

Vehículo Autónomo de Asistencia Hospitalaria

L.M., Zambrano-Gamiño, J.J., Reyes-Gutiérrez. S.M., Reyes-Márquez, R., Tommasi-Hernández
 {A01630766@itesm.mx}, {A01630762@itesm.mx}, {A01636161@itesm.mx}, {A01632098@itesm.mx}
 ITESM campus Guadalajara

Resumen- Por medio del siguiente documento se plantea, explica y detalla el proceso seguido para determinar el actuador a utilizar en el tren motriz del iBot diseñado por el equipo 3 del Semestre i de IMG en el Tec de Monterrey, campus Guadalajara. Todo esto mediante la comparación a conciencia de las características de los actuadores encontrados en el mercado que satisfagan las características mínimas establecidas. Con los resultados se comprobó que el actuador que más se adecúa a las necesidades del equipo es el motor NEO y controlador SPARK MAX.

Índice de Términos- AGV, COVID-19, asistencia hospitalaria, actuadores, caracterización, motores, encoders, PWM, CAN.

I. INTRODUCCIÓN

Ciertamente, cada vez se está volviendo más común la incursión de los AGVs o vehículos guiados automáticamente, por sus siglas en inglés, dentro de la vida cotidiana. No obstante, el concepto y término de AGV no es algo sustancialmente nuevo, sino todo lo contrario, es un concepto surgido en 1953, con el primer camión remolque sin conductor [1]. Sin embargo, a pesar de la larga trayectoria de este tipo de soluciones, estas todavía no logran o lograban hacer una fuerte aparición en áreas como la médica. No fue hasta los últimos años y sobre todo con la creciente pandemia del COVID-19 que se empezó a considerar la utilidad y viabilidad de los AGVs para brindar atención a los pacientes. Por supuesto, aunque la pandemia mundial del COVID-19 fue una importante causa para el desarrollo de AGVs enfocados al área hospitalaria, lo cierto es que ya existían varios modelos en el mercado, pero estos no consideraban los requisitos o condiciones que la nueva pandemia ha impuesto. Algunos ejemplos de soluciones en el mercado para soluciones más integrales podrían ser el robot enfermero Moxi de Diligent Robotics, el cual es un robot AGV con un brazo robótico, capaz de manipular y transportar objetos [2]. Su mayor diferenciador es su software equipado con machine learning y que busca emular a un robot mayordomo para interactuar con el personal sanitario y facilitarles sus tareas [2]. Tal y como se observa en la figura 1,



Figura 1: Robot Moxi de Diligent Robotics [2]

El robot cuenta con una buena altura y la extensión de su brazo le permite alcanzar prácticamente cualquier objeto.

Otra solución igualmente integral e incluso aprobada por la misma FDA, es el robot RP-Vita de InTouch Health e iRobot, el cual busca brindar asistencia médica por medio de consultas y la interacción con los pacientes a través de su pantalla y dispositivos de interacción táctil [3]. Como se puede apreciar en la figura 2,



Figura 2: Robot RP-Vita de InTouch Health e iRobot [3]

Esta va meramente enfocada a la atención médica y busca tener la mejor interacción posible con los pacientes.

Otras soluciones, aunque ahora no tan integrales y más restringidas a una sola tarea en específico, son el robot TUG del Grupo ADD, el cual está meramente enfocado en transportar materiales en hospitales [4]. Y el robot Blue Ocean de UVD Robots, el cual emite luz UV para desinfectar zonas infectadas dentro del hospital [5]. En la figura 3,

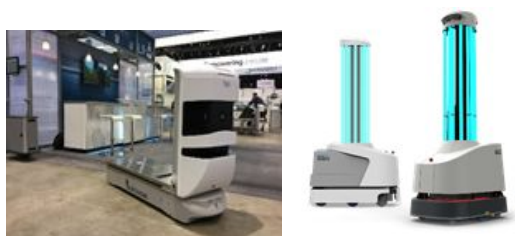


Figura 3: Robots TUG [4] y Blue Ocean[5]

Se puede ver como estas dos soluciones van enfocadas únicamente a una tarea en específico y buscan realizarlo lo mejor posible, ofreciendo una basta autonomía.

Como ya se pudo observar, las soluciones más relevantes en el mercado actual no están particularmente diseñadas para los requerimientos que la nueva pandemia presenta. En una primera instancia, todas las soluciones que implican una interacción táctil podrían rápidamente convertirse en focos de infección, así como las soluciones que no ofrezcan un almacenamiento cerrado y hermético del medio ambiente. Por último, otra creciente y preocupante problemática con la nueva pandemia es la vulnerabilidad del personal sanitario a los contagios, pues estos representan el 10% de todos los contagios a nivel mundial [2]. Por lo que, la protección de este personal y la garantía de su integridad es una necesidad presente y de suma relevancia para las administraciones de los hospitales.

Ciertamente, uno de los aspectos más relevantes en el diseño de cualquier AGV es la selección de los motores que actuarán a este, puesto que de ellos dependen desde el sistema de navegación hasta el mismo diseño. Para la selección de los motores, un paso muy importante es la caracterización de estos, pues así se obtienen los requerimientos de potencia eléctrica, así como las salidas mecánicas. Este proceso es tan común que ya se sabe con antelación el comportamiento que deberían de presentar los diferentes motores [6]. En principio, los motores de DC con imán permanente, al ser de los más comunes en los AGVs, se sabe que presentan un comportamiento bastante lineal con respecto a sus entradas y salidas [6]. Normalmente, un motor de DC con imán permanente presenta una relación lineal entre torque y velocidad, así como entre corriente y torque [6].

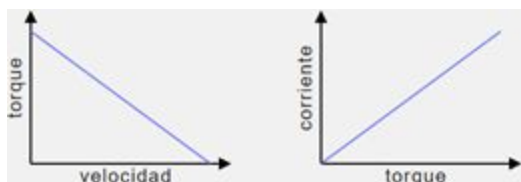


Figura 4: Relaciones lineales en un motor de DC con imán permanente

No obstante, a pesar de conocer los comportamientos que idealmente debería de presentar un motor de DC con imán permanente, las mediciones de algunas variables, como el torque, resulta particularmente complicado, por lo que se suele recurrir a la relación también lineal entre PWM y velocidad para aprovechar la ya relación lineal entre velocidad y torque para relacionar velocidad con corriente.

Una última consideración importante son los tipos de motores y diferentes configuraciones más utilizadas para los AGVs, pues como ya se mencionó, tanto el diseño, como sistema de navegación y principales características dependen de ellos. Por lo regular, los motores de los que dependen únicamente el desplazamiento y no tanto la navegación son motorreductores brushless que no solo garantizan una mayor eficiencia y disipación del calor, sino también un diseño más compacto [7]. Con estos motores se ha logrado que otros AGVs de almacenamiento manipulen cargas extremadamente grandes en la escala de cientos de kilogramos [8].

A continuación, se presenta un breve marco teórico acerca de los parámetros involucrados en el funcionamiento de los motores, así como un desglose de los cálculos, justificaciones y análisis utilizados para la selección de los motores del AGV propuesto. Además, se explica y detalla el funcionamiento del sistema de visión junto con sus posibles usos dentro de un ámbito hospitalario.

II. MARCO TEÓRICO

Como ya se ha mencionado, los AGVs son robots autónomos capaces de navegar e interactuar en su ambiente sin necesidad de ser controlados por algún operador. Para lograr esto, los AGVs cuentan con numerosos sensores y actuadores que le permiten recabar información de su entorno para así ejecutar la mejor decisión posible

Sin embargo, sin los actuadores adecuados le sería imposible a los AGVs realizar movimientos precisos o cumplir los objetivos para los que fueron planeados. Es por eso por lo que algunas de las consideraciones más importantes a tomar en cuenta son el torque, potencia, corriente y capacidad de la batería. Para definir y calcular cada uno de estos parámetros, además de una investigación extensa, es necesario aplicar conceptos de vectores, balance de fuerzas, potencia, corriente y voltaje.

Aunado a ello, dado que muchas veces los dispositivos de recolección de información no son iguales o tan siquiera similares a las formas por las que los seres humanos lo hacen, llámese los a través de los 5 sentidos. Estos muchas veces solo pueden percibir un solo aspecto de la realidad, lo que limita su actuar. Es por esta razón que en tiempos recientes se ha buscado equipar a los AGVs con equipo de

transmisión y procesamiento de imagen, lo que ciertamente puede facilitar una mayor percepción de la realidad.

A. Análisis de vectores y fuerzas

Antes de realizar cualquier análisis de fuerzas, es necesario primero establecer las condiciones o situaciones en las que el AGV se verá más demandado. Esto, aunque ciertamente depende de factores como la fricción, masa y demás, se ve más marcado en una superficie inclinada, pues la fuerza que los motores suministra, al ser paralela a la superficie, se ve más reducida al separarse en sus componentes y tener que sobreponerse a la gravedad [9].

Como se puede apreciar en la figura 5,

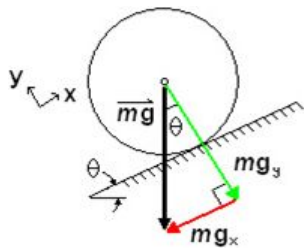


Figura 5: Análisis de fuerzas en plano inclinado

∴

$$mg_x = mg \cdot \sin(\theta) \dots (1)$$

$$mg_y = mg \cdot \cos(\theta) \dots (2)$$

La fuerza que los motores deben de suministrar no solo debe de superar a la fricción de la superficie, sino también ahora a un componente de la gravedad dependiendo de la misma inclinación de la superficie. Por lo que, la máxima fuerza que los motores pueden proveer sólo va a disminuir conforme a la inclinación [9].

B. Análisis fuerzas con torque

Ahora bien, como ya es sabido que la fuerza en un plano inclinado es determinada en gran medida por la fricción, es necesario emplear algún parámetro que relacione directamente a la fricción con las llantas que se emplearán en el AGV. Un parámetro mecánico que relaciona directamente al radio de las llantas con la fricción de la superficie es el torque [9]. Como se puede observar en la figura 6,

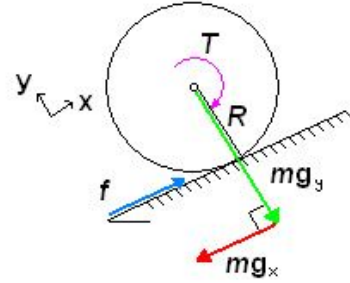


Figura 6: Análisis de fuerzas en plano inclinado con fricción y torque

El torque es un parámetro ideal para este tipo de aplicaciones ya que su línea de acción es exactamente sobre el plano inclinado y sin importar que la llanta solo requiera mantenerse o incluso avanzar sobre el inclinado, la fórmula será la misma y solo cambiará su magnitud dependiendo de la aceleración, velocidad o fuerza que se quiera alcanzar [9]. Tal y como se ve en la figura 7,

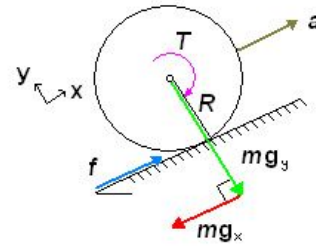


Figura 7: Análisis de fuerzas en plano inclinado con fricción, torque y aceleración

Siendo la fórmula del torque la siguiente:

$$T = f \cdot R \dots (3)$$

C. Balance de fuerzas considerando torque

Como ya se pudo apreciar, ahora solo quedaría por medio de balance de fuerzas determinar el torque que el motor necesitaría suministrar para contrarrestar los dos componentes de las fuerzas y desplazarse en un inclinado [9].

El balance de las fuerzas quedaría de la siguiente manera [9]:

$$\sum F_y = M \cdot a = f - mg_x \dots (4)$$

$$M \cdot a = \frac{T}{R} - mg \cdot \sin(\theta) \dots (5)$$

$$T = R \cdot M \cdot (a + g \cdot \sin(\theta)) \dots (6)$$

Ahora bien, como el análisis se realizó en un plano 2D, este no consideró situaciones que únicamente ocurren en un espacio tridimensional como múltiples ruedas o puntos de apoyo [9]. Una vez dicho esto, solo quedaría agregar a la fórmula un divisor que permite distribuir el torque que se debe de alcanzar a todas sus ruedas o puntos de apoyo, quedando la fórmula de la siguiente manera [9]:

$$T = \frac{R \cdot M \cdot (a + g \cdot \sin(\theta))}{N} \dots (7)$$

Por último, solo quedaría considerar los factores eléctricos, pues, aunque los motores generan una salida mecánica, esta está limitada por su entrada eléctrica y que tan bien aprovechen esta, siendo este último factor determinado por su eficiencia [9].

$$T = \frac{100}{e} \frac{R \cdot M \cdot (a + g \cdot \sin(\theta))}{N} \dots (8)$$

D. Potencia del motor

Como ya se mencionó en la sección anterior, un motor también se ve condicionado por su aprovechamiento de la entrada eléctrica y su capacidad para transformar dicha entrada en la salida [9]. Usualmente se tratan de minimizar las pérdidas y para obtener teóricamente el consumo eléctrico de un motor se pueden considerar las pérdidas como despreciables [9]. Una vez dicho esto, solo quedaría definir tanto la potencia eléctrica como mecánica y a partir de ahí calcular el consumo [9].

$$P_{mecánica} = T \cdot \omega \dots (9)$$

$$P_{eléctrica} = I \cdot V \dots (10)$$

$$I = \frac{T \cdot \omega}{V} \dots (11)$$

En donde ω es la velocidad angular, V el voltaje e I la corriente que el motor demanda.

E. Potencia del motor

Por último, otro factor importante a tomar en cuenta, electrónicamente hablando, es la capacidad de la batería que va a brindar la autonomía suficiente para durar todo el tiempo requerido [9]. Para esto, únicamente basta con multiplicar la corriente momentánea multiplicada por todo el tiempo que va a ser utilizado el AGV.

$$c = I \cdot t \dots (12)$$

F. Circuito eléctrico y mecánico los motores DC

Con todo lo anterior se puede deducir que el motor está conformado por dos partes principales: su parte mecánica y

su parte eléctrica. Ambas partes comparten el mismo espacio y se ven afectadas una por la otra. El ejemplo más claro de esta dependencia entre ambas partes se puede ver con la figura 4, en la que entre más torque se le demande al motor, más corriente este demandará a la fuente y por ende más potencia, ya que el voltaje es prácticamente fijo.

En cuanto a las partes que físicamente componen a un motor, está el estator o parte fija que se encarga de suministrar el flujo magnético y el rotor o la parte rotativa que es la que generará el movimiento y torque [10]. Convirtiendo la parte mecánica a un circuito representativo para su estudio y análisis, la dualidad eléctrica y mecánica estarían representadas como en la figura 8,

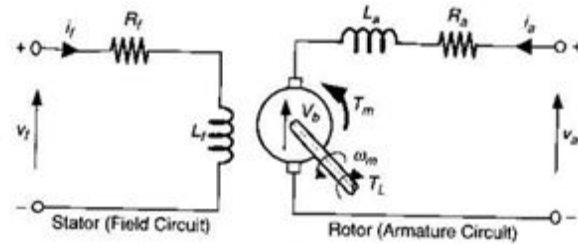


Figura 8: Circuito representativo del rotor y estator

Estas variables, vistas desde una perspectiva mecánica, se verían representadas como en la figura 9,

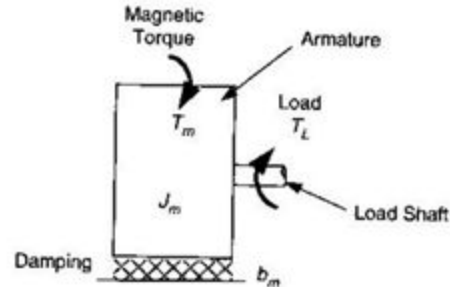


Figura 9: Representación de la parte mecánica

En donde se pueden apreciar las variables mecánicas que se involucran en el movimiento del rotor [10].

Ahora bien, la forma en la que las variables mecánicas y eléctricas se relacionan entre sí puede ser descrita con 5 sencillas ecuaciones las cuales son [10]:

Voltaje en el estator:

$$V_F = R_f i_f + L_f \frac{di_f}{dt} \dots (13)$$

Voltaje en el rotor:

$$V_T = V_A = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + E_a \dots (14)$$

Ecuación mecánica:

$$J_m \frac{d\omega_m}{dt} = \tau_m + \tau_L + b_m \omega_m \dots (15)$$

Fuerza contraelectromotriz:

$$E_a = k_b i_f \omega_m \dots (16)$$

Par del motor

$$\tau_m = k_m i_f i_a \dots (17)$$

Con estas ecuaciones no solo se relacionan las variables eléctricas y mecánicas entre sí, pero también se pueden deducir el resto de las variables con tan solo unas cuantas conocidas.

Aunado a ello, al analizar los motores en su estado estacionario, esto hace que las derivadas puedan ser eliminadas y las variables consideradas como constantes, lo que facilita la resolución [10].

G. Encoders

Ya realizados todos los cálculos necesarios y habiendo hecho las proyecciones de los motores, solo quedaría introducir al sistema dispositivos de control que permitan comparar lo calculado con los valores de salida. Por lo general, los dispositivos más utilizados para este propósito son los encoders o generadores de pulsos, los cuales se dividen en dos grandes clases: lineales o rotativos y dependiendo de su codificación también pueden clasificarse como absolutos o incrementales [10]. Adicionalmente, también pueden dividirse en más subgrupos dependiendo de su principio de operación:

Por sensor magnético, en el que se utiliza una cinta magnética para por medio de la lectura magneto-resistiva o solenoides determinar el desplazamiento y la tasa de estos [10]. Este tipo de sensores suelen ser bastante confiables, llegando a precisiones de hasta micrómetros, pero son susceptibles a las variaciones electromagnéticas [10].

Por sensor óptico, en el que se registran los cambios en una cinta por medio de patrones [10]. También suelen ser bastante precisos, pero son más susceptibles a la suciedad [10].

Por sensor capacitivo, en el que se mide la capacitancia entre la escala y el cabezal lector [10]. Este es un poco menos preciso que los anteriores e igualmente es susceptible a la suciedad [10].

Por sensor inductivo, en el que dependiendo del desplazamiento se induce una carga que el sensor detecta [10]. Este encoder es el menos preciso de todos, pero de los más accesibles [10].

Por sensor de corrientes de Eddy, en el que se intercalan materiales magnéticos de alta y baja susceptibilidad para la medición mediante la variación de la inductancia [10].

Ahora bien, en cuanto a las dos grandes familias previamente mencionadas, la rotativa y lineal, el encoder lineal por lo regular cuenta con dos partes, una fija y otra rotativa, en la fija se incluye la circuitería y el sensor para detectar, medir y transformar el movimiento en impulsos [6]. Por otro lado, en la rotativa las lecturas se realizan sobre un disco que contiene la codificación y con la que se propone determinar la posición angular [10].

Como también se mencionó, los encoders pueden clasificarse de acuerdo con su sistema de codificación, absoluto o incremental. En el absoluto se incluye la posición real desde cero absoluto, de tal manera que le es posible saber su posición sin desplazarse [10]. Mientras que en el incremental simplemente se detecta el cambio de velocidad y posición de un momento a otro [10].

H. Detección de fuego

Para la detección de fuego se empleó un método de procesamiento de imágenes creado por el Ph.D. Vipin V de la Universidad St. Joseph's College of Engineering en Palai, India. En este documento se propone un algoritmo para la detección de incendios y fuego mediante la técnica de procesamiento de imágenes, utilizando MatLab. Se utiliza un modelo de color basado en reglas para la clasificación de píxeles de fuego haciendo uso de los componentes RGB y YCbCr en dichas imágenes. La ventaja de utilizar los componentes de YCbCr es que puede separar la luminancia de la crominancia de forma más eficaz que el espacio de color RGB. El rendimiento del algoritmo propuesto se prueba en dos conjuntos de imágenes, uno de los cuales contiene fuego y otro que contiene regiones similares al fuego. El algoritmo propuesto es eficiente ya que cuenta con una tasa de detección alta y una tasa de falsas alarmas baja. Dado que el algoritmo es de cálculo económico y rápido, se puede

utilizar para la detección de incendios o fuego en tiempo real. [11]

III. DESARROLLO

Una vez ya con este contexto teórico, el siguiente paso consiste en definir el actuar o las capacidades del vehículo autónomo de asistencia hospitalaria. Como se mencionó en un inicio, el objetivo de este AGV es el de realizar la mayor cantidad de tareas que un enfermero realiza, así como el de ofrecer un trato digno y humano a los pacientes. Todo ello con la mayor seguridad, eficiencia y autonomía posible.

A. Objetivos

En un principio, el robot debe de ser capaz de navegar sin problema alguno por hospital, ya sea de una forma tele-dirigida o autónoma. Asimismo, el robot debe de ser capaz de interactuar con los pacientes de la forma más usual y esto es por medio de un sistema de audio y video. Dentro de este mismo rubro, el robot debe de ser lo más higiénico posible y fácil de sanitizar, con el propósito de evitar contagios mediante la interacción. Otra cualidad importante es la capacidad del AGV para realizar las mediciones de signos vitales a los pacientes de una forma precisa, eficiente y segura, pero esta capacidad no solo queda con el realizar mediciones, sino también el ser capaz de transmitir los resultados, ya sea a la central de enfermería y/o al doctor del paciente. Además, el AGV también debe de ser capaz de transportar alimentos y medicinas, por medio de un sistema de almacenamiento seguro. Por último, el robot también debe de poder interactuar y trabajar en conjunto junto con el demás personal del hospital, no sólo restringirse a los pacientes.

A continuación, en la figura 5 se muestra un pequeño diagrama donde se incluyen todos los elementos a considerar para que el AGV pueda trabajar sin complicaciones en el ambiente hospitalario,

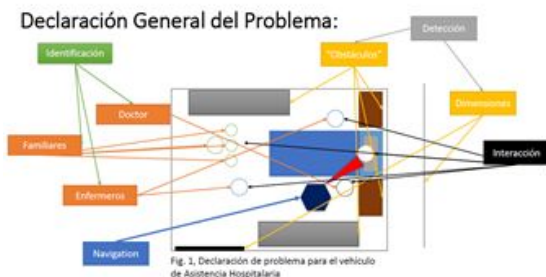


Figura 10: Declaración general del problema

Teniendo esto en cuenta, todos los sistemas deben de colaborar entre sí para brindar la mayor precisión e integración, con la intención de optimizar la solución.

B. Niveles Ingenieriles

Como ya se mencionó anteriormente, son varios los objetivos que el AGV debe de satisfacer para realmente ser considerado como una opción viable y atractiva para el área hospitalaria. Es por esto por lo que los objetivos se tienen que distribuir en varias secciones, para así luego dividir las tareas en las diferentes ingenierías involucradas como: mecánica, electrónica y software. Para el desarrollo de este AGV, los objetivos se clasificaron en 3 grandes grupos; navegación, signos e interacción, y almacenamiento. Como se muestra en la figura 11,

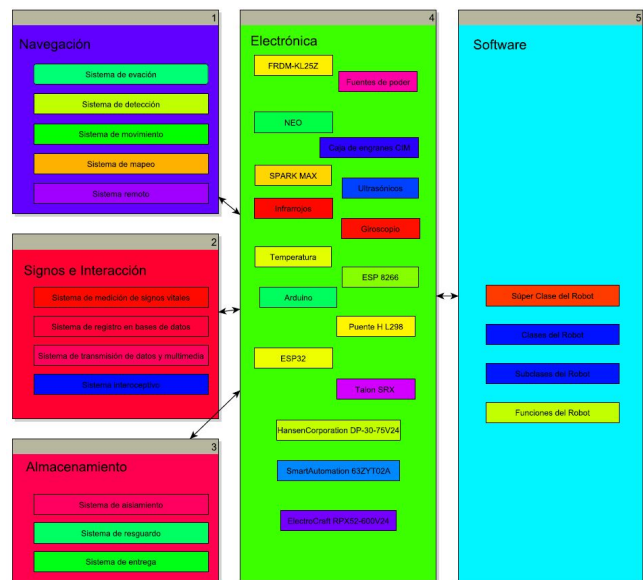


Figura 11: Niveles ingenieriles del proyecto

Dichos grupos o sistemas también se dividen en su parte de electrónica y software, pues es necesario diferenciar todas sus fases de desarrollo para un mejor diseño.

C. Sistema de navegación

Como se aprecia en la figura 6, para el sistema de navegación, se propone la implementación de varios subsistemas, a fin de reducir administrar mejor la carga de trabajo y dividir el trabajo en tareas más sencillas, fáciles implementar y de modificar. Los subsistemas planteados para el sistema de navegación son un subsistema de evasión de obstáculos, de detección de dimensiones y objetos, de movimiento, de mapeo y de control remoto.

La justificación para tener 6 subsistemas únicamente para la navegación es que, por el tamaño del robot (4 pies de altura, 2 pies de ancho y 2 pies de largo), este debe de ser muy consciente de su entorno y más en un ambiente

hospitalario, por lo que la evasión de obstáculos y detección de dimensiones son tareas más que necesarias para no interferir con las demás actividades del hospital. Posteriormente, el subsistema de mapeo es de suma relevancia para conocer el espacio donde se opera y poder optimizar rutas. Por último, los sistemas de movimiento y de control remoto son útiles para navegar de una forma controlada, así como para ofrecer versatilidad.

D. Sistema de Signos e interacción

De acuerdo con la figura 6, para el sistema de signos e interacción hay 4 subsistemas: uno de medición de signos vitales, otro de registro y bases de datos, otro para la transmisión de datos y multimedia, y uno último interoceptivo.

La idea detrás de estos 4 subsistemas es que el robot, una vez que tome los signos vitales de un paciente (después de interactuar por audio y video con él), sea capaz de almacenar los datos para mantener registro e ir liberando memoria al transmitir los datos al doctor y/o al centro de enfermería. Además, el mismo robot debe de conocer su estado actual para mantener su buen funcionamiento, sobre todo en la precisión de las mediciones, al mitigar los errores sistemáticos, por bajos niveles de voltaje, calentamiento, etc.

E. Sistema de Almacenamiento

El último sistema es el de almacenamiento, el cual cuenta con 3 subsistemas: el de aislamiento, el de resguardo y el de entrega.

La lógica para estos tres subsistemas es que mecánicamente no basta para resguardar los alimentos y/o medicamentos, sino que el mismo AGV debe activamente resguardar su preservación de agentes contaminantes. Y el de entrega es para garantizar repetibilidad y la mitigación de focos de infección del mismo robot.

Una vez ya con todo esto contemplado y planeado, se procede a la selección de sensores, actuadores, motores y mecanismos candidatos para cumplir con cada uno de los objetivos.

F. Definición del actuador a utilizar en el tren motriz

El diseño de AGV propuesto tiene una masa total de 95 kg incluyendo su respectiva batería de 36 V y contemplando que sus compartimentos de comida estén a tope. El AGV tiene pensado contar con 2 ruedas actuadas de 8.5 cm de radio, junto con 8 ruedas locas que ayuden a distribuir el peso y a darle más maniobrabilidad al robot. Calculamos el par de motor necesario para mover el AGV completo a una velocidad máxima de 2 m/s y una

aceleración de 0.2 m/s². También se consideró una pendiente máxima de 20°. Se considera que la eficiencia del motor es de vital importancia para el correcto funcionamiento del mismo, por lo que se optará por un sistema de motores brushless y se considerará una eficiencia del 80%. El par calculado es de 16 N m. Para lograr la velocidad y aceleración planteadas, el motor debe de tener una velocidad angular de 224.80 RPM.

Desempeño deseado del actuador

Par	16 N m
Velocidad Angular	224.80 RPM
Eficiencia	80%
Potencia	377.74 W

Tabla 1: Desempeño deseado

A continuación se plantean tres propuestas de actuador:

F.1 Falcon 500 con am-4183_004

Este es un actuador sin escobillas de la marca Vex. Es de pequeño tamaño y proporciona un buen par. El motor por sí solo proporciona un par de 4.69 N m a una velocidad de 6380 RPM sin carga. Consume una corriente de carga de 257 A y una corriente en reposo de 1.5 A. Tiene una eficiencia del 87%.

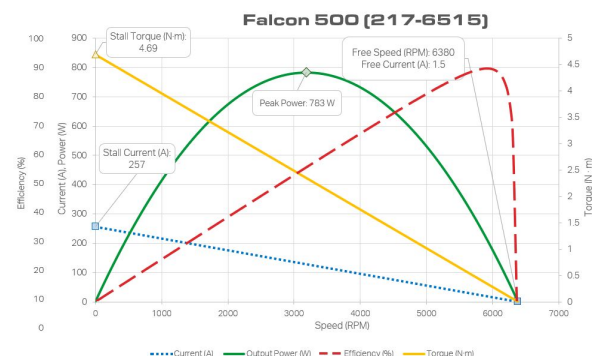


Figura 12: Curva de Motor Falcon 500

Para alcanzar el par necesario para mover adecuadamente el motor, el actuador anterior tendrá una caja de engranajes Falcon Sport am-4183_004 que tiene una proporción de 4:1, alcanzando así el par necesario para mover el AGV. En la tabla de resultados se reportará el par y velocidad del motor con la caja de engranajes acoplada.

F.2 NEO Brushless Motor con CIM Sport Gearbox

Este motor brushless es el reemplazo perfecto para cualquier motor CIM. Proporciona un mejor par y mucho mejor eficiencia gracias a su construcción brushless. El motor por sí solo proporciona un par de 2.6 N m a una velocidad angular de 5676 RPM. Consume una corriente de 1.8 A en reposo y 105 A con carga. Tiene una eficiencia del 91%.

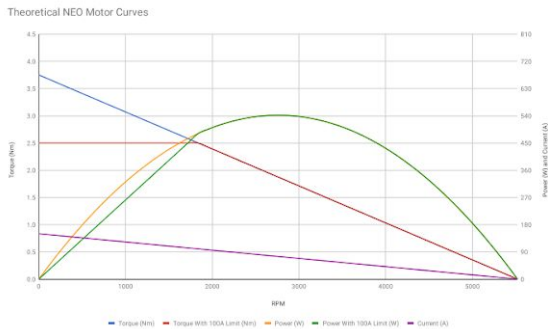


Figura 13: Curva de motor NEO

Para lograr el par requerido, el motor hará uso de una caja de engranajes del tipo CIM Sport am-3760. Esta caja tiene una proporción de 12:1, sobrepasando el par necesario para nuestro mecanismo. Este par incrementa el factor de seguridad del tren motriz y sería mucho más difícil quemar los motores en caso de algún desperfecto.

F.3 Motor CIM con CIM Sport Gearbox

Este motor ofrece una potencia de 337 W, proporcionando un par de 2.42 N m a una velocidad constante de 5310 RPM. Este motor, a diferencia de los anteriores, es con escobillas y por lo tanto tiene una eficiencia de 65.99%.

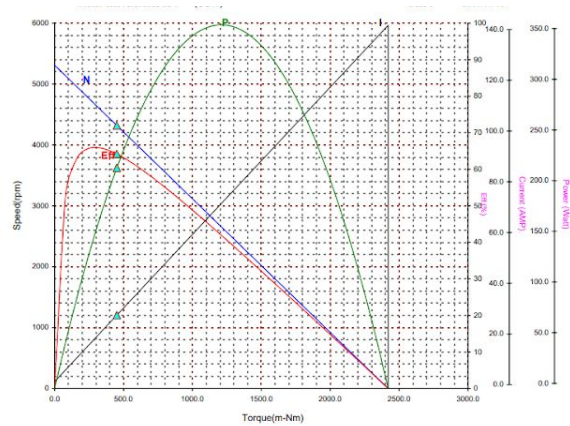


Figura 14: Curva de motor CIM

Al motor se le acoplará una caja de engranajes del tipo CIM Sport am-3761, mismo que aporta una proporción de 16:1. De esta manera se podrán aprovechar el exceso de revoluciones para generar un mayor par motor.

G. Controladores

Los motores, al ser brushless, no pueden ser conectados directamente a la batería y a una señal de control. Para esto necesitamos un bloque intermedio que es llamado el controlador, o driver. Para controlar cualquiera de los motores anteriormente mencionados, necesitaremos de alguno de los siguientes controladores:

G.1 SPARK MAX BRUSHLESS DC Controller

Este driver puede ser controlado ya sea por PWM o por CAN y su compatibilidad con motores CIM y NEO ha sido probada por el fabricante. Consumen una corriente continua de 60 A con picos de hasta 100 A. Soporta hasta 120 A.

G.2 Talon SRX

Este driver puede ser controlado por PWM, CAN, SPI, y UART. Consume una corriente de 60 A con máximas de 100 A. Soporta hasta 120 A. Su versión Talon FX viene integrado al motor Falcon 500.

G.3 RoboteQ MBL1660

Este driver de corriente directa puede ser controlado únicamente por CAN. Es de un solo canal y soporta hasta 120 A en él. Consume una corriente de 80 A con picos de 120 A.

H. Detección de Fuego

El robot cuenta con un programa de procesamiento de imagen que le permite identificar la presencia de objetos

quemándose a través de una cámara IP. El funcionamiento del mismo es bastante simple y está basado en el algoritmo diseñado por Ph.D. Vipin V de la Universidad St. Joseph's College of Engineering en Palai, India. Su reporte "Image Processing Based Forest Fire Detection" consta de segmentar una imagen RGB en píxeles y a cada uno aplicarle 7 reglas lógicas para definir si se trata de un pixel de fuego o no. El sistema está descrito por el siguiente diagrama de flujo:

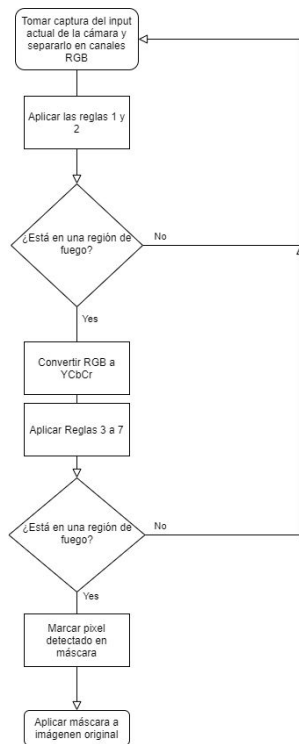


Figura 15: Diagrama de Flujo, detección de fuego

Este algoritmo nos permite identificar y resaltar los píxeles que componen el fuego en la imagen.

IV. RESULTADOS

Actuadores a considerar:

Modelo	Falcon 500	NEO	CIM
Construcción	Brushless	Brushless	Con Escobillas
Par (Considerando caja de engranajes)	18.76 N m	31.2 N m	38.72 N m
Eficiencia	87%	91%	65.99%

Velocidad Angular	1595 RPM	473 RPM	331 RPM
Consumo de Corriente Máximo	257 A	105 A	66.84 A
Potencia	400 W	370 W	277 W
Precio	\$202 USD	\$130 USD	\$122 USD
Incluye controlador ?	Si	No	No

Tabla 2: Actuadores a considerar

Controladores a considerar

Modelo	Spark MAX	Talon SRX	MBL1660
Tipo de motores a controlar	Brushless y Brushed	Brushless	Brushless
Canales	1	1	1
Corriente máxima por Canal	120 A	120 A	120 A
Comunicación	PWM, CAN	PWM, CAN, SPI y UART	CAN
Costo	\$75 USD	\$90 USD	\$345 USD
Diseñado para motores específicos?	NEO y CIM	FALCON	No

Tabla 3: Controladores a considerar

Al momento de escoger el actuador y driver se tomaron en cuenta varios aspectos. Primero que nada, el ambiente donde estará. El AGV está diseñado para estar en ambientes hospitalarios donde la seguridad es lo primero. Ya que no será un robot de emergencia, no se necesita que se traslade a grandes velocidades. El robot está más diseñado hacia la carga, por lo que buscamos un mayor Factor de Seguridad en cuanto al tren motriz para poder

asegurar el correcto traslado de los insumos médicos. Tomando todo esto en cuenta, el equipo se ha decidido por el Motor NEO, ya que proporciona un par con un Factor de Seguridad de 2. Este motor podrá mover al diseño entero a la velocidad deseada con un exceso de peso considerable a comparación con el peso estimado. Este motor también es de bajo consumo de corriente por lo que evitará el constante drenado de batería.

Para acompañar al motor, utilizaremos el controlador SPARK MAX, mismo que es sugerido en la hoja de especificaciones del motor. Este controlador podrá conectarse de manera exitosa a el microprocesador del diseño (FRDM-KL25Z) sin la necesidad de un dispositivo adicional, ya que este es capaz de mandar señales PWM. El controlador cuenta con un canal con el amperaje necesario para el motor y por lo tanto es una opción perfecta para el mismo.

Características del Robot

Peso	95 kg
Velocidad deseada	2 m/s
Aceleración Deseada	0.2 m/s ²
Número de Motores en tren motriz	2
Máxima inclinación	20°
Radio de llantas	8.5 cm
Voltaje de batería	36 V

Tabla 4: Características del Robot

Resultados del procesamiento de imágenes para la detección de fuego.



Imagen original	Imagen procesada
	



Tabla 15: Resultados del procesamiento de imágenes para la detección de fuego.

Procesamiento de imágenes en tiempo real

Servilleta quemándose



Figura 16 y 17: Detección de Fuego en servilleta

V. CONCLUSIONES

El proyecto de crear un robot de asistencia hospitalaria para la lucha contra en el COVID-19 fue un gran reto. En el presente reporte se explicó la división de las funcionalidades para una mejor organización del proyecto y con esto poder prever mejor las tareas que tendría que realizar el iBOT. El tren motriz es el corazón del robot, debe de cumplir con la función de transportar los mecanismos de manera segura sin entorpecer el ritmo del hospital ni dañar a los usuarios o personal. Gracias a la

caracterización presentada aquí se logró llegar a la conclusión de elegir al motor NEO y el controlador SPARK MAX. El motor da un factor de seguridad óptimo para el tren motriz y el controlador es compatible con el microcontrolador con el que se trabaja, FRDM-KL25Z. Estas decisiones se basaron en el cumplimiento de las especificaciones mínimas requeridas deseadas en el iBOT, en la seguridad que proveen y la facilidad de integración al proyecto. Siempre es importante considerar el funcionamiento armónico de todos los componentes para elegir un actuador, verificar que se tiene y que se quiere lograr. La seguridad, eficacia y el presupuesto disponible deberían de igual forma influir en la toma de decisión.

Por su parte, la integración de detección de incendios con una cámara IP fue un éxito, considerando la rapidez de integración al proyecto. Por ahora solo reconoce el fuego más intenso, las llamaradas menos fuertes o restos del fuego aún consumiendo papel parecen ser un área de mejora para el programa. Se espera que el iBOT no se vea en la necesidad de usar dicha función en un ambiente hospitalario, pero es una buena medida de seguridad extra agregada al robot.

VII. COMENTARIOS

Laura Zambrano

La carrera de mecatrónica es por definición la integración de la mecánica, la electrónica, el control y la computación, una carrera que abarca mucho conocimiento pero que enseña a integrarlo todo para que se pueda trabajar armoniosamente. Este proyecto es el perfecto ejemplo que, hoy en día, se necesita tener el concepto de integración armoniosa siempre en mente. Al diseñar algo tan importante como un robot de asistencia hospitalaria es necesario tener en cuenta los materiales, el peso, la higiene, los motores, la capacidad del microcontrolador, el espacio para la electrónica, y un sin fin de cosas más. Todo lo que integre el robot iBOT tiene que trabajar a la perfección en su área pero sin interrumpir las funciones de las otras. El cuidadoso estudio del problema, la correcta definición de los trabajos por hacer, la búsqueda minuciosa de los componentes y la comparación para una elección adecuada es lo que hace un buen proyecto.

Susana Reyes

La pandemia del COVID-19 ha ocasionado que países alrededor del mundo actuaran de una manera mucho más rápida y eficaz. Se ha requerido muchísimo trabajo de parte de los cuerpos médicos e instituciones médicas para poder contener la crisis. Ahora sabemos también que una intervención sanitaria exitosa depende no solo de la capacidad o experiencia de los médicos, sino también de la tecnología de los instrumentos médicos y dispositivos de

asistencia. Como resultado, la mecatrónica se convierte en una tecnología emergente importante para mejorar la atención médica, ya que facilita y eficientiza los procedimientos médicos que se deben llevar a cabo. Es por eso que considero que es de suma importancia mejorar nuestras tecnologías para que realmente se tenga un impacto positivo en la contención del virus. Honestamente, después de haber vivido de manera personal las consecuencias trágicas que trae consigo el virus, me parece lamentable que el proyecto no se haya podido llevar a cabo porque creo que lejos de ser un proyecto académico y escolar, pudo ser de gran aporte a la contención de la pandemia.

Renatto Tommasi

Vivimos en tiempos de constante evolución. La tecnología avanza a pasos agigantados, dejando de vez en cuando atrás a la sociedad. La implementación de sistemas mecatrónicos como el planteado anteriormente es una forma de aprovechar la tecnología actual para simplificar procesos a los cuales nos enfrentamos día con día. Gracias a implementaciones mecatrónicas, los procesos de manufactura han alcanzado velocidades de producción nunca antes visto. Personalmente siento que es momento de trasladar estas aplicaciones fuera del área de manufactura y comenzarlas a introducir a la sociedad. Comenzando con un pequeño proyecto como este, quizá algún día lleguemos a ver la introducción de aplicaciones mecatrónicas en nuestra interacción cotidiana con la vida.

Jesus J. Reyes

Durante mucho tiempo se ha tratado de implementar tecnologías capaces de percibir el entorno que nos rodea, permitiendo así el desarrollo de nuevos dispositivos capaces de enfocarse en tareas muy particulares. No obstante, las necesidades y aplicaciones que el mundo de hoy requiere difieren un poco del concepto de dispositivos especializados en solo una área, al contrario, se requieren soluciones capaces de operar en varias. Tal fue el caso de este AGV de asistencia hospitalaria que no sólo debía concentrarse en implementar un buen sistema de navegación con los sensores típicos ultrasónicos o infrarrojos, sino también en cubrir las tareas típicas de un enfermero, pasando por todos los signos vitales y dispositivos adicionales de interacción.

La verdadera dificultad en la integración de estas tecnologías radica tanto en la distribución electrónica como en la implementación por software, pues de no tener cuidado, estas pueden obstruirse o afectar el correcto funcionamiento del sistema en general. Por esta razón es necesario primero recopilar toda la información acerca de las características de cada componente, para posteriormente diseñar la circuitería que cumplirá con dichos requerimientos y por último implementar un

software que asegurará el mejor funcionamiento, el menos consumo y sobretodo la mejor interacción entre cada componente de manera autónoma.

VI. RECONOCIMIENTO

Un especial reconocimiento para los doctores Esquivel-López, A., Vázquez-Topete, C. R., Mendoza-García, C. I., Navarro-Gutiérrez, M., García-Partida, M. H., Sinsal-Duarte, M. A. Carbajal-Espinosa, O. E., por su enseñanza, guía y asesoramiento en la elaboración de este proyecto.

VII. REFERENCIAS

- [1] Revista de Robots. (septiembre 3, 2020). Vehículos AGV, los vehículos de guiado automático inteligentes. [Online]. Disponible en: <https://revistaderobots.com/robots-y-robotica/robot-agv-aiv-los-vehiculos-de-guiado-automatico-inteligentes/>
- [2] Revista de Robots. (junio 8, 2020). Moxi, el robot enfermero de Diligent Robotics. [Online]. Disponible en: <https://revistaderobots.com/robots-y-robotica/robot-moxi-d-e-diligent-robotics/>
- [3] Rocol, S.A. (febrero 6, 2015). Robot para telemedicina RP-Vita. El Hospital. Disponible en: <http://www.elhospital.com/temas/Robot-para-telemedicina-RP-Vita+102827>
- [4] Grupo ADD. (2020). El ROBOT TUG. [Online]. Disponible en: <https://grupoadd.es/el-robot-tug#:~:text=TUG%20Robot%20es%20un%20robot,los%20centros%20sanitarios%20y%20hospitales.&text=El%20robot%20TUG%20lleva%20a,cuidado%20y%20tratado%20del%20paciente.>
- [5] UVD Robots. (2020). UVD Robots Revolutionizing Disinfection. Disponible en: <https://www.uvd-robots.com>
- [6] Mecatrónica LATAM. (2020). Motor de corriente CC o directa DC. Disponible en <https://www.mecatronicalatam.com/es/tutoriales/motor/motores-electricos/motor-de-corriente-continua/>
- [7] Oriental Motor. (2020). AGV / AMR Designs: Understanding Brushless DC Motor Benefits. Disponible en <https://www.orientalmotor.com/brushless-dc-motors-gear-motors/technology/brushless-dc-motors-agv-designs.html>
- [8] Logicbus. (2020). AGV Vehículos de Guiado Automático. Disponible en <https://tienda.logicbus.com.mx/Automatizacin-y-control-de-procesosRobotsAGV-Vehculos-de-Guiado-Automtico.html>
- [9] Robotshop Community. (2020). Drive Motor Sizing Tutorial. Disponible en <https://www.robotshop.com/community/blog/show/drive-motor-sizing-tutorial>
- [10] Semestre i. (2020). Actuadores, invierno 2020, ITESM campus Guadalajara
- [11] De máquinas y herramientas. (2020). ¿Qué es un encoder, cuáles son sus tipos y para qué sirven? Disponible en <https://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/encoder-tipos#:~:text=Existen%20dos%20grandes%20tipos%20de,funcionamiento%20que%20veremos%20a%20continuación.>
- [12] Vipin, V. (2012) Image Processing Based Forest Fire Detection. St. Joseph's College of Engineering, Palai, India. International Journal of Emerging Technology and Advances Engineering. ISSN 2250-2459, Volume 2, Issue 2.