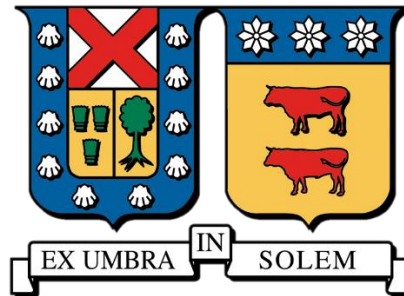


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

INGENIERÍA EN DISEÑO DE PRODUCTOS

SANTIAGO – CHILE



STABILITYRE: DESARROLLO DE RUEDA CON LASTRE DINÁMICO PARA BAJAR EL CENTRO DE GRAVEDAD EN VEHÍCULOS

PAMELA MONSERRAT URETA VILLARROEL

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO EN DISEÑO DE PRODUCTOS

DR. ROBERTO DURÁN

2023

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido de manera directa e indirecta en la realización de este trabajo.

En primer lugar, quiero agradecer a mi profesor guía, Roberto Durán, por su ayuda, apoyo y valiosas sugerencias a lo largo de todo el proceso. Sus conocimientos y experiencia han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

A mis compañeros de universidad por el cariño, la paciencia y el compromiso en todos los desafíos que tuvimos que afrontar.

A Joresif Henríquez por brindarme consejos y apoyo moral durante este proyecto.

A Martín Villavicencio por estar siempre dispuesto a ayudarme.

A mi madre por financiar mis estudios

Y sobre todo a mi fuente de motivación, mi gatita Nori.

DEDICATORIA

A mi yo del pasado, que se las arregló para solucionar todos los problemas en su camino, le dedico este logro.

Tus esfuerzos, perseverancia y crecimiento me trajeron hasta donde estoy hoy. Gracias por nunca rendirte y por hacer mi vida más divertida.

RESUMEN

En esta memoria se aborda el diseño de un sistema de lastre en ruedas para vehículos, con el objetivo de mejorar la estabilidad y el rendimiento bajando el centro de masa.

Para ello, se emplearon metodologías de diseño iterativo y análisis funcional, que permitieron explorar diversas alternativas y evaluar su viabilidad técnica. Mediante la aplicación de técnicas de modelado 3D y pruebas de prototipos, se logró validar la eficacia del sistema de lastre, demostrando una mejora significativa en la estabilidad y el desempeño del vehículo en comparación a métodos tradicionales de lastrado.

Este trabajo contribuye al campo de la ingeniería de vehículos al proporcionar una solución innovadora y exploratoria para optimizar el rendimiento en diversas condiciones operativas.

ABSTRACT

This thesis addresses the design of a wheel ballasting system for vehicles with the aim of improving stability and performance by lowering the center of mass.

To achieve this, iterative design methodologies and functional analysis were employed, allowing for the exploration of various alternatives and the evaluation of their technical feasibility. Through the application of 3D modeling techniques and prototype testing, the effectiveness of the ballasting system was validated, demonstrating a significant improvement in vehicle stability and performance compared to traditional ballasting methods.

This work contributes to the field of vehicle engineering by providing an innovative and exploratory solution for optimizing performance under various operating conditions.

GLOSARIO

Lastrado: Técnica que consiste en añadir peso adicional a una estructura con el fin de mejorar su estabilidad y rendimiento.

Lastre dinámico: Contrapeso que se mantiene imperturbable sobre un eje móvil.

Centro de masa: Punto en el que se concentra la masa de un objeto. Coincide con el centro de gravedad

Fricción: Fuerza que se opone al movimiento relativo de dos superficies en contacto. En el caso de los neumáticos, la fricción es esencial para proporcionar tracción y frenado.

Rendimiento: Capacidad de un vehículo para cumplir con su función de manera efectiva y eficiente. El rendimiento se puede medir en términos de vida útil, velocidad, aceleración, consumo de combustible, entre otros.

Vehículo: Medio de transporte motorizado diseñado para desplazar personas o cargas. Puede ser un automóvil, una motocicleta, un camión, entre otros.

Estabilidad: Propiedad de un objeto que determina su capacidad para mantener su equilibrio y resistir la perturbación.

Tracción: Capacidad de un vehículo para transferir la fuerza del motor al suelo y así generar movimiento. La tracción depende de diversos factores, como el tipo de neumáticos, la superficie de la carretera y la distribución del peso del vehículo.

Suspensión: Sistema de elementos mecánicos que conecta la carrocería de un vehículo con sus ruedas. La suspensión tiene como función principal absorber las irregularidades del camino y proporcionar un manejo suave y confortable.

Neumático: Componente fundamental de un vehículo que permite la transmisión de fuerza al suelo, proporciona tracción, absorbe impactos y mejora la estabilidad. Los neumáticos pueden ser de diferentes tipos y tamaños, según el tipo de vehículo y su uso.

Llanta: También conocido como rin, es la estructura metálica sobre la cual se monta el neumático. Proporciona el soporte y la conexión entre la rueda y el eje del vehículo, permitiendo

así su correcto funcionamiento y desplazamiento.

ÍNDICE	AGRADECIMIENTOS	2
	DEDICATORIA	3
	RESUMEN	4
	ABSTRACT	5
	GLOSARIO	6
	ÍNDICE	8
	ÍNDICE DE FIGURAS	10
	1. INTRODUCCIÓN	13
	1.1 OBJETIVOS	15
	1.2 Objetivo General	15
	1.3 Objetivos Específicos	15
	2. ESTADO DEL ARTE	17
	2.1 Centro de masa	18
	2.2 Volcamientos	18
	2.3 Lastrado.....	20
	2.3 Alerones.....	21
	2.4 Productos existentes	22
	2.5 Patentes	23
	3. METODOLOGÍA	29
	4. DESARROLLO	33

4.1 Identificación de funciones	33
4.3.1 Materiales	38
4.4 Comportamiento real	39
4.4.1 Resultados.....	39
5. CONCLUSIONES.....	43
6. BIBLIOGRAFÍA.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tractor y base de estabilidad.....	19
Figura 2: Situación de volcamiento lateral.....	19
Figura 3: Situación de volcamiento trasero.....	19
Figura 4: Tractor con lastrado frontal.....	20
Figura 5: Disco contrapeso para eje trasero...	21
Figura 6: Tractor con lastrado hidráulico.....	21
Figura 7: Vehículo con modificaciones aerodinámicas.....	22
Figura 8: Imagen de producto referente "Ez Ballast".....	22
Figura 9: Imagen de producto referente "Ez Ballast Wheels".....	23
Figura 10: Imagen de producto referente "Ballast box"	23
Figura 11: Imagen de patente referente "All-Surface Vehicle"	24
Figura 12: Imagen de patente referente " Two-Wheeled Self-Balancing Motorized"	24
Figura 13: Imagen de patente referente "Coaxial Motorcycle".....	25

Figura 14: Imagen de patente referente "Statically Stable Robot Using Wheel With Inner System"	26	Figura 27: Vehículo con lastre tipo disco y lastre tipo dinámico en roll over.....	40
Figura 15: FBS adaptado por Edwin Koh	27	Figura 28: Rueda lastrada unida a motor.....	40
Figura 16: FBS Gero y Kannengiesser.....	27	Figura 29: Vehículo de dos ruedas.....	40
Figura 17: Diagrama con los elementos de una rueda	35	Figura 30: Vehículo con lastre dinámico.....	41
Figura 18: Primera iteración de lastre y llanta en PLA y resina.....	35	Figura 31: Vista interna de StabiliTyre y sus componentes.....	42
Figura 19: Neumático con corte transversal ...	36	Figura 32: Mock up de tractor con StabiliTyre..	42
Figura 20: Diagrama rueda con rieles	36		
Figura 21: Rueda con rieles en PLA y lastre en resina	37		
Figura 22: Lastre con forma de cuña	37		
Figura 23: Lastre con forma de T	37		
Figura 24: Lastre con sección de estaño	38		
Figura 25: Tabla de materiales	38		
Figura 26: Vehículo con lastre tipo disco y lastre tipo dinámico en side roll over	39		

CAPÍTULO 01

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

La idea original de este proyecto surge a partir de la observación del Profesor Roberto Durán sobre la importancia del centro de gravedad en la estabilidad de los vehículos. Al estudiar el caso de los vehículos de fórmula uno, notó que estos debían ser construidos con una altura muy baja para evitar volcamientos. Fue así como se buscó un espacio útil en el vehículo que no estorbara con la conducción, entonces surgió la idea de desarrollar un sistema de lastrado en ruedas que pudiera disminuir el centro de gravedad de los vehículos sin tener que modificar la morfología del vehículo. De esta forma nació la idea del sistema StabiliTyre, que tiene como objetivo reducir el riesgo de volcamientos y mejorar la estabilidad en la conducción. En este informe, se presentan los resultados de los estudios realizados para evaluar la viabilidad del sistema y los detalles técnicos de su diseño y construcción. Además, se discuten las posibles aplicaciones y beneficios que el sistema StabiliTyre podría ofrecer en diferentes tipos de vehículos. En definitiva, este proyecto representa un esfuerzo por mejorar la seguridad, el rendimiento en la

conducción e innovar en el mercado de lastrado de vehículos. Esperamos que su lectura sea de gran interés y utilidad para todos aquellos interesados en el campo de la ingeniería automotriz.

1.1 OBJETIVOS

En esta sección se describen el objetivo principal y los objetivos específicos que se abordarán en el presente trabajo.

1.2 Objetivo General

Validar y explorar la viabilidad de StabiliTyre un nuevo sistema de lastrado para ruedas que utiliza un contrapeso dentro del neumático para disminuir el centro de gravedad de los vehículos.

1.3 Objetivos Específicos

Diseñar y construir prototipos a escala del nuevo sistema de contrapeso para ruedas.

Realizar pruebas en los prototipos a escala para evaluar su efectividad en la reducción del centro de gravedad de los vehículos.

Analizar la factibilidad técnica de fabricación del producto.

CAPÍTULO 02
ESTADO DEL ARTE

2. ESTADO DEL ARTE

El propósito de este capítulo es proporcionar una visión general de los temas relacionados con esta memoria para brindar al lector una mejor comprensión del proceso de desarrollo de una invención en un campo exploratorio.

En primer lugar, se presentará el contexto de la ingeniería de vehículos y la importancia de abordar la estabilidad y el rendimiento a través de estrategias de lastre. Se explorarán los desafíos asociados con el centro de masa y cómo su ubicación puede afectar el comportamiento dinámico de un vehículo.

En segundo lugar, se investigarán los enfoques existentes sobre sistemas de lastrado y estabilidad en vehículos, buscando referentes y soluciones implementadas. Además, se examinarán patentes relacionadas, tanto por función como por componentes.

En tercer lugar, se abordará la metodología y los modelos utilizados en esta memoria para respaldar la toma de decisiones en el diseño del sistema de lastre. Se describirá el enfoque iterativo y el análisis funcional empleado, lo que permitirá explorar alternativas y evaluar su viabilidad técnica.

2.1 Centro de masa

El centro de masa es un concepto fundamental en física que se refiere al punto promedio de distribución de masa de un objeto o sistema. Es el punto donde se puede considerar que toda la masa del objeto está concentrada, y es un parámetro clave para describir el equilibrio y la estabilidad de un cuerpo.

En un objeto homogéneo con una distribución uniforme de masa, el centro de masa coincide con el centro geométrico del objeto. Sin embargo, en objetos más complejos o con distribuciones de masa irregulares, el centro de masa puede estar desplazado respecto al centro geométrico.

El centro de masa tiene varias propiedades importantes. Para que un objeto se encuentre en equilibrio sobre un punto de apoyo, el centro de masa debe encontrarse sobre el eje vertical que este proyecta. Además, las propiedades del centro de masa y su relación con el punto de apoyo determinará cómo responde la estabilidad del objeto y su reacción a fuerzas externas.

En el diseño de objetos y sistemas, el conocimiento del centro de masa es crucial para lograr la estabilidad, prevenir vuelcos o desequilibrios y optimizar el rendimiento y la eficiencia. Por ejemplo, en la industria automotriz, se busca ubicar el centro de masa de un vehículo de manera que esté cercano al suelo para mejorar la estabilidad en curvas y minimizar el riesgo de vuelcos.

2.2 Volcamientos

Un volcamiento se produce cuando su centro de masa se posiciona fuera de la base de estabilidad. Esta se refiere al área proyectada en el suelo por los puntos de contacto del vehículo con el terreno. Cuanto más amplia sea la base de estabilidad, mayor será la resistencia a los vuelcos.

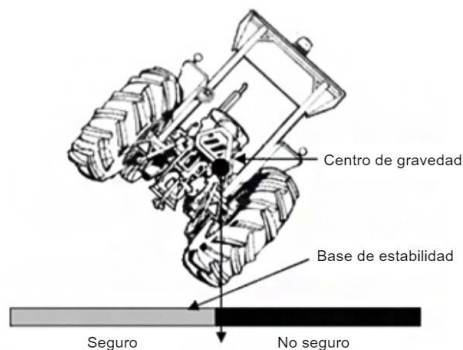


Figura 1: Tractor y base de estabilidad

Existen diferentes tipos de volcamientos de vehículos, que pueden ocurrir en diversas circunstancias. A continuación, se describen los principales tipos.

El Volcamiento lateral o Side Roll Over ocurre cuando el vehículo se inclina lateralmente y llega a su punto de equilibrio crítico, resultando en un vuelco sobre su costado. Los volcamientos laterales son especialmente comunes en vehículos con un centro de gravedad elevado y pueden ser desencadenados por maniobras bruscas, curvas pronunciadas o caminos empinados. Este comportamiento sucede principalmente en tractores y camiones.

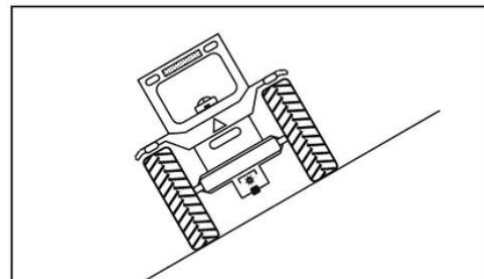


Figura 2: Situación de volcamiento lateral

El volcamiento trasero o Roll Over ocurre cuando el vehículo se inclina sobre su parte trasera y es resultado del transporte de cargas pesadas en la sección posterior del vehículo. Este tipo de accidentes sucede casi únicamente en tractores.

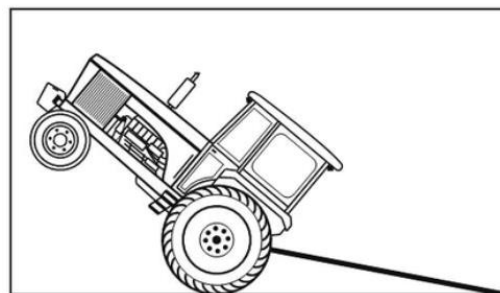


Figura 3: Situación de volcamiento trasero

2.3 Lastrado

El lastrado es una técnica utilizada para modificar la distribución de peso de un vehículo con el fin de mejorar su estabilidad, seguridad y/o desempeño. Consiste en añadir o quitar peso en determinadas zonas del vehículo, para ajustar su centro de gravedad y distribución de carga.

Este se utiliza en una amplia variedad de vehículos, desde automóviles de carreras hasta aviones, y se puede aplicar en diferentes partes del vehículo, como en las ruedas, en la parte trasera, en la cabina, etc.

En los vehículos de carga y transporte, el lastrado es especialmente importante, ya que, debido a la variabilidad constante de su centro de masa, producto de los diferentes tipos de carga, es que son más propensos a volcamientos y accidentes.

Lastrado por contrapesos

Esta técnica es utilizada para mejorar la estabilidad de un vehículo al agregar peso adicional en un punto específico del vehículo. Este peso adicional se agrega a menudo en la

parte inferior del vehículo, cerca del centro de gravedad, con el objetivo de reducir el riesgo de volcamiento.



Figura 4: Tractor con lastrado frontal

El lastrado por contrapesos es comúnmente utilizado en vehículos como tractores, excavadoras, camiones y otros equipos pesados para mejorar su estabilidad y manejo en terrenos difíciles o en situaciones en las que se necesita un mayor control y tracción. Los contrapesos pueden ser de diversos materiales, como hierro fundido, concreto o plomo, y pueden ser diseñados para ser removibles o permanentes según las necesidades específicas del vehículo.



Figura 5: Disco contrapeso para eje trasero

Lastrado Hidráulico

El lastre hidráulico consiste en llenar los neumáticos parcialmente con un líquido como agua, cloruro de calcio o anticongelante. Este tipo de lastre es el más común ya que es el más económico y no necesita maquinaria extra para ser instalado. A pesar de su uso masificado, los fabricantes de neumáticos no lo recomiendan. El hidroyado produce que los neumáticos se vuelvan rígidos y que se deformen, afectando su vida útil. Además, la cantidad de líquido es difícil de modificar, genera problemas con la amortiguación y en bajas temperaturas el contenido puede llegar a congelarse.



Figura 6: Tractor con lastrado hidráulico

2.3 Alerones

Los alerones o spoilers son elementos aerodinámicos que se utilizan comúnmente en vehículos para mejorar su estabilidad y rendimiento. En el contexto del diseño de vehículos de cuatro ruedas, los alerones se pueden emplear para reducir la resistencia del aire y aumentar la carga aerodinámica en la parte trasera del vehículo. Esta carga adicional ayuda a mantener una mayor presión sobre las ruedas traseras, mejorando la tracción y aumentando la estabilidad del vehículo en curvas y a altas velocidades.

Además de su efecto en la estabilidad, los alerones también pueden ser utilizados para reducir el centro de gravedad del vehículo al

mover el centro de presión hacia abajo. Una menor altura del centro de gravedad mejora la estabilidad y la capacidad de respuesta del vehículo, reduciendo el riesgo de volcaduras.

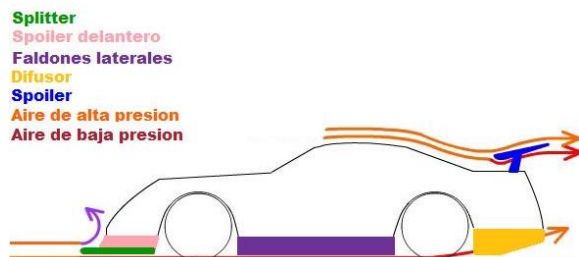


Figura 7: Vehículo con modificaciones aerodinámicas

2.4 Productos existentes

Ez Ballast Jhon Deere

Primer sistema de lastrado "flexible" que utiliza el tren de aterrizaje (undercarriage). Permite cargar 1700kg de forma automática sin ayuda de maquinaria externa.

Compatible solo con los tractores de la serie 7R de la marca Jhon Deere.



Figura 8: Imagen de producto referente "Ez Ballast"

Ez Ballast Wheels Jhon Deere

El sistema "Ez Ballast Wheels" de John Deere es un dispositivo de lastre para tractores que permite agregar y eliminar peso fácilmente de las ruedas traseras del vehículo. Este sistema está diseñado para mejorar la tracción y la estabilidad del tractor en diversas condiciones de trabajo. Consiste en un aro de lastre que se monta en la rueda. Este sistema puede ayudar a prevenir el deslizamiento de las ruedas y aumentar la eficiencia en el campo.

Permite añadir hasta 250 kg en ruedas delanteras y 500 kg en ruedas traseras, además, puede ser instalado por una sola persona.



Figura 9: Imagen de producto referente "Ez Ballast Wheels"

Ballast box Jhon Deere

Caja de lastrado que funciona mediante la adición de arena o concreto en su interior, con lo que se puede llegar a masas de 736 kg y 1026 kg respectivamente con cada material, tomando en cuenta el contenedor de 155 kg.



Figura 10: Imagen de producto referente "Ballast box"

2.5 Patentes

En esta sección se presenta un análisis de las patentes que existen en el mercado en relación con los sistemas de ruedas que buscan reducir el centro de gravedad de los vehículos. Estas patentes se han encontrado a través del motor de búsqueda: *Goldfire Innovator*, y se ha revisado y analizado sus aspectos más importantes, así como su alcance, su nivel de innovación y viabilidad. A partir de este análisis, se pueden obtener ideas valiosas para mejorar nuestro sistema y hacerlo más competitivo y efectivo.

All-Surface Vehicle

En la búsqueda de patentes relacionadas con el tema de la estabilidad de vehículos, se encontró una que describe un enfoque similar al de nuestro invento. Esta patente describe un vehículo que utiliza un par de tubos inflables para flotar y desplazarse sobre el agua, con el motor y el compartimento de pasajeros o carga ubicados debajo del eje de los tubos. De esta manera, se logra reducir el centro de gravedad del vehículo y mejorar su estabilidad. Aunque la estrategia utilizada en esta patente es distinta a la de nuestro invento, ambos buscan mejorar la estabilidad del vehículo reduciendo su centro de gravedad colocando gran parte del peso en la parte inferior.

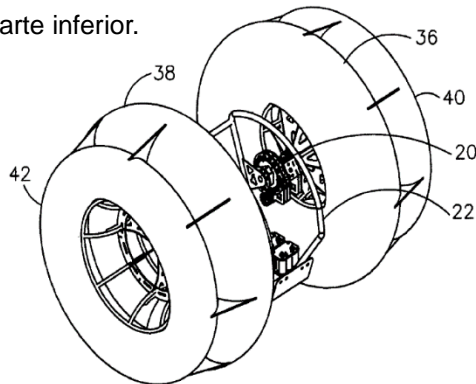


Figura 11: Imagen de patente referente "All-Surface Vehicle"

Two-Wheeled Self-Balancing Motorized Personal Vehicle With Tilting Wheels

La patente encontrada describe un vehículo con dos ruedas rotativas independientes, unidas por una estructura de enlace, con un motor de conducción para cada rueda y capacidades de auto-equilibrio electrónico. Este vehículo puede inclinarse de lado a lado en conjunto para realizar giros y llevar a un pasajero, quien puede estar parado en soportes para los pies entre o fuera de las ruedas, y operar el vehículo inclinándose hacia adelante, hacia atrás o hacia los lados para dirigir el viaje en la dirección deseada.

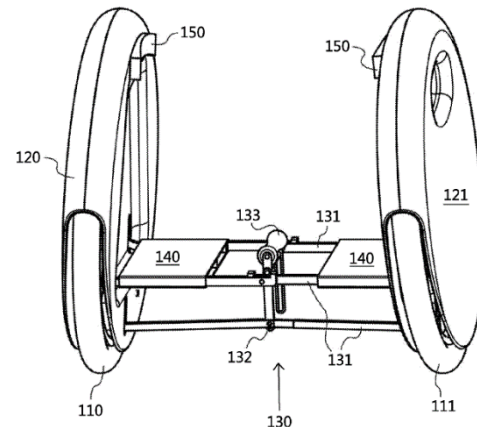


Figura 12: Imagen de patente referente "Two-Wheeled Self-Balancing Motorized"

Coaxial Motorcycle

Esta patente describe un controlador de actitud para un vehículo de dos ruedas coaxial. El controlador de actitud utiliza un sensor giroscópico y un sensor de aceleración para calcular el ángulo de base actual y compararlo con el ángulo de base deseado, generado por un comando de ángulo de base de referencia. Luego, se calcula el par motor necesario para mantener el vehículo en la posición deseada. Además, se utiliza un controlador proporcional de posición, un diferenciador y un controlador proporcional de velocidad para realizar un control proporcional derivativo con respecto a la posición de rotación de la rueda derecha del vehículo. Un amplificador de control de corriente genera la corriente del motor en función del valor añadido del par motor que es el resultado del control y del par estimado calculado por medio de sensores de presión para impulsar la rueda derecha del vehículo.

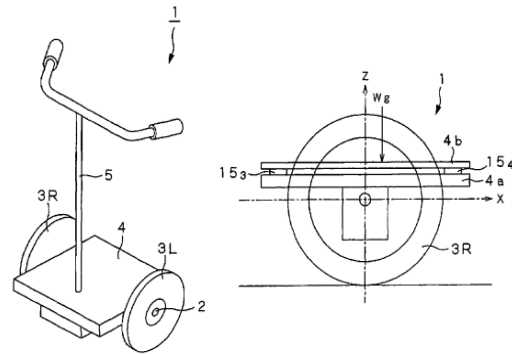


Figura 13: Imagen de patente referente "
Coaxial Motorcycle*"*

En el análisis de estas patentes, se determina que, si bien las funcionalidades y objetivos pueden ser similares, existen propiedades de diseño que vuelven inviable la compatibilidad de estas con StabiliTyre. Esto se debe a que, mientras la única función de estas referencias es la de proporcionar una movilidad estable y maniobrable, StabiliTyre busca lograr esto sin sacrificar la funcionalidad del vehículo que lastra, ni modificar excesivamente su estructura o diseño original.

En paralelo al proceso de esta memoria se intenta verificar la viabilidad de patente para StabiliTyre, mediante asesores externos en la cual se localiza la siguiente patente.

Statically Stable Robot Using Wheel With Inner System

La invención se refiere a un vehículo que incluye un chasis y un par de ruedas soportadas en una relación espaciada por el chasis para girar alrededor de un eje común. Un par de módulos de tracción están asociados con las respectivas ruedas. Los módulos de tracción y el chasis están conectados para girar como un subconjunto con respecto a las ruedas alrededor del eje común, con el centro de masa del subconjunto por debajo del eje común en una posición de equilibrio estático. Cada uno de los módulos de tracción está alojado sustancialmente dentro de la respectiva rueda.

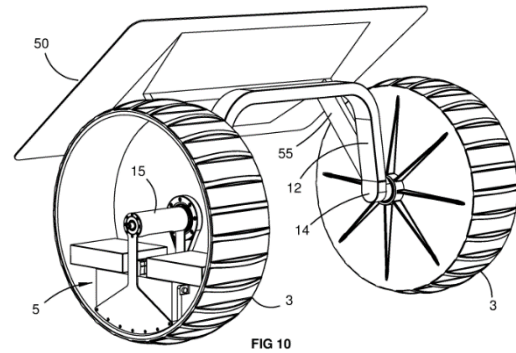


Figura 14: Imagen de patente referente "Statically Stable Robot Using Wheel With Inner System"

En este último caso es posible establecer un paralelismo importante entre StabiliTyre y Statically Stable Robot debido a sus propiedades y estructura esencial. Si bien, se mantienen elementos importantes como el contrapeso bajo el eje de la rueda, estos obedecen a una resolución de problemáticas propia del funcionamiento de la estructura y no de las funciones del vehículo, ni su rendimiento o vida útil.

Function-Behaviour-Structure

A diferencia del general de los procesos de diseño, esta memoria se ha desarrollado de manera intuitiva desde su inicio. No se comenzó con un problema y sus posibles soluciones, sino desde un concepto a evaluar y un comportamiento predeterminado. A partir de ahí, se ha mantenido un carácter exploratorio e iterativo, por tanto, se decidió establecer una línea metodológica a partir de la estructura Function-Behaviour-Structure (FBS) adaptada por Edwin Koh en el año 2017.

La estructura FBS nos permite representar el proceso de diseño desde la identificación de funciones, su comportamiento esperado, la definición de su estructura, su comportamiento real determinado a través de análisis, por sobre todo la comparación entre el comportamiento esperado y el comportamiento real, y finalmente descripciones del diseño (Koh, 2017).

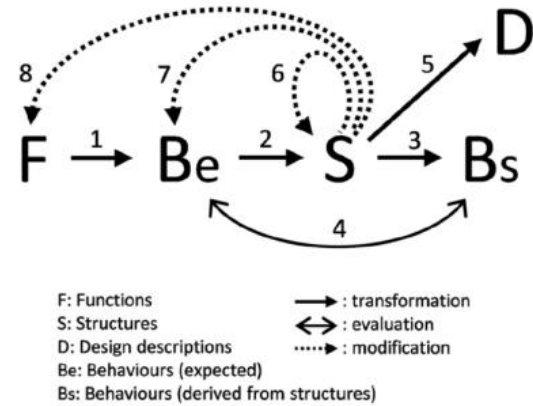


Figura 15: FBS adaptado por Edwin Koh

Este esquema es una versión simplificada de la estructura original de Gero y Kannengiesser

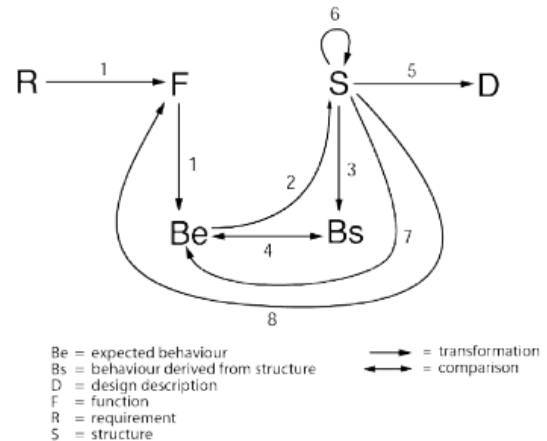


Figura 16: FBS Gero y Kannengiesser

CAPÍTULO 03
METODOLOGÍA

3. METODOLOGÍA

El propósito de esta sección es presentar la metodología que se utilizara durante el proceso de diseño propuesto en esta memoria.

Primero se hará una introducción a los conceptos principales del modelo y luego se definirán las etapas y sus objetivos.

El modelo FBS (Function-Behaviour-Structure) es un marco conceptual utilizado en el campo del diseño y la ingeniería para describir y analizar sistemas complejos. Este modelo se basa en la interrelación de tres aspectos fundamentales: función, comportamiento y estructura.

- Función: Se refiere a la finalidad o propósito principal de un sistema o componente. Representa lo que el sistema o componente debe hacer, es decir, las acciones o tareas que se espera que realice.

- Comportamiento: Hace referencia a cómo el sistema o componente lleva a cabo su función. Describe el comportamiento dinámico y las respuestas del sistema en relación con diversas entradas y condiciones.

- Estructura: Se refiere a la configuración física o la organización de los componentes que conforman el sistema. Incluye los elementos físicos, sus propiedades y relaciones espaciales.

El modelo FBS propone que la función guía la especificación del comportamiento y, a su vez, el comportamiento determina la estructura física del sistema. Estos tres aspectos están estrechamente interconectados y se influyen mutuamente durante el proceso de diseño.

El modelo FBS proporciona un marco conceptual que facilita el análisis, la representación y la comunicación de los sistemas complejos, permitiendo a los diseñadores comprender mejor las relaciones entre los diferentes elementos del sistema y tomar decisiones informadas durante el proceso de diseño.

3.1 Identificación de funciones

Se identificarán y definirán las funciones principales que se espera que el sistema de lastre cumpla. Esto implicará determinar los requisitos y objetivos del sistema, así como comprender su papel en la mejora de la estabilidad del vehículo.

3.2 Comportamiento esperado

Se describirá el comportamiento esperado, lo que permitirá encontrar las variables a modificar en la estructura y testear en las siguientes etapas.

3.3 Definición de la estructura

Para el desarrollo de esta etapa se modelará en 3D y se harán prototipos a escala. Esto permitirá definir los componentes, la materialidad y su morfología estructural.

3.4 Comportamiento real

Se experimentará con los prototipos, analizando su comportamiento real en comparación a su comportamiento esperado.

3.5 Análisis y observaciones

Observaciones sobre posibles diferencias entre el comportamiento esperado, y el comportamiento real.

3.6 Descripciones de diseño

Modelos 3D y morfología final de StabiliTyre.

CAPÍTULO 04
DESARROLLO

4. DESARROLLO

4.1 Identificación de funciones

La función principal del sistema de lastre dinámico es alcanzar la efectividad de un lastrado tradicional con masas similares, pero utilizando un volumen menor. Se suma a esto que el sistema permita agregar o eliminar lastre de forma eficiente y precisa, permitiendo ajustar la masa del vehículo según sea necesario.

Para estimar un volumen de masa a lastrar utilizaremos una rueda de tractor, ya que generalmente es en estos vehículos donde se realizan los lastrados por agua. En este caso se calculó el liquido a utilizar en una rueda trasera del tractor John Deere 5075E 75hp, con ruedas 340/85 R28.



Figura 17: Tractor John Deere 5075E

La recomendación general para estos casos es usar entre 50% y 75% de llenado en los neumáticos, por lo que equivale a 264 litros y 396 litros respectivamente.

Por otra parte, Ez Ballast permite añadir hasta 500 kg en ruedas traseras y 250 kg en ruedas delanteras.

Dentro del mercado también se pueden encontrar discos de lastre en formatos de 50 kg.

Es así como el rango de peso que se deberá variar será entre 25 kg a 500 kg por rueda, con variaciones de 25 kg, pensando en la manipulación por una persona sin necesidad de maquinaria pesada que asista el proceso de carga.

Respecto a las revoluciones un tractor sin lastrado alcanza 33,7 km/h y con lastrado no se recomienda sobrepasar los 25 km/h.

4.2 Comportamiento esperado

Se espera que el lastre dinámico pueda lograr una mejora significativa en la estabilidad del vehículo en comparación con un vehículo con lastre estático o tradicional. La incorporación del

lastre dinámico tiene como objetivo principal bajar significativamente el centro de masa del vehículo haciendo un uso eficiente de la distribución del peso dentro de la rueda.

Otro comportamiento esperado del sistema de lastre es que no presente oscilaciones significativas durante el frenado del vehículo. Se busca que el lastre se mantenga estable y bajo el eje de la rueda en todo momento, que no genere movimientos bruscos que puedan comprometer la seguridad y el control del vehículo en situaciones de frenado repentino o intenso.

4.3 Definición de la estructura

Para la definición de la estructura se optó por realizar prototipos a escala para poder evaluar su morfología y componentes.

Para cada prototipo se establecieron 3 componentes principales: llanta, lastre y neumático.

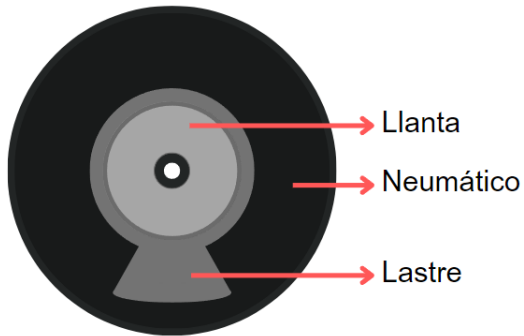


Figura 17: Diagrama con los elementos de una rueda.

A continuación, se presentarán las iteraciones de los prototipos:

Primera iteración

En un comienzo el lastre sería una sola pieza unida al exterior de la llanta con un sistema de rodamiento similar a un buje, puesto que posee propiedades útiles para un mecanismo de altas revoluciones en el que se debe soportar un gran esfuerzo, como es el peso del lastre. Si bien este modelo puede ser funcional a mayor escala, no fue así en el caso del prototipo. Este no cumplió los requisitos mínimos, ya que el lastre no lograba girar de manera uniforme.

Se probó en plástico PLA para probar las tolerancias y el ensamblaje, luego se fabricó en resina buscando disminuir la fricción entre las piezas, para esto también se añadió lubricante seco base grafito.



Figura 18: Primera iteración de lastre y llanta en PLA y resina.

En esta iteración también se testeó el neumático que recubriría el sistema lastre-llanta.

Para esto se utilizó impresión 3D con filamento TPU flexible, lo que permitiría introducir las partes al interior del neumático.



Figura 19: Neumático con corte transversal.

Segunda iteración

En la segunda iteración del prototipo se realizó un cambio en el mecanismo de la rueda, donde se implementó un sistema en el cual el lastre se desliza a lo largo de dos rieles. El objetivo de este cambio era reducir la fricción y permitir que la rueda girara de manera más fluida. Esta modificación demostró un mejor desempeño respecto a la iteración anterior.

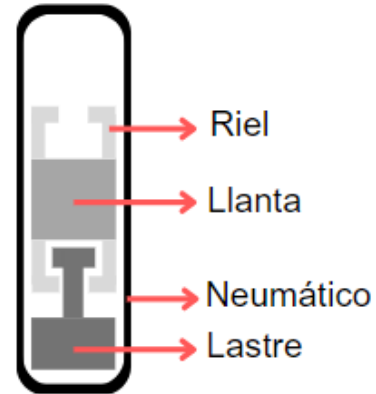


Figura 20: Diagrama rueda con rieles.

Sin embargo, se encontraron algunos desafíos en esta segunda iteración. Uno de los principales problemas fue la debilidad del sistema implementado. El mecanismo resultó ser endeble y no lograba mantenerse ajustado de manera constante, lo que afectaba la estabilidad y confiabilidad del prototipo.

Además, el proceso de ajuste del lastre a lo largo de los rieles resultó complicado y requería una precisión meticulosa para lograr el nivel óptimo de ajuste. Esto añadía dificultades al proceso de montaje y configuración del prototipo.



Figura 21: Rueda con rieles en PLA y lastre en resina

Tercera iteración

En esta iteración se cambio el sistema de giro del lastre. En este caso utiliza un rodamiento de bolas, de esta manera se disminuyó el roce permitiendo que el lastre se mantuviera “colgando” al girar la rueda.

También el lastre inicialmente tenia una forma de cuña, pero se modificó para que tuviera forma de “T” ya que esta figura concentra la mayor parte de la masa en la zona inferior.



Figura 22: Lastre con forma de cuña



Figura 23: Lastre con forma de T

Cuarta iteración

Finalmente, se añadió una sección en la zona inferior del lastre la cual esta rellena de un material más denso. En este caso se utilizó estaño ya que era más fácil de manipular que el hierro y tenía una densidad similar.



Figura 24: Lastre con sección de estaño

La sección de material más denso tiene la geometría más óptima para bajar el centro de gravedad por lo que es importante que el lastre a escala real tenga esta morfología.

4.3.1 Materiales

Se desarrolló una tabla comparativa con los 10 metales más comunes y accesibles en la industria:

Material	Densidad (g/cm ³)	Precio (USD/kg)	Volumen necesario para 300 kg (cm ³)
Hierro	7.87	0.1	38208.9
Acero	7.85	0.5	38343.31
Plomo	11.34	2.1	21010.65
Aluminio	2.7	2.2	111111.11
Zinc	7.14	2.5	42015.49
Latón	8.4	5.0	35714.29
Cobre	8.96	8.14	33482.14
Níquel	8.91	22.4	33635.81
Estaño	7.28	25.8	41283.65
Titanio	4.5	27.0	66666.67

Figura 25: Tabla de materiales

La elección de los materiales a comparar en la tabla se basa en diversas variables, como la densidad, el costo y la disponibilidad en el mercado. En general, se buscó encontrar un equilibrio entre estas variables para seleccionar materiales que fueran eficientes tanto en términos de rendimiento como de costo.

La elección del hierro como peso en StabiliTyre se fundamenta en diversas variables evaluadas. En primer lugar, el hierro es un material ampliamente disponible y de costo accesible, lo

que permite su implementación con un precio realista y similar a otros productos de la misma área. Además, su densidad de 7.85 g/cm^3 ofrece la capacidad de generar un peso considerable en un volumen relativamente pequeño, lo cual es esencial para mantener el equilibrio y la estabilidad del vehículo.

4.4 Comportamiento real

Para poder hacer un análisis del comportamiento real se realizaron 3 experimentos, cada uno relacionado a un comportamiento distinto a observar.

El primer experimento busca emular la acción de un vehículo en side roll over sobre un plano inclinado. Para esto se compararán dos vehículos a escala, uno con ruedas con lastre dinámico y uno con ruedas con lastre estático, y se medirá el ángulo máximo de inclinación que pueden alcanzar antes de volcarse.

En el segundo experimento se levantarán las ruedas delanteras para generar un roll over, aquí también se busca encontrar el punto máximo antes de volcarse.

El tercer experimento hará girar una de las ruedas a altas revoluciones con un motor y se observará su movimiento al momento de frenar.

El cuarto experimento es un vehículo de dos ruedas donde se busca ver su comportamiento al mantenerse en pie.

4.4.1 Resultados

Experimento N°1

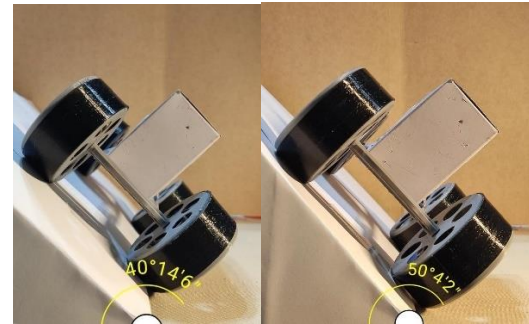


Figura 26: Vehículo con lastre tipo disco y lastre tipo dinámico en side roll over.

El ángulo de vuelque fue 10 grados mayor en el vehículo con lastre dinámico, en ambos se utilizó el mismo peso de 16 gramos por rueda, este peso es el que se pudo alcanzar lastrando la rueda con estaño.

Experimento N°2

En ambas situaciones los vehículos alcanzaron ángulos similares de 106 grados. El vehículo con lastre dinámico producía un vaivén una vez volcado.



Figura 27: Vehículo con lastre tipo disco y lastre tipo dinámico en roll over

Experimento N°3



Figura 28: Rueda lastrada unida a motor

El lastre se mantiene colgando en la parte inferior de la rueda durante todo momento, desde la aceleración hasta el frenado.

Experimento N°4



Figura 29: Vehículo de dos ruedas

Se compararon dos vehículos, uno con lastre dinámico y uno con lastre tipo disco. El primero logra mantener el equilibrio y alcanzar una inclinación de 20 grados. El otro no logra mantenerse en pie de forma vertical ni con alguna inclinación.



Figura 30: Vehículo con lastre dinámico

4.5 Análisis y observaciones

En cuanto a volcamientos laterales se puede observar una diferencia respecto a los vehículos, los que se probaron con lastre dinámico tienen un mayor ángulo de resistencia a los volcamientos. Si bien a esta escala la diferencia solo varía entre 5 a 10 grados se espera que con mayores volúmenes se vea una diferencia más grande. El vehículo en que mejor

se pudo observar un cambio fue en el de dos ruedas tipo moto, ya que solo el que tenía las ruedas dinámicas pudo mantenerse en pie e inclinarse 20 grados.

Sobre los volcamientos verticales no hubo una diferencia significativa entre los ángulos que se puede inclinar.

Respecto al comportamiento del vehículo una vez volcado el lastre tiende a moverse provocando vaivén. Esto proyectado a masas reales podría provocar que el vehículo se vuelque por completo, aunque queda a un futuro estudio poder analizar en más detalle.

En relación a las oscilaciones del lastre, frenados suaves no generan movimientos en el péndulo, pero si el frenado en seco o choques.

4.6 Diseño

El diseño final de Stabilityre posee los siguientes componentes:

En la parte exterior está el neumático de caucho sin aire como cubierta externa con textura para tracción con el suelo y cavidades interiores que reducen las vibraciones. Al ser un neumático sin aire es necesario añadir este sistema que funcione de amortiguador.



Figura 31: Vista interna de Stabilityre y sus componentes

Luego el Rin metálico que soporte la estructura y permita la aislación del sistema interno de la rueda.

Lastre de hierro con forma de “T” invertida, se sugiere que en futuras iteraciones pueda ser dividido en sub componentes para poder añadir o quitar peso sin tener que cambiar toda la pieza.



Figura 32: Mock up de tractor con Stabilityre

Finalmente, el eje que actúe como rodamiento, se sugiere un sistema tipo buje, recomendamos que en futuros desarrollos se ponga énfasis en este componente, ya que, debe ser resistente a los cambios de temperatura y a posibles obstrucciones. Además, debe ser capaz de auto lubricarse de ser necesario.

5. CONCLUSIONES

Como resultado del trabajo llevado a cabo, se ha llegado a la conclusión de que Stabilityre posee varias ventajas en comparación con los procesos de lastrado convencionales utilizados en la actualidad. Mediante el uso de pesos similares a los de lastre estáticos, se logra una significativa mejora en la estabilidad del vehículo, lo cual es un logro destacable.

Además, se distingue la eficiencia en la utilización del espacio en comparación con los lastres hidráulicos y los lastres tipo disco. Esta innovadora solución no solo optimiza el rendimiento del vehículo, sino que también garantiza un aprovechamiento más efectivo de los recursos disponibles.

Aunque se ha evidenciado su viabilidad y prometedor desempeño en tractores y motocicletas, es importante mencionar que se requerirá un estudio más específico para su implementación en vehículos de mayor envergadura, como camiones. Estos vehículos presentan desafíos adicionales debido a sus características y cargas más pesadas, por lo que se requiere una investigación adicional para

adaptar adecuadamente el sistema a tales aplicaciones.

Adicionalmente, para su pleno funcionamiento, se necesitará el desarrollo de neumáticos sin aire que puedan soportar las cargas y condiciones de operación asociadas a StabiliTyre. Se vislumbra un futuro prometedor en la investigación y desarrollo de este tipo de neumáticos debido a la previa existencia de neumáticos sin aire para vehículos pesados, lo cual permitirá seguir avanzando y perfeccionando esta innovadora solución.

En resumen, el proyecto StabiliTyre ha demostrado su superioridad frente a los métodos de lastrado convencionales, proporcionando mejoras significativas en la estabilidad de los vehículos y optimizando el aprovechamiento del espacio. Aunque existen desafíos por superar, se vislumbra un futuro prometedor para su implementación en una amplia gama de vehículos, y se espera que se continúe investigando y perfeccionando esta tecnología en busca de soluciones aún más innovadoras y eficientes.

6. BIBLIOGRAFÍA

Al-Fedaghi, S. (2016). Function-behavior-structure model of design: An alternative approach. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications: IJACSA*, 7(7).

<https://doi.org/10.14569/IJACSA.2016.070719>

Ballast, general performance guidelines. (s/f). Deere.com. Recuperado el 2 de julio de 2023, de

http://salesmanual.deere.com/sales/salesmanual/en_US/tractors/2010/feature/ballasting_and_optimizing_performance/7030lf/7030lf_ballast_general_perf.html

Conoce todos los tipos de llantas para automóvil. (2021, septiembre 29). *Aprende Institute*.

<https://aprende.com/blog/oficios/mecanica-automotriz/tipos-de-llantas/>

CONTRAPESOS (LASTRE) EN VEHÍCULOS AGRICOLAS. (2021, noviembre 23).

In2tires.com.

<https://www.in2tires.com/BLOG/lastre-en-vehiculos-agricolas>

Croc Tyres. (2018, febrero 23). Mining Technology. <https://www.mining-technology.com/contractors/wheels/croc-tyres/>

EZ ballast®. (2020, enero 10). LAFORGE Group. <https://www.laforgegroup.com/en/ez-ballast-2/>

FUSTER. (2018, mayo 24). *Sobre el lastrado de tractores agrícolas.* BLOG. <https://www.repuestosfuster.com/blog/sobre-el-lastrado-de-tractores-agricolas/>

García, D. L. R. (2017, abril 20). *Lastrado: tipos, ventajas y desventajas ¿Debo lastrar mi tractor?* Tractores y Máquinas. <https://www.tractoresymaquinas.com/lastrado-neumaticos-agricolas/>

Gómez, J. L. (s/f). *Qué es una llanta de aleación: denominaciones, medidas, tipos....* Diariomotor. Recuperado el 2 de julio de 2023, de <https://www.diariomotor.com/que-es/llantas-medidas-tipos/>

Keeler Johnson, J. (2020, octubre 13). *Tractor tire liquid ballast: Pros & cons of 5 liquids.* Hobby Farms. <https://www.hobbyfarms.com/pros-and-cons-of-5-different-liquid-tractor-tire-ballast/>

<https://www.hobbyfarms.com/pros-and-cons-of-5-different-liquid-tractor-tire-ballast/>

Khorsandi, F., Ayers, P. D., Freeland, R. S., & Wang, X. (2018). Modeling the effect of liquid movement on the center of gravity calculation of agricultural vehicles. *Journal of Terramechanics*, 75, 37–48. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2017.09.005>

Large ballast box. (s/f). Deere.com. Recuperado el 2 de julio de 2023, de http://salesmanual.deere.com/sales/salesmanual/en_NA/material_handling/attachments/loader/bw15852_ballast_box.html

Llantas por medida - Selcus Wheels. (s/f). Selcus.com. Recuperado el 2 de julio de 2023, de <https://www.selcus.com/3171-llantas-por-medida>

Majdan, R., Abrahám, R., Tkáč, Z., Drlíčka, R., Matejková, E., Kollárová, K., & Mareček, J. (2021). Static lateral stability of tractor with rear wheel ballast weights: Comparison of ISO 16231-2 (2015) with experimental data regarding Tyre deformation. *Applied Sciences*

(Basel, Switzerland), 11(1), 381.
<https://doi.org/10.3390/app11010381>

RAME Publishers, Dewangan, A., & Shahu, K. (2014). To increase the stability of A tractor by lowering down the centre of gravity. *International Journal of Analytical, Experimental and Finite Element Analysis*.
https://www.academia.edu/10871904/To_Increase_the_Stability_Of_A_Tractor_By_Lowering_Down_the_Centre_Of_Gravity

Tractor 5075E. (s/f). Deere.com. Recuperado el 2 de julio de 2023, de <https://www.deere.com/latin-america/es/tractores/tractores-utilitarios/5075e-75hp/>