



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE
CORTADORA DE CÉSPED AUTOMÁTICA”**

AUTORES: RUIZ GAMBOA, JORGE IVÁN

PAILLACHO CUMBICUS, CHRISTIAN JOSE

DIRECTOR: ING. SOTOMAYOR, DANNY

SANGOLQUÌ

2015



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

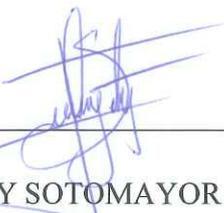
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CORTADORA DE CÉSPED AUTOMÁTICA**” realizado por los señores **JORGE IVÁN RUIZ GAMBOA** y **CHRISTIAN JOSÉ PAILLACHO CUMBICUS**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **JORGE IVÁN RUIZ GAMBOA** y **CHRISTIAN JOSÉ PAILLACHO CUMBICUS** para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 07 de diciembre de 2015



ING. DANNY SOTOMAYOR CÁRDENAS

DIRECTOR



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **JORGE IVÁN RUIZ GAMBOA** con C.I. y **CHRISTIAN JOSÉ PAILLACHO CUMBICUS** con C.I. 1718498940 declaro que este trabajo de titulación “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CORTADORA DE CÉSPED AUTOMÁTICA**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 06 de diciembre de 2015

JORGE IVÁN RUIZ GAMBOA

C.I. 1723642102

CHRISTIAN JOSÉ PAILLACHO CUMBICUS

C.I. 1718498940



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **JORGE IVÁN RUIZ GAMBOA** y **CHRISTIAN JOSÉ PAILLACHO CUMBICUS**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la Biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CORTADORA DE CÉSPED AUTOMÁTICA**” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 06 de diciembre de 2015

JORGE IVÁN RUIZ GAMBOA

C.I. 1723642102

CHRISTIAN JOSÉ PAILLACHO CUMBICUS

C.I. 1718498940

DEDICATORIA

El presente proyecto va dedicado a Dios, que guío mi camino, fortaleciendo mi espíritu y dándome la fuerza para superar cada obstáculo en mi vida.

A mi padre José quién impulsó mi estudio y supo aconsejarme en los momentos difíciles y es el pilar fundamental en mi vida, enseñándome valores necesarios para convertirme en una persona de éxito.

A mi madre Edilma quién con sus lecciones y amor, inspiró la carrera elegida.

A mi hermano que en paz descansa es la fuente de inspiración y apoyo desde mi niñez.

A mi novia Gisella que fue un apoyo indispensable en esta etapa de mi vida.

CHRISTIAN PAILLACHO

DEDICATORIA

Dedico este proyecto principalmente a Dios por darme la vida y forjar mi destino, a mi padre por su ejemplo constante de lucha, a mi madre por creer siempre en mí y ser el apoyo principal de mis fuerzas, sueños y anhelos, juntos me han sabido guiar en esta lucha diaria y es por ellos que hoy puedo hacer realidad la culminación de esta etapa, a mi hermana por su cariño y motivación durante este período de mi vida.

A mi familia en general, quienes siempre me aconsejaron y apoyaron de manera incondicional para continuar en los momentos que necesite de su ayuda.

JORGE RUIZ

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por habernos brindado la fe y fuerza de voluntad para terminar este primer gran escalón de nuestras vidas.

A todos los ingenieros de la ESPE que pasaron por nuestra vida estudiantil, nos asesoraron con sus valiosas aportaciones, ayudándonos a crecer como personas y como profesionales.

Al Ing. Danny Sotomayor por su guía y asesoramiento en el desarrollo de la presente tesis.

Al Ing. Jaime Echeverría e Ing. David Loza quien desinteresadamente contribuyó a perfeccionar el presente proyecto.

A nuestros familiares y amigos por su apoyo incondicional

JORGE RUIZ

CHRISTIAN PAILLACHO

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
CAPÍTULO I	1
GENERALIDADES.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 Historia de cortadoras de césped	2
1.3 Antecedentes	8
1.4 Definición del Problema.....	9
1.5 Justificación e importancia	10
1.6 Objetivos.....	13
1.6.1 General	13
1.6.2 Específicos.....	13
1.7 Alcance.....	14
CAPÍTULO II	15
ESTADO DE ARTE	15
2.1 Máquinas para el cuidado agroforestal.....	15
2.1.1 Cortadora de césped	15
2.2 Motores a combustión interna	16
2.3 Actuadores.....	19
2.3.1 Servomotores.....	19
2.4 Arduino	20
2.5 Controlador del servomotor.....	22
2.6 Batería de plomo	22
2.7 Sistema de amortiguamiento	24
2.7.1 Sistema masa resorte.....	25
2.7.2 Movimiento armónico sencillo	25

2.8 Despliegue de la función de calidad.....	26
2.8.1 Casa de la calidad.....	27
2.8.2 Estructura de la casa de calidad.....	27
CAPÍTULO III	29
DISEÑO.....	29
3.1 Planificación QFD.....	29
3.1.1 Reconocimiento de los requisitos	29
3.1.2 Reconocimiento de factores técnicos	30
3.1.3 Despliegue de la función de calidad.....	30
3.1.4 Análisis de resultados.....	32
3.2 Selección del motor para cortar césped	33
3.2.1 Presentación de alternativas	33
3.2.2 Selección por el método de criterios ponderados	35
3.2.3 Peso específico de cada criterio	36
3.2.4 Peso específico de cada una de las alternativas	37
3.2.5 Análisis de resultados.....	38
3.3 Selección del sistema de locomoción	39
3.3.1 Presentación de alternativas	39
3.3.2 Selección por el método de criterios ponderados	41
3.3.3 Peso Específico de cada criterio.....	42
3.3.4 Análisis de resultados.....	45
3.4 Selección de almacenamiento de energía	45
3.4.1 Análisis de resultados.....	46
3.5 Selección de sistema de amortiguamiento.....	47
3.5.1 Análisis de resultados.....	55
3.6 Distribución Eléctrica.....	57
3.7 Diagrama de control.....	58
3.8 Selección de controlador para sistema de movilidad.....	59
3.8.1 Análisis de resultados.....	61
3.9 Diagrama de flujo de la programación	63
3.10 Simulación	64
3.10.1 Estudio estructural	64
3.10.2 Estudio de frecuencias	70

3.10.3 Resultados	71
CAPÍTULO IV	72
IMPLEMENTACIÓN, EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS	72
4.1 Introducción	72
4.2 Fases de implementación	74
4.2.1 Definición del producto	74
4.2.2 Creación de un modelo	74
4.3 Experimentación	82
4.3.1 Sistema de locomoción	82
4.3.2 Tiempo de trabajo	86
4.4 Resultado.....	90
4.4.1 Análisis de comparación	90
CAPÍTULO V	92
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
5.1 Conclusiones.....	92
5.2 Recomendaciones	93
BIBLIOGRAFIA.....	96
ANEXO A	99
PLANOS	99
ANEXO B	100
HOJAS TÉCNICAS.....	100
CODIFICACIÓN DEL CONTROL.....	101
ANEXO C	105
MANUAL DE OPERACIÓN	105
Manual De Operación	106
Características y controles	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: El cortacésped de Budding.....	2
Figura 2: Cortadora de césped con mejoras en el rotor y las paletas	3
Figura 3: Ejemplo del Ransomes Automata	3
Figura 4: Cortacésped de gasolina.....	4
Figura 5: Cortadora de césped robótica Bosch Indego.....	5
Figura 6: Robot cortacésped RS630.....	6
Figura 7: Cortadora de Césped Spider Mini	7
Figura 8: Cortador de césped radio operado.....	8
Figura 9: Hierba pasto kikuyo.....	9
Figura 10: Áreas verdes descuidadas	11
Figura 11: (a) Cortadora de Césped a combustión y (b) Moto Guadaña.....	11
Figura 12: Cortadora de rodillo y palas cortantes	15
Figura 13: Cortadora de césped automática.....	16
Figura 14: Parte de motor de combustión pistón	17
Figura 15: Servomotor con ventilador centrífugo sin escobillas	19
Figura 16: Placa Arduino Uno	20
Figura 17: Variación de voltaje de batería Pb-Ácido 12V, T 1°C.....	23
Figura 18 : Sistema masa-resorte en movimiento oscilatorio	26
Figura 19 : Casa de la calidad y su estructura	27
Figura 20: Motor Briggs & Stratton Serie 625E	33
Figura 21: Motor Petri Max25.....	34
Figura 22: Motor Paso a Paso Nema 34	39
Figura 23: Servomotor con caja reductora.....	40
Figura 24: Diagrama esquemático del sistema	47
Figura 25: Diagrama del cuerpo libre del sistema masa resorte	48
Figura 26: Sistema Perturbado armónicamente.....	49
Figura 27: Diagrama de cuerpo libre.....	50
Figura 28: Variación de la relación de transmisión (Tf) con r	52
Figura 29: eficiencia de aislamiento	54
Figura 30: Conexión de baterías para 12VDC y 24VDC	57
Figura 31: Diagrama de conexión para motores.....	58
Figura 32: Diagrama de bloques del sistema	59
Figura 33: Servomotor.....	60
Figura 34: Driver de un Servomotor	60
Figura 35: Esquema de conexión de un servo driver y su servo motor	61
Figura 36: Sabertooth 2x25	62
Figura 37: Diagrama de flujo del sistema.....	63
Figura 38: Representación de carga distribuida.....	65
Figura 39: Representación de carga puntual.....	65
Figura 40: Tabla comercial de perfiles cuadrados	67

Figura 41: Estudio estático de la estructura base en la junta soporte	68
Figura 42: Sujeciones y carga de 10N representadas en software CAD	68
Figura 43: Análisis estático de estructura general	69
Figura 44: Resultado de análisis de frecuencias	70
Figura 45: Diseño mediante un software CAD un modelo de estructura	74
Figura 46: Análisis estático de cargas y deformaciones de la estructura	75
Figura 47: Resultados de software CAD en análisis estático	76
Figura 48: Manufactura de la estructura base	77
Figura 49: Soldadura soporte de servomotor	77
Figura 50: Soporte de servomotor final	78
Figura 51: Estructura Final y componentes	78
Figura 52: Diseño CAD de base para motor de combustión y guía móvil	79
Figura 53: Cargas en la base del motor y fuerzas de aplicación	80
Figura 54: Soporte del motor (tortuga) con motor de combustión	80
Figura 55: Sistemas completos de la cortadora de césped	81
Figura 56: Placa de componentes electrónicos	81
Figura 57: Cancha de fútbol, medidas oficiales (OFICAD, 1995)	87

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Características Bosch Indego Cortadora eléctrica	5
Cuadro 2: Características RoboMow Rs630	6
Cuadro 3: Características SpiderMini Cortadora de césped	7
Cuadro 4: Ventajas de motores de combustión tipo Otto y Diésel	18
Cuadro 5: Desventajas de motores de combustión tipo Otto y Diésel	18
Cuadro 6: Ventajas y desventajas de Servomotor	20
Cuadro 7: Requerimientos de la cortadora de césped	21
Cuadro 8: Reducción de la vida útil por temperaturas altas	24
Cuadro 9: Leyendas del QFD (Ponderaciones de la casa de la calidad)	30
Cuadro 10: Despliegue de la función de la calidad	31
Cuadro 11: Resultados de factores importantes del análisis QFD	32
Cuadro 12: Características técnicas motor Briggs & Stratton Serie 625E	34
Cuadro 13: Características técnicas motor Motor Petri Max25	35
Cuadro 14: Peso Específico de los criterios de selección	36
Cuadro 15: Ponderación del criterio de torque	37
Cuadro 16: Ponderación del criterio de costo	37
Cuadro 17: Ponderación del criterio de alimentación	37
Cuadro 18: Ponderación del criterio de ancho de corte	38
Cuadro 19: Resultado de la selección de motores	38
Cuadro 20: Características motor Paso a Paso Nema 34	40
Cuadro 21: Características Servomotor con caja reductora	41
Cuadro 22: Peso específico de los criterios de selección	42
Cuadro 23: Ponderación de criterio de corte	43

Cuadro 24: Ponderación del criterio de costo	43
Cuadro 25: Ponderación del criterio de tensión	43
Cuadro 26: Ponderación del criterio de consumo de energía.....	44
Cuadro 27: Ponderación del criterio de instalación	44
Cuadro 28: Ponderación del criterio de peso	44
Cuadro 29: Resultado de la selección de motores para la movilidad.....	45
Cuadro 30: Características de resorte.....	56
Cuadro 31: Características de análisis mediante software CAD.....	76
Cuadro 32: Método de procedimiento del sistema de locomoción	82
Cuadro 33: Toma de datos velocidad mínima del driver del servomotor.....	83
Cuadro 34: Toma de datos velocidad mínima del driver del servomotor.....	84
Cuadro 35: Toma de datos velocidad de corte ideal.....	85
Cuadro 36: Datos de corte de césped con motor a combustión	86
Cuadro 37: Relación de corte de césped en tiempo determinado	88
Cuadro 38: Datos de autonomía en movimiento sin corte de césped.....	88
Cuadro 39: Carga de baterías.....	89
Cuadro 40: Descarga de baterías	89
Cuadro 41: Características de la máquina.....	90
Cuadro 42: Comparación con equipos similares	91
Cuadro 43: Mantenimiento	112
Cuadro 44: Especificaciones Técnicas.....	113
Cuadro 45: Especificaciones del servomotor	113
Cuadro 46: Especificaciones de la máquina.....	114

RESUMEN

El presente proyecto de grado corresponde al diseño y construcción de un prototipo de máquina para el cortado de césped, implementando un sistema de amortiguamiento del motor a combustión y por ende de la cuchilla de corte, se realiza un control electrónico para el accionamiento de los mandos de avanzada, retroceso y giros derecho e izquierdo, aportando con una máquina segura y eficiente a las personas que le van a operar, el cual se lo va a manejar mediante tele-operación. La construcción del prototipo de cortadora de césped incorpora componentes electrónicos como: drivers, sensores, actuadores y un mecanismo compuesto por resortes, el cual permite amortiguar las vibraciones producidas por el motor de combustión y al mismo tiempo regular el nivel de corte. El sistema de movimiento tiene una configuración programable desde el Arduino que representa el controlador, recibe señales de tele-operación y permite la activación de los servomotores que en este caso son los actuadores de la máquina. El tablero de control del prototipo está ubicado de manera tal que los sistemas son de fácil acceso para su manipulación y mantenimiento.

PALABRAS CLAVE:

- CORTADORA DE CESPED
- TELEOPERACIÓN
- ARDUINO
- SERVOMOTOR
- AMORTIGUAMIENTO DE MOTOR.

ABSTRACT

The current graduation project corresponds to the design and construction of a prototype machine for cutting grass, implementing a damping system of the engine combustion and therefore the cutting blade, making an electronic control for left and right advanced commands, backward and, right and left turns, claiming a safe and efficient machine for people who may use it, which will be managed using an external remote control.

The construction of the prototype of lawn mower incorporates electronic components such as drivers, actuators with a mechanism consisting of springs, which allow to absorb the vibrations produced by engine combustion and at the same time to adjust the level of cut.

Movement system has a configuration controlled from a controller which in this case is an arduino which receives signals from teleoperation and these are sent programmatically to the driver for the activation of the actuators which in this case are the actuators of the system.

The control system of the prototype is located in a site that are easily accessible for operation and maintenance.

KEY WORDS:

- LAWNER MOWER
- TELEOPERATION
- ARDUINO
- SERVOMOTOR
- BUFFER MOTOR

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Introducción

Las cortadoras de césped son consideradas máquinas de gran uso, tanto de forma comercial como personal, viendo la necesidad de poder trabajar en terrenos regulares e irregulares. Comúnmente utilizadas son las operadas de forma manual con regulación de nivel de corte y un motor de combustión para la cuchilla, haciéndolas aptas para todo tipo de césped.

El uso de una cortadora automática hace fácil el podado del césped, en caso que el terreno presente objetos tales como piedras pequeñas, estas son desprendidas de la máquina por el movimiento giratorio de la cuchilla manteniendo al operario distante del área de corte.

Para realizar la tele-operación se hace uso de un control en la tarjeta del driver el cual ayuda a manipular la posición de los servomotores dando así un óptimo funcionamiento en su orientación.

El motor de combustión al ser el principal componente de la cortadora de césped, genera un inconveniente a partir de la vibración producida al trabajar, se diseña una solución a este problema mediante el uso de

resortes, logrando así que la máquina no entre en resonancia y llegue a destruirse.

1.2 Historia de cortadoras de césped

El primer cortacésped fue inventado por el ingeniero Edwin Beard Budding en el año de 1827 posiblemente inspirado en el cortador rotatorio utilizado para cortar la lanilla de la lana tejida en el molino de Brinscomb (Evans, 1994). El cortacésped de Budding que se observa en la figura 1 fue diseñado principalmente para cortar el césped de los campos deportivos y los jardines extensos como alternativa superior a la guadaña.



Figura 1: El cortacésped de Budding

Fuente: (Ransomesjacobsen, 2010)

En 1862, la compañía de Farrabee fabricó ocho modelos diferentes de tamaños de rodillos (Evans, 1994), Elwood McGuire en 1870, diseñó una cortadora de césped la cual funcionaba empujada por ser humano, su característica principal es ser muy ligera lo que conllevó a un éxito comercial.

En 1899, John Burr patentó una cortadora con mejoras en el rotor y las paletas de corte (Evans, 1994), con la colocación de un cambio en la rueda, para mejorar su rendimiento como se observa en la figura 2.

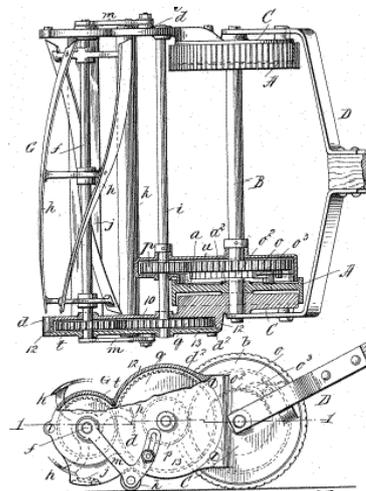


Figura 2: Cortadora de césped con mejoras en el rotor y las paletas

Fuente: (Inventors, 1997)

En 1871, Amariah Hills fundó Lawn Mower Arquímedes Co., alrededor del año 1900 una de las máquinas inglesas más conocida fue la Ransomes Automata disponible en varios modelos como se aprecia en la figura 3.



Figura 3: Ejemplo del Ransomes Automata

Fuente: (Proudfoot, 2013)

El corta césped con motor a combustión no fue desarrollado hasta que estos se fabricasen lo suficientemente pequeños y en especial con la fuerza suficiente para cortar las hojas a una alta velocidad, este experimento se hizo con cuchillas rotativas a finales de 1920 y principios de 1930 donde Power Specialties Ltd. presentó un cortacésped de gasolina como se observa en la figura 4.

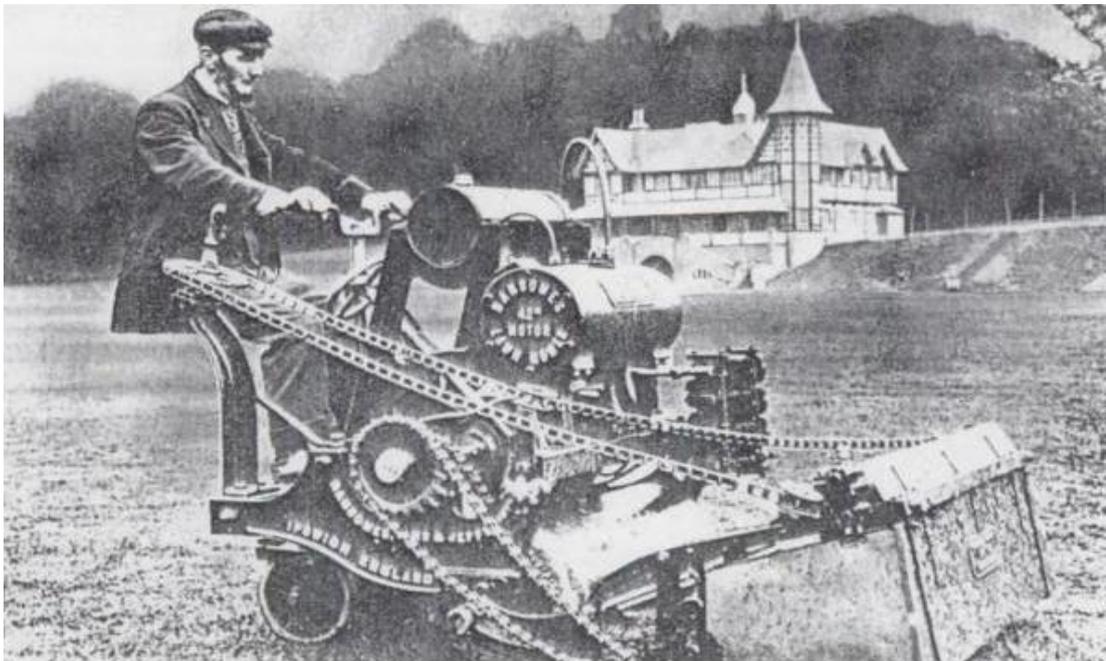


Figura 4: Cortacésped de gasolina

Fuente: (Evans, 1994)

Victa Company comenzó a producir cortacésped más ligeros y más fáciles de usar a partir de 1952.

Varios fabricantes han desarrollado diversas máquinas para el cortado del césped, se revisa modelos parecidos al prototipo con el objetivo de compararlos.

Se presentan los diferentes modelos de cortadoras:

Bosch Indego



Figura 5: Cortadora de césped robótica Bosch Indego

Fuente: (Bosch, 2013)

La cortadora de césped robótica observada en la figura 5 tiene un sistema inteligente de navegación llamado “Logicut”, el cual realiza la medición del jardín y proporciona un corte perfecto de forma rápida y limpia, línea a línea.

Este robot es diseñado con el propósito de mantener un nivel de corte y en caso de que el césped tenga una altura mayor a 60mm.

Cuadro 1:

Características Bosch Indego Cortadora eléctrica

Características	
Tipo de batería	Litio-Ion
Tensión de la batería	36Vdc
Tiempo de Carga de la batería	140 min
Ancho de corte	26 cm
Sistema de corte	cuchilla de acero
Peso	13,9 kg
Capacidad de la caja colector	50 l
altura de corte	20 - 60 mm
Ajuste de la altura de corte	6 niveles
Inclinación máxima de trabajo	20 grados
Velocidad	0,45 m/s (1,6 Km/h)
Tiempo de autonomía	50 min
Área de corte	200 m ² (+/- 20%)

Fuente: (Bosch, 2013)

Robot Corta Césped RS630



Figura 6: Robot cortacésped RS630

Fuente: (Robomow, 2013)

El robot cortacésped observada en la figura 6 es un modelo que presenta en su configuración el “movimiento inteligente” permitiendo que realice el corte dentro de su área especificada en un patrón aleatorio y también pudiendo ser controlada por control remoto.

Cuadro 2:

Características RoboMow Rs630

Características	
Tipo de batería	Litio-Ion
Tensión de la batería	26Vdc
Tiempo de Carga de la batería	120 min
Ancho de corte	26 cm
Sistema de corte	cuchilla de acero
Peso	20 kg
Altura de corte	20 - 80 mm
Inclinación máxima de trabajo	20 grados
Velocidad	0,45 m/s (1,6 Km/h)
Tiempo de autonomía	50 min

Fuente: (Robomow, 2013)

Spider Mini



Figura 7: Cortadora de Césped Spider Mini

Fuente: (SpiderMini, 2012)

La cortadora de césped observada en la figura 7 es controlada con un mando a distancia, con un alcance de hasta 100 metros y posee un alternador evitando que se descargue la batería.

Cuadro 3:

Características SpiderMini Cortadora de césped

Características	
Ancho de corte	560 mm
Altura de la hierba	40 - 90 mm
Niveles de corte	6 niveles
Peso	125 kg
Velocidad	0 - 4 km/h
Motor hidráulico	Sauer Danfoss OMM32
Tracción	4 X 4
Batería	12 Vdc, 18 ah, gel
Combustible	Gasolina
Capacidad del tanque	4 litros
Motor combustión	Briggs&Stratton 950 SERIES
Torque	12,9 Nm

Fuente: (SpiderMini, 2012)

1.3 Antecedentes

En la actualidad gracias a los avances de la robótica se puede mejorar máquinas mecánicas que requieren la presencia del ser humano para su operación a unas en donde solo se requiera supervisar desde un lugar seguro, logrando así seguridad al operario en su entorno de trabajo.

Existen diferentes tipos de movilidad que se emplea en la robótica como patas, orugas, ruedas e incluso arrastrándose, los cuales tratan de adaptarse al medio que los rodea.

El primer intentó de separar la intervención directa del ser humano surge en el año 1959 donde Vic Rigby (Británico) diseñó el primer cortacésped eléctrico por medio de radiofrecuencia el cual se observa en la figura 8, con un alcance de un kilómetro y medio. (Life & Life Magazine, 1995)

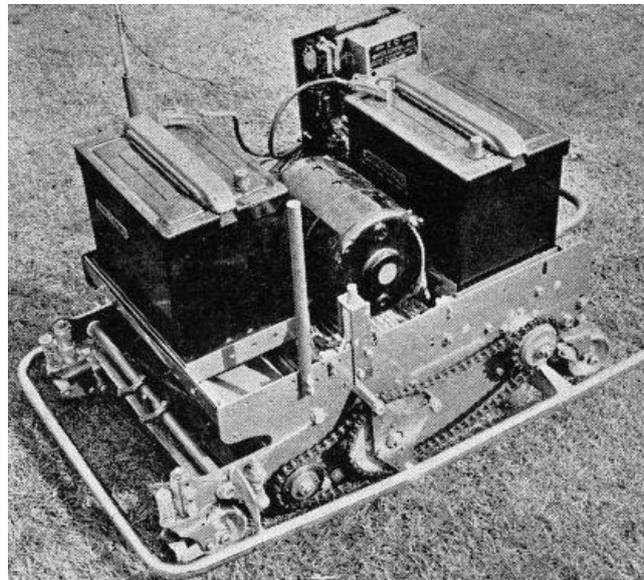


Figura 8: Cortador de césped radio operado

Fuente: (Life & Life Magazine, 1995)

Este invento impulsó el comienzo de proyectos similares con el objetivo de hacer que una máquina desarrolle el trabajo del ser humano.

Mientras el desarrollo de las máquinas aumenta se va fortaleciendo la diferencia de las cortadoras de césped eléctricas con las cortadoras de combustión, debido a sus aplicaciones, siendo la cortadora eléctrica ideal para áreas de mantenimiento donde el césped no se encuentre alto ni abultado.

1.4 Definición del Problema

El césped comúnmente hallado en espacios verdes en Quito es:

- Pasto kikuyo

Es un pasto de estación cálida que se esparce rápidamente y prospera en áreas de temperaturas moderadas el cual se observa en la figura 9.



Figura 9: Hierba pasto kikuyo

Fuente: (Universidad de California, 2014)

En base a este tipo de césped, se detallan parámetros que ayudan al diseño de la máquina.

1. Seleccionar el motor adecuado para el corte de césped que sea capaz de cortar el pasto kikuyo.
2. Acondicionar un sistema de movilidad el cual permita a la máquina ingresar en todo tipo de terreno
3. Diseñar un sistema de amortiguamiento el cual sea capaz de disipar la energía vibratoria.
4. Diseñar la estructura que soporte al motor y los diferentes equipos, fuente de alimentación y sistema de movilidad.
5. Seleccionar el sistema de alimentación eléctrica que respalde de energía en el tiempo de operación a todos los elementos.
6. Regular la altura de motor con el fin de obtener el nivel de corte deseado

1.5 Justificación e importancia

El mantenimiento de áreas verdes “..son consideradas como los pulmones de las ciudades, las cuales, a través de la vegetación, purifican el aire...” según (MAZARI, 2004), por lo tanto cumplen una importante labor en nuestro ambiente, y además de darle una decoración, proveen oxígeno.

El crecimiento constante de la población ha llevado a reducirse y a generar un deterioro en áreas verdes, como se puede apreciar en la figura 10.



Figura 10: Áreas verdes descuidadas

Fuente: (Opinión, 2011)

Para preservar las áreas verdes se utilizan varias herramientas las cuales ayudan al mantenimiento haciendo que vuelvan a ser lugares aptos para la recreación del ser humano.

Dos de las herramientas más utilizadas para el cuidado de espacios verdes son:

- Cortadora de césped a combustión, figura 11 (a)
- Moto guadaña, figura 11 (b)



Figura 11: (a) Cortadora de Césped a combustión y (b) Moto Guadaña

Fuente: (Jcnarcisi, 2014)

El ser humano al utilizar herramientas manuales es propenso a ser víctima de lesiones que son provocadas por este tipo de instrumentos como:

- Desprendimiento de objetos sólidos del suelo que puedan herir directamente al operario.
- Atasco de la máquina causando que el operario tenga que actuar de manera directa.
- Ruido excesivo tanto del motor eléctrico, como el de combustión.
- En máquinas cortadoras de césped a combustión producen vibraciones las cuales perjudican con el tiempo al operador.
- Gases que se desprenden al cortar el césped.

Razones por las cuales el presente proyecto es generar una solución rápida y eficiente pudiendo proporcionar al operador un entorno seguro y saludable de trabajo, logrando controlar con la misma precisión la herramienta como lo haría de forma manual.

El interés adicional en el presente proyecto es construir un vehículo que puede servir como plataforma para investigación de sistemas totalmente autónomos.

1.6 Objetivos

1.6.1 General

Diseñar y construir una máquina cortadora de césped que funcione de forma tele-operada con la capacidad de elevar la cuchilla de corte a diversas alturas.

1.6.2 Específicos

- Diseñar e implementar una estructura apta para el correcto funcionamiento de la cortadora en diferentes tipos de terreno.
- Seleccionar el motor a utilizar para el corte de césped.
- Diseñar e implementar el sistema de amortiguamiento para disipar correctamente las vibraciones.
- Seleccionar los motores adecuados para que la locomoción de la máquina sea posible en diversos tipos de terreno.
- Seleccionar el tipo de almacenamiento de energía proporcionando una mayor autonomía a la máquina.
- Seleccionar un controlador que permita el trabajo adecuado entre el mando de operación y el sistema de locomoción.
- Elaborar protocolo de pruebas para verificar el funcionamiento de la máquina.

1.7 Alcance

El proyecto consiste en el diseño y construcción de un prototipo de cortadora de césped tele-operada el cual presenta las siguientes características:

- La estructura soporta la carga de todos los elementos que se adicionan.
- El sistema de amortiguamiento debe estar diseñado de forma tal que disipe las vibraciones producidas por el motor.
- El sistema de alimentación eléctrica debe ser capaz de sustentar energía a todos los elementos para realizar su trabajo por lo mínimo en una hora.
- El sistema de locomoción debe estar diseñado de tal manera que permita su operación en terrenos inclinados de hasta 25 grados.

CAPÍTULO II

ESTADO DE ARTE

2.1 Máquinas para el cuidado agroforestal

El uso de máquinas que facilitan el cuidado medioambiental ha estado presente desde tiempos antiguos.

2.1.1 Cortadora de césped

En base a uno de los primeros diseños de cortadoras de césped el cuál se puede observar en la figura 12, se han ido desarrollando máquinas que facilitan el cortado de césped.



Figura 12: Cortadora de rodillo y palas cortantes

Fuente: (Lueger, 1904)

A principio de los años 30 Power Specialties (Evans, 1994), lanzó al mercado una cortadora que funcionaba con un motor a gasolina con cuchillas que seguían siendo rotativas.

Con el pasar de los años se fueron desarrollando nuevas formas de alimentación eléctrica (Robotics, 2014). Permitiendo el uso de motores para su locomoción logrando así la automatización de este tipo de máquinas como se puede observar en la figura 13.



Figura 13: Cortadora de césped automática

Fuente: (Deere, 2015)

2.2 Motores a combustión interna

Se denomina así a los motores en el cuál la energía mecánica se obtiene a través de la transformación de energía térmica provocada por la combustión que se produce en el interior del motor, lo cual permite el movimiento de pistones que generan la fuerza necesaria para el movimiento de un eje mediante un flujo activo obteniendo trabajo mediante la compresión y expansión de un volumen a presión.

Se clasifican los motores de combustión interna en 4 tipos detallados de la siguiente forma: Motor cíclico Otto, Motor diésel, motor rotatorio y la turbina de combustión.

El motor cíclico Otto proviene del técnico alemán Nikolaus August Otto que lo patentó en el año de 1886 con un motor a 4 tiempos, o denominado motor de gasolina el cual se puede observar en la figura 14.

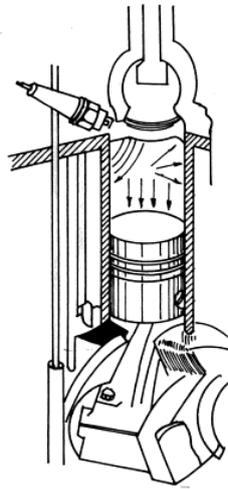


Figura 14: Parte de motor de combustión pistón

Fuente: (Gilardi, 1985)

Los motores de gasolina ciclo Otto poseen un funcionamiento a 4 tiempos o 2 según sean diseñados tomando en cuenta:

- Tiempo de admisión: El aire ingresa junto al combustible a la cámara.
- Tiempo de compresión: La mezcla del combustible/aire es comprimida y mediante una bujía es encendida.
- Tiempo de combustión: El combustible se inflama y es empujado hacia abajo.
- Tiempo de escape: Los gases producidos son lanzados al exterior mediante la válvula de escape

Cuadro 4:

Ventajas de motores de combustión tipo Otto y Diésel

Ventajas	
Motor Otto	Motor Diésel
Eficiente: la combustión es rápida	Bajas emisiones de CO ₂
Costo accesible respecto a motores tipo diésel	Alto par de torsión a bajas revoluciones
	Menor consumo de combustible

En el cuadro 4, se presentan las ventajas del motor de combustión tipo Otto y del motor de combustión tipo Diésel

Cuadro 5:

Desventajas de motores de combustión tipo Otto y Diésel

Desventajas	
Motor Otto	Motor Diésel
Complejidad de manufactura	Niveles de ruido altos
Requiere de combustible altamente refinado	Alto costo de mantenimiento
	Mayor potencia e bajas velocidades

En el cuadro 5, se presentan las ventajas del motor de combustión tipo Otto y del motor de combustión tipo Diésel

2.3 Actuadores

2.3.1 Servomotores

Son motores eléctricos de c.c. que tiene por ventaja primaria el posicionamiento inmediato dentro de su rango de operación, el servomotor espera un tren de pulsos necesarios para llegar a la posición deseada, posee un rendimiento controlado ya que puede llegar a posiciones angulares al recibir una señal codificada.

En la industria son usados específicamente para máquinas que necesiten una gran precisión, tanto en velocidad, control de momento par, que lo hacen efectivo y decisivo a la hora de aumentar la productividad en máquinas.



Figura 15: Servomotor con ventilador centrífugo sin escobillas

Fuente: (Industrial, 2012)

En la figura 15 se observa un servomotor sin escobillas de alto rendimiento para máquinas CNC.

Cuadro 6:
Ventajas y desventajas de Servomotor

Ventajas	Desventajas
Posee gran capacidad en torque	No es posible cambiar las especificaciones del motor
Potencia proporcional para cargas mecánicas	Construcción es sumamente elevada
Mayor precisión	Para controlar varias secuencias de posiciones, es difícil utilizar sistemas basados en micros
Fácil de instalar físicamente	No puede girar indefinidamente
Posee una caja reductora instalada	

2.4 Arduino

Es una plataforma que maneja software libre para su programación y posee un sistema de procesamiento de señales permitiendo la utilización de este elemento en sistemas de control.

Massimo Banzi y Fernando Barragán los fundadores de la idea tomaron en cuenta dos aspectos, el primero es competir con costos comerciales y el segundo es mantener la lógica programable para la ejecución de diversos propósitos.



Figura 16: Placa Arduino Uno

Fuente: (ArduinoUno, 2010)

En la figura 16 se puede observar una placa de Arduino Uno y sus componentes.

La tarjeta Arduino que cumple con los requerimientos de diseño de la cortadora debe tener las siguientes características mostradas en el cuadro 7:

Cuadro 7:
Requerimientos de la cortadora de césped

Elemento	Requerimiento
Interrupciones	2 canales
ESC	4 salidas a PWM
Leds	2 salidas digitales

Hardware:

- Microprocesador ATmega328
- 32 Kbyte de memoria flash
- 1 Kbyte de memoria RAM
- 13 pines de entrada y salidas digitales
- 5 pines para entradas analógicas
- 6 pines para salidas analógicas (PWM)

Se determina que varias tarjetas de Arduino poseen este tipo de características, por ende se hace la selección de la tarjeta Arduino Uno, el cual facilita que el sistema cumpla los requerimientos mínimos.

2.5 Controlador del servomotor

Para utilizar el servomotor se requiere de un driver que permita manejar las señales que recibe por lo cual se consideran ciertos aspectos:

- Entrada y salida de potencia:

Debe ser capaz de soportar la intensidad de amperaje con la que trabajan los servomotores.

- Comunicación Serie

Tiene que ser de fácil configuración y compatibilidad para que pueda trabajar con el controlador principal.

- Condiciones de operación

Debe tener un diseño robusto que soporte las condiciones desfavorables a las cuales la máquina pueda trabajar.

2.6 Batería de plomo

Las baterías de plomo son una combinación electroquímica debido a cientos de investigaciones, remontando sus primeras apariciones en el año de 1800 cuando Alessandro Volta descubre la batería galvánica.

Posteriormente en el año de 1868 George Leclanché inventó la pila seca y en 1900 Volta demostró que mediante dos placas de zinc separadas por ácido sulfúrico se producía una corriente eléctrica.

Gastón Planté fue el primero en desarrollar el principio de las baterías de plomo, y también la capacidad de aumentar el almacenamiento de energía, se observa en la figura 17 la variación de voltaje de una batería de plomo de 12VDC a una temperatura de 1°C

Características de una batería de plomo:

- La cantidad de energía que puede almacenar (Wh) Watts/hora.
- La máxima corriente que puede entregar (descarga) (Ah) Amperios/hora.
- La profundidad de descarga que puede sostener.

Para calcular la cantidad de energía se utiliza la siguiente fórmula:

$$Wh = V_{nominal} \times A_h \quad (1)$$

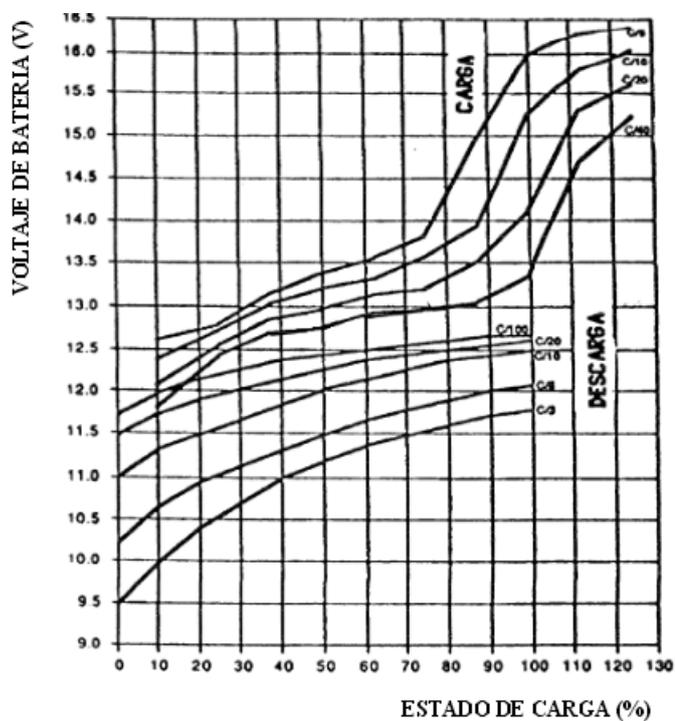


Figura 17: Variación de voltaje de batería Pb-Ácido 12V, T 1°C

Fuente: (Olajedatos, 2009)

Como se observa en el cuadro 8, las bajas temperaturas causan problemas de funcionamiento, mientras que temperaturas elevadas reducen el tiempo de vida útil de una batería de Pb-ácido.

Cuadro 8:

Reducción de la vida útil por temperaturas altas

Temperatura del electrolito (°C)	Reducción de la vida útil (%)
25	0
30	30
35	50
40	65
45	77
50	87
55	95

Fuente: Olajedatos, 2009

2.7 Sistema de amortiguamiento

Siempre que se trabaje con un motor, ya sea eléctrico o de combustión se requiere de un sistema que amortigüe las vibraciones para no ser transferidas a la estructura.

El interés recae sobre el estudio de las amplitudes de la vibración, la determinación de las causas y la solución ideal para minimizar los efectos causados.

Efectos que produce la vibración:

- Vibración debida a desbalance

El desbalance de un rotor tiene como resultado mayor amplitud en el sentido axial y radial

- Vibración debida a excentricidad

Surge en máquinas rotativas, por el aumento de peso en un lado del eje.

- Vibración por aflojamiento de piezas mecánicas

La acción de golpeo (machacado) resultante produce alta vibración.

2.7.1 Sistema masa resorte

El sistema se fundamenta en un resorte sujeto de un extremo y por el otro una masa, el resorte ideal es aquel que posee un alto coeficiente de elasticidad, ya que no permite la deformidad en su rango de elongación, el movimiento es representado mediante la ecuación 2.

$$m \times a = -k \times x \quad (2)$$

Donde:

x = posición (altura)

k = constante de elasticidad del resorte

2.7.2 Movimiento armónico sencillo

Es un movimiento en una sola dirección, de una masa estirada en un resorte como se observa en la figura 18, posee un grado único de libertad. Si se desplaza la masa, mediante la compresión del resorte vuelve a la posición original, es decir al punto de equilibrio.

La masa al moverse tiene energía cinética en el momento de la compresión y crea un movimiento oscilatorio ya que la masa se desplaza en la dirección contraria, así perderá la velocidad hasta pararse.

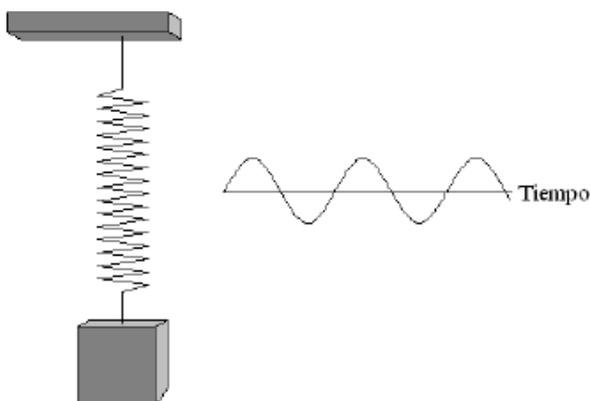


Figura 18 : Sistema masa-resorte en movimiento oscilatorio

Fuente: (azimadli, 2008)

2.8 Despliegue de la función de calidad

Antes de llegar un producto al mercado se debe considerar ciertos requerimientos para los posibles clientes, tomando en cuenta las necesidades y expectativas, el QFD conocido con el acrónimo inglés de (Quality function deployment), se introdujo como punto crítico en el diseño y fabricación de productos.

El despliegue de la función de calidad es una metodología fundamentada en los gustos y necesidades del usuario para crear productos, mediante los siguientes criterios:

- Una visión objetiva de las necesidades del cliente en un producto y los requisitos que debe cumplir.
- Relevancia de las características importantes y desecho de aquellas que no son necesarias.

2.8.1 Casa de la calidad

La casa de la calidad representa una matriz de características importantes y su relación entre sí.

Fases del desarrollo (QFD)

1. Identificación de los requerimientos del cliente
2. Identificación de los requerimientos técnicos
3. Despliegue del cuadro de calidad
4. Análisis de resultados

2.8.2 Estructura de la casa de la calidad

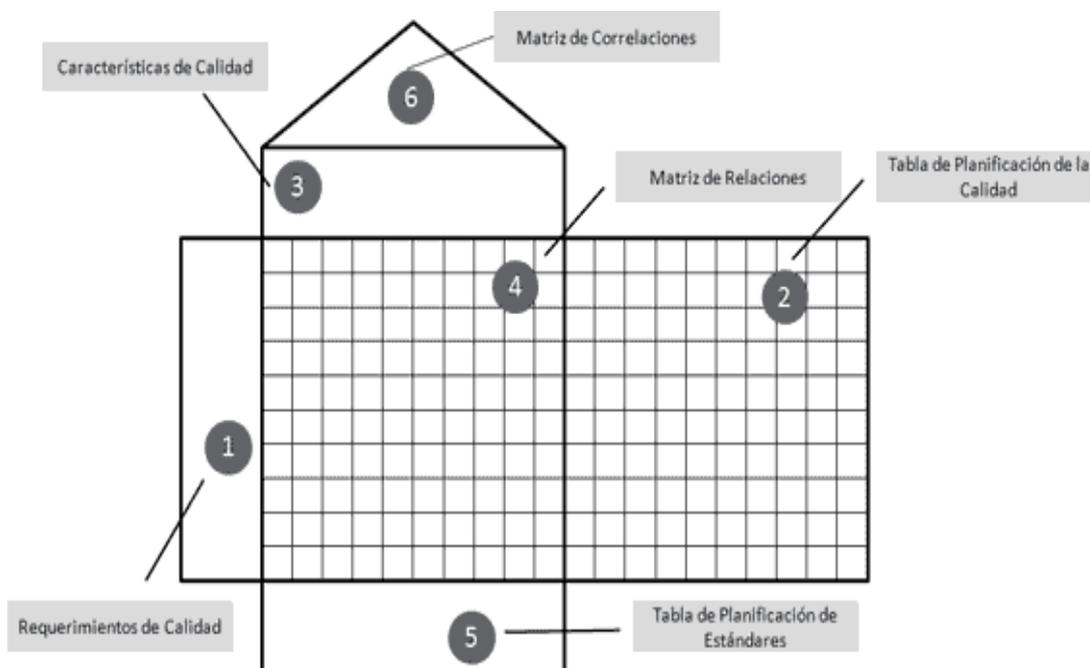


Figura 19 : Casa de la calidad y su estructura

Fuente: (AitecoConcultores, 1999-2013)

- Requerimientos del cliente

Representan los requisitos propios del cliente para su satisfacción del producto, priorizando estas características en el diseño.

- Prioridades

Todos los requisitos del cliente poseen una importancia diferente, por lo que a cada necesidad y requisito se le otorga un porcentaje respecto al 100%

- Características técnicas

Las características técnicas buscan métricas (parámetros técnicos) en relación a las necesidades del cliente.

- Matriz de relaciones

En la figura 20 se observan los requerimientos del cliente (el “que”) y las posibles características técnicas que son capaces de satisfacer (el “como”).

La matriz representa la importancia que poseen los requerimientos del cliente compensados por una característica técnica.

- Correlación entre las características técnicas

El panel triangular de la parte superior de la Figura 20 indica la correlación entre las características técnicas con las necesidades del cliente.

En el diseño de nuevos productos, es importante conocer el efecto que un incremento o mejora en una característica técnica tiene sobre las demás. (yan, 2014)

CAPÍTULO III

DISEÑO

3.1 Planificación QFD

Para que el diseño de la cortadora de césped sea robusta y eficiente, se analiza mediante la herramienta de planificación de la función de calidad o QFD.

El análisis implica la realización de matrices que satisfagan los objetivos iniciales del proyecto.

3.1.1 Reconocimiento de los requisitos

De acuerdo a las necesidades de funcionamiento y del entorno de aplicación se tienen los siguientes requerimientos cualitativos:

- Tiempo de trabajo
- Estructura resistente
- Facilidad de manejo
- Seguridad en operación
- Robustez en condiciones desfavorables
- Regular nivel de corte

3.1.2 Reconocimiento de factores técnicos

A continuación se presentan las posibles soluciones a los requisitos cualitativos anteriormente descritos.

- Estructura
- Materiales
- Control de locomoción
- Motores
- Batería
- Control RC externo
- Protección mecánica
- Protección eléctrica

3.1.3 Despliegue de la función de calidad

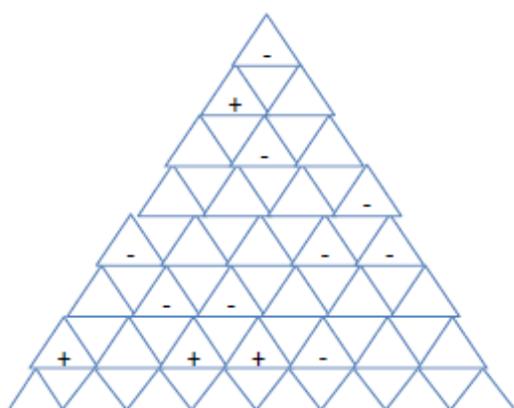
Una vez que se obtuvieron las necesidades del cliente y las necesidades del proyecto se pueden correlacionar con los requisitos técnicos entre unos y otros en una matriz de función de calidad, mostrada en el cuadro 9.

Cuadro 9 :

Leyendas del QFD (Ponderaciones de la casa de la calidad)

Ponderaciones		Interacción		Relaciones	
Símbolo	Valor	Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo
⊕	5	Afirmativa	+	Fuerte	•
⊗	3	Negativa	-	Moderada	◦
∩	1	Sin correlación		Débil	Δ

Cuadro 10:
Despliegue de la función de la calidad



		Columna								
		1	2	3	4	5	6	7	8	
		Ponderación								
		0	Δ	Δ	0	Δ	n	Δ	Δ	
Fila	Ponderación	Factores técnicos								
		Requerimiento cliente	Estructura	Materiales	Control de movimiento	Motores	Batería	Control RC externo	Protección mecánica	Protección Eléctrica
1	0	Gran Autonomía de movilidad	Δ	Δ	•	•	o	Δ	o	o
2	Δ	Resistente	•	o	Δ	Δ	Δ	Δ	o	Δ
3	n	Facilidad de manejo	Δ	Δ	•	Δ	o	•	Δ	o
4	n	Seguro	o	o	Δ	Δ	Δ	Δ	o	Δ
5	Δ	Robusto	•	•	Δ	Δ	o	Δ	o	o
6	Δ	Regular nivel de corte	o	Δ	Δ	•	Δ	Δ	o	Δ
Ponderación absoluta		240	108	120	240	102	20	138	102	
Ponderación relativa		12	5,4	6	12	6,9	1	5,1	5,1	
Prioridad		2	5	4	1	3	8	7	6	

3.1.4 Análisis de resultados

Con los resultados vistos en el cuadro 11, se encuentran los factores más importantes en el diseño para complacer los requisitos iniciales, los requerimientos técnicos principales se realizan tomando en cuenta las necesidades del cliente y así poder cumplir mediante estos factores los restantes.

Cuadro 11:

Resultados de factores importantes del análisis QFD

N	Factor técnico	Peso Relativo
1	Motores	22%
2	Estructura	22%
3	Control de locomoción	11%
4	Batería	11%
5	Materiales	10%
6	Protección eléctrica	10%
7	Protección mecánica	7%
8	Control rc externo	7%

Los resultados demuestran que es necesario realizar una selección correcta del motor de combustión ya que permite el corte del césped y es el elemento necesario que fundamenta el diseño de la estructura.

El segundo factor técnico importante es la estructura, un análisis correcto mediante un software CAD permitirá la elección de los elementos y las deformaciones debido a la fuerza ejercida por el motor de combustión.

El tercer factor técnico importante es el control de locomoción, una vez que se tiene los motores instalados se deben mover de forma coordinada con las señales entregadas por el controlador de la máquina y así se le puede proporcionar la dirección de la máquina.

El cuarto factor en importancia son las baterías ya que proporcionan la energía que va a ser consumida por los diferentes elementos de la máquina, por lo tanto las baterías definen la autonomía de la máquina.

3.2 Selección del motor para cortar césped

Para la selección por medio de criterios ponderados se va a dar un peso de 1 como significado al criterio de mayor importancia, 0 en caso de menor importancia y si existe igualdad se considera con 0,5.

3.2.1 Presentación de alternativas

Para poder determinar qué tipo de motor trabaja mejor en condiciones donde el césped se encuentra abultado y alto se presentan dos tipos de soluciones observados en la figura 20 y 21:

Alternativa A: Motor Briggs & Stratton Serie 625E



Figura 20: Motor Briggs & Stratton Serie 625E

Fuente: (PoulanPro, 2012)

Cuadro 12:

Características técnicas motor Briggs & Stratton Serie 625E

Alternativa A	
torque	6 Hp
movilidad	armazón fijo a ruedas
ancho de corte	52cm
peso	10,9Kg
costo	300\$
alimentación	gasolina

- Ventajas
 1. Alto torque
 2. Ancho de corte
 3. No consume energía eléctrica
- Desventajas
 1. Costo elevado
 2. Pesado
 3. Está sujeto a un armazón, limitado para cortar áreas pequeñas
 4. Produce gases contaminantes
 5. Alto ruido
 6. Produce vibraciones

Alternativa B: Motor Petri Max25



Figura 21: Motor Petri Max25

Fuente: (Sodimac, 2013)

Cuadro 13:

Características técnicas motor Motor Petri Max25

Alternativa B	
torque	2 Hp
movilidad	armazón fijo a ruedas
ancho de corte	42mm
peso	5Kg
costo	200\$
Alimentación	Eléctrica 110VAC

- Ventajas
 1. No contamina
 2. Costo económico
 3. Liviano

- Desventajas
 1. Se necesita estar conectado a la alimentación eléctrica con un cable
 2. Torque bajo en caso de cortar césped espeso
 3. Está sujeto a un armazón, limitado para cortar áreas pequeñas
 4. Alto ruido

3.2.2 Selección por el método de criterios ponderados

Los criterios más importantes para la selección del motor son:

- Torque: La cortadora de césped por ser una maquina móvil debe disponer de un motor de corte con alto torque para que este pueda atravesar malezas que se encuentren en su camino, dando seguridad en su desempeño para diferentes tipos de terreno.

- Costo: El costo del motor debe ser viable debido a que este siempre es un limitante para el desarrollo de la máquina.
- Alimentación: La alimentación del sistema es indispensable para conocer el tiempo de funcionamiento de la máquina.
- Ancho de Corte: Mientras mayor sea el diámetro de la cuchilla se puede abarcar mayor terreno.

3.2.3 Peso específico de cada criterio

Cuadro 14:

Peso Específico de los criterios de selección

torque > costo > Alimentación = Ancho de corte						
Criterio	torque	costo	alimentación	ancho de corte	$\Sigma+1$	Ponderación
Torque	-	1	1	1	4	0,4
Costo	0	-	1	1	3	0,3
Alimentación	0	0	-	0,5	1,5	0,15
ancho de corte	0	0	0,5	-	1,5	0,15
				Suma	10	1

El cuadro 14 representa el peso de cada criterio tomando en cuenta, el torque con un mayor peso que el costo y mayor que la alimentación.

3.2.4 Peso específico de cada una de las alternativas

Cuadro 15:

Ponderación del criterio de torque

Alternativa A > alternativa B				
Criterio	Alternativa A	Alternativa B	$\sum+1$	Ponderación
Alternativa A	-	1	2	0,666667
Alternativa B	0	-	1	0,333333
		Suma	3	1

Cuadro 16:

Ponderación del criterio de costo

Alternativa B > alternativa A				
Criterio	Alternativa A	Alternativa B	$\sum+1$	Ponderación
Alternativa A	-	0	1	0,333333
Alternativa B	1	-	2	0,666667
		Suma	3	1

Cuadro 17:

Ponderación del criterio de alimentación

Alternativa A > alternativa B				
Criterio	Alternativa A	Alternativa B	$\sum+1$	Ponderación
Alternativa A	-	1	2	0,666667
Alternativa B	0	-	1	0,333333
		Suma	3	1

Cuadro 18:

Ponderación del criterio de ancho de corte

Alternativa A > alternativa B				
Criterio	Alternativa A	Alternativa B	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa A	-	1	2	0,666667
Alternativa B	0	-	1	0,333333
		Suma	3	1

Cuadro 19:

Resultado de la selección de motores

Solución	Torque	Costo	alimentación	Ancho de corte	Ponderación	Prioridad
A	0,2666666	0,1	0,1	0,1	0,56666667	1
B	0,1333333	0,2	0,05	0,05	0,43333333	2
				Suma	1	

3.2.5 Análisis de resultados

El método de criterios ponderados da como resultado la selección de la alternativa A, que representa el motor a combustión de 4 ciclos y consta de un torque alto para maleza espesa, siendo este de mayor importancia para que la máquina pueda operar en diferentes tipos de terreno.

3.3 Selección del sistema de locomoción

Para la selección por medio de criterios ponderados se va a dar un peso de 1 como significado al criterio de mayor importancia, 0 en caso de menor importancia y si existe igualdad se considera con 0,5.

3.3.1 Presentación de alternativas

En la locomoción de la máquina se debe considerar la necesidad de atravesar hierba espesa para que pueda ser cortado, por lo que se necesita que tenga alto torque. Se considera dos tipos de opciones mostrados en las figuras 22 y 23.

Alternativa A: Motor Paso a Paso Nema 34

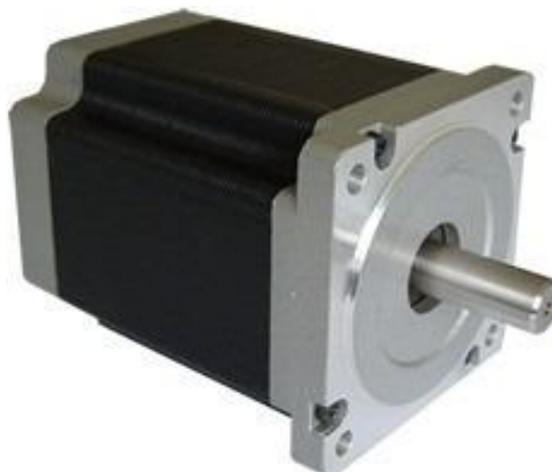


Figura 22: Motor Paso a Paso Nema 34

Fuente: (Omc-Stepperonine, 2012)

Cuadro 20:

Características motor Paso a Paso Nema 34

Alternativa A	
torque máximo	12Nm
Amperaje Máximo Consumo	5A
tensión de trabajo	24Vdc - 80Vdc
Peso	5,3Kg
Instalación	Sujeción a placa
Costo	240\$

- Ventajas

1. Consumo de corriente es bajo
2. Tiene una variedad de trabajo para la alimentación eléctrica
3. Liviano
4. Tiene un costo accesible por las características que presenta

- Desventajas

1. Torque bajo
2. Toca hacer una base para su instalación

Alternativa B: Servomotor A&J con caja reductora



Figura 23: Servomotor con caja reductora

Fuente: (Chang-hua, 2010)

Cuadro 21:

Características Servomotor con caja reductora

Alternativa B	
torque máximo	21Nm
Amperaje Máximo Consumo	8A
tensión de trabajo	18Vdc - 24Vdc
Peso	8,5Kg
Instalación	Sujeción directa con tubo
Costo	280\$

- **Ventajas**

1. Tiene un torque alto
2. Tiene una variedad de trabajo para la alimentación eléctrica
3. Tiene un costo accesible por las características que presenta
4. Fácil instalación

- **Desventajas**

1. Pesado

3.3.2 Selección por el método de criterios ponderados

Los criterios que se consideran importantes para la selección de los motores son:

- **Torque:** Siendo un factor muy importante debido a que la máquina debe moverse en diferentes tipos de terreno y atravesar hierba espesa.
- **Costo:** Se debe considerar el precio en referencia a las características requeridas.

- Tensión de trabajo: El voltaje de operación determina el tiempo de duración del sistema de almacenamiento de energía.
- Consumo de Energía: Si se tiene un consumo de energía adecuado, este puede dar mayor tiempo de funcionamiento a la máquina para realizar un trabajo a larga duración.
- Instalación: La instalación debe ser fácil con el fin de asegurar un correcto mantenimiento.
- Peso: Debe considerarse el peso para que no existan cargas extras en la estructura pudiendo debilitarla.

Cuadro 22:

Peso específico de los criterios de selección

torque > tensión > Instalación > Costo = Peso >Consumo de Energía								
criterio	Torque	costo	tensión	consumo de energía	instalación	peso	$\sum+1$	Ponderación
torque	-	1	1	1	1	1	6	0,272727
costo	0	-	1	0	1	0,5	3,5	0,159091
tensión	0	1	-	1	1	1	5	0,227273
consumo de energía	0	0	0	-	0	0	1	0,045455
instalación	0	1	0	1	-	1	4	0,181818
peso	0	0,5	0	1	0	-	2,5	0,113636
						Suma	22	1

3.3.3 Peso Específico de cada criterio

Peso Específico de Cada Una de las Alternativas con Respecto a los criterios de Selección

Cuadro 23:

Ponderación de criterio de corte

Alternativa B > alternativa A				
Criterio	Alternativa A	Alternativa B	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa A	-	0	1	0,333333
Alternativa B	1	-	2	0,666667
		Suma	3	1

Cuadro 24:

Ponderación del criterio de costo

Alternativa A > alternativa B				
Criterio	Alternativa A	Alternativa B	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa A	-	1	2	0,666667
Alternativa B	0	-	1	0,333333
		Suma	3	1

Cuadro 25:

Ponderación del criterio de tensión

Alternativa B > alternativa A				
Criterio	Alternativa A	Alternativa B	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa A	-	0	1	0,333333
Alternativa B	1	-	2	0,666667
		Suma	3	1

Cuadro 26:

Ponderación del criterio de consumo de energía

Alternativa A > alternativa B				
Criterio	Alternativa A	Alternativa B	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa A	-	1	2	0,666667
Alternativa B	0	-	1	0,333333
		Suma	3	1

Cuadro 27:

Ponderación del criterio de instalación

Alternativa B > alternativa A				
Criterio	Alternativa A	Alternativa B	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa A	-	0	1	0,333333
Alternativa B	1	-	2	0,666667
		Suma	3	1

Cuadro 28:

Ponderación del criterio de peso

Alternativa A > alternativa B				
Criterio	Alternativa A	Alternativa B	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa A	-	1	2	0,666667
Alternativa B	0	-	1	0,333333
		Suma	3	1

Cuadro 29:

Resultado de la selección de motores para la movilidad

Solución	Torque	Costo	tensión	consumo de energía	instalación	peso	Ponderación	Prioridad
Alternativa A	0,090909091	0,106060606	0,075757576	0,03030303	0,06060606	0,075757575	0,43939393	2
Alternativa B	0,181818182	0,053030303	0,151515151	0,015151515	0,121212121	0,037878787	0,56060606	1
Suma							1	

3.3.4 Análisis de resultados

El método de criterios ponderados da como resultado la selección de la alternativa B que representa el servomotor el cual consta de una caja reductora permitiendo que este tenga un torque alto y pueda facilitar su movimiento en diferentes tipos de terreno. Es de fácil instalación y tiene una alimentación de 24VDC.

3.4 Selección de almacenamiento de energía

La disponibilidad de baterías en el Ecuador a 24VDC es mínima, una solución viable es adaptar 2 baterías de 12VDC en serie para obtener el voltaje adecuado para los servomotores.

- Capacidad

Describe la cantidad de consumo de amperaje en un tiempo determinado, a continuación se presenta el consumo de energía promedio de los elementos de la máquina.

Consumo Promedio de Cada servo motor: 320 Watt

Consumo Promedio del resto de dispositivos: 60 Watt

Consumo Promedio Total: 700Watt

Los requerimientos de la maquina permiten tener una trabajo de por lo mínimo 1 hora de corte siendo una opción de compra respecto de máquinas manuales existentes.

Se calcula el consumo de energía en el tiempo de trabajo:

Vatios-hora = vatios \times hora = 700 vatios \times 1 horas = 700 vatios hora

Como vatios = amperios \times voltios dividimos los vatios-hora por el voltaje de la batería y obtenemos los amperios-hora de almacenaje de la batería.

Amperios-hora (a 24 voltios) = vatios-hora / 24 voltios = 700 / 24 = 29,17 amperios-hora.

3.4.1 Análisis de resultados

Se concluye que la capacidad de la batería sea 30 A-h para obtener 1 hora de trabajo.

La disponibilidad de esta clase de baterías en Ecuador es para uso automotriz con niveles de amperaje similar e incluso superior al requerido, al

realizar la conexión en serie su voltaje se suma mientras que su amperaje se mantiene.

Los fabricantes de baterías recomiendan que estas no se descarguen más del 50% con el objetivo de tener una vida larga de uso, por lo tanto la batería que se requiere es de 60 A-h.

Por cuestiones de diseño se escoge dos batería de dimensiones pequeñas de 12Vdc con una capacidad de 42Ah, El requisito mínimo es de 30Ah para que la maquina trabaje por una hora, la batería seleccionada tendrá un desgaste del 71,43%.

3.5 Selección de sistema de amortiguamiento

Para poder determinar el tipo de amortiguamiento se parte del análisis más común en la teoría de vibraciones, el cual es el uso del resorte. Si el sistema de amortiguamiento es elegido de manera apropiada este podría ayudar a evitar o reducir significativamente la posibilidad de resonancia durante el funcionamiento.

Para el motor a combustión se considera un sistema de masa resorte el cual se puede observar en la figura 24, y se necesita determinar la frecuencia natural del sistema para saber si este entra en resonancia.

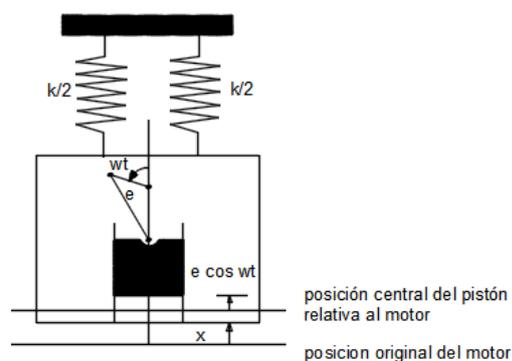


Figura 24: Diagrama esquemático del sistema

Fuente: (Gutowski, 1972)

“La masa del motor entero será m y la masa del pistón m_p . La manivela tendrá una longitud e y hará un ángulo ωt con la vertical. El movimiento absoluto del pistón se compondrá entonces, del movimiento del motor y el movimiento del pistón relativo al motor: $x + e \cos \omega t$.” (Gutowski, 1972)

Ahora se necesita considerar las fuerzas que actúan en el sistema, como se puede observar en la figura 25, se debe notar que las fuerzas como la del rozamiento de los cojinetes, etc., son fuerzas internas y no entran en los cálculos para la ecuación del movimiento.

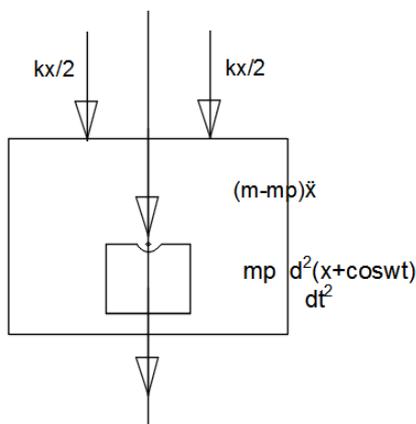


Figura 25: Diagrama del cuerpo libre del sistema masa resorte

Fuente: (Gutowski, 1972)

En primer lugar se resuelve la ecuación diferencial del movimiento del pistón

$$m_p \times \frac{d^2(x + e \cos \omega t)}{dt^2} \quad (3)$$

$$m_p \times \frac{d(-e \times \omega_n \text{ sen } \omega t)}{dt} \quad (4)$$

$$m_p \times (-e \times \omega_n^2 \cos \omega t) \quad (5)$$

$$-m_p \times e \times \omega_n^2 \cos \omega t) \quad (6)$$

Ahora sumando fuerzas del diagrama del cuerpo libre de la figura 25 obtenemos:

$$m\ddot{x} + kx = m_p \times e \times \omega_n^2 \times r^2 \times \cos \omega t \quad (7)$$

La ecuación 7 es la ecuación del movimiento

Se escribe:

$$F_o = m_p \times e \times \omega_n^2 \quad (8)$$

Y luego

$$F = r^2 \times F_o \quad (9)$$

Remplazando la ecuación 9 en la ecuación 7 nos queda

$$m\ddot{x} + kx = F \cos \omega t \quad (10)$$

El cual tiene la misma forma de la ecuación de un sistema forzado como se observa en la figura 26.

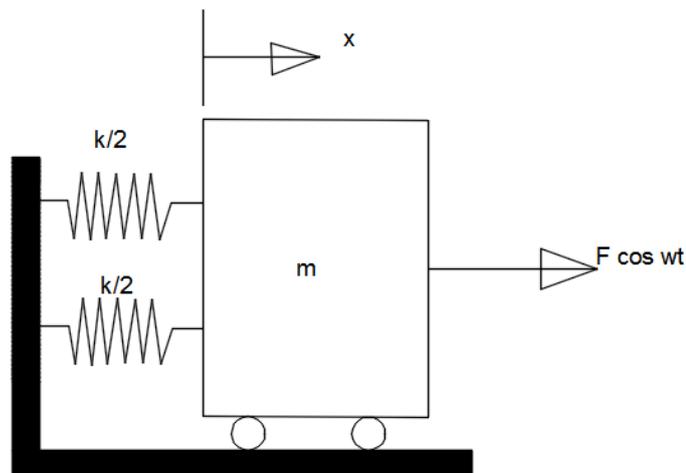


Figura 26: Sistema Perturbado armónicamente

Fuente: **(Gutowski, 1972)**

En la figura 27 se observa el diagrama de cuerpo libre del sistema perturbado armónicamente

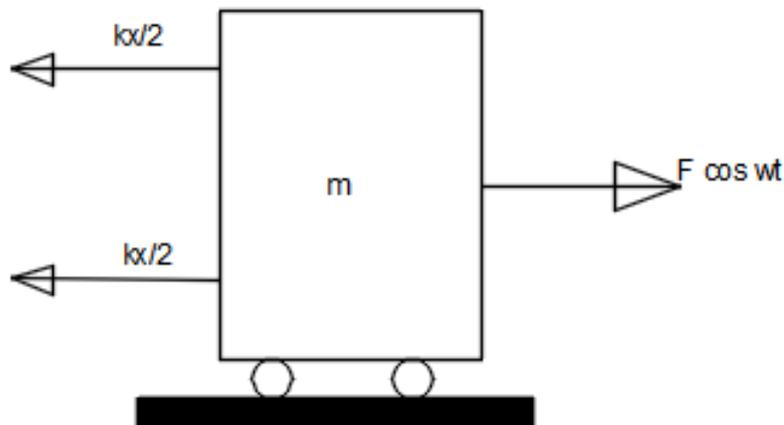


Figura 27: Diagrama de cuerpo libre

Fuente: (Gutowski, 1972)

Esta ecuación tiene como solución para el estado permanente:

$$x = A \cos \omega t + B \operatorname{sen} \omega t \quad (11)$$

Sustituyendo la ecuación 11 junto con su segunda derivada con respecto al tiempo, en la ecuación 10, se obtiene el conjunto de ecuaciones

$$[-\omega^2 mA + kA] \cos \omega t = F \operatorname{Cos} \omega t \quad (12)$$

$$[-\omega^2 mB + kB] \operatorname{sen} \omega t = 0 \quad (13)$$

Simplificando se obtiene:

$$A (k - \omega^2 m) = F \quad (14)$$

$$B (k - \omega^2 m) = 0 \quad (15)$$

Para identificar los valores de A y B se despeja las incógnitas:

$$A = \frac{F}{(k - \omega^2 m)} \quad (16)$$

$$B = 0 \quad (17)$$

Como la solución transitoria desaparece después de un cierto tiempo, solo la solución de estado estable permanecerá. La solución de estado estable de la ecuación 11 está representada también por:

$$x = X \cos(\omega t - \phi) \quad (18)$$

Donde:

$$X = \frac{F}{k - \omega^2 m} \quad (19)$$

Y

$$\phi = 0 \quad (20)$$

La fuerza transmitida al cimiento a través del resorte, $F_t(t)$ es

$$F_t(t) = kx(t) = k X \cos(\omega t - \phi) = k X \cos(\omega t) \quad (21)$$

La magnitud de la fuerza total transmitida (F_T) es

$$F_T = Xk = \frac{Fk}{k - \omega^2 m} \quad (22)$$

“La transmisibilidad o relación de la transmisión del aislador (T_f) se define como la relación de la fuerza transmitida a la de la fuerza de excitación.” (Gutowski, 1972)

$$T_f = \frac{F_T}{F_0} = \frac{k}{k - \omega^2 m} = \frac{1}{1 - r^2} \quad (23)$$

Donde $r = \frac{\omega}{\omega_n}$ es la relación de la frecuencia. La variación de T_f con la relación de frecuencia r se muestra en la figura 28.

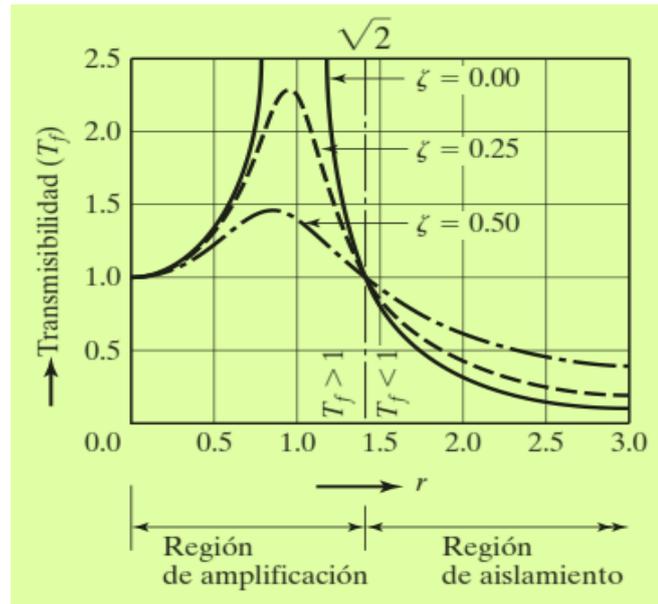


Figura 28: Variación de la relación de transmisión (T_f) con r

Fuente: (Rao, 2012)

Para lograr que el aislamiento de la fuerza transmitida al cimiento tiene que ser menor a la fuerza de excitación. En la figura 28 se ve que la frecuencia forzada tiene que ser mayor que $\sqrt{2}$ veces la frecuencia natural del sistema, para lograr el aislamiento de vibración. Para valores pequeños de la relación de amortiguamiento ζ y la relación de frecuencia $r > 1$, la transmisibilidad de fuerza se puede aproximar como:

$$T_f = \frac{F_T}{F} \approx \frac{1}{r^2 - 1} \quad \text{o} \quad r^2 \approx \frac{1 + T_f}{T_f} \quad (24)$$

Definiendo la frecuencia natural de vibración del sistema no amortiguado como:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{g}{\delta_{est}}} \quad (25)$$

Y la frecuencia de excitación ω como

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} \quad (26)$$

Donde δ_{est} es la deflexión estática del resorte y N es la frecuencia en ciclos por minuto o revoluciones por minuto de máquinas rotatorias como motores eléctricos y turbinas, las ecuaciones 24 a 26 se pueden combinar para obtener.

$$r = \frac{\omega}{\omega_n} = \frac{2\pi N}{60} \sqrt{\frac{\delta_{est}}{g}} = \sqrt{\frac{2-R}{1-R}} \quad (27)$$

Donde

$$R = 1 - T_f$$

Se utiliza para indicar la calidad del aislador y denota el porcentaje de reducción logrado de la fuerza transmitida.

Se puede utilizar la ecuación 27 para generar la gráfica entre N y $\log \delta_{est}$ como una serie de líneas rectas correspondientes a diferentes valores de R, como se muestra en la figura 29.

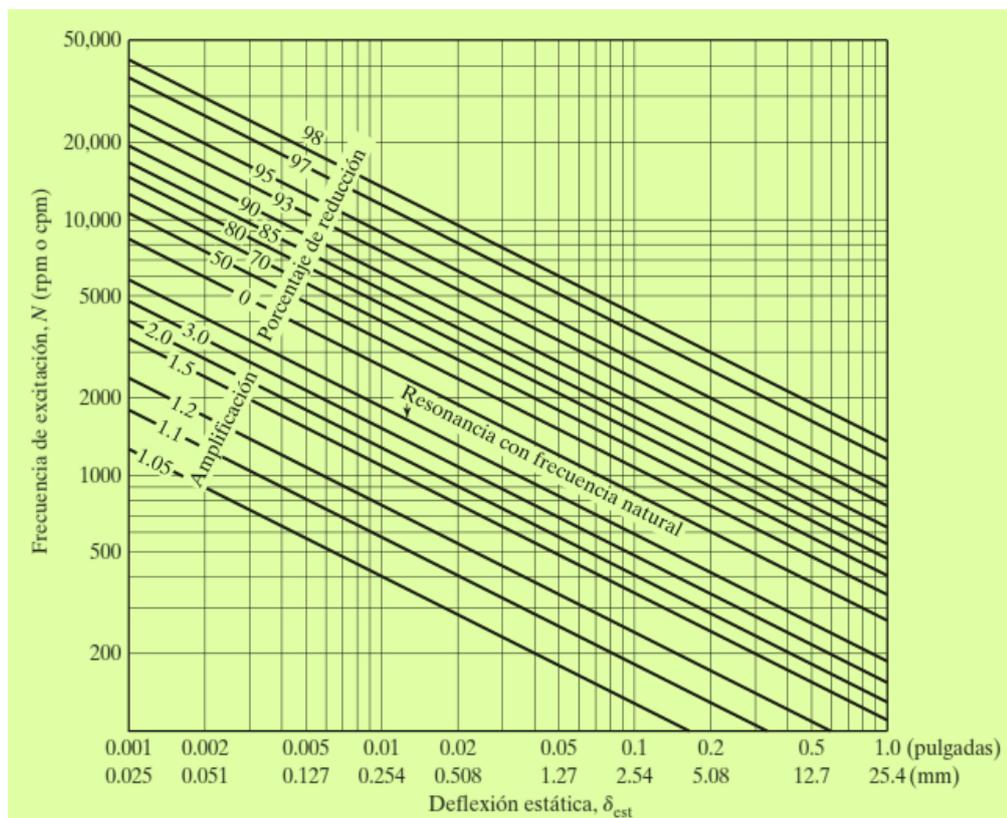


Figura 29: eficiencia de aislamiento

Fuente: (Rao, 2012)

La figura 29 sirve para el diseño del resorte. Para la máquina se quiere considerar un diseño en donde el sistema vibratorio que produce el motor sea transmitido en su totalidad a un elemento el cual sea capaz de recibir esa vibración y transmitirla a su base de apoyo.

Se toma en consideración para el diseño los siguientes datos:

El peso del motor 12Kg

Reducción de vibración 99 %

Velocidad máxima del motor 3060 rpm

Con estos datos se procede a determinar la rigidez del soporte de montaje.

$$N = 29.9092 \sqrt{\frac{2-R}{\delta_{est}(1-R)}} \quad (28)$$

$$\delta_{est} = \frac{894.56 \times (R - 2)}{n^2 \times (R - 1)}$$

$$\delta_{est} = \frac{894.56 \times (0.99 - 2)}{3060^2 \times (0.00 - 1)}$$

$$\delta_{est} = 0.009649 \text{ m}$$

La deflexión estática del soporte de montaje se puede expresar en función de su rigidez (k) como:

$$\delta_{est} = \frac{mg}{k} \tag{29}$$

La cual da la rigidez del soporte de montaje como

$$k = \frac{mg}{\delta_{est}} = \frac{12 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0.009649 \text{ m}} = 12200.1 \text{ N/m}$$

3.5.1 Análisis de resultados

Se concluye que un resorte con la constante determinada puede llegar a disipar bien la energía vibratoria producida por el motor de combustión, por cuestiones económicas el manufacturar un resorte con ese tipo de características es limitante, la opción viable para conseguir el resorte adecuado radica en revisar catálogos de fabricantes con características semejantes.

El resorte que cumple con las condiciones necesarias para el ensamblaje tiene las siguientes características:

Cuadro 30:
Características de resorte

Resorte de extensión	
Serie estándar	
D exterior	38,1mm
D alambre	3,18mm
Carga Máxima	20,4kg
Tensión Inicial	1,9kg
L sin carga	190,5mm
Constante	0,062 kg/mm
L máxima	489,97mm

Se realiza un análisis con el resorte obtenido y se determina cuánto reduce en porcentaje la vibración del motor.

$$\delta_{est} = \frac{mg}{k} = \frac{12 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{607.6 \frac{\text{N}}{\text{m}}} = 0.193746 \text{ m}$$

$$R = \frac{N^2 \times x - 1789.12049}{N^2 \times x - 894.56024} = 0.999507$$

Se concluye que el resorte seleccionado por catálogo cumple con las características del diseño.

3.6 Distribución Eléctrica

En la figura 30 se muestra un diagrama de conexión de las baterías de plomo obteniendo una salida 12Vdc y 24Vdc para la alimentación del motor-reductor de voltaje y los servomotores.

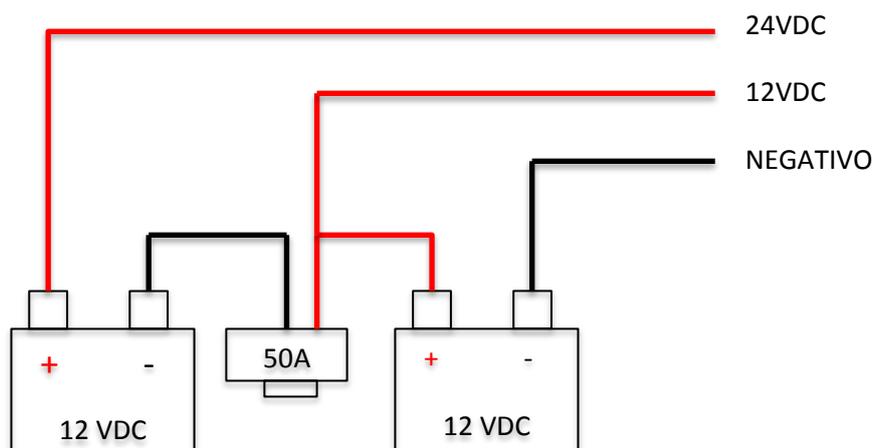


Figura 30: Conexión de baterías para 12VDC y 24VDC

En la figura 31 se presenta la conexión de los motores y señales de control.

Además se presenta la conexión de un motor-reductor que está instalado para elevar la plataforma de corte.

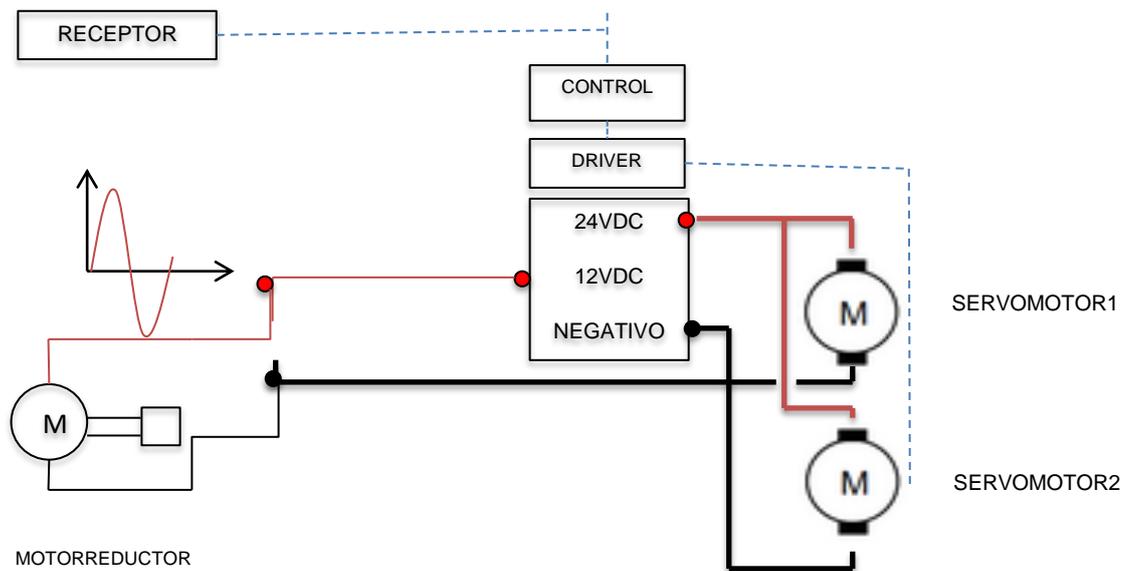


Figura 31: Diagrama de conexión para motores

3.7 Diagrama de control

El presente diagrama representa el funcionamiento del sistema y el ensamblaje por los diversos niveles que posee:

Primero se realizan las conexiones del radiocontrol hacia el arduino una vez obtenidas las señales se puede realizar la conexión hacia los drivers de control de los servomotores, los cuales reciben una señal de pulsos y dependiendo del nivel obtenido se realiza un proceso de control de velocidad.

Segundo se realiza la conexión hacia los terminales de 12VDC de las baterías para obtener una señal 120AC que permiten el accionamiento del motor-reductor, una vez realizado el acople necesario se debe ajustar el

nivel de altura mediante el motor-reductor elevando o disminuyendo la altura del nivel de corte.

En la figura 32 se representa un diagrama de la conexión total del sistema.

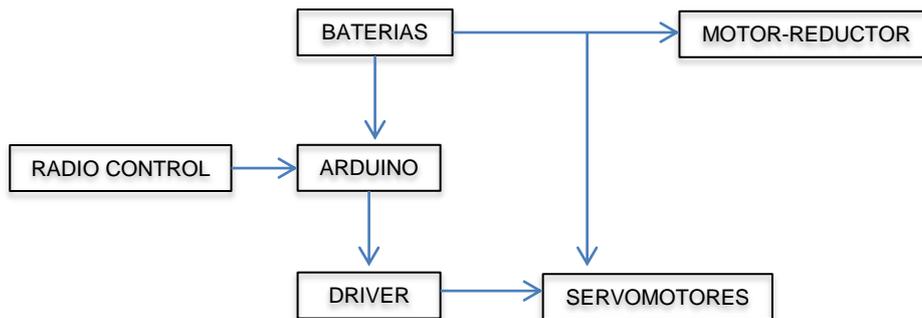


Figura 32: Diagrama de bloques del sistema

3.8 Selección de controlador para sistema de movilidad

Los Servomotores para su correcto funcionamiento necesitan trabajar con sus drivers ya que estos son dispositivos de accionamiento para el control de precisión de velocidad, torque y posición. Básicamente un servomotor contiene en su interior un encoder el cual se puede observar en la figura 33 y un amplificador (driver) el cual se indican en la figura 34, que en su conjunto forman un circuito realimentado para comandar posición, torque y velocidad.



Figura 33: Servomotor

Fuente: (company, 2010)

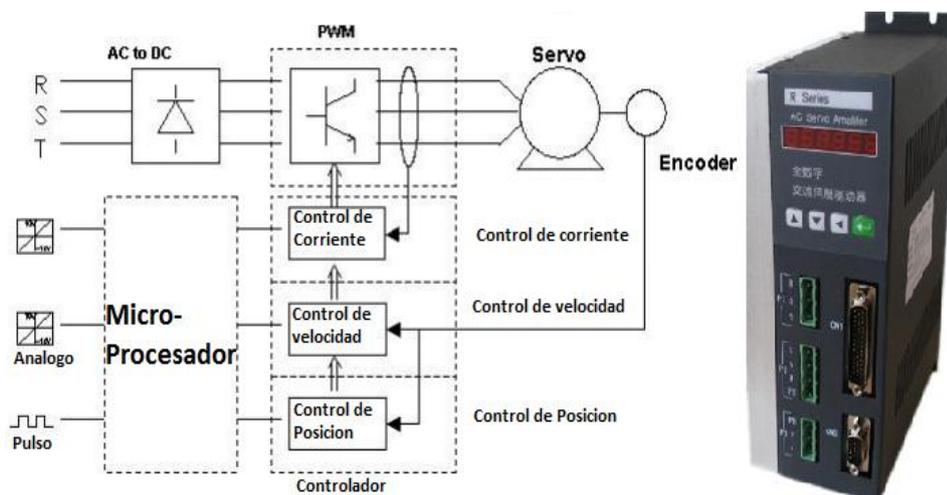


Figura 34: Driver de un Servomotor

Fuente: (AIECompany, aie.com, 2000)

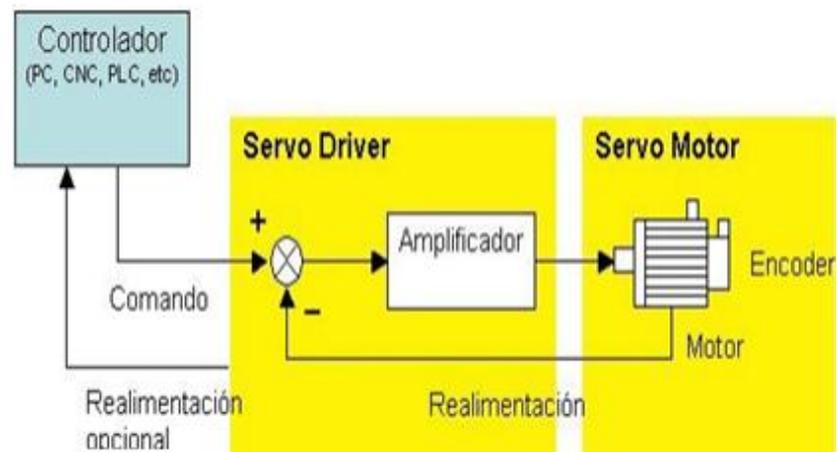


Figura 35: Esquema de conexión de un servo driver y su servo motor

Fuente: (AIECompany, aie.cl, 2000)

En la figura 35 se observa la conexión necesaria a realizar para cada servomotor.

El controlador envía información al servo sobre la posición, velocidad y torque que son necesarios para poner en marcha al motor. Las señales que este recibe pueden ser mediante señales análogas, de pulso o vía puerta de comunicación.

3.8.1 Análisis de resultados

Mediante las especificaciones se precisa de un driver que pueda manejar dos motores al mismo tiempo y soporte las características eléctricas de trabajo del servo motor, en la oferta del Ecuador no se encuentra un driver de dichas características por lo tanto se escoge un driver de características semejantes en otro país (USA), con las siguientes especificaciones:

1. Voltaje de entrada: 6-24V nominal 30V máximo.
2. Corriente de salida: Máximo 25A por canal, soporta picos de carga que pueden ser de hasta 50A por canal durante unos segundos.
3. Fuentes de alimentación recomendadas son:
6v a 24v de plomo de alta capacidad
6V a 24V fuente de alimentación.

En la figura 36 se tiene la representación del driver para manejar dos servomotores al mismo tiempo.



Figura 36: Sabertooth 2x25

Fuente: (Robotshop, 2008)

3.9 Diagrama de flujo de la programación

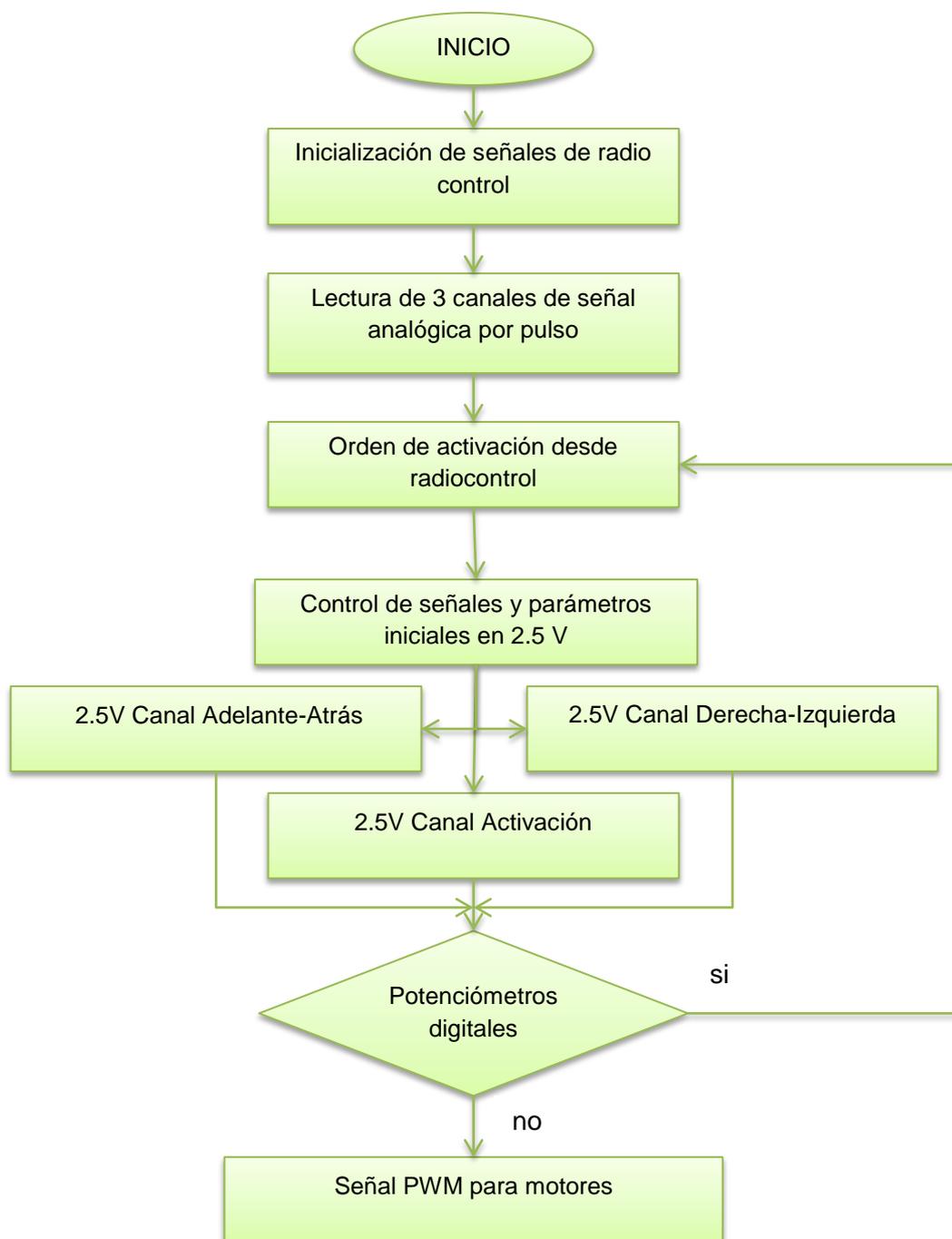


Figura 37: Diagrama de flujo del sistema

3.10 Simulación

3.10.1 Estudio estructural

Se necesita de una estructura metálica que pueda soportar los elementos y equipos, fundamentalmente en el funcionamiento de la cortadora de césped, por ende, uno de los requisitos necesarios es soportar las cargas que descansarán directamente en esta.

Las dimensiones de la estructura estarán dimensionadas de tal forma que pueda soportar 50Kg de carga y dimensiones de 1m x 0.5m y permita un mecanismo de elevación de cuchilla de corte de 5cm.

Para la sección del perfil utilizado en la estructura, se deben considerar todas las cargas que va a soportar la estructura, determinando así:

$$F1 = C_{perfil} + C_{motor+elementos} \quad (30)$$

$$F1 = 1,16 \frac{Kg}{m} + 50Kg \times 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$F1 = 1.16 + 490.5 N$$

$$F1 = 491.66 N$$

$$W = 491.66N \times \frac{1}{2 m}$$

$$W = 245.83 \frac{N}{m}$$

Al analizar la sección de la viga, esta se asemeja a una carga distribuida con soportes mostrada en la figura, para el análisis tomamos en cuenta la carga distribuida como una carga puntual expresada en la fig.

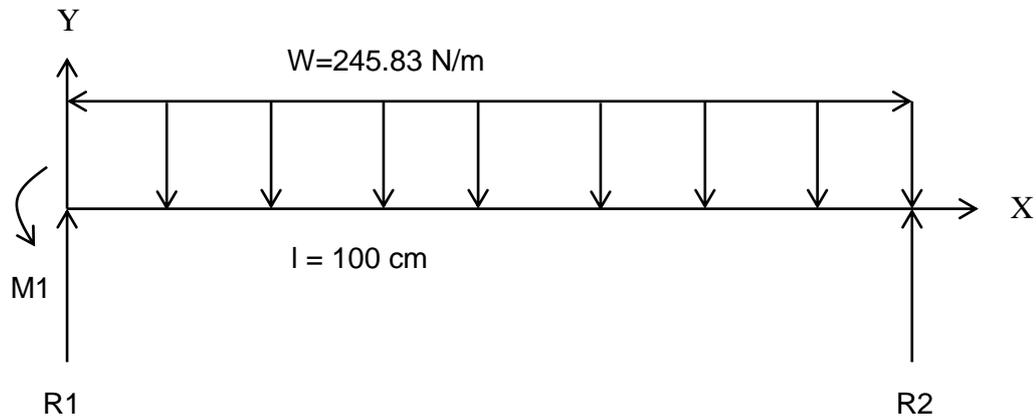


Figura 38: Representación de carga distribuida

En la figura se observa la representación de la carga distribuida en una carga puntual de 245.3N/m, equivalente a todas las cargas de la máquina, así se procede a determinar todas las reacciones.

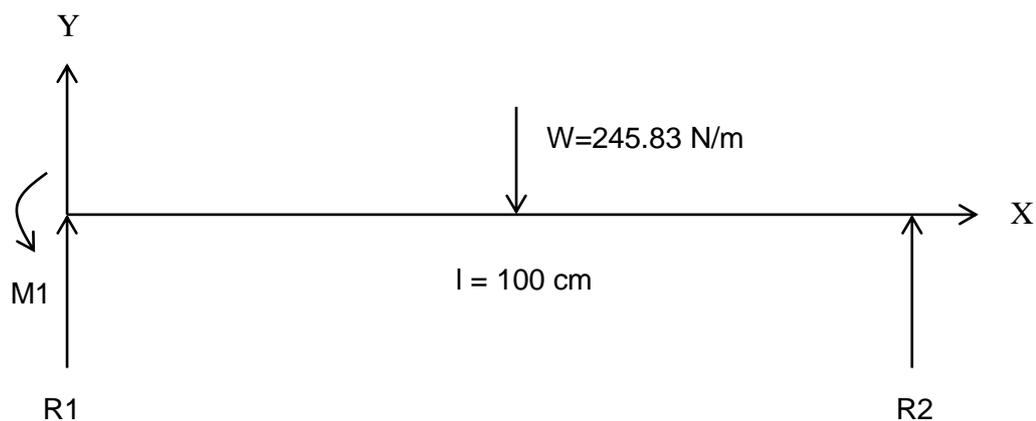


Figura 39: Representación de carga puntual

Se analiza la suma de momentos para obtener la reacción (y)

$$\sum M_1 = 0 \quad (31)$$

$$\left(245.83 \frac{N}{m} \times 0.5m\right) - (R_2 \times 0.5m) = 0$$

$$R_2 = 245.83 N$$

De donde se obtiene que:

$$R_1 = 245.83 N$$

Para determinar el perfil adecuado a utilizar, se aplicará el Teorema de Von Mises (Mott, 2006), utilizado para materiales dúctiles que permite predecir la falla por fluencia que acontece cuando la energía de deformación total excede la energía a la deformación del mismo material.

Se aplicará el criterio de esfuerzo permisible:

$$\sigma' = \frac{s_y}{n} \quad (32)$$

De donde:

$s_y = 345 MPa$ es el esfuerzo de fluencia del material ASTM A500

$n = \text{factor de seguridad}$

Nota: La AISC-ASD sugiere un factor de seguridad para estructuras de tipo móvil un $n=1.65$, por lo tanto el esfuerzo permisible debe ser:

$$\sigma' = \frac{345 \text{ MPa}}{1.65}$$

$$\sigma' = 209.09 \text{ MPa}$$

A continuación se determina el módulo de resistencia de la sección “s”, que corresponde a la relación $\frac{I}{c}$, el cual permite mediante tablas la elección del perfil comercial para la máquina.

$$s = \frac{M_1}{\sigma'} \quad (33)$$

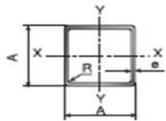
$$s = \frac{245.83 \frac{\text{N}}{\text{m}}}{209.09 \text{ MPa}}$$

$$s = 1.1757 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$s = 1.17 \text{ cm}^3$$

A continuación se procede mediante tablas comerciales a determinar las dimensiones del perfil.

Especificaciones Generales						
Largo normal:	6 m. Otros largos previa consulta.					
Recubrimiento:	Negro.					
Extremos:	Lisos de máquina.					
Calidades normales:	A270ES • A240ES • SAE 1010 • SAE 1008					
Otras dimensiones:	A pedido, previa consulta a CINTAC.					



Dimensiones nominales		Peso teórico	Area A	Ejes X-X e Y-Y		
A	Espesor			I	W	i
mm	mm	Kgf/m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm
15	1,0	0,42	0,53	0,17	0,23	0,56
	1,5	0,59	0,75	0,22	0,29	0,54
20	1,0	0,58	0,73	0,43	0,43	0,77
	1,5	0,83	1,05	0,58	0,58	0,74
	2,0	1,05	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,0	0,73	0,93	0,88	0,71	0,97
	1,5	1,06	1,35	1,21	0,97	0,95
	2,0	1,36	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,0	0,89	1,13	1,57	1,05	1,18
	1,5	1,30	1,65	2,19	1,46	1,15
	2,0	1,68	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,0	1,20	1,53	3,85	1,93	1,59
	1,5	1,77	2,25	5,48	2,74	1,56
	2,0	2,31	2,94	6,93	3,46	1,54
	3,0	3,30	4,21	9,28	4,64	1,48

Dimensiones nominales		Peso teórico	Area A	Ejes X-X e Y-Y		
A	Espesor			I	W	i
mm	mm	Kgf/m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm
50	1,5	2,24	2,85	11,06	4,42	1,97
	2	2,93	3,74	14,13	5,65	1,94
	3	4,25	5,41	19,41	7,76	1,89
	4	5,45	6,95	23,60	9,44	1,84
	5	6,56	8,36	26,78	10,71	1,79
75	2	4,50	5,74	50,47	13,46	2,97
	3	6,60	8,41	71,54	19,08	2,92
	4	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
	5	10,48	13,36	105,92	28,25	2,82
	6	12,27	15,63	119,48	31,86	2,76
100	2	6,07	7,74	122,99	24,60	3,99
	3	8,96	11,41	176,95	35,39	3,94
	4	11,73	14,95	226,09	45,22	3,89
	5	14,41	18,36	270,57	54,11	3,84
	6	16,98	21,63	310,55	62,11	3,79
	135	4	16,13	20,55	581,38	86,13
5		19,90	25,36	704,23	104,33	5,27

Figura 40: Tabla comercial de perfiles cuadrados

Fuente: (Cintac, 2013)

A continuación se presenta el modelo de la estructura, las sujeciones se encuentran en la base ubicada en cada extremo soldado, si la estructura es capaz de soportar su peso, no sufrirá daños caso contrario existe la posibilidad que se fracture en la parte de la estructura con menor resistencia, cabe señalar que las partes vulnerables son los soportes del motor de combustión indicadas en a figura 41.

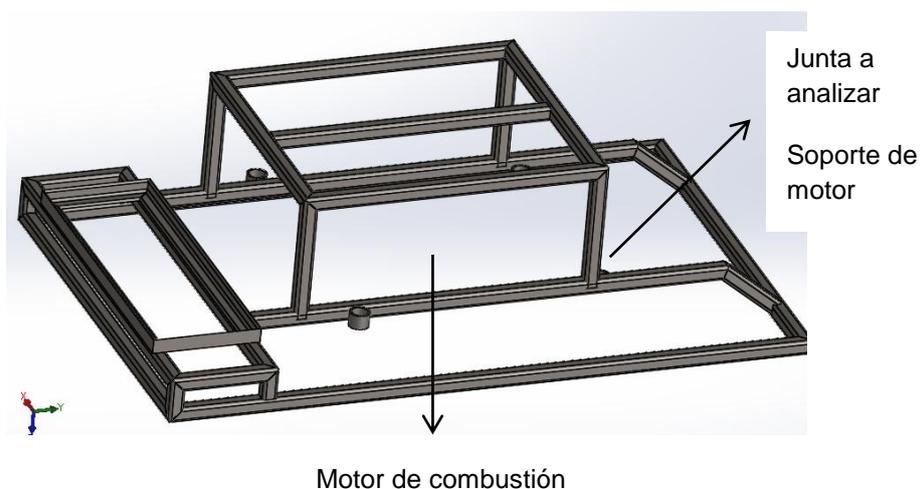


Figura 41: Estudio estático de la estructura base en la junta soporte

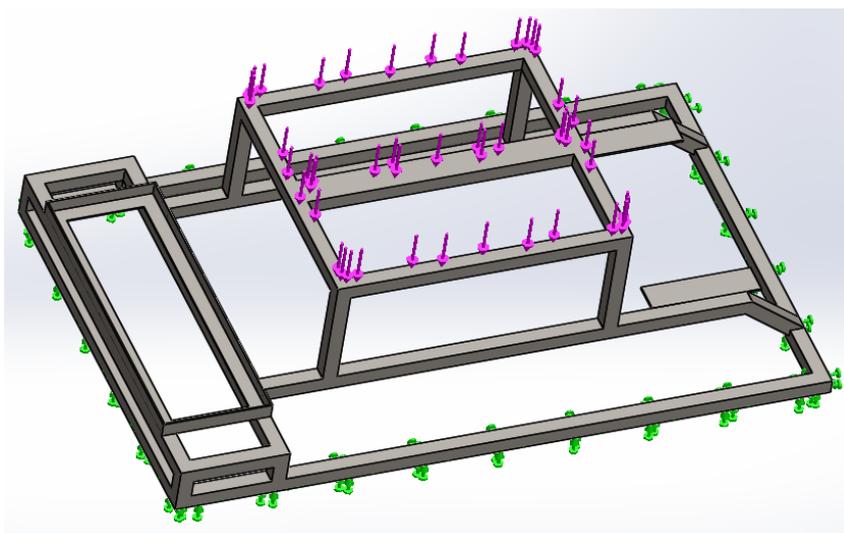


Figura 42: Sujeciones y carga de 10N representadas en software CAD

La figura 42 describe las cargas ejercidas sobre la estructura en las juntas más vulnerables, se representa una carga de 50kg para conocer el comportamiento del sistema.

El análisis resultante dio como resultado:

Nombre: Estudio estático

Tipo: VON: Tensión de von Mises

Mín.: Nodo: 6976 110213 N/m²

Máx.: Nodo: 11384 0.000759349 N/m²

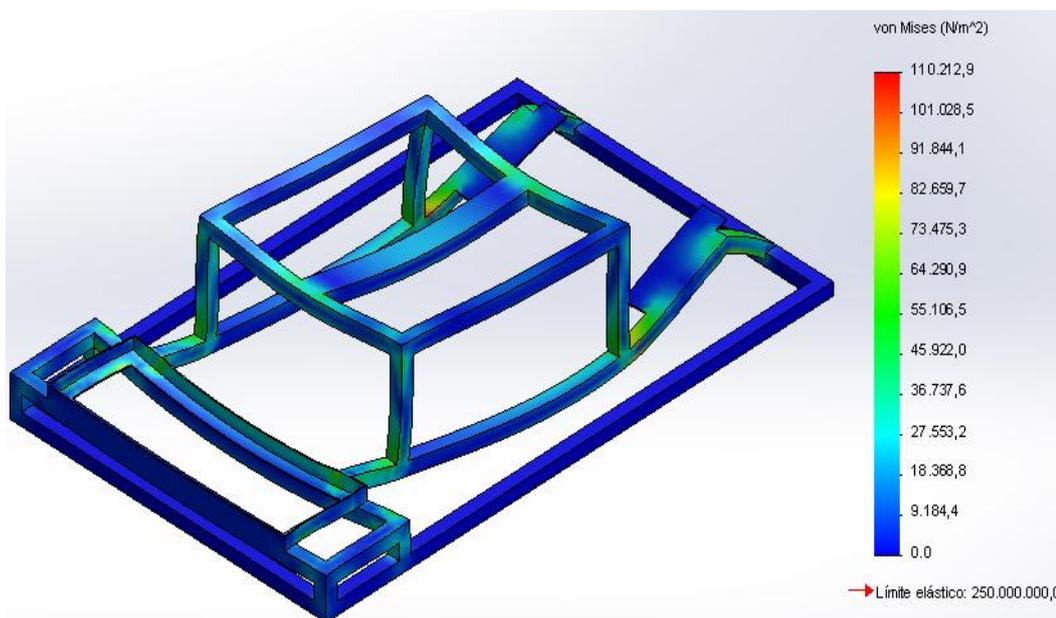


Figura 43: Análisis estático de estructura general

3.10.2 Estudio de frecuencias

El estudio de frecuencias representa un estudio sobre la cantidad de movimiento capaz de soportar la estructura aplicando todo el peso en ella y la presencia del motor de combustión, se cabe destacar que las cargas usadas son de fuerza vertical que representarían todas las masas de motores y resorte incluidos.

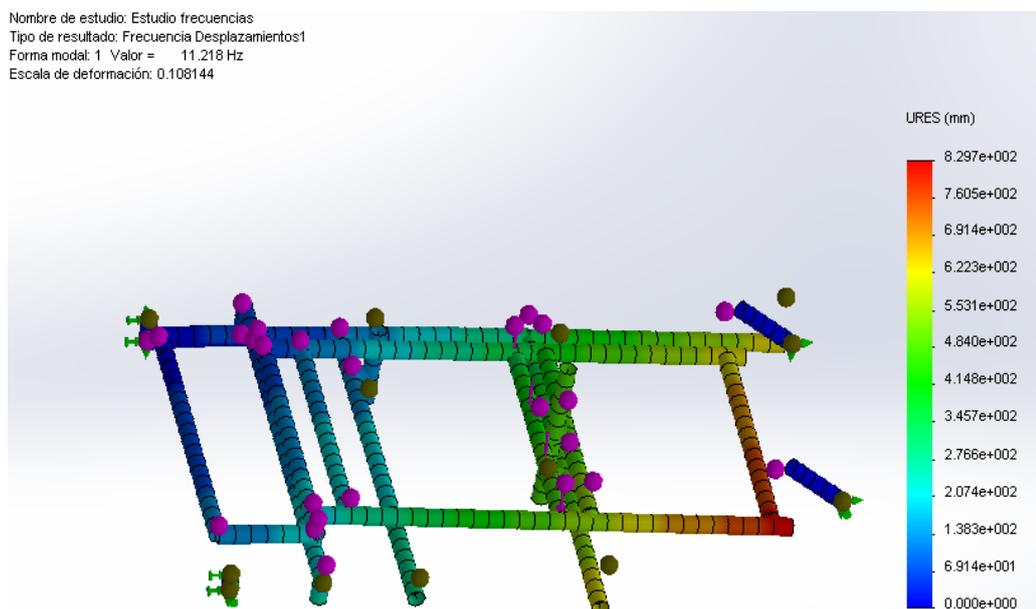


Figura 44: Resultado de análisis de frecuencias

La figura 44 muestra la deformación obtenida mediante la simulación CAD, indicando que la parte frontal de la estructura en color rojo, es la parte con mayor atención en el ensamblaje, La tensión máxima se encuentra localizada en la inclinación frontal con una deformación de 0.10 mm en cada centímetro de análisis.

3.10.3 Resultados

La junta lateral izquierda de la estructura general es la más propensa a rompimiento cuando la máquina gire en ese sentido, ya que al no poseer un refuerzo como en la parte derecha es vulnerable a una carga fuerte y es posible que llegue a romperse.

El valor de frecuencia obtenido representa 11.218 Hz, los cuales contrastados con los análisis de diseño del motor de combustión hacen que se llegue a su límite.

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN, EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

4.1 Introducción

“La incorporación del ordenador y la automática en prácticamente todas las áreas de producción, ha significado una segunda revolución industrial mucho más profunda y amplia que la proporcionada por la máquina de vapor” (Masip, 1988)

Mediante programas computacionales se crean representaciones gráficas de objetos físicos ya sean en segunda o tercera dimensión. (Siemens, 2015)

El software CAD (dibujo asistido por computador), es empleado en aplicaciones de animación computacional y productos industriales, en donde el software realiza cálculos para determinar una forma y tamaño óptimo para aplicaciones industriales o para diseño de elementos de máquinas.

En diseño industrial es común utilizar un programa CAD para la creación de modelos de superficie en 2D o 3D, así mismo el diseño CAD se usa en procesos de ingeniería desde el diseño conceptual, análisis dinámicos, métodos de manufactura minimizando el uso de prototipos físicos. (Siemens, 2015)

La industria en la actualidad fundamenta el diseño de productos mediante un software CAD que le permite:

- Ofrecer soluciones cada vez más elaboradas sobre equipos cada vez más pequeños.
- Automatizar el diseño de productos y mantener su competitividad.
- Desplazar las fases de experimentación en un boceto que representan un costo elevado.
- Potenciar las fases de estudio, cálculo y simulación sobre modelos teóricos.
- Unificar grupos de trabajo en las funciones de diseño y fabricación.
- Brinda documentación robusta del diseño, incluyen geometría y dimensiones, lista de materiales, etc.

La industria mecánica al realizar un producto nuevo, utiliza técnicas CAD-CAM en su desarrollo previo a la fase de manufactura, siendo la mecánica la pionera en desarrollar paquetes de software sofisticados que permitieron a la industria su desarrollo a bajo costo, aumentando la precisión mediante modelos reales, simulaciones que permiten optimizar los diseño y reducir la complejidad de cálculos. (Masip, 1988)

Las fases del diseño corresponden a:

- Definición del producto
- Creación de un modelo
- Análisis y optimización del modelo
- Construcción de un prototipo
- Ensayos y optimización del prototipo
- Documentación

4.2 Fases de implementación

4.2.1 Definición del producto

Producto: Una estructura metálica sólida, capaz de soportar una carga de mínimo 50 kilogramos.

4.2.2 Creación de un modelo

El diseño de la estructura se realiza mediante un software CAD, tomando la medida de los componentes a ser instalados se va dibujando un modelo adecuado, que englobe las unidades en una disposición ordenada, coherente y modular tanto para su operación como su mantenimiento, por ende, se obtuvo como resultado:

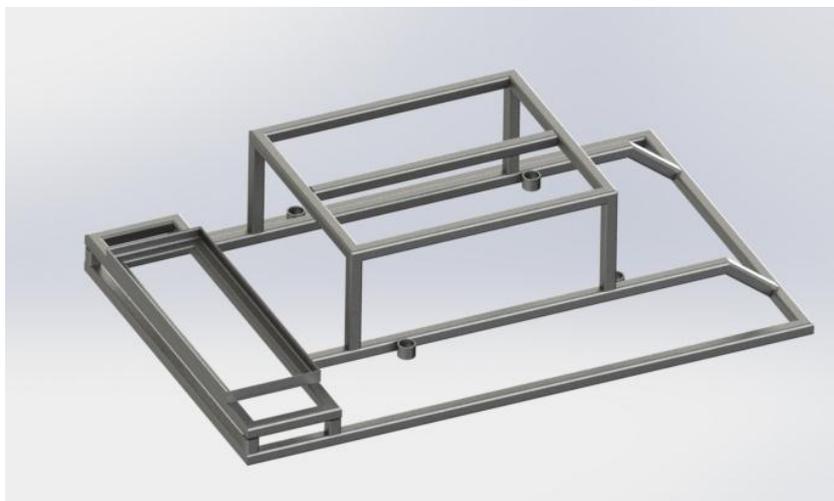


Figura 45: Diseño mediante un software CAD un modelo de estructura

En la fig. 45 se muestra el diseño CAD de la estructura base de motor de combustión, previo el análisis de cargas estáticas, el siguiente procedimiento corresponde a determinar el factor de seguridad.

El factor de seguridad corresponde a un valor numérico por el cual se determina si la estructura será capaz de soportar las cargas ubicadas en ella como son: peso del motor de combustión, peso del sistema de amortiguamiento, peso de la caja de control, peso de las baterías de 12Vdc.

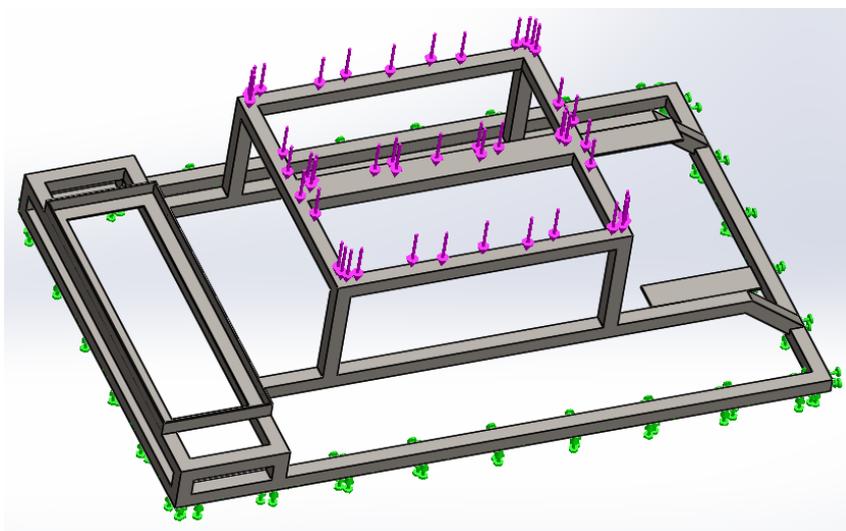


Figura 46: Análisis estático de cargas y deformaciones de la estructura

La figura 46 representa las cargas y sujeciones que se presentan en la estructura, siendo consideradas todas las cargas en una sola que se presenta en la parte superior.

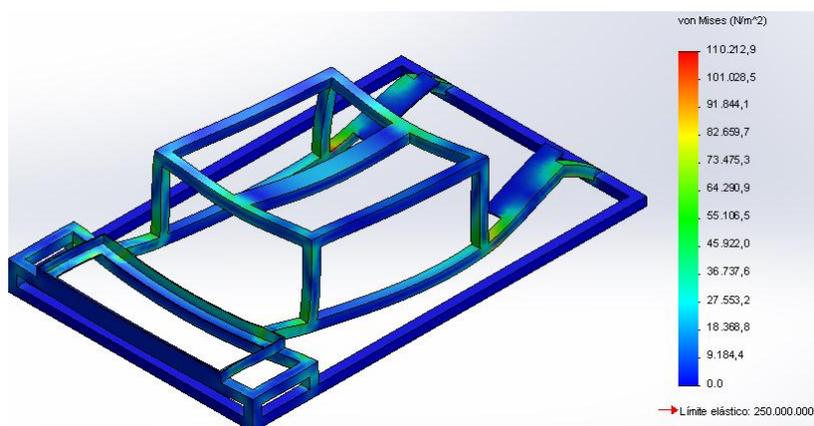


Figura 47: Resultados de software CAD en análisis estático

La figura 47 muestra los resultados del análisis estático sobre la estructura, el factor de seguridad es 1.65, considerando las peores condiciones en el sistema, es decir, que se aplica una carga dos veces mayor a la establecida, obteniendo como resultado un valor superior a 1, así se concluye que la estructura es capaz de soportar las cargas generadas por los componentes ubicados en ella sin sufrir ninguna deformación.

Se recomienda crear soportes en las uniones donde se muestra pandeo de la estructura y mediante el software CAD realizar un análisis estático y verificar si el valor de factor de seguridad aumenta.

Una vez obtenidos los resultados se procede a determinar el perfil adecuado para su posterior manufactura, el software CAD muestra los materiales idóneos para la elaboración de la estructura:

Cuadro 31:

Características de análisis mediante software CAD

Características CAD	Disponibilidad mercado
Tubo cuadrado 25x25x2mm	Tubo cuadrado acero 25x25x2mm
Tubo redondo Φ 26.9mm	Tubo redondo Φ 1 pulgada
Platina soporte 3mm	Platina 3mm espesor

Con los resultados se sueldan las juntas, uniones y se ensamblan según las especificaciones indicadas previamente, los ángulos se obtuvieron mediante planos mecánicos así como las dimensiones generales de la estructura base como se muestra en a figura 48.



Figura 48: Manufactura de la estructura base

El siguiente proceso corresponde a soldar los acoples de soporte de los servomotores como se muestra en la figura 49.



Figura 49: Soldadura soporte de servomotor

A continuación se muestra mediante la figura 50 el soporte final de servomotores colocado en la disposición posterior de la máquina.



Figura 50: Soporte de servomotor final

Una vez finalizada la estructura se acoplan el motor de combustión y servomotores, así como llantas locas y el soporte para cuchilla, obteniendo el modelo de la figura 51.

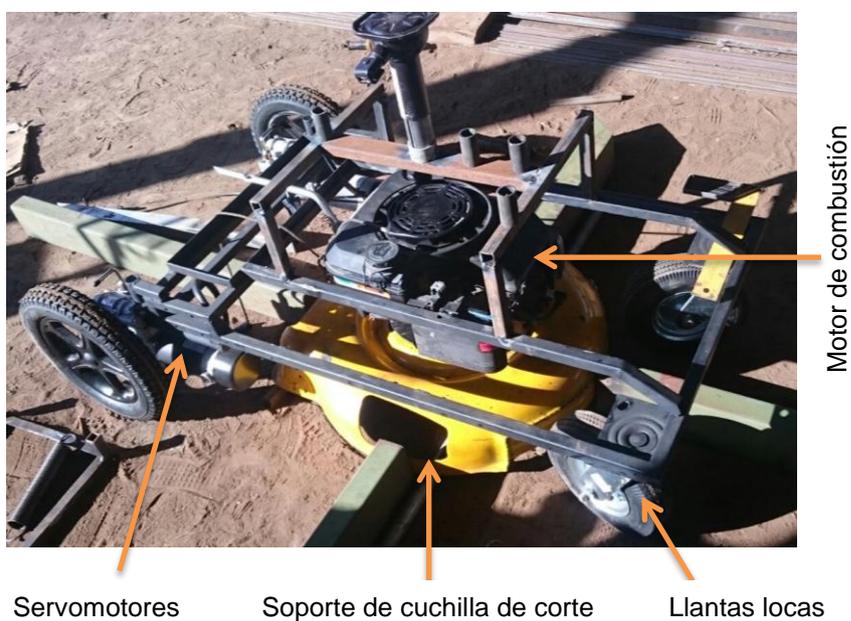


Figura 51: Estructura Final y componentes

A continuación se realiza el modelo de una estructura secundaria móvil para elevación y declive de la cuchilla, tomando en cuenta el elemento que permite la movilidad es una gata de tornillo sin fin, el modelo obtenido mediante software CAD se muestra en la figura 52.



Figura 52: Diseño CAD de base para motor de combustión y guía móvil

Se sueldan los perfiles redondos a la base de la estructura que soportará el motor de combustión, y sirve de guía para el ascenso y descenso mediante un resorte ubicado en las partes laterales.

La estructura secundaria móvil posee 4 guías laterales y una base en la parte superior que permite sujetar la gata de tornillo sin fin en forma vertical invertida y soldada la base a los extremos de la estructura.

El análisis estático se realiza mediante un software CAD, mostrado en la figura 53, las cargas se representan mediante una fuerza puntual en el centro de la estructura:

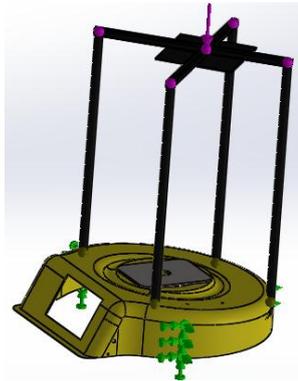


Figura 53: Cargas en la base del motor y fuerzas de aplicación

La figura 54 muestra los componentes de la estructura secundaria móvil como son: gata mecánica de tornillo sin fin, las guías laterales, guías de soporte de resorte.

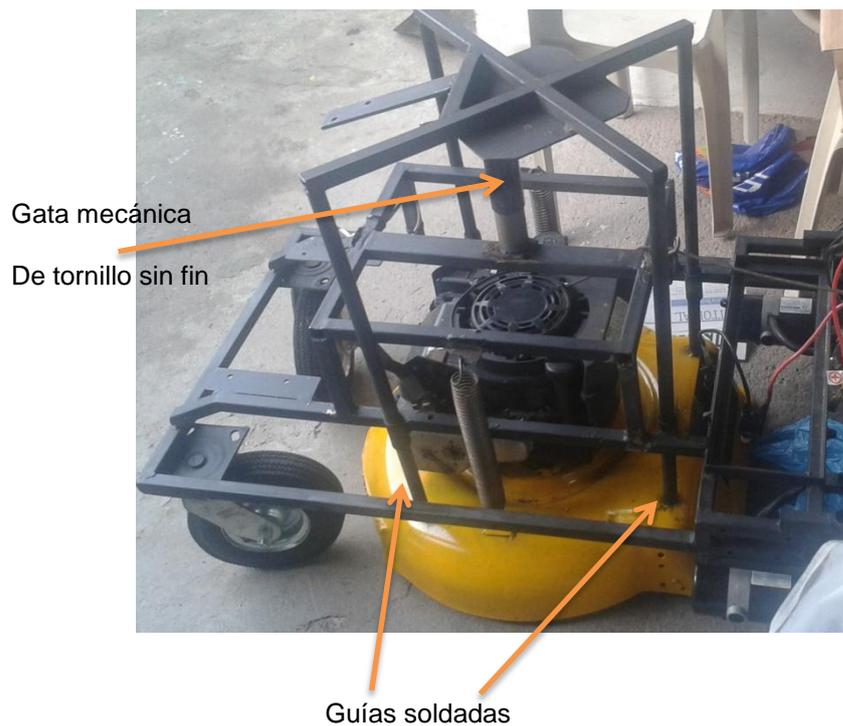


Figura 54: Soporte del motor (tortuga) con motor de combustión

El mecanismo mecánico se presenta en la figura 55, y los sistemas que lo componen como el sistema de amortiguamiento, sistema de control, sistema de alimentación.



Figura 55: Sistemas completos de la cortadora de césped

A continuación en la figura 56 se muestra la placa principal de conexiones eléctricas hacia el driver para el envío de 9 señales de control desde el controlador (Arduino).

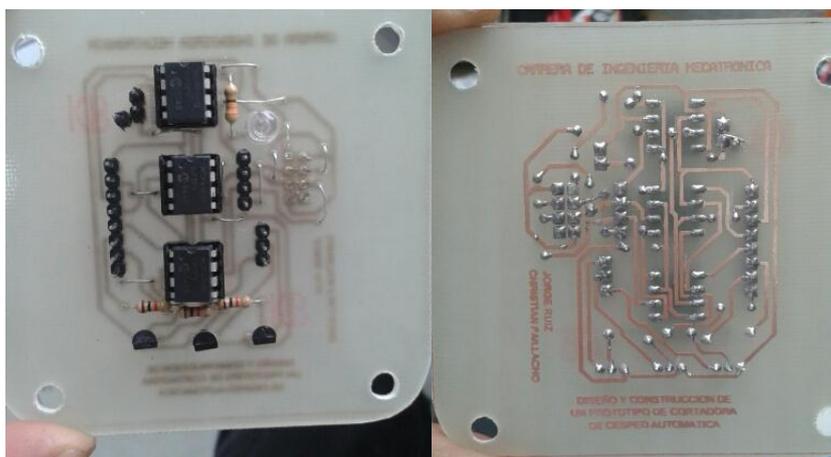


Figura 56: Placa de componentes electrónicos

4.3 Experimentación

Una vez realizado el montaje de la máquina se procede a pruebas de funcionamiento de los diversos sistemas:

4.3.1 Sistema de locomoción

Mediante el siguiente método se obtienen los datos requeridos para el análisis del sistema de locomoción, se escriben los valores obtenidos en 10 iteraciones.

Cuadro 32:
Método de procedimiento del sistema de locomoción

Acción	Partes Involucradas	Verificación	Observaciones
Elevar el sistema de corte a la altura adecuada	Motor de elevación	Inspección visual del nivel de corte adecuado	Tomar en cuenta el nivel de altura indicado evitando fracturas de la cuchilla.
Colocar el seguro de bloqueo de los servomotores	Servomotores	Los servomotores poseen un seguro de movilidad que permite bloquear las llantas cuando se envían instrucciones desde el driver	Si el servomotor no se encuentra bloqueado mediante el seguro, deja de recibir las instrucciones del driver.
Encender el driver mediante el control remoto	Driver Control remoto	Una vez encendido las llantas no se desplazan en ninguna dirección.	Al encender el driver una luz indicadora exterioriza el encendido de la máquina.
Colocar el seguro para encender motor de combustión	Motor de combustión	Girar la perilla de encendido del motor de combustión y asegurar en el soporte	Si la perilla no se asegura, el motor de combustión no se encenderá
Halar la cuerda de encendido del motor de combustión	Motor de combustión	El motor se enciende y produce un sonido fuerte	Si el motor no se enciende, revisar el manual de mantenimiento, la perilla de encendido.

El cuadro 32 representa el procedimiento adecuado previo la realización de las pruebas de funcionamiento en el sistema de locomoción.

El cuadro 33 representa la toma de datos obtenidos a la velocidad mínima del driver de los servomotores, en 3m de distancia.

Cuadro 33:

Toma de datos velocidad mínima del driver del servomotor

N.	Distancia (m)	Tiempo (s)
1	3	7.4
2	3	7.2
3	3	8.3
4	3	7.8
5	3	7.1
6	3	8.3
7	3	8.2
8	3	6.8
9	3	7.1
10	3	6.7

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{n} \quad (34)$$

$$\bar{x} = \frac{7.4 + 7.2 + 8.3 + 7.8 + 7.1 + 8.3 + 8.2 + 6.8 + 7.1 + 6.7}{10}$$

$$\bar{x} = \frac{74.9}{10} = 7.49 \text{ seg.}$$

$$v = \frac{d(m)}{t(s)} \quad (35)$$

$$v = \frac{3}{7.49} = 0.40 \frac{m}{s}$$

A continuación se realiza la toma de datos bajo las mismas condiciones con cambio de velocidad a la velocidad máxima del driver del servomotor, los datos obtenidos se muestran en el cuadro 34.

Cuadro 34:
Toma de datos velocidad mínima del driver del servomotor

N.	Distancia (m)	Tiempo (s)
1	3	3.8
2	3	3.4
3	3	4.2
4	3	4.0
5	3	3.0
6	3	2.4
7	3	3.3
8	3	2.8
9	3	2.8
10	3	3.3

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1+a_2+a_3+\dots+a_n}{n} \quad (36)$$

$$\bar{x} = \frac{3.8+3.4+4.2+4.0+3.0+2.4+3.3+2.8+2.8+3.3}{10}$$

$$\bar{x} = \frac{33}{10} = 3.3 \text{ seg.}$$

$$v = \frac{d(m)}{t(s)} \quad (37)$$

$$v = \frac{3}{3.3} = 0.9 \frac{m}{s}$$

El cuadro 35 representa el último experimento tomando en cuenta la velocidad normal de corte registrada en una máquina de cortar césped manual, la cual nos proporcionó la velocidad ideal de corte.

Cuadro 35:
Toma de datos velocidad de corte ideal

N.	Distancia (m)	Tiempo (s)
1	3	4.1
2	3	4.0
3	3	4.1
4	3	4.2
5	3	4.1
6	3	4.3
7	3	3.9
8	3	4.1
9	3	4.0
10	3	4.3

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{n} \quad (38)$$

$$\bar{x} = \frac{4.1+4+4.1+4.2+4.1+4.3+3.9+4.1+4.0+4.3}{10}$$

$$\bar{x} = \frac{41.1}{10} = 4.11 \text{ seg.}$$

$$v = \frac{d(m)}{t(s)} \quad (39)$$

$$v = \frac{3}{4.11} = 0.72 \frac{m}{s}$$

La velocidad ideal de corte para la máquina cortadora de césped es 0.8 m/s, esta velocidad corresponde al corte en las mismas condiciones de análisis en un máquina manual, por lo cual, se escoge la velocidad de 0.72 m/s del tercer ensayo que permite el corte completo de hierba en cualquier tipo de terreno, siendo una velocidad estable y optimizando el corte, es decir, realizar una sola pasada en el terreno, el resultado corresponde a un área de 1,5 m² en un tiempo de 4.11 segundos

El método de registro de los tiempos se lo realizó mediante un cronómetro, obteniendo los tiempos descritos para las diversas pruebas como autonomía y corte.

4.3.2 Tiempo de trabajo

La siguiente prueba de funcionamiento corresponde al tiempo empleado en cortar un área de terreno de 5m² a una velocidad establecida de corte de 0.72 m/s, los tiempos se muestran en el cuadro 36.

Cuadro 36:

Datos de corte de césped con motor a combustión

Tipo de terreno	Área de corte	Tiempo
Césped bajo	5m ²	13.55 seg.
Césped mediano	5m ²	13.72 seg.
Césped alto	5m ²	14.91 seg.

Las medidas oficiales de una cancha de fútbol reglamentario se observan en la figura 55, de donde se obtienen: 64 m de ancho y 100 m de largo.

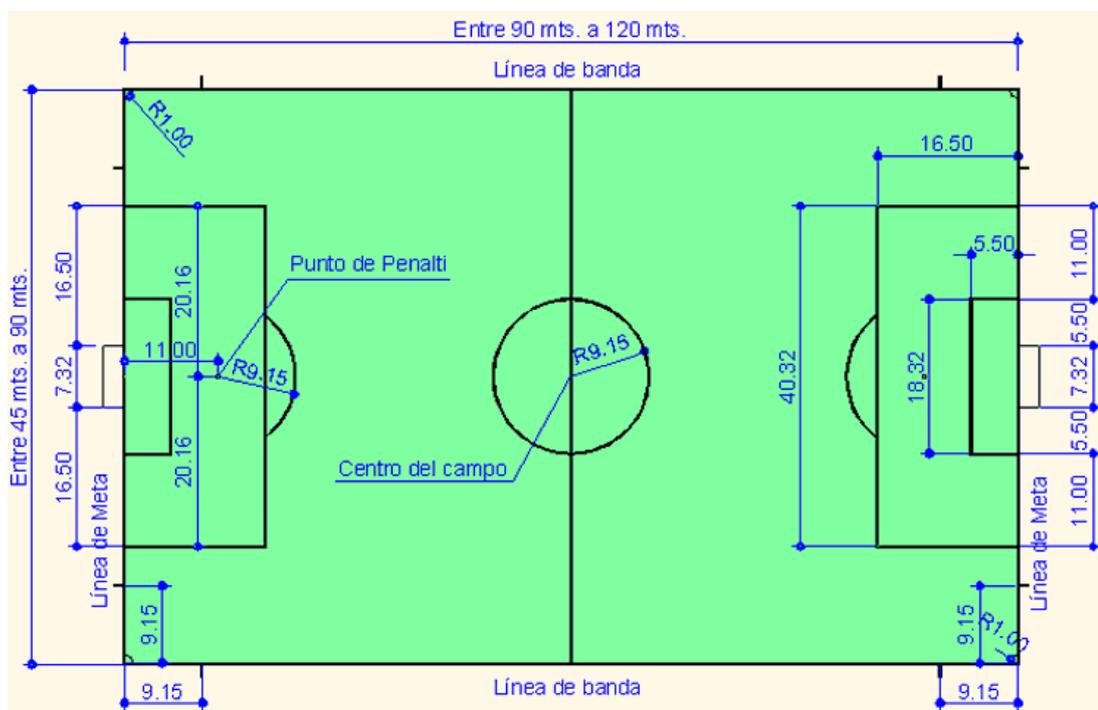


Figura 57: Cancha de fútbol, medidas oficiales (OFICAD, 1995)

Área de una cancha de fútbol reglamentario FIFA

$$A = b \times h \quad (40)$$

$$A = 64m \times 100m$$

$$A = 6400 m^2$$

Para determinar el tiempo empleado en cortar el césped en una cancha de fútbol de medidas oficiales, se analizan los resultados obtenidos de la cortadora de césped.

El cuadro 37 representa el corte de césped en un área específica, permitiendo conocer mediante un análisis la correspondencia de tiempo para una cancha de 6400m².

Cuadro 37:
Relación de corte de césped en tiempo determinado

Área de corte (m2)	Tiempo (seg.)
5	13.72
6400	x

$$x = \frac{6400 \times 13.72}{5}$$

$$x = 17561.6 \text{ seg} = 4 \text{ h } 8 \text{ min}$$

4 horas representa un estimado de tiempo para el corte de una cancha de aproximadamente 6400 m².

Se toman tiempos de autonomía de la máquina respecto a las baterías y su porcentaje de carga, como se muestra en el cuadro 38.

Cuadro 38:
Datos de autonomía en movimiento sin corte de césped

% Baterías	Tiempo de autonomía (horas)
100	1.25
90	1.15
80	1.1
70	1.0
60	0.9
55	0.85
50	0.8
45	0.75

El cuadro 39 y 40 muestran el tiempo de carga y descarga en una batería al 50% de su capacidad.

Cuadro 39:
Carga de baterías

% Carga de batería	Tiempo
50% al 100%	33 min
30% al 100%	50 min

Cuadro 40:
Descarga de baterías

% Descarga de batería	Tiempo
De 100% Hasta 50%	1 hora

Tomando en cuenta una autonomía de 1 hora con carga de baterías al 100% y considerando que la batería no disminuya su 50% de carga, se obtiene el siguiente análisis.

Para cortar un área de 6400 m² se toman 4 horas de trabajo de la máquina, es decir:

- 1 hora de trabajo
- 33 min de carga de baterías.
- 10 min de carga de combustible o mantenimiento preventivo
- 1 hora de trabajo
- 33 min de carga de baterías
- 10min de carga de combustible o mantenimiento preventivo
- 1 hora de trabajo
- 33min de carga de baterías
- 10min de carga de combustible o mantenimiento preventivo
- 1 hora de trabajo

El tiempo total para cortar un área de 6400 m² son 6 horas y 9 minutos de uso de la máquina en un trabajo continuo.

4.4 Resultado

Después de la experimentación se obtienen las especificaciones de trabajo de la máquina mostradas en cuadro 41.

Cuadro 41:

Características de la máquina

Especificaciones Generales	
Tiempo de trabajo	1h (±) 20%
Combustible	Gasolina
Aceite	SAE30
Voltaje	24V DC
Tiempo de carga	30 – 40 min
Área de Corte	1100m ² (±) 20%
Ancho de Corte	560 mm
Inclinación máx.	25°
Altura de corte	20-70mm

La Máquina tiene un costo final de 1500 dólares.

4.4.1 Análisis de comparación

En base a la investigación realizada en el capítulo 1 sobre la historia de las cortadoras de césped se puede hacer una comparación con las maquinas existentes.

Obteniendo las siguientes características:

Cuadro 42:
Comparación con equipos similares

Característica	Bosch Indego	RoboMow	SpiderMini
Tiempo de trabajo	50 min	50 min	-
Combustible	-	-	Gasolina
Aceite	-	-	SAE30
Voltaje	36V DC	26 V DC	12V DC
Tiempo de carga	140 min	120 min	-
Área de Corte	200m ² (±) 20%	200m ² (±) 20%	Indefinido
Ancho de Corte	260 mm	260 mm	560 mm
Inclinación máx.	20°	20°	30°
Altura de corte	20-60mm	20-80mm	40-90mm
Costo	\$ 2256	\$ 2256	\$ 3000

Realizando la comparación de la máquina desarrollada con los equipos actualmente comerciales de características semejantes se puede concluir que:

- La máquina presenta un costo bajo en comparación con las otras, convirtiéndola en una oferta accesible para el mercado local.
- Por poseer un motor de combustión al igual que el spider mini tiene un amplio campo aplicativo en comparación con las eléctricas.
- Al no presentar un alternador para el sistema de carga continuo como el spider mini, por lo tanto la autonomía con respecto a las cortadoras eléctricas es superior.
- La altura de la cuchilla mediante el mecanismo de elevación posee un rango alto por lo que posibilita su acción de corte en varios terrenos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se diseñó y construyó una máquina cortadora de césped con capacidad de movilizarse por terrenos irregulares, pudiendo ser tele-operada a una distancia de hasta 100 metros con la facilidad de regular su nivel de altura con dos pulsadores.
- La estructura soporta una carga de 110213 N/m^2 en condiciones nominales, minimizando la probabilidad de fractura del armazón.
- El sistema de amortiguamiento disipa por completo las vibraciones producidas por el motor, evitando que la maquina pueda entrar en resonancia.
- La cortadora de césped tiene una tele-operación a una distancia máxima de 100 metros logrando optimizar el corte en trabajos continuos, evitando el desgaste físico de la persona.
- Por el sistema de locomoción, la máquina puede trabajar en diferentes terrenos con inclinaciones de hasta 25 grados. Las ruedas

ayudan en la tracción, permitiendo que sea fácil y accesible operarlo. A diferencia de las maquinas convencionales que requieren del esfuerzo humano.

- El motor de combustión Briggs & Stratton Serie 625E de 6hp, 4 tiempos permitió realizar el corte de césped en lugares donde la hierba se encuentre espesa.
- Se pudo comprobar que los motores eléctricos en cortadoras de césped son utilizados para mantenimiento de áreas verdes, cuando la hierba no esta alta ni espesa, debido a que no presenta un torque adecuado para su desbaste.
- Se trabajó con la tarjeta Sabertooth 2x25 para dos servomotores, el cual permitió el manejo independiente de cada uno, haciendo que sea más viable su operación para lugares donde la máquina pueda quedar atascada.
- Se realizó el corte de hierba sobre superficies inclinadas comprobando que puede trabajar sin ningún problema sobre pendientes de 25 grados.

5.2 Recomendaciones

- Se debe tener en cuenta que para la fabricación de la máquina se debe hacer una correcta selección del sistema de locomoción debido a que si este no tiene la fuerza necesaria el sistema en condiciones donde el terreno tenga hundimientos, no podrá continuar cortando el césped.

- Para la construcción de la estructura se recomienda la selección de materiales que puedan reducir el peso, evitando así que la máquina tenga un peso excesivo y el sistema de locomoción no pueda movilizar.
- Se recomienda pintarle a la estructura debido a que va a trabajar en la intemperie y puede llegar a mojarse, evitando así que el metal se llegue a corroer.
- Se recomienda el uso de un motor de combustión interna Briggs & Stratton para el cortado en vez de una eléctrica debido a que el motor eléctrico tiene bajo torque y en lugares donde la hierba se encuentre espesa puede llegar a dañarse.
- Para el sistema de amortiguamiento se recomienda el uso de resortes debido a que el caucho que también se puede ocupar no es factible ya que el mecanismo donde está el motor se eleva y desciende para regular la altura de corte.
- El diseño de la estructura con hierro negro hace que sea resistente a cargas continuas, por lo tanto para el sistema de alimentación se puede utilizar baterías con amperaje de reserva de mayor capacidad logrando así mayor tiempo de corte.
- Se recomienda separar la fuente que alimenta al sistema de control con el de potencia ya que puede haber excesos de corriente de los motores los cuales puedan afectar al sistema de control y estos vayan a cambiar sus valores o en el peor de los casos a quemarse.

- Se recomienda utilizar la misma tarjeta Sabertooth 2x25 el cual puede manejar amperajes elevados que se pueden producir por los servomotores, también ayuda al manejo directo de cada rueda, permitiendo realizar giros en 360 grados.
- Realizar pruebas sobre superficies inclinadas para determinar si la maquina no se patina mientras realizar el corte en estos tipos de terreno.

BIBLIOGRAFIA

- AIECompany. (2000). *aie.cl*. Obtenido de <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/Servomotores.pdf>
- AIECompany. (2000). *aie.com*. Obtenido de <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/Servomotores.pdf>
- AitecoConcultores. (1999-2013). *Aiteco Consultores*. Obtenido de <http://www.aiteco.com/qfd-despliegue-de-la-funcion-de-calidad/>
- ArduinoUno. (2010). *Arduino.cl*. Obtenido de <http://arduino.cl/que-es-arduino/>
- Areny, R. P. (2004). *Sensores y acondicionadores de señal*. Marcombo.
- azimadli. (2008). *azimadli.com*. Obtenido de <http://azimadli.com/vibman-spanish/movimientoarmnicosencillo.htm>
- Bentley, J. (2005). *Principles of Measument Systems*. Prentice hall.
- Bosch. (2013). *Bosch Indego*. Obtenido de <https://www.bosch-garden.com/es/es/herramientaparajard%C3%ADn/indego-home.jsp>
- BUDINAS, R. (2011). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: Mc Graw Hil.
- BuenoSaber.com. (2014). *Buenosaber.com*. Obtenido de <http://bueno-saber.com/aficiones-juegos-y-juguetes/ciencia-y-naturaleza/la-historia-de-la-cortadora-de-cesped-electrica.php>
- Calleja, D. G. (2011). *Motores Transporte y mantenimieto de vehivulos - electromecánica de vehículos*. Madrid: Lavel Industri Gráfica.
- Cintac. (2013). *Cintac*. Obtenido de http://www.cintac.cl/novedades/wp-content/uploads/2011/11/catalogo_tubos_perfiles.pdf
- company, A. (2010). *aie.cl*. Obtenido de <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/Servomotores.pdf>
- Chang-hua. (2010). *Chang-hua.com*. Obtenido de <http://www.chang-hua.com/english/products.asp?action=Detail&id=142>
- Deere, J. (Miercoles de Enero de 2015). <http://inhabitat.com/>. Obtenido de <http://inhabitat.com/the-john-deere-tango-e5-is-a-self-directed-electric-lawnmower-that-cuts-the-grass-while-you-relax/>
- Dorf-Svoboda. (2006). *Circuitos Eléctricos*. México: Alfaomega.

- Evans, R. D. (1994). The Construction and Maintenance of Natural Turf Pitches for Team Games. En *Winter Games Pitches* (pág. 209).
- Flowecture. (2012). *Flowecture.info*. Obtenido de <http://flowecture.info/blade-lawn-mower-rotary-john-albert-burr/>
- Gilardi, J. (1985). *Motores de combustión interna*. Lima: IICA.
- Gutowski. (1972). *Concepto básico de la teoría de vibraciones*.
- Herco, S. (29 de Octubre de 2015). *SuministrosHerco.com*. Recuperado el 29 de Octubre de 2015, de <http://www.suministrosherco.com/tipos-cortacesped>
- Industrial, E. (2012). *emersonindustrial.com*. Obtenido de <http://www.emersonindustrial.com/es-ES/controltechniques/products/servodrives/unimotorfmfanblown/Pages/unimotor-fm-fb.aspx>
- Inventors. (1997). *Inventors.about.com*. Obtenido de http://inventors.about.com/library/inventors/bl_John_Albert_Burr.htm
- Jcnarcisi. (2014). *Jcnarcisi.com.ar*. Obtenido de <http://www.jcnarcisi.com.ar/productos.php?subrub=4&menu=1>
- Life, & Life Magazine. (Junio de 1995). *cyberneticzoo*. Obtenido de <http://cyberneticzoo.com/category/early-service-robots/page/2/>
- Lueger, O. (1904). *Dictionary of technology*. Alemania: Halle A. S.
- Masip, R. F. (1988). *Diseño industrial por computadora*. Barcelona: marcombo.
- MAZARI, M. (2004). *Espacios abiertos de la Ciudad de México*. México: Comité Editorial Del Gobierno Del Distrito Federal.
- Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México: Pearson.
- OFICAD. (1995). *OFICAD*. Obtenido de http://www.oficad.com/medidas_y_dimesnsiones/campo_de_futbol.htm
- Olajedatos. (2009). *Olajedatos.com*. Obtenido de http://www.olajedatos.com/documentos/baterias_plomo.pdf
- Omc-Stepperonline. (2012). *Omc-Stepperonline.com*. Obtenido de http://www.omc-stepperonline.com/stepper-motors-nema-34-stepper-motors-c-1_24.html
- Opinión, E. (2011). *Opinión.com.bo*. Obtenido de www.opinion.com.bo
- PoulanPro. (2012). *Poulanpro.com*. Obtenido de <http://www.poulanpro.com/products/lawn-mowers/pr550n21rh3/>

- Proudfoot, C. (2013). *OldLawnMowerClub*. Obtenido de <http://www.oldlawnmowerclub.co.uk/mowers/moms/mp065-ransomes-automaton>
- Ransomesjacobsen. (2010). *Ransomesjacobsen.com*. Obtenido de www.ransomesjacobsen.com
- Rao, S. (2012). *Vibraciones mecánicas 5ta edicion*. Mexico: Pearson.
- Robomow. (2013). *Robomow RS630*. Obtenido de <http://usa.robomow.com/shop/mowers/rs-630-5/>
- Robotics. (2014). *Robomow (Robomower) Automatic Lawnmower*. Obtenido de <http://www.probotics.com/displayprods.asp?ab=11>
- Robots, E. S. (2014). Obtenido de <http://cyberneticzoo.com/category/early-service-robots/page/2/>
- Robotshop. (2008). *robotshop.com*. Obtenido de <http://www.robotshop.com/media/files/pdf/dimension-engineering-sabertooth-2x25-detail-specs.pdf>
- Search, F. (2014). *FamilySearch.org*. Obtenido de <https://familysearch.org/photos/images/6381681>
- Siemens, S. P. (2015). *Siemens*. Obtenido de http://www.plm.automation.siemens.com/es_sa/plm/cad.shtml
- Sodimac. (2013). *sodimac.cl*. Obtenido de <http://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/169121X/Cortadora-cesped-electrica-1000-Watts-GR3000>
- SpiderMini. (2012). *SiderMini*. Obtenido de <http://www.slope-mower.com/products/spider-mini/spider-mini-mower-applications/>
- Universidad de California, f. a. (2014). *ipm.ucdavis.edu*. Obtenido de http://www.ipm.ucdavis.edu/greenbulletin/Turfgrass_Species_Spanish.pdf
- VILLALVA, A. (2004). *Metodología de la investigación científica*.
- wikipedia. (2012). *wikipedia*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Guada%C3%B1a>
- yan, N. (2014). *Business Journal*. China.
- Youtube. (2007). *Youtube.com*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=b3ibdXdRQnk>

ANEXO A

PLANOS

ANEXO B

HOJAS TÉCNICAS

CODIFICACIÓN DEL CONTROL DE MOVIMIENTO DE LOS SERVOMOTORES

```
#include <SPI.h>

int cs1=8;

int cs2=9;

int tr1=7;//transistor

int cs3=10;

int f1=122;//2.4

int f2=122;//2.4

//SCK PIN 13

//SI PIN 11

//f1=55;//1.08

//f2=198;//3.80

//The pulseIn Function

byte PWM_PIN1 = 3;

byte PWM_PIN2 = 4;

byte PWM_PIN3 = 5;

int pwm_value1;

int pwm_value2;

int pwm_value3;

int st=0;

void setup() {

    SPI.begin();
```

```
pinMode(PWM_PIN1, INPUT);

pinMode(PWM_PIN2, INPUT);

pinMode(PWM_PIN3, INPUT);

pinMode(cs1,OUTPUT);

pinMode(cs2,OUTPUT);

pinMode(cs3,OUTPUT);

pinMode(tr1,OUTPUT);

Serial.begin(9600);

    digitalWrite(cs3,LOW);

    delay(1);

    SPI.transfer(0x11);

    SPI.transfer(128);//2.5V

    digitalWrite(cs3,HIGH);

}

void loop() {

    pwm_value1 = pulseIn(PWM_PIN1, HIGH);

    pwm_value2 = pulseIn(PWM_PIN2, HIGH);

    pwm_value3 = pulseIn(PWM_PIN3, HIGH);

    Serial.print("pwm1:");//MINIZQ953 MITAD1470 MAXDER1993

    Serial.print(pwm_value1);

    Serial.print(" pwm2:");//MINADELANTE2023 SMITAD1470 MAXATRAS1210

    Serial.print(pwm_value2);

    Serial.print(" pwm3:");//MINADELANTE2023 SMITAD1470 MAXATRAS1210

    Serial.println(pwm_value3);//955 1998
```

```
f1=(map(pwm_value1,1220,1800,198,55));  
  
//f1=f1-20;  
  
if(f1<55){f1=55;}  
  
if(f1>198){f1=198;}  
  
f2=map(pwm_value2,953,2000,198,55);//2150  
  
f2=f2+5;  
  
if(f2<55){f2=55;}  
  
if(f2>198){f2=198;}  
  
Serial.print(" f1:");  
  
Serial.print(f1);  
  
Serial.print(" f2:");  
  
Serial.println(f2);  
  
    //ESCRIBO EN EL POT 1  
  
    digitalWrite(cs1,LOW);  
  
    delay(1);  
  
    SPI.transfer(0x11);  
  
    SPI.transfer(f1);  
  
    digitalWrite(cs1,HIGH);  
  
    delay(1);  
  
    // ESCRIBO EN EL POT 2  
  
    digitalWrite(cs2,LOW);  
  
    delay(1);  
  
    SPI.transfer(0x11);  
  
    SPI.transfer(f2);  
  
    digitalWrite(cs2,HIGH);
```

```
if ((pwm_value3>900)&&(pwm_value3<1000)){  
    if (st==0){  
        digitalWrite(tr1,HIGH);  
        delay(500);  
        digitalWrite(tr1,LOW);  
        st=1;  
    }  
}  
  
if ((pwm_value3>1900)&&(pwm_value3<2100)){  
    if (st==1){  
        digitalWrite(tr1,HIGH);  
        delay(500);  
        digitalWrite(tr1,LOW);  
        st=0;  
    }  
}  
delay(200);  
}
```

ANEXO C

MANUAL DE OPERACIÓN

Manual De Operación

Características y controles

Primero Compare la ilustración 1 con su máquina para que se familiarice con la ubicación de las diversas características y controles.

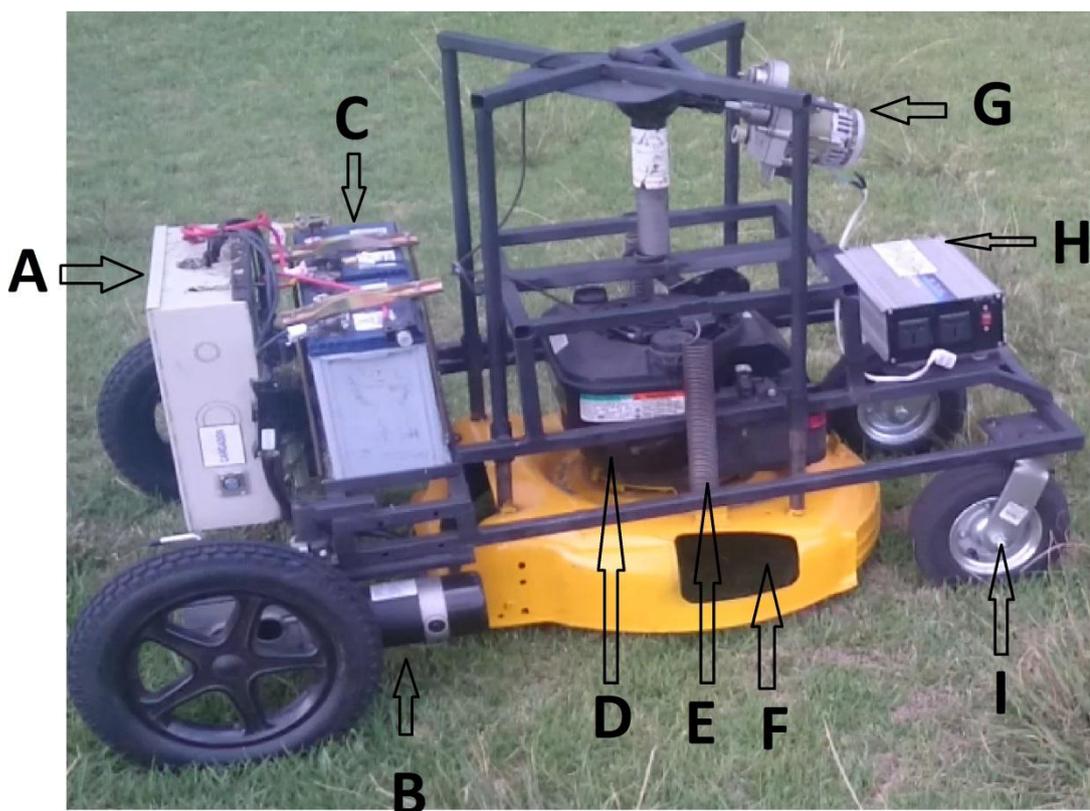


Ilustración 1: Máquina cortadora de césped

- A. Caja de control
- B. Servomotor
- C. Baterías
- D. Motor a combustión
- E. Resorte de amortiguación
- F. Cuchilla
- G. Motor reductor para elevar el nivel de corte
- H. Inversor
- I. Garrucha (rueda loca)

Segundo Compare la ilustración 2 con su motor de combustión para que se familiarice con la ubicación de diversas características y controles.

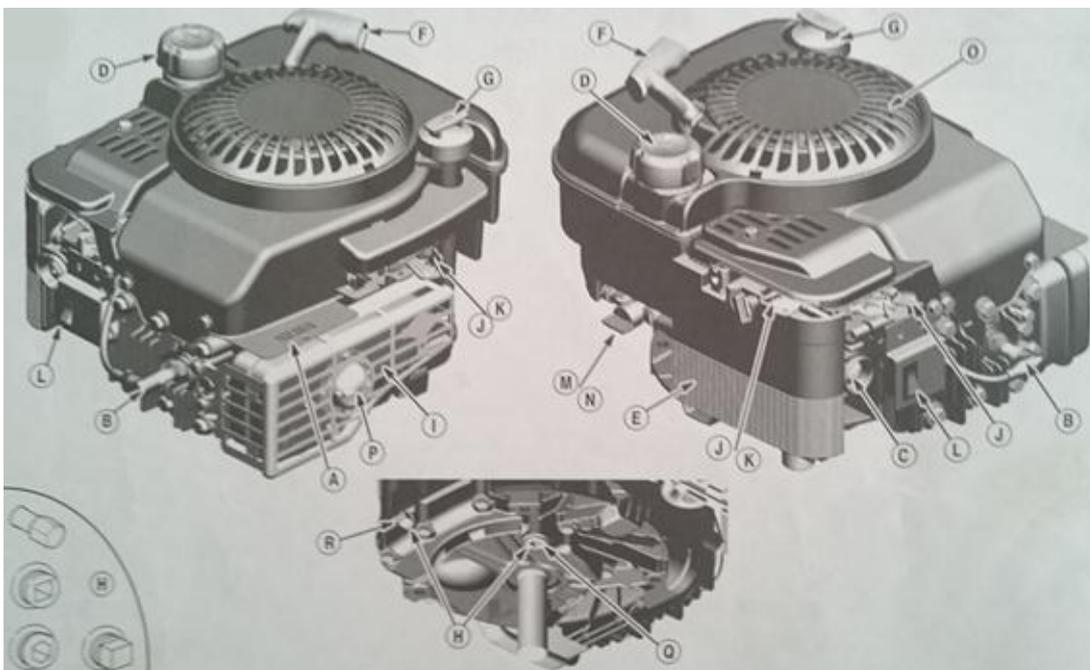


Ilustración 2: Motor a combustión

- A. Identificación del motor
- B. Bujía
- C. Cebador
- D. Tanque y tapa de combustible
- E. Filtro de aire
- F. Manija cuerda arranque
- G. Varilla indicadora nivel de aceite
- H. Tapón drenaje de aceite
- I. Mofle
 - Protector del mofle
 - Atrapa chispas
- J. Estrangulador
- K. Control del acelerador
- L. Interruptor de para parada

- M. Válvula de cierre de combustible
- N. Filtro de combustible
- O. Protector de dedos

Tercero Compare la ilustración 3 con su caja de control para que se familiarice con la ubicación de diversas características y controles.

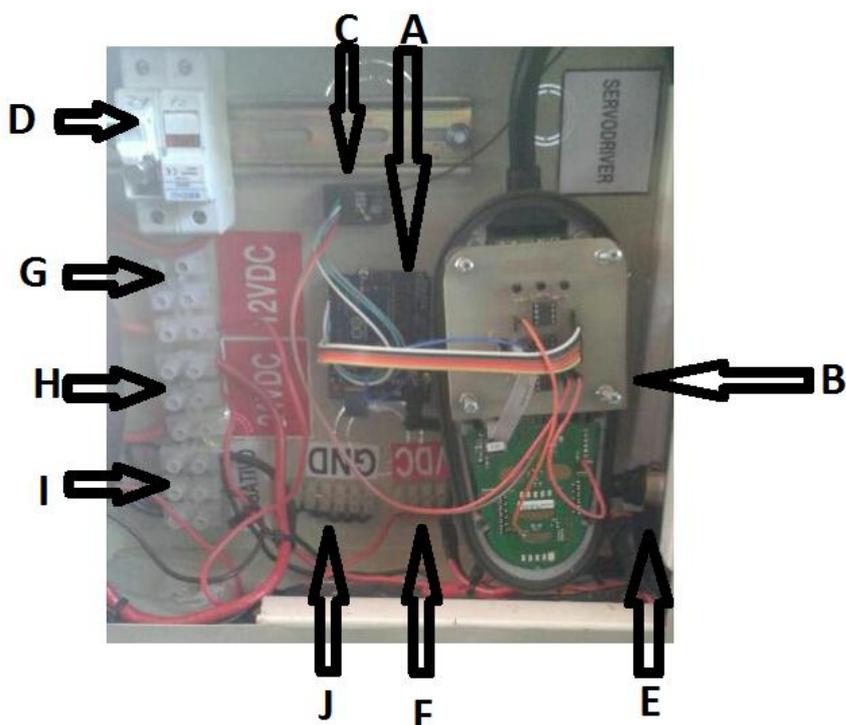


Ilustración 3: Panel de control

- A. Arduino
- B. Driver
- C. Receptor RC
- D. Fusibles (16A)
- E. Cargador (24Vdc)
- F. Fuente (5Vdc)
- G. Fuente (12Vdc)
- H. Fuente (24Vdc)
- I. Negativo (24vdc, 12vdc)
- J. Negativo (5Vdc)

Cuarto compare la ilustración 4 con su control remoto para que se familiarice con la ubicación de mandos necesarios para operar la máquina.

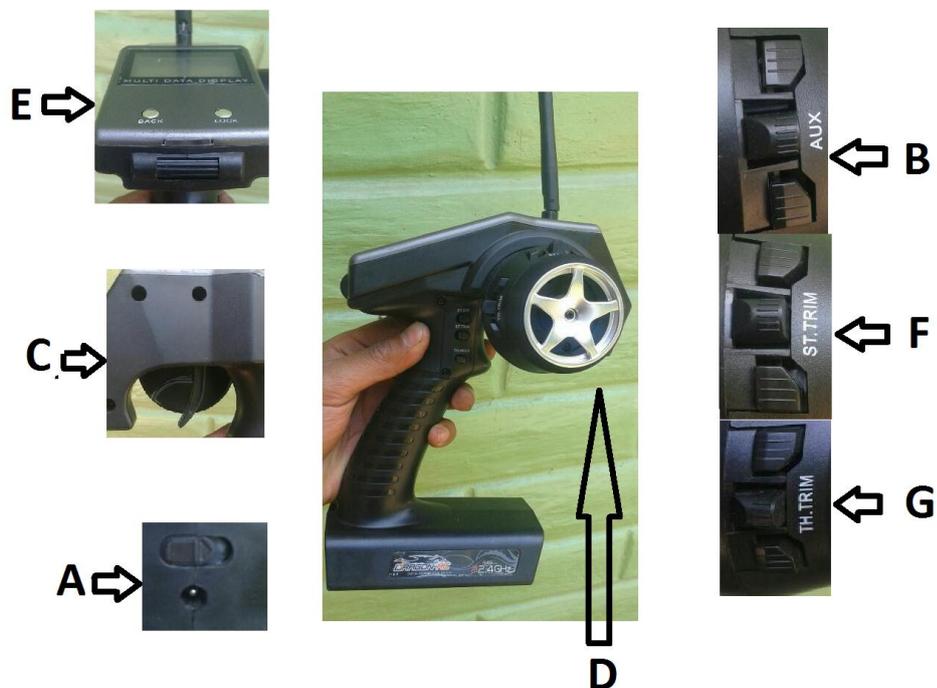


Ilustración 4: Control remoto

- A. Encendido y apagado del control remoto
- B. Encendido y apagado para la máquina
- C. Palanca de aceleración y retroceso para la máquina
- D. Palanca de giro izquierdo y derecho para la máquina.
- E. Pantalla para visualizar los datos del control
- F. Ajuste de velocidad para acelerar y retroceso
- G. Ajuste de velocidad máxima (No disponible, No cambiar rangos)

Operación:**Recomendación de aceite**

- Se recomienda el uso de aceites de alta calidad clasificados para servicio SF, SG, SH, SJ o superior.
- Las temperaturas exteriores determinan la viscosidad del aceite apropiada para el motor. Utilice el cuadro para seleccionar la mejor viscosidad para el rango de temperatura exterior esperado.

Como verificar / añadir aceite

1. Limpie el área de llenado de aceite de todo desecho
2. Remueva la varilla indicadora de nivel de aceite (A) y límpiela con un trapo limpio. (Ilustración 2)
3. Inserte y apriete la varilla indicadora de nivel de aceite
4. Remueva la varilla indicadora de nivel de aceite y compruebe el nivel de aceite. El aceite debe llegar arriba del indicador (B) en la varilla indicadora de nivel de aceite. (Ilustración 2)
5. Si el nivel de aceite es bajo, añada aceite lentamente por dentro del tubo de llenado de aceite, (C) no llene excesivamente. Después de aprovisionar de aceite espere un minuto y después vuelva a comprobar el nivel de aceite. (Ilustración 2)
6. Coloque y apriete la varilla indicadora de nivel de aceite.

Recomendación para el combustible

- El combustible debe cumplir con estos requerimientos:
- Gasolina limpia, fresca y libre de plomo.
- Un mínimo de 87 octanos / 87 AKI (91 RON).
- El uso de gasolina hasta con el 10% de etanol (gasohol) es aceptable.

Cómo agregar combustible

1. Apague el motor si esta encendido y deje que el motor se enfríe por lo menos 2 minutos antes de remover la tapa de combustible
2. Limpie el área de la tapa de combustible de polvo y desechos. Retire la tapa de combustible (A). (Ilustración 2)
3. Llene el tanque de combustible (B) con combustible. Para permitir la expansión del combustible no llene por encima de la parte inferior del cuello del tanque de combustible (C). (Ilustración 2)
4. Re-instale la tapa de combustible.
5. Mantenga el combustible a distancia de chispas, llamas abiertas y otras fuentes de encendido.

Arranque de la Máquina

1. Verificar los fusibles (D) de la caja de control. (Ilustración 3)
2. Verifique que la caja de control este bien cerrada.
3. Encender la máquina con el botón del control (B). (Ilustración 4)
4. Dirigir la máquina a un espacio de césped que se encuentre libre de objetos para encender el motor.
5. Asegúrese que la bujía, el mofle, la tapa de combustible, y filtro de aire estén en su lugar, y firmemente asegurados. **No hacer girar al motor si remueve la bujía.**
6. Revisar que ningún obstáculo se encuentre donde gira la cuchilla, para que este no sufra daños al momento de arrancar el motor.
7. Arranque el motor fijando la palanca del Estrangulador (J) hacia la derecha, luego hale lentamente la cuerda hasta que se sienta resistencia y después hálela rápidamente para evitar un contragolpe. (Ilustración 2)

Mantenimiento de la Máquina

1. Terminando el trabajo de corte, realizar el siguiente procedimiento.
2. Fije la palanca del estrangulador (J) hacia la izquierda. (Ilustración 2)
3. Limpie con una brocha o franela la máquina.
4. Llevar la máquina a un lugar seguro para recargar las baterías
5. Apague La máquina con el botón del control (B). (Ilustración 4)
6. Recargar las baterías con el cargador proporcionado por los fabricantes (En caso de utilizar una fuente de carga diferente, tener cuidado al remover los seguros de las baterías, revisar el diagrama de conexión para su correcta ubicación al momento de colocarlas, si opera y realiza cualquier trabajo en el sistema de control abra la tapa de los porta fusibles.)

Mantenimiento del Motor de combustión

Cuadro 43:
Mantenimiento

Las Primeras 5 Horas	<ul style="list-style-type: none"> • Cambie aceite
Cada 8 Horas o Diariamente	<ul style="list-style-type: none"> • Compruebe el nivel de aceite del motor • Limpie el área alrededor del mofle y los controles • Limpie el protector de dedos
Cada 25 horas o anualmente	<ul style="list-style-type: none"> • Limpie el filtro de aire • Limpie el pre-filtro
Cada 50 Horas o anualmente	<ul style="list-style-type: none"> • Cambie el aceite del motor • Compruebe el mofle y el atrapa chispas
Anualmente	<ul style="list-style-type: none"> • Cambie el filtro de aire • Reemplace el pre-filtro • Cambie la bujía • Reemplace el filtro de combustible

- Limpie el sistema de enfriamiento de aire

Limpie con mayor frecuencia en condiciones de mucho polvo o cuando el aire contenga muchas partículas.

Cuadro 44:
Especificaciones Técnicas

Especificaciones del motor a combustión	
Modelo	120000
Desplazamiento	11,57 in ³ (190 cm ³)
Diámetro Interno del cilindro	2,687 in (68,25 mm)
Carrera	2,047 in (52 mm)
Capacidad de Aceite	18 – 20 oz (0,54 – 0,59 L)
Especificaciones de Ajuste	
Modelo	120000
Entrehierro de bujía	0,020 in (0,50 mm)
Par de torsión de la bujía	180 lb-in (0,50 mm)
entrehierro inducido	0,006 – 0,010 in (0,15 – 0,26 mm)
Tolerancia de válvula de admisión	0,005 – 0,007 in (0,13 – 0,18 mm)
tolerancia de la válvula de escape	0,007 – 0,009 in (0,18 – 0,23 mm)

Cuadro 45:
Especificaciones del servomotor

Especificaciones del Servomotor	
Modelo	CTSR8-320R (S)
Voltaje	24V DC
RPM	4600RPM (32:1)
Potencia de Trabajo	320 WATT
Potencia Máxima	450 WATT

Cuadro 46:
Especificaciones de la máquina

Especificaciones Generales	
Tiempo de trabajo	1h (±) 20%
Combustible	Gasolina
Aceite	SAE30
Voltaje	24V DC
Tiempo de carga	30 – 40 min
Área de Corte	1100m ² (±) 20%
Ancho de Corte	560 mm
Inclinación máx.	25°
Altura de corte	20-70mm

Importante

- Revisar la zona de corte antes de pasar el Cortacésped, evitando golpes con piedras, palos y otros objetos a la cuchilla y carcasa. Una piedra golpeada por la cuchilla puede dañarlo de forma irreparable.
- Verificar el estado de la cuchilla, afilándola siempre que sea necesario, esto cuidará el césped, y evitará trabajo extra al motor.
- Verificar periódicamente los tornillos y amarres, reapretando.
- Si la máquina comienza a vibra, revise el sistema de amortiguamiento y la cuchilla que puede estar dañada, mal afilada o desequilibrada.
- Limpiar la carcasa del Cortacésped por dentro después del uso, evitando que se adhiera la hierba cortada.