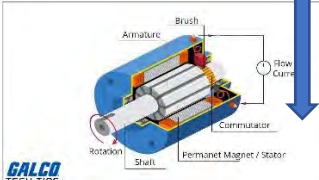




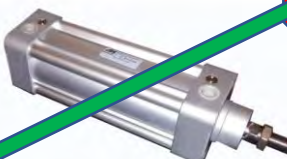

B.3 Dominio energía

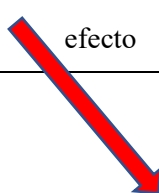
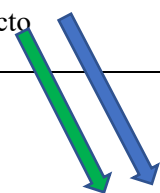
Funciones	Portadores de Funciones			
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
1. Energizar el sistema	 Baterías de Plomo-ácido	 Baterías de Níquel-Cadmio (Ni-Cd)	 Baterías de Níquel e Hidruro metálico (Ni-MH)	 Baterías de Níquel de iones de litio (Li-Ion)
2. Acondicionar energía para control	 Convertidor DC-DC Step Down (Conmutado) 25XX	 Módulo LM78XX Regulador Lineal	 Regulador lineal de voltaje variable LM3XX	 Convertidor lineal de voltaje multicanal
3. Acondicionar energía para sensores	 Regulador de voltaje variable LM3XX	 Convertidor DC-DC Step Down (Conmutado) 25XX	 Módulo LM78XX Regulador Lineal	 Convertidor lineal de voltaje multicanal




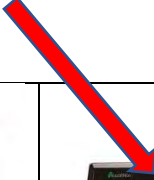

<p>4. Acondicionar energía para actuadores</p>	 <p>Módulo LM78XX Regulador Lineal</p>	 <p>Regulador lineal de voltaje variable LM3XX</p>	 <p>Convertidor DC-DC Step Down (Conmutado) 25XX</p>	 <p>Convertidor lineal de voltaje multicanal</p>
<p>5. Acondicionar energía para interfaz</p>	 <p>Convertidor lineal de voltaje multicanal</p>	 <p>Regulador lineal de voltaje variable LM3XX</p>	 <p>Módulo LM78XX Regulador Lineal</p>	 <p>Convertidor DC-DC Step Down (Conmutado) 25XX</p>



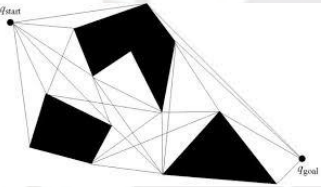
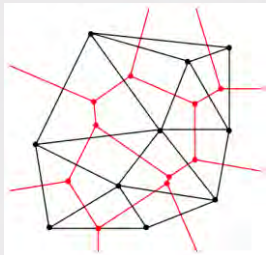
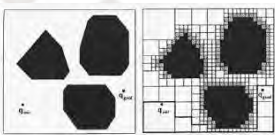

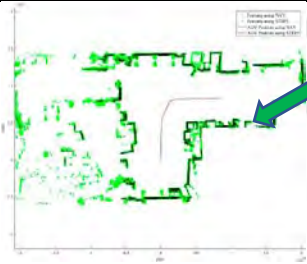
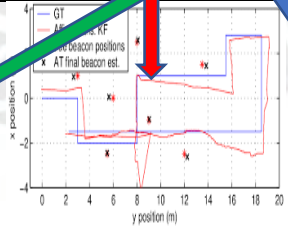
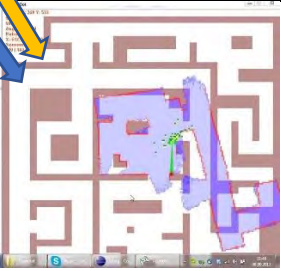
B.4 Dominio actuadores

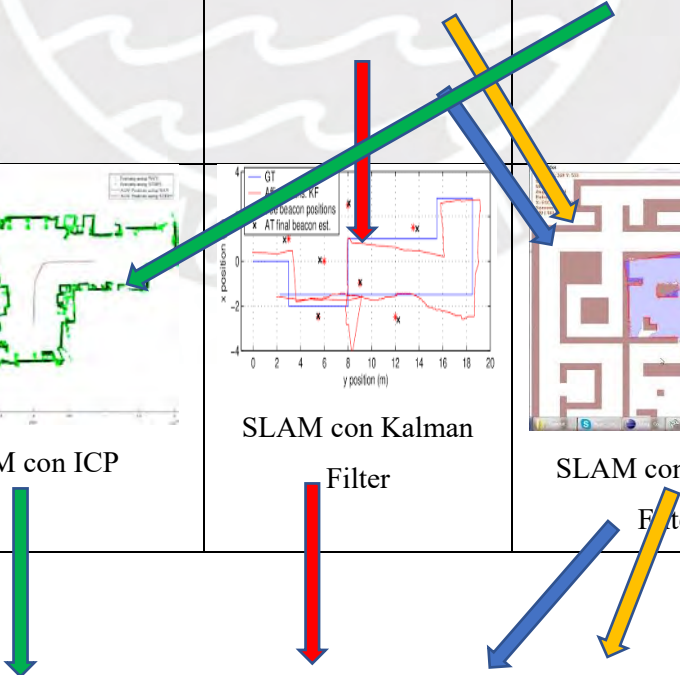
Funciones	Portadores de Funciones			
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
1. Accionar desplazamiento y posicionamiento para extracción	 <p>Motor con escobillas DC</p>	 <p>Motor sin escobillas DC</p>	 <p>Motor a pasos</p>	 <p>Servomotor</p>
2. Accionar extracción	 <p>Cilindro hidráulico doble efecto</p>	 <p>Cilindro neumático doble efecto</p>	 <p>Actuador lineal eléctrico</p>	
3. Accionar posicionamiento y traslado de producto	 <p>Motor con escobillas DC</p>	 <p>Motor sin escobillas DC</p>	 <p>Motor a pasos</p>	 <p>Servomotor</p>
4. Accionar dejado de producto	 <p>Cilindro hidráulico doble efecto</p>	 <p>Cilindro neumático doble efecto</p>	 <p>Actuador lineal eléctrico</p>	

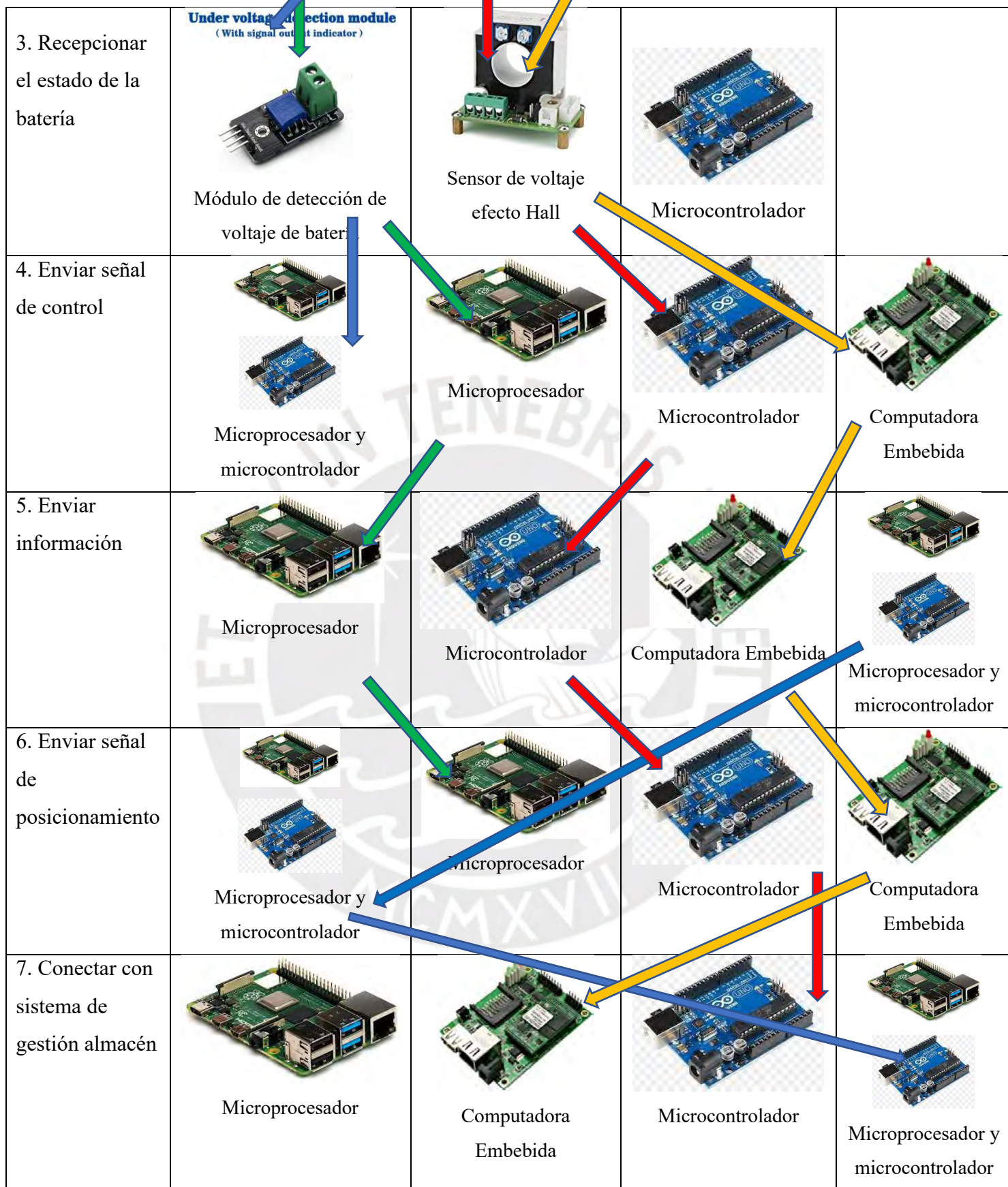


<p>5. Accionar parada de emergencia</p>	 <p>Pulsador</p>	 <p>Palanca</p>	 <p>Switch</p>	  <p>Pantalla táctil</p>
---	---	--	---	--














B.5 Dominio control









Funciones	Portadores de Funciones			
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
<p>1. Generar rutas</p>	 <p>Grafo de visibilidad</p>	 <p>Diagrama de Voronoi</p>	 <p>Método Quadtree</p>	 <p>Figura 3. a) Campo potencial b) Contorno del campo potencial</p> <p>Campos Potencial Artificial</p>
<p>2. Localizar el robot</p>	 <p>SLAM con ICP</p>	 <p>SLAM con Kalman</p> <p>Filter</p>	 <p>SLAM con Particle</p> <p>Filter</p>	





B.6 Dominio interfaz

Funciones	Portadores de Funciones			
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
1. Iniciar/Apagar el sistema	 <p>Botón pulsador</p>	 <p>Botón switch</p>	 <p>Palanca</p>	 <p>Llave</p>
2. Programar el pedido	 <p>Pantalla táctil</p>	 <p>Control Remoto</p>	 <p>Mini teclado</p>	
3. Mostrar cantidad de productos recogidos	 <p>Pantalla táctil</p>	 <p>Pantalla LCD</p>	 <p>Display 7 segmentos</p>	
4. Mostrar estado del proceso	 <p>Pantalla táctil</p>	 <p>Pantalla LCD</p>	 <p>Led indicador</p>	

<p>5. Confirmar el pedido programado e inicio del proceso</p>	 <p>Pantalla táctil</p>	 <p>Botón pulsador</p>	 <p>Botón switch</p>	 <p>Palanca</p>
<p>6. Mostrar señal de emergencia</p>	 <p>Pantalla LCD</p>	 <p>Pantalla táctil</p>	 <p>Luces estroboscópicas</p>	 <p>Sirena parlante</p>

