Plan de mantenimiento preventivo para los kiwibots de la versión 4A, 4B, 4C y 4D

Sebastián Darío Suárez Zuluaga

Universidad Santo Tomás
Facultad de Ingeniería Mecánica
Bogotá
2023

Plan de mantenimiento preventivo para los kiwibots de la versión 4A, 4B, 4C y 4D

Autor:

Sebastián Darío Suárez Zuluaga

Tesis de Grado

Director:

Elver Carvajal, Ingeniero Mecánico

Universidad Santo Tomás
Facultad de Ingeniería Mecánica
Bogotá
2023

1. Introducción

La empresa Kiwibot es conocida a nivel universitario en Estados Unidos, según lo reflejado en su página web donde cuenta con fotos con los estudiantes y en los campus, esto dado que en los últimos dos años ha tomado mucha fuerza y reconocimiento estudiantil por medio de su idea innovadora y llamativa para realizar los envíos de comida de última milla dentro de los campus universitarios, apoyándose de grandes contratos como los que tiene con la empresa Sodexo que es la encargada de la distribución, contratación y elaboración de todo lo que incluye la alimentación de los estudiantes en la mayoría de las universidades de los Estados Unidos, obteniendo así una participación importante en cuanto a las opciones mediante las cuales los miembros activos de la universidad pueden obtener su comida en el lugar del campus donde se encuentren.

Actualmente, están ubicados en distintas zonas de Estados Unidos, se puede encontrar la presencia del servicio de entregas a domicilio de Kiwibot desde la universidad de nuevo México pasando por Los Ángeles en el estado de California, siguiendo su camino por toda la costa oeste hasta la Universidad de Gonzaga en el estado de Washington, continuando su operación hacia la costa este por el estado de Dakota del Norte y llegando a una de las zonas Universitarias más importantes y reconocidas en la cual cuenta con operaciones en estados como: Illinois, Nueva York, Maryland, Delaware, entre otras.

Dando así paso a más de 30 locaciones en las cuales se encuentra operando de manera activa dentro de los Estados Unidos. Por otro lado, la empresa está teniendo pruebas piloto en el medio oriente, donde se llevaron robots para realizar dichas pruebas en altas temperaturas y de manera continua, esto con el objetivo de implementar el servicio de entregas a domicilio en lo que será una ciudad inteligente en algunos años. Es importante aclarar que cada uno de los campus tiene una capacidad operativa distinta, lo que quiere decir que hay campus donde salen 2 robots y en otros pueden salir hasta 6 robots a operaciones al mismo tiempo.

Dado el nivel de operaciones que se está llevando a cabo actualmente dentro de la empresa, se les está dando un uso considerable a todos los robots que se encuentran en la determinada etapa de producción, estos son aquellos que salen a operaciones todos los días en cada uno de los campus, es por esto que este proyecto consta de diseñar, evaluar e implementar de manera satisfactoria un plan de mantenimiento preventivo con la implementación de la herramienta AMEF la cual por sus siglas significa Análisis de Modos y Efectos de Falla, esto se va a diseñar basado en la experiencia adquirida durante la oportunidad laboral que se tuvo en el periodo de tiempo del 10 de enero al 30 de Junio dentro de la empresa como técnico de mantenimiento en donde me asignaron a la ciudad de Spokane en el estado de

Washington en Estados Unidos, donde fui el responsable del área de mantenimiento de los robots que se encontraban en la universidad de Gonzaga.

De todas maneras este plan de mantenimiento se diseñará para todos los robots operacionales que se encuentran actualmente prestando el servicio de domicilio de comida en todos los campus activos de Estados Unidos, para el desarrollo de este proyecto se va a empezar recopilando información por medio de todos los técnicos de mantenimiento que se encuentran en cada campus, posteriormente se van a elegir unos campus en específico para empezar a recopilar datos de manera diaria, pero con anterioridad antes se les va a realizar un mantenimiento preventivo a todos los robots implicados para así garantizar su buen estado a la hora de comenzar; el técnico de mantenimiento estará encargado de llenar una tabla con toda la información relacionada al día de operaciones, tales como: kilometraje inicial, kilometraje final, temperatura, humedad y cualquier novedad o intervención que haya tenido el robot durante el día de operaciones.

Además, se van a establecer dos tipos de robots dentro del proyecto, unos estarán destinados al mantenimiento preventivo donde se van a intervenir de manera periódica durante el proyecto y otros destinados al mantenimiento correctivo, los cuales se van a intervenir únicamente cuando presenten alguna falla que comprometan de manera directa su adecuado funcionamiento. A medida que vaya avanzando el proyecto se van a tener reuniones semanales con el equipo de mantenimiento y manufactura para evaluar y realizar su respectivo seguimiento. Luego de esto, se evaluará la efectividad de las frecuencias establecidas, así mismo como las actividades a desarrollar.

Para el desarrollo de este trabajo se van a ver de manera muy reducida la cantidad de imágenes tales como planos o información más precisa del funcionamiento de los robots, debido a la política de privacidad de la empresa. Además, es importante aclarar que todos los conocimientos descritos son basados en la experiencia laboral como técnico de mantenimiento de la Universidad de Gonzaga en el estado de Washington durante el primer semestre del año 2023.

Kiwibot es un startup, es decir una empresa en etapa de desarrollo, que está utilizando nuevas tecnologías, en este caso la empresa está enfocada en ofrecer servicios a domicilio en los campus de las universidades de Estados Unidos, tiene una flota de más de 500 robots alrededor de 30 locaciones [1]. Cabe destacar que esta empresa es una de las pioneras en cuanto a la implementación de este tipo de tecnologías a nivel mundial, tiene varios competidores directos, los cuales de una u otra manera cuentan con muchísima más inyección de capital que esta empresa, fue por esta razón que los llevo a presentarse en uno de los programas en busca

de inversionistas más conocidos en Latinoamérica llamado “Shark Tank” donde en el año 2018 hicieron una de las apariciones más conocidas de la empresa a nivel continental y presentaron su idea de negocio y su plan a futuro, años más tarde, gracias al estallido que tuvieron durante la pandemia, hubo un alcance mayor en la comunidad de estudiantes en los campus de Estados Unidos; es importante aclarar que la idea que llevó a este programa Felipe Chávez C.E.O. por sus siglas en inglés “Chief Executive Officer” en español Director Ejecutivo, ya era una idea madurada en la cual ya se tenían bastantes avances y se presentó de manera exitosa frente a los inversionistas, viendo así una empresa con futuro en el campo de la implementación de la tecnología encaminada hacia la inteligencia artificial y la adaptación de los seres humanos frente a las nuevas tecnologías en nuestro día a día.

Desde ese momento la empresa ha tenido muchos desarrollos tanto operacionales como con relación a la idea del producto que presentan en el mercado, este importante paso los ayudo a encaminar todo para que en el año 2020 durante la pandemia mundial, se lograra uno de los mayores contratos en cuanto a la revolución de las entregas a domicilio, dado que en el estado de California en Estados Unidos se presentó la oportunidad de llevar medicinas y pruebas de COVID con la menor cantidad de contacto humano que fuera posible, de esta manera empezaron a desarrollar prototipos los cuales se implementaron posteriormente en los campus, ahora para hacer las entregas a domicilio de la comida para los estudiantes.

Actualmente cuentan con 4 versiones de robots los cuales van desde la versión 4A hasta la 4D, donde cada una de las versiones tiene características distintas y que de manera evolutiva han venido presentando mejoras en todo lo que es su funcionamiento, operación y confiabilidad en cuanto a lo que es la máquina como tal; es importante destacar que dado que la empresa es muy reciente en el mercado y que aún es considerada una “Startup” lo cual la define como una empresa en fase de nacimiento y está implementando nuevas tecnologías; esto hace que se encuentre en la creación de una base sólida para su operación y debido a que se mantiene con inversiones, es muy importante garantizar la confiabilidad de los robots en las operaciones, ya que cada dólar que reciben deben aprovecharlo de la mejor manera posible para así generar utilidades y también le da una mejor imagen en cuanto al marketing que puede generar dentro del campus de la universidad[2].

El problema se basa en que hasta el día de hoy en la flota de más de 500 robots que tienen actualmente y alrededor de 250 robots en operaciones a diario, no se tiene un plan de mantenimiento lo que quiere decir que la empresa

únicamente está interviniendo los robots para hacerles mantenimientos correctivos, esto está llevando a que se gaste una cantidad de dinero considerable de manera innecesaria, ya que no se conoce con exactitud la duración de las piezas y componentes vitales para la adecuada operación de los robots. Uno de los problemas más relevantes con los que están lidiando actualmente es con los motores “Bob” los cuales vienen presentando fallas de manera recurrente en cuanto al funcionamiento de la caja de ejes planetarios, la solución que le dan hoy en día es reemplazar todo el motor por uno nuevo que tiene un precio unitario de alrededor de $20 dólares americanos, cabe resaltar que cada robot cuenta con cuatro motores (para cada una de sus llantas) y que a diario se reportan problemas relacionados con el funcionamiento de estos. Comúnmente, estos problemas son reportados por medio de los supervisores de operaciones los cuales detectan la falla e informan al departamento de mantenimiento, luego se informa a través de un grupo de Slack, el cual es una aplicación de mensajería que se maneja a nivel interno en la empresa, con relación a estas fallas llegan aproximadamente 20 reportes en el transcurso de un día normal de operaciones. Por otro lado, existen otro tipo de problemas en relación al funcionamiento de sus sistemas que se pueden reducir si son detectados y corregidos en el momento adecuado.

Teniendo en cuenta lo anterior la implementación de un plan de mantenimiento preventivo le ayudaría de manera significativa a la empresa en aspectos tanto económicos como operacionales, además de ayudar a preservar y garantizar el estado completamente funcional de la flota y por último al intervenir los robots en el momento adecuado se podrá alargar de manera significativa la vida útil de los mismos.

Tabla de Contenido

Pág.

1. Introducción 1

2. Justificación 9

3. Objetivos 11

Objetivo General 11

Objetivos Específicos 11

4. Marco Teórico 12

¿Qué es el mantenimiento? 12

Tipos de Mantenimiento 13

Mantenimiento Preventivo 13

Mantenimiento Correctivo 14

Mantenimiento Predictivo 15

Plan de mantenimiento 16

De la tele operación a la autonomía 17

5. Empresa Kiwibot 19

¿De dónde nacen los robots? 20

¿Cómo funcionan? 21

¿Cómo se ordena? 23

¿Qué son los robots? 24

Clasificación de los robots 25

6. Competencia Directa De Kiwibot 28
Starship technologies 28
Amazon “Scout” 29
7. Estado Del Arte 31
8. Robots De La Empresa Kiwibot 32
Robot con chasis S3 32
Chasís: 33
Cabina: 33
OSYS: 33
Tarjeta Principal: 33
Tarjeta pantalla Led: 34
Tarjeta de Chasis: 34
Tarjeta posterior: 34
Robot con chasis S4 34
9. Caracterización De Problemas 37
Durante la preinspección 37
Problemas de Latencia: 37
Motor atascado: 37
Puerta atascada: 38
Ruedas sueltas o sin ajuste: 38
Fallas por temperaturas extremas 38
En frío: 38

En calor: 39
10. Procedimientos En Caso De falla 40
11. Toma De Datos Para El Proyecto 41
12. Desarrollo De La Matriz AMEF 44
13. Tabla del plan De Mantenimiento 51
Balance de cargas en las actividades de mantenimiento 52
14. Anexos del Plan de Mantenimiento 53
15. Procedimientos Para El Chasís S3 53
CS3-1 53
CS3-2 54
CS3-3 54
CS3-4 56
CS3-5 56
16. Procedimientos Para El Chasís S4 58
CS4-1 58
CS4-2 58
CS4-3 59
17. Procedimientos Para La Cabina 60
CB-1 60
CB-2 60
CB-3 61
CB-4 62

CB-5 63
CB-6 63
CB-7 63
CB-8 63
18. Procedimientos Para Conectividad 65
CV-1 65
CV-2 65
CV-3 65
CV-4 66
Conclusiones de los procedimientos del plan de mantenimiento 66
19. Stock De Repuestos E Insumos En La Oficina 68
20. Conclusiones 71
21. Recomendaciones 74
22. Bibliografía 76
23. Anexos 79

2. Justificación

Dado que la empresa Kiwibot es un startup que ha tenido un crecimiento exponencial en los últimos 3 años, que la ha llevado a verse enfrentada a planes de acción inmediatos y la obligan a adaptarse al medio y a sus operaciones de manera relativamente improvisada, lo cual no ha dejado el tiempo necesario para evaluar la posibilidad de un plan de mantenimiento para los robots, que pueda ser ejecutado de manera óptima y efectiva. Antes de que empezara este proyecto el departamento de mantenimiento se encargaba de realizar únicamente mantenimientos correctivos, ya que no se tenía un claro conocimiento de las frecuencias de las fallas más comunes, lo que quiere decir que de cierta manera, lo que se hacía era intervenir el robot en el momento que fallara, esto representa paros inoportunos de los robots y que se mantengan fuera de operaciones por un tiempo indefinido, debido a que al presentarse una falla se deben tener en cuenta varios aspectos tales como que debe haber un técnico con conocimiento especializado en electrónica que es una de las fallas más comunes y si no, se debía solicitar el apoyo de una persona de manera remota que de una u otra manera encontrara la falla y pueda dar un plan de acciones a seguir para solucionar el problema y devolver el robot a operaciones en el menor tiempo posible, también se juega con las probabilidades de tener los repuestos necesarios o los componentes electrónicos tales como: resistencias, diodos, cables, conectores, entre otros.

Desde hace alrededor de 6 meses, la empresa ha solicitado al departamento de mantenimiento un mayor apoyo debido a que se empezaron a dar cuenta que los robots se demoraban mucho en el área de mantenimiento, esto se puede generar por varias razones, ya sea porque no se le ha dado el diagnóstico al robot y se desconoce la falla; también puede ser debido a la falta de repuestos disponibles en el campus, este último motivo se da porque el procedimiento para solicitar los repuestos es bastante largo y el técnico una vez conocida la lista de partes y componentes que requiere, debe solicitar por medio de un formulario todas y cada una de estas piezas y esperar que disponibilidad tiene el departamento de logística, cabe la posibilidad de que un campus cercano tenga en stock la pieza y simplemente se realice un envío que puede durar alrededor de dos días. Por otro lado, puede que el departamento de logística no lo tenga disponible y se vea obligado a solicitar la compra de este por medio del departamento de mantenimiento y este procedimiento puede llegar a durar muchos días, incluso semanas, es por esto que este tipo de metodología utilizada es poco eficiente y se deben crear nuevas estrategias para reducir de manera significativa el porcentaje de robots en mantenimiento.

Para ello el C.E.O. planteó como objetivo una de las metas a mediano plazo más importantes para la empresa la cual consta de mantener como mínimo el 95% de la flota total de robots de manera completamente operacional, lo cual solo le dejaba un margen del 5% de robots para tener en el área de mantenimiento. Esto únicamente se puede lograr evaluando y actuando de manera anticipada a las fallas de los robots, además de que se debe lograr garantizar que las piezas que más fallen se encuentren disponibles en cada campus para que así no haya pérdida de tiempo esperando a que una pieza llegue hasta el lugar donde se encuentre el robot. El plan de acción que implementó el departamento encargado fue desarrollado en conjunto con el departamento de manufactura donde básicamente se empezaron a analizar todas las fallas más comunes de los robots, las piezas que se desgastaban y tocaba reemplazar de manera periódica, entre otras variantes importantes que determinaban cuanto tiempo podía durar un robot en mantenimiento.

Cabe resaltar que ahora mismo se encuentran 4 versiones de robots fabricados por la empresa, van desde la 4A que es la más básica hasta la 4D que son los robots de última generación entregados a operaciones. Los robots 4A, 4B y 4C tienen un chasis que se conoce como S3 el cual cuenta con 4 motores BOB independientes en cada rueda. Los robots de chasis S4 cuentan con motores que se desarrollaron con ayuda de la empresa Ninebot que es una empresa mundialmente conocida en la fabricación de vehículos eléctricos, en especial patinetas que se ven hoy en día en las calles de las ciudades con mucho tráfico. Los motores que se diseñaron para Kiwibot son libres de mantenimiento, pero requieren de un especial cuidado en cuanto a la programación y estados de sus componentes internos, además de una actualización de la tarjeta madre de manera periódica para garantizar su funcionamiento óptimo en todas las jornadas de operación.

3. Objetivos

Objetivo General

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo para todos los robots operacionales de la empresa Kiwibot.

Objetivos Específicos

- Caracterizar las fallas principales de los robots por medio de recopilación de datos en un periodo de 3 meses con la ayuda de la herramienta AMEF.
- Determinar las acciones de intervención con los tiempos e insumos para cada uno de los mantenimientos.
- Establecer un plan de acción con frecuencias y procedimientos necesarios para garantizar la vida útil de cada robot.

4. Marco Teórico

¿Qué es el mantenimiento?

De acuerdo con el autor Mora Gutiérrez, se define como mantenimiento a todas aquellas acciones que se le realizan a un bien, equipo o servicio para garantizar el adecuado funcionamiento y de cierta manera prolongar la vida útil del mismo a lo largo de su periodo de utilización. En este caso en específico para la ingeniería mecánica el mantenimiento de las máquinas es una de las principales funciones que puede llegar a realizar un profesional en esta área, aunque es importante aclarar que en cada una de las ramas de la ingeniería existen distintos bienes o intereses a los cuales se les debe hacer un seguimiento y de esta manera garantizar su funcionalidad. [6]

Para las empresas es muy importante tener un departamento de mantenimiento, ya que este le va a proporcionar lo que es diagnóstico, apoyo y un meticuloso seguimiento en cuanto a cada uno de los equipos con los que se cuente, además, le brindará herramientas importantes para que de una u otra manera se optimicen costos y se tenga un completo control operacional de los equipos, esto le va a ayudar de manera directa a la empresa ya que, va a poder continuar con sus objetivos en cuanto a lo que refiera a la producción.

De todas maneras, este departamento puede apoyar distintas labores, ya que, al poder establecer planes de acción de intervención en los equipos y conocer las fallas o puntos de especial cuidado, se puede trabajar en conjunto para ofrecer una mejor productividad y minimizar distintos contratiempos. El departamento de mantenimiento puede trabajar de manera conjunta en algunos casos con el departamento de diseño, ya que de cierta manera este ha logrado identificar mejoras que pueden ser corregidas. Esto se puede llevar a cabo gracias a que los encargados de estas áreas son ingenieros y como profesionales en este campo tienen conocimiento en diseño, proyección y funcionamiento de todo lo que es el área de máquinas o bienes.

La historia del Mantenimiento se puede decir que se originó con la era de la industrialización, con la aparición de los equipos organizados para producir, inclusive desde tiempos en los cuales el hombre formaba parte de la energía de los distintos equipos. Formalmente se reconoce la aparición de organizaciones dedicadas específicamente al mantenimiento de distintas máquinas a principios del siglo XX en norte América, pero cabe destacar que en esta época se le denominó

mantenimiento al momento en el cual el equipo ya había presentado una falla y esta organización tenía un personal capacitado para ir a reparar y dejar nuevamente de manera funcional el bien, a esto se le conoce como mantenimiento correctivo. A medida que fue avanzando la industria y los ingenieros, operadores y fabricantes fueron analizando cada una de las fallas y las frecuencias con las que estas ocurrían, se formaron distintos conceptos en cuanto al campo del mantenimiento dentro de una empresa. [6]

Tipos de Mantenimiento

Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo es aquel que se realiza de manera anticipada a las posibles fallas que un equipo puede llegar a presentar, para esto se diseña un plan de mantenimiento el cual es previamente evaluado y estudiado por personal que tiene la experiencia necesaria en cuanto al conocimiento de la máquina, es por esto que la realización de este debe ser ejecutado por técnicos capacitados para esto.[9] La realización de este mantenimiento no garantiza que el equipo no tenga probabilidades de fallar, lo que hace es reducir de manera sustancial la posibilidad de que esto ocurra, además, cuenta con muchos más beneficios, tales como, disminuye los tiempos muertos en producción u operación, disminuye los costos en cuanto a lo que concede la reparación del bien. Además, es muy importante para mejorar el desempeño de la máquina durante su periodo de vida útil. Hay que tener dos factores muy importantes en cuenta los cuales son: Primero, el costo del plan de mantenimiento comparado con la reducción de los costos para reparar y el incremento de productividad de la máquina. Donde claramente en caso de contar con un plan de este tipo, se garantiza que los costos para este fin serán disminuidos de manera drástica y además se asegura el funcionamiento óptimo del equipo. Por otro lado, el segundo punto, el porcentaje de utilización del equipo al cual se le realiza el mantenimiento. Esto debido a que se deben considerar los usos que se le está dando a la máquina, cuanto es el periodo de tiempo que se utiliza durante la jornada laboral y que piezas pueden llegar a fallar de manera más frecuente. [7]

Para el caso específico de los robots en cuestión, se puede plantear un ejemplo muy sencillo y garantizado de la implementación de este tipo de mantenimiento y es específicamente al robot de chasís S3, que cuenta con cuatro motores eléctricos, los cuales desde hace un tiempo se tiene identificado que fallan de manera recurrente debido a su uso, para esto si se implementa un plan de acción de mantenimiento que se ejecute de manera periódica, donde se intervenga el problema de raíz, realizando acciones tales como: limpieza, lubricación, inspección

del estado de las piezas, entre otras, esto fácilmente puede garantizar la extensión de la vida útil del motor y de esta manera evitar lo que se estaba realizando previamente dentro de la empresa que era, que cuando uno de estos componentes fallaba, se reemplazaba por uno nuevo, esto de cierta manera representaba un costo mucho más alto con relación al costo de realizar un mantenimiento periódico, en donde únicamente se requiere de un técnico con el tiempo y los insumos necesarios para ejecutar este tipo de actividades.

Mantenimiento Correctivo

Se le denomina mantenimiento correctivo a aquellas acciones que se le realizan al equipo luego de presentar una falla, es decir, lo que se hace es reemplazar o poner en funcionamiento nuevamente en el menor tiempo posible para así no afectar la producción.

Hoy en día en Latinoamérica hay empresas que únicamente realizan este tipo de mantenimiento por distintos factores, puede ser por falta de conocimiento de las máquinas, también debido a la falta de mano de obra calificada o la falta de un departamento de mantenimiento y lo que hacen es realizar la contratación de terceros a la hora de que una de las máquinas que se encuentran en producción, entre otros factores. [10].

Cabe destacar que el mantenimiento correctivo al definirse como una intervención que se realiza de manera inesperada, esto lo hace muy impredecible y no se puede programar dada su naturaleza, lo que hace que suela ser implementado en caso de urgencia o cuando suceden eventos inesperados en producción.

Es importante aclarar que algunas ventajas de este tipo de mantenimiento van relacionadas a lo que son los costos, ya que solo se realiza la inversión de dinero cuando es estrictamente necesario, esto quiere decir que falló la máquina van y se compran los repuestos y se vuelve a tener a punto. Además, no genera gastos fijos en cuento a manutención de los equipos, aunque esto también puede ocasionar una desventaja muy notoria debido al alto inventario de repuestos o la disponibilidad del técnico capacitado al momento más inoportuno de que se presente la falla durante la jornada de operación del equipo. [10].

Mantenimiento Predictivo

Este tipo de mantenimiento se define como aquel que se ejecuta teniendo en cuenta un gran conocimiento de la máquina en cuestión, donde se pueden anticipar a los hechos de desgaste de componentes o estado general de operación de la máquina, esto quiere decir que el departamento de mantenimiento realiza un seguimiento, monitoreo e inspección regular de cada una de las máquinas para así conocer el estado en el que se encuentran y poder generar un plan de acciones anticipadas para su funcionamiento constante.

Para llegar a este nivel de conocimiento y poder anticipar la falla de esta manera, es necesario que el equipo tenga pleno conocimiento de la máquina, sus componentes, sus modos de operación, sus puntos débiles. Para esto se ejecutan unas pruebas no destructivas que son guiadas para conocer los límites de la máquina, así pueden identificar los momentos en los cuales la máquina esté próxima a fallar y conocer las advertencias que esta les provee, para que se tenga pleno conocimiento del momento en el que se debe actuar, ejecutando el mantenimiento preventivo con éxito.

Algunas de las técnicas utilizadas para identificar y conocer la máquina constan de análisis de las vibraciones que esta pueda dar durante su funcionamiento, también mediante la aplicación de termografías, el análisis del aceite, ultrasonidos, análisis de humos de combustión, entre otras actividades que le ayudan a los encargados del mantenimiento para conocer y predecir el momento oportuno para anticipar la falla de la máquina [10].

Este mantenimiento se puede considerar uno de los más complejos dado el nivel de formación, conocimiento y habilidad del equipo de mantenimiento para poder ejecutar, reconocer y planificar las fallas en las máquinas, esto dado que es de suma importancia contar con el personal capacitado y además con los equipos calibrados y en óptimas condiciones para llevar a cabo las pruebas no destructivas que se requieren para plantear de manera adecuada este tipo de mantenimiento. Esto puede llevar a elevados costos de ejecución al comienzo de la implementación de este y además no se garantiza que la máquina siempre vaya a ser exacta en lo que se predijo, siempre existen otros factores externos que pueden incidir en la frecuencia de la falla y así la hace impredecible para los técnicos y puede guiar todo esto hacia una parada inoportuna de la máquina.

Plan de mantenimiento

En el momento en el que se desee implementar un plan de mantenimiento se deben tener en cuenta los siguientes factores, primero se debe tener un conocimiento general de todos los equipos en los que se va a implementar, va a ser de útil importancia contar con datos del fabricante, planos, manuales de uso, manuales de operación, catálogos, memorias, entre otras. También es muy importante contar con el apoyo y respaldo de personas que lleven mucho tiempo en el medio, es decir operarios, técnicos, entre otros miembros de una empresa que tengan conocimiento de la máquina y sus puntos más frágiles.[9]

Para empezar a plantear las actividades que se van a realizar es importante que se conozca a la persona que opera o interviene la máquina de manera regular, además, es ideal que se le realicen preguntas tales como, que pieza requiere de cuidado, que problemas hacen que se detenga la operación de manera inoportuna, en caso tal de tener el manual del fabricante se debe leer y analizar completamente para así conocer muy bien el equipo. Posteriormente se van a empezar a plantear unas frecuencias que de cierta manera serán puestas a prueba por un periodo inicial para corroborar la veracidad de las mismas. Una vez se tengan las actividades y las frecuencias, se va a presentar un plan de acción preferiblemente semanal (depende del caso) en el cual se van a proporcionar las actividades, los insumos que requiera, el tiempo estimado de la actividad, lugar en el que se va a desarrollar y por último se dejará un espacio descrito para el operario que realice el mantenimiento para comentarios u observaciones que esté allá encontrado durante el desarrollo de la misma.

En el caso de este trabajo se va a implementar una metodología específica para el desarrollo del plan de mantenimiento la cual se basó en el uso de la herramienta AMEF, lo que quiere decir análisis del modo y efecto de fallas, básicamente se define como un procedimiento para detectar, evaluar y corregir por medio de acciones las fallas o los posibles inconvenientes que se pueden llegar a presentar en equipos o máquinas de cualquier tipo [21]. Al utilizar esta herramienta de una u otra manera se va a garantizar un aumento en cuanto a la confiabilidad de los equipos, se van a reducir los tiempos de parada y sobre todo se van a poder conocer a fondo las maneras de poder controlar de raíz las fallas y poder mitigar los efectos en cuanto a la producción o el nivel de operaciones de la empresa.

Un plan de mantenimiento basado en el uso de la herramienta AMEF es muy confiable ya que, gracias a su estructura permite organizar y priorizar cada uno de los problemas, es decir, primero se identifica la falla, luego se evalúan los motivos,

posteriormente los efectos y desde allí se empieza a evaluar mediante una escala, la severidad, la ocurrencia y la detección, lo que nos arroja un número en el cual se puede basar para la elaboración del plan de acción para los mantenimientos, además, de brindar valiosa información para priorizar y establecer cada una de las frecuencias para el plan de mantenimiento que se vaya a ejecutar, luego de evaluar cada una de las fallas y establecer sus frecuencias.

Esta herramienta tiene varias ventajas que son muy importantes, entre las cuales se resalta que reduce los costos de mantenimiento y los costos relacionados a fallas durante los procedimientos en operaciones, esto gracias a que al implementar un plan de acciones que garantice la preservación del bien que en este caso son los robots, se va a lograr reducir de manera sustancial el costo y los tiempos desperdiciados en los procedimientos de mantenimiento correctivo que se llevan a cabo en la empresa. Además, por medio de la implementación de esta herramienta se van a poder abordar problemáticas desde la raíz, es decir se van a analizar cada una de las posibles fallas actuales y se van a plantear todas las maneras posibles de controlarlas, esto con ayuda de procedimientos adecuados, insumos y piezas que se encuentren de manera inmediata en el inventario de la oficina y sobre todo por medio de mano de obra debidamente calificada o por lo menos muy bien capacitada por parte de la empresa, esta última es muy importante, en los anexos de la matriz se va a explicar de manera detallada cada una de las actividades que se deben llevar a cabo para así lograr ejecutar un plan de mantenimiento estandarizado en todos los campus de operación y garantizar la confiabilidad de toda la flota de robots operativos dentro de la empresa.

De la tele operación a la autonomía

Actualmente los robots se pueden ver clasificados por distintos niveles de autonomía, en el caso de los robots de Kiwibot están en una etapa avanzada en cuanto a su nivel de autonomía, es decir, los robots requieren de un supervisor, pero el departamento de Inteligencia Artificial está trabajando muy fuerte en el desarrollo del código de autonomía, es por esto que los robots en la consola tienen una opción especial la cual pone a los robots en un estado autónomo de toma de decisiones, esto se logra y se ejecuta a través de la programación y entrenamiento de los robots para ejecutar tareas como evasión de obstáculos, identificación de peatones, entre otras.

Para poder ejecutar este modo los supervisores deben estar pendientes de lo que va haciendo el robot, ya que estos son los encargados de ejecutar un frenado de

emergencia que es probable que suceda debido a que este modo está en etapa de desarrollo. Básicamente, lo que ven los supervisores en consola durante la ejecución de este modo son las cámaras, pero esta vez con unos parámetros especiales y con una función de identificación del terreno en tiempo real que se logra a través de la cámara especializada que se tiene en la parte frontal del robot y también por medio de los sensores; para llegar a este nivel de autonomía es muy importante la correcta programación del código que se implementa en el computador principal, esto se debe llevar a cabo poco a poco y es un proceso muy largo, ya que se debe ir interpretando de la mejor manera todos los test realizados e ir avanzando para llegar a un nivel de autonomía absoluta de los robots.

5. Empresa Kiwibot

La empresa Kiwibot nace como tal aproximadamente en el año 2015 con una idea de negocio completamente distinta, la cual básicamente consta de un servicio de favores internos en la Universidad de los Andes en la ciudad de Bogotá; poco a poco esta idea fue tomando fuerza dando paso a que sus fundadores Felipe Chávez y Sergio Pachón tomaran decisiones de impulsar su negocio a nivel internacional. Así fue como unos meses después de haber implementado ese servicio dentro de la comunidad Uniandina, llegaron hasta la ciudad de Santiago de Chile, donde por medio de un programa para la búsqueda de inversionistas, lograron presentar su idea y empezaron a ejecutarla en dicho país, este proceso no fue nada fácil y a decir verdad fue muy complejo para ellos, ya que eran largas jornadas de trabajo donde realmente no estaban generando ningún tipo de ingreso y todo era trabajar y sacar la empresa adelante[14].

La idea de negocio llego a un inversionista de Silicon Valley que es como la cuna de las grandes ideas sobre todo en todo lo que incluye la tecnología, es decir que todo iba por muy buen camino, es allí en el estado de California en Estados Unidos donde se empieza a desarrollar el primer robot como prototipo de Kiwibot, al comienzo era básicamente el chasis de un carro de control remoto al cual se le adaptaba un cajón en la parte superior del mismo para transportar cargas pequeñas en distancias no mayores a una milla desde el punto de partida.
Hoy en día la empresa continúa adquiriendo millonarios contratos con su más grande aliado que es Sodexo, la cual es una empresa muy conocida encargada de suplir los servicios de alimentación en las universidades de Estados Unidos, gracias a estos contratos llega cada semestre a más universidades en cualquier estado de Estados Unidos, es muy impactante la cantidad de aceptación que han tenido los robots en los campus y como las personas les llama tanto la atención todo esto de la tecnología del futuro y como todo se está encaminando a la importancia de la inteligencia artificial.

Como visión empresarial, Kiwibot quiere seguir abriendo campus de operación continua de la manera más eficiente, además está próxima a lanzar su quinta versión de chasis la cual será mucho más liviana, confiable y lo más importante es que va a requerir de menos mantenimiento y su capacidad de carga se verá aumentada de manera significativa.

Para concluir, Kiwibot es una empresa que ha logrado posicionarse como una de las pioneras en la industria de los robots semi autónomos utilizados para la entrega a domicilio de comida, además que gracias a sus miembros del equipo de trabajo

presenta un compromiso con el medio ambiente para mitigar la huella de carbono en las ciudades donde tiene la oportunidad de operar, esto llama la atención de los ambientalistas que hoy en día están tomando mucha fuerza y son un punto clave a la hora de la aceptación social.

¿De dónde nacen los robots?

Con el paso de los testeos en este chasis y luego de mucho esfuerzo por parte del equipo que en ese entonces para el año 2017 era demasiado pequeño, solamente se contaban con muy pocos miembros que de una u otra manera eran los mismos fundadores y amigos de ellos que les colaboraban porque creían en su idea revolucionaria de la entrega de domicilios de última milla, es así como consiguen sus primeras alianzas con importantes compañías de envíos en los Estados Unidos, como por ejemplo Grubhub que es una empresa de domicilios que consta de personas que se movilizan en vehículos de uso común personales, pero es allí donde a esta empresa le llamo la atención el hecho de que de alguna manera se empezaran implementar nuevas tecnologías como la de los robots, es importante aclarar que el uso de los robots para entregas es algo que de cierta manera hasta ahora se estaba empezando a implementar en ese momento, por esto el interés y la fascinante propuesta por parte del equipo de negocios de la empresa llevo a Kiwibot a empezar a tener más reconocimiento y participación en este importante mercado.

Posteriormente, el propósito madura y por medio de los apoyos de distintas aceleradoras americanas que confiaron en la idea revolucionaria de llevar domicilios de manera semiautónoma por medio de robots, Kiwibot obtiene el primer contrato con la empresa Sodexo, la cual es muy importante, ya que le brindo la oportunidad de trabajar en un mercado en el cual pudo ejecutar de manera efectiva su plan de marketing, el cual se basaba en que las personas en especial los jóvenes interactuaran con la tecnología en su diario vivir, ya que una de las misiones de la empresa es maximizar las interacciones de los seres humanos con los robots, para esto se implementaron tanto estrategias de diseño como de manufactura, destacando sobre todo que en la parte frontal del robot al tener una pantalla led es posible proyectar emoticones de caritas, es decir como corazones, estrellas y ojos tiernos, lo cual al estar cerca de una persona que puede llegar a generar el sentimiento de ternura o alegría en el ser humano, esto no fue fácil de conseguir, ya que la gente en realidad lo que hace es alejarse de ellos porque no ven a nadie que los esté operando y solo se mueven de manera semiautónoma por los espacios.

¿Cómo funcionan?

La operación de los robots consta de distintos componentes los cuales cada uno de ellos cumplen funciones vitales para su funcionamiento semi autónomo, para empezar, tienen una computadora la cual es la encargada de suministrar toda la energía y los voltajes adecuados a cada una de las tarjetas, además es el medio mediante el cual se programan todas las funciones y acciones que realiza el robot, es allí donde se aloja toda la información de lenguaje de código. Luego de esto, se da paso a cada una de las tarjetas que hacen que el robot pueda ser tele operado, es a esta computadora donde se conectan las cámaras del robot, es importante aclarar que el robot cuenta con una cámara frontal con zoom, una cámara lateral a cada uno de sus costados, una cámara trasera y por último una cámara que se encuentra al interior del compartimiento de la cabina, está última es utilizada para conocer el estado del robot, es decir si está cargado y en efecto la persona que solicito el domicilio retiro de manera satisfactoria la comida en el punto de entrega final.

En cuanto a los componentes de electrónica se podría empezar por la tarjeta principal que es aquella que se encuentra justo al lado del computador dentro de la cabina, esta tarjeta es la encargada de suministrar energía a las demás tarjetas, encender las luces, dar energía a los sensores, entre otras tareas. Para lo que es el movimiento del robot, se tiene la tarjeta electrónica de control del chasis, la cual es la encargada de suministrar las órdenes a los motores para moverse y generar reportes en consola si hay algún problema con los motores, luego pasamos a la tarjeta de la pantalla led que se encuentra en la parte frontal, esta tarjeta está especialmente programada para suministrar la energía y garantizar la imagen del robot en todo momento, esta es muy útil para campañas de marketing y demás ya que realizando una simple actualización de la misma se pueden poner mensajes de cupones, descuentos y demás. Por último, se tiene la tarjeta trasera, la cual es la encargada de proporcionar la energía necesaria para las luces de la antena, provee la energía del funcionamiento del sistema de apertura que es vital para llevar a cabo una operación exitosa de entrega de domicilio. Es importante aclarar que todos los cables que brindan energía a todo este robot se encuentran debidamente ruteados y marcados dentro de la cabina de manera organizada y adecuada.
Para garantizar el funcionamiento remoto del robot, este cuenta con un router el cual es un componente que envía y recibe datos en redes informáticas, es el más importante a la hora de garantizar el estado de la conectividad del robot, ya que se conecta a la red de internet del sitio por medio de una Sim (acrónimo en inglés de Subscriber Identify Module, lo que se traduce al español como Módulo de Identificación de Abonado), mediante la cual se le carga un plan de internet mensualmente que en la mayoría de los casos es ilimitado, para que nunca se corra el riesgo de que el robot se desconecte de consola por falta de internet, básicamente

la sim se inserta en los compartimientos del robot y este lo que hace es crear una red de wifi que significa que se crea una red de interconexión inalámbrica para conectar al robot de manera local, esta conexión lo que hace es que por medio de una dirección IP especifica los ingenieros de software de la empresa desarrollaron lo que se conoce como consola local, la cual es básicamente un centro de control, donde se puede operar el robot de manera sencilla y muy intuitiva, además también se pueden hacer pruebas de apertura de puerta, probar el estado de las luces y si es deseado por el técnico y requiere de realizar pruebas a los sensores se puede realizar un ajuste en la sensibilidad de estos para evaluar el estado de proximidad, además, se puede operar el robot de esta manera siempre y cuando se esté dentro de la cobertura de wifi del robot, la cual es bastante amplia ya que cuenta con unas antenas en la parte superior de la tapa de la cabina tipo tiburón que ayudan a ampliar el rango de recepción y alcance de la señal de la red wifi local del robot.

Una de las funciones más importantes del robot para el técnico de mantenimiento es la posibilidad de conocer y evaluar el menú de mantenimiento del robot, este menú es muy importante para empezar el día de operaciones y se tiene acceso a este mediante la pulsación sostenida del botón principal para encender el robot y posteriormente se realiza una pulsación para que se despliegue el menú en la pantalla, lo que se ve en la pantalla es primero que todo el porcentaje de la batería que se obtiene instalada en el momento y en la parte inferior aparecen cuatro letras, las cuales son: M: para la Mainboard(tarjeta principal), C: para la CMC board(tarjeta de control de motores), L: para la Led board (tarjeta de la pantalla LED) y la R es para la Rear board(tarjeta trasera). Debajo de cada una de esas letras se aprecia una barra de un color el cual indica el estado de conexión de las tarjetas, si se encuentra en color verde, la tarjeta está en línea y en óptimas condiciones para operar, si se encuentra una barra de color amarillo, la tarjeta está teniendo conflictos para conectarse y requiere de un momento para establecer su conexión óptima con la computadora, por último si está en color rojo, quiere decir que la tarjeta electrónica está en conflicto y tiene un problema de conexión o alimentación por parte del computador principal. Este menú se revisa de manera obligatoria al momento de prender el robot por primera vez al comienzo del día de operaciones.

Una vez se revisó el menú del mantenimiento y está todo en orden, se oprime nuevamente el botón principal del robot y se lleva a una imagen en la pantalla led que dice “Robot” lo que quiere decir que por medio de una pulsación sostenida del botón se carga la barra inferior de la pantalla y se presenta un robot moviéndose en la pantalla hasta que el robot dice “hello” y presenta en la pantalla led las imágenes predeterminadas, desde este momento el robot puede ser tele operado, este procedimiento puede llevar unos minutos, normalmente depende del nivel de cobertura de la señal que se tenga en el lugar, ya que es cuando el robot requiere verificar el estado de la red para poder ser funcional y operativo para el supervisor.

Una vez el robot está operativo el supervisor básicamente lo que hace durante las horas de operación del campus es acompañar el funcionamiento del robot, al iniciar el día lo llevan de manera remota hasta los puntos donde esperan a que salgan las ordenes, normalmente son a un par de minutos de donde son las oficinas, luego quedan un lo que se conoce como “Stand by” hasta el momento que entre una orden y empiecen su labor de envío como tal, cabe aclarar que el robot siempre está siendo supervisado por una persona la cual se encarga de ayudarle en puntos críticos como paso de calles, cuando hay muchos peatones en la vía, andenes, entre otras situaciones.

Esto es logrado gracias a que el equipo de software previamente una vez es concretado el negocio de la contratación de los kiwibots en el campus, lo que se hace es el levantamiento de las rutas por donde va a transitar el robot, para esto la empresa tuvo que adquirir unas licencias especiales específicas para el movimiento semi autónomo de los robots en vías públicas, aunque sea dentro de las instalaciones de las universidades, esto para poder corroborar su compromiso con la legalidad de todos los requerimientos que incluye tener una nueva máquina en las calles. El procedimiento que se requiere se conoce como mapeo de las zonas; lo que se hace es recorrer cada uno de los caminos y con ayuda de la tecnología levantar datos importantes para que de alguna u otra manera se garantice que los robots van a poder transitar con la menor cantidad de obstáculos posibles en la vía, incluidos andenes, que son de especial atención, los pares, las esquinas donde pasan carros, son delicadas ya que por ejemplo, para que el robot pase por allí deben estar dos personas pendientes del cruce, esto debido a que por políticas internas de la empresa los supervisores no están autorizados por un superior para realizar el cruce de calles, esto se debe a que se han presentado accidentes con los robots donde el supervisor revisa las cámaras y aparentemente no viene nada pero a mitad de la vía lastimosamente se ven atropellados por vehículos que transitan en las vía, esto sucede porque los robots no siempre son visibles para los conductores aun así con la implementación de las banderas y antenas que son necesarios para obtener las licencias y poder transitar legalmente por la vía.

¿Cómo se ordena?

Para solicitar una orden de servicio de uno de los robots, el procedimiento es el siguiente: Primero la persona que desee ordenar debe tener instalada en el celular una aplicación que se llama “Everyday app” en la cual según la ubicación de la persona tiene distintos restaurantes disponibles, una vez se tome la decisión de que se desea en la aplicación se encuentra la opción del envío por medio de los robots de Kiwibot, en este momento la persona elige la opción y se crea la orden en el restaurante, empezando así una cuenta regresiva, donde el restaurante debe

preparar la orden, el miembro de operaciones de Kiwibot debe acercarse al restaurante corroborar la orden y la lleva hasta donde se encuentran los robots, todo esto se ejecuta y coordina por medio de un canal de discord, el cual es un servicio de mensajería instantáneo donde se encuentra conectado el supervisor del robot asignado para cargar la orden; una vez el miembro de operaciones carga el robot se procede a llevar la orden de manera tele operada con apoyo del supervisor, el cual debe acompañar al robot en todo el recorrido y asistirlo en los momentos que sea necesario, como por ejemplo cuando hay que realizar el cruce de calles donde pasan vehículos, si hay muchos peatones, entre otras situaciones. Una vez el robot recorre todo el camino hasta el punto de entrega, la persona que ordenó el domicilio por medio de la aplicación le da la orden de apertura a la cabina del robot y el mismo retira su orden, en este momento el robot cierra nuevamente la compuerta y se regresa hasta el punto de partida que siempre es en el edificio más cercano posible a los restaurantes. Para llevar a cabo todo este procedimiento se debe emplear un tiempo máximo de 40 minutos, teniendo en cuenta el tiempo de preparación de la orden por parte del restaurante.

También se tiene la opción de programar una entrega para una hora en específico, para esto es necesario que la persona que este poniendo la orden solicite por medio de la aplicación que su orden sea programada para la hora que desee, de todas maneras a la persona de operaciones le llega la notificación de que se programó una entrega por medio de la aplicación y éste debe estar pendiente con el restaurante para que tengan la orden lista minutos antes de que se lleve a cabo el servicio de envío por medio de los robots, esto comúnmente no es utilizado pero se tiene esta opción.

Actualmente la empresa, gracias al contrato con Sodexo tiene servicio de restaurantes de comidas rápidas, supermercados, en algunos campus está presente la opción de domicilio de la famosa cafetería Starbucks la cual llama mucho la atención y ayuda a promover el uso de estos robots, el espacio de la cabina es apto para llevar hasta 4 bebidas de tamaño mediano sin ningún inconveniente.

¿Qué son los robots?

Los robots básicamente son creaciones del ser humano que se definen como un dispositivo mecánico y electrónico que cumple funciones como de humano y son programados para realizar funciones que le faciliten la vida el hombre de alguna manera [15]. La definición de robot también puede ser planteada como un

manipulador reprogramable y multifuncional diseñado para trasladar, piezas, objetos o materiales a través de movimientos programados por el hombre para ejecutar tareas en específico [16].

Es decir que la principal función de un robot es asistir de manera remota las actividades de un humano, dado que se fabrican están máquinas con el objetivo de minimizar en la menor cantidad el uso de mano de obra de un ser humano, esto es algo que siempre ha sido cuestionado por muchos medios que se hacen una pregunta y es: Cómo es que esta máquina siente uso de la razón?, es decir, Qué es lo que hace que el robot tenga la capacidad de "pensar"?, es aquí donde entra en juego uno de los grandes campos de la ingeniería actual que es lo que se conoce como inteligencia artificial, que en palabras simples es un complejo nivel de lenguaje de programación mediante el cual se le enseña a la máquina a tener cierto nivel de autonomía, esto no es nada sencillo y requirió muchos años de testeos que en un comienzo salieron muy mal, pero a medida que se fueron puliendo detalles y se fue creando un lenguaje con el cual la máquina pudiera entender de manera efectiva, sin mal interpretar los requerimientos.

Se define autonomía en el campo de la robótica como un sistema independiente de funcionamiento propio de la máquina, que opera sin ningún tipo de conexión física con equipos externos [16]. Es decir, el robot tiene su propia fuente de alimentación y no es un requerimiento que esté conectado a una fuente de poder o con el apoyo de una computadora externa. Otro concepto muy importante que va de la mano de este es la inteligencia del robot, esto es lo que se conoce como la capacidad de la toma de decisiones que tiene el robot gracias a su programación y lo que logra analizar por medio de la recepción de datos de componentes electrónicos como sus cámaras y sensores.

Clasificación de los robots

Hoy en día se pueden encontrar muchos tipos de robots, esto dado que dependiendo de las funciones que se deseen delegar a las máquinas y programándolas de manera específica para cada uno de los campos es necesario enfocar las habilidades humanas en estos campos variados [17].

- Robots Industriales: Son todas aquellas máquinas utilizadas en plantas de producción, ya sea manejados por un operario o programados para ejecutar acciones, tareas repetitivas, entre otras. Estos robots deben ser frecuentemente calibrados y en la mayoría de los casos deben estar en constante vigilancia de un operario para así garantizar la veracidad de su trabajo, es relevante aclarar que estos robots están arraigados a un ambiente

laboral el cual es específico para cada uno de los casos en los que sean operados.

- Robots de Servicio: Este tipo de robots son aquellos que su principal función es proporcionar un servicio o apoyo, ya sea a los seres humanos o a alguna máquina o elemento que requiera de una ayuda externa de manera recurrente, estos por ejemplo pueden ser robots que ayudan con tareas domésticas como de limpieza.

- Robots educacionales: Este tipo de robots son básicamente los que se encuentran en las aulas de enseñanza y se utilizan para dar a conocer el funcionamiento de este tipo de máquinas, comúnmente vienen con piezas desarmables tales como sensores, engranes, poleas, correas entre otros componentes para que los estudiantes que quieran aprender al respecto se familiaricen con estos elementos.

- Robots militares: Este tipo de robots son aquellos diseñados por ingenieros especializados en distintas áreas que comúnmente son relacionados con fines bélicos y para proteger la vida de un ser humano, un claro ejemplo de este tipo de robots son los que se elaboraron para el procedimiento de detección y lo que es desactivar las bombas.

- Robots espaciales: Son todos aquellos elaborados de manera especial para estar en el espacio sobre superficies desconocidas y son tele operados a miles de kilómetros de distancia lo que los hace contar con un alto nivel de confiabilidad y muy buena conexión a nivel remoto.

Existen varios tipos de medios por los cuales los robots se pueden llegar a mover de manera autónoma, la principal siempre será por medio de ruedas, las cuales van directamente ancladas al chasis del robot, también existen robots que se mueven por medio de patas o extremidades que simulan a las de un ser humano, este tipo de robots pueden llegar a ser muy inestables debido a que es muy complejo programar lo que es el concepto de equilibrio en una máquina como esta, es por esto que lo más seguro y confiable es diseñar robots que cuenten ya sea con soportes fijos en superficies estables o que estén lo más pegados al piso para así garantizar un centro de gravedad bajo y hacerle la capacidad de maniobra mucho más sencilla al mismo[17].
Para ser un poco más específicos a la hora de evaluar el tipo de robot que son elaborados por la empresa Kiwibot, se encontró que es un robot tipo coche o Ackerman, que son aquellos que cuentan con cuatro ruedas y son diseñados en base a un vehículo convencional, pero con la única diferencia que estos robots no tienen las ruedas delanteras con la función de direccionamiento, lo que quiere decir que estos robots funcionan por medio de giros en su propio eje, es decir, para girar

hacia los lados lo que hace el accionar los motores diagonales de manera contraria, esto se logra a partir de la programación de la tarjeta que controla estos elementos.

Figura 1.
Robot de tipo Ackerman estándar

Nota. Imagen recuperada de probots.co.in

6. Competencia Directa De Kiwibot

Starship technologies

Actualmente, en el mercado ya se encuentran distintas compañías con una idea de negocio muy similar, lo que quiere decir que de alguna manera son competencia directa de los Kiwibots. En primer lugar, se puede encontrar a la empresa Starship technologies la cual es una empresa que opera en Estados Unidos, realizando el servicio de entrega de comida, bebidas y paquetes, alrededor de las universidades y vecindarios aledaños en pocos minutos. Actualmente, ya aseguran haber entregado millones de entregas de manera autónoma, haber viajado por medio de sus robots millones de millas y que están logrando más de miles de pasos de calles cada día de operaciones. Su principal contribución a la sociedad es reducir de manera sustancial la congestión y polución, ejecutando entregas a domicilio con cero emisiones de carbono, de esta manera incrementan la calidad de vida de los residentes del sector donde operan y por último aseguran que se puede ofrecer un servicio de entrega a domicilio aceptable para los pequeños negocios locales y así impulsar sus ventas y poder ganar más clientes por medio del uso de sus robots. Físicamente los robots son muy similares, se puede apreciar que este robot tiene dos llantas más, lo que quiere decir que cuentan con tres llantas a cada uno de sus lados, también es de notable relevancia el tamaño de su cabina para transportar las entregas, se ve mucho más grande y robusta, este robot no tiene ninguna pantalla led que interactúe con las personas de su alrededor o que le de algún tipo de información al usuario, de igual manera cuenta con la antena que hace que sea visible para los transeúntes y conductores de las vías por donde transita.
Figura 2.

Robot de la empresa Starship

Nota. Imagen recuperada de. Starship.xyz/about-us/

Personalmente tuve la oportunidad de ver estos robots en la universidad del Estado de Washington, como primera impresión son demasiado grandes y es notorio que cuentan con una mayor capacidad de carga, estos robots no tienen esa interfaz amable con los humanos, es decir no cuentan con una pantalla led que interactué de manera amable, estos robots solo tienen sus cámaras y sensores en la parte frontal, lo que puede que no tenga ninguna relevancia con sus beneficios en cuanto al funcionamiento pero de una u otra manera es vital para desarrollar una mejor interacción de los robots con los humanos.

Amazon "Scout"

La empresa Amazon es mundialmente conocida por ser una de las pioneras en las tecnologías implementadas en cuento a todos sus procesos de logística y envíos, es por esto que desde hace un tiempo la compañía presentó una propuesta de implementar unos robots de tipo coche, que quiere decir robots con aspecto de vehículo con un chasís de tres ruedas a cada lado, cabina en la parte superior el chasís para el alojamiento de la carga, que en el caso de los robots de Amazon son robots específicamente diseñados para ejecutar un servicio de entrega de manera más eficiente, rápido y económico.

Figura 3.
Robot de Amazon Scout

Nota. Imagen recuperada de. Aboutamazon.com/news/transportation/meet-scout

Como es de esperarse estos servicios son únicamente para las entregas de última milla, lo que quiere decir que el robot circula por los andenes y vías de las ciudades; para el caso de los robots de Amazon a comienzos del año 2019 implementaron testeos de operaciones en el condado de Snohomish, Washington. Allí se llevaron a cabo pruebas del funcionamiento de los robots autónomos, donde se probaron seis robots, en horario de lunes a viernes en horas diurnas, los primeros testeos se llevaron a cabo con la supervisión presencial de un empleado de Amazon, el procedimiento constaba de que al robot se le cargaba la ruta en su sistema y este debía interactuar en tiempo real con todo el entorno, el cual está compuesto de peatones, mascotas o cualquier objeto que se pueda atravesar en el camino [19].
Actualmente, los robots de Amazon se encuentran en una etapa de suspensión debido a que el proyecto se canceló a comienzos del año 2023, según reportes de periodistas la empresa decidió cancelar este proyecto debido a que no se estaba cumpliendo con las expectativas de los clientes, lo que los llevó a cancelar el programa y reubicar a la gran parte de trabajadores que trabajaban en esta área [20].

7. Estado Del Arte

Luego de una profunda investigación en cuanto al desarrollo de planes de mantenimiento para robots de cualquier tipo, ya sean a nivel industrial o de servicio como lo son para el caso de los Kiwibot, no se logró encontrar ninguna referencia bibliográfica donde se elabore o se lleve a cabo el diseño y ejecución de un plan de mantenimiento utilizando cualquier metodología. De esta manera se logra que este trabajo sea uno de los primeros que se presenta en cuanto al uso de la herramienta AMEF para el diseño y planeación de un plan de mantenimiento preventivo para todos los robots de la flota activa de la empresa Kiwibot en los campus de los Estados Unidos de Norte América.

Sin embargo, se deja constancia del análisis de las dos empresas que cuentan con robots similares, actualmente se encuentra operacional únicamente la empresa Starship que se podría decir que es la competencia directa de Kiwibot en los campus universitarios de Estados Unidos.

8. Robots De La Empresa Kiwibot

Los robots de la empresa Kiwibot son pioneros en el servicio de entrega de domicilios de manera remota, en lo que se conoce como entrega de última milla, empezaron en el año 2017 con testeos y pruebas piloto en Silicon Valley dado que sus modelos iniciales eran muy básicos, como carros de control remoto, usaban este tipo de chasises y de esa base diseñaron un cajón donde almacenar los domicilios.

Debido a la pandemia la empresa empezó a captar varios inversionistas ya que de una u otra manera se estaba popularizando este tipo de servicios sin intervención de seres humanos, es por esto que en el 2020 se realizaron con éxito distintas pruebas pilotos en Estados Unidos que la llevaron a obtener grandes aliados como Sodexo y Grubhub para proveer el servicio de domicilios de comida en los campus de muchas universidades.

Al inicio de estos contratos se llevaron a cabo en los robots de chasis S2 los cuales ya eran completamente Fabricados en China, pero diseñados y ensamblados en Colombia, estos robots contaron con tecnología pionera en cuanto a lo que fue el control de manera remota, tenían routers y antenas que le permitían ser controlados y supervisados remotamente.

Robot con chasis S3

Luego de alrededor de un año en operaciones la empresa siguió recibiendo mucho apoyo, lo que la llevo a evolucionar de manera rápida y es por esto que llega el robot de Chasis S3 el cual entró a operaciones rápidamente bajo el ID de la serie 4A, a continuación, se va a realizar una breve descripción de los componentes de este robot.

Figura 4.

Nota. Adaptado de. Kiwibot Chasis S3[Fotografía] por tekiosmag.com (2023)

Chasís:
Este consta de la base donde se sujeta el compartimiento de la cabina, además, de un compartimiento para la batería, lo más importante es que el chasís contaba con 4 motores independientes que se encontraban en cada una de las esquinas del mismo.

Cabina:
Este es el compartimiento donde se encuentra un cajón para llevar el domicilio, pero al retirar éste, se tiene acceso al espacio donde se encuentra toda la instalación eléctrica para que el robot funcione adecuadamente, se encuentran componentes como router, computadora, tarjetas madre, antenas, cableado, pantalla led, cámaras y sensores.

OSYS:
Este es el sistema de apertura de la puerta de la cabina, el cual es completamente programado y accionado de manera remota.

Para que estos robots funcionen de manera remota requieren de todos estos componentes alojados en la cabina, el más importante de estos es el computador o AGX Xavier el cual es la torre de control que se encarga de recibir toda la energía proporcionada por el batería y distribuirla en el resto de los componentes del robot, tales como:

Tarjeta Principal:

Está tarjeta se encuentra junto al computador o Xavier AGX, su principal función es administrar los componentes del robot como lo son las cámaras, los sensores y las luces.

Tarjeta pantalla Led:
Está tarjeta es la encargada de proporcionar energía a la pantalla Led que se encuentra en la parte frontal del robot.

Tarjeta de Chasis:
Está tarjeta es la encargada de administrar los 4 motores independientes de los robots, lo que quiere decir que le proporciona la energía necesaria para el funcionamiento.

Tarjeta posterior:
Está tarjeta es la encargada de administrar uno de los componentes más importantes el cual, es el sistema de apertura de la puerta (OSYS), también está encargada de proporcionarle energía y luz a la antena.

Uno de los temas más delicados en cuanto al funcionamiento y operación de esta versión de Kiwibot es la parte de los motores, ya que son motores con una caja de engranajes planetarios los cuales requieren de un cuidado especial a la hora de operar, es por esto que la empresa empezó a interesarse en el plan de mantenimiento preventivo en los robots, dado que de manera reiterada tanto la consola del robot como los técnicos en campo estaban reportando el problema de que el motor se quedaba atascado. Para esto, por cuestiones de tiempo de operación la solución fue tener un stock de motores en los campus para simplemente reemplazar el motor en el momento que fallara y que el robot volviera a salir a operaciones en el menor tiempo posible. El dilema la mayoría de las veces era que se rompía el porta engranajes que comandaba la transmisión dentro del motor. Todo esto se pudo evitar de manera significativa, si se hubieran intervenido los motores con un procedimiento de engrase de sus partes y se verificara el estado de las mismas de manera recurrente.

Robot con chasis S4
Figura 5.

Nota. Adaptado de. Kiwibot Chasis S4 (2023) Kiwibot.com

Como se ve en la anterior figura este robot de Chasis S4 fue oficialmente puesto en operaciones en el mes de octubre del 2022, para el lanzamiento de este robot se llevaron únicamente a unos campus en específico para realizar todo el testeo y puesta a punto de este nuevo chasis.

Esta versión del robot cuenta con muchos cambios en lo que es toda la parte del chasis ya que gracias a un trabajo en conjunto con la empresa Ninebot se logró elaborar con un sistema de tracción mucho más confiable y efectivo para los robots. Los motores de este modelo se encuentran integrados en las llantas, no tienen caja de cambios, lo que los hace libres de mantenimiento durante un largo periodo de tiempo y de una u otra manera garantizados por esta marca reconocida a nivel mundial la cual elaboró estos motores eléctricos.

Dado a la diferencia en los motores y el sistema de tracción, se rediseño el chasís y la parte de la suspensión donde se dejaron los amortiguadores de manera paralela a las llantas, aún con los 4 amortiguadores, pero mucho más grandes, esto también se debe a que se diseñó para cargar mucho más peso en el compartimiento de la cabina.

Además, debido a esto se volvió a diseñar la tarjeta electrónica que administra el funcionamiento de los motores, gracias a esto se debió ampliar el espacio donde ésta se encontraba y de igual manera se mejoró la batería por lo que ahora ésta es más grande y de mayor capacidad de amperios hora.

En cuanto a la cabina del robot, se amplió el espacio de carga para que se puedan llevar los envíos de comida con mucha más comodidad, se implementaron nuevos sensores, cámaras de mayor definición ya que desde esta versión los robots empiezan a tener un grado mayor de autonomía y por último se cambiaron las antenas por unas con mayor recepción de la señal ya que se estaban presentando problemas de alta latencia en la mayoría de los robots de la versión anterior.

9. Caracterización De Problemas

En el día a día de las operaciones lo que se hace como técnico de mantenimiento es que al llegar y antes de poner los robots en operaciones, se realiza una inspección visual del mismo, se procede a realizar el cambio de batería donde una vez se encuentre la batería nueva puesta se enciende el robot y se procede a verificar el estado de todas las tarjetas electrónicas por medio del menú de mantenimiento donde se puede verificar de manera visual si por algún motivo están presentando alguna falla.

Durante la preinspección

En el caso de que en el menú de mantenimiento aparezca una de estas tarjetas con una falla se procede a revisar de inmediato el problema, una de las fallas más comunes en este momento del día puede ser que no se encuentra el robot conectado a internet, esto se identifica rápidamente y se procede a verificar el estado de la Sim dentro del router, si es posible se extrae y se vuelve a insertar en otro slot del router para que ésta obture de manera efectiva.

Por otro lado, en esta inspección se evalúa el estado del chasís, se verifica que las ruedas y adaptadores de las mismas estén ajustadas de manera adecuada y que tengan todos sus tornillos en posición. Este procedimiento tocaba realizarlo a diario debido a que una de las fallas más comunes era la pérdida o caída de las llantas durante operaciones.

Problemas de Latencia:

Este problema es bastante común y se debe a la cobertura de las tarjetas Sim que usan los robots para su operación remota, el dilema es que en algunas zonas de los campus la red de celular pierde mucha señal y los robots no aguantan la latencia y de un momento a otro se van Off-line lo que quiere decir que el supervisor pierde todo contacto con el robot y toca que una persona en campo vaya y le realice un reinicio manual al robot para que este vuelva a aparecer operativo y el supervisor pueda continuar con sus labores.

Motor atascado:

En este caso, el problema sólo se presenta en los robots de chasis S3 los cuales usan los motores conocidos como motores BOB, que son aquellos con caja de engranajes planetarios; el problema radica desde el momento en que en la consola del supervisor sale un aviso de que uno de los motores está con problemas, como se mencionó anteriormente éste surge debido a que el porta engranajes se rompe ocasionando que los engranajes satélites pierdan la guía, luego se atasca la caja

de cambios y se bloquea de manera completa la caja, lo cual es bastante común que ocurra en los robots con este tipo de chasís.

Puerta atascada:
Este problema se presenta de manera ocasional y puede surgir debido a varios aspectos, uno de estos es un problema con la tarjeta electrónica trasera que esté generando algún tipo de fallo o corto en operación; el otro aspecto seria ya relacionado con el funcionamiento del mecanismo de apertura y cierre de la compuerta, normalmente lo que pasaba era que debido a falta de ajuste del sistema el eje tiende a aflojarse y luego no dejaba que el cilindro realizara todo el movimiento de la carrera necesario para hacer el cierre y apertura de la compuerta.

Ruedas sueltas o sin ajuste:
Uno de los comentarios más comunes a la hora de recibir una retroalimentación de los supervisores luego de su turno en operaciones era que los robots tienen la tendencia de irse hacia los lados, esto solo sucede en los robots de chasis S3 y es debido a que el anclaje de las ruedas con el soporte del motor requiere de un ajuste periódico, antes esto solo se realizaba una vez estuviera fallando o cada vez que la rueda se soltaba completamente.

Fallas por temperaturas extremas

En frío:
En los meses de la temporada de invierno los robots se enfrentan a temperaturas y condiciones de ambiente extremas, las fallas más comunes dentro de los meses de invierno en los robots de chasis S3 constan en que debido al diseño de las llantas pierden tracción por las condiciones de poca adherencia de los lugares por donde transitan, lo que llevo a la empresa a desarrollar estrategias para garantizar el funcionamiento de los robots, esto se solucionó de manera parcial gracias al diseño y adaptación de una cobertura especial que se le pone a cada una de las llantas, éstas cuentan con unos parches que hacen que la nieve no se adhiera y así poder transitar de manera segura en los campus universitarios.

Otro problema es que la computadora que se encuentra en la parte inferior de la cabina de vez en cuando manda una alerta por bajas temperaturas lo que sucede únicamente cuando el robot está en stand-by, una vez el robot entra en movimiento esta alerta desaparece.

En los robots de chasis S4 cuando la temperatura estaba alrededor de los -15°C el robot empezaba a presentar comportamientos aleatorios, como, por ejemplo: moverse sin poder ser controlado por el supervisor; luego de un análisis de la situación se llegó a la conclusión de que en la tarjeta de control de los motores eléctricos era necesario realizar la extracción de un diodo que estaba generando conflicto y por esto se perdía el control del robot. Al retirar el diodo, el control del robot en bajas temperaturas volvió a ser confiable.

En calor:

Debido a la exposición al sol y las altas temperaturas registradas en los meses de verano en Estados Unidos los robots tienden a sufrir de problemas de sobre calentamiento de sus componentes electrónicos que se encuentran en la parte interna, cabe aclarar que los robots justo al lado del computador tienen un ventilador que se encarga de suplir de aire a las partes que se encuentran en la cabina, la idea es que este ventilador ayude a mantener a una temperatura aceptable a componentes delicados los cuales serían las tarjetas electrónicas y el centro de control Xavier AGX.

Se han presentado casos donde el robot se apaga completamente de un momento a otro debido a que el ventilador no logra enfriar lo suficiente la temperatura, es por esto que a modo de protección el robot se apaga, cuando esto sucede la persona en campo tiene que dirigirse hasta la ubicación donde el supervisor le diga y llevarlo de manera inmediata a la oficina para que el técnico de mantenimiento lo abra y lo deje ventilar aire de manera no forzada y luego lo vuelva a encender.

10. Procedimientos En Caso De falla

Cuando ocurren estas situaciones durante las operaciones el procedimiento es un poco tedioso y a veces puede llegar a ser demorado, ya que lo primero que se hace es que el supervisor encargado del robot le informa de manera inmediata a la persona encargada en campo que tiene el cargo del coordinador del campus del equipo de logística, esta persona se dirige de manera inmediata al lugar de los hechos y busca solucionar el problema del robot con ayuda del supervisor de manera remota, en caso tal de que no se pueda solucionar el problema, el coordinador del campus se remite al técnico de mantenimiento que se encuentra en el campo, es en este momento donde se lleva el robot hasta la oficina para realizarle una evaluación preliminar del problema que esté presentando.

Desde ese momento, el robot estando en la oficina es completa responsabilidad del técnico de mantenimiento, quien debe encontrar y resolver lo antes posible el problema que esté presentando, en muchos casos los supervisores al ver que ya se llevó hasta la oficina el robot, empiezan a escalar, lo que dentro de la empresa se conoce como “Tickets”, los cuales son básicamente un aviso de parte de los supervisores para el área de mantenimiento, estos normalmente llegan a una persona que va a apoyar de manera remota el diagnóstico del robot con ayuda del técnico en campo.

En muchos casos el robot llega a ser reparado y puesto en operaciones en alrededor de unos 45 minutos si son fallas de los sensores, cámaras o de la conexión. Pero, si el problema es de los motores de tipo BOB esta reparación o cambio de motor suele tardar alrededor de una hora lo cual es demasiado tiempo que el robot esté fuera de operaciones y esto puede llegar a representar dilemas de demora en las entregas o también para la empresa es muy importante la imagen de sus robots en el campus, entonces el simple hecho de que en el campus los estudiantes vean a una persona transportando a los robots en otro medio que no sea autónomo de los mismos, va a generar incongruencias en la imagen general de la empresa en la universidad.

11. Toma De Datos Para El Proyecto

En el mes de marzo el departamento de mantenimiento puso en marcha uno de los proyectos más importantes que era la implementación o prueba piloto del plan de mantenimiento preventivo para el manejo y cuidado de la flota. Para dar inicio a esto la jefe del departamento estableció varios campus donde se iba a implementar este proyecto, se escogieron tres: Endicott College, Delaware University y Gonzaga University.

El plan de acción que se llevó a cabo con ayuda del departamento de manufactura era realizar un seguimiento diario de ciertos robots, alrededor de cuatro por campus, donde para iniciar el proyecto se les realizó una preparación que básicamente fueron unas actividades con la metodología de lista de chequeo, las cuales abordaban todas las partes del robot, tanto de todas las áreas mecánicas como electrónicas. Esto con el fin de dejar a todos los robots participantes del proyecto en igualdad de condiciones.

Para cada campus se establecieron unos robots que iban a ser dispuestos a dos tipos de mantenimientos, en el caso de Gonzaga University se tomaron dos robots de chasis S3 de los cuales uno de estos fue destinado al plan de mantenimiento preventivo y el otro fue destinado al plan de mantenimiento correctivo. Se considera que el departamento de mantenimiento decidió ejecutar el proyecto de esta manera para poder tener un seguimiento de las frecuencias de las fallas y lograr identificar el nivel de confiabilidad de los componentes.

Para esto el departamento de manufactura realizó un documento donde de manera diaria el técnico de mantenimiento encargado de cada campus debía ingresar todo tipo de datos basados en el día de operaciones, ID del robot, distancia inicial en km, distancia final en km, horas que estuvo operativo el robot, temperatura mínima en °C, temperatura máxima en °C, humedad relativa (%), velocidad del viento en Km/h, condiciones de clima y por último reportar si se realizó algún tipo de intervención o si el robot tuvo algún problema de operaciones, esto con el fin de tener registrado un seguimiento de las fallas.

Una vez establecido el documento donde se iba a consignar toda la información, se establecieron los robots en cada una de las universidades, de igual manera cuales iban para el plan de mantenimiento preventivo y cuales al correctivo, se llegó a un acuerdo con los supervisores para garantizar el movimiento de estos robots teniendo un objetivo mínimo de 15 kilómetros de recorrido diario, lo que equivalía a

8 horas en movimiento constante, independiente de las operaciones normales de servicio de domicilios en el campus.

Durante las primeras semanas se presentaron muchas dificultades en la toma de datos debido a que la mayoría de los supervisores no tenían el compromiso necesario con el proyecto y por otro lado el agendamiento de los turnos fue un poco complejo, además en el campus de Endicott hubo problemas con la ejecución de la primera revisión antes de poder dar inicio al proyecto, de todas maneras y ante cualquier adversidad se establecieron los robots asignados para el proyecto, dando así un total de 10 robots en los cuales estaba siendo ejecutado el plan piloto del plan de mantenimiento preventivo.

Los robots seleccionados, la ubicación y el tipo de mantenimiento son los siguientes:
Tabla 1.
Información de los campus, Id de robot y tipo de mantenimiento

Nombre del Campus	ID del Robot	Tipo de mantenimiento
Gonzaga University	4B078	Correctivo
	4B107	Preventivo
Delaware University	4C017	Correctivo
	4D055	
	4C015	Preventivo
	4D029	
Endicott College	4B113	Correctivo
	4D157	
	4B090	Preventivo
	4D172	

Nota. Esta tabla contiene la lista de Robots empleados para el proyecto en los tres campus seleccionados y el tipo de mantenimiento aplicado Fuente: Autor

Es importante destacar que en el proyecto se usaron robots con los dos tipos de chasís, tanto S3 como S4, para ser exactos se usaron 4 robots de chasís S4 los cuales son identificados por medio del Id del robot ya que empiezan por “4D”. Por otro lado, se utilizaron 6 robots de chasís S3 que se identifican por medio de que en su Id inicial están las siglas “4 A, B o C”. Cabe aclarar que esto se planeó con el departamento de mantenimiento debido a la alta cantidad de robots de Chasís S3 que se encuentran actualmente activos en operación, de igual manera se están

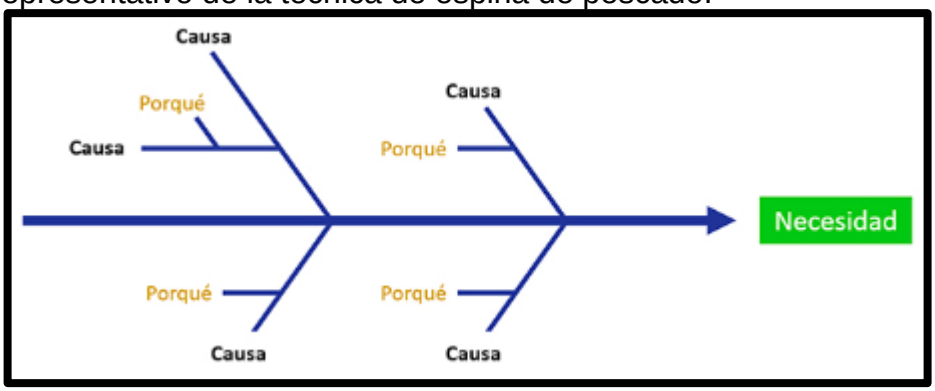
implementando los de chasís S4 en muchas nuevas universidades donde se están empezando operaciones. Además, es importante aclarar que se destinaron dos tipos de mantenimientos, es decir unos robots hacían parte del preventivo y otros del correctivo, esto con el fin de tener un punto de comparación en cuanto a las frecuencias de las fallas, esto fue establecido en conjunto por el líder del departamento de manufactura y la líder del departamento de mantenimiento.

12. Desarrollo De La Matriz AMEF

Se va a desarrollar esta matriz ya que esta herramienta ayudará a caracterizar las fallas, de tal manera que se van a poder priorizar y evaluar cada uno de los problemas que se tienen en el día a día de operaciones, además se podrá establecer una criticidad para analizar qué procedimientos se deben realizar de manera prioritaria para no presentar fallas en distintos periodos de tiempo.

Debido a que se tienen que caracterizar las fallas, se va a utilizar la herramienta del análisis por medio del diagrama de espina de pescado que nos va a ayudar a determinar la causa y el efecto para cada uno de los problemas que se tienen en operaciones, esta herramienta luce de la siguiente manera:

Figura 6.
Gráfico representativo de la técnica de espina de pescado.

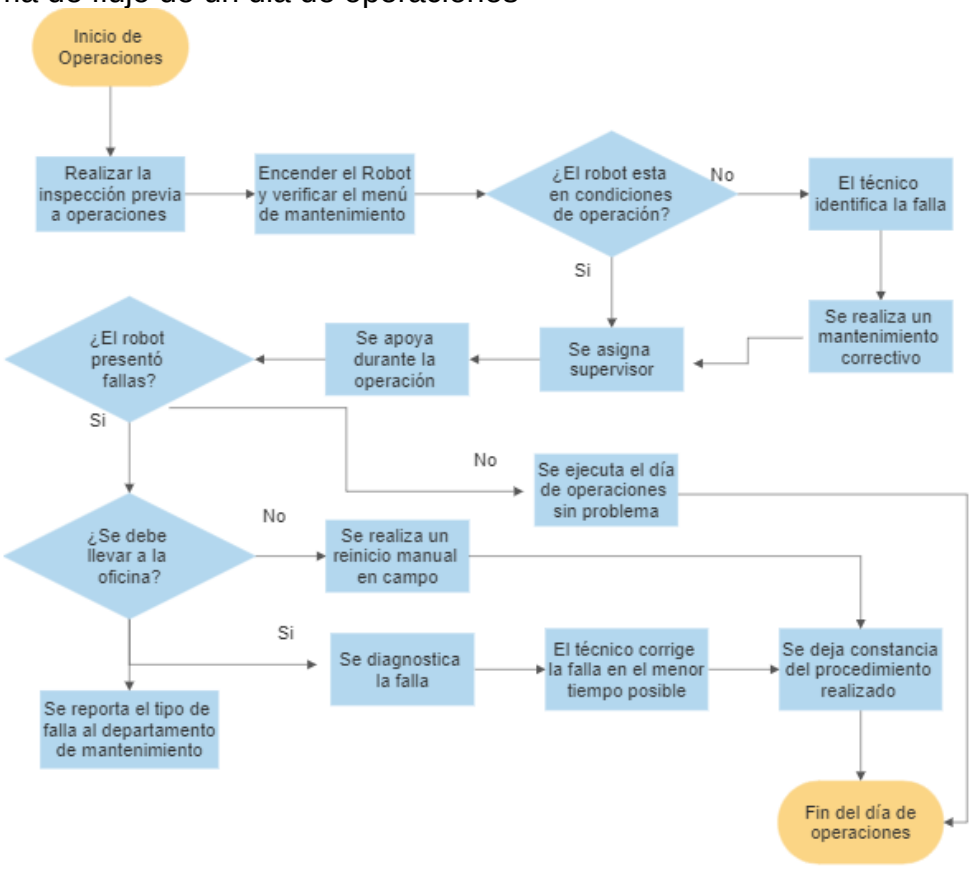


Nota. La fuente de la imagen es. Componentehumano.cl/técnica-espina-de-pescado/

Esto fue utilizado para pensar y redactar cada una de las fallas que se encuentran descritas en la matriz de mantenimiento, la ventaja de haber utilizado esta técnica fue que ayuda a tener un mejor entendimiento de los problemas, fue fácil de aplicar y previene conflictos futuros.

Para poder entender un poco mejor la manera en la que un día de operaciones es ejecutado por parte de todo el equipo de la empresa, donde se tienen distintos dilemas durante las operaciones, a continuación, se presentará un diagrama de flujo de un día de operaciones:

Figura 7.
Diagrama de flujo de un dia de operaciones



Nota. El gráfico representa la metodología utilizada en caso de que se presenten fallas durante la jornada de operaciones de los robots. Fuente: Autor

En el anterior diagrama de flujo se puede ver de manera detallada todos los procedimientos que debe llevar a cabo el técnico de mantenimiento desde el momento en que el robot empieza el día, hasta que presenta una falla o algún inconveniente, es importante aclarar que la comunicación del técnico en campo es directa con los supervisores de los robots por medio de canales en línea, en caso tal de solicitar una ayuda más especializada, el técnico debe comunicarse por medio de otro canal con el departamento de mantenimiento para solicitar apoyo de diagnóstico o para solucionar el problema que se haya presentado durante las operaciones.

Una vez se analizaron todos los datos obtenidos durante 3 meses de operación y basado en la experiencia adquirida con los robots durante el periodo de tiempo en

campo, esta matriz ayudará a detectar distintos factores muy importantes de las fallas y además nos brindará información acerca de que fallas abarcar de manera inmediata, para esto se planteó la siguiente matriz AMEF donde para empezar se buscó dividir por secciones las fallas que se presentaron dando paso a las siguientes categorías.

Teniendo en cuanta su función en operación, primero se llevó a cabo un análisis a fondo de las fallas provocadas en los robots de chasís S3, los cuales como se ha mencionado anteriormente cuentan con los motores BOB en cada una de sus ruedas, estos son los principales causantes de los constantes reportes de fallas que se generan en el día a día de las operaciones; también se establecieron fallas en el manejo del robot, estado y puesta a punto del chasis y problemas relacionados con el funcionamiento de las tarjetas electrónicas.

Para el chasis S4 de la flota de robots que están implementando dentro de la empresa se detectaron problemas tales como: desgaste irregular del neumático, fallas en la tarjeta que controla el funcionamiento de los motores eléctricos y por último la falta de calibración de los motores, ya que se detectó que luego de un tiempo los motores no giran a la misma velocidad y esto puede generar dificultad en el manejo para los supervisores.

En cuanto a todos los componentes que se encuentran en la cabina se analizaron distintos fallos como, por ejemplo, lo que está relacionado a la puerta de apertura, el sistema de bloqueo de la cabina, la configuración y estado de las tarjetas electrónicas que se encuentran al interior de la misma; así mismo se evaluaron todos los fallos en cuanto a sensores, cámaras y antenas. También lo más importante que es el computador (Nvidia Xavier) y el router que son componentes fundamentales para el funcionamiento del robot.

Por último se analizaron y se encontraron distintas fallas en cuanto a la conectividad del robot, lo cual es muy importante ya que al ser robots semi autónomos requieren de muy buena señal para garantizar su conectividad, para esto se evaluaron temas como la configuración del router, ya que estos ocasionan problemas de latencia, lo que conlleva a muchos problemas de operación de los robots, también se encontraron inconvenientes con las cámaras de los robots, adicionalmente, debido a las altas temperaturas se presentaron apagones inoportunos durante operaciones donde se tuvo que analizar más a fondo como poder controlar este fallo, por último se presentaron problemas relacionados con el estado de las baterías, esto debido a que en la consola del robot da un error de comunicación y no permite al supervisor ver el porcentaje de la batería.

Una vez caracterizado por grupos los problemas encontrados, se empiezan a evaluar el modo de fallo que básicamente es, cómo debido a la acción que sucede en la operación, el elemento que en este caso es el robot deja de funcionar de manera adecuada, para luego describir lo que sería el efecto de esta falla en el robot, basado en esta última se empieza a evaluar la severidad de esta falla en el equipo, lo que se hace es que se clasifica del 1 al 10 en una escala donde el menor número representa una gravedad muy baja que de cierta manera representaría una falla nada relevante, así iría subiendo en gravedad de la falla hasta el numero 10 donde la falla representaría una interrupción total del robot en las operaciones, esto está basado en las ocurrencias presentadas durante el periodo de pruebas y toma de datos en campo específicamente para el desarrollo de este plan de mantenimiento, esta clasificación se realizó con base a la siguiente tabla:

Figura 8.
Tabla de clasificación de la gravedad de las fallas

GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR
Muy Baja Repercusiones imperceptibles	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema. Probablemente, el cliente ni se daría cuenta del fallo.	1
Baja Repercusiones irrelevantes apenas perceptibles	El tipo de fallo originaria un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, éste observara un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable	2-3
Moderada Defectos de relativa importancia	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el cliente. El cliente observará deterioro en el rendimiento del sistema	4-6
Alta	El fallo puede ser critico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado.	7-8
Muy Alta	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento de seguridad del producto o proceso y/o in volucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10	9-10

Nota. Esta tabla es tomada de la referencia bibliográfica [22].

Posteriormente se analizan las causas para todas y cada una de los modos de fallo, esto se llevó a cabo teniendo en cuanta el conocimiento de los robots, además este paso es muy importante ya que al encontrar la causa se pueden identificar los riesgos potenciales y ayudará a guiar el proceso para encontrar la raíz de las fallas y así evaluar una acción que de cierta manera solucione efectivamente el modo de fallo.

Ahora, se evalúa la ocurrencia para cada una de las fallas la cual es básicamente la probabilidad de que ocurra esta falla en el periodo de operaciones del robot, para

esto del mismo modo que se evaluó la severidad, se puede evaluar este de 1 a 10, teniendo en cuanta que 1 es una probabilidad nula o muy baja y 10 sería que es casi inevitable que esto suceda. A continuación, se presenta una tabla guía para analizar el grado de ocurrencia:

Figura 9.
Tabla de la clasificación de la frecuencia de las fallas.

FRECUENCIA	CRITERIO	VALOR
Muy Baja Improbable	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos , ni se ha dado n unca en el pasado, pero es concebible.	1
Baja	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos . Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.	2-3
Moderada	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o pre vios al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema.	4-5
Alta	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos simi-lares o previos procesos que han fallado.	6-8
Muy Alta	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente.	9-10

Nota. Esta tabla es tomada de la referencia bibliográfica [22].

Ahora luego de analizar la ocurrencia de las fallas, teniendo en cuanta las causas identificadas para cada una de las fallas, se realiza el establecimiento de los controles según el criterio propio y teniendo en cuanta el conocimiento sobre los robots y cada una de las fallas, dando así paso a acciones o mecanismos que de una u otra manera busquen evitar que sucedan las fallas anteriormente descritas.

Posteriormente para la matriz se analizó la detección de cada una de las fallas, para esto se tomaron en cuenta la toma de los datos durante el periodo de prueba del proyecto, dando como resultado un número en la escala de 1 a 10, siendo 1 una detectabilidad muy alta, en la que es demasiado fácil identificar la falla para cualquier persona y por otro lado el 10 que es cuando es bastante complejo identificar la falla y se requiere de un personal especializado para poder llegar a la raíz de la falla. Para esta escala se tomó en cuenta la siguiente tabla del análisis de detección:

Figura 10.
Tabla de la clasificación de la detectabilidad de las fallas.

DETECTABILIDAD	CRITERIO	VALOR
Muy Alta	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes	1
Alta	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori.	2-3
Mediana	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente. Posiblemente se detecte en los últimos estadios de producción	4-6
Pequeña	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.	7-8
Improbable	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final	9-10

Nota. Esta tabla es tomada de la referencia bibliográfica [22].

Una vez se tienen establecidos estos tres valores haciendo uso de cada una de las tablas para encontrar el número ideal que representará las fallas, se procede a calcular lo que se conoce como NPR que significa Numero Prioritario de Riesgo, el cual se obtiene multiplicando cada uno de estos tres valores entre sí, es decir:

NPR= Severidad * Ocurrencia * Detección

Esto da como resultado un número que claramente entre mayor sea, más repercusiones negativas tendrá en este caso para el adecuado funcionamiento de los robots durante las operaciones diarias en campo. Este número nos va brindar información veraz acerca de qué fallas debemos priorizar de manera casi inmediata en nuestro plan de mantenimiento, ya que al evaluar específicamente cada una de las mismas nos brinda información valiosa y además nos apoyará en el establecimiento de las frecuencias en las cuales debe ser intervenido el robot.

Luego de que tenemos el NPR inicial el paso a seguir es establecer una acción por cada una de las fallas descritas en las columnas anteriores, esta acción debe ser un proceso o diseño de un plan, el cual lo que va a hacer es reducir de manera sustancial el valor de la ocurrencia o la severidad, si se atacan estos dos factores el grado de detección se verá también disminuido y lo más importante es que se va a garantizar la reducción de fallas para los robots luego de que sea implementado este manual de mantenimiento [22].

Como último paso se van a reevaluar todas y cada una de las escalas previamente establecidas que son la severidad, ocurrencia y detección. Pero esta vez teniendo en cuenta las acciones que se van a tener para cada uno de los modos de fallo, ya

que de esta manera se va a garantizar que las acciones funcionan de manera eficaz y de una u otra manera resuelven o minimizan las fallas. Una vez re evaluadas estas tres columnas se deben volver a calcular el NPR, en este caso es muy importante que este nuevo NPR se vea sustancialmente reducido, ya que así es como se identifica si la acción es la adecuada. De esta manera damos fin a la elaboración de la matriz AMEF, la cual es de suma importancia para el proyecto y da paso a la matriz de mantenimiento que se va a soportar en esta importante metodología para la elaboración de un plan de mantenimiento.

Para entender un poco mejor la estructura de la matriz, a continuación, se presenta un bosquejo guía de cómo es:

Tabla 2.
Bosquejo de la matriz AMEF.

Función	Actividad	Modos de Fallo	Efecto	S	Causa	O	Controles	D	NPR	Acciones	S	O	D	Nuevo NPR
…	…	…	…	.	…	.	…	.	…	…	.	.	.	…

Nota. Esta tabla se puede ver en el Anexo [1] de manera completa y con toda la información debidamente diligenciada. Fuente: Autor

Uno de los factores más llamativos al observar esta tabla es que en cada uno de los “NPR” se encuentra una escala de colores de tal manera que se puede interpretar de mejor manera donde el rojo es un número muy alto que representa gran riesgo y el verde de manera opuesta es un numero de riesgo mucho menor que no es tan grave en cuanto a su riesgo.

13. Tabla del plan De Mantenimiento

Una vez se realizó la matriz AMEF se pudo encontrar de manera efectiva y veraz las fallas que pueden llegar a representar un mayor inconveniente dado su grado de severidad durante las operaciones, es por esto que se planteó este nuevo plan de mantenimiento de tal manera que se tenga una seguridad de que las acciones realizadas de manera periódica reduzcan significativamente todas y cada una de las fallas más recurrentes en la flota de los robots de la empresa Kiwibot.

Para esto se desarrolló el siguiente gráfico:

Tabla 2.
Bosquejo de la tabla del plan de mantenimiento

Sub-ensamble	Código de la actividad	Actividad a realizar	Duración	Frecuencia de la actividad
…	…	…	…	…

Nota. Esta tabla se puede ver en el Anexo [2] de manera completa y con toda la información debidamente diligenciada. Fuente: Autor

En la tabla del plan de mantenimiento se puede ver primero que todo el sub-ensamble del robot, en la cual se debe desarrollar la actividad, luego viene el código de la actividad que se verá explicado más adelante, este código se estableció con el fin de identificar la actividad más rápido y poder agilizar al momento de evaluar un plan de mantenimiento. En la siguiente columna se encuentra la actividad a realizar, la cual va acompañada de una breve descripción, de todas maneras, en los anexos de la tabla de mantenimiento se va a encontrar un paso a paso de cada actividad, con los procedimientos, insumos y recomendaciones a seguir.

La siguiente columna es la duración estimada para llevar a cabo cada una de estas actividades, luego se encuentra especificado la frecuencia en la que se debe llevar a cabo cada actividad, la frecuencia fue establecida teniendo en cuenta el factor de ocurrencia y mi criterio como técnico en campo, para algunas actividades se estableció llevarlas a cabo dos veces al mes y otras únicamente una vez al mes. En la tabla se puede ver la planeación de manera anual, es decir de los doce meses del año con cada una de sus cuatro semanas en donde se estableció realizar la intervención con las actividades propuestas.

Adicionalmente, se recomienda de manera especial realizar las actividades el primer día de la semana, es decir el lunes, además lo ideal sería que el técnico lo que hace

es ejecutarlas fuera del horario de operaciones, teniendo en cuenta la duración aproximada, se recomienda llegar a la oficina más temprano para poder realizar el mantenimiento y así no interrumpir la jornada de operaciones normal de los robots.

Balance de cargas en las actividades de mantenimiento

Para la elaboración de esta matriz de mantenimiento se tuvo en cuenta las siguientes consideraciones de parte de operaciones, primero se tuvo presente una distancia promedio de recorrido de 15 kilómetros diarios para un turno de 8 horas del robot, también se organizó el cronograma de actividades semanal para que se tuviera una carga de horas de la manera más equitativa posible, esto con el fin de balancear las cargas de las intervenciones necesarias a los robots.

Una vez se establecieron las actividades con su duración estimada, se tuvo que realizar una planeación manual de prueba y error para equilibrar de manera equitativa cada uno de los tiempos para cada semana, es por esto que luego de un análisis de la duración de las actividades y los posibles inconvenientes que se pudieran presentar, se logró distribuir de manera unánime, como está descrito a continuación:

La idea principal es que se desarrolle la actividad en la primera semana del mes, en el caso de la primera semana se tienen planteadas 5 actividades que para ser completadas por el técnico le va a tomar aproximadamente unos 140 minutos, para la segunda semana se tienen planteadas 10 actividades que para ser ejecutadas le tomará al técnico 135 minutos, para la tercera semana hay 5 actividades que le tomará 150 minutos y por último para la última semana de cada mes están planteadas 8 actividades que le tomarán 105 minutos aproximadamente.

Es importante aclarar que estos tiempos están establecidos por la duración promedio de llevar a cabo paso a paso los procedimientos para cada actividad, se tiene estimado un tiempo adicional dentro de esta duración en caso de ser requerido por el técnico debido a algún inconveniente que pueda presentarse o un imprevisto, además, es importante recordar que todo lo que no sea esperado se tiene que reportar al final de haber terminado el plan de mantenimiento de la semana indicada.

14. Anexos del Plan de Mantenimiento

A continuación, se van a presentar de manera detallada cada uno de los procedimientos para llevar a cabo las actividades del plan de mantenimiento del anexo 2, esto se elaboró con la información técnica que brindó el departamento de manufactura y el criterio del técnico, de manera adicional se van a describir los recursos y comentarios acordes a la actividad. Se espera que estos procedimientos garanticen de alguna manera la estandarización de todas las actividades para que siempre se intervenga el robot de la misma manera y así poder crear una rutina de igual en cada uno de los campus donde se lleve a cabo este plan de mantenimiento.

15. Procedimientos Para El Chasís S3

CS3-1
Para llevar a cabo esta actividad se debe tener el robot completamente apagado sin la batería conectada, se deben alistar las herramientas e insumos adecuados para la actividad y luego:

1. Se debe soltar la cabina del chasís del robot, para esto con ayuda del destornillador eléctrico que se encuentra en la oficina se retiran los dos tornillos que se encuentran en la parte delantera y los otros dos tornillos que se encuentran en la parte trasera del robot.
2. Es importante desconectar el cable principal que lleva la energía de la batería al interior de la cabina, una vez verificado esto se puede separar el chasís de la cabina.
3. Se va a encontrar una caja de plástico que es el protector de la CMC con ayuda de un destornillador de estrella se retiran los 4 tornillos.
4. Se retiran cada uno de los conectores de los motores con mucha precaución, para así poder liberar la tarjeta electrónica.
5. Una vez se tiene la tarjeta libre se lleva a la mesa de trabajo de la oficina y con mucho cuidado se pasa un cepillo para retirar el polvo acumulado.
6. Con ayuda de un atomizador en el cual va a estar almacenado alcohol isopropílico se aplica a una distancia considerada y nuevamente se pasa el cepillo.
7. Se deja secar con el aire del ambiente la tarjeta electrónica.
8. Se vuelve a colocar la tarjeta en el compartimiento de manera adecuada y se conectan los 4 motores nuevamente.
9. Se asegura la caja de plástico protectora
10. Se vuelve a conectar el cable que lleva la energía de la batería a la cabina

11. Se ensambla la cabina con el chasís nuevamente.

Para la adecuada realización de esta actividad se deben tener recursos y herramientas como: Guantes de látex, alcohol isopropílico, un atomizador, cepillo, destornilladores de estrella.

Se recuerda de manera especial que estas tarjetas electrónicas son muy delicadas y requieren de un especial cuidado a la hora de retirarlas para que no sufran daños en sus componentes, además, se recuerda que si existe algún tipo de problema con este procedimiento es importante que se reporte de manera inmediata al departamento de mantenimiento para que se realice un seguimiento del caso.

CS3-2

Básicamente lo que se busca con esta revisión es evaluar y establecer el procedimiento de inspección previa al día a día de las operaciones de los robots, para esto se recomienda revisar los puntos de interés los cuales pueden brindar más información acerca del estado general del robot, ya sea revisión del menú de mantenimiento o un chequeo rápido del interior de la cabina para conocer el estado de las tarjetas, router, AGX y ventilador.

CS3-3

Esta actividad consiste en realizar un plan de mantenimiento para los motores, para este procedimiento se deben realizar los siguientes pasos:

1. Se debe soltar con ayuda del destornillador los tres tornillos de la llanta, teniendo en cuenta las tuercas que caen por la parte de atrás.
2. Luego se procede a retirar el adaptador del soporte de la llanta
3. Ahora se procede a soltar el soporte superior de la suspensión, el tornillo es largo y requiere de una llave hexagonal y un soporte para la tuerca.
4. Una vez se retira el soporte superior de la suspensión se procede a desconectar el motor de la tarjeta CMC
5. Cuando ya se desconecta el motor queda suelto y se puede llevar a la mesa de trabajo.
6. Para empezar con mucho cuidado se deben retirar los 4 tornillos que tiene el motor en la parte superior, por donde se encuentra el eje de transmisión de potencia.
7. Con precaución abrir el motor y desensamblar la caja de ejes planetarios.
8. Para este paso es importante evaluar el estado de cada uno de los engranajes y sobre todo de la caja, para esto se debe tener en cuenta el estado de cada uno de los dientes y para evaluar la caja se mete el dedo y se siguen las ranuras para detectar por medio del tacto alguna irregularidad.

Esto debido a que si hay alguna inconsistencia con las ranuras podría ocasionar que los engranajes se atasquen y así forzar la caja y luego atascar el motor completamente.

9. Una vez revisado todos los componentes, se procede a limpiar y dejar en el mejor estado posible cada uno de los engranajes, para esto se puede hacer uso de elementos de limpieza, tales como WD-40 que además ayuda a los componentes del motor a lubricar efectivamente el interior del mismo.
10. De manera cuidadosa y con mucha paciencia se vuelve a ensamblar todos los engranajes en el orden adecuado.
11. Se procede a realizar el cierre del motor volviendo a colocar los 4 tornillos en el sitio adecuado. Recuerda tener un especial cuidado ya que estos tornillos son delicados y si se ruedan es muy difícil de hacer el desensamble del motor.
12. De manera cuidadosa llevar el motor nuevamente a donde se encuentra el chasís e insertar el eje en el soporte.
13. Conectar el cable de energía y control del motor a la CMC del robot.
14. Ensamblar nuevamente el soporte superior de la suspensión
15. Ajustar de manera adecuada el adaptador del soporte de la llanta, teniendo en cuenta que debe quedar lo mejor aferrado posible al eje del motor.
16. Colocar la llanta en su sitio asegurándose de que los tres tornillos cuenten con su respectiva tuerca en la parte posterior. Corroborar moviendo levemente la llanta para verificar que no tenga ningún movimiento extraño.

Este procedimiento debe ser realizado para cada uno de los motores de los robots de chasís S3, el tiempo aproximado para realizar el mantenimiento en todo un robot es decir para los 4 motores es de 60 minutos, esto teniendo en cuenta que no se presente ningún problema con el desensamble del motor y que el componente se encuentre en buenas condiciones en su interior.

Además, se debe tener en cuenta que para llevar a cabo este mantenimiento se van a necesitar las siguientes herramientas y recursos:

- Juego de llaves hexagonales milimétricas de 4mm, 5mm y 6mm
- Destornillador eléctrico
- Destornillador de estrella
- Grasa dieléctrica
- Lubricante WD-40
- Guantes de látex
- Cepillo
- Paños de microfibra

Una vez se haya finalizado el procedimiento previamente descrito es necesario que se pruebe con ayuda de un supervisor que el robot se encuentre funcionando en óptimas condiciones de operación y que no esté presentando ningún error en consola. En dado caso, reportar si alguno de los motores está mostrando algún error para escalar el problema y solicitar el cambio de motor por uno nuevo que se encuentre en el stock de la oficina. Además, se debe realizar un reporte de las acciones realizadas y dejar en comentarios cualquier tipo de inconveniente que se tuvo durante el desarrollo de la actividad.

CS3-4

Para garantizar el buen estado de las ruedas se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. Evaluar el estado de los tornillos de sujeción de la rueda al soporte del chasis: La rueda tiene tres tornillos que hacen que ésta se acople de manera adecuada al chasís, se debe evaluar el estado del tornillo, es decir, revisar el estado de la cabeza del tornillo, de la rosca y que cuente con los elementos de sujeción adecuados, es decir, las dos arandelas y la tuerca en buen estado. Normalmente se encuentra que el tornillo no tiene la tuerca que va hacia la parte interna o que esta tuerca ya tiene la rosca dañada o en muy mal estado, es por esto que si es así se recomienda cambiarla.
2. La composición como tal de la llanta en este chasis es básicamente la siguiente: El neumático, la manguera y los dos componentes de soporte o estructura (rin). En algunos casos el neumático ya se encuentra muy desgastando a tal punto que no cuenta con labrado en su superficie, para este caso es necesario reemplazar el neumático por uno nuevo que se encuentre en el stock de la oficina. Otro de los inconvenientes que se puede presentar es que la manguera que se encuentra en la parte interior tiene muy poco aire o que la válvula esta dañada, si es así reportar y reemplazar por una en mejor estado.

CS3-5

Esta actividad consiste en realizar una inspección periódica a los amortiguadores con la frecuencia establecida en la matriz de mantenimiento, para esto se debe tener en cuenta el siguiente protocolo:

1. Primero que todo se debe realizar una inspección visual del estado de cada uno de los amortiguadores desde la parte externa y sometiéndolos a una prueba de compresión, para esto se fuerza al robot a ir hacia abajo para ver si el amortiguador comprime de la manera adecuada y no presenta ninguna

fuga o algún sonido extraño. Si se realiza este procedimiento y los amortiguadores están en un estado óptimo de funcionamiento, se deja constancia de que se revisó y se continua con la siguiente actividad del plan de mantenimiento.

2. En caso de que se encuentre alguna irregularidad se deben seguir los pasos de la actividad CS3-3 para desensamblar las piezas necesarias para acceder al amortiguador.
3. Luego se procede a terminar de desarmar el soporte inferior de la suspensión el cual también tiene un tornillo prisionero de cabeza de estrella.
4. Se suelta el amortiguador de los dos soportes que tiene en cada uno de los extremos.
5. Se realiza el cambio por un amortiguador nuevo que se encuentre en el stock de la oficina.
6. Se vuelve a ensamblar de manera cuidadosa y con cada una de las partes anteriormente retiradas.
7. Una vez se termine el ensamble con la nueva pieza se vuelve a realizar el paso 1 de esta actividad para garantizar el buen estado del amortiguador.

Se debe tener en cuenta que los amortiguadores que tienen estos robots no se pueden abrir para realizarles un mantenimiento, esto dado que las condiciones impuestas por el fabricante (que es de procedencia china) es reemplazar el componente por uno nuevo.

En caso de que haya tocado realizar el reemplazo de este componente se debe dejar constancia del procedimiento realizado y todos los datos del día y kilometraje del robot para poder realizar un seguimiento.

16. Procedimientos Para El Chasís S4

CS4-1
Para garantizar que el robot se encuentre en la última actualización que ha lanzado el departamento de inteligencia artificial (IA) simplemente se debe conectar a la consola del robot por medio de la plataforma de la empresa que brinda información relacionada con el estado de cada uno de los robots, cuáles se encuentran en línea, qué versión de robots son, lo más importante es fijarnos en la actualización de IA y corroborar que esa sea la última versión, para esto se le puede preguntar al jefe de mantenimiento de la zona para que así se tenga total certeza de que si esta actualizado.

CS4-2
Para calibrar los motores del robot de chasis S4 según lo establecido en la matriz de mantenimiento que será una vez al mes durante la segunda semana, es necesario tener en cuenta la siguiente guía paso a paso:

1. Se debe tener el robot encendido, pero no en modo robot, se debe tener en el menú de mantenimiento.
2. Posteriormente se debe conectar por medio de los cables del dispositivo de programación “Atmel” la CMC del robot al programador y de este al computador.
3. En el computador se debe tener el programa llamado “Teraterm” que básicamente es un programa que permite recibir datos y codificarlos para que sean más entendibles.
4. Una vez esté debidamente conectado el robot al computador, se debe poner en un banco de pruebas ya que las ruedas de este van a empezar a girar para realizar el testeo. Para dar inicio al test se debe introducir el comando de “Run” en el programa, así se dará la orden y se moverán las llantas en sentido horario y anti horario.
5. El programa presentará una ventana de resultados que básicamente es un análisis de datos por cada motor donde mostrará datos de rpm mínimas y máximas de cada uno de los 4 motores.
6. Los valores deben estar por alrededor de 80 rpm con una variación máxima de más o menos 10 rpm, para que funcionen en el estado óptimo, en caso tal de que los valores no oscilen entre este número se debe reportar de manera inmediata para solucionar.
7. Hacer un reporte en el cual se deje en evidencia que se realizó el test y se anexen los valores obtenidos.

Para llevar a cabo esta actividad se requiere del programador Atmel que se encuentra en las oficinas de cada campus y además es un requisito tener instalado el programa que nos permite realizar las pruebas el cual es proporcionado por la empresa.

CS4-3

Desde hace un tiempo se ha venido detectando un desgaste irregular en los robots de chasís S4, es por esto que se plantea esta actividad para realizar una vez al mes durante la segunda semana, para obtener un seguimiento del desgaste del neumático, el procedimiento será el siguiente:

1. Con ayuda de un flexómetro se va a tomar la medida del ancho total de la llanta en estado de reposo. (Se debería realizar la toma de datos con un calibrador pie de rey, pero no se cuenta con esta herramienta en los campus).
2. Tomar foto para cada una de los neumáticos donde se pueda ver claramente si el labrado está desgastado.
3. Toda esta información y toma de datos será debidamente diligenciada en una hoja de cálculo que es compartida por el departamento de mantenimiento, donde se clasifican por campus y se divide por el ID del robot.
4. Se debe realizar el seguimiento y además asegurarse de que el formato del departamento de mantenimiento esta diligenciado.

17. Procedimientos Para La Cabina

CB-1
El test de apertura y cierre de las puertas básicamente consiste en encender el robot, dejarlo en el menú de mantenimiento y empezar a darle la orden de apertura y cierre de manera repetitiva, contando cada una de las aperturas y cierres hasta llegar a los 10 movimientos del OSYS que es el encargado de realizar esta importante función del robot.

Básicamente, lo que se debe tener en cuenta es que la compuerta cierre de manera adecuada y que no se esté trabando o que no tenga inconsistencias en el movimiento, además de corroborar que el eje esté en buen estado y que el émbolo se desplace de la manera adecuada.

En caso tal de que el sistema esté presentando fallas, se recomienda contactar y reportar de manera inmediata al departamento de mantenimiento, ya que para la solución de este problema es necesario el envío de varias piezas que hay que reemplazar, en caso tal de que el robot se necesite usar para las operaciones, lo mejor es intervenir el sistema de apertura de la puerta de otro robot y reemplazar las piezas afectadas de manera temporal hasta que lleguen las piezas al campus.

CB-2
Dentro de la cabina normalmente se acumula demasiado polvo, es por esto que esta tarea esta especialmente para el mantenimiento e inspección del ventilador del interior del robot el cual está instalado en la parte trasera derecha del robot muy cerca al computador principal, esto sucede debido a que a medida que pasa el tiempo el robot va acumulando suciedad que se mete por la parte de la cabina.

El mantenimiento consiste en retirar el compartimiento en donde se lleva la comida, para de esta manera acceder a los componentes del interior y con ayuda de un destornillador de estrella desarmar el protector del ventilador y con un paño de micro fibra limpiar cuidadosamente cada una de las aspas y sobre todo la malla protectora, para así garantizar el buen fluido del aire a la hora de operación.

Se han visto casos en donde el ventilador está siendo obstruido por distintas partículas de polvo que pueden ser retiradas fácilmente si se dedica un tiempo en específico para esto en el día, es por esto que llevar a cabo esta corta actividad va

a garantizar el óptimo estado de la pieza fundamental de refrigeración del robot dentro de la cabina.

CB-3

Para llevar a cabo esta actividad es necesario primero que todo corroborar en el menú de mantenimiento que todas las tarjetas se encuentren mostrando la señal de que el robot las está leyendo adecuadamente, es decir en la pantalla led frontal van a aparecer cuatro luces con las letras de cada una de las tarjetas, estas deben aparecer en verde si están conectadas adecuadamente y en rojo si la tarjeta está presentando alguna falla de conexión o en dado caso algún componente de la misma no está en buen estado.

Una vez se realizó la revisión previa en el menú de mantenimiento, independientemente del caso si está en rojo, verde o amarillo, se procede a inspeccionar el interior del robot, para esto se abre la puerta y se retira el compartimiento y se empieza a revisar de adelante para atrás cada una de las boards:

La primera que se revisa es la LED board la cual es la encargada de brindar la información y la animación en la pantalla frontal del robot, se debe verificar que la board esté bien conectada, que estén bien ruteados los cables y que funcione correctamente.

La segunda Board que se va revisar es la Main board o tarjeta electrónica principal, esta es una de las más importantes ya que recibe toda la energía proporcionada por la batería y la distribuye principalmente a la computadora y a las demás boards, se debe revisar que se encuentre bien sujeta en sus cuatro tornillos en las esquinas y que las conexiones de los demás componentes estén correctamente ajustados, además, es de vital importancia realizar una breve inspección de que sus componentes electrónicos estén en el sitio adecuado y sin signos de quemaduras en la tarjeta.

Por último, se va a revisar la Rear board o la tarjeta electrónica trasera que es la encargada del funcionamiento de la luz de la bandera, las luces traseras y el funcionamiento de la señal para realizar la apertura y cierre de la puerta.

Para concluir esta actividad, se debe tener en cuenta que todas estas boards deben estar debidamente actualizadas con la última versión que tenga activa el

departamento de IA (Inteligencia Artificial) para esto se verifica con este departamento o se puede preguntar directamente por service desk (mesa de ayuda) en el canal de soporte técnico. En caso tal de tener que realizar el mantenimiento de una de las tarjetas, simplemente por medio del programador Atmel se conectan cada una de las boards con ayuda de los adaptadores, se establece la conexión con el computador, se abren los programas requeridos que en este caso son proporcionados por la empresa, luego se selecciona en que tarjeta se está realizando la actualización, se verifica que el programador Atmel esté alumbrando sus luces de estado en verde y se procede a ejecutar la actualización de la tarjeta en cuestión.

CB-4

Uno de los componentes esenciales para la adecuada operación de los robots en los horarios nocturnos es que tengan muy buena iluminación, para esto se debe garantizar que las dos luces frontales que tiene el robot estén funcionando adecuadamente, esto es muy sencillo de corroborar, simplemente por medio de la consola local del robot se les da el comando de encendido y se verifica si funcionan y sobre todo si están alumbrando con la consistencia adecuada, ya que se han visto casos donde una de las luces está alumbrando mucho menos que la otra o con menor intensidad.

En caso tal de requerir cambiar una de las luces se debe dejar constancia del motivo y el día en el que se realizó el cambio del componente para así tener un seguimiento de la pieza e intentar buscar una recurrencia en este tipo de fallas, por otro lado, si es necesario realizar un cambio rápido de esta pieza el procedimiento es bastante sencillo:

1. Se debe apagar el robot en su totalidad.
2. Se retira el compartimiento de la cabina
3. Se identifican los cables que vienen de las luces, estos están conectados a la Main board (tarjeta principal).
4. Con mucha precaución se desconectan.
5. Se procede a soltar la tuerca de soporte de la luz.
6. Se retira la luz por la parte frontal del robot.
7. Se reemplaza por la nueva luz, realizando nuevamente estos pasos de manera contraria.

Para llevar a cabo esta actividad no se requieren de muchos insumos ni herramientas, realmente solo se necesitan guantes de látex para el técnico y un especial cuidado a la hora de manipular los cables ya que son de muy bajo calibre

y además se recomienda ser muy cuidadoso cuando se manipula la tarjeta electrónica para no dañar ninguna de las conexiones de plástico.

CB-5

El soporte de la bandera está expuesto a momentos, es decir a una fuerza que se ejerce en la punta de la bandera y que debido a la distancia de esta se multiplica, es por esto que se debe verificar el estado de sujeción de la bandera a la cabina del robot, el cual es una pieza plástica que se encuentra en la parte externa, tiene tres tornillos que deben ser ajustados desde la parte interna para garantizar una buena sujeción, esta pieza comúnmente se puede encontrar rota o con fisuras, si es el caso debe ser reemplazado por una nueva o en mejor estado (si no hay en el stock), además se debe realizar una inspección del estado de apriete de las tuercas que se encuentran al interior de la cabina, una vez se haya reemplazado o inspeccionado, por último se debe verificar que la luz que se encuentra en la punta de la bandera esté funcionando adecuadamente ya que estos robots al ser semi autónomos y transitar por vías públicas deben tener este tipo de iluminación que garantice que son vistos durante sus movimientos en los campus de las universidades y sobre todo a la hora de cruzar calles donde transitan vehículos.

CB-6

Dado que los robots están programados para detenerse o reportar que se están acercando demasiado a un objeto, es necesario garantizar que los sensores estén en buen estado y que estén dando las señales adecuadas, es por esto que se debe solicitar ayuda a la hora de querer verificar el estado de los sensores del robot al supervisor de turno ya que ellos tienen el acceso a la consola del robot para corroborar el funcionamiento de los sensores de proximidad.

CB-7

El sistema de apertura y cierre del robot está ubicado en la parte frontal de la cabina y es una caja muy pequeña negra que lo que hace es recibir el gancho de la puerta y realizar el sistema de cierre hasta que se le dé la orden de abrir, se debe realizar un seguimiento de su funcionamiento de manera periódica ya que tiene un papel esencial a la hora de la entrega remota para el cliente. Este componente se debe tener calibrado y testeado, lo que se hace es que al realizar la actividad CB-1 se verifica que el sistema este recibiendo el gancho de manera adecuada y que este bloqueando la compuerta para no permitir una apertura manual de esta.

CB-8

Esta actividad consiste en verificar el estado general de todos los componentes de la cabina, para esto se retira el compartimiento de la cabina y al tener acceso al

interior se empieza realizando una inspección visual de las tarjetas, el estado de los cables, que se encuentren bien ruteados, que los amarres plásticos estén bien ubicados, que por ejemplo el botón principal, esté debidamente ajustado ya que ese puede ser un punto de ingreso de agua a la cabina y eso puede ser catastrófico, que todas las tarjetas se encuentren bien sujetadas, que todos los componentes se encuentren conectados en los lugares adecuados y por último que al encender el robot las tarjetas estén mostrando el testigo verde de adecuado funcionamiento.

18. Procedimientos Para Conectividad

CV-1
Uno de los factores más importantes para que el robot tenga buena conectividad para los supervisores es que este tenga una buena cobertura de su red de internet, para esto se debe garantizar que el router está configurado adecuadamente, es por esto que con ayuda del departamento de service desk se realiza un ajuste para garantizar el mejor desempeño de la red, para empezar, se debe conectar el técnico en campo a la red local del robot, ingresar a las credenciales del router por medio de la red local, seguir las instrucciones de la persona de service desk y guardar los cambios.

Este procedimiento lo que va a garantizar es una mejor velocidad del internet y que cuando este tenga problemas de latencia se recupere más rápido.
Además, dependiendo del campus se deberían empezar a identificar las distintas zonas donde la señal es más mala o donde es más débil, esto con el fin de recomendarle a los supervisores que no tomen estos caminos y que creen rutas alternas para poder tener una conexión estable con el robot siempre y de esta manera poder garantizar un servicio confiable y sin contratiempos.

CV-2
Esta actividad es similar a la actividad CB-8 pero en este caso se va corroborar de manera más especifica el estado de las conexiones del router, en especial la conexión de las antenas, ya que estas de vez en cuando debido al movimiento tienden a soltarse levemente, esta actividad no toma mucho tiempo, pero es esencial para poder tener una buena conexión de internet para los robots.

CV-3
Para esta actividad se debe tener en cuenta la actividad CB-2 que fue limpiar el ventilador, lo que se busca en esta actividad es corroborar el estado de los cables y de la conexión de la fuente de poder del ventilador, es de suma importancia que se garantice que el ventilador está encendido desde el comienzo de operaciones en los días más calurosos, es decir en los meses de verano o los días en los que se tenga pronosticado un clima soleado y por encima de los 25° grados Celsius de temperatura.

De esta manera se busca reducir de manera sustancial el problema de calentamiento interno del robot en días de temperatura extrema, además, de garantizar que no se van a apagar los robots de manera repentina debido a la sobre carga de temperatura en sus componentes.

CV-4

La batería es uno de los componentes más importantes del robot, ya que al ser un dispositivo que se encuentra funcionando por más de 8 horas de manera continua, se debe garantizar que está en buen estado y sobre todo que tenga la capacidad de almacenar la energía necesaria para el continuo funcionamiento en un dia de operaciones.

Para realizar el testeo de las baterías es necesario tener el programa llamado “BMS” en el computador del técnico, luego se procede a conectar una batería que se encuentre preferiblemente cargada por medio de un adaptador que se encuentra en cada una de las oficinas, el cual se conecta como si fuera el cargador pero tiene una salida USB, la cual nos va a permitir crear una conexión directa entre la batería y el computador, para esto el programa nos va a ayudar a realizar un testeo de cada una de las celdas de almacenamiento de energía, el test no dura mucho tiempo y nos brinda información muy importante ya que nos da datos como voltaje de la terminal, voltaje en la salida de esta, entre otros datos. Este procedimiento es necesario realizarlo de manera periódica para hacer un seguimiento de la vida útil de las baterías.

Además, se debe revisar el estado de la conexión donde se inserta el Main cable, ya que en muchos casos este soporte se encuentra deteriorado, de igual manera verificar el estado del case protector de las baterías, ya que esta es la única estructura (de plástico) que de una u otra manera protege la batería a lo largo de las jornadas de operaciones, adicionalmente, debido a que está ubicada en la parte central inferior del robot, es muy común que tenga rayones, golpes o algún tipo de daño físico visible a simple vista por fuera de la batería.

Se debe realizar un reporte en dado caso que la batería no esté cumpliendo con los requisitos mínimos de operación, o que por ejemplo a la batería toco intervenirla para corregir un daño físico o algo de ese estilo.

Conclusiones de los procedimientos del plan de mantenimiento

De esta forma se da fin a la sección de los anexos del plan de mantenimiento el cual tenía como objetivo explicar y garantizar un entendimiento adecuado para cada una de las actividades que se deben llevar a cabo. Luego de haber explicado todas las actividades a continuación se va a presentar una tabla mediante la cual se

encuentra especificado la semana, el número de actividades a realizar y la duración estimada para cada parada de mantenimiento.

Figura 11.
Tabla con la cantidad de actividades y el tiempo aproximado para ejecutarlas.

	Numero de Actividades	Tiempo total para el Mantenimiento
Semana 1	5	140 minutos
Semana 2	10	135 minutos
Semana 3	5	150 minutos
Semana 4	8	105 minutos

Nota. Esta tabla es tomada del Anexo [2] del documento. Fuente: Autor

Como se puede ver en la anterior tabla, es destacable que la cantidad de actividades no es proporcional al tiempo total de ejecución del mantenimiento, sobre todo en la segunda semana que se deben realizar diez actividades y esto llevará un tiempo de 135 minutos, al compararlo con la tercera semana que solo tiene cinco actividades pero es la intervención de mantenimiento que requiere de más tiempo para ser completada con 150 minutos, esto se debe a la complejidad de las actividades que se deben llevar a cabo.

19. Stock De Repuestos E Insumos En La Oficina

Una de las partes más importantes a la hora de llevar a cabo un plan de mantenimiento preventivo es contar con el stock de piezas y/o repuestos que se puedan llegar a requerir para garantizar el estado de la flota de robots, es por esto que en esta sección se van a evaluar cuales son aquellos repuestos e insumos que en la medida de lo posible es recomendable que se encuentren en existencia en cada una de las oficinas de los campus donde se tengan operaciones y se tenga el técnico de mantenimiento que pueda llevar a cabo las actividades propuestas.

Para empezar, se van a tener en cuenta las fallas más recurrentes según la matriz que se realizó, es por esto que uno de los componentes de los cuales se requiere un stock de repuestos e insumos muy necesarios es del motor Bob, en este es importante que se tenga la grasa de lubricación de la caja de ejes planetarios, la pieza interna del soporte de los ejes y engranajes de sus distintas medidas. Esto porque basado en la experiencia al destapar estos motores, la pieza que más falla o que más se encuentra propensa a sufrir daños con relación directa entre el tiempo de operación y el manejo que se le dé a los robots, éste soporte que en caso tal de que el motor se siga operando con el mismo roto es posible que los engranajes de transferencia de potencia hagan daños en la caja, lo que sucede exactamente es que raya la caja por dentro y luego hace que los engranajes bloqueen todo el funcionamiento del motor. Es por esto que al destapar uno de estos motores dañados hay que reemplazar varios componentes del funcionamiento mecánico, para ello es recomendable disponer de un stock de repuestos de todo lo que compete este sistema de transmisión de potencia.

Por otro lado, se tiene la necesidad de garantizar un stock adecuado de todo lo que son componentes de sujeción del robot, tales como tornillería, tuercas, arandelas. Es importante que se evalúen cuales tornillos son más propensos a perderse o a dañarse con el paso del tiempo, es por esto que desde el punto de vista de la elaboración de este trabajo se tenga en existencia una buena cantidad de tornillos de las ruedas, así como su tuerca de seguridad que comúnmente se rueda y toca reemplazarla lo antes posible para garantizar la sujeción de la rueda con el soporte del motor y el chasis.

También todo lo que consta de componentes eléctricos como resistencias, diodos, entre otros que en cierto momento serán requeridos por el personal de mantenimiento para la solución de problemas, en esta categoría también entraría lo que es todo el stock de cables y conectores que pueden llegar a fallar, así mismo se debe poner en disponibilidad el botón principal del robot, las luces frontales y la

conexión o la instalación de todo lo que lleva el banderín, ya que al dañarse, los cables pueden sufrir daños.

Piezas como el soporte de la bandera, el protector plástico de la batería, componentes que se rompen del compartimiento de la comida, la base del chasís que con el tiempo se daña o se ve muy rayada y deteriorada, el protector de la lluvia que va en la parte superior. Todas estas piezas deben tener un pequeño inventario limitado sujeto a la disponibilidad de parte del departamento de manufactura.

A continuación, se van a presentar una lista de repuestos detallados basado en la información previamente explicada:

- Porta engranajes interno de la caja del motor Bob
- Caja de transmisión del motor Bob
- Engranajes de la caja de transmisión del motor Bob
- Soporte de la suspensión
- Amortiguadores
- Soporte de la bandera
- Protector de la parte superior de la cabina
- Tornillería, arandelas y tuercas de las utilizadas en el robot
- Pieza de la base del robot
- Llantas para los robots de chasís S3
- Stickers de mercadeo de la universidad donde se encuentre

También es necesario tener disponibilidad de repuestos electrónicos tales como:

- Sensores
- Cables
- Cámaras
- Diodos
- Resistencias
- Conectores
- Botones

Por otro lado, es muy importante la disposición de todos los insumos y herramientas que se utilizan para realizar cualquier actividad ya sea propuesta por este plan de mantenimiento o en caso de que el robot presente alguna falla y sea necesario intervenir el robot, para esto se debe contar con los siguientes insumos:

- Lubricante WD-40

- Grasa dieléctrica para los motores
- Guantes de Látex
- Paños de microfibra
- Pañitos húmedos
- Cepillos
- Atomizador
- Gafas de protección
- Flux para soldar
- Alcohol isopropílico
- Copitos de algodón
- Cinta aislante
- Cinta de enmascarar
- Multímetro

El hecho de tener estos insumos en la oficina va a garantizar el cuidado recomendado de todos los componentes del robot y de la misma manera va a garantizar la integridad de la persona que interviene los robots, protegiendo sus manos, cara y demás partes que se pueden ver afectadas a la hora de manipularlos. Todo equipo de mantenimiento debe tener muy buenas herramientas, ya que por medio de estas se va a lograr ejecutar de manera adecuada y en un menor tiempo de ejecución la reparación del robot, dichas herramientas son:

- Destornillador eléctrico con varias puntas hexagonales es decir puntas de 4mm, 5mm y 6mm como mínimo.
- Kit de herramientas para dispositivos electrónicos, este es aquel que tiene un destornillador con puntas intercambiables, con puntas como en estrella, planos, hexagonales, torx, triangulares, de punta, entre otros. También, debe contar con herramientas plásticas de desmonte de dispositivos electrónicos, brocha, cepillo, entre otras.
- Tijeras
- Bisturí
- Alicates
- Pinza pelacables
- Juego de llaves hexagonales en “L” o juego de llaves Bristol que vaya desde los 1.5mm hasta los 10 mm
- Estación de soldadura con todos sus componentes los cuales son: Cautín graduable, pistola de aire caliente, pinzas térmicas, bomba manual para desoldar, Flux, Esponja para limpiar cautín, alambre de soldadura, pasta de soldadura.
- Moto tool con discos abrasivos de corte, cepillo de cerdas, fresa para grabar, banda de lija, Mandril y llave para remover los accesorios o puntas.
- Pistola de silicona, con varias barras de repuesto.
-

20. Conclusiones

Durante el desarrollo de este proyecto se utilizó una herramienta muy buena la cual fue AMEF que es un procedimiento para la realización del análisis de las fallas, efectos y criticidad de lo que se tenga en cuestión. Al aplicar esto se pudo identificar de manera clara y oportuna cada una de las fallas, analizando a cabalidad sus causas, modos de falla, efectos, qué severidad pueden llegar a ocasionar, qué tan frecuente pueden ocurrir, cómo se pueden controlar estas fallas y lo más importante es que al aplicar la fórmula de esta herramienta se puede ejecutar un plan de acciones para lograr reducir de una manera sustancial todo lo que incurre a cada una de las fallas y así se calcula un nuevo NPR el cual es el número que arroja la matriz que nos ayuda a priorizar las fallas con respecto a las demás para así poder actuar de manera oportuna. Como se puede analizar esta matriz es muy completa ya que nos da bastante información para la elaboración del plan de mantenimiento, para el caso específico de este trabajo se decidió utilizar esta herramienta debido a que nunca antes se había implementado un plan de mantenimiento en la empresa enfocado a sus equipos de operaciones y por ello es vital conocer a fondo cada una de las fallas y todo lo que esto conlleva.

En el momento que se decida implementar este plan de mantenimiento se van a reducir muchos costos en cuanto a las piezas como por ejemplo de los motores, dado que al inicio que se tomaba la decisión de reemplazar, esto le costaba a la empresa alrededor de $20 dólares por motor, pero si se implementa el plan de mantenimiento con las frecuencias y paso a paso para dejar en óptimas condiciones de manera correcta, estos gastos se verán sustancialmente reducidos, solo se tendrá que invertir en los insumos solicitados, que para el caso de ejecutar la inspección del motor seria el valor de la grasa y el lubricante que puede llegar a ser una inversión de $15 dólares cada mes, esto puede ser para los cuatro motores de cada robot y así mismo puede llegar a durar todo el mes o intervenciones que sean necesarias para garantizar su adecuado funcionamiento, por otro lado, se va a necesitar un técnico que tenga conocimiento y que se encuentre bien capacitado para llevar a cabo las actividades propuestas.

Es importante garantizar la correcta capacitación de los técnicos a cargo de los mantenimientos, esto dado que al conocer la empresa y su metodología de enviar grupos de personas distintas cada determinado periodo de tiempo, es recomendable garantizar una buena capacitación en cuanto al conocimiento de los robots y de manera especial realizar las recomendaciones y seguimiento adecuado de la implementación de todo lo que tenga que ver con el plan de mantenimiento preventivo que se ha venido implementando desde el inicio de este año 2023.

Con el tiempo es recomendable seguir aplicando esta metodología ya que de una u otra manera es vital la actualización de esta matriz luego de un periodo de tiempo considerable, puede ser de manera anual, donde el mismo departamento de mantenimiento se vea en la tarea de volver a evaluar, rediseñar y complementar este plan de mantenimiento según el criterio de los técnicos que tengan en campo, esto puede variar ya que a medida que la empresa va desarrollando más su producto y va actualizando la máquina, es posible que se empiecen a encontrar distintos problemas que antes no estaban o por el contrario que se reduzca la ocurrencia de problemas que se presentan en las versiones actuales de los robots activos para operaciones.

El campo de la robótica y el desarrollo de la tecnología con inteligencia artificial es un nicho de investigación que hasta ahora se está empezando a hacer notar en todos los campos de nuestra vida diaria, es muy importante continuar incentivando cada una de las aplicaciones sin dejar de lado nuestra forma de ser humana, es importante implementar de manera adecuada estas tecnologías, pero también debemos continuar con todo lo que es la parte de los sentimientos y lo racional de la especie humana en general, es por esto que la empresa Kiwibot tiene como uno de sus grandes objetivos implementar el uso de todas estas tecnologías de tal manera que no se tenga ningún tipo de inconveniente con el uso de la inteligencia artificial, es decir, que sea confiable y sobre todo que sea de cierta manera segura y que no represente ningún tipo de riesgo o miedo con la sociedad, esto que basado en lo que pude ver de como las personas interactúan en tiempo real con los robots se pueden ver varios tipos de reacciones, pero las dos más destacadas es que al ver a los robots moviéndose para llevar una orden, las personas se emocionan y pueden llegar a sacar su celular para tomarle una foto o video y mientras lo hacen muestran expresiones de agrado y ternura frente a lo que están viendo, aunque, de todas maneras siempre se tiene el lado opuesto que en este caso son las personas que al ver estos robots en movimiento por donde ellos van transitando lo que hacen es estar lo más alejados posible ya que consideran que puede llegar a ser un elemento que pueda atentar contra su integridad.

Es por esto que al llevar a cabo este plan de mantenimiento se van a poder reducir esos eventos donde los humanos que trabajan en la empresa vayan a rescatar a los robots y se minimice en su máxima expresión la posibilidad de algún evento inoportuno donde la imagen general de la confiabilidad de los robots se pueda llegar a ver afectada.

Al llevar a cabo la elaboración de este trabajo se encontraron varios hallazgos que son muy útiles para el departamento en cuestión, ya que de cierta manera garantiza y estandariza los pasos a seguir de cada una de las actividades, esto lo que va a

hacer es guiar de manera oportuna y similar a todas aquellas personas que se tengan en la labor de llevar a cabo la intervención de los robots.

Esta industria aún está en proceso de desarrollo y es de mi agrado poder contribuir a la implementación de planes de mantenimiento para el adecuado funcionamiento de esta importante empresa que se está posicionando como una de los startups más importantes a nivel mundial en el mundo de la robótica y la inteligencia artificial. Por medio de la implementación de este plan de mantenimiento se va a lograr una muy buena confiabilidad en los robots y además se va a garantizar el adecuado funcionamiento durante el dia a dia de operaciones, además, traerá grandes beneficios para todo lo que son costos de los repuestos y piezas que tenían que ser reemplazadas debido a la falta de intervención por parte del departamento de mantenimiento en los momentos adecuados.

21. Recomendaciones

Es muy importante para el bienestar e integridad de los robots durante su vida útil, garantizar el hecho de que las personas que intervengan de manera constante los robots, sean personas que tienen el conocimiento y las habilidades con todo lo que son herramientas, capacidad de entendimiento, organizadas y pulidas. Esto es recomendable ya que los robots al ser máquinas que requieren de cierto nivel de precisión y ajuste, es demasiado importante capacitar y contar con el personal adecuado para esta labor.

Todo lo que se consignó en el capítulo de stock de repuestos e insumos que deben estar en la oficina, es necesario de que en la medida de lo posible se garantice la existencia de todos y cada uno de los insumos y sobre todo de los repuestos que se van a solicitar para llevar a cabo el plan de mantenimiento, además, si esto se logra, se va a reducir de manera sustancial las paradas de los robots por falta de repuestos a la espera de ser enviados desde distintos puntos ya sea desde Colombia o de manera interna desde otro campus en Estados Unidos.

Dado los análisis que se llevaron a cabo para la elaboración de este trabajo se pudieron encontrar piezas o procedimientos útiles que de cierta manera pueden llegar a representar inconvenientes para el desarrollo normal de operaciones, por ejemplo el uso de los motores que ya se están dejando de lado con las nuevas versiones, pero de cierta manera no se puede generar el desperdicio total de estos robots, es por esto que se recomienda evaluar la posibilidad de buscarle una manera de adaptar los nuevos diseños de los chasís que vienen en los próximos lanzamientos a las cabinas de estos robots que van a quedar fuera de servicio más pronto de lo esperado.

Se detectó que las temperaturas extremas de cierta manera afectan el comportamiento de los robots, es por esto que se recomienda evaluar la posibilidad de realizar para el caso de las altas temperaturas un estudio de la ventilación que está generando el único ventilador que se encuentra al interior de la cabina, para poder entender o diseñar algún tipo de dispositivo que garantice la estabilidad de la temperatura interna dentro de la cabina del robot durante un día caluroso. Por otro lado, para el caso de las exigencias en las cuales se ve el robot en muy bajas temperaturas, sería muy importante evaluar le hermeticidad o la capacidad de sellamiento para el caso del frío o componentes como la nieve que se filtre dentro de la cabina del robot, ya que se tiene evidencia de que pueden llegar a ocasionar daños en cuanto al funcionamiento de las tarjetas electrónicas.

Por último, es recomendable poner a prueba este plan de mantenimiento dentro de la empresa por un periodo de prueba de tres meses para evaluar y corroborar la disminución de la ocurrencia de las fallas, de esta manera se va a poner tener un punto de vista real del desarrollo de este interesante y exhaustivo plan de mantenimiento de los robots que, sí puede llegar a demandar de mucho tiempo, pero se garantiza una muy buena confiabilidad de los robots en el día a día de las operaciones.

22. Bibliografía

[1] Kiwibot Delivery Service. (s/f). Kiwibot.com. Recuperado el 10 de abril de 2023, de https://www.kiwibot.com/

[2] Kiwibot High Driving Automation Campus. (s/f). Kiwibot.com. Recuperado el 10 de abril de 2023, de https://www.kiwibot.com/technology

[3] RAFAEL DAVID ANGEL GASCA HÉCTOR MAURICIO OLAYA VARGAS. (2014). DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA EMPRESA AGROANGEL. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA .

[4]Merino, J. L. C. (2021). DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN BASE A LA METODOLOGÍA DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA LA MAQUINARIA PESADA DE LA EMPRESA CONSTRUCTORA OVIEDO PALACIOS CIA. LTDA". ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE MECÁNICA.

[5]Torres, J. C. V. (2010). Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la Empresa Extruplas S.A. Universidad Politécnica Salesiana. [6]Luis Navarro Elola Ana Clara Pastor Tejedor Jaime Miguel Mugaburu Lacabrera. (1997). Gestion Integral de Mantenimiento. Marcombo S.A. [7]Park, A. (2002). Manual del ingeniero de Mantenimiento. Middle East.

[6]Mora Gutiérrez, (2009). Mantenimiento. Planeación, ejecución y control. Primera edición. Alfaomega Grupo Editor, S.A.

[7] Maintenance engineering handbook, Lindley R. Higgins, R. Keith Mobley. (2002). 6th edition. McGraw-Hill

[8]Fahimi F. (2010). Autonomous Robots Modeling, path planning and control. Springer

[9] Botero, C. (1991). Mantenimiento Preventivo. Recuperado el 24 de agosto de 2023, de https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/1550/mantenimiento_preventivo_5.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[10] Pérez Rondón, F. (2021). Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial. Recuperado el 24 de agosto del 2023, de https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/33276/9789588477923.pdf?sequence=4&isAllowed=y

[11] Montilla Montaña, C. (2016). Fundamentos de mantenimiento industrial. Recuperado el 24 de agosto del 2023, de https://repositorio.utp.edu.co/items/7088709d-52bc-4c50-960f-89bf4e7392b1

[12] Yavarone, R. (2019). La importancia del diagnóstico eficiente en el mantenimiento industrial. Recuperado el 25 de agosto del 2023, de https://editores-srl.com.ar/sites/default/files/aa11_yavarone_diagnostico_eficiente.pdf

[13] Barrientos Sotelo, V. R., García Sánchez, J. R., & Silva Ortigoza, R. (2007). Robots Móviles: Evolución y Estado del Arte. Polibits, (35),12-17. Recuperado el 23 de agosto del 2023, de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=402640448003

[14] Kiwibot, la startup fundada por Uniandinos que rueda por el mundo. (2023). uniandinos.org.co. Recuperado el 24 de agosto de 2023, de https://www.uniandinos.org.co/enterate/kiwibot-la-startup-fundada-por-uniandinos-que-rueda-por-el-mundo

[15] Jordan, J. (2016). Robots. Recuperado el 24 de agosto del 2023, de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=yQ9DDQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP7&dq=robots&ots=gNbjuzWWXg&sig=b3_cZ3ElQgBPbJM7Pdk8j6DpJYg#v=onepage&q=robots&f=false

[16] Urdiales García, C. (2019). Introducción a la robótica. Recuperado el 24 de agosto del 2023, de http://www.grupoisis.uma.es/microbot/public/robots.pdf

[17] Redondo Galván, A. (2018). Fundamentos de robótica. Recuperado el 24 de agosto del 2023, de http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/64483/secme-35753.pdf?sequence=1

[18] The global leader in autonomous delivery (2023). https://www.starship.xyz/ . Recuperado el 24 de agosto de 2023, de https://www.starship.xyz/company/

[19] Field testing a new delivery system with Amazon Scout (2019). https://www.aboutamazon.com/ . Recuperado el 24 de agosto de 2023, de https://www.aboutamazon.com/news/transportation/meet-scout

[20] Amazon stops field tests and scales back work on Scout, its home delivery robot program (2022). https://www.geekwire.com/ .Recuperado el 24 de agosto de 2023, de https://www.geekwire.com/2022/amazon-stops-field-tests-and-scales-back-work-on-scout-its-home-delivery-robot-program/

[21] Como hacer un análisis del modo y efecto de fallas AMEF (2021). https://www.ingenioempresa.com/ .Recuperado el 14 de agosto de 2023, de https://www.ingenioempresa.com/analisis-modo-efecto-fallas-amef/

[22] Bestratén, M, Orriols, R, Mata, C (2004). NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFE. Recuperado el 20 de agosto de 2023 de https://www.insst.es/documents/94886/326775/ntp_679.pdf/3f2a81e3-531c-4daa-bfc2-2abd3aaba4ba

[23] Kiwibot, la empresa de origen colombiano que lidera el mercado “on-campus delivery” en Estados Unidos (2023). https://www.entrepreneur.com/es . Recuperado el 24 de agosto de 2023, de https://www.entrepreneur.com/es/tecnologia/kiwibot-la-empresa-de-origen-colombiano-que-lidera-el/445105

23. Anexos

En la siguiente sección se van a presentar como anexos los documentos elaborados en Google sheets como herramienta para llevar a cabo tanto la matriz AMEF y la tabla del plan de mantenimiento respectivamente.

Anexo [1] Google Sheets, matriz AMEF
https://docs.google.com/spreadsheets/d/e/2PACX-1vRpQDbTGOso5Vung0KDLnnpGksPlEH5x41utwcyaIZKlnwv63vHwhiIW6ltnqeITXotNg_DxV6AAVS_/pub?gid=0&single=true&output=pdf

Anexo [2] Google Sheets, Tabla Plan de Mantenimiento
https://docs.google.com/spreadsheets/d/e/2PACX-1vQPFUK-qEoexNfMeNeN-i-J1k4APgBLz4MBikCFDGGnsZ8Qb7rEVIusohtDGcirJnq4G9S79NCeeaAG/pub?gid=0&single=true&output=pdf

Función en la operación	Actividad	Modos de Fallo	Efecto	Severidad	Causa	Ocurrencia	Controles	Detección	NPR	Acciones	Severidad	Ocurrencia	Detección	Nuevo NPR
Chasis S3	El robot presenta falla en la tarjeta CMC	Se quemaron componentes electronicos	No se va a reconocer la tarjeta	8	No se encuentra en buen estado o sus componentes estan dañados	6	Revision periodica de la tarjeta y sus componentes	2	96	Limpiar la tarjeta electronica con alcohol isopropilico y un cepillo de manera regular	6	4	3	72
		Los cables no estan en buen estado	Nunca va a funcionar ni llegara señal											
		La tarjeta esta sucia o con restos de soldadura	El computador no lee correctamente las señales											
	El supervisor reporta incongruencias con el manejo	El robot tiene la cabina desajustada	Será peligroso de conducir en el campus	6	Al robot le faltan piezas o no esta ajustado adecuadamente	7	Realizar una preinspeccion adecuada	2	84	Realizar de manera obligatoria una inspeccion previa a operaciones y dialogar con el supervisor	4	4	3	48
		Tiene las ruedas sueltas	Se va a ir hacia los lados y será difícil de manejar											
	Motor atascado	Se rompió el porta engranajes	La caja de engranajes se bloquea por completo	10	Al motor no se le realizaron revisiones periodicas durante sus periodos de operación	9	Realización de un mantenimiento preventivo prgramado con relación a la distancia recorrida	2	180	Establecer un plan de mantenimiento preventivo cada dos semanas de operación para garanitzar el buen estado de los motores	7	6	2	84
		No esta bien sujetado al porta llanta	Esfuerzo del motor para funcionar adecuadamente											
		Se bloquea por falta de lubricación interna	La caja se bloquea por exceso de biruta											
		Se sobrecalienta por uso constante	Se queman los cables que van a la tarjeta											
	Ruedas sin ajustar	Se cae la llanta durante operaciones	El robot queda completamente inmovil	7	No se realizo la preinspección de manera adecuada y las ruedas estan sueltas	6	Revisión periodica del estado de los tornillos	4	168	Verificar el estado de las ruedas en la preinspeccion, reportar si es necesario	7	4	2	56
		La rueda fuerza al robot hacia los lados	Dificil de manejar para los supervisores											
	Problemas en la suspension	El amortiguador esta reventado	El robot no cuenta con amortiguacion y sufre	5	No se inspeccionó ni se cambió el amortiguador	4	Corroborar el estado de los amortiguadores periodicamente	6	120	Realizar una revision periodica del amortiguador, reportar y reemplazar si es necesario	4	3	3	36
Chasis S4	Problemas con la tarjeta que controla los motores	El robot hace caso omiso a las ordenes del supervisor	El robot se vuelve un objeto peligroso en el campus	8	Debido a las temperaturas los diodos fallan	6	Evaluar el estado de los componentes electronicos	3	144	Garantizar que los robots se encuentran en la ultima actualización de IA	6	4	2	48
	Los motores no giran a la misma velocidad	La tarjeta no esta actulizada y testeada	El robot es dificil de manejar para los supervisores	7	No se testeo el estado en Teraterm	3	Verificar con tereterm regularmente	4	84	Calibrar periodicamente los motores con ayuda del programa teraterm	5	2	2	20
	Desgaste de neumatico	Exceso de peso y lleva a desgaste irregular	Los neumaticos se ponen lisos y no hay tracción	6	Mala distribución de peso total en el robot	5	Corroborar los limites de carga	6	180	Establecer y garantizar una carga maxima y realizar un seguimiento del desgaste	5	4	2	40
Cabina	Puerta atascada	No se ha calibrado en un periodo largo de tiempo	La puerta no abre, ni cierra de manera adecuada	8	El OSYS esta descalibrado	4	Ajuste periodico del sistema de apertura	2	64	Realizar test de apertura y cierre de manera periodica	6	2	1	12
	Sobrecalentamiento en altas temperaturas	El ventilador no esta funcionando	El robot se va offline en medio de operaciones	8	El ventilador no esta accionado o no enfria lo suficiente	6	Verificar el estado del ventilador regularmente	3	144	Realizar una inspeccion y limpieza que el ventilador es suficiente para refrigerar la cabina	6	5	2	60
	Menú de mantenimiento en conflicto	El menú muestra errores en las tarjetas	El robot no puede ser teleoperado	7	Las tarjetas estan desconectadas o los cables en mal estado	5	Asegurarse de que todo este conectado y en buen estado	1	35	Realizar una revision de la conexion y estado de las tarjetas dentro de la cabina de manera periodica	4	3	2	24
	El robot no enciende luces	Los cables estan dañados	No se puede operar en las noches	7	Las luces estan desconectadas o quemadas	5	Testear las luces regularmente	2	70	Evaluar el estado de las luces y cambiarlas de inmediato si es necesario	5	4	1	20
	Bandera golpeando con la cabina	El soporte de la bandera esta roto o sin tornillos	La bandera suena constantemente y se puede caer	4	El soporte esta roto o le faltan tornillos	6	Intervenir el soporte apenas se rompa	7	168	Asegurarse de que el soporte no tenga fisuras ni tonillos faltantes, ajustar y completar si es necesario	4	4	3	48
	Sensores mal calibrados	La consola reporta problemas en los sensores	El robot no puede ser teleoperado	6	No se ha actualizado a la ultima version de firmware	5	Testear los sensores por medio de la consola regularmente	4	120	Verificar de manera diaria el estado de los sensores con los supervisores y corregir si es necesario	5	3	2	30
	Sistema de cierre dañado	El robot no asegura la puerta	Se puede abrir la puerta de manera manual	7	La pieza de cierre de la puerta esta dañada o en una posición incorrecta	4	Una revisión periodica para asegurarse del buen estado del componente	2	56	Evaluar el estado y posicion adecuada del sistema de apertura y cierre de manera periodica	5	2	2	20
	Tarjetas electronicas sucias	La tarjeta no envia las señales adecuadas o presenta falla en el menu de mantenimiento	Los componentes se pueden dañar y dejan de funcionar	6	No se ha realizado una limpieza periodica de la cabina con alcohol isopropilico	7	Limpiar de manera regular todas las tarjetas electronicas del robot	5	210	Limpiar y verificar el estado de todos los componentes de manera periodica, reportar si hay fallas o piezas faltantes	5	2	5	50
Conectividad	Problemas de latencia	El robot se va constantemete offline de consola	El supervisor no lo puede controlar	7	Falta de cobertura en algunas zonas de los campus o el router esta fallando y requiere de reconfiguración	8	Configurar el router de manera adecuada y evitar las zonas con mala señal	3	168	Garantizar que la red funciona de manera adecuada en todo el campus y revisar la configuracion del router de manera constante	4	3	3	36
	Perdida de imagen de las camaras	Se pone negra la imagen en consola	El supervisor no lo puede mover a ciegas	8	Los cables de las camaras estan en mal estado o rotos en algun punto	6	Verificar el estado de los cables regularmente	2	96	Garantizar el buen estado de los cables y que se encuentren bien ruteados en la cabina, reemplazar y reportar si es necesario	5	3	1	15
	Robot se apaga repentinamente	Debido a las altas temperaturas se apaga sin aviso	Se pierde toda comunicación y toca ir al lugar	9	La computadora entra en conflicto y se apaga para protegerse	5	Asegurarse de que el ventilador encienda y refrigere de manera adecuada	1	45	Garantizar que el ventilador se encuentre funcionando y dejar encendido desde el inicio de operaciones en los dias de altas temperaturas	6	3	1	18
	Robot sin comunicacion de bateria	El cable que comunica la bateria a la tarjeta esta suelto	El robot no enciende de ninguna manera	8	La bateria tiene fallos de comunicación o el cable que lleva la energia al computador esta dañado	6	Mantener las baterias y sus cables en buen estado siempre	1	48	Realizar una testeo de baterias y corroborar el estado del cable, reparar y reportar si es necesario	6	3	1	18
		La bateria tiene problemas de comunicación	En consola aparece 0% de bateria											

Plan de Mantenimiento Preventivo

	Codigo Act.	Actividades a realizar	Duración	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6				Mes 7				Mes 8				Mes 9				Mes 10				Mes 11				Mes 12			
				S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Chasis S3	**CS3-1**	Limpiar la tarjeta electronica CMC con alcohol isopropilico y un cepillo teniendo en cuenta la frecuencia establacida	25 min	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
	CS3-2	Corroborar el procedimiento de la revision obligatoria previa a la jornada de operaciones	20 min		X				X				X				X				X				X				X				X				X				X				X				X	
	CS3-3	Establecer un plan de mantenimiento preventivo cada dos semanas de operación para garanitzar el buen estado de los motores	60 min	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
	CS3-4	Verificar el estado de las ruedas y realizarles una intervencion si es necesario, si es asi reportar	15 min		X				X				X				X				X				X				X				X				X				X				X				X	
	CS3-5	Realizar una revision periodica del amortiguador, reportar y reemplazar si es necesario	20 min		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Chasis S4	**CS4-1**	Garantizar que los robots se encuentran en la ultima actualización de IA	10 min				X				X				X				X				X				X				X				X				X				X				X	
	CS4-2	Calibrar periodicamente los motores con ayuda del programa teraterm	15 min		X				X				X				X				X				X				X				X				X				X				X				X	
	CS4-3	Realizar un seguimiento del desgaste del neumatico y reportar si es necesario	10 min		X				X				X				X				X				X				X				X				X				X				X				X	
Cabina	**CB-1**	Realizar test de apertura y cierre de la puerta con las frecuencias establecidas	15 min				X				X				X				X				X				X				X				X				X				X				X	
	CB-2	Realizar una inspeccion y limpieza que el ventilador es suficiente para refrigerar la cabina	10 min				X				X				X				X				X				X				X				X				X				X				X	
	CB-3	Realizar una revision de la conexion y estado de las tarjetas dentro de la cabina de manera periodica	15 min		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
	CB-4	Evaluar el estado de las luces y cambiarlas de inmediato si es necesario	10 min		X				X				X				X				X				X				X				X				X				X				X				X	
	CB-5	Asegurarse de que el soporte de la bandera no tenga fisuras ni tonillos faltantes, ajustar y reemplazar si es necesario	15 min				X				X				X				X				X				X				X				X				X				X				X	
	CB-6	Verificar de manera general el estado de los sensores con los supervisores y corregir si es necesario	10 min		X				X				X				X				X				X				X				X				X				X				X				X	
	CB-7	Evaluar el estado y posicion adecuada del sistema de apertura y cierre de acuerdo a lo establecido	10 min		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
	CB-8	Limpiar y verificar el estado de todos los componentes de manera periodica, reportar si hay fallas o piezas faltantes	20 min	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Conectividad	**CV-1**	Garantizar que la red funciona de manera adecuada en todo el campus y revisar la configuracion del router con las frecuencias establecidas	10 min		X				X				X				X				X				X				X				X				X				X				X				X	
	CV-2	Garantizar el buen estado de los cables y que se encuentren bien ruteados en la cabina, reemplazar y reportar si es necesario	15 min	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
	CV-3	Garantizar que el ventilador se encuentre funcionando y dejar encendido desde el inicio de operaciones en los dias de altas temperaturas	10 min				X				X				X				X				X				X				X				X				X				X				X	
	CV-4	Realizar una testeo de baterias y corroborar el estado del cable, reparar y reportar si es necesario	30 min	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	

	Numero de Actividades	Tiempo total para el Mantenimiento
Semana 1	5	140 minutos
Semana 2	10	135 minutos
Semana 3	5	150 minutos
Semana 4	8	105 minutos