



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

IMPLEMENTACIÓN DE ROBOT PARA ADQUISICIÓN DE IMÁGENES DE FRUTOS DE CAFÉ

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO:

INGENIERO EN MECATRÓNICA

PRESENTADO POR:

21611160 ISRAEL JOSUÉ SARMIENTO AMAYA.

ASESOR: ING. JOSÉ LUIS ORDOÑEZ

CAMPUS: SAN PEDRO SULA

OCTUBRE, 2020

DERECHOS DE AUTOR

©Copyright 2020

ISRAEL JOSUÉ SARMIENTO AMAYA

Todos los derechos son reservados

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a:

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la oportunidad de poder culminar los estudios universitarios ya que me dio la sabiduría para poder superar cada uno de los retos que tenemos como estudiantes.

También agradezco a mi padre Israel Sarmiento Trochez y a mi madre Ana Rosa Amaya Reyes ya que sin el apoyo incondicional de ellos no hubiese podido seguir adelante en cada uno de los tropiezos y problemas que tuve durante el periodo que estuve en la universidad

Por último, doy las gracias a el Ingeniero José Luis Ordoñez ya que siempre se esforzó por dar lo mejor para poder compartimos los conocimientos que el posee.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios, Ya que sin él no hubiese logrado todo lo que he logrado hasta el día de hoy, ya que el me dio la sabiduría y la fortaleza para poder superar cada una de las metas que logre conseguir y él puso los medios para que mi sueño de poder ser ingeniero se halla cumplido.

Doy gracias a mis padres ya que ellos me ayudaron en cada etapa de mi vida y sin el apoyo de ellos no hubiese logrado cumplir mis metas, ya que ellos siempre estuvieron para mí en cada paso que daba y me apoyaron incondicionalmente mostrándome lo maravilloso que es la vida y más aún cuando estamos rodeadas de las personas indicadas.

Muchas gracias a todos los ingenieros que nos ayudaron a mejorar como personas y aumentar nuestros conocimientos y más aún al Ingeniero Ordóñez que siempre estuvo a poyándonos en el final de nuestros estudios apoyándonos y compartiendo cada uno de sus conocimientos.

Resumen ejecutivo

El café es uno de los productos de más importancia nivel mundial ya que 56 países se dedican a la producción de este grano. La producción del café en honduras representa un 30% del PIB agrícola y un 5% del PIB total. Los robots teleoperados nos brindan mayor comodidad ya que es posible manipularlos desde un área segura. El objetivo de la investigación es verificar el funcionamiento del robot y su movilidad en la finca de café una vez instalado cada uno de sus dispositivos. La metodología utilizada para obtener los resultados es una metodología en espiral, la movilidad del robot es una parte muy importante del robot, y la calidad de las imágenes que se tomen ya que de ello depende si se podrá detectar los frutos de café. Como resultado, el robot es capaz de sobrepasar el 80% de los obstáculos, y la calidad de las fotografías que se tomaron solo un 24.38% son de buena calidad. En conclusión, el robot es capaz de moverse en los terrenos de las fincas de café debido a que posee los materiales adecuados en su estructura lo que le brinda mayor movilidad.

Palabras clave: Robótica, robot teleoperado.

Abstract

Coffee is one of the most important products in the world since 56 countries are dedicated to the production of this grain. Coffee production in Honduras represents 30% of the agricultural GDP and 5% of the total GDP. Tele-operated robots provide us with greater comfort since it is possible to manipulate them from a secure area. The objective of the research is to verify the operation of the robot and its mobility in the coffee farm once each one of its devices is installed. The methodology used to obtain the results is a spiral methodology, the mobility of the robot is a very important part of the robot, and the quality of the images that are taken depends on it if it will be possible to detect rust. As result, the robot is capable of to surpass the 80% of the obstacles, and the quality of the photographs that were taken only a 24.38% are of good quality. In conclusion, the robot can move around the coffee farm grounds because it has the adequate materials in its structure which gives it greater mobility.

Keywords: Robotics, tele-operated robot.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción.....	- 1 -
II.	Planteamiento del problema.....	- 3 -
2.1.	Precedentes del problema	- 3 -
2.2.	Definición del problema.....	- 6 -
2.3.	Justificación.....	- 6 -
2.4.	Preguntas de investigación.....	- 7 -
2.5.	Objetivos	- 7 -
2.5.1	Objetivo General.....	- 7 -
2.5.2	Objetivos Específicos.....	- 7 -
III.	Marco Teórico.....	- 8 -
3.1	Teorías de sustento.....	- 8 -
3.2	Revolución Industrial.....	- 9 -
3.2.1	Automatización en la agricultura.....	- 9 -
3.3.1	Elementos de un robot.....	- 11 -
3.4	Tipos de Robots.....	- 12 -
3.4.1.	Robots Móviles.....	- 13 -
3.4.1.1	Sistemas homológicos y no homológicos	- 13 -
3.4.1.2	Sistemas de locomoción Robots Móviles	- 14 -
3.4.1.3	Locomoción mediante ruedas.....	- 15 -
3.4.2.	Robots en la agricultura.....	- 16 -
3.4.3.	Robots Humanoides.....	- 18 -

3.4.3.1	Inteligencia artificial para recolección de café	- 19 -
3.4.3.2	Aplicaciones de los robots humanoides.....	- 20 -
3.4.4.	Robots Industriales	- 20 -
3.4.4.1	Estructura de un robot manipulador	- 21 -
3.4.4.2	Aplicación de robot industriales.....	- 22 -
3.5	Teleoperacion.....	- 23 -
3.5.1	Robots Teledirigidos.....	- 23 -
3.5.2	Robots Teleoperados	- 24 -
3.5.3	Elementos de un sistema de teleoperación.....	- 25 -
3.5.4	Dispositivos de retroalimentación de un sistema teleoperado	- 26 -
3.5.5	Aplicaciones de los robots tele operados.....	- 27 -
3.6	Radiocomunicación.....	- 28 -
3.6.1.	Aplicaciones de la radiocomunicación	- 29 -
3.7	Sistemas de visión de los robots.....	- 29 -
IV.	Metodología.....	- 30 -
4.1.	Enfoque.....	- 31 -
4.2.	Variables de investigación.....	- 31 -
4.3.	Técnicas e Instrumentos.....	- 32 -
4.4.	Materiales	- 33 -
4.5.	Metodología de estudio.....	- 33 -
4.5.1	Nivel de sistemas	- 33 -
4.5.2	Niveles de subsistemas	- 34 -
4.5.3	Integración de los materiales.....	- 35 -

4.6.	Metodología de validación	- 35 -
4.7.	Cronograma.....	- 35 -
V.	Análisis y resultados.....	- 36 -
5.1.	Análisis de teorías de sustento	- 36 -
5.2.	Resultados	- 37 -
5.2.1.	Pruebas de las ruedas en campo.....	- 37 -
5.2.2.	Pruebas de sistema de visión con software.....	- 39 -
5.2.2.1.	Problemas con el software.....	- 40 -
5.2.3.	Pruebas del sistema electrónico con sistema de visión.....	- 41 -
5.2.3.1.	Problemas con el sistema de visión instalado al robot.....	- 43 -
5.2.3.2.	Pruebas con robot a 25% de velocidad	- 45 -
5.2.3.3.	Pruebas con cámara a un ángulo de 30 grados	- 48 -
5.2.3.4.	Cambios de la estructura del robot.....	- 50 -
5.2.3.5.	Ventajas de cambios realizados.....	- 50 -
5.2.4.	Pruebas del robot en campo mediante el control remoto.....	- 51 -
5.3.	Comparación sistema de visión.....	- 54 -
5.4.	Comparación estructura del robot.....	- 56 -
5.5.	Comparación de las ruedas del robot.....	- 58 -
5.6.	Comparación del control del robot	- 60 -
VI.	Conclusiones	- 62 -
VII.	Recomendaciones.....	- 63 -
VIII.	Referencias.....	- 64 -
IX.	Anexos.....	- 70 -

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1- Produccion de café en Honduras (2016-2020).....	4
Figura 2- Karel Capek	5
Figura 3- Tipos de robots.....	12
Figura 4- Elementos de un sistema de teleoperación.....	25
Figura 5- Cronograma de actividades.....	36
Figura 6- Rueda fabricada de PET.....	38
Figura 7- Rueda fabricada de TPU.....	38
Figura 8- Instalacion de ruedas al robot	39
Figura 9- Software utilizado para toma de fotografías.....	40
Figura 10- Instalacion de sistema de visión al robot.....	41
Figura 11- Camara utilizada en el robot.....	42
Figura 12- Fotografía tomada con sistema de visión.....	42
Figura 13- Fotografía defectuosa tomada con sistema de visión	43
Figura 14- Grafica de calidad de fotografías tomadas	43
Figura 15- Fotografía borrosa	44
Figura 16- Fotografía sin enfocar.....	44
Figura 17- Fotografía pixelada	44
Figura 18- Fotografía buena	44
Figura 19- Tabla de cantidad de fotografías tomadas.....	45
Figura 20- Fotografía con velocidad al 25%.....	45

Figura 21- Grafica de fotografia con velocidad al 25%	47
Figura 22- Porcentaje de calidad de fotografia con velocidad al 25%.....	47
Figura 23- Fotografia con camara a un angulo de 30 grados	48
Figura 24- Grafico de fotografias con camara a 30 grados	49
Figura 25- Porcentaje de calidad de fotografias con camara a 30 grados	50
Figura 26- Diseño final del robot.....	52
Figura 27- Diagrama de funcionamiento del robot.....	53
Figura 28- Imagen de crecimiento de planta.....	55
Figura 39- Deteccion de frutos de cafe	56
Figura 30- Fotografia tomada con sistema de visión actual.....	57
Figura 31- Imagen robot para agricultura.....	57
Figura 32- Imagen de estructura del robot.....	58
Figura 33- Ruedas iniciales del robot.....	59
Figura 34- Ruedas actuales del robot	60
Figura 35- Aplicación para control de robot	61
Figura 36- Diseño sugerido de laterales del robot	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1- Variables de invetigacion.....	31
Tabla 2- Diagrama de variables de investigacion.....	32
Tabla 3- Precio estimado de fabricacion del robot.....	54

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1-Fotografías para detección de granos de café	70
Anexo 2-Fotografías para detección de granos de café	70
Anexo 3-Fotografías para detección de granos de café	70
Anexo 4-Fotografías para detección de granos de café	71
Anexo 5-Fotografías para detección de granos de café con cámara inclinada 30 grados	71
Anexo 6-Fotografías para detección de granos de café con cámara inclinada 30 grados.....	71

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día la producción de café es uno de los productos que as genera ganancias a nivel nacional. Actualmente el café es uno de los productos de mayor exportación a nivel nacional dejando divisas de millones de dólares a los diferentes productores del país. Actualmente la producción de café en Honduras es tanto que se encuentra en el puesto número seis a nivel mundial de países que exportan café. El objetivo principal de la presente investigación es la implementación de un robot teleoperado para la detección de los frutos de café y verificar si están aptos para la recolección. Estos se realizan con la idea de evitar la molestia que los productores anden caminando por bastante tiempo en la finca para supervisar el estado de los frutos de café. La supervisión de los frutos de caer es una parte importante ya que estos no se pueden dejar madurar más de lo debido porque se caen de la planta lo cual genera una pérdida para los productores.

Capítulo 2. Planteamiento del problema. En esta sección se presenta el problema que se quiere resolver. En este capítulo se muestran los precedentes del problema, y las ideas para la resolución del problema. El problema que se piensa atacar es la detección del café, ya que en muchas veces es complicado moverse por toda la finca para verificar si los frutos están aptos para su recolección. Se resolverá este problema con la implementación de un robot teleoperado dotado con un sistema de visión para la detección de los frutos.

Capítulo 3. Marco teórico. En este capítulo se recaba la información necesaria para luego poder realizar el prototipo final y poder resolver el problema que se planteó en un inicio. Se observan los conocimientos relacionado a la investigación que se está haciendo, se entrara más a fondo en los componentes de un robot, y la teleoperacion que son los temas más importantes en la presente investigación. Se recabará información de otras personas que han diseñado prototipos similares para ver en que aspecto se puede mejorar nuestro prototipo y que sea capaz de cumplir con su finalidad.

Capítulo 4. Metodología. En este capítulo se muestra la planificación detallada semanalmente de cada una de las actividades para llegar a la elaboración del prototipo final. Se analizarán las variables que pueden afectar el funcionamiento del prototipo y las herramientas que se utilizaran para la elaboración de este. La metodología en espiral es

la que se utilizó, ya que es un proyecto en el cual se hará la integración de diferentes sistemas y es necesario realizar pruebas de cada uno antes de su instalación en el robot.

Capítulo 5. Análisis y resultados. En este capítulo se mostrarán los resultados obtenidos después de realizar cada una de las espirales de la metodología. Se realizaron pruebas a las ruedas del robot, pruebas al sistema de visión, instalación del sistema de visión, y el funcionamiento general del robot en la finca de café. Una vez se analicen los resultados de las pruebas a los diferentes dispositivos del robot se analizarán los resultados y se determinará si el robot es capaz de resolver el problema que se decidió.

Capítulo 6. Conclusiones. En este capítulo se muestran los resultados obtenidos de las pruebas, teniendo en cuenta los objetivos que se establecieron en el inicio de la investigación.

Capítulo 7. Recomendaciones. Se mostrarán sugerencias para que se pueda mejorar el rendimiento del robot, y que pueda ser capaz de resolver el problema que se desea resolver.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Demostrar el problema que nos ha venido a generar la recolección de frutos de café a los diferentes productores del país y poder dar una solución a esta problemática que, hasta el día de hoy, nos está afectando mucho dejando pérdidas en la calidad del café. Actualmente para la supervisión de los granos de café los supervisores no cuentan con un método para la inspección, sino que ellos tienen que ir personalmente a la finca e inspeccionar toda la plantación, lo que genera un trabajo bastante difícil debido a la necesidad de caminar por toda la finca. La inspección de los granos de café es una parte esencial para determinar si estos están aptos para la recolección, ya que de no supervisarlos estos corren riesgo de caerse de la planta lo cual genera pérdidas para los productores, además, cuando los granos se caen al suelo y no son recogidos muchas veces aparecen enfermedades que posteriormente afectan los granos maduros y verdes de las plantas.

2.1. PRECEDENTES DEL PROBLEMA

Hace muchos años con el cultivo de los granos de café se ha visto un incremento en la economía del país ya que la producción representa una alta ganancia para las personas que se dedican a la producción de estos granos, debido a que este producto es uno de los que más genera divisas en todo el territorio hondureño.

Desde hace muchos años se ha venido dando el problema que muchas veces los granos de café se caen de las plantas debido a que estos se maduran más de lo debido, por lo tanto, se caen de la planta y los productores se ven con el problema que pierden todos estos frutos debido a que en ocasiones la supervisión de la finca se hace difícil por las condiciones que se encuentran en algunas ocasiones.

Actualmente los productores de café hacen la detección de los frutos revisando la plantación del café, lo que lo hace una tarea bastante cansada debido a todo lo que tiene que recorrer. Los frutos de café que no se encuentran maduros y son recolectados representa una pérdida para los productores, en ocasiones se quita el porcentaje de café verde que los compradores detectan.

La industria cafetalera de Honduras inició a mediados del siglo XX, desde entonces, en la actividad de mayor importancia económica del país. Actualmente, el café es uno de los productos que más ingresos genera en el país, y es uno de los productos de mayor exportación, obteniendo un valor de US\$ 986 millones en el año 2015, ocupando el 6to lugar de exportación a nivel mundial en café. (Kushalappa, 2019).

En Honduras el 95% de la caficultura está en manos de pequeños productores, son más de 100,000 familias. 280,000 hectáreas es la cantidad de plantación de café que se encuentran en el territorio hondureño. En Honduras se cultivan diversas variedades de café que son: Típica, Borbón, Actual, Parainema y Lempira, las cuales ascienden a una producción anual de 4.9 millones de sacos de 46 kg. Los principales compradores del café hondureño son los países de: Alemania, Estados Unidos, Bélgica, Francia, Italia y Japón.

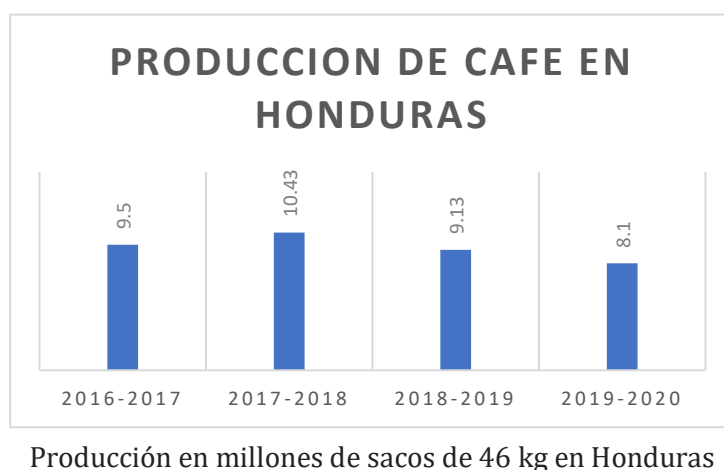


Figura 1-Produccion de café en Honduras (2016-2020)

Fuente: (Avelino & Rivas, 2013)

En la tabla anterior se muestra la cantidad de quintales de café que se produjeron en honduras desde el año 2016 hasta el 2020 en el cual se observa una cantidad bastante elevada de quintales de café producidos.

Antes de la recolección de los frutos de café es importante inspeccionar el estado de la plantación de café, ya que, si todavía hay mucho grano que está verde se podría llevar a las personas sin tener buenos resultados, ya que solo sería capaz de poder cortar un porcentaje pequeño del café.

En Honduras actualmente la recolección de estos frutos se realiza de manera manual, lo que genera bastante pérdida de tiempo y se requiere un esfuerzo significativo para poder cortar los granos de café. Las personas para la recolección lo hacen de manera manual lo que permite que en ocasiones se corten frutos que se encuentran verdes y no están listos para la recolección. (Fuentes et al., 2020)

Siempre ha existido el deseo de poder crear máquinas que sean capaces que crear los movimientos de los humanos, el término robot proviene de la palabra checa "Robota" que significa trabajo, fue introducido por Karel Čapek en el año 1922. Karel Čapek definía a los robots como una máquina que sustituye a los seres humanos para realizar sus tareas con la diferencia que los robots no necesitan descansar y pueden realizar sus tareas sin descanso, al principio no tienen moral, no sienten dolor y no tienen libre albedrío, siempre obedecen lo que el humano les indique que haga incluso si se trata de destruir otros tipos de robots. (Production Engineering, 2019)



Figura 2-Karel Čapek

Fuente: (Fernando, 2011)

Existen varias definiciones sobre el significado de los robots, entre ellas está la que nos brinda la Robot Institute of America (RIA), la cual nos dicen que los robots son máquinas manipuladoras multifuncionales que son diseñadas para ser capaces de mover materiales, partes, herramientas o dispositivos mediante movimientos que son programados para realizar una gran variedad de tareas. Esta definición fue adoptada desde el año 1980, la cual se está viendo reflejada hoy en día con los robots que tenemos en la actualidad y con las tareas que ellos son capaces de realizar. La robótica es

multidisciplinaria debido que involucra una gran cantidad de áreas del conocimiento como las matemáticas, la física, electrónica, visión, computación, pero todos sus resultados están sustentados con un estricto rigor científico.(Fernando, 2011)

2.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El principal problema de la investigación es poder detectar los frutos que estén listos para la recolección ya que de no ser así estos corren riesgo de caerse de la planta, lo que genera una pérdida para los productores, además que estos granos que se caen al suelo de la finca posteriormente generan enfermedades que afectan los demás granos, ya sean verdes o maduros. Además, los frutos verdes que son cortados de la planta representan pérdidas para los productores debido a que son penalizados con la rebaja de un porcentaje de libras de los sacos que desean vender.

Otro de los problemas es poder verificar el funcionamiento de los dispositivos que se integraron al robot para verificar si son capaces de realizar las tareas para las cuales están diseñados. debido a que los terrenos de las fincas de café son de difícil movilidad es poder determinar los materiales adecuados para el robot para que pueda ser capaz de moverse sin tener problemas y que no sufra daños a la estructura debido a los diferentes obstáculos que se presenten.

2.3. JUSTIFICACIÓN

Actualmente los caficultores no tienen una posible solución para detectar que frutos son los que están aptos para su recolección, lo que en ocasiones generan que los granos de café se pasen del tiempo para ser recolectados y posteriormente se caen de la planta. Muchas veces la inspección de la finca se hace complicada para las personas debido a las condiciones climáticas en las que se encuentran las fincas, es por eso por lo que los productores no son capaces de estar pendientes.

Es por ello por lo que se decidió que la implementación del robot para la supervisión de las fincas de café es una opción que es bastante viable para los productores, ya que con toda la tecnología que tenemos hoy en día, es posible realizar un sistema de visión que sea capaz de detectar que frutos se pueden cortar. Con la implementación de este robot se evitaría el esfuerzo que realizan los productores de

andar caminando constantemente en la finca y se puede tener una muestra de los frutos de café gracias a las fotografías que se pueden tomar con el sistema de visión que se tiene instalado en el robot.

2.4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- 1) ¿Verificar el funcionamiento del robot en la finca de café?
- 2) ¿Verificar si los materiales son los adecuados para las ruedas, la estructura y el housing del robot?
- 3) ¿Verificar la comunicación entre el robot y el software para la toma de las fotografías?
- 4) ¿Verificar la calidad de las fotografías tomadas con la cámara del sistema de visión?

2.5. OBJETIVOS

Se definirán los objetivos de la investigación, el objetivo general es lo que se pretende desarrollar y demostrar en toda la investigación que se hará, y los objetivos específicos, son la diferentes acciones que se desarrollara para poder cumplir el objetivo general de la investigación para poder llegar a la implementación correcta del robot para la monitorización de las fincas de café.

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Verificar el funcionamiento del robot y su movilidad en la finca de café una vez instalado cada uno de sus dispositivos para determinar que sea capaz de sobrepasar los obstáculos que se le presenten.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Determinar los materiales adecuados para las ruedas y la estructura del robot y los housings de sus componentes.
- 2) Verificar si el software es capaz de establecer comunicación con el robot y de guardar las fotografías que se tomaron.
- 3) Determinar qué porcentaje de las fotografías tomadas posee buena calidad.

III. MARCO TEÓRICO

En la presente investigación se tocarán varios temas de suma importancia para poder tener mejores resultados en cuanto al tema de la detección de frutos de café maduros para su recolección.

Es por eso por lo que se describirán temas de mucha importancia como ser; precedentes de producción de café, y las ganancias que este genera en el territorio hondureño, así mismo se hablara de la estructura del robot y de los diferentes sistemas que lo componen para realizar el monitoreo de las plantaciones de café y evitar la propagación de dicho hongo.

Gracias a los avances de la tecnología que se tiene hoy en día es posible la realización de los robots móviles, ya que hay muchos entendidos de los cuales no podemos guiar para que el funcionamiento de este sea el óptico en los lugares en donde se pondrá a prueba. Además, que con la teleoperacion es mucho más fácil poder controlar los robots, ya que no es necesario estar siempre presente cuando el robot está en operación.

3.1 TEORÍAS DE SUSTENTO

La problemática de la recolección de granos verdes ha venido a causar gran perdida en las cosechas del grano del café a nivel nacional dejando pérdidas millonarias a todos los productores, ya que ellos son penalizados por vender granos de café que no se encuentran aptos para los procesos del café. La supervisión de las fincas de café para determinar si es apto para cortar los granos es un proceso cansado para los productores ya que le toca moverse en cada una de las áreas donde se encuentran las plantas de café. Es muy importante estar monitoreando si ya es hora de cortar los granos, ya que de no ser así estos corren el riesgo de caerse de la planta lo que genera pérdidas para los productores, además, que los granos que se caen de la planta pueden generar diferentes enfermedades como ser la enfermedad de la broca, que afecta tanto los granos maduros de la planta como los granos verdes.

3.2 REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Hoy en día la 4 revolución industrial ya es un hecho en la sociedad, ya que los diferentes dispositivos que se usan ya tienen capacidades similares a la de los humanos, como ser los robots, la inteligencia artificial. Hoy en día los procesos en las industrias y empresas ya están siendo automatizadas gracias a los grandes avances que ha tenido la tecnología en los últimos años, la forma en que anteriormente se hacían los procesos está siendo cambiada gracias a la implementación de máquinas que son capaces de hacer los trabajos que hacían los hombres anteriormente. (Abdelhameed, 2019)

Gracias a los avances significativos que se he tenido en los últimos años, la 4 revolución industrial es un hecho en la mayoría de los países donde las empresas poseen una gran tecnología en sus líneas de producción. Con la incorporación de estas tecnologías las empresas cambian la forma que producen ya que con todas las tecnologías que hoy en día se tienen en mano se puede evitar el impacto ambiental, así como una posible solución a los problemas energéticos con los que ha venido lidiando años atrás.(Avila et al., 2020)

Se predice que para el año 2022 halla un aumento de 3 mil millones de dólares en adquisición de robots autónomos o teleoperados, en Honduras para trabajos que sean de logística, como sabemos con los robots las personas pueden estar un poco menos pendientes de sus trabajos, que con las nuevas tecnologías es posible que los robots realicen sus actividades sin ningún tipo de monitoreo. Con la aplicación de estos robots las personas de las empresas podrán encargarse de realizar más actividades gracias a la ayuda de estos robots, ya que como sabemos con los robots podemos realizar muchas más actividades dentro de una empresa. (Avila et al., 2020)

Con la revolución industrial muchas empresas están cambiando la forma en que anteriormente trabajaban, ya que ahora la mayoría de sus procesos no ocupa la presencia de una persona que este en constante monitoreo de las maquinas, ya que están perfectamente diseñadas para realizar su trabajo con el mínimo error posible.

3.2.1 AUTOMATIZACIÓN EN LA AGRICULTURA

La automatización es cuando un proceso, un aparato o sistema función sin la intervención de un humano, hacer un proceso automático no es nada fácil ya que hay

varios factores que pueden influir en el buen funcionamiento. Hoy en día existen dispositivos que realizan la operación automáticamente debido a la incorporación de software y hardware que ya vienen integrados en sus estructuras. Todos estos dispositivos inteligentes le hacen fácil la vida a las personas y hacen el trabajo en donde la intervención del humano no es posible. Con la automatización se logra que las actividades que se realizan sean mucho más fácil, rápidas y muchas veces hace que las personas tomen un descanso cuando las tareas son repetitivas. La automatización se está implementando hoy en día gracias a la Industria 4.0. (FORE School of Management, New Delhi, India et al., 2019)

Gracias a los avances de la tecnología en los últimos años se está cambiando los procesos tradicionales y se están utilizando robots para las tareas que anteriormente realizaban las personas, muchos de los procesos que se realizaban antes para la siembra de semillas eran los tractores, lo cual genera cierta incomodidad para los operarios debido a los ruidos que este genera y a las vibraciones ocasionadas por la máquina. (Naik et al., 2016)

El desarrollo de los robots para la agricultura está avanzando muy rápido, gracias a los diferentes sensores que se encuentran, a su eficiencia y precisión, así como la comunicación inalámbrica y GPS. Algunas de las tareas que se encuentran en desarrollo es la siembra de granos, el deshierbe y el riego de plantas. Para el desarrollo de estos robots se debe tener en cuenta muchos factores importantes como ser; estos deben moverse correctamente en terrenos llenos de baches, la humedad del suelo el cual puede afectar la estructura del robot y sus diferentes componentes. (Naik et al., 2016)

3.3 ¿Qué son los robots?

los robots son maquinas electromecánicas y son programados mediante una computadora, los robots son capaces de realizar diferentes actividades complejas, estos realizan estas acciones complejas debido que son capaces de moverse al mundo real, en las diferentes regiones que se encuentran las personas. La robótica es una tarea multidisciplinaria debido a que en ella se integran diferentes campos de estudio como ser: ingeniería eléctrica, mecánica, informático y otras más.(FORE School of Management, New Delhi, India et al., 2019)

Los robots pueden considerarse que están conformados por tres partes. En primer lugar, es un hardware y una mecánica que incluye ciertos componentes electrónicos, la mecánica se diseña según la aplicación que se ocupa que desarrolle el robot. En segundo lugar, tenemos un sistema que sea capaz de comunicarse con operados mediante un sistema de programación y en tercer lugar cuenta con un software que se puede encontrar en una computadora, este se considera como un elemento que sirve para entrelazar el robot con el operados.(Sato et al., 2018)

3.3.1 ELEMENTOS DE UN ROBOT

Un robot ocupa ciertos dispositivos para que pueda moverse o realizar sus movimientos para las diferentes actividades para las cuales fue realizado, cada uno de estos dispositivos tendrá que ser elegido dependiendo del lugar en el que se aplicara, a continuación, se presentara los dispositivos que se utilizan en los diferentes robots:

- *Estructura del robot:* la estructura del robot puede ser para aplicaciones industriales, submarinos, aéreos o humanoides, es importante realizar diferentes pruebas a las estructuras para asegurarse que será capaz de realizar su trabajo correctamente, en ocasiones los robots desempeñan trabajos donde es puesta a prueba su integridad. En la estructura de los robots se colocan cada uno de ellos componentes que le ayudara a moverse y a determinar su posición y el reconocimiento del medio que lo rodea.
- *Actuadores:* los actuadores son una parte muy importante en el movimiento de los robots ya que sin la utilización de ellos no será capaz que el robot pueda desplazarse o mover alguna de sus extremidades. Los actuadores más utilizados en los robots son los motores, ya que gracias a ellos es posible mover las ruedas de los robots móviles, y en los robots industriales se utilizan los servomotores para poder mover sus extremidades y poder realizar su acción.
- *Sensores:* Los sensores son los que le dan información a los robots sobre los objetos que están en su alrededor, estos pueden ser ultrasónicos, distancia, profundidad, etc. Los sensores son muy importantes para los robots ya que gracias a ellos pueden evitar hacer daño a su estructura con algún objeto que tengan en su alrededor. Los sensores tienen ciertas características que son muy importantes y son:

Rango de medida: es a la distancia en la que el sensor puede hacer su medición.

Precisión: es el error máximo que puede surgir en una medición.

Sensibilidad del sensor: Es la variación de la magnitud de salida y entrada.

Rapidez de respuesta: es la cantidad de tiempo que este puede tardar en detectar las variaciones en el medio.

Repetitividad: Es el error que se espera después de realizar una medición varias veces.

- *Microcontrolador:* Estos dispositivos de los robots, son el cerebro de ellos, ya que mediante la información que le envíen los sensores ellos pueden hacer que los actuadores se muevan dependiendo lo que el operador le ordene en la programación. Hay muchos controladores para los robots y cada uno tiene una forma diferente de programación.

3.4 TIPOS DE ROBOTS

Actualmente existen una gran variedad de robots y su aplicación depende mucho de como sea su estructura geométrica y mecánica, ya que para cada una de las aplicaciones que le queramos destinar a un robot deberá completar ciertas condiciones que son muy importantes para que tenga un mejor desempeño a la hora de estar trabajando.

Los robots están equipados con diferentes elementos según sea su aplicación, previo a la elaboración del diseño de los robots es muy importante poder hacer diferentes pruebas a los que es su estructura para que pueda ser capaz de realizar su trabajo en el medio en el que se pondrá a prueba.

Clasificación de robots		
Móviles	Terrestres; Ruedas, Patas	
	Submarinos, Aero-espaciales	
Humanoides	Diseño complejo	
Industriales	Brazos Mecánicos	Robots Manipuladores

Figura 3- Tipos de Robots

Fuente: (Cortes, Control de Robots manipuladores , 2011)

3.4.1. ROBOTS MÓVILES

Los robots móviles son muy importantes en la vida de las personas, los robots móviles pueden ser clasificados de acuerdo con el medio en el que se rodean; terrestre, submarinos o aéreos, Estos robots son capaces de desplazarse sin la necesidad de la intervención de un humano, pueden ser autónomos o tele operados, los robots móviles pueden moverse mediante ruedas, patas u orugas. Los robots con ruedas son muy aplicados en los lugares en donde es de difícil acceso para las personas.(Ali & En, 2018)

Los robots se han venido convirtiendo en algo común de ver en la vida cotidiana de las personas, en los lugares confinados se emplean bastante lo que son los robots bípedos, sin embargo, este tipo de locomoción es muy difícil de elaborar, es por ello por lo que se están implementando robots con ruedas, para determinar el tipo de rueda es muy importante para el diseñador elegir la adecuada dependiendo del lugar al que se empleara el robot.

3.4.1.1 Sistemas homológicos y no homológicos

El sistema homológico es el que tienen el mismo grado de libertad controlados igual al número de grados de libertad del sistema, por lo tanto un robot es no homológico si tiene menos grados de libertad controlados que el número total del sistema. El tipo de rueda depende para determinar si un robot es o no homológico. Seleccionar la rueda correcta es muy importante para los robots móviles, a continuación, están los tipos de ruedas utilizados por los robots.(Shabalina et al., 2018)

Definir el tipo de rueda para el movimiento de nuestro robot es muy importante, ya que de ello dependerá la capacidad de movimiento en el entorno que lo pondremos a prueba, es por ellos que a continuación definimos los tipos de ruedas más comunes que se pueden encontrar en los diferentes tipos de robots:

- *Rueda convencional:* Los robots que utilizan este tipo de ruedas son un claro ejemplo de lo que son los sistemas no homológicos, este tipo de rueda es muy aplicada en la ingeniería para uso en robots debido a que es muy simple y posee una buena funcionalidad. Los robots con sistemas de locomoción diferencial son donde más se aplica debido a que estas pueden hacer que el robot rote debido

a las diferencias de velocidad de rotación y dirección de las ruedas. (Shabalina et al., 2018)

- *Rueda volante:* Este tipo de rueda puede parecer igual a las ruedas convencionales, sin embargo, están construidas mecánicamente diferentes. La palabra dirección no solo significa el sentido del movimiento, por ellos un mecanismo usa un motor para que la rueda pueda girar sobre su eje vertical, este podría ser un sistema con una rueda convencional, pero si se le coloca un mecanismo de dirección y un motor se convierte en un volante. (Shabalina et al., 2018)
- *Rueda giratoria:* Este tipo de rueda es muy aplicada en el área de la robótica, pero también es muy aplicada en servicio y equipos médicos. Con este tipo de ruedas se tiene una gran movilidad, tanto que casi se consideran omnidireccionales los robots móviles en los que se utilizan. Este tipo de rueda se divide en dos: la rígida, la cual solo se puede mover hacia adelante y atrás, y las rudas giratorias, son las que se pueden mover libremente tanto para adelante y para atrás y también son capaz de hacer giros de 360 grados.
- *Rueda omni universal:* Este tipo de rueda es la combinación de una rueda principal en la cual se colocan rodillos que poseen sus propios ejes que le permiten girar, este tipo de rueda puede girar en casi cualquier dirección. Este tipo de rueda posee 3 grados de libertad los cuales son: rotación de las ruedas, rotación de los rodillo y deslizamiento rotacional que tiene contacto sobre la superficie. (Shabalina et al., 2018)
- *Rueda mecanum:* Este tipo de rueda es muy similar a las universal, con la diferencia es que los ejes de los rodillos están a un Angulo de 45 grados del eje de la base de toda la rueda, este tipo de rueda tiene una construcción muy compleja por lo consiguiente es mucho más cara su fabricación. (Shabalina et al., 2018)

3.4.1.2 Sistemas de locomoción Robots Móviles

Los robots móviles terrestres emplean diferentes formas de poder desplazarse según sea su utilidad o el terreno en el cual se pondrán a prueba. Es muy importante

tomar en cuenta que tipo de sistemas de locomoción vamos a utilizar en el diseño de nuestro robot, debido que si usamos uno que no cumpla las condiciones en los terrenos que lo pondremos a prueba pueda ser que no pueda moverse de la mejor manera. Dentro de los sistemas de locomoción por ruedas existen otros tipos de configuración que son:

3.4.1.3 Locomoción mediante ruedas

Entre los diferentes mecanismos de locomoción las ruedas son el más utilizado debido a que son simples, fáciles de controlar y rápidas para el movimiento. Los robots emplean diferentes tipos de locomoción con ruedas y cada una de ellas les da una maniobrabilidad. Los robots omnidireccionales son los que tienen una mayor maniobrabilidad debido que poseen 3 movimientos diferentes (2 de traslación y 1 de rotación) sin embargo su programación y diseño es mucho más complejo. Dentro de la locomoción por ruedas existen varios tipos, entre los cuales tenemos: (Tarvirdizadeh et al., 2018)

- *Ackermann*: Este sistema fue diseñado por Rudolf Ackermann en 1818, este sistema es el que se aplica en la actualidad a todos los vehículos, este compuesto de 4 ruedas convencionales en donde las dos ruedas delanteras pueden desplazarse un cierto Angulo con la finalidad de poder cambiar de dirección, la rueda de la derecha se tiene un Angulo de desplazamiento ligeramente mayor al de lado izquierdo, esto es para evitar el deslizamiento en los diferentes terrenos. (Baturone, 2005)

Este es uno de los modelos que más se aplica a los diferentes robots móviles, ya que no presenta problemas en cuanto a su equilibrio, ya que está bien sostenido por las 4 ruedas, y al momento de realizar un giro brusco es menos probable de pueda volcarse en comparación con los otros diseños.

- *Triciclo clásico*: Este sistema está compuesto por tres ruedas, dos en la parte trasera y una en la parte delantera, En donde la rueda delantera sirve para la dirección de los robots y para la tracción, mientras las dos ruedas traseras se mueven libremente. Este sistema es mucho más maniobrable que el de 4 ruedas sin embargo es más inestable en terrenos difícil porque en ocasiones el centro

de gravedad tiende a moverse y el robot pierde su tracción. Debido a que es muy siempre es muy común verlo en robots para interiores o en lugares pavimentados. (Baturone, 2005)

- *Direccionamiento Diferencial:* Este sistema está compuesto únicamente por dos ruedas laterales con las cuales se consigue dar dirección y tracción al robot, sin embargo, en ocasiones se coloran otras ruedas o soportes para conseguir el equilibrio del robot, esta configuración se está aplicando en los robots humanoides. (Baturone, 2005)
- *Robots de una rueda:* Este robot es conocido como ballbot el cual es capaz de mantenerse equilibrado en una sola rueda, este robot es omnidireccional por lo tanto es muy ágil, este tipo de robot es muy apto para terrenos de humanos debido a que tienen una mayor movilidad en comparación a los demás robots, este tipo de robots no puede hacer movimientos rotacionales, este tipo de diseño de locomoción se diseñó en Japón en el año 1997. (Zarei et al., 2018)
- *Locomoción mediante patas:* En esta configuración el robot está suspendido del suelo mediante diferentes puntos de apoyo alrededor de él, estas patas mantienen la estabilidad de toda la estructura del robot y son ideales para terrenos difíciles en donde se encuentran obstáculos. Los mecanismos que hacen que se mueva el robot son mucho más complejos en comparación al uso de ruedas, las configuraciones más comunes son las de 6 y 8 patas. (Baturone, 2005)
- *Locomoción mediante orugas:* Este tipo de locomoción consta de varios eslabones que están fuertemente unidos entre sí, todos estos eslabones forman un cinturón muy flexible, este tipo de estructura tienen una mayor superficie en contacto con el suelo, es por eso por lo que es capaz de moverse en muchos tipos de lugares sin ningún problema.

3.4.2. ROBOTS EN LA AGRICULTURA

Desde hace mucho tiempo los productores se han preocupado por tener una mayor producción en sus cosechas y obtener más ganancias, a lo largo de los últimos años se han podido diseñar máquinas que puedan ayudar a las personas para tener una mayor producción de sus cultivos, no solo se obtiene as cultivos, sino que también los

costos de producción han bajado considerablemente. Los robots pueden disminuir el costo de producción en comparación con la maquinaria que se ha destinado para realizar estos tipos de trabajo, además que son capaces que de combatir las malezas gracias a que algunos poseen cierto grado de inteligencia.(Bawden et al., 2017)

La tecnología juega un papel muy importante en la evolución de los procesos agrícolas debido al crecimiento poblacional, la escasez de agua y energía en diferentes sectores. Los drones juegan un papel muy importante para el monitoreo de las granjas agrícolas gracias a los diferentes sensores nos pueden ofrecer un mapeo de las áreas de producción, así como también de la ubicación de la plantación entre otros aportes muy significativos. Las tecnologías de detección nos ofrecen una importante información, ya que con ella se es capaz de determinar la calidad del suelo, así como sus nutrientes para determinar si esa área es conveniente. (Mekonnen et al., 2020)

La inteligencia artificial puede ayudar más a los diferentes sectores de la agricultura, ya que con la implementación de esta se es capaz de obtener mejores beneficios, con la ayuda de la inteligencia artificial, los agricultores ahora pueden analizar las condiciones climáticas, la temperatura, el uso del agua, el uso de energía y las condiciones del suelo recolectadas de su granja para informar mejor sus decisiones. Gracias a los diferentes sectores utilizados por estos dispositivos se es capaz de tener información sobre los cambios climáticos de los lugares de producción y poder tomar mejores decisiones. (Mekonnen et al., 2020)

la IA se ha utilizado para entrenar un conjunto de datos de hojas de yuca para detectar enfermedades y daños por plagas, y el algoritmo pudo detectar el daño con una precisión del 98%. Los robots pueden ser utilizados para cuidar o cultivas gracias a la implementación de la inteligencia artificial lo que antes incurría en un gasto bastante alto debido a la demanda de bastante mano de obra humana para la realización de todas estas actividades. (Mekonnen et al., 2020)

Debido al alto crecimiento en la población es muy importante poder contar con producciones que nos ofrezcan mucha más producción en las plantaciones, la maleza y los hongos es uno de los problemas que más afecta el crecimiento de los diferentes campos de agricultura, estas malezas generan un 12% de pérdidas de la producción de alimentos en los Estados Unidos. Con la implementación de la robótica se evita el uso de

herbicidas y evitar contaminar el suelo, se utilizan sistemas eléctricos, mecánicos y términos para la eliminación de la maleza en los cultivos.(Champ et al., 2020)

Estos robots son capaces de detectar todo tipo de malezas gracias a los sistemas de visión gracias a la implementación de algoritmos de segmentación semántica, ya que gracias a ellos es posible determinar en cada píxel de las imágenes que planta es maleza y cual fue sembrada por los agricultores. Gracias a este algoritmo es posible tener un buen equilibrio entre la precisión y la velocidad de detección de las malezas, sin embargo, no es posible poder determinar qué tipo de maleza es el que se encuentra en los diferentes cultivos. (Champ et al., 2020)

Actualmente existe una gran variedad de robots dedicados a los diferentes procesos de la agroindustria, tal es el caso que actualmente se aplican robots para la ordeñan de vacas, esta aplicación de los robots ha generado un alto impacto para la producción de leche en los diferentes lugares donde se ha puesto a prueba. Estos robots generan un gran alto capital para los productores, pero también ayuda mucho ya que el hecho de tener un robot para ordeño libera a las personas de sus actividades, así como que este robot es capaz de estar 24 horas en funcionamiento en las granjas. (John et al., 2016)

3.4.3. ROBOTS HUMANOIDES

Las investigaciones del área de los robots se están convirtiendo de mucho interés, los robots humanoides tienen una estructura muy similar a la de las personas, su sistema de locomoción es bípedo ya que este sistema presenta ventajas sobre los robots con sistema de locomoción con ruedas ya que este sistema de locomoción es mucho más adaptable a terrenos difíciles. El problema de los robots con este tipo de sistema de locomoción es poder mantener su estabilidad. El diseño e los robots humanoides depende de las habilidades y de los lugares de trabajo, es porque el diseño de estos robots se considera complejo que consisten en un hardware adaptable, diseño y arquitectura de software.(Saeedvand et al., 2019)

Para que estos robots efectúen su trabajo de la mejor manera en las empresas es muy importante la incorporación de ciertos dispositivos que ayudan a su movimiento,

así como también a poder detectar las piezas que se encuentran en su entorno, dentro de todos los dispositivos podemos encontrar:

- *Diseño de hardware de robots humanoides:* El diseño de la estructura mecánica de los robots humanoides es uno de los aspectos más importantes. Su estructura y cinemática está inspirado en la estructura del cuerpo humano, estos tipos de robots están siendo implementados para poder realizar las tareas de los humanos. (Saeedvand et al., 2019)
- *Actuadores de robots humanoides:* Los actuadores forman una parte muy fundamental en la estructura de los robots humanoides debido a que muchas veces el movimiento de ellos depende de la calidad de los actuadores en sus diferentes actuadores, las articulaciones esféricas son unas de las más utilizadas en las extremidades de los robots. Los servomotores son de los más utilizados en los robots humanoides, sin embargo, en ocasiones es mejor utilizar actuadores hidráulicos o neumáticos cuando se quiere realizar tareas donde se ocupa hacer levantamiento de cosas pesadas. (Saeedvand et al., 2019)
- *Sensores de robots humanoides:* Los sensores son unos de los elementos que les proporcionan información a los robots sobre el medio que los rodea, actualmente no existe un sensor que sea capaz de darle al robot las habilidades que posee el humano. Los sensores más utilizados son los sensores laser, sensores de cámara, sensores táctiles. Los robots humanoides utilizan sensores para determinar su localización o para hacer un mapeo de su entorno. (Saeedvand et al., 2019)

3.4.3.1 Inteligencia artificial para recolección de café

En el año 1966 se creó el programa ELIZA el cual fue creado en el laboratorio de inteligencia artificial del MIT bajo la supervisión del Joseph Weizenbaum, este programa es se encarga del procesamiento del lenguaje para que las personas y los robots puedan tener conversación coherente. Luego de la creación de este programa se avanzó en cuanto a la tecnología de los robots y se pudo hacer un robot de 6 grados de libertad para soldadura por punto. En el año 1968 David E Rumelhart, Geoffrey E Hinton y Ronald J Williams realizaron una versión mucho más moderna del algoritmo de retro propagación, este estudio fue tan importante que es utilizado incluso hoy en día. (Haddadin & Knobbe, 2020)

La recolección de café con la implementación de inteligencia artificial y redes neuronales es una solución viable, ya que mejora la calidad de los frutos recolectados, así como también ahorra dinero y tiempo para la recolección ya que no sería necesario la ayuda de muchas personas como en las técnicas que anteriormente se utilizaban. Con la utilización de las redes neuronales el trabajo sería más eficiente y rentable en comparación con los métodos anteriores. (Fuentes et al., 2020)

3.4.3.2 Aplicaciones de los robots humanoides

En las últimas décadas la aplicación de los robots humanoides se ha incrementado, muchos de los fabricantes dan a sus robots ciertos tipos de herramientas para que puedan ser utilizados en diferentes áreas. Actualmente existen 4 tipos de áreas en las que los robots humanoides son aplicadas que son:

- *Servicio*: Esta es una aplicación muy interesante para los robots humanoides, estos servicios se pueden dar en los hogares, la educación, la medicina o para entretenimiento, esta aplicación es de mucho incremento ya que con la aplicación de estos robots las personas pueden tener muchas más comodidades en sus casas, o incluso pueden ser de mucha importancia en las aplicaciones para la atención de pacientes en los hospitales. (Saeedvand et al., 2019)
- *Entornos de alto riesgo*: Después de los desastres la incursión de los humanos en esos lugares es de difícil acceso o muchas veces son peligros, es por eso por lo que la aplicación de robots humanoides con sistemas que sea adaptables a cualquier entorno es de mucha ayuda, los rescates, los viajes espaciales o las plantas nucleares son unas de las aplicaciones que estos robots pueden tener.

3.4.4. ROBOTS INDUSTRIALES

Los robots industriales son aquellos que son programados para realizar una tarea en específico y de manera repetitiva, pero también pueden ser programas para otro tipo de actividades. En los últimos años la aplicación de robots se está volviendo más común para tareas que son tediosas o peligrosas para los trabajadores como ser: el ensamblaje, la soldadura, manipulación de objetos muy calientes o pesados, en las industrias químicas y en el ensamblaje de automóviles. (Ruishu, Chang, & Weigang, 2018). (Lien, 2019)

3.4.4.1 Estructura de un robot manipulador

- *Estructura mecánica:* la estructura de los robots está compuesta por eslabones que son conectados mediante articulaciones. Físicamente los robots manipuladores son similares a la estructura del brazo humano.
- *Grados de libertad:* Los grados de libertad son los que determinan el movimiento que pueden realizar las articulaciones. Los grados de libertad casi siempre son la misma cantidad que el número de eslabones que posee el robot. Para definir la orientación de un robot se necesitan seis parámetros, 3 para definir su posición y 3 para su orientación, esto se ocupa para orientar el final del brazo o la herramienta que realiza el trabajo.
- *Eslabones:* estos se unen a una articulación, dos eslabones unidos forman una articulación, estos eslabones son livianos, pero a la misma vez son rígidos ya que soportan cierto peso.
- *Articulaciones:* son los que permiten el movimiento entre los elementos que se encuentran en contacto, existen dos tipos de articulaciones que son: la prismática, que permite el deslizamiento en línea recta del eslabón y la esférica que se ve como una bisagra entre los eslabones.

En la actualidad en las empresas existen muchos tipos de robots manipuladores, los cuales son diferenciados según el tipo de movimiento que sean capaces de realizar, ya que para cada tarea que ellos realicen se les tienen que equipar con articulaciones que sean capaz de llegar hasta donde se le pida o realizar su acción, dentro los robots industriales se encuentran:

Robots cartesianos: Los robots cartesianos están compuestos por 3 enlaces lineales ortogonales que constituyen el brazo y 3 enlaces giratorios que comprenden la muñeca. El control de este tipo de robot industrial es muy fácil, se puede apreciar como una maquina CNC de 6 ejes, este tipo de robots son adecuados para trabajos que sean lineales, sin embargo, su robusta estructura en ocasiones es un problema. (Production Engineering, 2019)

Robots de coordenadas cilíndricas: Estos robots se encuentran sobre una base giratoria en el que el brazo consta de dos enlaces lineales ortogonales, en comparación con los robots cartesianos, la configuración de ellos robots cilíndricos ofrecen un mayor

volumen de trabajo. En cuanto al sistema de control de estos robots se hace mediante ecuaciones trigonométricas por lo tanto son mucho más difícil de programar en comparación a los robots cartesianos. (Production Engineering, 2019)

Robots Scara: Estos robots se consideran como una Subdivisión d ellos robots de coordenadas cilíndricas, este tipo de robot se utiliza bastante en la industria para el ensamblaje debido a que ofrece un amplio movimiento en lo que es el eje vertical, sin embargo, también se puede utilizar para otro tipo de actividades. (Production Engineering, 2019)

Robots de coordenadas esféricas: Este tipo de robot ofrece una mejor relación entre volumen de la maquina y volumen de trabajo, sin embargo, se ha visto afectado debido a que su control es muy complejo, y hoy en día ha desaparecido de las industrias por ese motivo. (Production Engineering, 2019)

3.4.4.2 Aplicación de robot industriales

- *Mejora de la calidad:* Estos robots requieren una mejor calidad en cuanto a los materiales en la entrada para que puedan trabajar de una manera óptima, por lo tanto, los productos finales son de mejor calidad en comparación a los que podría ser un humano.
- *Problemas de salud de los trabajadores:* Estos robots son aplicados muchas veces en las áreas en las que causa un daño a la salud de las personas, es por eso por lo que son importantes en las industrias donde se trabaja con algún material que perjudica la salud de las personas.
- *Reducción del tiempo de producción:* Este es uno de los aspectos más importantes de todos los robots industriales, ya que para una empresa es mucho mejor si sus productos son elaborados de manera más rápido, porque esto se convierte en una mayor cantidad para toda la empresa.
- *Reducción de errores:* Con la aplicación de estos robots en las actividades industriales se minimizan la cantidad de errores que se pueden cometer, ya que estos robots son muy precisos en los trabajos a los que están diseñados.

3.5 TELEOPERACION

Los robots pueden ser autónomos o inteligentes, teleoperadores y repetitivos, depende de que tan autónomos sean. Los robots teleoperados son aquellos en donde el operador está en una posición remota y él le indica al robot las acciones que debe realizar.

La teleoperacion se conoce como la acción de poder manejar un dispositivo desde una distancia considerada, debido a la dificultad de poder realizarla porque es un lugar de difícil acceso o es muy peligroso para las personas. (Argin & Bayraktaroglu, 2019)

Los sistemas de teleoperacion fueron desarrollados a en el año 1940 debido a la necesidad de manipular materiales radioactivos. Los teleoperadores permitían a los operadores poder manipular cualquier tipo de materiales radioactivos desde una distancia considerable, los operadores humanos se encontraban en una cabina de concreto y no corrían ningún riesgo alguno de sufrir daños en su salud por este tipo de materiales. (Montañez Barrera & Pinto Salamanca, 2017)

Los sistemas teleoperados les permite a las personas controlar un robot(esclavo), mediante un canal de comunicación, estos robots están designados para realizar tareas que son complicadas como ser la cirugía asistida, traslado de sustancias químicas, etc.(Pliego-Jiménez et al., 2019)

3.5.1 ROBOTS TELEDIRIGIDOS

El Uso de los robots a control remoto son una gran ayuda para las personas en circunstancias que son criticas como ser los desastres naturales o en algunos casos el transporte de algún tipo de material. Para el uso de este tipo de robots que son controlados por un operador, se define que es muy importante un sistema de visión para que el operario sepa con exactitud en los lugares en los que el robot está trabajando.(Minamoto & Yamamoto, 2012)

Con el uso de controles se hace mucho más fácil a los operadores ordenas las operaciones que los robots deben de realizar, ya que existen comandos a los que los robots van a obedecer, y para lo operados bastante con conocer estos comandos para

poder utilizar los robots para cualquier tarea que estos puedan realizar. Para poder controlar estos robots se puede realizar mediante controles remotos o con joystick

3.5.2 ROBOTS TELEOPERADOS

Al hablar de la tecnología es muy importante conocer varios términos que se mostraran a continuación:

Teleoperacion: consistente en una gran cantidad de dispositivos que hace posible la manipulación de un dispositivo desde la distancia por un humano. Por eso es por lo que decimos que el termino teleoperar es la acción que realiza un ser humano para poder controlar un dispositivo desde cierta distancia, y el dispositivo teleoperador es el que es controlado por el ser humano. (Ortega, 2004)

Telerobotica: Son el conjunto de tecnologías que hace posible la manipulación o reprogramación de un robot. En este caso el robot que está siendo operado se llama robot teleoperado o telerrobots. (Ortega, 2004)

Telepresencia: la telepresencia se logra cuando le mandos al ser humano una cantidad importante de información sobre el medio que rodea al robot. La telepresencia es cuando un ser humano siente como que estuviera presente en un lugar lejano, pero este está en otra parte. (Ortega, 2004)

Realidad Virtual: Esto se da gracias a la información que se envía desde un computador, es cuando una persona siento que se encuentra en un lugar lejano del que verdaderamente se encuentra en ese momento. Se conoce como realidad virtual al lugar que se hace creer a la persona que se encuentra. ((Ortega, 2004)

Realidad aumentada: Es cuando la información que se envía de los sensores del medio que lo rodea es modificada o alterada desde una computadora y este siente que no se encuentra en ese lugar remoto, aunque en la realidad si lo esté. (Ortega, 2004)

La teleoperacion se está convirtiendo en un campo muy importante de la robótica ya que el ser humano puede utilizar toda su inteligencia para poder control un robot desde una distancia remota, en este tipo de control el robot no toma sus decisiones, sino que el humano utiliza su conocimiento y le indica al robot que movimiento realizar para efectuar la tarea de una mejor manera. El robot acepta cada una de las acciones que el

operario le indique que realice a través de una red de comunicación, y el robot les envía la información gracias a sus diferentes sensores y realiza las acciones por la incorporación de actuadores. (Fang et al., 2017)

Los robots pueden ser autónomos o inteligentes, teleoperados y repetitivos, depende de que tan autónomos sean. Los robots teleoperados son aquellos en donde el operador está en una posición remota y él le indica al robot las acciones que debe realizar. Los robots teleoperados son aplicados en las áreas en donde las personas ponen en riesgo la integridad de su salud o en lugares donde es de difícil acceso. Los robots teleoperados también son aplicados en los procesos para mejorar la calidad del rendimiento en las diferentes tareas de las empresas, los robots teleoperados constan de sensores, actuadores y un sistema de comunicación para realizar de mejor manera su trabajo. (Jurisica et al., 2018)

Debido a las diferentes actividades que los telerrrobots realizan, es muy importante que sean muy confiables en los trabajos que se le asignan, es por ellos que los sistemas de control y los diferentes sensores que se utilizan tienen que ser los más adecuados y confiables para las aplicaciones que se le dará al robot. Para que el operador del robot realice su trabajo de una mejor manera es indispensable que él sepa con exactitud la información del robot como ser: su posición, el estado. (Jurisica et al., 2018)

3.5.3 ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE TELEOPERACIÓN

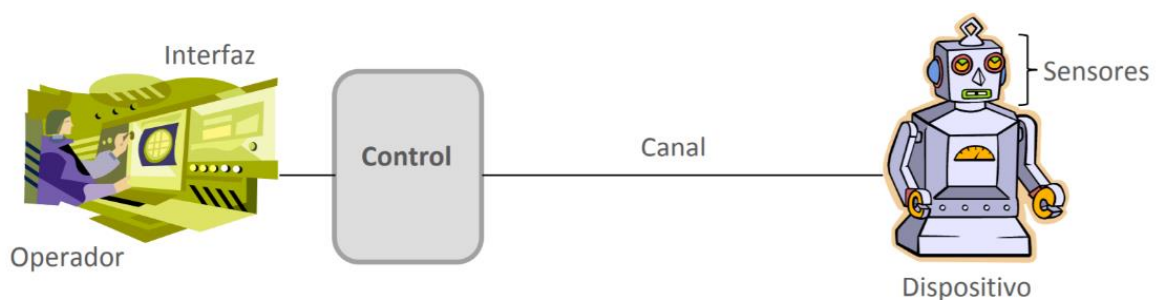


Figura 4- Elementos de un sistema de teleoperación

Fuente: (Ballesteros, 2012).

- *Operador*: El operador de los robots es que se encarga de dar las instrucciones de los movimientos al robot que se está controlando, la persona operadora se puede encontrar a una corta distancia o a cientos de metros dependiendo de la actividad que el robot este realizando. En el caso de la cirugía, el cirujano se

puede encontrar a la par del robot al que está controlado para que este pueda realizar mejor su trabajo, pero los robots que se encargan de la exploración espacial se pueden encontrar a miles de kilómetros de distancia. (Pelikan, Cheatle, Jackson, & Jung, 2018).

- *Interfaz*: La interfaz son todos los dispositivos que permiten la comunicación entre el operador y el dispositivo que está siendo operado, pueden ser los dispositivos para mover el robot como ser el joystick, así como la cámara que posee el robot para que el operador puede dar lo que el robot está grabando.
- *Control*: se encarga de transformar las señales que envía el operador al robot, esto hace que capaz que el robot pueda moverse cuando el operador mueve el joystick de un lado hacia otro.
- *Sensores*: Los sensores son los que dan la información al robot sobre todo el medio que lo rodea.
- *Dispositivo teleoperado*: se refiere al dispositivo que está siendo controlado desde la base por el operador, generalmente estos dispositivos son robots que se emplean para poder realizar algún tipo de actividad que sea muy peligrosa para los seres humanos o para explorar lugares a los que las personas tendrían problemas en acceder.

3.5.4 DISPOSITIVOS DE RETROALIMENTACIÓN DE UN SISTEMA TELEOPERADO

Los dispositivos de retroalimentación son los que se encargan de dar información al robot sobre el lugar en el que se encuentra, dando información sobre posibles obstáculos que se encuentran, hay varios dispositivos de retroalimentación los cuales se describirán a continuación:

- *Vista*: Este tipo de retroalimentación se puede realizar mediante imágenes de los alrededores del robot, estas pueden tomados por cámaras que estén incorporadas en el sistema del robot, o por cámaras que se encuentren previamente instaladas por las personas.
- *Oído*: Este tipo de retroalimentación no es tan utilizado, este se puede dar mediante las ordenes de un operador o por algún tipo de sonido que le indique una acción preestablecida al robot, sin embargo, este tipo tiene una ventaja, ay

que el operador no tiene que estar siempre concentrado en lo que el robot está haciendo.

- *Tacto*: Esta se encarga de darle información al operador sobre la estructura del robot, ya que puede proporcionar información si en algún momento el robot pudo haber sufrido un cho con una superficie, también le da una idea al operador sobre las dimensiones que un objeto que el robot este manipulando.

3.5.5 APLICACIONES DE LOS ROBOTS TELE OPERADOS

- *Plantas nucleares*: los robots tele operados son muy utilizados en las plantas nucleares, actualmente las plantas nucleares han tenido un crecimiento significativo, sin embargo, los materiales que ahí se manejan son de alta peligrosidad para la salud de las personas, es por eso por lo que se implementó los robots tele operados, en donde un operador desde una cabina le indica al robot que acciones realizar. (Teoh & Ziemke, 2002)
- *Viajes espaciales*: Actualmente se tienen mucho interés en lo que es la exploración del espacio, pero en ocasiones mandar personas al espacio es muy complicado debido que estos viajes pueden tarde años y no se certifica si las naves con los tripulantes van a venir de nuevo después de tanto tiempo, es por eso que se utilizan robots para hacer estas expediciones, estos son manipulados desde una central y ahí se puede ver los lugares en donde el robot esta mediante sistemas de visión (Teoh & Ziemke, 2002). Hay varias razones por las cuales se aplican estos robots en los viajes espaciales que se nombran a continuación:
 - *Seguridad*: Esta es una de las principales razones por la que en vez de mandar personas se envían este tipo de robots, ya que en años anteriores se tiene de registro de que han muerto muchos astronautas cuando son enviados al espacio.
 - *Costo*: enviar un robot es mucho más barato que enviar una persona, ya que para que una persona valla al espacio se requieren muchos equipos especiales que son bastante costosos.
 - *Tiempo*: En ocasiones las expediciones pueden durar muchos años, es por ello por lo que se prefiere enviar estos robots.

- *Medicina:* La medicina es un área en la cual últimamente se está implementando una gran cantidad de robots, los robots tele operados se están usando en un área muy compleja como lo es la microcirugía, en la cual el operador es un doctor cirujano, estos robots estas equipados con sensores y actuadores que son especialmente para este tipo de actividad. (Pelikan, Cheatle, Jackson, & Jung, 2018).
- *Ejercito:* mucha de las actividades que realizan los soldados son de mucho peligro, es por ello por lo que se está empleando a implementar robots en la desactivación de bombas, ya que de salir algo malo solo se perdería el dinero de la construcción del robot, pero se salvaría la vida de una persona. Estos robots tienen otras utilidades como ser salva vidas, apagar incendios entre otras. (Teoh & Ziemke, 2002)

3.6 RADIOCOMUNICACIÓN

Con el paso de los años el hombre ha evolucionado gracias a la tecnología, la comunicación es muy importante en la vida cotidiana de las personas debido que a ello el hombre pueda dar información sobre qué hacer a un grupo grande de personas. Con el paso de los años la población ha ido en constante aumento, es por eso por lo que es muy importante llevar la información a todas las personas de una manera eficiente y a larga distancia. Hoy en día se están empleando dos sistemas de comunicación que son: los inalámbricos y los guiados.(Gómez Rojas et al., 2019). Dentro de la radio comunicación tenemos varios términos que son importante que se describirán a continuación:

Ruido: En todos los sistemas de comunicación se encuentran distorsión de la señal que queremos enviar, los problemas del ruido es la radiocomunicación es que es un problema que no se puede evitar, siempre que queramos mandar una señal estar presente. Los ruidos pueden ser naturales o artificial, aunque el que más impacto negativo tienen en la radio comunicación es el ruido térmico.

Propagación radioeléctrica: Las ondas electromagnéticas se pueden propagar en diferentes lugares dependiendo el lugar atmosférico y geográfico en el cual se encuentra el emisor y el receptor de las señales. Las ondas de los sistemas de

radiocomunicación presentaran ciertas características de beneficio dependiendo de la frecuencia a la que trabaja.

Radiación: En todos los sistemas de radiocomunicación se debe contar con un elemento que sea capaz de mandar a la onda electromagnética en el sentido más adecuado para su recepción. Esto se logra mediante la implementación de una antena, este dispositivo tan esencial en un sistema de radiocomunicación se describe como un dispositivo para radiar y recibir ondas electromagnéticas.

3.6.1. APLICACIONES DE LA RADIOCOMUNICACIÓN

- *Telefonía:* Alrededor del año 2000 la telefonía estaba constituida por cables coaxiales que interconectaban todos los diferentes dispositivos, luego de eso pasamos a lo que es la fibra óptica, esta ofrece una mayor velocidad en la transmisión de los datos, sin embargo, esto no fue suficiente para el hombre ya que hace pocos años se pasó a lo que hoy en día se conoce como sistemas de radio, en donde todos estamos conectados sin la necesidad de un cable para poder comunicarnos. (Gómez Rojas, 2019).
- *Bluetooth:* Según la IEEE el bluetooth es una tecnología de media velocidad, este emerge del estándar de las de baja velocidad en el procesamiento de los datos, su configuración es la zig bee que es en malla, al fallar un nodo que está conectado esta busca otro dispositivo para poder hacer conexión automáticamente.
- *Satélite:* Esta es una de las aplicaciones en donde es mucho más aprovechada la radiocomunicación, ya que estos son controlados desde miles de kilómetros de distancia, para poder hacer un enlace satelital se necesitan dos transpondedores de los cuales uno se ocupa para el ascenso y otro para el descenso.

3.7 SISTEMAS DE VISIÓN DE LOS ROBOTS

Los sistemas de visión son una de las preocupaciones por parte de los fabricantes de los robots para navegación y percepción robótica, los sistemas de visión pueden ayudar mucho a los robots autónomos para poder entender e interactuar con el mundo que lo rodea y evitar sufrir daños debido a los diferentes obstáculos u objetos que lo rodean. En los últimos años ha surgido una necesidad de poder monitorear el

crecimiento de las plantas en diferentes lugares, gracias a todos los dispositivos móviles que poseen ahora es capaz de crear un sistema para monitoreo de plantas, así como también ayuda a la producción de sus frutos. Anteriormente las computadoras eran demasiado grandes y se hacía más difícil poder estar monitoreando las plantaciones que se deseaban, sin embargo, hoy en día se cuenta con diferentes dispositivos integrados y con la comodidad de lo que son las computadoras portátiles que hace más fácil poder movilizarse a los entornos más difíciles.(Qiaoyu et al., 2019)

Para poder determinar el crecimiento de las plantas es muy importante mapear cada una de ellas determinando el color, altura y el área en la que se encuentran, el flujo de procesamiento de las imágenes incluye: filtro, transformación del espacio de color, imagen segmentación, operaciones morfológicas. En los sistemas de visión para la robótica se aconseja utilizar equipos de video como ser las cámaras, ya que estos se pueden elegir según el tipo de aplicación que se le valla a dar a el robot, el beneficio de usar las cámaras es que se pueden conectar más de una en un solo robot para poder tener un mayor rango de visión sobre el medio que rodea el robot y además estas cámaras pueden tener un precio bajo.(Matviichuk et al., 2016)

Los robots autónomos solo pueden realizar sus movimientos si tienen toda la información del medio en el que se encuentran y saber dónde están los objetos que le podrían dificultad para moverse, para poder brindar toda esta información a los robots la mejor opción es un sensor visual, según estudios el 75 por ciento de la información que los humanos extraemos del entorno proviene de la visión. Los robots de visión actualmente son indispensables en los robots autónomos.(Zhang, 2019)

IV. METODOLOGÍA

La metodología es la que nos ayuda a poder cumplir los objetivos que tenemos en la investigación, ya que con la aplicación de una metodología correcta para el proyecto podemos determinar cuáles serán los dispositivos adecuados para el correcto funcionamiento del dispositivo final. En nuestro caso elegiremos cual es la mejor manera de implementar el sistema de visión en el robot.

4.1. Enfoque

El siguiente proyecto de investigación se considera que es de enfoque cuantitativo, ya que hay varios valores numéricos que influyen en el correcto funcionamiento del sistema electrónico y del sistema de visión del robot. Luego de varias pruebas que se le realizaran podremos llevar el robot a trabajar en las fincas de café y poner a prueba cada uno de sus sistemas.

4.2. Variables de investigación

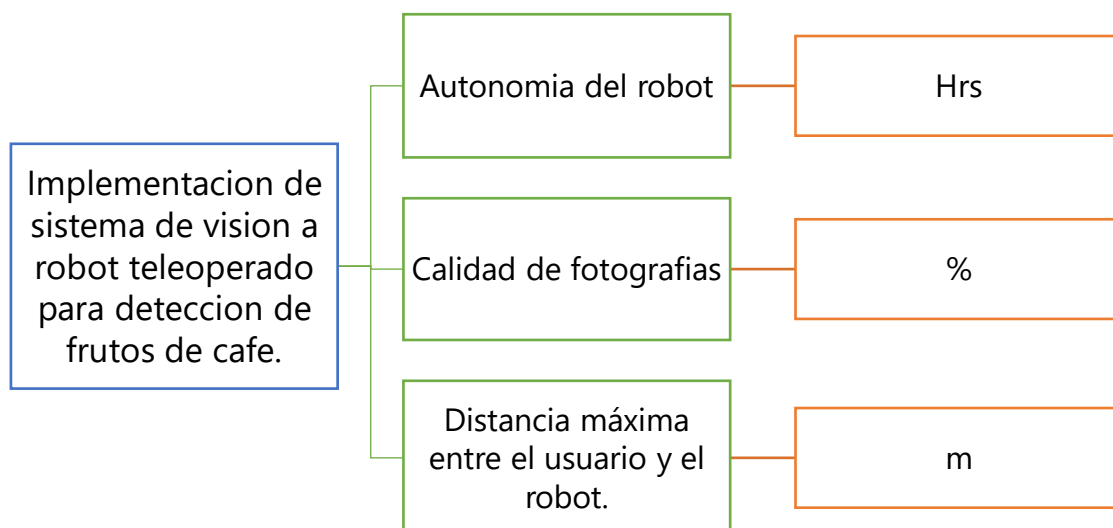
Las variables de la investigación las podemos encontrar definiendo cual es el problema que queremos solucionar, en este caso haremos una tabla con las partes importantes para la realización de la investigación como ser, el problema que se está acatando, el objetivo general y los específicos, las preguntas de investigación, las variables dependientes e independientes del proyecto, todo esto lo encontraremos en la tabla 1.

Tabla 1- Variables de investigación

Implementación de sistema de visión para la detección de frutos en robot teleoperado					
Problema	Objetivo General	Preguntas de Investigación	Objetivos Específicos	Variables Independientes	Variables Dependientes
¿Detectar que frutos de café están listos para su recolección?	Verificar el funcionamiento del robot y su movilidad en la finca de café una vez instalado cada uno de sus dispositivos para determinar que sea	1) ¿Verificar el funcionamiento del robot en la finca de café? 2) ¿Verificar si los materiales son los adecuados para las ruedas, estructura y housing del robot? 3) ¿Verificar la comunicación	1. Determinar los materiales adecuados para las ruedas y la estructura del robot y los housings de sus componentes. 2. Verificar si el software es capaz de establecer comunicación con el robot y	Autonomía del robot Calidad de fotografías	Determinar el porcentaje café maduro en las fincas de café mediante la aplicación de un robot

	capaz de sobrepasar los obstáculos que se le presenten.	n entre el robot y software para la toma de las fotografías? 4) ¿Verificar la calidad de las fotografías tomadas con la cámara del sistema de visión?	de guardar las fotografías que se tomaron. 3. Determinar qué porcentaje de las fotografías tomadas posee buena calidad.	Distancia máxima entre el usuario y el robot.	móvil teleoperado.
--	---	--	--	---	--------------------

Tabla 2- Diagrama de variables de investigación



Fuente: Propia (2020)

4.3. Técnicas e Instrumentos

Las técnicas e instrumentos implementados fueron de mucha ayuda para la conclusión del proyecto, ya que mediante diferentes pruebas que se realizaron nos

ayudó para tener una mejor información sobre qué tipo de dispositivos utilizar para la conclusión del prototipo final.

Para obtener mucha más información sobre el tema del cual se estaba investigando se tomó información sobre documento que fueran muy confiables, como ser libros, revistas de que hayan sido publicadas en congresos de prestigio y para tener una mejor información se buscó información que sea reciente.

4.4. MATERIALES

Los materiales utilizados son los que nos ayudaron a la elaboración de nuestro prototipo final e hicieron que este pudiera moverse en la casa de nuestro robot y nuestro sistema de visión.

- Cámara: son las que componen nuestro sistema de visión y nos proporcionan las imágenes de las plantas de café.
- Control Remoto: mediante este control podremos realizar la manipulación de nuestro robot y dirigirlo hacia la zona que queramos.
- Receptor: este dispositivo es el que nos ayuda a poder conectarnos desde la computadora hacia nuestro robot.
- Robot: Este es el más importante en toda la investigación debido a que sobre él se montaran los demás dispositivos y cumpliremos con la finalidad de poder detectar los frutos de café.

4.5. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

En la siguiente sección se hablará de la sección que se utilizará para la resolución del problema que se planteó en un principio, la metodología que se utilizará será la metodología en espiral ya que en este proyecto se integran la parte electrónica del robot con el sistema de visión.

En esta metodología se realizan 4 espirales en donde cada una hace referencia a una actividad en específico, una vez termina una actividad empieza otra y dentro de cada una de las actividades hay diferentes procesos.

4.5.1 NIVEL DE SISTEMAS

- Sistema electrónico

El sistema electrónico del robot está conformado por los drivers para el control de los motores, y los 4 motores que son instalados en el robot, los cuales proporcionan la movilidad al robot para que sea capaz de superar cada uno de los obstáculos que se le presenten en la finca de café. En el robot se utilizó un microcontrolador PIC18FK22 para el control de los motores del robot.

- Sistema de potencia

Para la alimentación principal del robot se utilizaron 2 baterías de diferentes voltajes, se utilizó una batería de 7 Voltios para la alimentación de la placa electrónica, microcontrolador, y una batería de 12 voltios para la alimentación de los drivers y los motores del robot.

4.5.2 NIVELES DE SUBSISTEMAS

- Subsistema de control

El control del robot es teleoperado, se realiza con la implementación de un control remoto, esta manda los comandos a un receptor que está instalado en el robot, con el control se le indica las direcciones de movimiento del robot que se desea que este realice.

- Subsistema mecánico

El diseño del robot está elaborado de aluminio debido a que este material posee buena resistencia a los golpes, lo cual es importante debido a que en las fincas de café se presentan diferentes obstáculos que pueden dañar la estructura del robot si no está elaborada de los materiales adecuados. Para las ruedas del robot de elaboraron 2 ruedas delanteras de TPU y las dos ruedas traseras están elaboradas de PET.

- Subsistema de cableado

Se busca el cable más apto para la corriente que circulara en él, en general no se utilizara corrientes muy altas ya que el dispositivo no exige mucha carga eléctrica más que la alimentación consumida por el efector que viene del controlador.

- Subsistema de visión

Para que el robot pueda ser capaz de tomar las fotografías de los frutos de café se instaló un sistema de visión, el cual está conformado por una cámara de drones que se instaló en la parte superior del dron, la cámara está alimentada por una batería de 11.2 Voltios,

con esta cámara se tomaran las fotografías para posteriormente analizarlas y determinar el estado de los frutos de café.

4.5.3 INTEGRACIÓN DE LOS MATERIALES

- Para el sistema electrónico del robot se realizaron pruebas para verificar que la placa electrónica funcionaba correctamente y que el microcontrolador es capaz de controlar el funcionamiento del robot. Los componentes se instalaron en el robot en un housing impreso a la medida bajo la estructura del robot para evitar que estos sufrieran daños.
- Al momento de integrar las ruedas del robot se utilizaron varios soportes que se imprimieron para que las ruedas no corrieran el riesgo de soltarse del robot al momento de estar realizando las pruebas.
- El sistema de control del robot es mediante un receptor el cual se instaló justo con la placa del robot, y el control remoto es el medio por el cual el usuario es capaz de manipular el robot.
- El sistema de visión del robot se instaló en la parte superior del housing de las baterías para que quedara en una altura considerable para que fuera capaz de tomar imágenes de los frutos de café.

4.6. METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN

El proyecto de investigación no se considera que es apto hasta que se le hagan diferentes pruebas en campo o que las diferentes pruebas aplicadas den un resultado prometedor. Las pruebas que se le realizarán serán la puesta en marcha en las fincas de café, comprobar que su sistema de visión cumple con su misión, y determinar que puede ser controlado desde un área remota con el control.

4.7. CRONOGRAMA

Para la creación de nuestro cronograma se tomó en consideración las 10 semanas del periodo académico de la universidad se realizaron las actividades de manera secuencial. Se comenzó con el planteamiento del problema, luego se hizo la recopilación de la información relacionada a nuestro proyecto, y por último la presentación de la metodología que seguiremos para la culminación de nuestra investigación. Luego de eso se inició la integración entre el sistema de visión y el sistema electrónico de nuestro robot, y por último se analizaron los resultados de las pruebas hechas al robot.

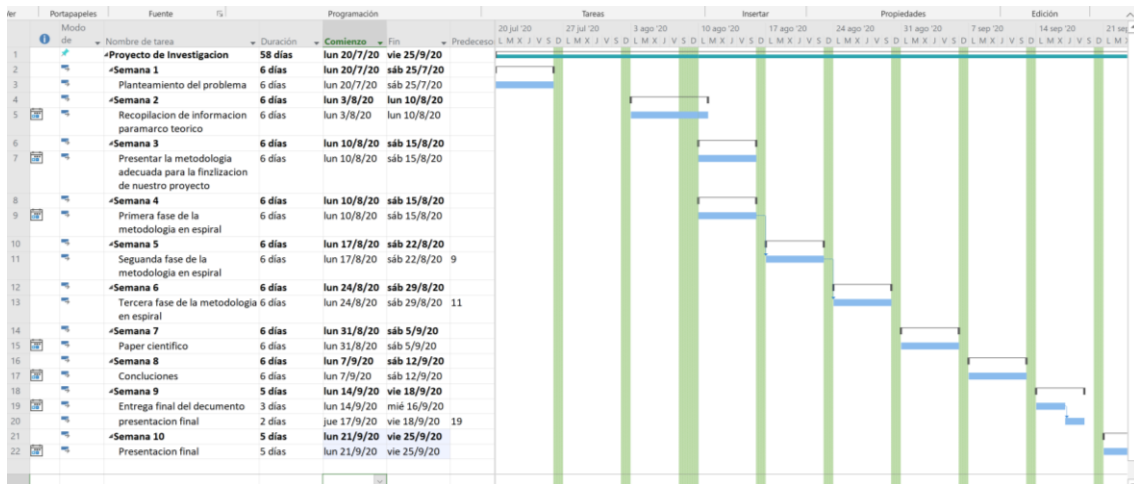


Figura 5- cronograma de actividades

Fuente: Propia (2020).

V. ANÁLISIS Y RESULTADOS

En el siguiente capítulo se hará uso de las teorías de sustento que se presentaron en el marco teórico para la implementación de los diferentes sistemas y componentes de los que está compuesto el robot, luego se harán pruebas y se comprobarán los resultados con las teorías que anteriormente se tenían respecto a nuestro tema de investigación.

5.1. ANÁLISIS DE TEORÍAS DE SUSTENTO

Hoy en día los robots móviles con sistema de locomoción mediante ruedas son de los que más se aplican a la vida cotidiana a las personas, ya que son los más fáciles de implementar para la mayoría de los terrenos, además que las ruedas son uno de los sistemas que presenta menos dificultad en su construcción.

El tipo de rueda es algo muy importante para que el robot tenga una mejor estabilidad en los diferentes terrenos, además que el sistema Ackermann es por mucho el más utilizado debido que brinda una mayor estabilidad al robot, ya que este es compuesto por 4 ruedas y corre menos peligro que el robot pueda volcarse al realizar un giro o cambio en su dirección

La teleoperación de los robots es algo que nos brinda mucha ventaja a la hora de poner en prueba un robot ya que lo podemos realizar desde una cierta distancia, y esto

nos ayuda bastante cuando el robot se pondrá a prueba en un área que es de alto peligro para las personas.

los sistemas de visión son muy importantes para los robots ya que con ello nos ayuda para tener una mejor visualización de la posición y de los diferentes objetos o elementos que rodean al robot y así dirigirlo por la mejor zona sin que haya peligro que esta sufra daños en su estructura.

5.2. RESULTADOS

Para el cumplimiento de la metodología, siguiendo un análisis secuencial de un resultado hacia el otro se analizaron los resultados con respecto a cada ciclo para así obtener un desarrollo de prototipo final.

5.2.1. PRUEBAS DE LAS RUEDAS EN CAMPO

Las ruedas son una parte muy importante para los robots, ya que de ellos depende que tan bien se podrán desplazar, si se cuenta con ruedas que no son apropiadas para las actividades a las cuales el robot se pondrá a prueba nos quitará movilidad al robot. Una vez ya se contaba con las rudas instaladas en el robot se procedió a las pruebas en la finca de café. En el robot se montaron cuatro ruedas de las cuales las ruedas delanteras eran fabricadas con TPU y las ruedas traseras se fabricaron con PET. A la hora de poner el robot a trabajar en la finca se notó un cambio bastante importante en cuanto al funcionamiento de las ruedas, ya que las ruedas de TPU al ser de un material blando nos ofrecían mayor tracción al robot, en cambio las ruedas de PET que es un material más duro en ocasiones tenían problemas para moverse en las pendientes o patinaban, lo cual nos quitaba poder al robot.

Para determinar cuál es el material más adecuado para las ruedas del robot, se llevó al campo para ponerlo a prueba y hacer comparación entre los dos tipos de rueda que se le instalaron. En las pruebas realizadas se observaron diferentes comportamientos en las ruedas, ya que se observó que una de las ruedas utilizadas nos ofrecía mayor tracción al robot.

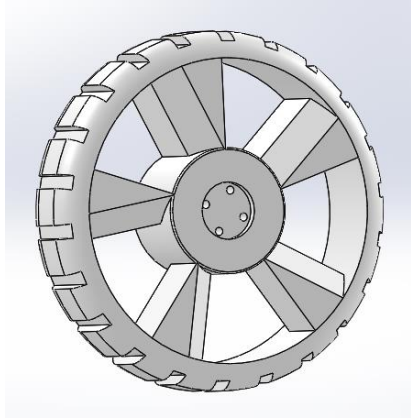


Figura 6- Rueda fabricada con PET

Fuente: Leonel Aguilar (2020).

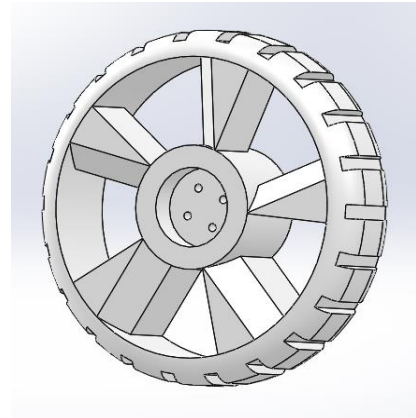


Figura 7- Rueda fabricada con TPU

Fuente: Leonel Aguilar (2020).

Para las pruebas de las ruedas se hizo que el robot estuviera en constante movimiento en la finca de café, se hizo que, recorrida bastante tiempo por cada uno de los surcos de café, así como también se le colocaron algún tipo de obstáculos para verificar que las ruedas no presentaban problemas en poder pasar cada uno de ellos. Se puso a prueba las ruedas del robot ya que los días que se probó había llovido previamente lo cual generaba una dificultad extra para el robot, además que se hizo pasar por algún tipo de pendientes para observar que los motores nos proporcionaban la fuerza necesaria para que el robot se desplazara sin ningún tipo de problema.

Las ruedas del robot estaban sujetadas a los ejes del robot con dos tornillos prisioneros los cuales en ocasiones tendían a aflojarse ligeramente debido a los obstáculos por los cuales se hacía pasar el robot, esto generó un problema ya que se tenía que estar pendiente de que las ruedas estuvieran bien sujetas para que funcionaran de una manera óptima.

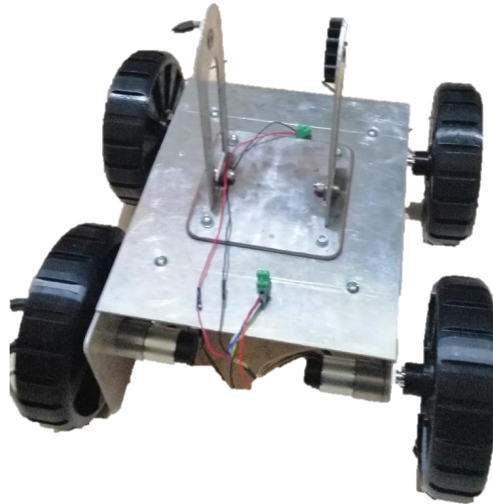


Figura 8- instalación de ruedas al robot

Fuente: Propia (2020).

5.2.2. PRUEBAS DE SISTEMA DE VISIÓN CON SOFTWARE

Cuando se ya se tenía la cámara y el software correctamente instalado se comenzó con la toma de las imágenes para verificar que cada una de ellas nos funcionaba de manera correcta. El software que se utilizó es de muy fácil utilización por lo cual se tuvieron buenos resultados al momento de estar realizando las pruebas. Se obtuvieron buenos resultados ya que la comunicación entre el robot y el software fue buena desde el momento que se empezó a implementar este software.

Gracias a la implementación de este software se lograron tomar alrededor de 1000 imágenes en un estimado de 7 horas, las cuales se fueron a tomar en dos días debido a que las baterías que se utilizaron nos duraron un aproximado de 3 horas.

Para la toma de estas imágenes se hizo que el robot en movimiento pasara por en medio de los surcos de café y que este fuera tomando un lado de las plantas de cada uno de los surcos. El software que se utilizó para que la cámara fuera capaz de tomar las imágenes por si sola fue TRAINER, con este software se tuvo una impresión positiva ya que es de fácil manejo y nos ofrecía la ventaja que no teníamos que estar constantemente supervisándolo, ya que solo le establecíamos los parámetros que nos pedía y el automáticamente iba tomando las imágenes.

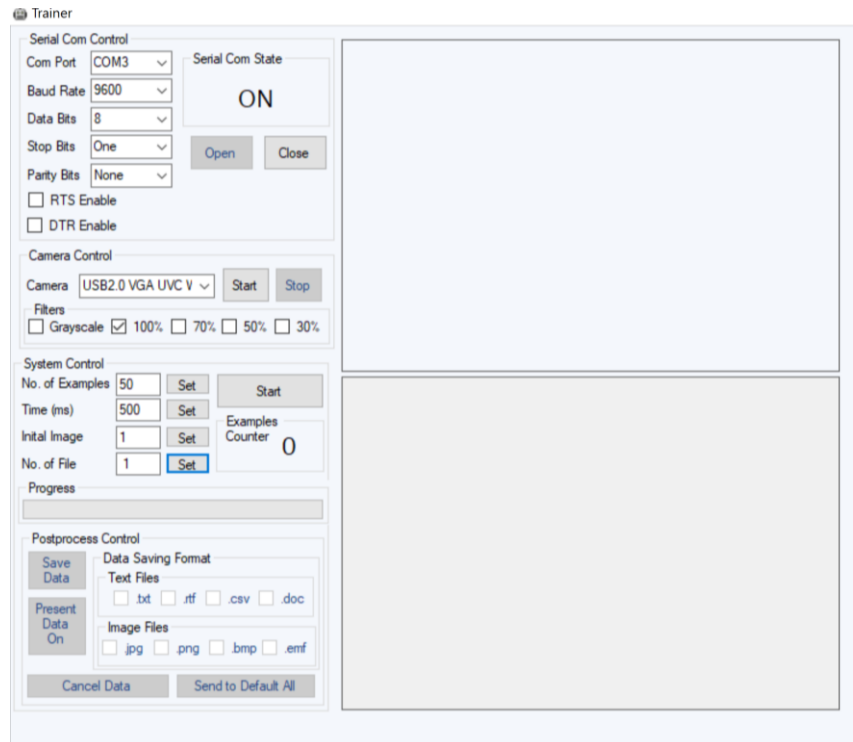


Figura 9- Software utilizado para toma de fotografías

Fuente: Propia (2020).

Gracias a la implementación de este software se obtuvieron buenos resultados ya que la comunicación entre el robot y el software se logró realizar desde el momento que se empezó a implementar. El uso de este software es sencillo ya que solo le dábamos ciertos parámetros como ser: el puerto en el que conectamos el receptor, cámara a utilizar, número de imágenes que se desean tomar y el tiempo para tomar esa cantidad de imágenes. Una vez se tenían todos estos parámetros establecidos le damos Start y el automáticamente empieza a tomar todas las imágenes. Una vez ya se contaban con todas las imágenes que le establecimos que se tomaran podríamos guardarla en una carpeta de nuestra conveniencia.

5.2.2.1. Problemas con el software

A la hora de las pruebas con el software se tuvieron varios problemas para su uso una vez se tenía instalado en la computadora, ya que en ocasiones la cámara no era reconocida como sistema de video, sino que lo reconoció como sistema de audio y por lo tanto al momento de realizar las pruebas no nos mandaba la imagen a la computadora.

Es por eso que para la utilización de este software se recomienda la implementación de una computadora que sea lo más nueva posible, que sea capaz de comunicarse vía bluetooth y con un procesador i5 mínimo, ya que si es menor que eso el programa no se lograra ejecutar de manera correcta, ya que en algunas computadoras no nos reconoce el puerto COM al cual lo conectábamos y por eso no se podía utilizar el software ya que no se contaba con una comunicación serial.

5.2.3. PRUEBAS DEL SISTEMA ELECTRÓNICO CON SISTEMA DE VISIÓN

La cámara que se utilizó para este sistema fue una cámara de dron, ya que esta es de un tamaño reducido y no ocupa mucho trabajo para su instalación. Las fotografías que se tomaron con esta cámara en ocasiones no poseían la mejor calidad debido a la resolución que poseía la cámara, por lo que para el sistema de visión se recomienda la utilización de una cámara que tome mejores fotografías para que al momento de analizarlas se sepa de mejor manera el estado de salud de la planta que se inspecciono.

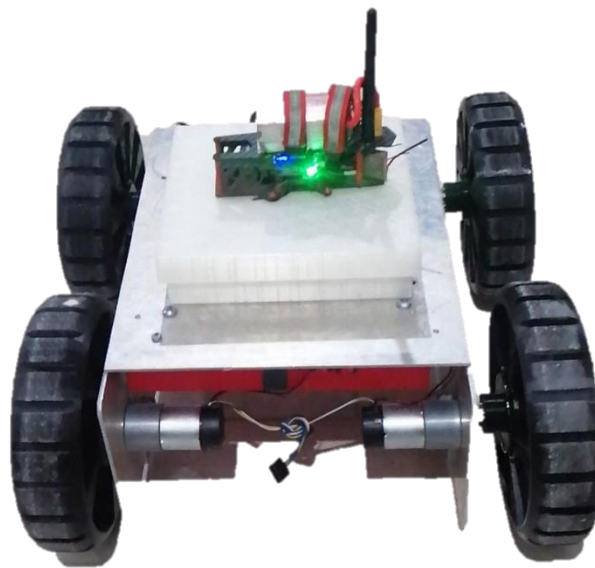


Figura 10- instalación de sistema de visión al robot

Fuente: Propia (2020).

Para la instalación del sistema de visión al robot, se determinó que sería bueno colocarlo un poco más alto para que pudiera tomar mejor las imágenes de las plantas

de café, es por eso por lo que se imprimió un housing en el cual se sostuvo la cámara y la batería a utilizar.



Figura 11- cámara utilizada en el robot

Fuente: Propia (2020).

La cámara que se utilizó en el robot es una cámara para dron, la cual se instaló de modo que cuando pasara por en medio de los surcos de café fuera capaz de tomar un las de las plantas, con esta cámara se lograron tomar un total de 1000 imágenes en las cuales un 60% de las imágenes salió defectuosa debido a la resolución de esta.



Figura 12- fotografía tomada con sistema de visión

Fuente: Propia (2020).

5.2.3.1. Problemas con el sistema de visión instalado al robot

- El 75.62% de las imágenes que se tomaban con el robot no poseían la calidad necesaria y no se podía ver con claridad la planta.
- Debido a los obstáculos el 15.31% las imágenes que se tomaban no enfocaban las plantas.
- El 20% de los obstáculos no fueron superados por el robot y no podía seguir avanzando y por lo tanto se tomaban las mismas imágenes varias veces.



Figura 13- Fotografía defectuosa tomada con sistema de visión

Fuente: Propia (2020).

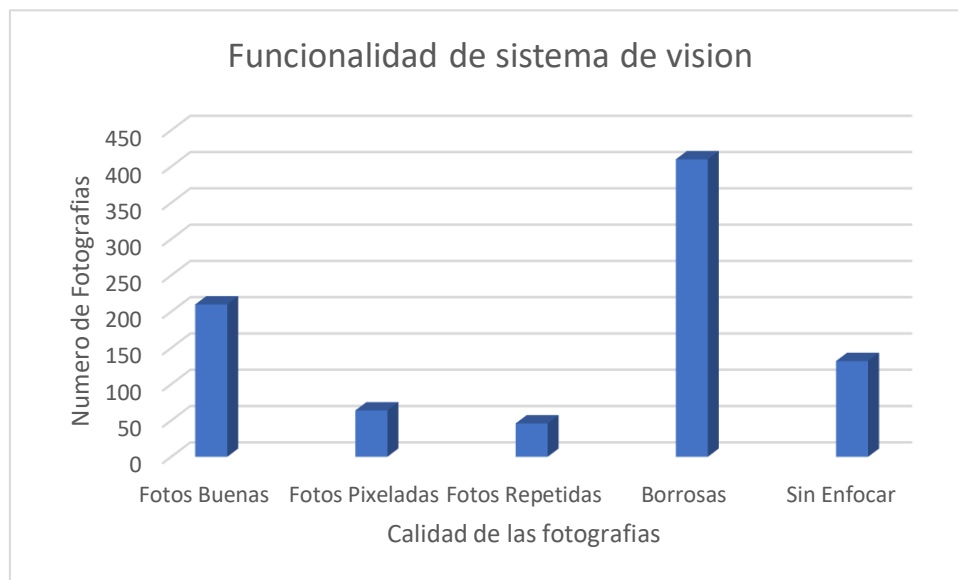


Figura 14- Grafica de calidad de fotografías tomadas

Fuente: Propia (2020).

Luego de las pruebas que se realizaron al sistema de visión se obtuvieron los resultados, se tomaron un total de 862 fotografías con el sistema de visión puesto en el

robot en el cual se observa que solo un 24.38% se pueden utilizar para determinar si los frutos están listos para la recolección. Un 75.62% de las imágenes que se tomaron no se pueden utilizar, ya que la calidad de estas no es la adecuada debido a que la calidad no es la óptima, y no se logra apreciar correctamente las hojas y los frutos de las plantas de café. Es por eso por lo que para la toma de estas imágenes se recomienda utilizar una cámara de una mejor calidad



Figura 15- Fotografía Borrosa

Fuente: Propia (2020)



Figura 16- Fotografía sin enfocar

Fuente: Propia (2020).



Figura 17- Fotografía Pixelada

Fuente: Propia (2020)



Figura 18- Fotografía Buena

Fuente: Propia (2020)

Cantidad de imágenes tomadas		
Calidad de imágenes	Numero de Imágenes	Porcentaje
Fotos Buenas	210	24.38%
Fotos Pixeladas	64	7.42%
Fotos Repetidas	46	5.33%
Borrosas	410	47.56%
Sin Enfocar	132	15.31%
Total	862	100.00%

Figura 19- Tabla de cantidad de fotografías tomadas

Fuente: Propia (2020).

En la tabla anterior se muestra el total de las fotografías tomadas y se logra apreciar los problemas que se tuvieron luego que se tomaron, estos problemas surgieron debido a la resolución de la cámara, ya que esta no posee la mejor resolución y las fotografías que se tomaron no poseen la mejor calidad. Las fotografías que se tomaron tuvieron diferentes problemas de calidad, ya sea porque la cámara lo cual representa un 80% ya que no era la adecuada o porque a veces el robot no se encontraba en la mejor posición cuando se tomaban las fotografías lo que representa un 20% de las imágenes que se tomaron.

5.2.3.2. Pruebas con robot a 25% de velocidad

Luego de las pruebas que se realizaron al robot se procedió a cambiar el estado en el cual se había instalado la cámara en principio para verificar si en esta nueva posición era capaz de tomar las fotografías con mayor calidad y que se pudiera apreciar mejor el estado de los frutos de café. Los cambios que se hicieron al robot fueron: bajar velocidad del movimiento, cortes de laterales de la estructura, instalar la cámara con cierto ángulo de inclinación.

Las velocidades de los motores del robot anteriormente se tenían a una velocidad del 50% y en ocasiones esto generaba cierto problema ya que pasaba muy rápido por

donde estaban las plantas de café lo que generaba que no pudiera tomar buenas fotos de los granos de café. Se bajó la velocidad del robot a un 25% de la potencia del robot con lo que se notó un cambio importante, ya que al ir más despacio el robot era capaz de tomar la foto de la planta de café que se deseaba.



Figura 20- Fotografía con velocidad a 25%

Fuente: Propia (2020).

En las fotografías que se tomaron con el robot a menor velocidad se logra observar que son pocas las fotografías que no lograron enfocar una planta en específico debido a que como el robot iba lento era capaz de tomar correctamente la fotografía y poder apreciar los granos de café. Con la velocidad del robot reducida se tomaron un total de 200 imágenes, en las cuales 35 tienen buena calidad, 23 se ven pixeladas, 17 no se logra apreciar una planta en específico y 125 se ven borrosas. Las imágenes que no se logra ver correctamente los frutos de café es debido a la calidad que posee la cámara que actualmente está instalada en el robot. Debido a que la velocidad del robot anteriormente estaba más alta las fotografías que se tomaban se encontraban un poco desenfocadas de las plantas, ya que muchas veces el robot tomaba la imagen cuando estaba entre dos plantas lo que no era capaz de enfocarse en una planta y que se pudiera observar de la mejor manera.

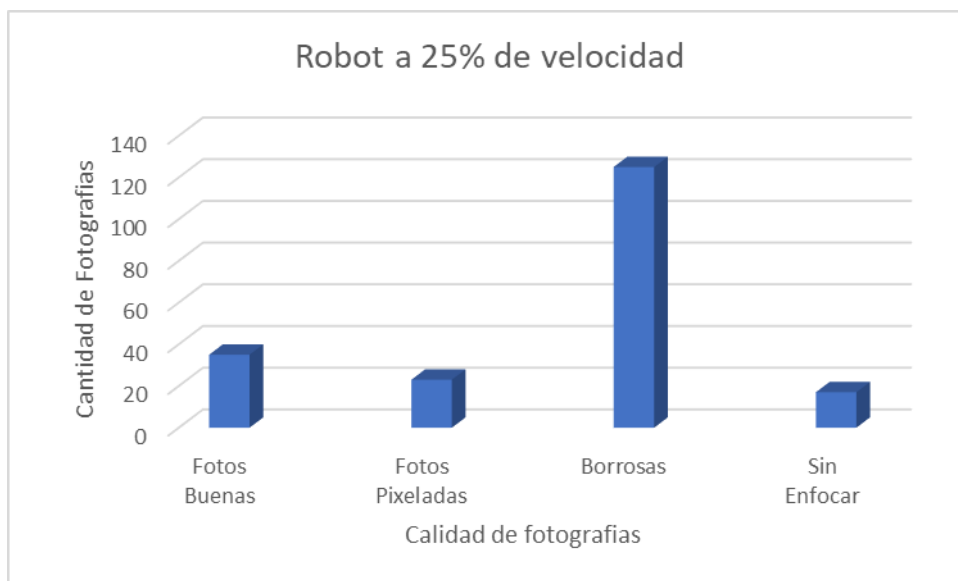


Figura 21- Fotografía con robot a 25% de velocidad

Fuente: Propia (2020).

Los resultados una vez se tenía el robot trabajando a un 25% de su velocidad vario, debido a que este era capaz de tomar las imágenes de las plantas ya que al ir más lento era capaz de poder tomar la fotografía cuando se encontraba junto delante de la planta, además que la manipulación era más sencilla debido a que iba lento y era difícil que se perdiera el control del robot a la hora de estarlo manipulando.

Cantidad de imágenes tomadas		
Calidad de imágenes	Numero de Imágenes	Porcentaje
Fotos Buenas	35	17.50%
Fotos Pixeladas	23	11.50%
Borrosas	125	62.50%
Sin Enfocar	17	8.50%
Total	200	100.00%

Figura 22- Porcentaje de calidad de fotografías

Fuente: Propia (2020).

5.2.3.3. Pruebas con cámara a un ángulo de 30 grados

Los resultados una vez se tenía la cámara instalada a un ángulo de 30 grados se notó una diferencia considerada en cuando a la toma de las imágenes. Las fotografías tomadas se podía observar toda la planta que se estaba inspeccionando lo cual es bueno ya que es capaz de poder inspeccionar la mayoría de los granos de café. Esta posición ofrecía un campo de visión más elevado debido que se enfocaba más en la planta, mientras que cuenta la cámara estaba totalmente horizontal solo se podía apreciar la parte inferior de la planta, lo cual afectaba ya que los frutos de café en su mayoría se encuentran en la parte superior.



Figura 23- Fotografía con cámara a un ángulo de 30%

Fuente: Propia (2020).

En la imagen anterior se muestra una de las fotografías que fue tomada con la cámara instalada a un ángulo de 30 grados respecto al housing de las baterías, en la cual se observa que se puede tomar el total de la planta y observar la mayoría de los frutos que se tomaron, anteriormente las fotos que se tomaban solo se podía apreciar un 50% de la planta en general debido a que el otro 50% de la fotografía se enfocaba en la tierra porque esta estaba totalmente horizontal. Es por eso por lo que la mejor posición para la cámara es a cierto ángulo de la base de las baterías para poder tener fotografías de las plantas completas.

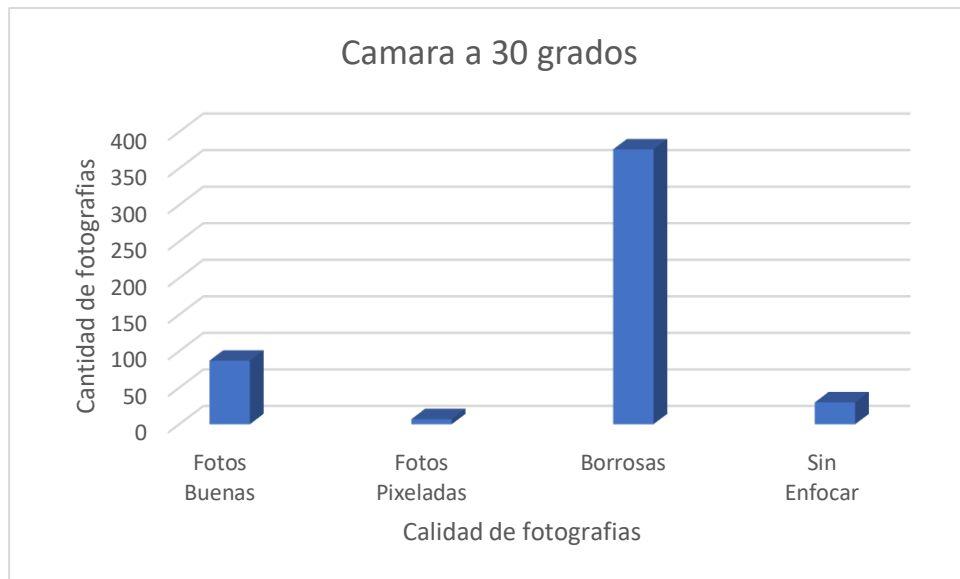


Figura 24- Grafico de fotografías con cámara a 30 grados

Fuente: Propia (2020).

En las fotografías que se tomaron con el robot a menor velocidad se logra observar que son pocas las fotografías que no lograron enfocar una planta en específico debido a que como el robot iba lento era capaz de tomar correctamente la fotografía y poder apreciar los granos de café. Además, que para que las imágenes que se tomaran fueran capaces de tomar mejores fotografías de la planta, se decidió darle cierta inclinación a la cámara lo cual fue de muy buena ayuda, ya que esta es capaz de tomar fotografías de toda la planta, e incluso se podían apreciar los granos de café que ese encontraban en lo más alto de la planta. Con la velocidad del robot reducida y la cámara instalada a 30 grados, se tomaron un total de 500 imágenes, en las cuales 87 tienen buena calidad, 7 se ven pixeladas, 30 no se logra apreciar una planta en específico y 376 se ven borrosas. Las imágenes que no se logra ver correctamente los frutos de café es debido a la calidad que posee la cámara que actualmente está instalada en el robot.

Cantidad de imágenes tomadas

Calidad de imágenes	Numero de Imágenes	Porcentaje
Fotos Buenas	87	17.40%
Fotos Pixeladas	7	1.40%
Borrosas	376	75.20%
Sin Enfocar	30	6.00%
Total	500	100.00%

Figura 25- Porcentaje de calidad de fotografías con cámara a 30 grados

Fuente: Propia (2020).

5.2.3.4. Cambios de la estructura del robot

Para que el robot tuviera una mejor movilidad en la finca de café se decidió hacer cortes a los laterales del robot, ya que estas anteriormente estaban bastante bajas y hacia contacto con el suelo y algunos obstáculos lo que impedía la correcta movilidad del robot. Luego de los cortes a la estructura el robot se movía de mejor manera ya que no hacía mucho contacto con el suelo lo que antes evitaba que se siguiera moviendo.

5.2.3.5. Ventajas de cambios realizados

- Gracias a los cortes que se les hicieron a los laterales del robot, este no hace contacto con la superficie de los obstáculos, por lo cual es capaz de sobrepasarlos sin ningún tipo de problema.
- Tener una velocidad de trabajo baja en el robot hace que sea más fácil de maniobrar y evitar que este se salga de control en algunas ocasiones. Para la toma de fotografías es algo muy a favor ya que a la hora de tomar las imágenes el robot es capaz de tomar la planta que se desea y que se vea con mejor calidad.
- La inclinación de la cámara es un punto muy a favor, ya que anteriormente cuando la cámara se encontraba totalmente horizontal no era capaz de tomar las fotografías de toda la planta, sino que solo tomaba una pequeña parte, ahora que la cámara se inclinó 30 grados respecto a su base, se es capaz de tomar fotografías de toda la planta y poder observar los frutos de café que en su mayoría se encuentran en lo alto de la planta.

5.2.4. PRUEBAS DEL ROBOT EN CAMPO MEDIANTE EL CONTROL REMOTO

Los resultados una vez que el robot se puso en prueba en la finca fueron alentadores ya que este se desempeñó de una manera óptima y fue capaz de cumplir con los objetivos que nos plantemos antes de su fabricación.

El robot presentaba una buena movilidad al momento que se puso en prueba y fue capaz de sobrepasar la mayoría de los obstáculos que se le presento en la finca de café, en ocasiones existían obstáculos que eran demasiado grandes y por lo tanto no pudo sobrepasarlos debido a su reducido tamaño o en ocasiones el funcionamiento de las ruedas ocasiono problemas para que se desempeñara de una mejor manera.

Una vez se tenía cada uno de los sistemas listos, se procedió a la instalación en robot para realizar pruebas en la finca, con las pruebas realizadas en la finca se tuvieron buenos resultados ya que el robot era capaz de moverse con facilidad y pudo sobrepasar la mayoría de los obstáculos que se presentaban en la finca.



Figura 27- Diseño final del robot

Fuente: Propia (2020).

El robot utilizado es controlado mediante un control remoto para que el usuario pueda ser capaz de manipularlo desde un área más cómoda debido a las dificultades que se presenta andar en las fincas de café debido a las condiciones irregulares de sus

terrenos. Gracias al diseño que se le dio al robot fue capaz de sobrepasar la mayoría de los obstáculos que se presentaron en la finca, en ocasiones eso no pudo ser posible ya que eran obstáculos que eran demasiado grande los cuales era imposible que este pudiera sobrepasar.

Para la manipulación del robot se utilizó un control remoto, el cual venia junto con un receptor el cual se colocó en una base instalada en bajo el robot, este control mandaba los comandos al receptor vía bluetooth. Gracias a este control remoto se fue capaz de control el robot desde una distancia de 300 km de distancia.

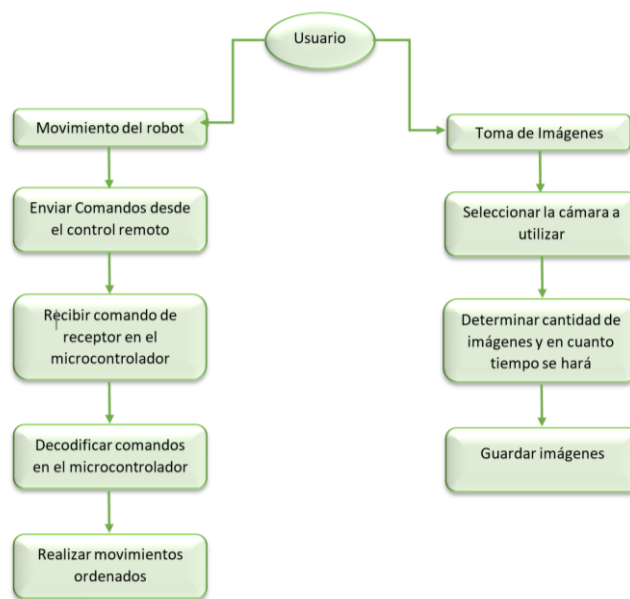


Figura 28- Diagrama de funcionamiento del robot

Fuente: Propia (2020).

En la imagen anterior se muestra el funcionamiento general del robot, tanto para su movimiento como para la toma de las fotografías, en el cual el usuario debe realizar cada una de las acciones para el correcto funcionamiento del robot y del sistema de visión.

5.2.4.1. Ventajas de la implementación de robot

- Al ser un robot teleoperado no es necesario estar cerca de el en cada momento, por lo que se puede estar monitoreando desde una distancia considerada y de mayor comodidad para el operario.

- Gracias a las pruebas de diseño realizados al robot, es capaz de moverse por los terrenos difíciles presentados en las fincas de café.
- Con el sistema de visión implementado se es capaz de tener una muestra de un área de la plantación a la que se quiere inspeccionar.

Tabla 3 - Precio estimado de fabricación del robot

Precio fabricacion del robot	
Dispositivo	Precio
Control remoto y receptor	L 1,050.00
Drivers	L 1,050.00
Motores	L 2,900.00
Housing bateria	L 750.00
Housing electronica	L 1,000.00
Impresión de Ruedas	L 6,500.00
Camara y receptor	L 2,000.00
Componentes de Electronica	L 1,000.00
Estructura del robot	L 3,000.00
Bateria 7.4V	L 500.00
Bateria 12V	L 775.00
Bateria 11.2V	L 625.00
Total	L 21,150.00

Fuente: Propia (2020).

5.2.4.2. Tipos de comunicación del robot

El funcionamiento del robot que se utilizó se ideó para que el operario pudiera manipularlo desde un área de comodidad y que no hubiera la necesidad de estar constantemente a la par del robot. Es por eso por lo que se utilizó un control remoto el cual junto con su receptor tiene la posibilidad de mandar sus comandos desde una distancia de 20 metros vía bluetooth.

El sistema de visión que se implementó en el robot está conformado por una cámara la cual manda su señal a la computadora por unas antenas al receptor, el receptor que se utiliza es capaz de conectarse al software TRAINER vía comunicación serial.

5.2.4.3. Efectividad para detectar roya

Con las fotografías que actualmente están siendo tomadas por el robot es algo difícil poder determinar si una planta de café posee el hongo de la roya, debido a que estas no cuentan con la calidad necesaria para poder determinar si una planta está en condiciones buenas o no. Del total de las imágenes que se tomaron hay un porcentaje bastante grande en el cual no se puede observar con claridad la planta en general.

Es por eso por lo que se recomienda el uso de una cámara que tenga una mejor resolución para que así se puedan tomar las imágenes de una mejor claridad y poder determinar el estado del área que se inspecciona. Actualmente con las imágenes que se tiene es bastante difícil que se puedan ver los efectos de la roya en la planta, aun sabiendo que la planta que se le tomo la fotografía posee el hongo de la roya.

5.3. COMPARACIÓN SISTEMA DE VISIÓN

Para la correcta monitorización de las plantas de café el cual es el propósito del robot que se construyo es muy importante que se integre un sistema de visión mucho más completo que con el que se cuenta actualmente, ya que con una cámara mejor se podría observar correctamente el estado de la planta, en el siguiente trabajo de investigación hecho por otro autor se muestra una imagen que se tomó con una cámara de mejor resolución con respecto a la que se cuenta en nuestro robot.

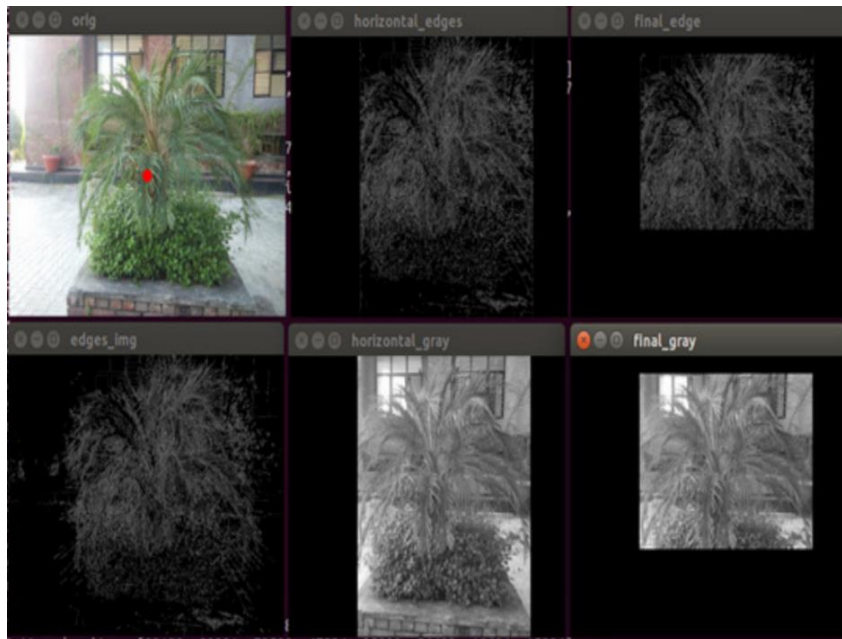


Figura 29- Imagen de crecimiento de planta

Fuente: (Chauhan et al., 2018)

En la imagen anterior se observa que la que la imagen que se tomó con su robot cuanta con una buena claridad y que se puede apreciar el estado de la planta el cual ellos están monitoreando. Con el sistema de visión que se tiene instalado actualmente en el robot no sería posible apreciar de dicha manera la planta la cual se quiere estar observando debido a que las imágenes que se toman saldrían de muy baja calidad.

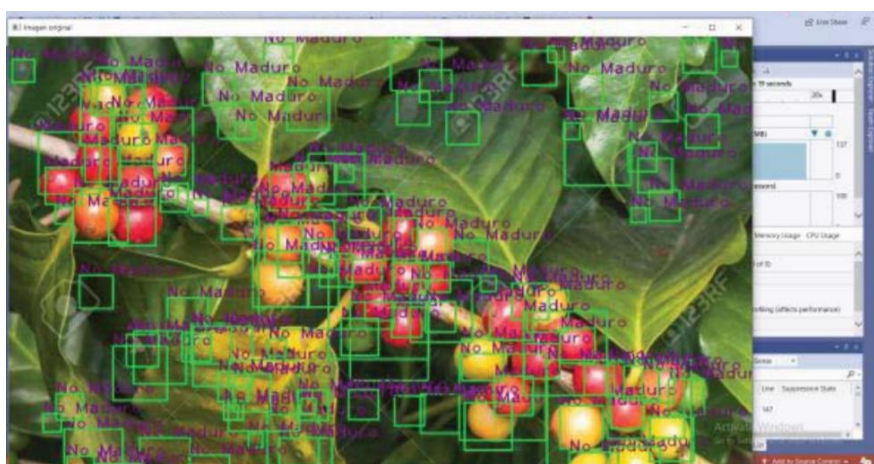


Figura 30 – Detección de frutos de café

Fuente: (Fuentes et al., 2020)

En la imagen anterior se observa que la que la imagen que se tomó de los frutos y la planta de café se aprecia cada uno de los detalles tanto del fruto como las hojas del café, esta imagen se tomó con una cámara de celular lo cual nos brinda una gran ventaja debido a su alta resolución. Es por eso por lo que para el futuro sistema de visión del robot se pueda instalar una cámara que sea capaz de tomar imágenes que se puedan ver claras para así poder determinar el estado de una planta.



Figura 31- fotografía tomada con sistema de visión actual

Fuente: Propia (2020).

Como se observa en la imagen anterior, la calidad de esta no es la mejor y por lo tanto no es posible apreciar de buena manera la integridad de la planta, todo esto se debe a que las condiciones que se tomó la imagen no era la óptica ya que en las fincas de café se cuenta con poca iluminación, así como también que la cámara no era la óptima para dicho trabajo.

5.4. COMPARACIÓN ESTRUCTURA DEL ROBOT

La estructura del robot es una parte muy importante, ya que depende de la aplicación que se le dará dependerá del material del cual se tendrá que realizar, ya que si se pondrá a prueba en un lugar de difícil movilidad y se realiza de un material frágil este puede sufrir daños a la integridad del robot.



Figura 32- Imagen de robot para agricultura

Fuente:(Fan et al., 2017)

Como se puede observar en a imagen anterior del robot se logra observar que la estructura es de metal debido a que es un robot que se utilizara para aplicación agrícola, los cuales son robots que están en constante contacto con materiales que pueden causar daños a la integridad de la estructura. El diseño final de los robots es siempre importante poder realizar algún tipo de estudio para que estos sean capaces de desempeñarse en las áreas en las cuales cumplirán su propósito.

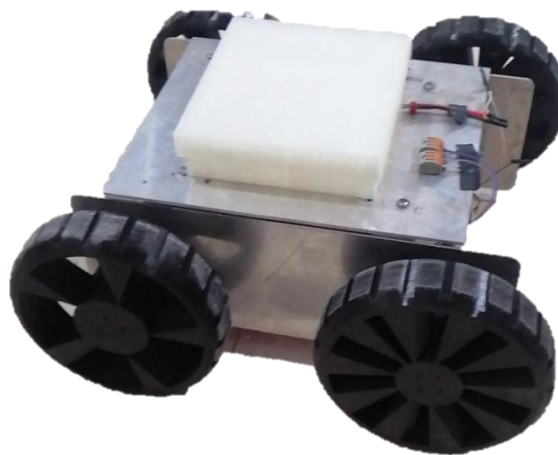


Figura 33- Imagen de estructura del robot

Fuente: Propia (2020).

El diseño final de nuestro robot tiene mucho en común con el tipo de material con el cual se fabrican robots que son para la misma aplicación, ya que estos robots ocupan ser resistentes para que pueden desempeñarse de una buena manera y poder cumplir su misión en el campo de trabajo. Este es un buen punto a favor del robot que se tiene ya que gracias a estudios realizados se pudo tener que material es el más adecuado para su construcción.

5.5. COMPARACIÓN DE LAS RUEDAS DEL ROBOT

Las ruedas para un robot dedicado a trabajar en terrenos de superficies irregulares y lleno de obstáculos es algo importante, ya que se ser del diseño y tamaño equivocado el robot no sería capaz de moverse en los terrenos más difíciles que se le presenten. Es por eso por lo que el material que se elegirá para el robot es muy importante para que este tenga la posibilidad de moverse de manera correcta.



Figura 34- Ruedas iniciales del robot

Fuente: Héctor Jiménez (2020).

Las ruedas que se le habían instalado al robot en inicio eran más pequeñas en comparación con las que actualmente se tienen en el robot y estas en ocasiones no eran

capaz de superar obstáculos, además que el material del cual estaban diseñadas no ofrecía la mejor movilidad para el robot y en ocasiones estas patinaban.

En muchas ocasiones el sistema de locomoción que se instala en un robot es muy importante ya que de no ser el más adecuado podría hacer que el robot no se mueva correctamente o que un obstáculo haga que el robot se caiga, el por eso que para el tipo de terreno en el cual se pondrá a prueba el robot es muy importante a conocer que sistemas de locomoción nos brindara más estabilidad a nuestro robot. (Taukeer et al., 2017)

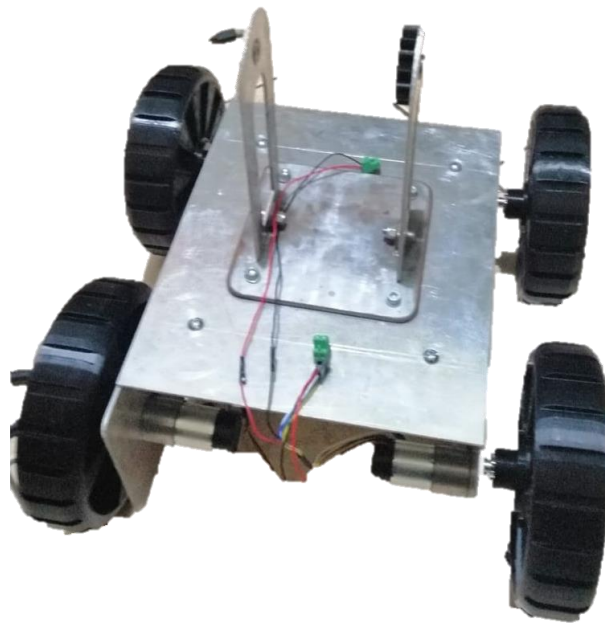


Figura 35 – Ruedas actuales del robot

Fuente: Propia (2020).

Actualmente las ruedas que están instaladas en el robot son mucho más grandes y son de materiales los cuales se le hicieron pruebas antes de ser impresas para darle una mejor movilidad y tracción al robot. Es por eso por lo que a la hora de las pruebas del robot en campo se notó una diferencia respecto a las ruedas que anteriormente estaban instaladas en el robot. Gracias a las nuevas pruebas que se hicieron en campo se supo con manera más exacta que material es el más adecuado para las ruedas del robot.

5.6. COMPARACIÓN DEL CONTROL DEL ROBOT

La manera en la cual se controla el robot es una parte muy importante, ya que de ella depende de la versatilidad del robot, los robots teleoperados se diseñan con el fin que las personas puedan ser capaces de operarlos desde una distancia considerada, ya sea porque presenta un riesgo para las personas o porque el lugar donde se quiere ir es de difícil acceso.

En nuestro caso se utilizó un control remoto para la manipulación del robot, es cual esta manda los movimientos que nosotros le quedaron dar al robot y los recibe un receptor que se instaló en la parte interior de la estructura del robot, luego eso el microcontrolador decodifica esos comandos y hace que los motores se muevan hacia el lugar que nosotros le ordenamos y próximamente el robot realiza su movimiento. Este control nos permite darle ordenes al robot desde una distancia de 20 metros lo cual es bastante, y una vez esté conectado y configurado no existe riesgo que falle tan a menudo.



Figura 36 – Aplicación para control de robot

Fuente: (San-Millan, 2015)

En muchos casos los robots son controlados mediante una aplicación web y módulo Arduino que se le instala al robot, sin embargo, esto nos limita debido a que los movimientos del robot en ocasiones no son tan fluidos con cuando se utiliza un control

remoto, además que muchas veces los módulos bluetooth de Arduino que se venden en el mercado fallan constantemente y hacen más difícil la comunicación entre el operador y el robot.

VI. CONCLUSIONES

En el siguiente capítulo se muestran los resultados del proyecto luego de realizar cada una de las pruebas planteadas en cada espiral de la metodología.

- 1) En las pruebas que se realizaron al robot en el campo fue capaz de sobrepasar un 80% de los obstáculos que se presentaron, el 20% de los obstáculos que no logro superar son ramas de árboles que eran más grande que su estructura. El robot fue capaz de manipularse desde una distancia de 20 metros sin ningún tipo de problema.
- 2) Se identificó que el material adecuado para la elaboración de las ruedas para el robot es el TPU ya que nos brinda mayor tracción al robot. El material de la estructura del robot es el adecuado ya que es capaz de soportar los golpes de obstáculos sin sufrir daños.
- 3) El software TRAINER nos ofrece buena comunicación con el robot ya que fue capaz de tomar las fotografías que se desearon, además que nos ofrecía la ventaja de guardarla en la carpeta que deseamos.
- 4) Se determinó que el sistema de visión que actualmente se tiene instalado en el robot no es el adecuado ya que de las 862 fotografías que se tomaron, solo 210 poseen buena calidad. Las otras 652 fotografías presentan diferentes problemas ya que una se ven borrosas, pixeladas o no se logró enfocar la planta que se deseaba supervisar.

VII. RECOMENDACIONES

1. Las 4 ruedas del robot deben ser de TPU debido a que este material ofrece mayor tracción para el robot.
2. Se recomienda hacer cortes en los laterales del robot, ya que en ocasiones el robot no era capaz de sobrepasar los obstáculos debido a que esas partes hacían bastante contacto.

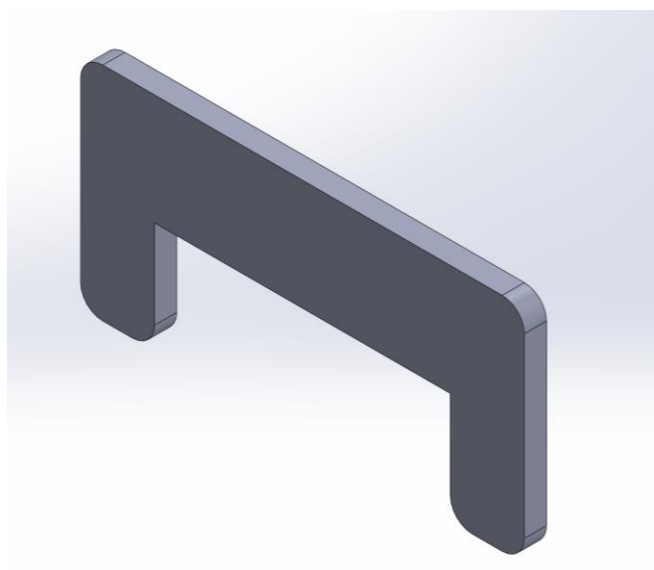


Figura 37 – Diseño sugerido de laterales del robot

Fuente: Propia (2020)

3. Para el sistema de visión se recomienda la utilización de una cámara de mayor calidad para que las fotografías que se tomen se pueda observar el estado de la planta y sea capaz de detectar el hongo de la roya en las plantas de café.

VIII. REFERENCIAS

- Abdelhameed, W. (2019). Industrial Revolution Effect on the Architectural Design. *2019 International Conference on Fourth Industrial Revolution (ICFIR)*, 1-6.
<https://doi.org/10.1109/ICFIR.2019.8894774>
- Ali, M. A. H., & En, C. Y. (2018). Control of wheeled mobile robot in restricted environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 319, 012057.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/319/1/012057>
- Argin, O. F., & Bayraktaroglu, Z. Y. (2019). Peg-in-a-hole by haptic teleoperation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 707, 012015.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/707/1/012015>
- Avelino, J., & Rivas, G. (2013). *La roya anaranjada del cafeto*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01071036>
- Avila, J. L. O., Jimenez, H., Marquez, T., Munoz, C., Carrazco, A. M., Perdomo, M. E., Miselem, D., & Nolasco, D. (2020). Study Case: Teleoperated Voice Picking Robots prototype as a logistic solution in Honduras. *2020 5th International Conference on Control and Robotics Engineering (ICCRE)*, 19-24.
<https://doi.org/10.1109/ICCRE49379.2020.9096483>
- Baturone, A. O. (2005). *Robótica: Manipuladores y Robots Móviles*. Marcombo.
- Bawden, O., Kulk, J., Russell, R., McCool, C., English, A., Dayoub, F., Lehnert, C., & Perez, T. (2017). Robot for weed species plant-specific management: BAWDEN et al. *Journal of Field Robotics*, 34(6), 1179-1199. <https://doi.org/10.1002/rob.21727>

- Champ, J., Mora-Fallas, A., Goëau, H., Mata-Montero, E., Bonnet, P., & Joly, A. (2020). Instance segmentation for the fine detection of crop and weed plants by precision agricultural robots. *Applications in Plant Sciences*, 8(7). <https://doi.org/10.1002/aps3.11373>
- Chauhan, S., Agrawal, P., & Madaan, V. (2018). E-Gardener: Building a Plant Caretaker Robot Using Computer Vision. *2018 4th International Conference on Computing Sciences (ICCS)*, 137-142. <https://doi.org/10.1109/ICCS.2018.00031>
- Fan, Z., Qiu, Q., & Meng, Z. (2017). Implementation of a four-wheel drive agricultural mobile robot for crop/soil information collection on the open field. *2017 32nd Youth Academic Annual Conference of Chinese Association of Automation (YAC)*, 408-412. <https://doi.org/10.1109/YAC.2017.7967443>
- Fang, B., Sun, F., Liu, H., Guo, D., Chen, W., & Yao, G. (2017). Robotic teleoperation systems using a wearable multimodal fusion device. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 14(4), 172988141771705. <https://doi.org/10.1177/1729881417717057>
- Fernando, R. (2011). *Robótica—Control de robots manipuladores*. Alfaomega Grupo Editor.
- FORE School of Management, New Delhi, India, Madakam, S., Holmukhe, R. M., Bharati Vidyapeeth University, Pune, India, Kumar Jaiswal, D., & National Institute of Industrial Engineering (NITIE), Mumbai, India. (2019). The Future Digital Work Force: Robotic Process Automation (RPA). *Journal of Information Systems and Technology Management*, 16, 1-17. <https://doi.org/10.4301/S1807-1775201916001>

- Fuentes, M. S., Zelaya, N. A. L., & Avila, J. L. O. (2020). Coffee Fruit Recognition Using Artificial Vision and neural NETWORKS. *2020 5th International Conference on Control and Robotics Engineering (ICCRE)*, 224-228. <https://doi.org/10.1109/ICCRE49379.2020.9096441>
- Gómez Rojas, J., Beltrán Gómez, Y. T., Camargo Ariza, L. L., & ProQuest. (2019). *Radiocomunicaciones*. Editorial Unimagdalena.
- Haddadin, S., & Knobbe, D. (2020). Robotics and Artificial Intelligence: The Present and Future Visions. En M. Ebers & S. Navas (Eds.), *Algorithms and Law* (1.^a ed., pp. 1-36). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108347846.002>
- John, A. J., Clark, C. E. F., Freeman, M. J., Kerrisk, K. L., Garcia, S. C., & Halachmi, I. (2016). Review: Milking robot utilization, a successful precision livestock farming evolution. *Animal*, 10(9), 1484-1492. <https://doi.org/10.1017/S1751731116000495>
- Juristica, L., Duchon, F., Dekan, M., Babinec, A., & Paszto, P. (2018). General concepts of teleoperated systems. 2018 *ELEKTRO*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ELEKTRO.2018.8398365>
- Kushalappa, A. C. (2019). *Coffee Rust: Epidemiology, Resistance and Management*. CRC Press.
- Lien, T. K. (2019). Robot. En S. Chatti, L. Laperrière, G. Reinhart, & T. Tolio (Eds.), *CIRP Encyclopedia of Production Engineering* (pp. 1469-1477). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-53120-4_6628

- Matviichuk, K., Teslyuk, V., & Teslyuk, T. (2016). Vision system model for mobile robotic systems. *2016 XII International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)*, 104-106.
<https://doi.org/10.1109/MEMSTECH.2016.7507529>
- Mekonnen, Y., Namuduri, S., Burton, L., Sarwat, A., & Bhansali, S. (2020). Review—Machine Learning Techniques in Wireless Sensor Network Based Precision Agriculture. *Journal of The Electrochemical Society*, 167(3), 037522.
<https://doi.org/10.1149/2.0222003JES>
- Minamoto, M., & Yamamoto, H. (2012). Effects of visual information on a remote-controlled mobile robot. *Proceedings of the 11th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Applications in Industry - VRCAI '12*, 83. <https://doi.org/10.1145/2407516.2407541>
- Montañez Barrera, J. A., & Pinto Salamanca, M. L. (2017). Análisis de elementos en zona local y remota para la teleoperación del brazo robótico AL5A/Analysis of elements in local area and remote for teleoperation of AL5A robotic arm. *Prospectiva*, 15(1), 53-63. <https://doi.org/10.15665/rp.v15i1.653>
- Ortega, E. N. (s. f.). *Teleoperación de Robots: Técnicas, Aplicaciones, Entorno Sensorial y Teleoperación Inteligente*. 44.
- Pliego-Jiménez, J., Arteaga-Pérez, M. A., & Cruz-Hernández, C. (2019). Dexterous Remote Manipulation by Means of a Teleoperation System. *Robotica*, 37(08), 1457-1476.
<https://doi.org/10.1017/S0263574719000055>
- Production Engineering, T. I. A. for. (2019). *CIRP encyclopedia of production engineering*. Springer Berlin Heidelberg.

- Qiaoyu, L., Shuyun, L., Yuanjie, M., & Minghua, S. (2019). Maize Growth Monitoring Based on Embedded Vision System. *2019 2nd International Conference on Safety Produce Informatization (IICSPI)*, 363-366.
<https://doi.org/10.1109/IICSPI48186.2019.9096002>
- Saeedvand, S., Jafari, M., Aghdasi, H. S., & Baltes, J. (2019). A comprehensive survey on humanoid robot development. *The Knowledge Engineering Review*, 34, e20.
<https://doi.org/10.1017/S0269888919000158>
- San-Millan, A. (2015). Design of a teleoperated wall climbing robot for oil tank inspection. *2015 23rd Mediterranean Conference on Control and Automation (MED)*, 255-261.
<https://doi.org/10.1109/MED.2015.7158759>
- Sato, T., Meguro, G., & Vazhenin, A. P. (2018). WWW-based Remote Controller for LEGO robots. *Proceedings of the 3rd International Conference on Applications in Information Technology - ICAIT'2018*, 106-110.
<https://doi.org/10.1145/3274856.3274878>
- Shabalina, K., Sagitov, A., & Magid, E. (2018). Comparative Analysis of Mobile Robot Wheels Design. *2018 11th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE)*, 175-179. <https://doi.org/10.1109/DeSE.2018.00041>
- Tarvirdizadeh, B., Spanogianopoulos, S., & Alipour, K. (2018). Control of Nonholonomic Electrically-Driven Tractor-Trailer Wheeled Robots based on Adaptive Partial Linearization. *2018 6th RSI International Conference on Robotics and Mechatronics (IcRoM)*, 331-336. <https://doi.org/10.1109/ICRoM.2018.8657509>
- Taukeer, R., Das, G., Nath, A., Paul, A., & Ahamed, J. U. (2017). Design and fabrication of a teleoperated explorer mobile robot. *2017 IEEE International Conference on*

Imaging, Vision & Pattern Recognition (icIVPR), 1-6.

<https://doi.org/10.1109/ICIVPR.2017.7890890>

Zarei, F., Moosavian, S. Ali. A., & Najafi, A. (2018). Force Analysis of a Spherical Single-wheeled Robot. *2018 6th RSI International Conference on Robotics and Mechatronics (IcRoM)*, 542-547. <https://doi.org/10.1109/ICRoM.2018.8657577>

Zhang, J. (2019). Structural design of anthropomorphic robot vision system. *Journal of Physics: Conference Series*, 1423, 012055. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1423/1/012055>

IX. ANEXOS



Anexos 1- Fotografías para detección de granos de café

Fuente: Propia (2020).



Anexos 2- Fotografías para detección de granos de café

Fuente: Propia (2020).



Anexos 3- Fotografías para detección de granos de café

Fuente: Propia (2020).



Anexos 4- Fotografías para detección de granos de café

Fuente: Propia (2020).



Anexos 5- Fotografías para detección de granos de café con cámara inclinada 30 grados

Fuente: Propia (2020).



Anexos 6- Fotografías para detección de granos de café con cámara inclinada 30 grados

Fuente: Propia (2020).