

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PUCP

**DISEÑO DE UN SISTEMA ROBÓTICO MÓVIL PARA GUIAR E
INFORMAR A PACIENTES EN CENTROS MÉDICOS**

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

AUTOR

Fernando Jean Pierre Matencio Cornejo

ASESOR:

Antonio Lincoln Angulo Salas

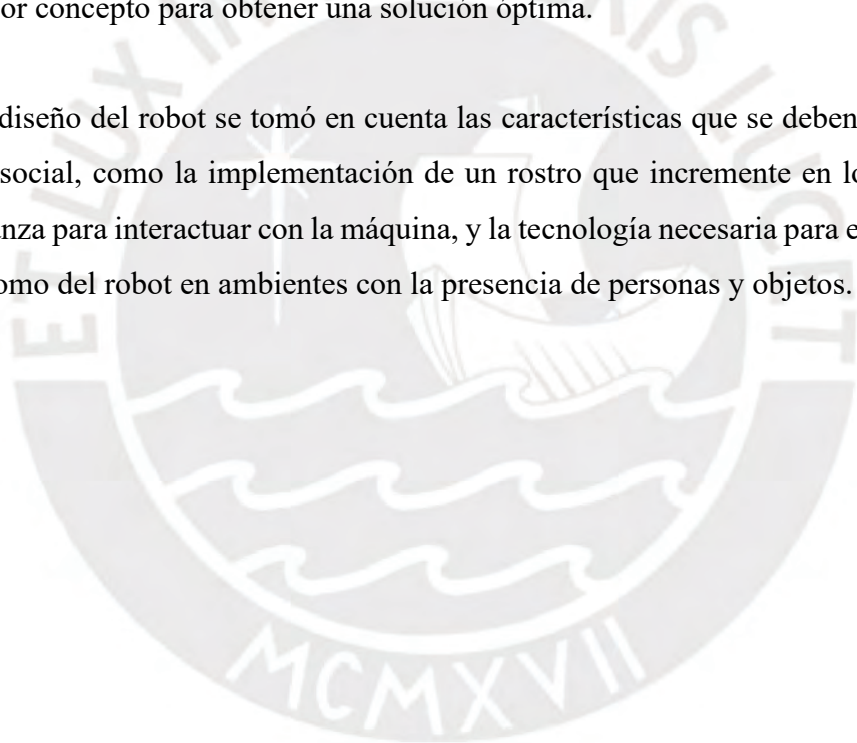
Lima, Enero, 2021

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se plantea diseñar un sistema robótico autónomo cuya función principal es la de orientar a pacientes de hospitales a sus respectivas salas de atención, ya sea brindando información del camino que debe seguir el usuario, o moviéndose para servir como guía. El uso del robot busca también, evitar el contagio de enfermedades que se producen por el contacto cercano entre personas.

Para lograr el objetivo del proyecto se tuvo que definir los requerimientos del sistema, realizar una búsqueda del estado de la tecnología para reconocer los componentes utilizados por sistemas robóticos autónomos, esquematizar las funciones del sistema, proponer tres conceptos de solución y, mediante un análisis técnico-económico, elegir el mejor concepto para obtener una solución óptima.

En el diseño del robot se tomó en cuenta las características que se deben incluir en un robot social, como la implementación de un rostro que incremente en los usuarios la confianza para interactuar con la máquina, y la tecnología necesaria para el movimiento autónomo del robot en ambientes con la presencia de personas y objetos.



ÍNDICE

RESUMEN	ii
INDICE DE FIGURAS	v
INDICE DE TABLAS.....	vii
INTRODUCCIÓN.....	1
1 ANTECEDENTES.....	2
1.1 Problemática	2
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Metodología.....	4
1.4 Marco teórico.....	5
1.4.1 Robots de servicio	5
1.4.2 Aspectos de robots sociales.....	6
1.4.3 Interfaces de usuario.....	8
1.4.4 Navegación autónoma.....	9
1.4.5 Sensores utilizados en navegación autónoma	14
1.5 Estado de la tecnología	16
2 DISEÑO CONCEPTUAL.....	22
2.1 Requerimientos del sistema	22
2.1.1 Función principal.....	22
2.1.2 Requerimientos mecánicos.....	22
2.1.3 Requerimientos eléctricos-electrónicos.....	23
2.1.4 Requerimientos de control	23
2.2 Estructura de funciones	24
2.2.1 Caja negra.....	24
2.2.2 Lista de funciones.....	26
2.3 Matriz morfológica	30
2.3.1 Dominio Control	31
2.3.2 Dominio Actuadores	32
2.3.3 Dominio Energía	32
2.3.4 Dominio Mecánico.....	33

2.3.5	Dominio Interfaz	34
2.3.6	Dominio Sensores	35
2.4	Conceptos de solución	36
2.4.1	Concepto de solución 1	36
2.4.2	Concepto de solución 2	37
2.4.3	Concepto de solución 3	38
2.5	Evaluación técnico-económica	39
2.6	Concepto de solución óptimo	40
2.6.1	Diagrama de bloques electrónico	42
2.6.2	Diagramas de flujo	43
CONCLUSIONES.....		45
BIBLIOGRAFÍA.....		46



INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Proceso generalizado de desarrollo y diseño VDI 2221.....	4
Figura 2. Clasificación de los robots de servicio por su área de aplicación	6
Figura 3. Robot humanoide con ruedas y robot humanoide bípedo.	7
Figura 4. Robot de la empresa LG carente de extremidades.	7
Figura 5. Robot guía para personar ciegas basado en electromiografía.	8
Figura 6. Pulsador de tipo palanca On-Off.	9
Figura 7. Robot NAO, accionado por voz.	9
Figura 8. Esquema del proceso de navegación autónoma	10
Figura 9. Parametrización del movimiento en un plano bidimensional.....	11
Figura 10. Aplicación del método de Monte Carlo.....	12
Figura 11. Aplicación del algoritmo ICP	12
Figura 12. Proceso del filtro Kalman.....	13
Figura 13. Principio de funcionamiento del sensor láser.....	14
Figura 14. Principio de funcionamiento del sensor de ultrasonido.....	14
Figura 15. Bumpers para robots móviles.	15
Figura 16. Encoder para motor DC.....	15
Figura 17. Cámara de video utilizada en robots autónomos.....	16
Figura 18. Cámara de profundidad Intel RealSense.	16
Figura 19. Robot KtBot de Tekniker	17
Figura 20. Diseño del robot guía de biblioteca	18
Figura 21. Robot Spencer	18
Figura 22. Robot Pepper	19
Figura 23. Robot Robina.....	19
Figura 24. Robot Sanbot Elf	20
Figura 25. Robot Hospi.....	20
Figura 26. Caja negra del sistema	26
Figura 27. Estructura de funciones	30
Figura 28. Concepto de solución 1	36
Figura 29. Interior del concepto de solución 1	36
Figura 30. Concepto de solución 2	37

Figura 31. Estructura de concepto de solución 2	37
Figura 32. Concepto de solución 3	38
Figura 33. Base del concepto de solución 3	38
Figura 34. Diagrama de evaluación según VDI 2221	40
Figura 35. Concepto solución óptima	41
Figura 36. Diagrama de bloques electrónico de la solución óptima	42
Figura 37. Diagrama de proceso antes de guiado	43
Figura 38. Diagrama de parada de emergencia.....	43
Figura 39. Diagrama de navegación	44



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla comparativa de las características del robot	21
Tabla 2. Matriz morfológica del dominio control.....	31
Tabla 3. Matriz morfológica del dominio actuadores.....	32
Tabla 4. Matriz morfológica del dominio energía	32
Tabla 5. Matriz morfológica del dominio mecánico.....	33
Tabla 6. Matriz morfológica del dominio interfaz.....	34
Tabla 7. Matriz morfológica del dominio sensores	35
Tabla 8. Evaluación técnica	39
Tabla 9. Evaluación económica	39



INTRODUCCIÓN

El interés por los robots de servicio ha ido en aumento en los últimos años debido a la necesidad de ayudar a los seres humanos en sus actividades cotidianas. Este es el caso de los robots guías, los cuales permiten orientar a las personas por el entorno en el que se encuentran, siendo museos, hoteles y hospitales los lugares en donde la implementación de estos robots se ha intensificado. Por otro lado, se utiliza a los robots para prevenir y mitigar enfermedades contagiosas ya que estos son empleados para evitar la interacción de persona a persona, especialmente en el contexto actual consecuencia de la propagación del virus Covid 19 a nivel mundial. En el presente trabajo se realiza la investigación de los sistemas robóticos ya existentes y la tecnología necesaria para implementar un robot autónomo en centros de salud, que tiene como propósitos el guiar al paciente sobre su lugar de destino, y brindar información de la cita médica. Además, se busca disminuir la propagación de enfermedades que se transmiten por el contacto directo entre personas.

En el primer capítulo se presentará la problemática a resolver y se limitarán los objetivos del trabajo. Posteriormente se explicará la metodología a usar para el desarrollo del sistema, y se establecerá el cronograma de trabajo. Además, se definirán conceptos sobre robots de servicio, y la tecnología usada. Finalmente, se realizará una búsqueda de los sistemas robóticos guías ya existentes en el mercado.

En el segundo capítulo se definirán la función principal y los requerimientos del sistema, para luego reconocer las entradas y salidas y así, establecer las funciones de cada subsistema. Posteriormente, se diseñarán tres conceptos de solución preliminares que satisfagan las funciones previamente encontradas. Mediante un análisis técnico-económico se elegirá el mejor concepto el cual será corregido mediante un proceso iterativo para obtener la solución óptima.

Por último, se presentarán las conclusiones del trabajo elaborado luego de haber realizado la investigación y el diseño del robot.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1 Problemática

La satisfacción del usuario en los servicios de salud es un tema cada vez más importante para garantizar la efectividad de la atención y eficiencia de la gestión (Darras, Seclén, 2005). La búsqueda de la satisfacción no debe darse solo durante la atención médica, sino también en las etapas previas. Por ejemplo, el proceso de informar y orientar al cliente para llegar a su sala de consulta debe ser claro y rápido. Sin embargo, muchos centros clínicos no realizan esta tarea de forma competente, ya sea por una ineficiente señalética o por las ambiguas indicaciones del personal de atención.

En una encuesta realizada para evaluar la calidad de atención en un centro de salud de primer nivel del Callao (Zafra, Veramendi, Villa, 2015), se demostró que aproximadamente un 32% de las personas encuestadas, entre usuarios y acompañantes, estaban insatisfechos con la señalización en los interiores del centro médico. Este problema se replica en la gran mayoría de los 39 centros de salud existentes en Lima y Callao.

Como consecuencia de la desorientación de los pacientes por la inadecuada señalización, se tiene el incremento del tiempo que le toma a un paciente encontrar su destino de atención, lo que puede generar la pérdida de la cita médica en el horario programado, y, la posible pérdida de un cliente a causa de esta incomodidad.

Por otro lado, se considera que el grupo de tercera edad presenta mayor dificultad en la capacidad de orientación y retención de información, y a veces recurren a otros usuarios para orientarse. Sin embargo, este acercamiento hace que las personas tengan mayor contacto, incrementando el riesgo de contagio de algunas enfermedades, como es el caso del virus COVID-19.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, la elaboración de un robot capaz de interactuar con los usuarios de centros clínicos y hospitales que brinde información y guíe a los pacientes a sus respectivos consultorios médicos, disminuiría la desorientación de los clientes, aumentando su satisfacción. Además, evitaría el contacto directo entre las personas, de esta forma ayudaría a cumplir con las recomendaciones de seguridad brindadas por la OMS.

1.2 Objetivos

Una vez establecida la problemática, se define el objetivo general y los objetivos específicos:

Objetivo general

Como objetivo general se propone diseñar un sistema robótico asistencial móvil para brindar información y guiar a pacientes a sus respectivos consultorios médicos en hospitales.

Objetivos específicos

- Realizar la búsqueda del estado del arte para identificar la tecnología utilizada en robots guías
- Definir la lista de requerimientos y estructura de funciones del sistema
- Seleccionar los componentes electrónicos que permitan el adecuado funcionamiento de los sensores y actuadores
- Diseñar el sistema móvil y estructura de soporte del robot
- Diseñar un sistema de mapeo del entorno para el robot

- Elaborar un algoritmo para monitorear la ubicación y desplazamiento del robot
- Definir el concepto de solución óptimo mediante un análisis técnico-económico.

1.3 Metodología

Para la elaboración de este proyecto se utilizará la metodología VDI 2221 “Métodos para el desarrollo y diseño de sistemas técnicos y productos”.

La metodología que se empleará comprende las siguientes cuatro fases:

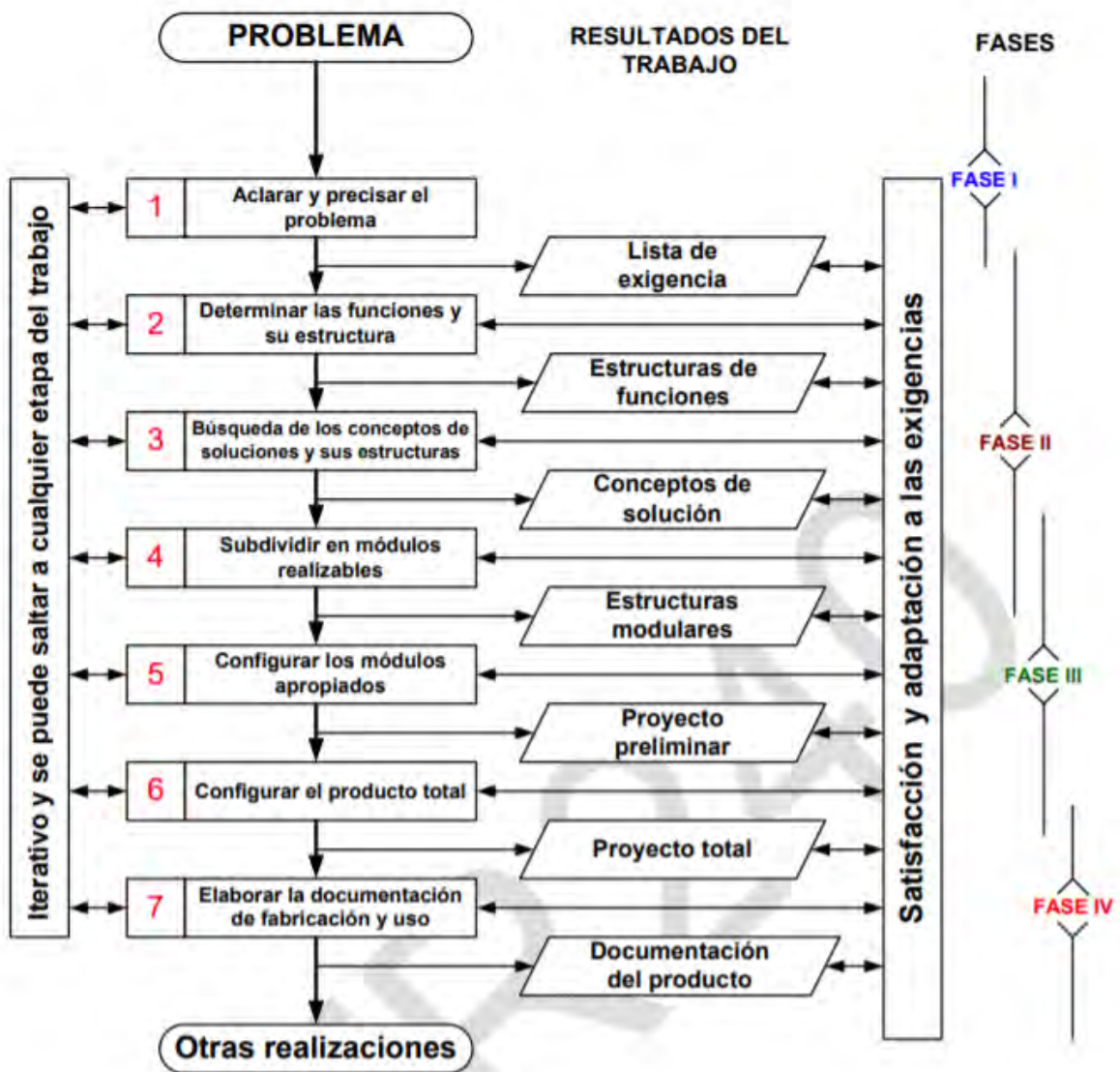


Figura 1: Proceso generalizado de desarrollo y diseño VDI 2221
Fuente: Barriga (2018)

En el presente trabajo de investigación, se desarrollarán las tres primeras fases:

- **Compresión de la solicitud:** En esta fase se busca identificar los requerimientos del sistema, los cuales serán divididos en requerimiento principal y requerimientos por dominio: mecánicos, eléctrico-electrónicos y de control.
- **Concepto de solución:** Durante esta fase se desarrollará la estructura de funciones tomando en cuenta las entradas y salidas del sistema, las cuales pueden ser: señales, energía y materia. Posteriormente se propondrán tres conceptos de solución mediante una matriz morfológica en la cual se ofrecen diferentes alternativas por cada subsistema.
- **Elaboración del proyecto:** Una vez delimitados los conceptos de solución, se elige al diseño preliminar mediante una evaluación técnica-económica. Luego, mediante un proceso iterativo, se busca la solución óptima.

1.4 Marco teórico

Para lograr la comprensión del proyecto a desarrollar, se presentarán las definiciones conceptuales de los términos: robots de servicio, navegación autónoma y, técnicas de mapeo y localización simultáneos.

1.4.1 Robots de servicio

Los robots de servicio aparecen debido a la necesidad de ayudar a las personas en trabajos externos a entornos fabriles, en donde las condiciones ambientales son cambiantes y la interacción con los humanos es estrecha. A diferencia de los robots industriales, los robots de servicio presentan estructuras más complejas, no son solo un brazo robótico; estos pueden tener múltiples extremidades, e incluso tener un aspecto antropomorfo. Además, cuentan con un sistema de locomoción para desplazarse en su entorno de trabajo; por ello, necesitan un robusto sistema sensorial para reconocer el entorno.

Se puede clasificar a estos robots según su área de aplicación (Aracil, Balaguer, Armada, 2008): a) sectores productivos no manufactureros, por ejemplo, agricultura, minería, construcción, etc. y b) sectores de servicio, en donde son usados como ayudantes personales, servicios de vigilancia, limpieza, educación, entre otros (Figura 3).



a) Robot orientado al mantenimiento de líneas de alta tensión



b) Robot de educación y entretenimiento

Figura 2. Clasificación de los robots de servicio por su área de aplicación
Fuente: (Aracil, Balaguer, Armada, 2008)

Los robots orientados a sectores de servicio son aquellos que influyen directamente en el estilo de vida de las personas; entre ellos se encuentran los robots guías, estos son capaces de convivir con los humanos y realizar tareas comunicativas tales como guía de ruta o brindar información. Su uso ha ido en aumento durante las dos últimas décadas, especialmente como guías de museo, ya que mejoran la experiencia de los visitantes debido a la interacción humano-robot.

1.4.2 Aspectos de robots sociales

El diseño de los robots sociales varía según la función que este va a desarrollar; sin embargo, siempre se debe tener en cuenta que el diseño no debe causar sensaciones de temor o desconfianza a los usuarios. Los robots cuya finalidad es interactuar y guiar a personas pueden presentar los siguientes diseños:

Robots humanoides

El diseño de estos robots imita la forma de los seres humanos, ya sea incorporando extremidades, rasgos faciales, movimientos, voz. Este tipo de

robots presentan un gran reto en su fabricación debido a su compleja forma. Estos pueden clasificarse en robots humanoides con ruedas y robots humanoides bípedos. El primero de ellos tiene como ventaja su estabilidad, por ello pueden movilizarse sin complicaciones en superficies planas y a mayores velocidades; además, su sistema de control es más sencillo. Por otro lado, los robots bípedos pueden movilizarse por terrenos discontinuos y evitar obstáculos que se encuentren a poca altura.



Figura 3. Robot humanoide con ruedas y robot humanoide bípedo.
Fuente: Chavez, Cabrera (2013)

Robots sin extremidades

El diseño de estos robots carece de extremidades; sin embargo, suelen tener incorporados una pantalla que representa un rostro para transmitir emociones y generar un lazo amigable con los usuarios, además de comunicarse por sonidos. Estos robots se desplazan con una base móvil que les puede brindar un movimiento omnidireccional.



Figura 4. Robot de la empresa LG carente de extremidades.
Fuente: <https://9to5toys.com/2017/01/04/lg-adorable-life-size-robots-home-airport/>

1.4.3 Interfaces de usuario

Las interfaces de usuario permiten establecer la comunicación entre la máquina y el humano. Para que este sistema sea útil para todos aquellos que interactuarán con el robot, se necesita personalizar una interfaz y no al robot asistencial, ya que este último puede ser el mismo, pero utilizado de formas diferentes (Jardón, 2006).

Las interfaces de usuario-máquina se clasifican en las siguientes categorías según su funcionalidad:

- Actuadores proporcionales: son aquellos que pueden ser controlador por las siguientes partes del cuerpo: mano, boca, barbilla, hombros, nuca o pies (Ferrario y Lodola, 1992).

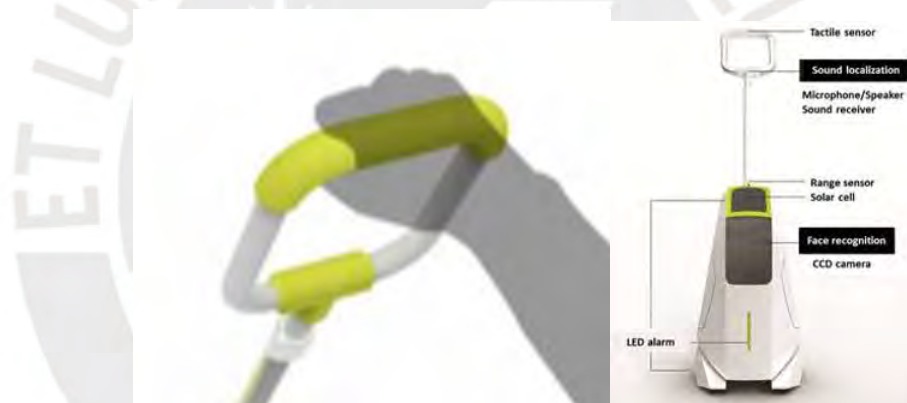


Figura 5. Robot guía para personar ciegos basado en electromiografía.
Fuente: Lee, Chiu, Zhou (2013)

- Actuadores on-off: permiten conmutar alguna acción del sistema, especialmente la de encendido y apagado. Suelen ser pulsadores o llaves.



Figura 6. Pulsador de tipo palanca On-Off.
Fuente: <https://www.planetaelectronico.com/>

- Actuadores de comando: son aquellos actuadores que realizan una acción mediante el reconocimiento de voz, movimientos oculares, gestos, entre otros.



Figura 7. Robot NAO, accionado por voz.
Fuente: <https://www.grupo-mediatec.com/robotica/h25.html>

1.4.4 Navegación autónoma

Se entiende como navegación autónoma en robots a la capacidad de desplazarse reconociendo obstáculos y tomando decisiones para esquivarlos; además, deben estimar su posición y orientación (Siegwart, Nourbakhsh, 2004). Para ello, el proceso de la navegación autónoma se compone de: localización, mapeo, planificación y seguimiento de rutas. Para lograr este objetivo, es importante el conocimiento de algoritmos informáticos, teoría de la información, inteligencia artificial y teoría de probabilidades.

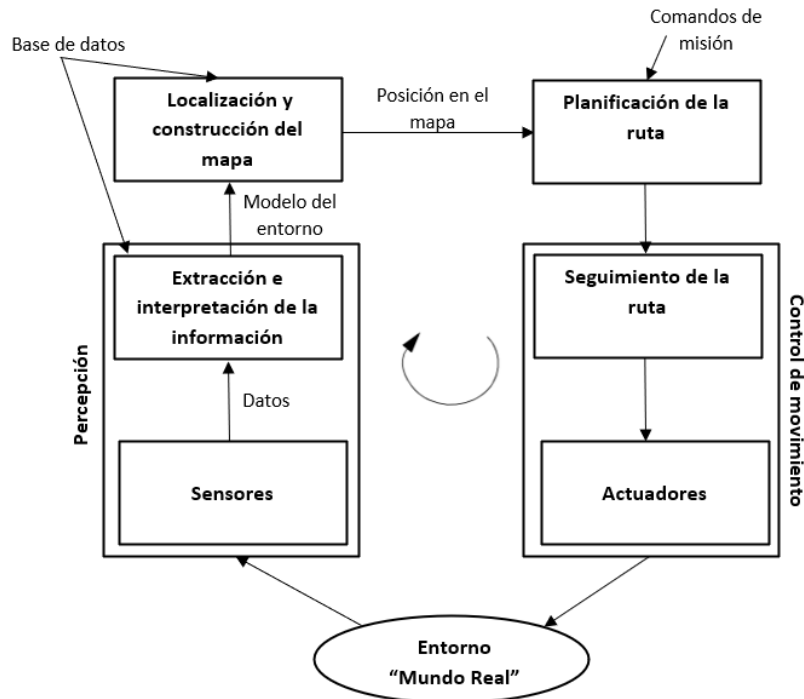


Figura 8. Esquema del proceso de navegación autónoma
Fuente: (Siegwart, Nourbakhsh, 2004).

Localización

En esta etapa, se estima la posición del robot respecto a las coordenadas del entorno en el cual se desplazará. En un plano bidimensional, se puede estimar la localización por medio del desplazamiento en los ejes (x,y), y por el ángulo de orientación del robot (Figura 5). Para resolver este problema, pueden ser usados los sensores de odometría, estos trabajan con la velocidad de rotación y orientación de las ruedas para estimar los cambios de la posición en todo instante de tiempo. Sin embargo, este tipo de sensores no son del todo precisos debido a las irregularidades del entorno, por ejemplo, la superficie por donde se moviliza el robot no es del todo plana; es por ello, que el error se acumula a lo largo del desplazamiento.

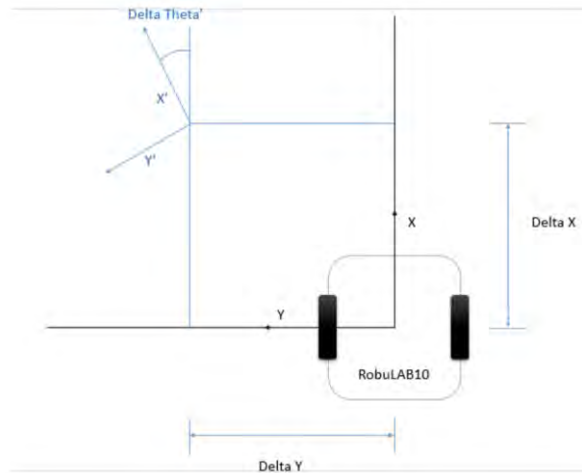


Figura 9. Parametrización del movimiento en un plano bidimensional
Fuente: (Pastor, 2014)

Mapeo

Se entiende como mapeo a la construcción geométrica consistente del entorno del robot mientras se desplaza (Auat, Carelli, 2011). Esta etapa está estrechamente relacionada con la localización, ya que no se puede mapear si no se conoce la ubicación respecto a ese mapa. La localización y mapeo simultáneo (SLAM) es una técnica que integra las etapas de navegación ya mencionadas. Algunos algoritmos usados para la técnica SLAM son:

- Método de Monte Carlo

Este es un método probabilístico que permite tener un estimado de la posición del robot mediante filtros bayesianos y el algoritmo de Monte Carlo, en donde se emiten N cantidad de partículas, u ondas de sonido, sobre un área de interés. Posteriormente, se obtiene el promedio del tiempo en el que demora la onda para obtener la distancia aproximada del robot al entorno. Mientras mayor sea el número de muestras que se toma, mayor precisión se tendrá.

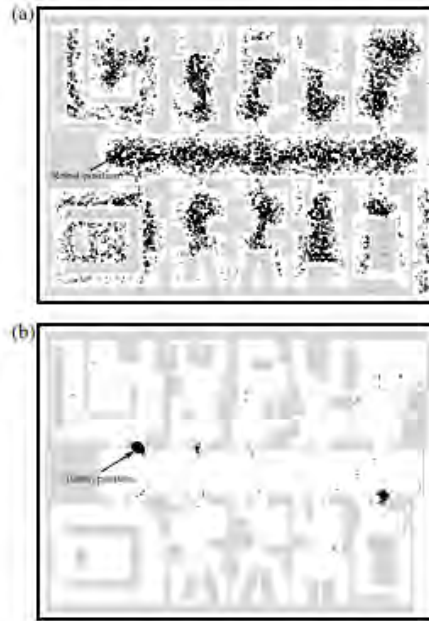


Figura 10. Aplicación del método de Monte Carlo.
 a) Mapa con incertidumbre b) Mapa con partículas filtradas
 Fuente: (Thrun, 2002)

- Iterative Closest Point

Iterative Closest Point O ICP es un algoritmo que utiliza registros por nube de puntos y detecta igualdades de puntos de diferentes nubes para obtener un promedio del error entra las distancias de punto a punto. Para minimizar el error, se rota y traslada cada nube de puntos hasta encontrar mayor cantidad de igualdades.

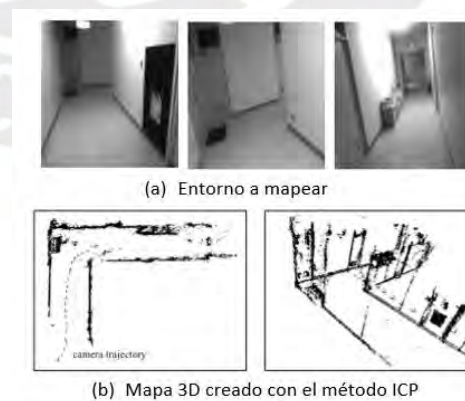


Figura 11. Aplicación del algoritmo ICP
 Fuente: (Tomono, 2009)

- Filtro Kalman

Este filtro es utilizado para predecir el estado del sistema en un tiempo determinado gracias a un control de retroalimentación que utiliza ecuaciones de estado y observación. Para mejorar la precisión de la predicción, se utilizan sensores que van tomando muestras y actualizan su predicción en función a la muestra anterior.

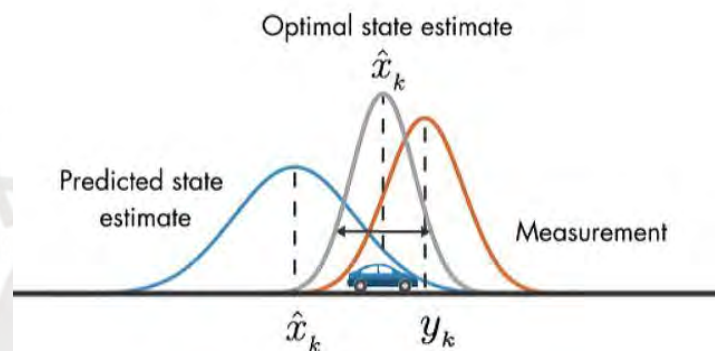


Figura 12. Proceso del filtro Kalman
Fuente: <https://la.mathworks.com/>

Planificación de rutas

Para planificar la ruta que el robot seguirá, es necesario reconocer los obstáculos para evitar colisiones. Durante esta etapa, el robot debe recibir como valores de entrada los datos de su posición y las del entorno para tomar una decisión sobre su desplazamiento. La ruta que seguirá debe ser óptima, por ello se usan algoritmos para generar rutas que impliquen la mínima cantidad de tiempo durante el desplazamiento.

1.4.5 Sensores utilizados en navegación autónoma

Sensores láser

Estos sensores emiten un pulso de luz láser que luego de ser reflejado por algún objeto, retornan al dispositivo receptor. El tiempo de ida y vuelta de la luz láser es proporcional a la distancia entre el sensor y el objeto. Las desventajas de estos sensores ocurren cuando se desea detectar algún objetivo a corta distancia, y cuando el material reflejado absorbe o dispersa la luz.

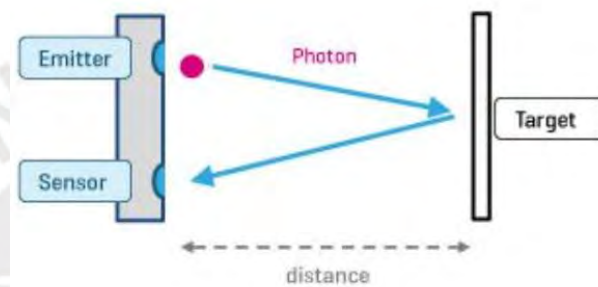


Figura 13. Principio de funcionamiento del sensor láser.

Fuente: <https://hubot.cl/product/sensor-de-distancia-laser-tof-gy-53-sku-637/>

Sensores de ultrasonido

Estos medidores de distancia emiten pulsos de ondas ultrasónicas. Sirven para detectar objetos a distancia cercanas, y a diferencia de la luz, el sonido no se ve afectado por el material del objetivo. Su principio de funcionamiento es parecido al de los sensores de ultrasonido, el tiempo de viaje de las ondas de sonido, es proporcional a la distancia entre el sensor y el objetivo.

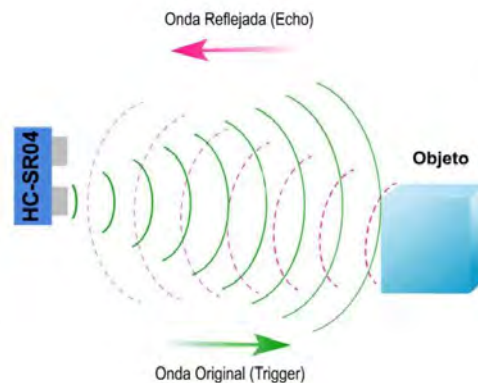


Figura 14. Principio de funcionamiento del sensor de ultrasonido.

Fuente: <https://www.zonamaker.com/>

Parachoques

También llamados “bumpers”. Funcionan con sistema de alerta cuando el robot entra en contacto con el medio. Solo tiene dos valores de estado: pulsado y no pulsado; es decir, no presentan sensibilidad ante distintos valores de presión.



Figura 15. Bumpers para robots móviles.

Fuente: <https://www.robotshop.com/uk/bumper-sensor-robot.html>

Encoders

Son dispositivos que convierten el movimiento en señales eléctricas. Registran las revoluciones de las ruedas; por lo tanto, son utilizados para conocer la velocidad, orientación y posición del robot.



Figura 16. Encoder para motor DC.

Fuente: <https://clr.es/blog/es/tipos-de-encoders-aplicaciones-motores/>

Cámaras de video

Son utilizadas para reconocer el entorno. La técnica de visión artificial es usada con estas cámaras para la exploración y navegación. Una de sus limitaciones es

la calidad de su imagen. La ventaja de estos dispositivos es que pueden reconocer a personas utilizando algoritmos de detección y reconocimiento de rostros.



Figura 17. Cámara de video utilizada en robots autónomos.

Fuente: https://www.amazon.com/-/es/SOLOSHOT3-OpticX-Optic65-Robotic-Camera/dp/B076B6XB5G?ref_=fsclp_pl_dp_1

Cámaras de profundidad

Este tipo de cámaras permite reconocer objetos del entorno y además brinda una aproximación de cuán lejos está cada objeto respecto al robot. Son utilizados para compensar las deficiencias de los sensores láser ya que, al igual que los sensores de ultrasonido, estos pueden detectar materiales transparentes.



Figura 18. Cámara de profundidad Intel RealSense.

Fuente: <https://www.amazon.com/Intel-Realsense-D435-Webcam-FPS/dp/B07BLS5477>

1.5 Estado de la tecnología

A continuación, se mostrarán y compararán sistemas robóticos que se encuentran en el mercado y cuya función principal se asemeja a la del proyecto a desarrollar (guiar e informar a personas).

- KtBot de Tekniker

Este es un robot de servicio móvil, autónomo y multifuncional enfocado a ayudar en actividades de asistencia en entornos interiores, entre ellos hospitales. Para desplazarse por entornos complejos, utiliza la localización basada en fusión de sensores con filtro de partículas. Para la detección de personas, emplea el sensor KINECT. Su programación fue hecha en ROS. Actualmente, el robot es usado en el museo de la ciencia de Eureka, España.



Figura 19. Robot KtBot de Tekniker

Fuente: <https://www.tekniker.es/es/robots-asistentes-que-colaboran-en-diferentes-entornos>

- Robot guía de biblioteca

Los objetivos del robot son brindar la información necesaria para dar a conocer los servicios con los que cuenta la biblioteca de manera amena y agradable al usuario; y guiar a los usuarios por el ambiente bibliotecario. Para ello usó sensores de ultrasonido que permitieron detectar personas y desniveles. La interacción con los usuarios era hablada, gracias al sensor EasyVR, usado para reconocimiento de voz. Este diseño adaptó la plataforma móvil Pioneer P3-DX para su desplazamiento.



Figura 20. Diseño del robot guía de biblioteca
Fuente: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/4486>

- Spencer de KLM

Spencer fue diseñado para escoltar a pasajeros a su sala de embarque en aeropuertos. Para ello se ayuda de un sensor de código de tarjetas de embarque y una pantalla táctil. Para la detección del entorno utiliza dos sensores Kinects y cámaras de video, ambas son controlados por laptops. Ajusta su velocidad dependiendo de la cantidad de personas a su alrededor. Su velocidad máxima es de 1.8 m/s.



Figura 21. Robot Spencer
Fuente: <https://news.klm.com/spencer-robot-completed-tests-guiding-klm-passengers-at-schiphol/>

- Pepper

Este robot humanoide, capaz de interactuar con las personas, es usado como guía en museos y hospitales. En estos últimos, Pepper acompaña a los pacientes a la sala a la que desean dirigirse. Se desplaza a cuatro kilómetros por hora. Para la comunicación con los usuarios dispone de dos cámaras RGB HD y cuatro micrófonos. Y para el desplazamiento, utiliza una cámara 3D para detectar profundidad, dos sensores de ultrasonido, seis señores láser y un giroscopio.



Figura 22. Robot Pepper

Fuente: <https://www.generationrobots.com/pepper/technicalspecifications.html?lang=en>

- Robina de Toyota

Robina tiene el trabajo de guiar a visitantes a través de la sala de exposiciones de la empresa Toyota. Además de evitar obstáculos, puede chatear con los visitantes y firma autógrafos. Trabaja con sensores láser para evitar obstáculos, y cámaras para reconocer a las personas. Su plataforma es de seis ruedas y puede durar hasta una hora de trabajo.



Figura 23. Robot Robina

Fuente: <https://www.popularmechanics.com/technology/robots/a2136/4224698/#sidepanel>

- Sanbot Elf

Sanbot es un robot que puede ser usado como guía y anfitrión. Puede interactuar con los usuarios a través de una pantalla táctil. Puede trabajar continuamente por diez horas. Fue desarrollado por la plataforma ROS. Sanbot está incorporado con más de 60 sensores que permiten un desplazamiento e interacción eficientes.

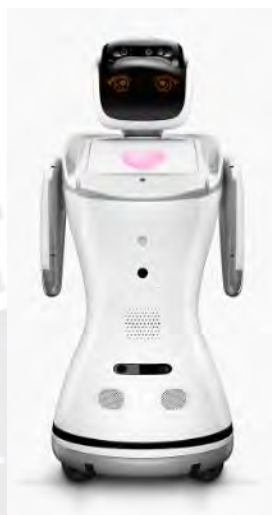


Figura 24. Robot Sanbot Elf

Fuente: <http://en.sanbot.com/product/sanbot-elf/specification>

- Hospi

Creado por Panasonic, Hospi es un robot orientado a ayudar en tareas en hospitales, tales como entrega de medicamentos, muestras médicas y tomar nota de los casos de los pacientes. Utiliza la red WiFi para comunicar detalles de su ubicación. Puede trabajar hasta nueve horas seguidas y cargar un máximo de 20 Kg.



Figura 25. Robot Hospi

Fuente: <https://www.tekniker.es/es/robots-asistentes-que-colaboran-en-diferentes-entornos>

A continuación, se presenta una tabla comparativa de los productos comerciales mencionados anteriormente. Con ello se busca identificar la altura promedio, velocidad, peso, autonomía y tecnología utilizada.

Tabla 1. Tabla comparativa de las características del robot

Nombre	Altura (cm)	Velocidad	Peso (Kg)	Autonomía	Tecnología utilizados
Robot guía de biblioteca	150	7Km/h	-	8 horas	- Sensor Ultrasónico MB1000 - Sensor Ultrasónico HC-SR04 - Sensor Inercial IMU 10 DOF - EasyVR 2.0 - Logitech HD Webcam C615
Spencer de KLM	193	4.68Km/h	250	8 horas	-Scanner láser 2D(x2) -Scanner láser 3D(x1) -Cámaras de profundidad ASUS Xtion (x4) -Cámara estereoscópica (x2) -Sensores de contacto
Pepper	120	3Km/h	28	12 horas	-Cámaras HD (x2) -Sensor giroscópico (x1) -Sensores láser (x6) -Sensores de proximidad (x6) -Pantalla interactiva 10,1” -Micrófono
Robina	120	-	60	1 hora	-Sensores láser -Sensores de ultrasonido -Cámaras
Sanbot Elf	90	2.9km/h	19	10 horas	-Sensor giroscópico (x1) -Cámara RGB (x2) -Sensores infrarrojos (x15) -Sensor 3D (x1) -Sensores táctil (x13)
Hospi	139	3.6km/h	170	9 horas	-Sensores de ultrasonido (x27) -Pantalla táctil Panasonic -Cámara de video

De la tabla anterior, se concluye que el promedio de la velocidad de desplazamiento no es mayor a la velocidad de las personas al caminar (2.3km/h). Por otro lado, la altura suele ser del tamaño de una persona pequeña, 140 cm aproximadamente. Debido a este pequeño tamaño, los robots no son muy pesados. En cuanto a la autonomía, la gran mayoría supera la jornada laboral de 8 horas. Finalmente, los sensores más utilizados son los ultrasónicos, láser, IMU, y cámaras de video.

CAPÍTULO 2

DISEÑO CONCEPTUAL

2.1 Requerimientos del sistema

Para mencionar los requerimientos del sistema, se detallarán las características principales que el sistema debe tener para solucionar la problemática identificada anteriormente. Para ello, se listarán los requerimientos por subsistemas: mecánicos, electrónicos, control.

2.1.1 Función principal

Brindar la información necesaria a pacientes en hospitales y centros clínicos y guiarlos en caso necesiten acudir a su cita de atención médica.

2.1.2 Requerimientos mecánicos

- Las dimensiones máximas del robot serán 70 x 70 x 140 cm (Largo x ancho x alto).
- El robot contará con tres grados de libertad.
- La masa del robot no deberá exceder los 60 Kg.
- Su velocidad máxima será de 4km/h

- El diseño del robot debe permitir un fácil montaje y desmontaje de los componentes.
- El diseño del robot deberá tener bordes suaves para evitar dañar a las personas.
- El diseño mecánico del robot debe contemplar una estructura que reduzca las vibraciones.
- El robot debe ser diseñado con un material que cumpla con las normas de higiene y seguridad en salud para que su desinfección sea total y no afecte la salud de los pacientes.

2.1.3 Requerimientos eléctricos-electrónicos

- El robot tendrá una autonomía de al menos de 5 horas.
- El robot contará con una interfaz visual que permita al usuario identificar la información por medio de imágenes y colores.
- La distribución de los componentes electrónicos dentro del robot debe darse de manera ordenada para evitar cortocircuitos.
- El sistema contará con sensores para reconocer el entorno y el movimiento de las personas.
- El robot contará con un sistema electrónico que permita adquirir, amplificar y controlar señales.
- El sistema deberá tener un grado de protección IP66 de tal forma que cuide a los componentes eléctricos la protección casi total contra el polvo y chorros de agua.

2.1.4 Requerimientos de control

- Se usará un sistema de control para un desplazamiento óptimo del robot. Esto controlará a los decodificadores de los motores y así se ajustará la velocidad de las ruedas.

- Los softwares que se utilizarán en el desarrollo del sistema serán de libre acceso y de código abierto.
- Se deberá implementar en el robot un algoritmo de navegación autónoma para desplazarse y evitar obstáculos.

2.2 Estructura de funciones

2.2.1 Caja negra

La caja negra representa de manera abstracta la entradas y salidas del sistema, las cuales pueden ser señales, energía y materia.

Entradas del sistema

- **Señales**

- Señal de encendido: Se energiza el sistema para iniciar con el proceso del robot.
- Señal de apagado: Se desenergiza el sistema para dar por culminado el proceso.
- Señal de parada de emergencia: Se detiene todo el funcionamiento del robot en caso de existir alguna emergencia.
- Solicitud del usuario: El usuario indica qué función desea que el robot realice.
- Base de datos: La información de las citas médicas de los usuarios se encuentra en una base de datos desde la cual el robot debe extraer dicha información.

- DNI: Se recibirá una señal de información dependiendo del DNI del usuario.
- Señales de perturbación: Ruido que proviene del ambiente y afecta a los sensores del sistema.

- **Energía**

- Energía eléctrica: El sistema será alimentado con 220V/60Hz (valore utilizados en Perú).

Salidas del sistema

- **Señales**

- Información de cita médica: Se mostrará al usuario la información respectiva de su cita.
- Señal indicadora del estado del sistema: Se indicará el estado del robot; si este está encendido, apagado y el estado de la batería.
- Señal de inicio de la etapa de guiado: Se debe alertar al usuario que se iniciará el desplazamiento que lo guiará

- **Energía**

- Energía sonora: Producida por el movimiento de los actuadores.
- Energía térmica: El sistema emite calor al realizar su trabajo.

- Vibración mecánica: Vibraciones producidas por el movimiento del robot.
- Energía lumínica: Producida por dispositivos indicadores.

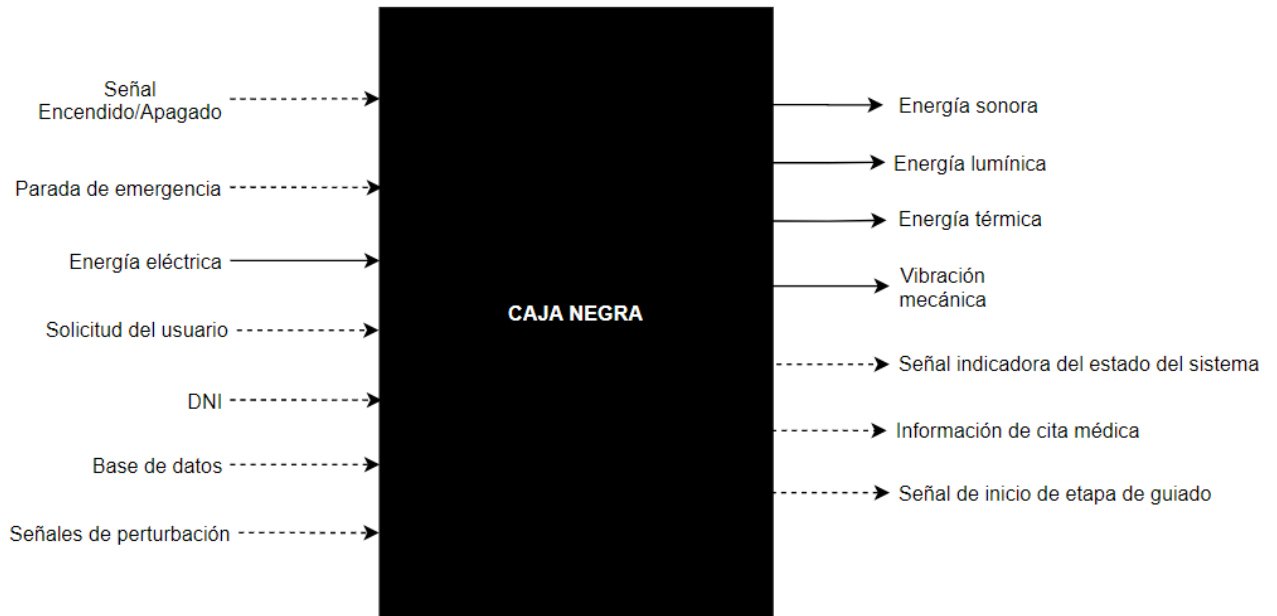


Figura 26. Caja negra del sistema
Fuente: Elaboración propia

2.2.2 Lista de funciones

Para poder encontrar una solución del proyecto a desarrollar, es importante identificar las etapas que se deben desarrollar en cada dominio, y las entradas y salidas de cada una de ellas. Finalmente, se obtendrá una estructura de funciones integrada, relacionando las entradas y salidas de cada dominio.

Dominio mecánico

Este proceso posee las funciones que se encargará de los movimientos principales y la protección del sistema, los cuales se detallan a continuación:

- **Desplazar sistema:** El robot debe contar con los tipos de ruedas necesarias para moverse.
- **Transmitir potencia de motor a ruedas:** La transmisión de potencia debe ser la adecuada para mover al motor

- **Proteger y almacenar componentes:** En esta función se define la forma del robot que protegerá a los componentes de golpes y los almacenará.
- **Soportar componentes:** Los componentes pequeños deben tener su propia carcasa que asegure que estos estén fijos.

Dominio sensores

Este dominio se encargará del sensado del entorno, por ejemplo, obstáculos. Para la navegación autónoma, es importante sensar la velocidad y orientación del robot. Por otro lado, identifica al usuario que vaya a utilizar el sistema.

- **Medir distancias desde el robot al entorno:** Esta función recibe los valores de distancia entre el robot y el entorno (personas, paredes y objetos).
- **Sensar velocidad:** Se debe monitorear la velocidad del sistema con la finalidad de saber su ubicación.
- **Sensar orientación:** Se debe sensar la orientación del sistema para asegurar que vaya por la trayectoria correcta.
- **Adquirir información del DNI:** Esta función se encargará de reconocer la identidad de la persona que utilizará el sistema.

Dominio energía

Este dominio se encargará de suministrar energía a los diferentes dominios que tiene el sistema, de esta forma se proporciona el voltaje y corriente requeridos a cada una de ellas.

- **Almacenar energía:** El sistema recibe energía eléctrica de una fuente de 220VAC/60Hz y la almacena para energizar a los

componentes sin depender de una conexión física a la fuente mientras se desplaza.

- **Acondicionar energía:** Se regulan los valores de voltaje y corriente para energizar los diferentes dominios.

Dominio actuadores

Este dominio transforma energía eléctrica en movimiento, de esta forma se activan los mecanismos que realizarán alguna acción física en el sistema.

- **Generar movimiento mecánico:** Esta función se encarga de transformar energía eléctrica en mecánica para accionar los mecanismos de movimiento.
- **Desenergizar energía:** El sistema debe de dejar de suministrar energía para apagar el equipo.

Dominio controlador

En este dominio se busca que el movimiento del robot sea el óptimo. Por otro lado, se buscará la información de los usuarios que utilizarán el robot.

- **Procesar señales de información:** El sistema debe ser capaz de interpretar las señales necesarias para controlar los dispositivos que permitan su correcto funcionamiento.
- **Determinar la posición respecto al entorno:** Se procesa la data obtenida por los sensores del sistema para determinar la posición del robot respecto al mapa del entorno de navegación.
- **Planificar ruta:** Se calcula la distancia hacia los obstáculos presentes frente al sistema y se corrige la trayectoria para que el sistema navegue autónomamente.

- **Controlar actuadores de desplazamiento:** Esta función se encargará de controlar la velocidad de los actuadores que permitirán el desplazamiento del sistema.
- **Comunicar con base de datos:** Se debe extraer información de una base de datos externa la cual tendrá información de los usuarios y sus citas médicas.

Dominio interfaz

Este dominio se encargará de facilitar al usuario comunicarse con el robot.

- **Encender/apagar sistema:** Esta función se encarga de emitir las señales de encendido y apagado según lo requiriera el usuario.
- **Indicar estado del sistema robótico:** Se debe indicar si el robot está en operación, reposo y el nivel de batería.
- **Accionar apagado de emergencia:** El robot debe contar con un dispositivo que permita desenergizar los componentes del sistema.
- **Indicar inicio de la etapa de guiado:** El robot debe alertar al usuario que va a iniciar el desplazamiento que guiará al usuario a su destino.
- **Recibir solicitud de usuario:** El sistema debe reconocer si el usuario quiere que se muestre solo información de su cita o si desea que sea guiado.
- **Mostrar información de la cita médica:** El sistema mostrará la información de la cita médica al usuario respectivo a través de una pantalla.

- **Expresar gestos faciales:** El robot debe simular los gestos de un rostro al interactuar con el usuario.

A continuación, se muestra la estructura de funciones del sistema, que se obtuvo al relacionar las entradas y salidas de la caja negra con las funciones requeridas en cada dominio.

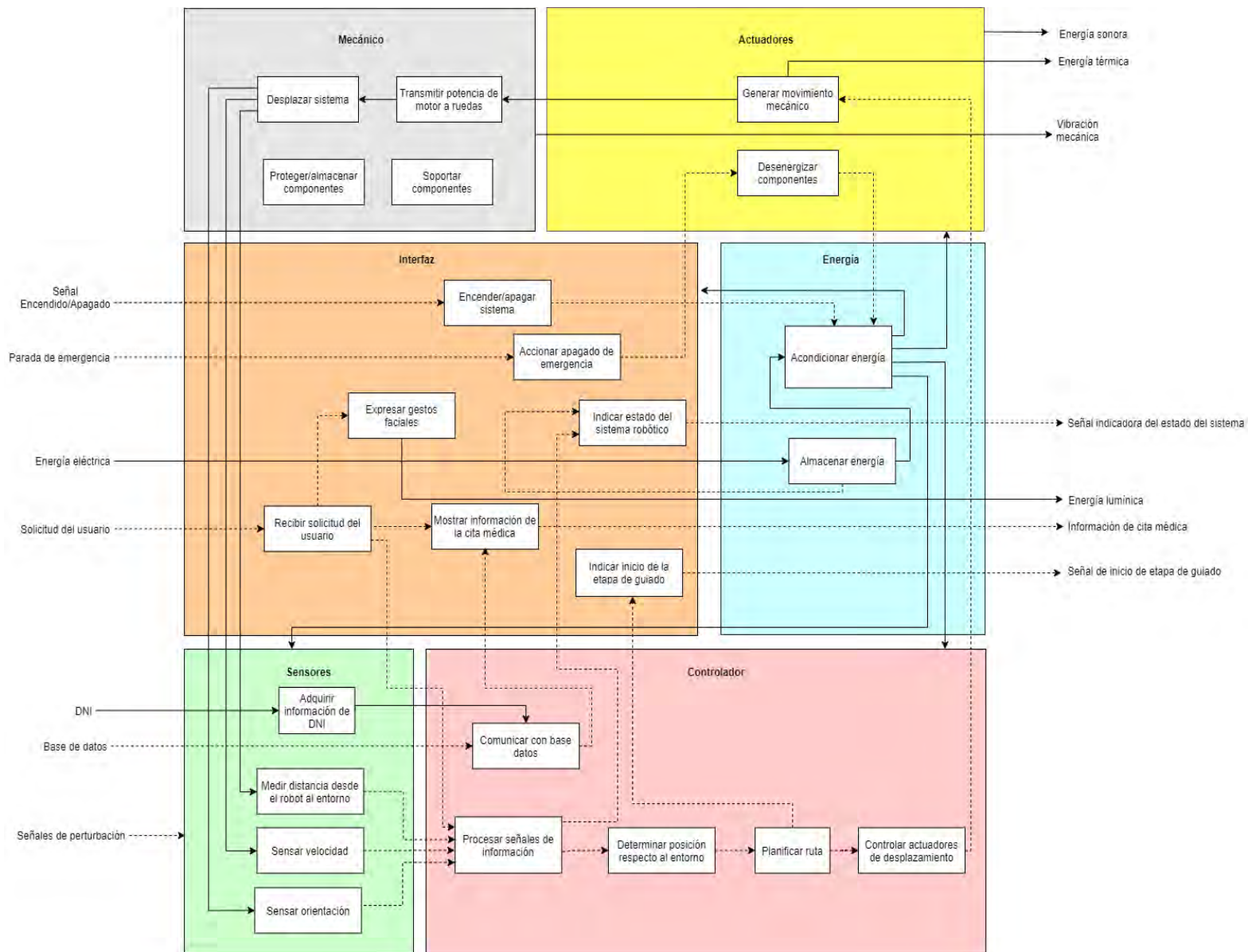





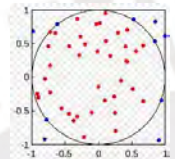

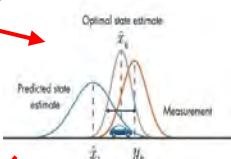
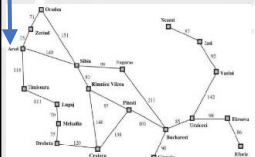

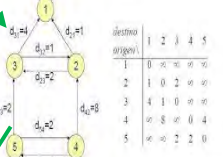

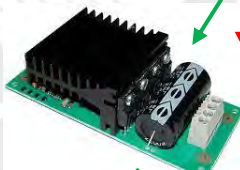
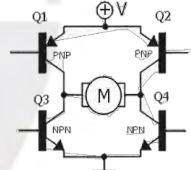
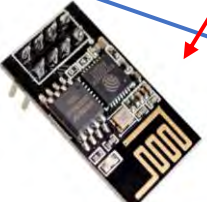


Figura 27. Estructura de funciones
Fuente: Elaboración propia

2.3 Matriz morfológica

A continuación, se mostrarán diferentes alternativas que permitirán desarrollar las diferentes tareas mencionadas en la lista de funciones.







2.3.1 Dominio Control

Tabla 2. Matriz morfológica del dominio control

Dominio	Funciones	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Control	Procesar señales de información	 Microcontrolador + Microprocesador	 PLC	 PC Embebida
	Determinar posición respecto al entorno	 Método de Montecarlo	 Método ICP	 SLAM con filtro Kalman
	Planificar ruta	 Algoritmo A*	 Algoritmo Dijkstra	 Algoritmo Bellman-Ford
	Controlar actuadores de desplazamiento	 Driver de motor RoboClaw	 Driver de motor MD03	 Diseño de circuito puente H
	Comunicar con base de datos	 Módulo WiFi ESP8266	 Módulo WiFi RS232	 Router WiFi portátil

2.3.2 Dominio Actuadores

Tabla 3. Matriz morfológica del dominio actuadores

Dominio	Funciones	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Actuadores	Generar movimiento mecánico	 Motor DC Brushed	 Motor DC Brushless	 Motor a pasos
	Desenergizar energía	 Relé	 Moc con Triac	 Contactor





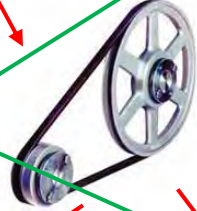

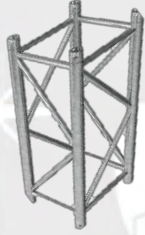





2.3.3 Dominio Energía

Tabla 4. Matriz morfológica del dominio energía

Dominio	Funciones	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Energía	Almacenar energía	 Baterías Iones-Litio	 Batería Libre mantenimiento	 Baterías de Niquel-Cadmio
	Acondicionar energía	 Regulador lienal de Voltaje	 Regulador switching integrado	




















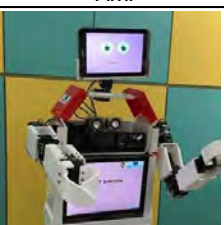

2.3.4 Dominio Mecánico

Tabla 5. Matriz morfológica del dominio mecánico

Dominio	Funciones	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Mecánico	Desplazar sistema	 Ruedas convencionales	 Ruedas omnidireccionales	 Ruedas tipo oruga
	Transmitir potencia de motor a ruedas	 Bridas de acople universal	 Fajas	 Cadenas
	Proteger/almacenar componentes	 Estructura de perfiles	 Carcasa de base circular	 Carcasa de base cuadrada
	Soportar componentes	 Trabajo en chapa	 Impresiones 3D	 Acrílico













2.3.5 Dominio Interfaz

Tabla 6. Matriz morfológica del dominio interfaz


Dominio	Funciones	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Interfaz	Encender/apagar sistema	 Botones	 Llave termomagnética	 Switch
	Indicar estado del sistema robótico	 Luces estroboscópicas	 Sirena	 Pantalla
	Accionar apagado de emergencia	 Botón	 Llave termomagnética	 Switch
	Indicar inicio de la etapa de guiado	 Pantalla	 Luces	 Buzzer
	Recibir solicitud del usuario	 Tablet	 HMI	 Pantalla de laptop
	Mostrar información de la cita médica	 Tablet	 HMI	 Pantalla de laptop
	Expresar gestos faciales	 Matriz de leds	 Pantalla	 Rostro articulado

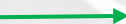
2.3.6 Dominio Sensores

Tabla 7. Matriz morfológica del dominio sensores

Dominio	Funciones	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Sensores	Medir distancias desde el robot al entorno	 Sensores ultrasonicos	 Sensores infrarrojos	 Cámara de profundidad
	Sensar velocidad del robot	 Encoders	 IMU	 Sensor inductivo
	Sensar orientación del robot	 Encoders	 IMU	 Giroscopio
	Adquirir información del DNI	 Cámara	 Scanner láser de código de barras tipo pistola	 Lectora de DNI ranurado

Concepto de solución 1 

Concepto de solución 2 

Concepto de solución 3 

2.4 Conceptos de solución

2.4.1 Concepto de solución 1

El primer concepto corresponde al de un robot con carcasa de base cilíndrica, en donde los componentes electrónicos se ubican sobre la plataforma base circular. Para el movimiento del robot se utilizarán 4 motores DC. Y para la expresión de gestos, matrices de leds. El robot reconocerá la identidad del usuario gracias a un lector de código de barras ubicada al costado de una pantalla que servirá para mostrar mensajes al robot.

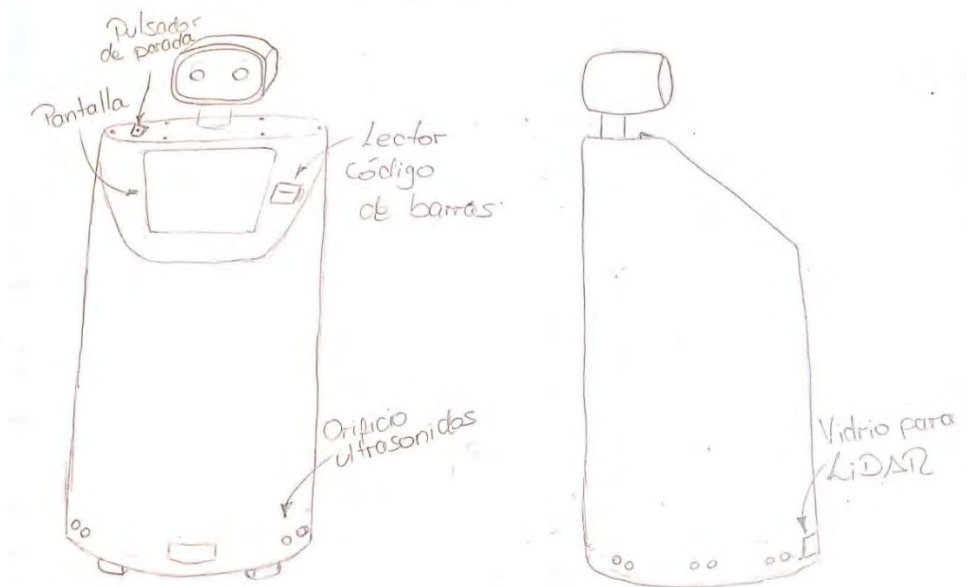


Figura 28. Concepto de solución 1
Fuente: Elaboración propia

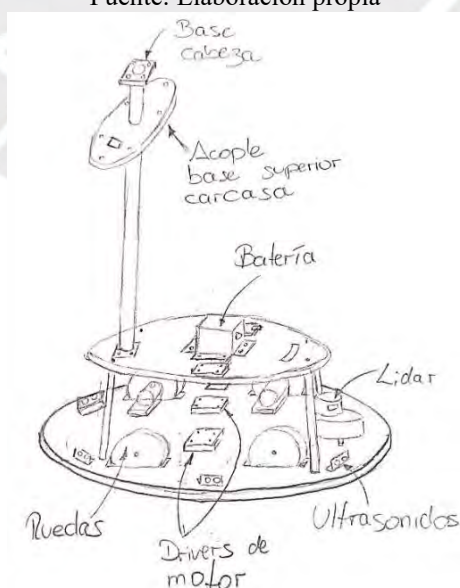


Figura 29. Interior del concepto de solución 1
Fuente: Elaboración propia

2.4.2 Concepto de solución 2

En el siguiente concepto se muestra un robot cuya estructura está formada por perfiles cuadrados para el cuerpo y una base cuadrada sobre la cual se colocarán los componentes electrónicos. Se usará una carcasa que le dará forma al cuerpo del robot. La potencia se transmite del motor a las ruedas mediante poleas. El robot expresará emociones por medio de una pantalla. Los botones de apagado, encendido y de emergencia se ubicarán detrás de la pantalla, la cual está soportada por un perfil cuadrado inclinado. Para alertar al usuario, se utilizará un buzzer ubicado sobre el robot, y para reconocerlo, se utilizará una cámara ubicada dentro de la cabeza.



Figura 30. Concepto de solución 2
Fuente: Elaboración propia

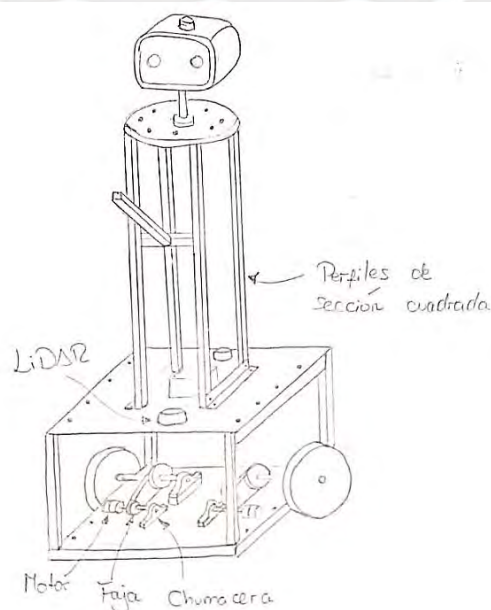


Figura 31. Estructura de concepto de solución 2
Fuente: Elaboración propia

2.4.3 Concepto de solución 3

El tercer concepto corresponde al de un robot que se desplazará con ruedas tipo oruga la cual será impulsada por dos motores. Para expresar emociones utilizará una pantalla y se le acoplará un HMI el cuál trabajará juntamente con un PLC para controlar los dispositivos del robot. En caso de emergencia, se dará aviso al operario por medio de una luz estroboscópica. Para activar y desactivar el robot, contará con un switch en la parte inferior de la cabeza. Finalmente, reconocerá el entorno con una cámara de profundidad y un sensor LiDAR.

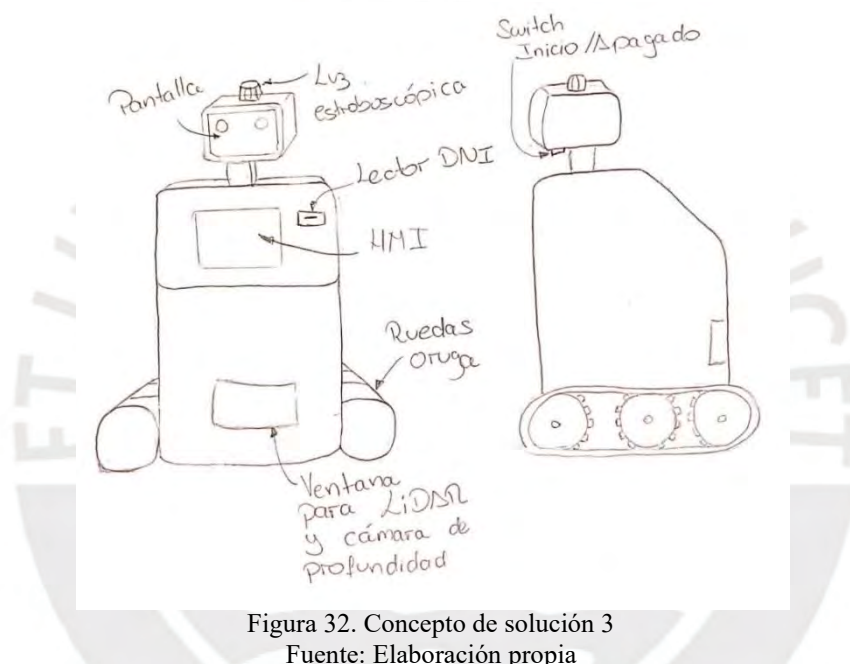


Figura 32. Concepto de solución 3
Fuente: Elaboración propia

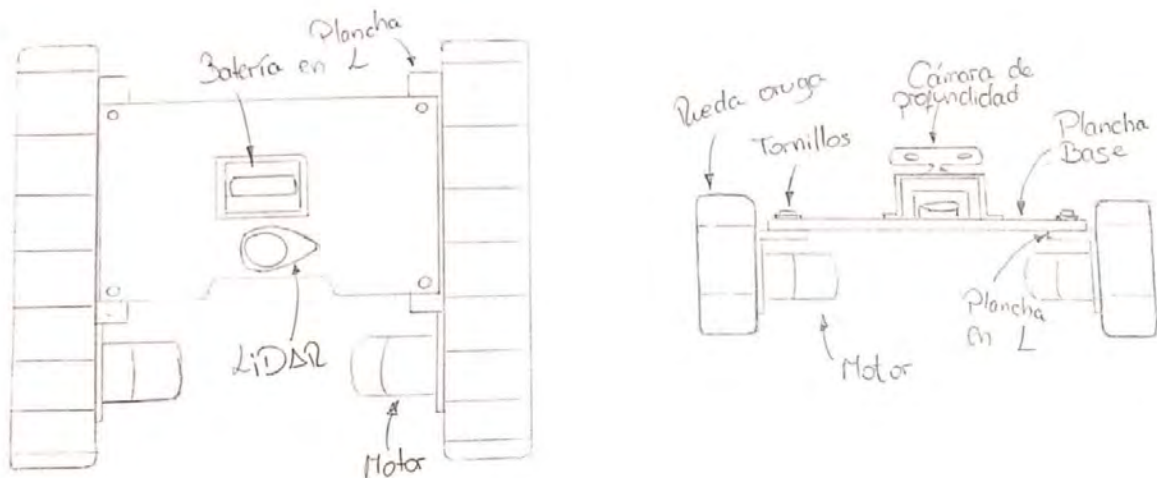


Figura 33. Base del concepto de solución 3
Fuente: Elaboración propia

2.5 Evaluación técnico-económica

Luego de haber diseñado los tres conceptos de solución, se realiza un análisis técnico y económico de cada concepto el cuál servirá para determinar el concepto de solución óptimo. Para ello, se asignará puntaje a diversos criterios de evaluación con valores del 0 al 4, con ello, se obtendrá el porcentaje de calificación respecto a una solución ideal.

Tabla 8. Evaluación técnica

Diseño Mecatrónico - Evaluación Técnica										
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										
Variantes de Concepto/ Proyecto			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución Ideal	
Nº	Criterios de evaluación técnica	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	pg
1	Rapidez de desplazamiento	3	3	9	2	6	3	9	4	12
2	Control de movimiento	4	4	16	3	12	2	8	4	16
3	Interacción con el usuario	3	2	6	2	6	2	6	4	12
4	Facilidad de montaje	4	3	12	2	8	2	8	4	16
5	Ergonomía	4	3	12	3	12	3	12	4	16
6	Seguridad a los usuarios	4	3	12	2	8	2	8	4	16
7	Tamaño	3	3	9	3	9	3	9	4	12
Puntaje máximo Σp ó Σgp		27	21	76	17	61	17	60	28	100
Valor técnico X_i			0.76		0.61		0.60		1	
Orden			1		2		3			

Tabla 9. Evaluación económica

Diseño Mecatrónico - Evaluación Económica										
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										
Variantes de Concepto/ Proyecto			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución Ideal	
Nº	Criterios de evaluación económica	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	pg
1	Costo de fabricación	4	3	12	3	12	2	8	4	16
2	Costo de la tecnología	4	3	12	3	12	2	8	4	16
3	Costo de mantenimiento	3	3	9	2	6	2	6	4	12
4	Número de piezas	3	2	6	2	6	3	9	4	12
5	Accesibilidad a los componentes	4	3	12	3	12	2	8	4	16
Puntaje máximo Σp ó Σgp		27	14	51	13	48	11	39	20	72
Valor económico Y_i			0.71		0.67		0.54		1	
Orden			1		2		3			

Luego de haber realizado la evaluación técnica-económica, se hace uso del diagrama de evaluación según la metodología VDI 2221 en donde se tiene una mejor representación de los puntajes obtenidos y se los compara para determinar la solución adecuada.

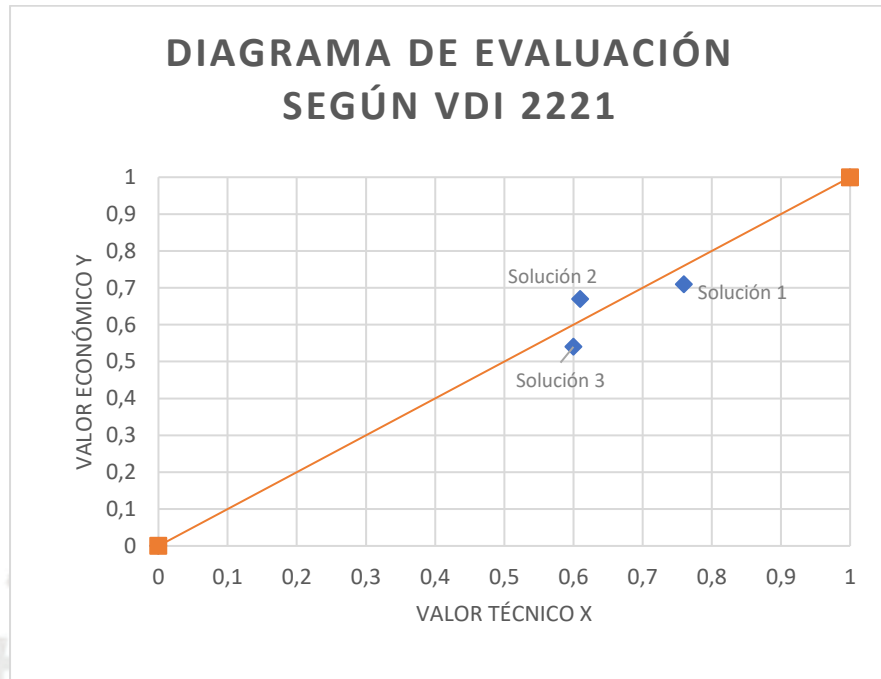


Figura 34. Diagrama de evaluación según VDI 2221
Fuente: Elaboración propia

Luego de haber evaluado los conceptos de solución, se determina que la solución óptima es la número 1, ya que esta obtuvo los mayores puntajes en los aspectos técnicos y económicos.

2.6 Concepto de solución óptimo

El concepto de solución óptima está formado por una base circular en donde se ubicarán los motores, la batería y componentes electrónicos como los ultrasonidos y los drivers para motores. Una segunda plataforma circular servirá como soporte para los sensores LiDAR y la cámara de profundidad. Adicionalmente, cuenta con una cabeza la cual tiene dos grados de libertad y será accionada por dos motores a paso, en ella se ubican matrices leds que servirán para recrear los ojos del robot, y una cámara de Raspberry para la detección del usuario. Para sostener las matrices de leds, se utilizará un soporte

impreso en 3D de material ABS. Finalmente, el sistema de desplazamiento cuenta con dos motores DC y una rueda loca.

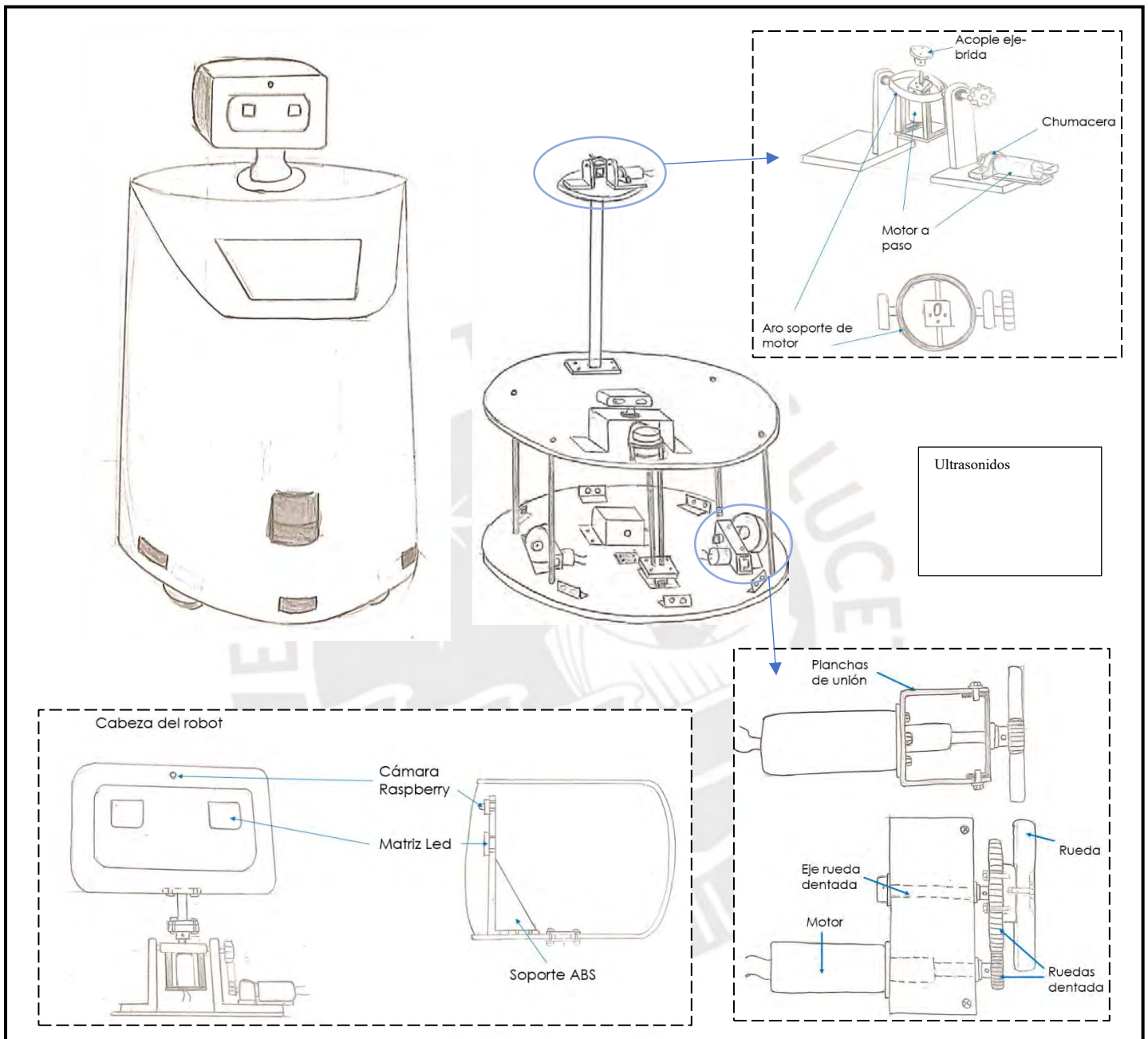


Figura 35. Concepto solución óptima
Fuente: Elaboración propia

2.6.1 Diagrama de bloques electrónico

En el siguiente diagrama se muestra la interacción de los componentes electrónicos para el adecuado funcionamiento del sistema.

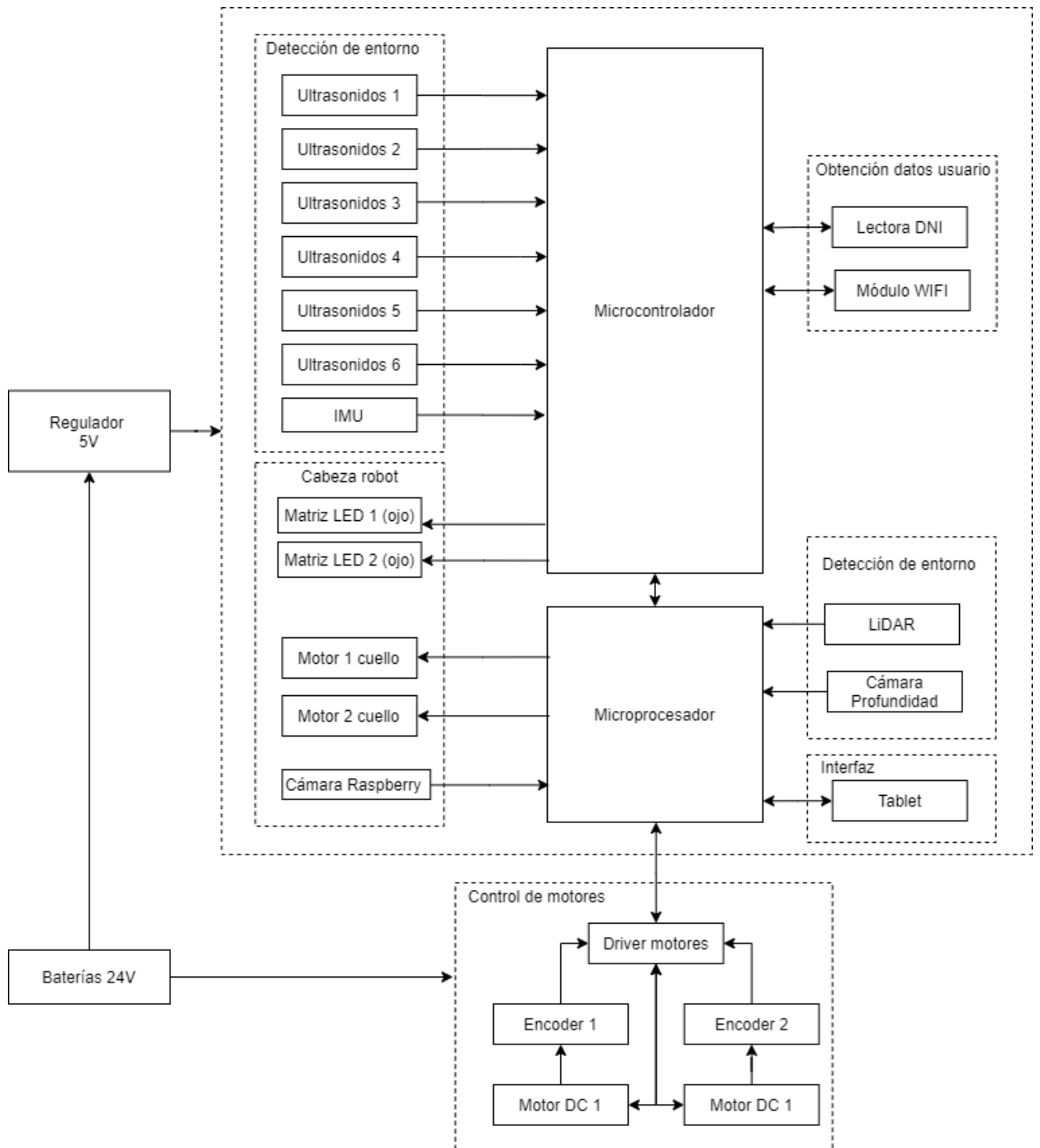


Figura 36. Diagrama de bloques electrónico de la solución óptima
Fuente: Elaboración propia

2.6.2 Diagramas de flujo

En el siguiente diagrama se muestra el proceso del robot desde que se enciende, se detecta al usuario mediante el escaneo del DNI, posteriormente, si el usuario solicita que el robot lo guíe, empezará la etapa de navegación. Esto debe de ocurrir en un período de tiempo el cual, una vez finalizado, se debe volver a registrar el DNI.

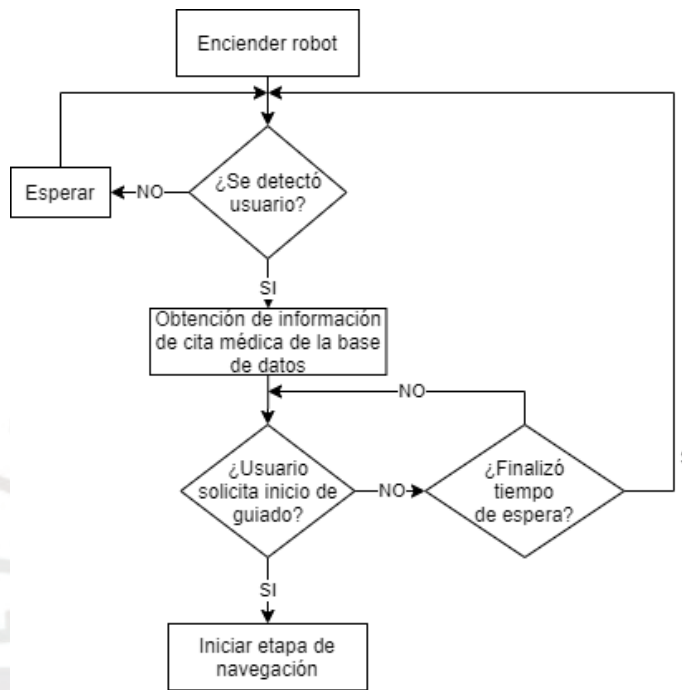


Figura 37. Diagrama de proceso antes de guiado
Fuente: Elaboración propia

El diagrama de parada de emergencia manual depende del botón de parada, el cual, al ser presionado, se desenergiza el sistema.

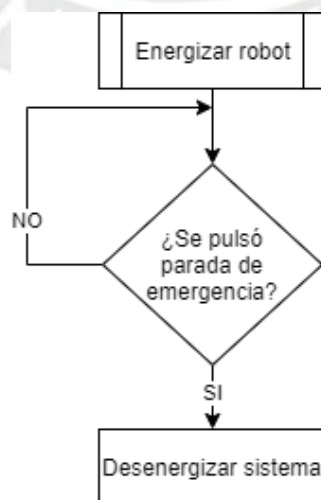


Figura 38. Diagrama de parada de emergencia
Fuente: Elaboración propia

La navegación del robot depende de los sensores ultrasonidos, estos permitirán detectar la distancia a los obstáculos, y si esta es menor a una distancia mínima, el robot debe girar. distancias cortas para que el robot gire. Si el robot se encuentra alejado a obstáculos, deberá seguir la trayectoria planificada mientras se mapea el entorno con la cámara de profundidad y el LiDAR. Cuando se llegue al destino, el robot deberá esperar a que otro usuario solicite su uso.

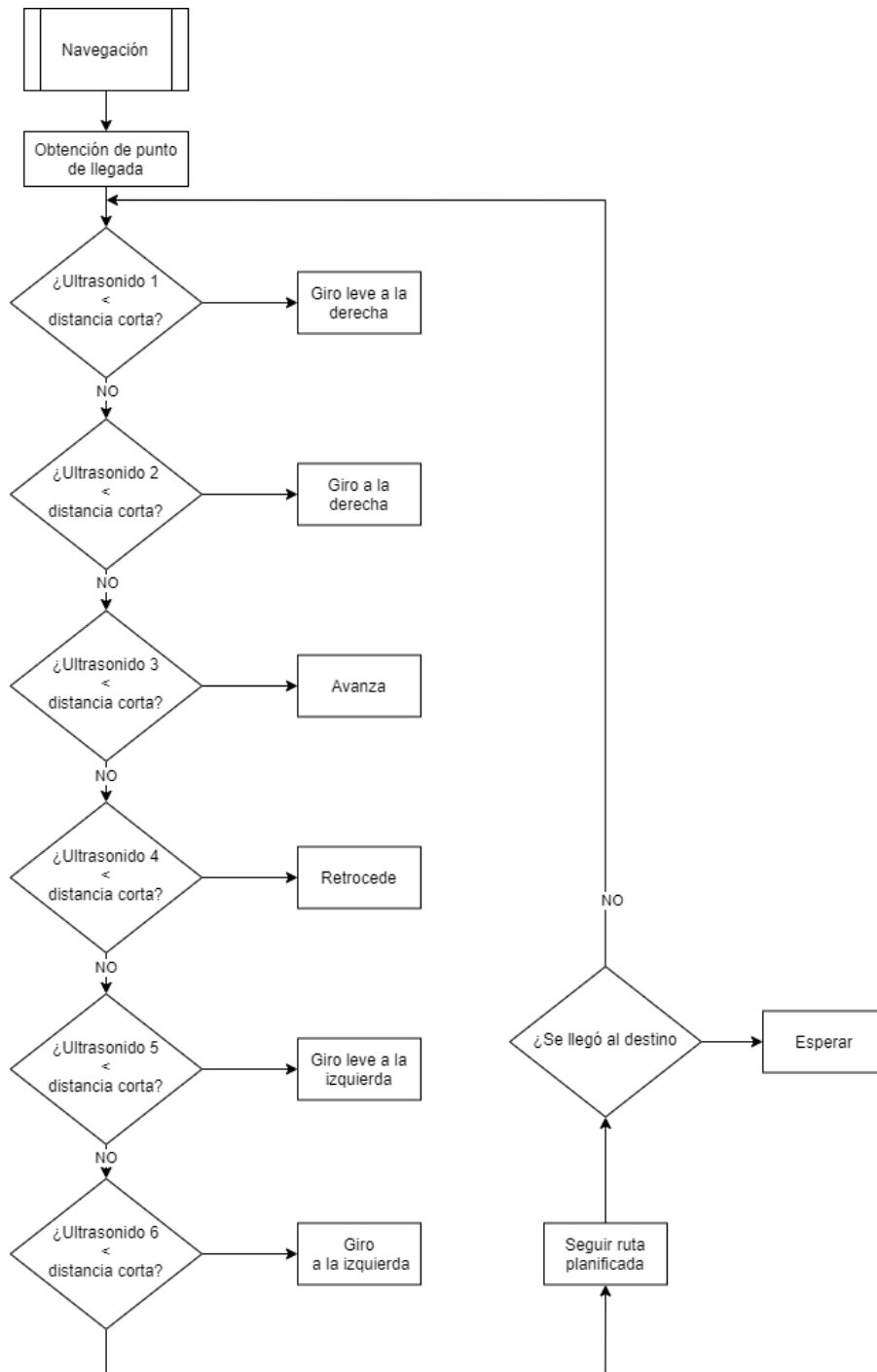


Figura 39. Diagrama de navegación
Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

- Al reconocer la problemática se identificó que el uso de robots es de gran ayuda para evitar la propagación de enfermedades de contagio cercano entre persona a persona, por otro lado, permiten mejorar la calidad del servicio en los sistemas de salud los cuales se ven afectados por una mala información y una inadecuada señalética.
- Luego de la investigación del estado de la tecnología, se identificó que los sensores de ultrasonido y los sensores infrarrojos se complementan para determinar la distancia de los objetos del entorno respecto al robot ya que, si bien los sensores infrarrojos permiten identificar obstáculos a larga distancia, estos no pueden identificar objetos transparentes, lo cual si es posible con los sensores de ultrasonido.
- El planteamiento y análisis de tres soluciones preliminares, reconociendo sus ventajas y desventajas, permitió que se puede obtener una solución óptima mediante un proceso iterativo, el cual busca mejorar cada vez más esta solución.
- La interacción de los usuarios con el robot debe ser amigable, que permita al usuario una rápida adaptación y le otorgue la confianza para utilizar el sistema. Por ello se propone el diseño de un rostro, el cual expresará emociones mediante matrices de luces led.

BIBLIOGRAFÍA

Darras, Christian, & Seclén-Palacin, Juan. (2005) *Satisfacción de usuarios de los servicios de salud: Factores sociodemográficos y de accesibilidad asociados*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.

Zafra, J., Veramendi, L., & Villa, N. (2015). *Problemas en la calidad de atención en salud: oportunidad de mejora*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.

Coronavirus disease 2019 (COVID-19). (World Health Organization, 2020). <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331685/nCoVsitrep01Apr2020-eng.pdf>

Barriga, Benjamin. (2018) Recomendación VDI 2221. *Métodos de diseño en ingeniería mecatrónica*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

Infantes G., Francisco. (2017). *Calidad de atención y grado de satisfacción de los usuarios de consulta externa del Centro de Atención de Medicina Complementaria del Hospital III Iquitos-2016*. EsSalud, Iquitos.

Ministerio de Salud. (s.f.). *Listado de Establecimientos de Salud*. Plataforma digital.

Aracil, R., Balaguer, C., & Armada, M. (2008). *Robots de servicio*. Comité Español de Informática

Siegwart, R., Nourbakhsh, I. (2004) *Introduction to Atonomous Mobile Robots*.

Sebastian Thrun. (2002) *Particle Filters in Robotics*. The Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI).

Tomono, M. (2009). *Robust 3D SLAM with a Stereo Camera Based on an Edge-Point ICP Algorithm*.

MathWorks. (s.f.). *Understanding Kalman Filters, Part 3: An Optimal State Estimator* Disponible 12 de abril de 2020. <https://la.mathworks.com/videos/understanding-kalman-filters-part-3-optimal-state-estimator--1490710645421.html>

Sanbot. Products. (s.f.). Sanbot Elf. <http://en.sanbot.com/product/sanbot-elf/specification>

Auat, F., De la Cruz, C. & Carelli, R. (2011). *Navegación Autónoma Asistida Basada en SLAM para una Silla de Ruedas Robotizada en Entornos Restringidos*.

Pastor, F. (2014). *Técnicas de guiado, SLAM y visión artificial para robots móviles*. Universidad de Cantabria.

Durrant, W. & Bailey, T. (2006). *Simultaneous Localization and Mapping: Part I*. IEEE Robotics and Automation Magazine.

Tekniker. (s.f.). *Robots asistentes que colaboran en diferentes entornos*. Disponible 12 de abril de 2020. <https://www.tekniker.es/es/robots-asistentes-que-colaboran-en-diferentes-entornos>

Ana Cristina Midori Sánchez Sifuentes. (2014) *Diseño Mecatrónico De Un Robot Para Guía De Biblioteca*. Repositorio de tesis PUCP.

KLM Royal Dutch Airlines. (2016). *Spencer robot completed tests guiding KLM passengers at Schiphol*. Disponible 1 de mayo de 2020.

<https://news.klm.com/spencer-robot-completed-tests-guiding-klm-passengers-at-schiphol/>

Generations Robots. Pepper. (s.f.). Technical specifications. Disponible 1 de mayo de 2020. <https://www.generationrobots.com/pepper/technical-specifications.html?lang=en>

Popular Mechanics. (s.f.). Technology. Robots. *Dentro de Robina, la guía turística de Toyota que enseña a otros robots*. Disponible 2 de mayo de 2020.

<https://www.popularmechanics.com/technology/robots/a2136/4224698/#sidepanel>

Jardon, A. (2006). *Metodología de diseño de robots asistenciales. Aplicación al robot portátil ASIBOT*. Universidad Carlos III de Madrid.