

Desarrollo de una metodología para valoración de la adquisición y tenencia de un vehículo de carga pesada los 5 primeros años, aplicable a tecnologías de propulsión diésel

Jairo Alonso Jimenez Rueda

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Ingeniería Automotriz

Director

Ing. Isnardo Gonzalez

Especialista en Ingeniería Mecánica

Universidad Industrial De Santander

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Ingeniería Automotriz

Bucaramanga

2026

### **Dedicatoria**

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, por brindarme la fortaleza, la sabiduría y la constancia necesarias para culminar este proceso académico.

A mis padres y mi hermana, por su apoyo incondicional, sus valores y su permanente respaldo en cada etapa de mi formación personal y profesional.

A mis hijas, quienes representan mi mayor fuente de inspiración y motivación para seguir creciendo y dando lo mejor de mí.

Y de manera especial, a mi gran amigo, el ingeniero Orlando Duarte Camacho, pieza fundamental en este proceso académico, por su acompañamiento y valiosas enseñanzas.

### **Agradecimientos**

Expreso mi sincero agradecimiento a la **Universidad Industrial de Santander (UIS)** por la formación académica brindada y por proporcionar los fundamentos teóricos y metodológicos que hicieron posible el desarrollo de este trabajo de investigación.

Agradezco de manera especial a mi director de monografía, **el ingeniero Isnardo Gonzales**, por su orientación, acompañamiento permanente y valiosos aportes técnicos y metodológicos a lo largo de este proceso académico.

Mi reconocimiento a **Industrias Ivor – Casa Inglesa**, así como a sus directivos y colaboradores, por el apoyo institucional, la disposición y el acceso a información técnica relevante que contribuyó significativamente al desarrollo de esta investigación.

De igual manera, agradezco a la **Dra. Jessica Gissella Maradey Lazaro** por su colaboración, disposición y aportes profesionales durante el desarrollo del presente trabajo.

Agradezco al **Ingeniero Gildardo Barrera**, de **FRIMAC**, por su apoyo técnico, experiencia y valiosas contribuciones al análisis y validación de la información utilizada.

Finalmente, expreso mi gratitud a los **socios y empleados de COPETRAN**, por su colaboración, apertura y aportes desde la perspectiva operativa y empresarial del sector transporte, los cuales enriquecieron de manera significativa esta investigación.

**Tabla de Contenido**

Introducción .....	12
1 Descripción Del Proyecto .....	14
1.1 Caracterización Del Parque Automotor De Carga Pesada En Colombia .....	14
1.1.1 Planteamiento del problema.....	19
1.1.2 Pregunta de investigación .....	20
2 Objetivos.....	21
2.1 Objetivo General:.....	21
2.2 Objetivos Específicos: .....	21
3 Análisis De La Literatura Recopilada.....	22
3.1 Marco Teórico.....	22
3.2 Estado del arte.....	24
4 La Voz Del Cliente (VOC) .....	26
4.1 Etapa cualitativa VOC .....	26
4.2 Etapa Cuantitativa VOC .....	27
4.3 Resultados .....	28
4.3.1 Atributos .....	28
4.3.2 Peso Relativo .....	29
4.4 Conclusiones del estudio VOC .....	31
5 Matriz QFD (Casa De La Calidad) .....	34
5.1 Especificaciones de producto a especificaciones técnicas.....	34
5.2 Construcción de la matriz casa de la calidad .....	37
5.3 Interpretación resultados matriz QFD Casa de la Calidad.....	38

6 Proyección Valor De Reventa Tractocamión .....	40
6.1 Recopilación de la información .....	40
6.2 Tratamiento de la información.....	41
6.3 Proyección del valor de mercado a 5 años.....	44
6.4 Conclusiones.....	44
7 Costo total de propiedad (TCO Total Cost of Ownership) .....	46
7.1 Costo De Adquisición.....	48
7.2 Costo de la energía.....	48
7.3 Costo de mantenimiento .....	54
7.4 Conclusiones.....	56
8 Toma De Decisión Multicriterio A Través De La Matriz De Pugh Y Metodología VIKOR....	58
8.1 Matriz de Pugh.....	59
8.2 Metodología VIKOR .....	62
8.3 Matriz normalizada VIKOR .....	64
8.4 Conclusiones matriz de Pugh y metodología VIKOR .....	68
Conclusiones.....	69
Resultados.....	69
Recomendaciones .....	70
Limitaciones.....	70
Impacto .....	71
Referencias Bibliográficas .....	72
Apéndices.....	73

**Lista de Tablas**

Tabla 1 <i>Marcas de tractocamiones comercializadas en Colombia año 2025</i> .....	18
Tabla 2 <i>Numero de tractocamiones nuevos matriculados en Colombia</i> .....	18
Tabla 3 <i>Características comunes tractocamión de carga pesada</i> .....	19
Tabla 4 <i>Perfil de los entrevistados etapa cualitativa</i> .....	27
Tabla 5 <i>Atributos relevantes obtenidos de personas expertas en el transporte</i> .....	29
Tabla 6 <i>Peso relativo de los atributos ordenados según su peso relativo</i> .....	30
Tabla 7 <i>Peso relativo de los atributos ordenados según su peso relativo en orden descendente</i>	30
Tabla 8 <i>Atributos VOC key Drivers</i> .....	31
Tabla 9 <i>Peso relativo final de cada atributo</i> .....	32
Tabla 10 <i>Análisis de los atributos relevantes</i> .....	33
Tabla 11 <i>Información recopilada por tractocamión en venta</i> .....	42
Tabla 12 <i>Porcentaje depreciación anual para cada marca de vehículo</i> .....	45
Tabla 13 <i>Depreciación por origen de los tractocamiones</i> .....	45
Tabla 14 <i>Valor en dólares de cada una las marcas de tractocamión</i> .....	48
Tabla 15 <i>Consumo específico de combustible tractocamión Foton</i> .....	49
Tabla 16 <i>Consumo específico de combustible tractocamión Shacman</i> .....	50
Tabla 17 <i>Consumo específico de combustible tractocamión Freightliner</i> .....	50
Tabla 18 <i>Consumo específico de combustible tractocamión Kenworth</i> .....	51
Tabla 19 <i>Consumo específico de combustible tractocamión DAF</i> .....	52
Tabla 20 <i>Rendimiento y consumo específico de combustible por marca de tractocamión</i> .....	53

Tabla 21 <i>Ejecución presupuestal del área de mantenimiento</i> .....	54
Tabla 22 <i>Costo total de mantenimiento por marca de tractocamión</i> .....	55
Tabla 23 <i>Calculo TCO</i> .....	56
Tabla 24 <i>Calculo TCO</i> .....	57
Tabla 25 <i>Criterios de evaluación matriz de Pugh</i> .....	59
Tabla 26 <i>Características ideales o baseline de tractocamión en el mercado colombiano</i> .....	60
Tabla 27 <i>Desarrollo de la matriz de Pugh</i> .....	61
Tabla 28 <i>Desarrollo de la metodología VIKOR</i> .....	63
Tabla 29 <i>Matriz normalizada VIKOR</i> .....	64
Tabla 30 <i>Cálculo de los <math>S_i</math> y <math>R_i</math>, procedimiento VIKOR</i> .....	66
Tabla 31 <i>Cálculo de <math>Q</math> por marca de tractocamión</i> .....	67

**Lista de Figuras**

Figura 1 <i>Millones de toneladas de carga movilizada en Colombia</i> .....	14
Figura 2 <i>Millones de galones, de carga líquida movilizada en Colombia</i> .....	15
Figura 3 <i>Distribución parque automotor en Colombia año 2024</i> .....	15
Figura 4 <i>Camiones nuevos matriculados en Colombia</i> .....	17
Figura 5 <i>Porcentaje de participación en la encuesta VOC por rol profesional</i> .....	28
Figura 6 <i>Desarrollo matriz casa de la calidad</i> .....	38

## Apéndices

Apéndice A Encuesta VOC .....	73
Apéndice B Encuesta Cuantitativa.....	76
Apéndice C Matriz Casa De La Calidad.....	80
Apéndice D Información Mercado Tractocamiones usados 2025 .....	81

## Resumen

**Título:** Desarrollo de una metodología para valoración de la adquisición y tenencia de un vehículo de carga pesada los 5 primeros años, aplicable a tecnologías de propulsión diésel

**Autor:** Ing. Jairo Alonso Jimenez Rueda

**Palabras clave:** Costo total de propiedad, voz del cliente, casa de la calidad, matriz de pugh, metodología VIKOR, costo energético, costo por kilómetro recorrido, métodos comparables.

**Descripción:**

El presente trabajo de grado desarrolla una metodología integral para evaluar la adquisición y tenencia de vehículos de carga pesada durante sus primeros cinco años de operación, aplicada a equipos de propulsión diésel. La propuesta combina el análisis del Costo Total de Propiedad (TCO) con el Despliegue de la Función de Calidad (QFD) y la metodología Voz del Cliente (VOC), con el propósito de identificar las necesidades reales del inversionista y traducirlas en criterios técnicos y económicos comparables.

El estudio incorpora un modelo estructurado que integra variables como precio de adquisición, costos financieros, mantenimiento, consumo energético, disponibilidad operativa y valor de reventa, permitiendo analizar diferentes escenarios de financiación y condiciones de operación típicas del sector transportador colombiano. Para el proceso de evaluación y selección de alternativas se emplean la matriz de Pugh y la metodología multicriterio VIKOR, lo que fortalece la objetividad y robustez del análisis.

Los resultados evidencian que las diferencias en la inversión inicial pueden ser compensadas o incluso superadas por variaciones en los costos operativos, la eficiencia energética y la depreciación del activo a lo largo del horizonte evaluado. En consecuencia, la metodología desarrollada proporciona una visión integral y cuantificable que mejora la toma de decisiones de compra, reduciendo el riesgo financiero y optimizando la rentabilidad de la inversión.

La herramienta propuesta se presenta como un modelo adaptable y aplicable a distintos contextos empresariales, contribuyendo al análisis estratégico de tecnologías vehiculares bajo criterios técnicos, económicos y operativos.

---

Trabajo de grado

Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director Isnardo Gonzalez

### Abstract

**Title:** Development of a methodology for evaluating the acquisition and ownership of heavy-duty vehicles during the first five years, applicable to diesel propulsion technologies

**Author:** Ing. Jairo Alonso Jimenez Rueda

**Keywords:** Total cost of ownership, voice of the customer, house of quality, Pugh matrix, VIKOR methodology, energy cost, cost per kilometer traveled, comparable methods.

**Description:**

This undergraduate thesis develops a comprehensive methodology to evaluate the acquisition and ownership of heavy-duty vehicles during their first five years of operation, applied to diesel propulsion technologies. The proposed approach combines Total Cost of Ownership (TCO) analysis with Quality Function Deployment (QFD) and the Voice of the Customer (VOC) methodology, with the objective of identifying the investor's real needs and translating them into comparable technical and economic criteria.

The study incorporates a structured model that integrates variables such as acquisition cost, financial expenses, maintenance, energy consumption, operational availability, and resale value, allowing the analysis of different financing scenarios and operating conditions typical of the Colombian transportation sector. For the evaluation and selection of alternatives, the Pugh matrix and the VIKOR multicriteria methodology are applied, strengthening the objectivity and robustness of the analysis. The results demonstrate that differences in initial investment may be compensated or even exceeded by variations in operating costs, energy efficiency, and asset depreciation throughout the evaluated time horizon. Consequently, the developed methodology provides a comprehensive and quantifiable framework that improves purchasing decision-making, reduces financial risk, and optimizes investment profitability. The proposed tool is presented as an adaptable and applicable model for different business contexts, contributing to the strategic analysis of vehicle technologies based on technical, economic, and operational criteria.

---

Bachelor Thesis

Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director Isnardo Gonzalez

## **Introducción**

El transporte de carga pesada constituye uno de los pilares fundamentales de la economía colombiana, al permitir la movilización eficiente de mercancías, materias primas y productos terminados a lo largo del territorio nacional. En este contexto, el tractocamión representa el principal activo operativo de las empresas transportadoras, siendo su adquisición una decisión estratégica que implica una inversión significativa, generalmente superior a los USD 160.000, y que impacta directamente la rentabilidad, competitividad y sostenibilidad financiera del negocio. Sin embargo, el mercado actual ofrece múltiples alternativas con diferencias importantes en precio de adquisición, costos operativos, consumo energético, respaldo técnico y valor de reventa, lo que convierte el proceso de selección en una decisión compleja que requiere un análisis estructurado y objetivo.

El presente trabajo de grado tiene como objetivo desarrollar una metodología para la valoración de la adquisición y tenencia de un vehículo de carga pesada durante sus primeros cinco años de operación, aplicable a tecnologías de propulsión diésel. Esta investigación surge de la necesidad de proporcionar a empresarios, inversionistas y actores del sector transporte una herramienta que permita cuantificar de forma integral los costos asociados al vehículo, más allá del precio inicial de compra, incorporando variables clave como mantenimiento, consumo de combustible, costos financieros, disponibilidad operativa y valor de reventa. La ausencia de metodologías prácticas y estructuradas puede conducir a decisiones basadas en criterios subjetivos o incompletos, generando pérdidas económicas o una asignación ineficiente de los recursos.

El trabajo está concebido bajo un enfoque metodológico integral que combina el análisis técnico, económico y operativo del vehículo, alineando las necesidades del cliente con las características técnicas del producto. Para ello, se estructura en diferentes etapas que incluyen la

identificación de los requerimientos del usuario mediante la metodología Voz del Cliente (VOC), la traducción de estos requerimientos en especificaciones técnicas a través del Despliegue de la Función de Calidad (QFD), el cálculo del Costo Total de Propiedad (TCO) como indicador económico principal, y la aplicación de métodos de toma de decisión multicriterio que permitan comparar diferentes alternativas disponibles en el mercado colombiano. Este enfoque permite desarrollar un procedimiento estructurado, objetivo y reproducible que facilite la toma de decisiones informadas.

El método empleado en esta investigación combina técnicas cualitativas y cuantitativas. En la fase cualitativa, se aplican entrevistas y encuestas a actores relevantes del sector transporte para identificar los factores más importantes en el proceso de adquisición de un tractocamión. Posteriormente, mediante el uso de la metodología QFD, estos factores se transforman en criterios técnicos medibles. En la fase cuantitativa, se realiza el cálculo del costo total de propiedad (TCO), integrando variables económicas y operativas relevantes. Finalmente, se emplean herramientas de toma de decisión multicriterio, como la matriz de Pugh y la metodología VIKOR, con el fin de evaluar y comparar diferentes alternativas, permitiendo determinar la opción más adecuada según las condiciones específicas del inversionista.

Como resultado, esta investigación propone una metodología estructurada, práctica y adaptable que permite mejorar la calidad de las decisiones de inversión en vehículos de carga pesada, contribuyendo al fortalecimiento técnico y económico del sector transportador colombiano.

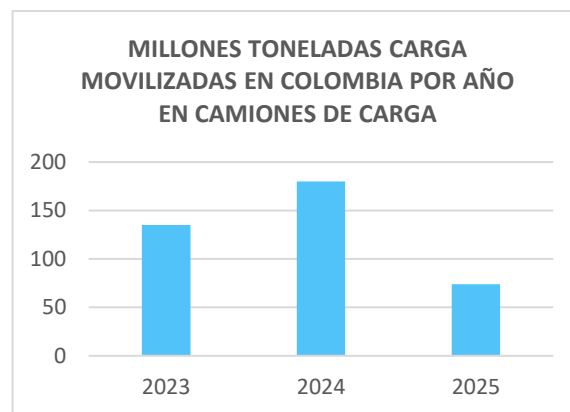
## 1 Descripción Del Proyecto

### 1.1 Caracterización Del Parque Automotor De Carga Pesada En Colombia

El transporte de carga en Colombia es uno de los renglones más importantes de la economía nacional; según indica el diario La Republica (2024) y el Portal Logístico de Colombia Toneladas y viajes (2024), por las carreteras colombianas transitaron en el año 2024, más de 180 millones de toneladas de carga en contenedores, carga a granel, materiales de construcción, maquinaria y mercancías, ver figura 1, así como 6100 millones de galones de carga líquida, ver figura 2.

#### Figura 1

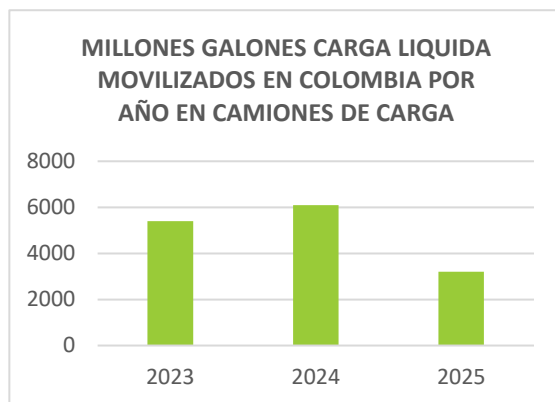
*Millones de toneladas de carga movilizada en Colombia, vigencia 2023, 2024 y primer semestre de 2025*



Según el diario la Republica (2023), este transporte se realizó en 601.000 camiones de carga, donde el 10% son tractocamiones o camión articulado de tres ejes, ver figura 3. Siendo este el principal medio para el transporte de grandes volúmenes de carga en el país.

**Figura 2**

Millones de galones, de carga líquida movilizada en Colombia, vigencia 2023, 2024 y primer semestre de 2025



**Figura 3**

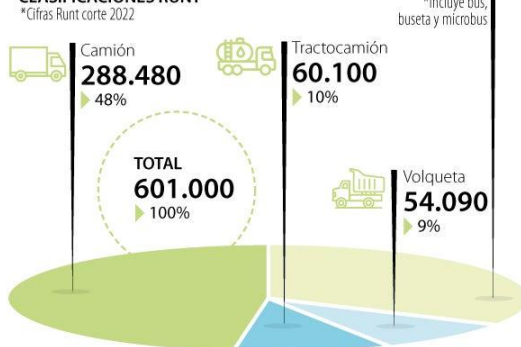
Distribución parque automotor en Colombia año 2024

**LAS CIFRAS DEL PARQUE AUTOMOTOR DE VEHÍCULOS DE CARGA**

**REPORTE POR EJES**



**CLASIFICACIONES RUNT**



**REPORTE 2024 REGISTROS POR TIPO DE VEHÍCULO DE CARGA**

Clasificación	Cantidad	Variación vs 2023
Camiones 0.0 < PBV ≤ 10.5 Toneladas	2.609	-17,4%
Camiones 10.5 < PBV ≤ 17.0 Toneladas	509	-18,9%
Camiones 17.0 < PBV ≤ 28.0 Toneladas	34	-1,9%
Otros camiones	918	-12,2%
Tractocamiones de 2 ejes	225	-1,7%
Tractocamiones de 3 ejes	842	-49,6%
Volquetas	329	-46,5%
<b>Total matrículas</b>	<b>5.466</b>	<b>-26%</b>



Según Colfecar, solo del segmento de carga hay **360.000 vehículos**



La edad promedio de estos vehículos es de **21 años** (La segunda más antigua de América Latina)

Fuente: Sondeo LR Gráfico: LR:MN

**EDAD PROMEDIO POR CLASE DE VEHÍCULOS EN AÑOS**



**HISTÓRICO VENTAS**



Nota. Adaptado de Cifras del parque automotor de vehículos de carga, Diario la Republica, 2024.

La figura 3, suministrada por el Diario la Republica (2024) muestra, en la tabla izquierda superior, que el modelo promedio de los vehículos de carga pesada es año 2.008 y los planes del gobierno nacional de fomentar la renovación del parque automotor en vehículos con matrícula superior a 20 años, es una realidad.

En Colombia se matriculan en promedio 2000 tractocamiones de carga pesada por año ver figura 4, según el boletín de vehículos nuevos de transporte de carga ANDI – FENALCO (2024) a un costo promedio de \$750.000.000 COP, inversión importante que requiere un análisis exhaustivo.

#### Figura 4

*Camiones nuevos matriculados en Colombia años 2021, 2022, 2023, 2024 y primer semestre de 2025.*



Actualmente en Colombia podemos encontrar en el mercado 12 marcas de distintos fabricantes de tractocamiones de diferentes prestaciones, ver figura 5, siendo Estados Unidos, México, Brasil, Suecia, Alemania y China los principales países de origen de estos vehículos, tal como muestran las estadísticas el boletín de vehículos nuevos de transporte de carga ANDI – FENALCO (2024), ver Tabla 1

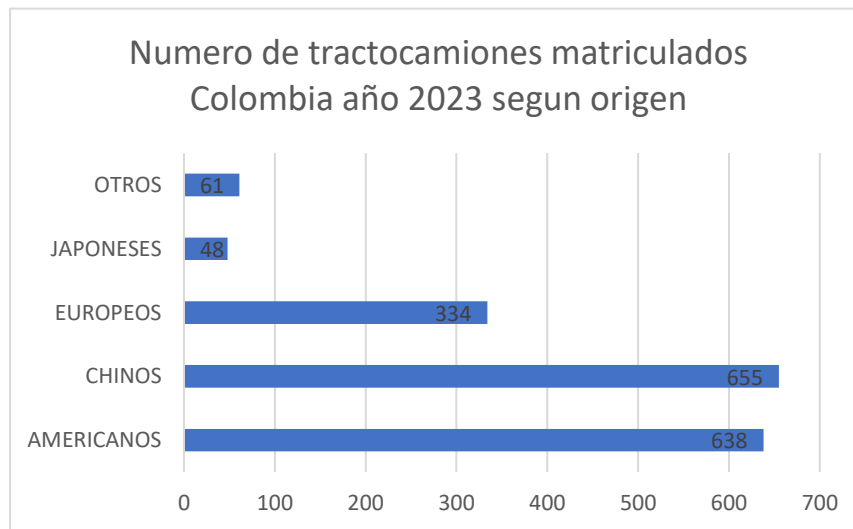
**Tabla 1**

*Marcas de tractocamiones comercializadas en Colombia año 2025 (revista motor)*

PAIS DE ORIGEN	MARCA TRACTOCAMION
<b>AMERICANA</b>	KENWORTH
	INTERNATIONAL
	FREIGHTLINER
	MACK
<b>CHINA</b>	FOTON
	SHACMAN
	FAW
	SINOTRUCK
<b>EUROPEA</b>	DAF
	VOLKSWAGEN
	SCANIA
<b>JAPONES</b>	HINO

**Tabla 2**

*Numero de tractocamiones nuevos matriculados en Colombia, según país de origen año 2023*




El tractocamión sin importar la marca comparte características similares, como puede apreciarse en la tabla 3. Aun así, cada fabricante ofrece sus vehículos con especificaciones técnicas muy particulares, tales como conjunto de transmisión de potencia, tipo de suspensión, sistemas de

frenos o habitáculo del conductor; además cada uno se distingue por el servicio postventa, gestión de repuestos, red de concesionarios, garantía, calidad de refacciones, consumo combustible, entre los más relevantes.

**Tabla 3**

*Características comunes tractocamión de carga pesada.*

		Características relevantes cabeza tractora
	Tractocamión de tres ejes con semirremolque de dos ejes	3 ejes
	Tractocamión de tres ejes con semirremolque de tres ejes	Motor 400 – 500 Hp
		Peso bruto vehicular 52 toneladas
		Punto pivote o conexión tráiler

**1.1.1 Planteamiento del problema**

En la actualidad, el mercado colombiano, tiene más de 20 marcas diferentes de camiones articulados de 3 ejes, según el boletín de vehículos nuevos de transporte de carga ANDI – FENALCO (2024). La diferencia en el valor de adquisición entre las diversas marcas puede variar hasta en un 30% según datos de la revista motor (2025). Entre tantas opciones, ¿cuáles criterios deberían representar más para un inversionista en el momento de tomar la decisión de compra? ¿Cuáles parámetros son más determinantes? Adquirir un tractocamión es una compra que supera los USD160.000, es una inversión importante, de alto riesgo, que se debe cuantificar; en muchos casos podría el inversionista tomar decisiones emocionales, adquiriendo un vehículo, sin analizar al detalle sus verdaderas necesidades, comprando equipos con características erróneas para su operación.

Las marcas chinas han inundado el mercado colombiano, con vehículos de diversas características, prestaciones y valor de adquisición bajo. ¿Son estos vehículos una opción viable? ¿En qué condiciones son una opción rentable? Y con respecto a la depreciación ¿Cuánto se devalúa un camión chino en 5 años?

¿Qué herramientas existen para cuantificar tantas variables de forma práctica? ¿Cómo simplificar una decisión compleja en un método paso a paso para resolverlo?

### ***Justificación***

Es importante dar solución a los inconvenientes planteados anteriormente, ya que en muchas ocasiones el inversionista no tiene claridad como cuantificar tantas variables para tomar una decisión acertada; es común darle mucha importancia al precio de adquisición, desconociendo otras variables claves como el consumo, la postventa o el respaldo del concesionario, lo cual deriva en pérdidas económicas importantes o el descalabro financiero. Solucionar los inconvenientes planteados anteriormente, a través de una herramienta guiada, ayuda en gran medida a tomar decisiones informadas, conscientes, no emocionales, garantizando decisiones más certeras.

#### ***1.1.2 Pregunta de investigación***

¿El desarrollo de un procedimiento orientado, que tenga en cuenta el valor de adquisición, costos de tenencia y operación, así como la reventa de un vehículo de carga pesada los 5 primeros años, aplicable a tecnología de propulsión diésel, contribuye a que el empresario del transporte pueda tomar una decisión más acertada, según sus necesidades, en el momento de comprar un tractocamión nuevo en Colombia?

## **2 Objetivos**

### **2.1 Objetivo General:**

Desarrollar una metodología basada en VOC y TCO, para valoración de la adquisición y tenencia de un vehículo de carga pesada los 5 primeros años, aplicable a tecnología de propulsión diésel.

### **2.2 Objetivos Específicos:**

Determinar los factores claves en la adquisición de un vehículo de carga a través del VOC y QFD para comprender múltiples necesidades de los actores relacionados con el transporte de carga pesada en Colombia.

Calcular el costo total de propiedad mediante la metodología TCO – Total Cost of Ownership – para seleccionar la mejor opción de adquisición de compra de un vehículo de carga pesada.

Desarrollar un aplicativo en Excel, que indague acerca de los requerimientos de un futuro comprador de un vehículo de carga pesada, para sugerir una marca de tractocamión presente en el mercado colombiano, acorde con las necesidades específicas de cada transportador.

### 3 Análisis De La Literatura Recopilada

#### 3.1 Marco Teórico

Para el desarrollo de la metodología propuesta es importante tener claridad de los siguientes términos.

***Voz del cliente (VOC):*** proceso sistemático para recopilar, analizar y comprender las opiniones, expectativas y deseos de los clientes con el objetivo de mejorar productos, servicios y la experiencia general de los mismos. Se centra en identificar las necesidades y deseos del cliente para tomar decisiones informadas que satisfagan mejor a la audiencia.

***Casa de la calidad, QFD (Quality Function Deployment):*** metodología para traducir las necesidades y expectativas del cliente en características específicas de diseño y producción de un producto o servicio. Su objetivo principal es asegurar la satisfacción del cliente al alinear todas las actividades de la organización con sus requerimientos.

***Análisis del costo de vida de producto TCO (Total Costo Ownership):*** análisis económico que considera todos los costos asociados a un producto, sistema o proyecto a lo largo de toda su vida útil, desde su concepción hasta su disposición final.

***Matriz de Pugh (Pugh Method):*** herramienta de toma de decisiones utilizada para comparar y evaluar diferentes alternativas basadas en criterios predefinidos. Es especialmente útil en situaciones donde se deben evaluar múltiples opciones y se requiere un enfoque estructurado y objetivo.

***Metodología VIKOR (VIseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje):*** método de toma de decisiones multicriterio que se utiliza para encontrar soluciones de compromiso en situaciones donde existen múltiples criterios conflictivos. En esencia, VIKOR ayuda a clasificar alternativas comparando la distancia de cada una a una solución ideal y a una solución negativa,

buscando un equilibrio entre la satisfacción máxima de un grupo y el mínimo arrepentimiento individual.

**Valor de adquisición del activo:** es el importe total que una empresa paga para adquirir un activo, incluyendo el precio de compra y todos los gastos de adquisición necesarios para ponerlo en funcionamiento

**Valoración del activo usado:** es el proceso de determinar el valor de un activo o propiedad en un momento específico. Se basa en principios económicos, financieros y contables.

**Vehículo carga pesada articulado:** Un vehículo de carga pesada articulado, comúnmente conocido como camión articulado o tráiler, es un tipo de vehículo de transporte que consta de una unidad motriz (tractor) y un remolque unido a ella por una articulación. Esta articulación permite que el vehículo gire, lo que facilita la maniobrabilidad y el transporte de cargas grandes. Normalmente transportan entre 20 y 40 toneladas dependiendo la carga.

**Valor de reventa:** Es el precio estimado al que se puede vender en el mercado de usados el activo, considerando la antigüedad, el estado, el kilometraje y el tipo de vehículo. Es el valor que un vehículo conserva después de ser usado.

**Costos directos de mantenimiento:** son aquellos gastos que se pueden identificar y atribuir directamente a una actividad específica de mantenimiento, como la reparación, la sustitución de piezas, herramientas o mano de obra.

**Sistemas propulsión Diesel:** El sistema de propulsión de un camión Diesel se basa en un motor de combustión interna que transforma la energía química del ACPM en energía mecánica para mover el vehículo. Este sistema incluye elementos como el motor, la transmisión, el eje de transmisión, el diferencial, las ruedas y el sistema de escape.

### 3.2 Estado del arte

#### ***Análisis Competitivo por parte de los talleres de servicio automotriz, mediante el uso del valor***

***percibido por el cliente.*** Jaime Baby Moreno y Juan Fernando Uribe Arango, 2015. El documento hace un valioso aporte a la aplicación de la metodología de Voz del Cliente (VOC) al emplear el Valor Percibido por el Cliente (VPC) como herramienta para identificar lo que realmente valoran los usuarios de talleres automotrices. Esta información permite construir mapas de valor que evidencian brechas entre expectativas e impresiones actuales, orientando así la toma de decisiones estratégicas.

#### ***An analysis of quality function deployment (QFD) application by automotive assemblers and***

***auto-parts companies in Brazil.*** Carnevalli & Cauchick Miguel, 2011. Este estudio analiza cómo empresas automotrices y proveedores de brasil implementaron QFD: examina factores clave tales como los requisitos previos para su uso, las dificultades encontradas (por ejemplo, matrices grandes y complejas), las limitaciones metodológicas y los beneficios observados, ofreciendo evidencia empírica valiosa sobre su impacto real en el diseño de productos automotrices.

#### ***QFD Application in an automotive case study.*** Banu et al., Universidad Dunărea de Jos, 2006.

El estudio detalla el uso de la casa de la calidad (House of Quality) para ilustrar cómo se construye un proyecto específico de carrocería para un vehículo. Priorizando mejoras de cara al cliente y así incrementar la satisfacción de este.

#### ***Optimizing Lightweight Material Selection in Automotive Engineering: A Hybrid***

#### ***Methodology Incorporating Ashby's Method and VIKOR Analysis.*** Edoardo Risaliti, Francesco

Del Pero, Gabriele Arcidiacono & Paolo Citti, 2024. Este artículo presenta una metodología híbrida que integra el enfoque de selección de materiales de Ashby con el método VIKOR. Se enfoca en seleccionar materiales ligeros para componentes automotrices, considerando criterios

como propiedades mecánicas, costo y sostenibilidad ambiental. Ilustra cómo VIKOR permite resolver decisiones complejas al priorizar criterios múltiples de forma cuantitativa, especialmente en temas relevantes para la industria automotriz como el peso, el costo y el impacto ambiental.

#### **4 La Voz Del Cliente (VOC)**

A través del desarrollo de la metodología de la Voz Del cliente en la cual tenemos como objetivo indagar cuales son las características claves para el comprador de un vehículo de carga pesada y siguiendo el esquema presentado por Baby y Londoño (2005) se desarrolla el VOC en dos etapas: Etapa cualitativa que busca identificar los atributos más importantes para los empresarios del transporte en el momento de tomar la decisión de adquirir una u otra marca de vehículo y una etapa cuantitativa donde se busca calificar cada uno de los atributos, con un peso relativo y ponderar los resultados.

##### **4.1 Etapa cualitativa VOC**

La etapa cualitativa se desarrolló en cuatro sesiones de grupo. Dos sesiones, cada una conformada por tres empresarios del transporte, asociados de las dos principales cooperativas de transporte de carga del departamento de Santander. Dos sesiones adicionales individuales con propietarios de empresas de transporte de Barrancabermeja.

Los empresarios seleccionados a conveniencia, propietarios de vehículo de carga pesada, cada uno cuenta con una experiencia superior a 15 años en el negocio del transporte, han comprado en los dos últimos años tractocamión y actualmente están en proceso de compra de más vehículos. La caracterización del perfil profesional de estas personas se muestra en la tabla 4. Antes de iniciar cada sesión se informó a los asistentes que la reunión sería grabada en audio con el objetivo de aprovechar al máximo cada detalle, así mismo que la información suministrada sería manejada con la debida confidencialidad y que estas entrevistas tienen un fin académico. En el apéndice A se muestra las preguntas de la entrevista.

**Tabla 4***Perfil de los entrevistados etapa cualitativa*

	Empresa		Experiencia transporte (años)	Nº tractomulas de su propiedad	Meses desde la ultima compra de tractomula
Sesion Grupal	Cooperativa de Transportadores del Sur	Empresario #01	35	12	23
		Empresario #02	22	6	20
		Empresario #03	18	10	8
	Cooperativa Santandereana de Transportadores	Empresario #04	30	8	10
		Empresario #05	25	12	8
		Empresario #06	22	6	20
Sesion individual	Novasa Logistic	Empresario #07	18	12	14
	Luac Cargo y Suministros	Empresario #08	15	8	6

#### 4.2 Etapa Cuantitativa VOC

El intervalo de fechas en la cual se realizaron las encuestas cuantitativas fue entre el 01 al 15 de octubre del año 2025, en una muestra de 50 individuos, con cuestionario estructurado diligenciado a través de Google Forms, con preguntas cerradas de calificación de 1 a 10, de múltiple alternativa y una pregunta abierta. Los perfiles de los participantes son propietarios, conductores, ingenieros de mantenimiento, jefes de compras, gerentes de empresas de transporte, jefes de almacén y mecánicos, todos relacionados con tractocamiones de carga pesada, que laboran en empresas de la región, con aportes importantes al sector desde su quehacer profesional.

Para obtener el peso relativo de los atributos se les solicito a los entrevistados calificar los atributos mencionados de 1 a 10, siendo el 1 el valor mínimo y 10 el valor máximo. Además, seleccionar de una lista cerrada, los tres atributos que consideraban más importantes. Ver en el apéndice B la entrevista realizada.

Finalmente, el VPC se calcula como una combinación entre los pesos relativos de los atributos y la frecuencia con la cual son nombrados por los entrevistados.

### 4.3 Resultados

En esta sección, se presentan separadamente los componentes del VPC. atributos y peso relativo. La distribución según rol profesional de los encuestados se muestra en la figura 5.

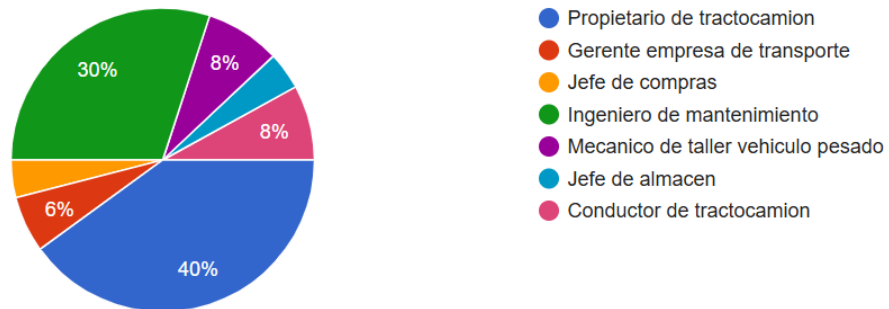
#### Figura 5

*Porcentaje de participación en la encuesta VOC por rol profesional, información tomada de Google Forms*

Rol que desempeña el encuestado

50 respuestas

 Copy chart



#### 4.3.1 Atributos

A continuación, en la tabla 5. se enlista los 13 atributos relevantes de que detectaron durante las entrevistas cualitativas, con personas expertas, en las sesiones de grupo.

**Tabla 5**

*Atributos relevantes obtenidos de personas expertas en el transporte, en el momento de comprar un tractocamión nuevo, en orden descendente alfabético.*

<b>Atributos relevantes adquisicion vehiculo de carga</b>	
1	Calidad de los materiales fabricacion y vejez prematura
2	Disponibilidad de repuestos
3	Capacidad carga util
4	Confort y seguridad del conductor
5	Consumo combustible
6	Costo de compra inicial (costo adquisicion)
7	Costo de los repuestos comparados con la competencia
8	Cumplimiento normas ambientales
9	Nivel de tecnologia avanzado e interconectividad
10	Personal calificado disponible para realizar mantenimiento
11	Respaldo tecnico concesionario
12	Tiempo de entrega del vehiculo por parte del concesionario
13	Valor de reventa en 5 años

#### **4.3.2 Peso Relativo**

Conocer los atributos es solo la primera fase del análisis del conocimiento de la voz del cliente. A continuación, se calcula el peso relativo de cada uno de los atributos, según la frecuencia con la cual son nombrados y seleccionar los cinco atributos con mayor importancia. Estos cinco recibirán la mayor atención.

El peso relativo de cada atributo se calculó así:

Suma puntos asignados (calificación de 1 a 10) de cada atributo, por cada encuestado.

Sumatoria total puntos alcanzados por todos los atributos

Participación porcentual de cada atributo (puntos) del total de puntos alcanzados

**Tabla 6**

*Peso relativo de los atributos ordenados según su peso relativo en orden descendente, según el promedio cuantitativo*

	Atributos	Puntaje	Peso relativo (%)	Peso relativo acumulado
1	Disponibilidad de repuestos	478	9.06%	9.06%
2	Personal calificado disponible para realizar mante	451	8.55%	17.60%
3	Consumo combustible	428	8.11%	25.72%
4	Respaldo tecnico concesionario	427	8.09%	33.81%
5	Calidad de los materiales fabricacion y vejez prerr	426	8.07%	41.88%
6	Costo de compra inicial (costo adquisicion)	420	7.96%	49.84%
7	Costo de los repuestos comparados con la compe	414	7.85%	57.68%
8	Capacidad carga util	399	7.56%	65.25%
9	Confort y seguridad del conductor	382	7.24%	72.48%
10	Valor de reventa en 5 años	380	7.20%	79.69%
11	Tiempo de entrega del vehiculo por parte del conc	377	7.14%	86.83%
12	Nivel de tecnología avanzado e interconectividad	349	6.61%	93.44%
13	Cumplimiento normas ambientales	346	6.56%	100.00%
	Sumatoria	5,277		

**Tabla 7**

*Peso relativo de los atributos ordenados según su peso relativo en orden descendente, según mención espontanea*

	Puntaje	Peso relativo (%)	Peso relativo acumulado
Disponibilidad de repuestos	40	30%	30%
Personal calificado disponible para realizar mantenimiento	9	7%	37%
Consumo combustible	25	19%	56%
Respaldo tecnico concesionario	18	14%	69%
Calidad de los materiales fabricacion y vejez prematura	12	9%	78%
Costo de los repuestos comparados con la competencia	2	2%	80%
Costo de compra inicial (costo adquisicion)	11	8%	88%
Capacidad carga util	4	3%	91%
Confort y seguridad del conductor	4	3%	94%
Valor de reventa en 5 años	7	5%	99%
Tiempo de entrega del vehiculo por parte del concesionario	0	0%	99%
Nivel de tecnología avanzado e interconectividad	0	0%	99%
Cumplimiento normas ambientales	1	1%	100%

#### 4.4 Conclusiones del estudio VOC

Analizando la información anterior y atendiendo a la voz de los profesionales y empresarios alrededor del transporte de carga en tractocamión se concluye que los seis atributos clave para un inversionista en el momento de tomar la decisión de compra son los indicados en la tabla 6

**Tabla 8**

*Atributos VOC key Drivers – parámetros críticos del cliente – coinciden en las dos tabulaciones*

Atributo	
1	Disponibilidad de repuestos
2	Consumo combustible
3	Respaldo tecnico concesionario
4	Calidad de los materiales fabricacion y vejez prematura
5	Costo de compra inicial (costo adquisicion)
6	Personal calificado disponible para realizar mantenimiento

Para darle el peso relativo técnico necesario para la matriz QFD, de cada uno de los atributos Key drivers, se utiliza la metodología de priorización compuesta, la cual permite combinar dos fuentes de información.

Resultados cuantitativos (promedio ponderado de encuesta)

Mención espontánea (frecuencia intuitiva del cliente)

Posteriormente utilizar el método de ponderación combinada normalizada, a través de la siguiente formula, mostrada en la ecuación 1.

**Ecuación 1**

*Formula calculo peso relativo de un atributo por el método de ponderación combinada normalizada*

$$W_i = \frac{(Q_i / \sum Q_i) + (E_i / \sum E_i)}{2}$$

donde:

- $Q_i$ : peso relativo del atributo según encuesta cuantitativa
- $E_i$ : peso relativo del atributo según mención espontánea
- $W_i$ : peso final combinado y normalizado para el QFD

En la tabla 9, se muestra el resultado del peso relativo final de cada uno de los seis atributos key drivers. Información clave para la matriz de la casa de la calidad

**Tabla 9**

*Peso relativo final de cada atributo clave resultado VOC*

ATRIBUTO VOC	PESO CUANTITATIVO	PESO ESPECIFICO	PESO FINAL QFD
1 Disponibilidad de repuestos	18%	35%	26%
2 Consumo combustible	16%	22%	19%
3 Respaldo tecnico concesionario	16%	16%	16%
4 Calidad de los materiales fabricacion y vejez prematura	16%	10%	13%
5 Costo de compra inicial (costo adquisicion)	16%	10%	13%
6 Personal calificado disponible para realizar mantenimiento	17%	8%	13%

Realizando el análisis por actores, según tabla 8. obtenemos que:

Áreas de mantenimiento priorizan soporte técnico y disponibilidad

Áreas de compras y administrativas priorizan costo de repuestos y reventa

Conductores priorizan consumo y confort del equipo

**Tabla 10**

*Análisis de los atributos más relevantes para cada uno de los actores relacionados con el transporte de carga pesada.*

Actor	1	2	3
<b>Propietario de tractocamión</b>	Disponibilidad de repuestos	Personal calificado	Costo de compra
<b>Ingeniero de mantenimiento</b>	Disponibilidad de repuestos	Capacidad útil	Red nacional
<b>Jefe de compras</b>	Costo de compra	Red nacional	Valor de reventa
<b>Gerente de transporte</b>	Red nacional	Durabilidad	Costo de repuestos
<b>Mecánico taller</b>	Personal calificado	Disponibilidad de repuestos	Red nacional
<b>Conductor</b>	Confort y seguridad	Consumo de combustible	Disponibilidad de repuestos

## 5 Matriz QFD (Casa De La Calidad)

Después de captar la voz del cliente, según los resultados del capítulo anterior, el siguiente paso es traducir dichos resultados a especificaciones técnicas y/o criterios de evaluación paso clave en el desarrollo de la metodología. A través de la casa de la calidad (QFD) se realiza una evaluación estructurada de las necesidades del cliente.

### 5.1 Especificaciones de producto a especificaciones técnicas.

En el proceso de construcción de la matriz de la casa de la calidad, para cada una de las seis especificaciones de producto de mayor peso relativo, resultado del VOC, tabla 9, se proponen unos parámetros medibles y cuantificables, relacionados en mayor o menor grado entre sí.

#### *Disponibilidad de repuestos*

La disponibilidad de repuestos es el factor de mayor peso relativo según la información suministrada por las encuestas realizadas; información que se confirma en el estudio de Anders Parmbro (2004) y Jacobs, T. J. P. (2022), donde se explica que la disponibilidad de repuestos es uno de los factores críticos en el desempeño de la posventa; incrementan el costo operativo y deterioran la percepción de la marca de cara al cliente; según el estudio de Restrepo Álvarez, L. M. (2013) la disponibilidad de repuestos fue identificada como el principal factor que afecta la satisfacción del cliente en el servicio postventa de tractocamiones de carga pesada.

Las dos investigaciones anteriormente nombradas utilizan el Fill Rate, KPI que asocia el tiempo de respuesta, como indicador clave para cuantificar la disponibilidad de repuestos. Adicional se incluye en Lead Time y la tasa de consecución de los repuestos, como métricas secundarias.

**Fill Rate:** mide el porcentaje de pedidos de repuestos que se pueden completar totalmente y a tiempo a partir del inventario disponible, como se muestra en la ecuación 2.

**Ecuación 2**

Cálculo del Fill Rate en la gestión de repuestos servicio postventa

$$\circ \text{ Fill Rate} = \left( \frac{\text{Número de ítems solicitados y entregados}}{\text{Número total de ítems solicitados}} \right) \times 100$$

**Lead time:** mide el tiempo total desde que se recibe una solicitud por un cliente hasta que este lo recibe. Este periodo incluye la recepción de la orden de compra, preparación del pedido y el envío de la mercancía.

**Tasa consecución del repuesto:** mide la capacidad de la empresa para obtener y suministrar el repuesto correcto en el momento adecuado

***Consumo de combustible***

El consumo medio de combustible (km/galón) es un factor clave para los encuestados, información que se confirma en el estudio de Hussein Basma (2023) donde se cuantifica que el combustible representa entre el 35% al 45% del TCO total de un camión Diesel, siendo el factor más sensible al costo operativo, por ende, la rentabilidad del transporte y factor crítico en la selección de un vehículo de carga.

La investigación anteriormente nombrada relaciona el consumo en kilómetros x galón promedio, como el parámetro más importante a relacionar en el consumo de combustible

***Respaldo técnico concesionario***

El respaldo técnico del concesionario, entendiéndose como la cobertura geográfica y la capacidad de atención técnica en todo el país, es fundamental entre el gremio transportador. Este factor se cuantifica:

**Numero de dealers autorizados:** número de empresas debidamente autorizadas por la fábrica para representar la marca a nivel nacional

**Número de talleres o puntos de servicio autorizado:** número de concesionarios de un dealer distribuidos por las diferentes ciudades del país, donde se presta servicio de taller, venta de repuestos y asesoría técnica.

### ***Calidad de los materiales de fabricación y vejez prematura***

Este es un parámetro asociado a la percepción del propietario, del envejecimiento prematuro del vehículo a causa del uso y desgaste normal del activo. Este factor se cuantifica:

**Indicadores de mantenimiento correctivo por desgaste:** tiempo medio entre fallos, porcentaje de mantenimiento planificado vs no planificado

**Numero de meses de garantía dada por el fabricante:** todos los fabricantes brindan a sus equipos un número determinado de meses de garantía, con una serie de restricciones; a mayor garantía tenga el equipo y mayor cubrimiento sobre partes y sistemas, la calidad del equipo es superior y por ende su vejez.

**Porcentaje de pérdida valor del activo después de 15 años vs vehículo nuevo:** comercialmente hay equipos que se devalúan en altos porcentajes, precisamente por su vejez acelerada, mientras otros, al ser construidos con procesos y materiales de mejor calidad, conservan su valor en el tiempo. Este indicador muestra que a menor pérdida de valor en el tiempo la percepción de cara al cliente de su vejez es positiva vs otros equipos del mercado.

### ***Costo de compra inicial (costo de adquisición)***

El costo de adquisición es un factor fundamental en el proceso de compra de un vehículo de carga; su importancia radica en que el precio del activo por sí solo no determina la rentabilidad del negocio. Un precio bajo de adquisición es atractivo para cualquier comprador, pero, como lo explica Basma et al. (2023) un vehículo más costoso, eficiente y fiable resulta en un menor coste total por kilómetro y mayor rentabilidad. De igual manera Hunter et al. (2021)

explica como un precio inicial bajo puede ser superado por mayores costos operativos o mayor valor de reventa. El parámetro clave a evaluar es el valor de compra del activo.

### ***Personal calificado disponible para realizar mantenimiento***

Este factor es crucial para los compradores ya que relaciona la cantidad y calidad del personal técnico que tiene el conocimiento de realizar el mantenimiento preventivo / correctivo de las unidades. Este factor cobra aún más importancia en los vehículos actuales que incluyen en gran medida sistemas electrónicos complejos en su funcionamiento.

En este caso los KPI's a utilizar son:

**Numero de técnicos certificados directamente por el fabricante del vehículo:** Hace parte de los programas de formación impartidos por la fábrica a los dealers.

**Frecuencia de capacitación recibidas por el personal técnico al año:** número de capacitaciones técnicas impartidas por fabrica a los técnicos de los dealers por año.

## **5.2 Construcción de la matriz casa de la calidad**

Con la información anteriormente recopilada, se procede a ubicarla en la matriz casa de la calidad, formato establecido en Excel, ver apéndice C. En la figura 9 se muestra una imagen de la matriz, junto con las tres zonas que tenemos la información para diligenciar.

**Zona 1:** se diligencia con los seis atributos resultado del VOC, responden a la pregunta ¿Qué desea el cliente?

**Zona 2:** Se diligencia con las especificaciones de producto, explicadas, como se obtuvieron en la sección anterior; responden a la pregunta, ¿cómo logro lo que el cliente desea?

**Zona 3:** Peso relativo de los atributos, según resultado del VOC, obtenido en el capítulo anterior

**Figura 6**

*Desarrollo matriz casa de la calidad. Atributos VOC, especificaciones técnicas y peso relativo de atributos.*

Row #	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Importance	Quality Characteristic (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")	Column	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	26.0	26.0	3	Disponibilidad de repuestos	LEAD TIME		2											
2	16.0	16.0		Respaldo técnico concesionario	TASA CONSECUCION REPUESTO													
3	13.0	13.0		Personal calificado mantenimiento	FILL RATE													
4	13.0	13.0		Calidad de materiales y vejez	NUMERO DE CONCESSIONARIOS EN COLON													
5	19.0	19.0		Consumo de combustible	NUMERO DE CIUDADES CON PRESENCIA MARCA EN COLOMBIA													
6	13.0	13.0		Costo de adquisición	NUMERO DE TECNICOS CERTIFICADOS PC LA CASA MATRIZ													
7					FRECUENCIA DE CAPACITACIONES A TECNICOS													

**5.3 Interpretación resultados matriz QFD Casa de la Calidad**

Después de diligenciar en su totalidad la información de la matriz de la casa de la Calidad, obtenemos que los factores técnicos más influyentes son el respaldo técnico y servicio postventa (36%), la disponibilidad de repuestos (25%) y el consumo de combustible (12%).

Según estos resultados, donde la eficiencia energética, el soporte técnico y la disponibilidad de repuestos obtienen los valores más altos, indican que el mercado valora tecnologías con bajo consumo de combustible, alta confiabilidad y respaldo técnico.

**Porcentaje de valor perdido del activo:** Según el análisis en la matriz de QFD la pérdida del valor de un tractocamión está directamente relacionado con la disponibilidad de repuestos en el mercado para su mantenimiento (40%), con la percepción de vejez general ante un comprador (22%), con la disponibilidad de personal técnico para su mantenimiento (15%) y el consumo de combustible (12%)

***Oportunidad de mercado:*** Del análisis de la matriz QFD podemos observar que las marcas chinas tienen un valor de adquisición considerablemente inferior comparados con marcas americanas o europeas, existiendo una gran oportunidad de mercado, que debe complementarse, atendiendo el ranking de parámetros técnicos más influyentes, como un servicio postventa excepcional, disponibilidad de repuestos (fill rate and lead time), presencia en ciudades principales del país con talleres de servicio postventa y stock de repuestos, así como personal técnico calificado y planes de capacitación a operadores.

***Valor reventa del equipo:*** del análisis de la matriz QFD se aprecia que el valor de reventa del equipo está directamente influenciado por la disponibilidad de repuestos en el mercado local y el personal técnico capacitado para su mantenimiento, Es importante cuando se adquiere un vehículo usado, investigar en el mercado local, la disponibilidad de repuestos para dicho activo.

## **6 Proyección Valor De Reventa Tractocamión**

El valor de reventa de un tractocamión es un dato económico fundamental, que incide directamente en cualquier análisis de tipo financiero. Teniendo presente que las diferentes marcas de tractocamiones comercialmente se deprecian en diferentes porcentajes año a año, es muy importante para nuestro análisis, proyectar el valor de reventa en un periodo de cinco años para cada una de las marcas de tractocamión presentes en el mercado.

La metodología propuesta para el cálculo del valor de reventa de un tractocamión es el método de comparables, la cual me permite realizar una valoración directa y sencilla del valor de reventa de vehículos usados a través de la comparación con otros vehículos vendidos recientemente. Se debe comparar vehículos de la misma marca, modelo, año, tren motriz, estado general mecánico y físico, kilometraje, historial de mantenimiento, siniestros y la demanda del modelo en el mercado local.

### **6.1 Recopilación de la información**

#### ***Fuentes de información***

La información de tractocamiones en venta en el mercado colombiano, se recopiló de publicaciones en los siguientes portales especializados

Renting Colombia

Market place de Facebook

Tu carro.com

Estos portales publican información actualizada, completa y con especificaciones técnicas de vehículos en venta.

### *Variables por comparar*

A continuación, se enlistan los factores claves para la ejecución del método de comparables

**Marca, Modelo y Versión:** Es la información inicial, punto de partida de la comparación

**Año De matrícula:** fecha registrada en el RUNT

**Kilometraje:** valores más altos, indican mayor desgaste del activo

**Historial De Mantenimiento:** historial de mantenimiento completo aumenta el valor

**Historial De Siniestros:** vehículos con historial de accidentes tienen un valor inferior

**Demanda Del Modelo:** vehículo con mayor demanda, tiene un valor de venta superior

**Numero De Propietarios:** Menor número de propietarios tiende a aumentar el valor

### *Recopilación de la información*

En archivo de cálculo, ver apéndice D, se organizó con la información recopilada y las variables mencionadas anteriormente, según se aprecia en la tabla 11

## **6.2 Tratamiento de la información**

Con la información real adquirida de portales especializados en venta de vehículos y con más de 60 registros de tractocamiones de las diferentes marcas, es necesario garantizar que los cálculos se hagan sobre datos comparables, eliminando los valores extremos que pueden generar distorsión en los resultados.

**Tabla 11**

*Información recopilada por tractocamión en venta. Fuente portales especializados en Colombia, de las diferentes marcas disponibles en el mercado.*

1	ID
2	Fecha registro
3	Fuente
4	Ubicación
5	Marca
6	Modelo
7	Año
8	Precio venta COP
9	Precio Venta USD
10	Valor equipo nuevo 2026
11	Depreciacion total
12	Antigüedad años
13	Depreciacion anual
14	Tipo_motor
15	Kilometraje_km
16	Potencia HP
17	Torque Lb - ft
18	Tipo combustible
19	Norma_emisiones
20	Tipo_cabina
21	Tipo_transmisión
22	Tipo_suspensión
23	Estado_general
24	Condiciones_visuales
25	Historial_mantenimiento
26	Llantas_%

En el apéndice D, se adjunta la tabla completa con la información recopilada.

### ***Depuración y estandarización de variables***

Con el objetivo de obtener información real y verificable, es de suma importancia garantizar que los cálculos se hagan sobre datos comparables. Cada registro debe tener la información completa, según datos de la tabla 11; se deben eliminar los valores extremos (todos los datos de distribución normal se encuentren dentro de tres desviaciones estándar de la media),

identificar los registros duplicados para su eliminación, cada registro debe tener el precio nuevo y usado. Esta depuración genera una tabla limpia para análisis.

### ***Cálculo de la depreciación***

La depreciación es la pérdida de valor del activo por el uso y desgaste normal en su operación; se calcula teniendo presente el precio del activo usado vs precio nuevo, para un vehículo de iguales especificaciones técnicas. Según se muestra en la ecuación 3.

### **Ecuación 3**

*Cálculo de la depreciación total de un tractocamión n, sin importar los años de servicio.*

$$\text{Depreciación}_n = 1 - \frac{\text{Precio Usado}_n}{\text{Precio Nuevo}_n}$$

En nuestro caso es muy importante calcular la depreciación por año, lo cual nos permite comparar tractocamiones de diferentes edades y conocer la tasa a la cual se deprecia una determinada marca.

En la ecuación 4, se muestra la fórmula para el cálculo de la depreciación anual, la cual nos permite comparar la depreciación en vehículos de diferentes edades.

### **Ecuación 4**

*Cálculo de la depreciación individual anual de un tractocamión n.*

$$\text{Depreciación Anual}_n = \frac{\text{Depreciación}_n}{\text{Años de Servicio}_n}$$

### *Cálculo de la depreciación promedio por marca*

La depreciación anual promedio por marca se obtiene de calcular el promedio aritmético de la depreciación anual para cada marca de tractocamión, tal como se aprecia en la ecuación 5. La depreciación anual promedio nos muestra la velocidad de pérdida de valor por año.

#### **Ecuación 5**

*Cálculo de la depreciación promedio anual de una marca de tractocamión j*

$$\overline{D}_{j,anual} = \text{Promedio}(\text{Depreciación Anual}_n)$$

### **6.3 Proyección del valor de mercado a 5 años**

El objetivo de este análisis en la metodología es proyectar el valor de reventa de un tractocamión a 5 años para una determinada marca. Este valor se calcula, conociendo el porcentaje de pérdida de valor del activo durante los cinco primeros años, según la ecuación 6.

#### **Ecuación 6**

*Cálculo del porcentaje de pérdida del valor del activo a un término de cinco años*

$$\text{Depreciación 5 años}_j = 5 \times \overline{D}_{j,anual}$$

### **6.4 Conclusiones**

La depreciación calculada según el método de comparables para cada marca de tractocamión presente en el mercado colombiano se muestra en la tabla 12. Donde se aprecia que la marca con la menor depreciación es Kenworth e International con una tasa promedio del 4% anual. Las marcas con la mayor depreciación son Shacman, Foton, Sinotruck y FAW con un 7% anual.

**Tabla 12**

*Porcentaje depreciación anual calculada para cada marca de vehículo presente en el mercado colombiano*

<b>Marca de tractocamion</b>	<b>Depreciacion anual</b>
KENWORTH	4%
INTERNATIONAL	4%
FREIGHTLINER	5%
DAF	6%
MACK	6%
SCANIA	6%
FOTON	7%
SHACMAN	7%
FAW	7%
SINOTRUCK	7%

La depreciación promedio, por origen de los tractocamiones presentes en Colombia se puede apreciar en la tabla 13. Los camiones americanos (Kenworth, International, Freightliner, Mack) tienen la menor depreciación promedio con un 5% anual. Los camiones chinos (Sinotruck, Foton, Shacman, FAW) tienen la mayor depreciación con un 7% anual. Los camiones europeos (DAF, Scania) se deprecian anualmente un 6%

**Tabla 13**

*Depreciación por origen de los tractocamiones presente en el mercado colombiano*

<b>Depreciacion por origen</b>	<b>Depreciacion anual</b>
Americana	5%
Europea	6%
China	7%

### **7 Costo total de propiedad (TCO Total Cost of Ownership)**

El costo total de propiedad es la sumatoria de la adquisición, operación, mantenimiento, tenencia y reventa de un activo; para nuestro caso sería una tractomula. La metodología financiera del TCO nos permite calcular todos los costos directos e indirectos durante el ciclo de vida de un activo, más allá de solo considerar su precio de adquisición.

El cálculo del TCO nos permite evidenciar, tal como lo explica, Burnham (2021) que un camión económico tiene un porcentaje de depreciación muy superior (alrededor del 40%) comparado con un camión de marca premium (alrededor del 15%), en un periodo de 5 años, así como una mayor frecuencia de fallas durante su operación; un tractocamión de marca premium al tener mayor tecnología consume menos combustible; el consumo de combustible según el estudio representa entre el 35% al 45% del total del TCO.

De igual forma, Basma (2023), explica en su investigación que un menor costo de adquisición no garantiza la rentabilidad del negocio, en camiones de larga distancia. Motores con tecnología que permita aumentar la eficiencia en el consumo de combustible, disponibilidad de repuestos y respaldo a nivel nacional, son factores que inciden en gran medida sobre el TCO, influyendo en un porcentaje superior que el solo valor de compra del activo. En camiones de larga distancia, vehículos con un menor costo de adquisición, siempre se ve afectado el TCO por mayores costos operativos.

Así mismo, Hunter (2021), concluye en su estudio que un menor precio de compra del activo, a largo plazo, puede ser engañoso; modelos de vehículo con mayor eficiencia, calidad y mantenimiento reducido, logran un menor TCO, haciendo que el negocio sea más rentable a un plazo de 5 a 8 años, especialmente en flotas de alto kilometraje (superior a 100.000 km / año).

Los vehículos de mayor valor de adquisición y con reconocimiento de marca en el mercado, tienen una mayor retención de su valor de reventa.

El TCO (total Costo of Ownership) se calcula según la fórmula mostrada en la ecuación 12.

### **Ecuación 7**

*Fórmula para el cálculo del TCO*

$$TCO = C_{vehículo} + C_{financiamiento} + C_{energía} + C_{mantenimiento} + C_{impuestos} - V_{residual}$$

Donde:

***Cvehículo*** = Es el costo de adquisición del vehículo, incluye valor del activo, seguros, matrícula, impuestos, gastos de importación.

***Cfinanciamiento*** = En el caso de requerir apalancamiento financiero el inversionista, son los costos asociados por intereses de préstamos.

***Cenergía*** = Es el costo del combustible consumido durante el tiempo de ciclo de vida de producto o tiempo de análisis.

***Cmantenimiento*** = Relaciona los costos de mantenimiento totales durante el periodo de tiempo en estudio o durante el ciclo de vida de producto.

***Cimpuestos*** = asocia los impuestos por tenencia y uso del activo. En Colombia este rubro, sin importar la marca de tractocamión 6x4, es una constante para todos los vehículos, que solo varia con el modelo.

***Vresidual*** = es el valor de reventa al finalizar un determinado periodo de tiempo.

Para el desarrollo de esta metodología y con el objetivo de comprender con claridad los factores que realmente inciden en la toma de la decisión de compra de un tractocamión, el costo

de impuestos se va a omitir por tratarse de una constante. El tiempo de análisis se proyecta a un periodo de 5 años.

### 7.1 Costo De Adquisición

El costo de adquisición esta dado por los dealers de cada marca presente en el mercado colombiano. A continuación, en la tabla 13 se relacionan los valores de compra por marca de cada uno de los tractocamiones que se ofrecen en Colombia, sondeo realizado en octubre de 2025. El valor incluye costo del activo, matricula, IVA, sobretasa ambiental.

**Tabla 14**

*Valor en dólares de cada una las marcas de tractocamión presente en el mercado colombiano a la fecha de octubre de 2025*

MARCA	VALOR EN USD
KENWORTH	196,000
MACK	181,000
INTERNATIONAL	178,000
FREIGHTLINER	176,000
SCANIA	167,500
DAF	160,000
FAW	130,000
FOTON	130,000
SHACMAN	122,000
SINOTRUCK	108,000

### 7.2 Costo de la energía

El costo de combustible es un parámetro susceptible a mucha variación dependiendo de múltiples factores como topografía, velocidad de operación promedio, tráfico y detenciones, altura sobre nivel del mar de la ruta, estilo de conducción, variabilidad de la carga y ralenti prolongado.

Como se expresa en el estudio del BID–UPME (2024), el consumo específico de combustible en tractocamiones de tres ejes, es de 46.6 L/100 km. Esta información se obtiene de un estudio técnico oficial, medido por telemetría a camiones en uso, rodando por los principales corredores viales en Colombia.

A través de investigación y recopilación de información con las principales empresas de transporte de la región, los datos obtenidos respecto al consumo específico de combustible por marca de vehículo, se relacionan desde la tabla 14 a la 18.

**Tabla 15**

*Consumo específico de combustible tractocamión Foton, información histórica del último año de funcionamiento. Flota de vehículos empresa de transporte de Santander. Información de diferentes vehículos, diversas rutas y consumos.*

Tractocamion Foton						
Referencia Foton	Referencia a motor	Numero motor	Kilometros recorridos Km / año	Consumo combustib le Galon / año	Rendimie nto Km / Galon	Consumo especifico combustible Litros / 100 Km
P: Auman EST	ISG	80232711	75300	11100	6.78	54.54
N Auman EST	ISG	80159827	67500	9900	6.82	54.27
T: Auman EST	ISG	80185308	82300	11900	6.92	53.50
T: Auman EST	ISG	80205508	73350	10900	6.73	54.98
T: Auman EST	ISG	80159905	62400	8300	7.52	49.21
T: Auman EST	ISG	80185308	48500	6300	7.70	48.06
T: Auman EST	ISG	80185508	63350	8400	7.54	49.06
T: Auman EST	ISG	80381166	73400	10200	7.20	51.42
T: Auman EST	ISG	80381190	66250	9300	7.12	51.94
T: Auman EST	ISG	80381290	71230	9950	7.16	51.68
					7.15	51.87

**Tabla 16**

*Consumo específico de combustible tractocamión Shacman, información histórica del último año de funcionamiento. Flota de vehículos empresa de transporte de Santander. Información de diferentes vehículos, diversas rutas y consumos.*

Tractocamion Shacman							
Referencia Shacman	Referencia motor	Numero motor	Kilometros recorridos	Consumo combustible	Rendimiento	Consumo específico combustible	
			Km / año	Galon / año	Km / Galon	Litros / 100 Km	
At	X5000	ISZ	80232711	84650	12340	6.86	53.94
At	X5000	ISZ	80159827	66250	9980	6.64	55.74
At	X5000	ISZ	80185308	52350	7687	6.81	54.33
At	X5000	ISZ	80205508	65300	9700	6.73	54.96
At	X5000	ISZ		72500	10870	6.67	55.47
At	X5000	ISZ		68900	9930	6.94	53.33
At	X5000	ISZ		66500	9980	6.66	55.53
						6.76	54.76

**Tabla 17**

*Consumo específico de combustible tractocamión Freightliner, información histórica del último año de funcionamiento. Flota de vehículos empresa de transporte de Santander. Información de diferentes vehículos, diversas rutas y consumos.*

Tractocamion Freightliner							
Referencia	Referencia motor	Numero motor	Kilometros recorridos	Consumo combustible	Rendimiento	Consumo específico combustible	
			Km / año	Galon / año	Km / Galon	Litros / 100 Km	
pro	Cascadia	DD13	6LF95673	98500	12200	8.07	45.83
pro	Cascadia	DD13	6LF96701	93450	11750	7.95	46.52
pro	Cascadia	DD13	6LF96712	102000	12650	8.06	45.89
pro	Cascadia	DD13	6LF96982	89750	11100	8.09	45.76
pro	Cascadia	DD13	6LF97800	91250	11450	7.97	46.43
pro	Cascadia	DD13	6LF97820	92352	11550	8.00	46.27
pro	Cascadia	DD13	6LF98420	93452	11650	8.02	46.13
						8.02	46.12

**Tabla 18**

*Consumo específico de combustible tractocamión Kenworth, información histórica del último año de funcionamiento. Flota de vehículos empresa de transporte de Santander. Información de diferentes vehículos, diversas rutas y consumos.*

<b>Tractocamion Kenworth</b>							
Referencia Kenworth	Referencia motor	Numero motor	Kilometros recorridos	Consumo combustible	Rendimiento	Consumo específico combustible	
			Km / año	Galon / año	Km / Galon	Litros / 100 Km	
FI	T800	ISX15	80232711	92000	12400	7.42	49.87
FI	T800	ISX15	80159827	88500	12050	7.34	50.38
FI	T800	ISX15	80185308	74500	10010	7.44	49.71
FI	T800	ISX15	80205508	99800	13250	7.53	49.12
PI	T800	X15	80215608	88500	11950	7.41	49.96
PI	T880	X15	80381163	92500	12250	7.55	49.00
PI	T880	X15	80381190	114000	15100	7.55	49.01
A	T880	X15	80391140	99700	13300	7.50	49.36
A	T880	X15	80391163	98700	13150	7.51	49.30
PI	T880	X15	80381166	94560	12400	7.63	48.52
FI	T880	X15	80381190	93700	12400	7.56	48.96
FI	T880	X15	80391150	101000	13700	7.37	50.19
FI	T880	X15	80391192	99800	13800	7.23	51.16
FI	T680	X15	80391199	92500	12800	7.23	51.20
PI	T680	X15	80159827	91400	12100	7.55	48.98
PI	T680	X15	80159905	90400	11800	7.66	48.30
PI	T680	X15	80185308	102500	13700	7.48	49.45
A	T680	X15	80185508	99700	12900	7.73	47.87
A	T680	X15	80195520	112000	14800	7.57	48.89
A	T680	X15	80195686	97350	13050	7.46	49.60
A	T680	X15	80195699	79800	10300	7.75	47.76
FI	T680	X15	80195700	80500	10650	7.56	48.95
FI	T680	X15	80195750	89600	11600	7.72	47.90
FI	T680	X15	80195808	90600	12020	7.54	49.09
FI	T680	X15	80195904	91200	11300	8.07	45.84
FI	T680	X15	80195960	93500	12000	7.79	47.49
FI	T680	X15	80196001	94500	12300	7.68	48.16
FI	T680	X15	80196540	92300	11850	7.79	47.50
FI	T680	X15	80207560	90300	12900	7.00	52.86
PI	T680	X15	80208640	89500	11500	7.78	47.54
PI	T680	X15	80218754	89550	11800	7.59	48.75
PI	T680	X15	80218850	90540	11899	7.61	48.63
A	T680	X15	80220500	91250	12130	7.52	49.18
A	T680	X15	80220599	99200	12900	7.69	48.11
			<b>93689.7</b>	<b>12414</b>	<b>7.55</b>	<b>48.99</b>	

**Tabla 19**

*Consumo específico de combustible tractocamión DAF, información histórica del último año de funcionamiento. Flota de vehículos empresa de transporte de Santander. Información de diferentes vehículos, diversas rutas y consumos.*

<b>Tractocamion DAF</b>							
Referencia DAF	Referencia motor	Numero motor	Kilometros recorridos	Consumo combustible	Rendimiento	Consumo específico combustible	
			Km / año	Galon / año	Km / Galon	Litros / 100 Km	
Co	CF480	MX-13	Y269532	77350	9730	7.95	46.54
Co	CF480	MX-13	Y269533	82560	10480	7.88	46.97
Co	CF480	MX-13	Y269534	75430	9650	7.82	47.34
Co	CF480	MX-13	Y270600	82050	10150	8.08	45.77
Co	CF480	MX-13	Y290520	99500	12230	8.14	45.48
Co	CF480	MX-13	Y291520	63500	7860	8.08	45.80
Co	CF480	MX-13	Y292530	72350	8850	8.18	45.26
						8.02	46.16

De acuerdo con la información real recopilada entre las diversas empresas de transporte y en línea con el estudio de BID–UPME (2024) el rendimiento y consumo específico de combustible por marca de tractocamión se resume en la tabla 19

Para el cálculo del costo total de combustible definimos los siguientes parámetros:

**Tiempo estudio:** 5 años

**Kilometraje recorrido:** 100.000 km / año

**Valor dólar:** \$3.800

**Precio ACPM Colombia 2025:** \$11.000COP

**Precio ACPM Colombia 2025 dólares:** 2.89USD

**Tabla 20**

*Rendimiento y consumo específico de combustible por marca de tractocamión en el mercado colombiano.*

MARCA	RENDIMIENTO	CONSUMO ESPECIFICO COMBUSTIBLE	COSTO TOTAL COMBUSTIBLE 100.000 KM / 5 AÑOS
	KM/ GALON	Litro / 100KM	USD
FREIGHTLINER	8.02	46.12	179,868
SCANIA	8.02	46.12	179,868
DAF	8.02	46.12	179,868
KENWORTH	7.55	48.99	191,061
MACK	7.55	48.99	191,061
INTERNATIONAL	7.55	48.99	191,061
FOTON	7.15	51.87	202,293
FAW	6.76	54.76	213,564
SHACMAN	6.76	54.76	213,564
SINOTRUCK	6.76	54.76	213,564

Como puede apreciarse en la tabla 19 se calcula el costo total del combustible consumido por cada marca de tractocamión, suponiendo un recorrido de 100.000 km por año, en un periodo de 5 años, partiendo del consumo específico del combustible, información real suministrada por empresas de transporte en Santander, con precio del ACPM a noviembre de 2025 con la tasa del dólar a la fecha.

### 7.3 Costo de mantenimiento

La American Transportation Research Institute (ATRI) en su informe publicado en junio de 2.024 indica que en Estados Unidos el costo de reparación y mantenimiento promedio por kilómetro recorrido es de 0.112USD / Kilómetro recorrido.

A través de investigación y recopilación de información en tres de las principales empresas de transporte de la región, los datos obtenidos respecto al costo de mantenimiento por kilómetro recorrido se muestran en la tabla 20 para cuatro marcas de tractocamión.

**Tabla 21**

*Ejecución presupuestal del área de mantenimiento, empresas de transporte en Santander. Costo por kilómetro recorrido.*

#### EJECUCION PRESUPUESTAL ACUMULADO OCTUBRE 2025

OPERACIÓN	PRESUPUESTO	EJECUCION	%	DIFERENCIA	KILOMETRAJE	\$/KM PRESUPUESTO	\$/KM EJECUTADO	USD/KM EJECUTADO
98 CABEZOTE KENWORTH	3,328,418,000	2,955,450,000	89	372,968,000	4,841,140	688	<b>610</b>	0.1607

#### EJECUCION PRESUPUESTAL ACUMULADO OCTUBRE 2025

OPERACIÓN	PRESUPUESTO	EJECUCION	%	DIFERENCIA	KILOMETRAJE	\$/KM PRESUPUESTO	\$/KM EJECUTADO	USD/KM EJECUTADO
12 CABEZOTE FREIGHTLINER	512,800,000	508,357,750	99%	372,968,526	801,250	640	<b>634</b>	0.1670

#### EJECUCION PRESUPUESTAL ACUMULADO OCTUBRE 2025

OPERACIÓN	PRESUPUESTO	EJECUCION	%	DIFERENCIA	KILOMETRAJE	\$/KM PRESUPUESTO	\$/KM EJECUTADO	USD/KM EJECUTADO
8 CABEZOTE SCANIA	519,329,500	535,000,350	103%	372,968,526	731,450	710	<b>731</b>	0.1925

#### EJECUCION PRESUPUESTAL ACUMULADO OCTUBRE 2025

OPERACIÓN	PRESUPUESTO	EJECUCION	%	DIFERENCIA	KILOMETRAJE	\$/KM PRESUPUESTO	\$/KM EJECUTADO	USD/KM EJECUTADO
18 CABEZOTE FOTON	622,656,250	565,031,345	91%	372,968,526	996,250	625	<b>567</b>	0.1493

Se puede apreciar de la información real obtenida de los registros financieros de las empresas de transporte que el costo por kilómetro recorrido en Colombia es superior al costo en Estados Unidos establecido por la ATRI

Es importante resaltar que, aunque la información real investigada no cubre todas las marcas de vehículo del mercado, para fines de este estudio se extrapola la información para marcas de vehículos con características comunes, como Kenworth e Internacional, camiones americanos que comparten motor Cummins y caja de velocidades Eaton. Foton y Shacman camiones chinos que comparten motor de la marca Cummins y caja de velocidades ZF. Scania y DAF camiones europeos con similares costos de mantenimiento. Con respecto a Mack, FAW y Sinotruck no hay información real, son muy pocas unidades rodando por las vías nacionales, factor importante que encarece el costo de mantenimiento por la dificultad en la consecución de los repuestos

**Tabla 22**

*Costo total de mantenimiento por marca de tractocamión, en un periodo de 5 años, asumiendo un recorrido anual de 100.000km*

MARCA	USD / KILOMETRO	COSTO TOTAL MANTENIMIENTO USD 100.000 KM / 5 AÑOS
FOTON	0.1493	74,626
SHACMAN	0.1493	74,626
FAW	0.1550	77,500
SINOTRUCK	0.1550	77,500
KENWORTH	0.1607	80,327
INTERNATIONAL	0.1607	80,327
FREIGHTLINER	0.1670	83,481
SCANIA	0.1925	96,240
DAF	0.1925	96,240
MACK	0.1960	98,000

## 7.4 Conclusiones

Del análisis del TCO y el comportamiento de variables claves, se visualizan diversos escenarios que encaminan a seleccionar desde el punto de vista financiero las mejores opciones.

### *Escenario #01*

Supuestos: Para condiciones de funcionamiento como se expresan en la tabla 22, asumiendo que el comprador tiene la totalidad del dinero para comprar de contado el activo y no requiere financiación. El TCO más viable está a favor de las marcas americanas Kenworth, International, Freightliner y las chinas como Foton y Shacman.

Las opciones menos viables, son Mack y Scania.

**Tabla 23**

*Calculo TCO asumiendo recorrido anual de 100.000km, periodo de análisis de 5 años. El inversionista tiene la totalidad del dinero para compra del activo, no requiere financiación.*

	VALOR DE COMPRA	CONSUMO ESPECÍFICO COMBUSTIBLE	COSTO TOTAL COMBUSTIBLE	COSTO KILOMETRO RECORRIDO	COSTO TOTAL MANTENIMIENTO	DEPRECIACION ANUAL	VALOR REVENTA	TCO
	USD	Litro / 100KM	USD	USD / KILOMETRO	USD	%	USD	USD
Recorrido anual	100,000	Kilometros						
Periodo tiempo	5	años						
USD	3,800	COP						
Valor Galon ACP!	11,100	COP						
Valor Galon ACP!	2.921	USD						
DAF	160,000	46.135	178,256	0.1925	96,240	6%	112,000	322,496
FAW	130,000	53.623	207,191	0.1550	77,500	7%	84,500	330,191
FOTON	130,000	48.366	186,878	0.1493	74,626	7%	84,500	307,004
FREIGHTLINER	176,000	46.135	178,256	0.1670	83,481	5%	132,000	305,737
INTERNATIONAL	178,000	49.007	189,353	0.1607	80,327	4%	142,400	305,280
KENWORTH	196,000	49.007	189,353	0.1607	80,327	4%	156,800	308,880
MACK	181,000	49.007	189,353	0.1960	98,000	6%	126,700	341,653
SCANIA	167,500	46.135	178,256	0.1925	96,240	6%	117,250	324,746
SHACMAN	122,000	48.366	186,878	0.1493	74,626	7%	79,300	304,204
SINOTRUCK	108,000	53.936	208,399	0.1550	77,500	7%	70,200	323,699

**Escenario #02**

Supuestos: Para condiciones de funcionamiento como se expresan en la tabla 23, asumiendo que el comprador tiene un capital para la compra del vehículo de 105.000USD (\$400.000.000) para comprar el activo y requiere financiación. Se incluyen nuevas variables en el análisis, como son la tasa de interés anual, tiempo de pago del préstamo y se incluye en el TCO la proyección del dinero cancelado por financiación. El TCO más viable en este escenario está a favor de las marcas chinas Foton, Shacman y Sinotruck. La gran oportunidad para estas marcas está en los compradores que no les alcanza el capital para un vehículo americano y requieren financiación. Las opciones menos viables, son Kenworth, International, Mack y Scania.

**Tabla 24**

*Calculo TCO asumiendo recorrido anual de 100.000km, periodo de análisis de 5 años. El inversionista requiere financiación a 5 años de una fracción de la inversión total.*

Recorrido anual	100,000	Kilometros
Periodo tiempo	5	años
USD	3,800	COP
Valor Galon ACP?	11,100	COP
Valor Galon ACP?	2.921	USD
Capital inicial	400,000,000	COP
Capital inicial	105,263.16	USD
Tiempo financi	5	AÑOS
Tasa interes	10%	ANUAL

	VALOR DE COMPRA	CONSUMO ESPECIFICO COMBUSTIBLE	COSTO TOTAL COMBUSTIBLE	COSTO KILOMETRO RECORRIDO	COSTO TOTAL MANTENIMIENTO	DEPRECIACION ANUAL	COSTO FINANCIACION	VALOR REVENTA	TCO
	USD	Litro/ 100KM	USD	USD/ KILOMETRO	USD	%	USD	USD	USD
DAF	160,000	46.135	178,256	0.1925	96,240	6%	88,154	112,000	410,651
FAW	130,000	53.623	207,191	0.1550	77,500	7%	39,839	84,500	370,030
FOTON	130,000	48.366	186,878	0.1493	74,626	7%	39,839	84,500	346,843
FREIGHTLINER	176,000	46.135	178,256	0.1670	83,481	5%	113,922	132,000	419,660
INTERNATIONAL	178,000	49.007	189,353	0.1607	80,327	4%	117,143	142,400	422,424
KENWORTH	196,000	49.007	189,353	0.1607	80,327	4%	146,133	156,800	455,013
MACK	181,000	49.007	189,353	0.1960	98,000	6%	121,975	126,700	463,628
SCANIA	167,500	46.135	178,256	0.1925	96,240	6%	100,233	117,250	424,979
SHACMAN	122,000	48.366	186,878	0.1493	74,626	7%	26,955	79,300	331,159
SINOTRUCK	108,000	53.936	208,399	0.1550	77,500	7%	4,408	70,200	328,107

## **8 Toma De Decisión Multicriterio A Través De La Matriz De Pugh Y Metodología VIKOR**

El objetivo de la presente metodología es seleccionar, partiendo de unos requerimientos específicos, una marca de tractocamión presente en el mercado colombiano, de acuerdo con las necesidades de cada empresario del transporte. En los capítulos anteriores se han calculado parámetros importantes que sirven como insumo para construir dicha metodología. Las técnicas que se van a utilizar de forma paralela para garantizar una mayor robustez de la decisión son la matriz de Pugh y la metodología VIKOR.

La matriz de Pugh permite incorporar criterios cuantitativos extraídos del análisis de la casa de la calidad (QFD) tales como lead time, fill rate, tasa de consecución del repuesto, número de concesionarios, número de dealers, etc, así como del análisis del TCO el consumo específico de combustible, costo de mantenimiento por kilómetro, porcentaje de depreciación del activo; permitiendo dar una calificación cuantitativa a cada atributo (1 / 0 / -1) a través de la comparación con una opción "ideal".

La metodología VIKOR, como lo explica Burge (2009) permite incluir criterios estrictamente cuantitativos, dando un peso ponderado a cada atributo. VIKOR proporciona una metodología de selección objetiva basada en compromiso entre "beneficio grupal" (S) y "arrepentimiento individual" (R), ideal para decisiones multicriterio complejas y de beneficios opuestos.

## 8.1 Matriz de Pugh

A continuación, los pasos para construir la matriz de Pugh

### *Criterios de evaluación*

Los criterios de evaluación para construir la matriz de Pugh se muestran en la tabla 24.

Dichos criterios son el resultado de la casa de la calidad y el análisis del TCO (Total Cost Ownership)

**Tabla 25**

*Criterios de evaluación matriz de Pugh*

CRITERIOS EVALUACION	UNIDADES
VALOR DE COMPRA DEL ACTIVO	USD
CONSUMO ESPECIFICO COMBUSTIBLE	L / 100KM
COSTO MANTENIMIENTO X KILOMETRO	USD / KM
DEPRECIACION ACTIVO AÑO	PORCENTAJE
TOTAL COST OWNERSHIP	USD / 5 AÑOS
GARANTIA FABRICA EQUIPO NUEVO	MESES
DEALERS EN COLOMBIA	CANTIDAD
CIUDADES CON CONCESIONARIOS EN COLOMBIA	CANTIDAD
CONCESIONARIOS EN COLOMBIA	CANTIDAD
TALLERES SERVICIO TECNICO EN COLOMBIA	CANTIDAD
TECNICOS CERTIFICADOS POR LA CASA MATRIZ	CANTIDAD
FRECUENCIA DE CAPACITACIONES A TECNICOS	AÑO
LEAD TIME	DIAS
TASA CONSECUION REPUESTO	PORCENTAJE
FILL RATE	PORCENTAJE

### *Estimación de la Baseline u opción “ideal”*

En la tabla 25 se muestra la opción ideal que se toma como referencia para construir la matriz de Pugh con sus respectivas unidades de medida. Esta opción es clave para la construcción de la matriz, ya que las diversas opciones son calificadas en referencia al ideal, asignándoles calificación de 1 si la opción a evaluar supera el ideal; calificación de 0 si es igual

al ideal y calificación de -1 si la opción a evaluar es menor al ideal. La construcción del baseline y sus características son producto de la experiencia de personas que trabajan en el sector transporte, las cuales fueron contactadas; además es un resultado ponderado de la evaluación de las opciones en el VOC, QFD y TCO

**Tabla 26**

*Características ideales o baseline de tractocamión en el mercado colombiano; es necesario caracterizarla para evaluar las opciones en la matriz de Pugh*

CRITERIOS EVALUACION	IDEAL	UNIDADES
VALOR DE COMPRA DEL ACTIVO	170,000	USD
CONSUMO ESPECIFICO COMBUSTIBLE	48.50	L / 100KM
COSTO MANTENIMIENTO X KILOMETRO	0.17	USD / KM
DEPRECIACION ACTIVO AÑO	5.00	PORCENTAJE
TOTAL COST OWNERSHIP	309,000	USD / 5 AÑOS
GARANTIA FABRICA EQUIPO NUEVO	24.00	MESES
DEALERS EN COLOMBIA	2.00	CANTIDAD
CIUDADES CON CONCESIONARIOS EN COLOMBIA	5.00	CANTIDAD
CONCESIONARIOS EN COLOMBIA	5.00	CANTIDAD
TALLERES SERVICIO TECNICO EN COLOMBIA	5.00	CANTIDAD
TECNICOS CERTIFICADOS POR LA CASA MATRIZ	20.00	CANTIDAD
FRECUENCIA DE CAPACITACIONES A TECNICOS	4.00	AÑO
LEAD TIME	2.00	DIAS
TASA CONSECUION REPUESTO	90.00	PORCENTAJE
FILL RATE	80.00	PORCENTAJE

En la tabla 26 se muestra la matriz de Pugh en su totalidad, relacionando la baseline con las 10 opciones de tractocamiones disponibles en el mercado. Así mismo se muestra la calificación otorgada a cada opción (1 / 0 / -1). Esta calificación se otorga relacionando los resultados previos calculados en la Casa de la Calidad y en el TCO

**Tabla 27**

*Desarrollo de la matriz de Pugh*

**MATRIZ DE PUGH**

CRITERIOS EVALUACION	IDEAL	UNIDADES	PESO RELATIVO	DAF	FAW	FOTON	FREIGHTLINER	INTERNATIONAL	KENWORTH	MACK	SCANIA	SHACMAN	SINOTRUCK
VALOR DE COMPRA DEL ACTIVO	170000	USD	8%	1	1	1	-	-	-	-	-	1	1
CONSUMO ESPECIFICO COMBUSTIBLE	48.5	L / 100KM	20%	1	-	1	1	1	1	1	1	1	1
COSTO MANTENIMIENTO X KILOMETRO	0.17	USD / KM	14%	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1
DEPRECIACION ACTIVO AÑO	5	PORCENTAJI	7%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TOTAL COST OWNERSHIP	309000	JSD / 5 AÑO:	9%	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1
GARANTIA FABRICA EQUIPO NUEVO	24	MESES	4%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
DEALERS EN COLOMBIA	2	CANTIDAD	3%	1	-	1	-	-	1	1	1	1	1
CIUDADES CON CONCESIONARIOS EN COI	5	CANTIDAD	7%	1	-	1	0	1	1	0	1	1	1
CONCESIONARIOS EN COLOMBIA	5	CANTIDAD	4%	1	-	1	0	1	1	1	1	1	1
TALLERES SERVICIO TECNICO EN COLOM	5	CANTIDAD	4%	1	-	1	0	1	1	1	1	1	1
TECNICOS CERTIFICADOS POR LA CASA M	20	CANTIDAD	2%	1	-	1	1	1	1	1	1	1	1
FRECUENCIA DE CAPACITACIONES A TEC	4	AÑO	1%	1	-	1	1	1	1	1	1	1	1
LEAD TIME	2	DIAS	7%	1	-	1	1	1	1	1	1	1	1
TASA CONSECUION REPUESTO	90	PORCENTAJI	7%	1	-	1	1	1	1	1	1	1	1
FILL RATE	80	PORCENTAJI	3%	1	-	1	1	1	1	1	1	1	1
PROMEDIO PONDERADO				0.26	-0.8	0.66	0.07	0.3	0.36	-0.9	-0.6	-0.1	-0.8

**Conclusiones**

La matriz de Pugh es de fácil construcción, ideal para comparar criterios cualitativos; al añadir un peso ponderado a cada criterio, se puede obtener un score ponderado, para mayor precisión el resultado.

Además, la matriz de Pugh es una metodología fácil de toma de decisiones, simple y transparente. Permite justificar la escogencia de una alternativa no técnica al tener presente características cualitativas.

Con los valores de la tabla 26, con el peso promedio propuesto de los criterios, las tres mejores opciones en orden descendente son International, Kenworth y Foton.

## **8.2 Metodología VIKOR**

La metodología VIKOR se construye de la siguiente forma

### ***Criterios y evaluación***

Al igual que en la matriz de Pugh partimos de una serie de criterios de evaluación cuantitativos que fueron obtenidos del VOC, QFD, TCO. Dichos criterios se muestran en la tabla 27, en la zona de color verde, con sus respectivas unidades. Es importante aclarar que hay criterios que al minimizarlos son óptimos (rendimiento, costo de mantenimiento por kilómetro, depreciación del activo), así como hay criterios que se desean máximos (número de dealers, número de concesionarios o el Fill Rate) esta diferenciación es importante en el momento de aplicar las fórmulas VIKOR. El peso relativo está netamente asociado al grado de importancia que tiene dicho criterio para el proceso de selección, en este ejemplo específico es el resultado promedio de las encuestas VOC realizadas en el capítulo 4. En el aplicativo de Excel que acompaña este documento, el peso ponderado de los criterios está asociado a los requerimientos de los empresarios del transporte.

En la zona de color azul, se diligencia la información real para cada una de las marcas de tractocamión, obtenida de los análisis previos a este capítulo, costos de adquisición, reventa, consumo, costo por kilómetro, TCO y QFD.

Tabla 28

Desarrollo de la metodología VIKOR

CRITERIOS EVALUACION	UNIDADES		PESO RELATIVO	FAVORABLE										
	MAXIMO	MINIMO		DAF	FAV	FOTON	FREIGHTLINER	INTERNATIONAL	KENWORTH	MACK	SCANIA	SHACMAN	SINOTRUCK	
VALOR DE COMPRA DEL ACTIVO	MINIMIZAR	USD	8%	160,000	130,000	130,000	130,000	176,000	178,000	196,000	181,000	167,500	122,000	108,000
CONSUMO ESPECIFICO COMBUSTIBLE	MINIMIZAR	L / 100KM	20%	46.13	53.62	48.37	46.13	46.13	49.01	49.01	49.01	46.13	48.37	53.94
COSTO MANTENIMIENTO X KILOMETRO	MINIMIZAR	USD / KM	14%	0.19	0.18	0.15	0.17	0.05	0.16	0.16	0.20	0.19	0.17	0.18
DEPRECIACION ACTIVO AÑO	MINIMIZAR	%	7%	0.06	0.07	0.07	0.07	0.05	0.04	0.04	0.06	0.06	0.07	0.07
TOTAL COST OWNERSHIP	MINIMIZAR	USD / 5 AÑO	9%	322,496	341,191	307,004	305,737	305,280	308,880	341,653	324,746	316,578	335,199	
LEAD TIME	MINIMIZAR	DIAS	7%	5.00	7.00	5.00	5.00	2.00	2.00	2.00	7.00	7.00	7.00	7.00
GARANTIA FABRICA EQUIPO NUEVO	MAXIMIZAR	MESES	4%	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	18.00	18.00	12.00	12.00	12.00	12.00
DEALERS EN COLOMBIA	MAXIMIZAR	CANTIDAD	3%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00
CIDADES CON CONCESIONARIOS EN C	MAXIMIZAR	CANTIDAD	7%	7.00	3.00	10.00	5.00	10.00	7.00	7.00	5.00	3.00	5.00	3.00
CONCESIONARIOS EN COLOMBIA	MAXIMIZAR	CANTIDAD	4%	11.00	3.00	14.00	5.00	14.00	11.00	11.00	6.00	4.00	7.00	3.00
TALLERES SERVICIO TECNICO EN COLO	MAXIMIZAR	CANTIDAD	4%	5.00	2.00	7.00	5.00	7.00	8.00	8.00	5.00	3.00	4.00	2.00
TECNICOS CERTIFICADOS POR LA CASA	MAXIMIZAR	CANTIDAD	2%	12.00	4.00	15.00	10.00	15.00	20.00	20.00	5.00	15.00	7.00	4.00
FRECUENCIA DE CAPACITACIONES A TI	MAXIMIZAR	AÑO	1%	4.00	2.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	2.00	4.00	2.00	2.00
TASA CONSECUCION REPUESTO	MAXIMIZAR	%	7%	70.00	60.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	60.00	60.00	60.00	60.00
FILL RATE	MAXIMIZAR	%	3%	70.00	60.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	60.00	60.00	60.00	60.00

**8.3 Matriz normalizada VIKOR**

La matriz normalizada se calcula con la ecuación 8 donde  
 $x_{ij}$  = Valor del parámetro evaluado para una marca específica  
 $\min(x_j)$  = Valor mínimo de dicho parámetro de todas las marcas  
 $\max(x_j)$  = Valor máximo de dicho parámetro de todas las marcas.

**Ecuación 8**

*Formula calculo matriz normalizada VIKOR*

$$f_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)}$$

**Tabla 29**

*Matriz normalizada VIKOR*

MATRIZ NORMALIZADA VIKOR	PESO RELATIVO		DAF	FAW	FOTON	FREIGHTLINER	INTERNATIONAL	KENWORTH	MACK	SCANIA	SHACMAN	SINOTRUCK
VALOR DE COMPRA DEL ACTIVO	8%	MINIMIZAR	0.41	0.75	0.75	0.23	0.20	-	0.17	0.32	0.84	1.00
CONSUMO ESPECIFICO COMBUSTIBLE	20%	MINIMIZAR	1.00	0.04	0.71	1.00	0.63	0.63	0.63	1.00	0.71	-
COSTO MANTENIMIENTO X KILOMETRO	14%	MINIMIZAR	0.08	0.41	1.00	0.62	0.76	0.76	-	0.08	0.47	0.39
DEPRECIACION ACTIVO AÑO	7%	MINIMIZAR	0.33	-	-	0.67	1.00	1.00	0.33	0.33	-	-
TOTAL COST OWNERSHIP	9%	MINIMIZAR	0.53	0.01	0.95	0.99	1.00	0.90	-	0.46	0.69	0.18
LEAD TIME	7%	MINIMIZAR	0.40	-	0.40	0.40	1.00	1.00	-	-	-	-
GARANTIA FABRICA EQUIPO NUEVO	4%	MAXIMIZAR	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-
NUMERO DE DEALERS EN COLOMBIA	3%	MAXIMIZAR	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-
NUMERO DE CIUDADES CON CONCESSIONARIO	7%	MAXIMIZAR	0.57	-	1.00	0.29	1.00	0.57	0.29	-	0.29	-
NUMERO DE CONCESSIONARIOS EN COLOMBIA	4%	MAXIMIZAR	0.73	-	1.00	0.18	1.00	0.73	0.27	0.09	0.36	-
NUMERO TALLERES SERVICIO TECNICO	4%	MAXIMIZAR	0.50	-	0.83	0.50	0.83	1.00	0.50	0.17	0.33	-
NUMERO DE TECNICOS CERTIFICADOS	2%	MAXIMIZAR	0.50	-	0.69	0.38	0.69	1.00	0.06	0.69	0.19	-
FRECUENCIA DE CAPACITACIONES A TIPO	1%	MAXIMIZAR	1.00	-	1.00	1.00	1.00	1.00	-	1.00	-	-
TASA CONSECUCION REPUESTO	7%	MAXIMIZAR	0.50	-	1.00	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-
FILL RATE	3%	MAXIMIZAR	0.50	-	1.00	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-

La matriz normalizada, tabla 28, mide la proximidad de cada alternativa a la solución ideal para cada criterio, transformando los datos originales (con diferentes unidades de medida)

en valores comparables para poder ordenarlos y encontrar la mejor solución. La matriz normalizada permite comparar lo incomparable; posteriormente calcular la distancia de cada alternativa a la solución ideal (mejor posible) y la no ideal (la peor posible) de cada criterio.

### ***Cálculo de resultados***

El paso siguiente es el cálculo del  $S_i$  y el  $R_i$ , a través de la ecuación 9 donde

$S_i$  = Medida de "arrepentimiento grupal" (promedio ponderado de deficiencias)

$R_i$  = "Arrepentimiento individual máximo" (la peor deficiencia)

### **Ecuación 9**

Fórmula para el cálculo del  $S_i$  y el  $R_i$

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \times (f_j^* - f_{ij}^*)$$

$$R_i = \max[w_j \times (f_j^* - f_{ij}^*)]$$

Donde:

$w_j$  = Porcentaje ponderado criterio

$f_j$  = mejor valor ideal del criterio  $j$  (siempre = 1 después de normalizar)

$f_{ij}$  = valor normalizado de la alternativa calculado en el paso anterior

En la tabla 29 se muestran los resultados del  $S_i$  y  $R_i$ , para cada marca de vehiculo y cada criterio.

Al final de la tabla, la sumatoria de los  $\Sigma S_i$ . El  $R_i$  es el mayor valor calculado por marca.

**Tabla 30**

*Cálculo de los  $S_i$  y  $R_i$ , procedimiento VIKOR*

<b>MATRIZ CALCULO SI Y RI</b>										
	<b>DAF</b>	<b>FAW</b>	<b>FOTON</b>	<b>FREIGHTLINER</b>	<b>INTERNATIONAL</b>	<b>KENWORTH</b>	<b>MACK</b>	<b>SCANIA</b>	<b>SHACMAN</b>	<b>SINOTRUCK</b>
VALOR DE COMPRA DEL ACTIVO	0.0473	0.0200	0.0200	0.0618	0.0636	0.0800	0.0664	0.0541	0.0127	-
CONSUMO ESPECIFICO COMBUSTIBLE	-	0.1920	0.0572	-	0.0736	0.0736	0.0736	-	0.0572	0.2000
COSTO MANTENIMIENTO X KILOMETRO	0.1295	0.0831	-	0.0530	0.0341	0.0341	0.1400	0.1295	0.0741	0.0861
DEPRECIACION ACTIVO AÑO	0.0467	0.0700	0.0700	0.0233	-	-	0.0467	0.0467	0.0700	0.0700
TOTAL COST OWNERSHIP	0.0426	0.0889	0.0043	0.0011	-	0.0089	0.0900	0.0482	0.0280	0.0740
LEAD TIME	0.0420	0.0700	0.0420	0.0420	-	-	0.0700	0.0700	0.0700	0.0700
GARANTIA FABRICA EQUIPO NUEVO	0.0400	0.0400	0.0400	0.0400	0.0400	-	0.0400	0.0400	0.0400	0.0400
NUMERO DE DEALERS EN COLOMBIA	0.0300	0.0300	0.0300	0.0300	0.0300	-	0.0300	0.0300	0.0300	0.0300
NUMERO DE CIUDADES CON CONCESIO	0.0300	0.0700	-	0.0500	-	0.0300	0.0500	0.0700	0.0500	0.0700
NUMERO DE CONCESIONARIOS EN COL	0.0109	0.0400	-	0.0327	-	0.0109	0.0291	0.0364	0.0255	0.0400
NUMERO TALLERES SERVICIO TECNICO	0.0200	0.0400	0.0067	0.0200	0.0067	-	0.0200	0.0333	0.0267	0.0400
NUMERO DE TECNICOS CERTIFICADOS	0.0100	0.0200	0.0063	0.0125	0.0063	-	0.0188	0.0063	0.0163	0.0200
FRECUENCIA DE CAPACITACIONES A TI	-	0.0100	-	-	-	-	0.0100	-	0.0100	0.0100
TASA CONSECUION REPUESTO	0.0350	0.0700	-	-	-	-	0.0700	0.0700	0.0700	0.0700
FILL RATE	0.0150	0.0300	-	-	-	-	0.0300	0.0300	0.0300	0.0300
<b>SI</b>	<b>0.4989</b>	<b>0.8739</b>	<b>0.2764</b>	<b>0.3665</b>	<b>0.2543</b>	<b>0.2376</b>	<b>0.7845</b>	<b>0.6643</b>	<b>0.6104</b>	<b>0.8501</b>
<b>RI MAX</b>	<b>0.1295</b>	<b>0.1920</b>	<b>0.0700</b>	<b>0.0618</b>	<b>0.0736</b>	<b>0.0800</b>	<b>0.1400</b>	<b>0.1295</b>	<b>0.0741</b>	<b>0.2000</b>

El resultado en la metodología VIKOR se obtiene calculando el Q, compromiso entre "beneficio grupal" (S) y "arrepentimiento individual" (R), ideal para decisiones multicriterio complejas.

El cálculo del Q se realiza según la ecuación 10 donde

**Ecuación 10**

*Formula cálculo de Q*

$$Q_i = v \times \frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} + (1 - v) \times \frac{R_i - R^*}{R^- - R^*}$$

V = compromiso entre utilidad de grupo y máximo arrepentimiento

$S_i$  = Calculado tabla anterior

$R_i$  = Calculado tabla anterior

**S\*** = Valor mínimo de  $S_i$  en la evaluación de las opciones

**S-** = Valor máximo de  $S_i$  en la evaluación de las opciones

**R\*** = Valor mínimo de  $R_i$  en la evaluación de las opciones

**R-** = Valor máximo de  $R_i$  en la evaluación de las opciones

**Q<sub>i</sub>** = Compromiso entre ambos (ajustable con el parámetro  $v$ )

Los resultados de la evaluación de la fórmula de Q se aprecian en la tabla 30 para cada marca de vehículo

**Tabla 31**

*Cálculo de Q por marca de tractocamión*

	SI	RI	Q
<b>DAF</b>	0.4989	0.1295	0.450075
<b>FAW</b>	0.8739	0.1920	0.970995
<b>FOTON</b>	0.2764	0.0700	<b>0.060088</b>
<b>FREIGHTLINER</b>	0.3665	0.0618	<b>0.101324</b>
<b>INTERNATIONAL</b>	0.2543	0.0736	<b>0.055886</b>
<b>KENWORTH</b>	0.2376	0.0800	<b>0.065789</b>
<b>MACK</b>	0.7845	0.1400	0.712619
<b>SCANIA</b>	0.6643	0.1295	0.580054
<b>SHACMAN</b>	0.6104	0.0741	0.337401
<b>SINOTRUCK</b>	0.8501	0.2000	0.981287
<b>S-MAX</b>	0.8739		
<b>S* MIN</b>	0.2376		
<b>R- MAX</b>	0.2000		
<b>R* MIN</b>	0.0618		
<b>V</b>	0.5		

### ***Conclusiones metodología VIKOR***

El análisis VIKOR es una metodología para la toma de decisiones complejas como la selección de equipos de transporte, ya que busca soluciones de compromiso grupal en lugar de individualizar cada opción. Es muy fuerte para ranquear alternativas numéricas y encontrar el mejor resultado.

El parámetro  $v$  es la medida entre la utilidad de grupo y el máximo arrepentimiento, puede variarse entre  $0.3 < v < 0.7$  dependiendo los resultados obtenidos. El  $Q$  menor es el mejor.

Como se comenta anteriormente, en el aplicativo de Excel dependiendo las necesidades específicas de cada inversionista, se permite variar parámetros con el fin de que la selección este ajustada a las necesidades propias de cada empresario.

Con el peso promedio propuesto de los criterios, de la tabla 28, las tres mejores opciones en orden descendente son International, Foton y Kenworth, siendo este resultado consecuente con la matriz de Pugh; se refuerza el resultado.

### **8.4 Conclusiones matriz de Pugh y metodología VIKOR**

Las dos técnicas fueron desarrolladas y se utilizan de manera conjunta en la metodología para seleccionar la mejor opción de tractocamión, según los objetivos del presente trabajo. La matriz de Pugh tiene un enfoque cualitativo y la metodología VIKOR se enfoca en lo cuantitativo; los resultados de ambas metodologías convergen en similares resultados reforzando la solución.

### **Conclusiones**

La metodología integrada VOC–QFD–TCO–Pugh–VIKOR permite transformar una decisión tradicionalmente intuitiva en un proceso estructurado, cuantificable y replicable para la adquisición de tractocamiones de carga pesada en Colombia.

La convergencia de resultados entre la matriz de Pugh y la metodología VIKOR valida la robustez del modelo propuesto, reduciendo la subjetividad en la toma de decisiones multicriterio.

El precio de adquisición, aunque relevante, no es el factor determinante de la rentabilidad en el negocio del transporte; variables como consumo de combustible, disponibilidad de repuestos y valor de reventa inciden con mayor peso en el costo total de propiedad.

La depreciación del activo se demuestra como un componente crítico del TCO, estrechamente ligado a la percepción de vejez, respaldo técnico y disponibilidad de repuestos en el mercado local.

La metodología desarrollada constituye una herramienta práctica para empresarios del transporte, al permitir comparar marcas bajo condiciones reales de operación y escenarios financieros variables.

### **Resultados**

Se identificaron seis atributos críticos de decisión para el comprador de tractocamiones, siendo la disponibilidad de repuestos y el respaldo técnico del concesionario los de mayor peso relativo.

El análisis QFD evidenció que más del 60 % del impacto en la decisión final está asociado a factores postventa y operativos, y no exclusivamente al producto físico.

El análisis de depreciación mostró diferencias de hasta 3 puntos porcentuales anuales entre marcas, lo que representa pérdidas económicas significativas a cinco años.

El costo de combustible representa entre el 35 % y 45 % del TCO total, consolidándose como la variable más sensible ante cambios operativos.

El ranking final de marcas obtenido mediante Pugh y VIKOR presentó consistencia y estabilidad frente a variaciones moderadas en los pesos de los criterios.

### **Recomendaciones**

Implementar el aplicativo en Excel como herramienta de apoyo obligatorio previo a la adquisición de vehículos en empresas de transporte medianas y grandes.

Ampliar la metodología a tecnologías alternativas (eléctrico y GNV) para futuros estudios comparativos.

Integrar datos de telemetría en tiempo real para mejorar la precisión del consumo energético y mantenimiento.

Actualizar periódicamente la base de datos de depreciación y reventa para mantener la validez del modelo.

Utilizar la metodología como insumo para negociaciones comerciales con concesionarios y entidades financieras

### **Limitaciones**

El análisis se limita a vehículos con tecnología de propulsión diésel, sin incluir aún tecnologías eléctricas o a gas natural.

Los datos de consumo de combustible se basan en información histórica de flotas regionales, lo que puede variar según condiciones extremas de operación.

La proyección de valor de reventa depende de información disponible en portales de venta, sujeta a dinámicas de mercado y percepción del comprador.

No se incluyeron costos indirectos como paradas no programadas o pérdidas logísticas asociadas a indisponibilidad del vehículo.

El estudio se enfoca en el contexto colombiano, por lo que su extrapolación a otros mercados requiere ajustes normativos y económicos.

### **Impacto**

Impacto económico: reducción del riesgo financiero asociado a decisiones de compra basadas únicamente en el precio inicial.

Impacto operativo: mejora en la selección de vehículos con mayor disponibilidad y menor costo por kilómetro recorrido.

Impacto estratégico: fortalecimiento de la planeación de flotas mediante criterios técnicos y financieros integrados.

Impacto académico: aporte metodológico aplicable a estudios de evaluación de activos de alto valor en ingeniería automotriz.

Impacto sectorial: contribución a la profesionalización de la toma de decisiones en el sector transporte de carga en Colombia.

### Referencias Bibliográficas

- American Transportation Research Institute. (2025, julio). *An analysis of the operational costs of trucking: 2025*
- Baby Moreno, J., & Uribe Arango, J. F. (2015). Análisis competitivo por parte de los talleres de servicio automotriz, mediante el uso del valor percibido por el cliente. *AD-minister*, (26), 73-99.
- Banco Interamericano de Desarrollo & Unidad de Planeación Minero Energética. (2024). *Estándares de eficiencia energética y etiquetado de vehículos de carga pesada*.
- Basma, H., Rodríguez, F., (2023). *Total cost of ownership of alternative powertrains for long-haul heavy-duty trucks*. International Council on Clean Transportation.
- Burnham, A., (2021). *Comprehensive total cost of ownership quantification for vehicles* (Report No. ANL/ESD-21/4). Argonne National Laboratory.
- Burge Hughes Walsh. (s. f.). *Pugh matrix template* [Archivo PDF]. Recuperado 9 de diciembre de 2025
- Hunter, C., Penev, M., Reznicek, E., Lustbader, J., Birky, A., & Zhang, C. (2021). *Spatial and temporal analysis of the total cost of ownership for Class 8 tractors and Class 4 parcel delivery trucks* (Report No. NREL/TP-5400-78730). National Renewable Energy Laboratory.
- Jacobs, T. J. P. (2022). *Improving the multi-item, multi-location spare parts stocking policy at PACCAR Parts Europe* (Master's Thesis, Eindhoven University of Technology).
- Restrepo Álvarez, L. M. (2013). *Approaches of Aftermarket Services for Successful Customer Relations: A Study of Volvo Trucks de México S.A. de C.V.* Jönköping University, School of Engineering.

## Apéndice A Encuesta VOC

Entrevistas a los diferentes actores del transporte durante la etapa cualitativa VOC

### Empresarios de transporte

¿Qué marca y modelo de vehículos de carga han comprado en los últimos años? ¿Por qué eligieron esa marca o modelo?

¿Qué tan satisfechos están con esas decisiones?

¿Qué cambiarían si volvieran a comprar un vehículo de carga?

Si tuviera que priorizar tres factores, entre los siguientes ¿cuáles serían y por qué? Precio, consumo, respaldo marca, nivel tecnológico, valor de reventa, confiabilidad, durabilidad, disponibilidad de repuestos, carga útil, respaldo técnico nacional

¿Qué tiempo consideran realista para recuperar la inversión?

¿Qué errores o malas experiencias ha tenido al comprar vehículos de carga?

¿Cuál ha sido el mayor dolor de cabeza con una marca o modelo en particular?

¿Qué riesgos o temores tiene al tomar una decisión de compra de este tipo?

¿Qué espera realmente de un proveedor de vehículos de carga?

¿Qué haría que se cambiara de marca o proveedor?

¿Cómo se informa antes de comprar?

¿Qué tanto influyen recomendaciones de colegas o de los talleres?

¿Consulta redes sociales, canales técnicos o pruebas de campo?

¿Qué marcas considera más confiables hoy en día?

¿Cuál considera que tiene el mejor respaldo postventa?

¿Ha considerado alternativas como vehículos eléctricos o GNV? ¿Qué información maneja al respecto?

¿Qué riesgos identifican en adoptar nuevas tecnologías de motorización como GNV o eléctrico?

¿Qué atributos valoran más en un proveedor o fabricante (respaldo, garantía, financiamiento, postventa)?

### **Jefes de mantenimiento**

¿Qué marca y modelo de vehículos de carga considera que es el mejor desde el punto de vista del mantenimiento? ¿Por qué elige esa marca o modelo?

¿Si en sus manos estuviera la decisión de compra de un vehículo de carga que elegiría?

Tres factores claves a nivel general vehículos de carga, cuales escoge, entre los siguientes ¿cuáles serían y por qué? Consumo, respaldo marca, nivel tecnológico, confiabilidad, durabilidad, disponibilidad de repuestos, respaldo técnico nacional

¿Qué errores o malas experiencias han tenido con vehículos de carga?

¿Cuál ha sido el mayor dolor de cabeza con una marca o modelo en particular?

¿Qué espera realmente de un proveedor de vehículos de carga?

¿si en sus manos estuviera la decisión de cambiar de marca o proveedor? ¿Que escogería?

¿si en sus manos estuviera la decisión de compra cómo se informaría antes de comprar?

¿Qué tanto influyen recomendaciones de colegas o de los talleres?

¿Consulta redes sociales, canales técnicos o pruebas de campo?

¿Qué marcas considera más confiables hoy en día?

¿Cuál considera que tiene el mejor respaldo postventa?

¿Ha considerado alternativas como vehículos eléctricos o GNV? ¿Qué información maneja al respecto?

¿Qué riesgos identifican en adoptar nuevas tecnologías de motorización como GNV o eléctrico?

¿Qué atributos valoran más en un proveedor o fabricante (respaldo, garantía, financiamiento, postventa)?

¿Considera que la disponibilidad de repuestos y la especialización del personal técnico para nuevas tecnologías podría llegar a ser un inconveniente para su adopción?

¿Qué impacto tienen los tiempos de parada del vehículo en la operación de la empresa?

¿Qué mejoras deberían ofrecer los dealers en manuales, capacitación y soporte técnico?

¿Qué nivel de infraestructura actual (talleres, herramientas, diagnósticos) se considera suficiente para atender cada tecnología?





---

11. Costo de compra inicial (costo adquisicion) \*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆

12. Costo de los repuestos comparados con la competencia \*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆

13. Tiempo de entrega del vehiculo por parte del concesionario \*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆

14. Confort y seguridad del conductor \*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆

15. Calidad de los materiales fabricacion y vejez prematura \*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆

¿Cuales factores son mas importantes segun su experiencia?

- 
16. Si tuviera que escoger solo tres factores decisivos, en el momento de adquirir un vehículo de carga nuevo, entre los anteriormente nombrados ¿cuales escogería? \*

Selecciona todas las opciones que correspondan.

- Disponibilidad de repuestos
- Consumo combustible
- Capacidad carga util
- Personal calificado disponible para realizar mantenimiento
- Disponibilidad de repuestos amplia red nacional
- Respaldo tecnico concesionario
- Valor de reventa en 5 años
- Nivel de tecnologia avanzado e interconectividad
- Cumplimiento normas ambientales
- Costo de compra inicial (costo adquisicion)
- Costo de los repuestos comparados con la competencia
- Tiempo de entrega del vehiculo por parte del concesionario
- Confort y seguridad del conductor
- Calidad de los materiales fabricacion y vejez prematura

#### Pregunta abierta

17. ¿Qué recomendaría a los fabricantes o concesionarios para que un vehículo de carga se adapte mejor a las necesidades de su empresa?

---

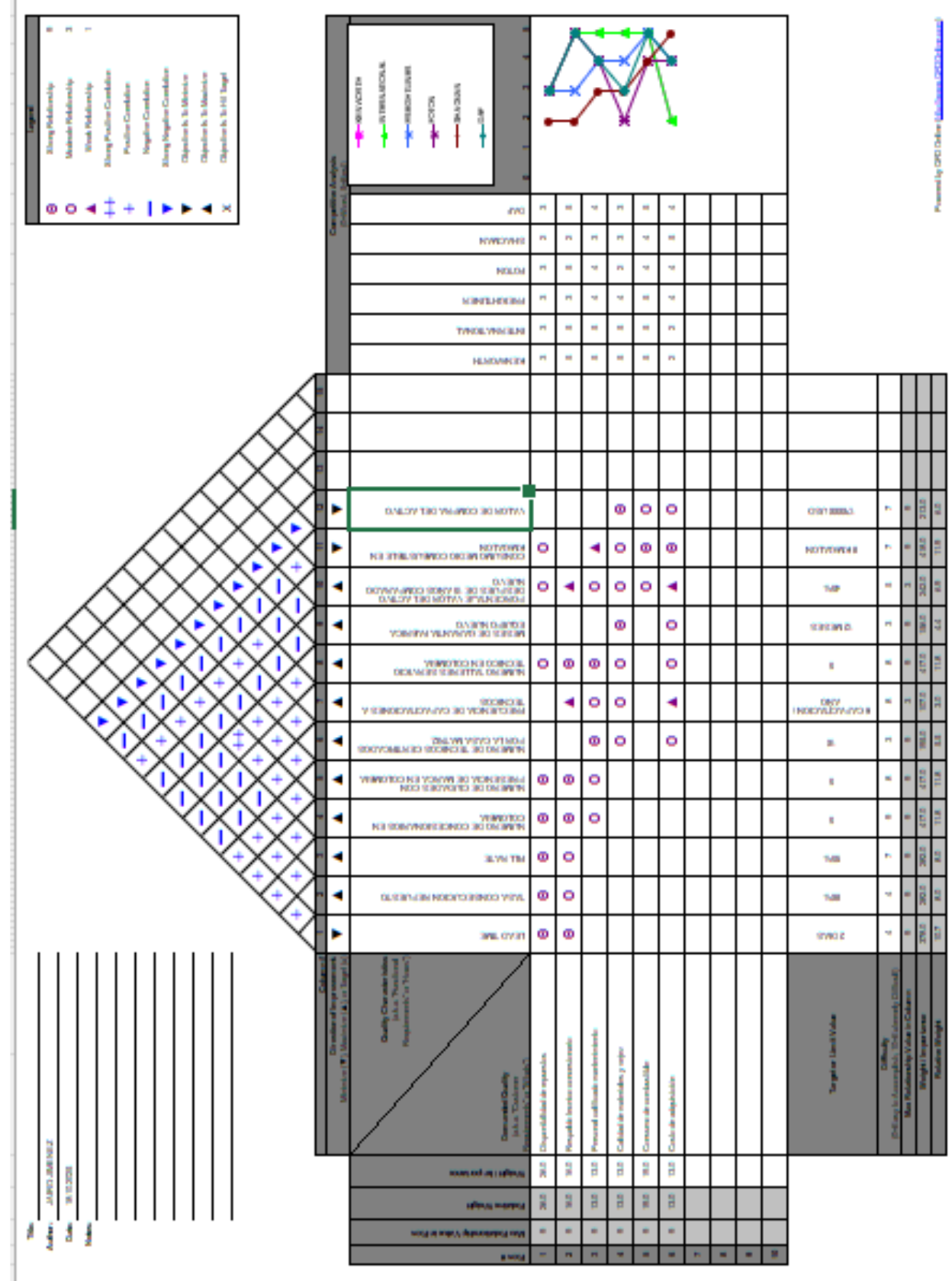
---

Google no creó ni aprobó este contenido.

Google Formularios

Apéndice C Matriz Casa De La Calidad

Desarrollo matriz QFD



Apéndice D Información Mercado Tractocamiones usados 2025

Matriz información tractocamiones en venta mercado colombiano octubre 2.025

ID	Fecha registro	Fuente	Ubicación	Marca	Modelo	Año	Valor			Antigüedad años	Depreciación anual	Tipo_motor	Kilometraje_e_km	Norma_mision
							Precio venta COP	Precio Venta USD	Valor equipo nuevo					
1	02-nov	Market place	Marinilla	Freightliner	cascadia	2024	750,000,000	187500	176000	-7%	1	detroit DD13	40,000	euro VI
2	02-nov	Market place	Villavicencio	Foton	Auman	2024	520,000,000	130000	130000	0%	1	Cummins ISG	50,000	euro VI
3	26-oct	tu carro	medellin	Freightliner	cascadia	2023	665,000,000	166250	176000	6%	2	detroit DD13	72,000	euro VI
4	26-oct	Market place	Bucaramanga	DAF	CF480	2023	420,000,000	105000	160000	34%	2	paccar MX13	210,000	euro VI
5	26-oct	Renting Colom	Funza	DAF	CF480	2023	461,000,000	115250	160000	28%	2	paccar MX13	198,500	euro VI
6	03-nov	Market place	Bucaramanga	DAF	CF480	2023	480,000,000	120000	160000	25%	2	paccar MX13	215,000	euro VI
7	26-oct	Renting Colom	Bello	FAW	CA4250	2023	240,000,000	60000	130000	54%	2	Mack	40,000	euro VI
8	26-oct	Renting Colom	Funza	Mack	Anthem	2023	580,000,000	145000	180700	20%	2	Mack	85,000	euro VI
9	26-oct	Market place	Bucaramanga	Mack	Anthem	2023	630,000,000	157500	180700	13%	2	Mack	240,000	euro VI
10	02-nov	tu carro	Bucaramanga	Foton	Auman	2023	445,000,000	111250	130000	14%	2	Cummins ISG	210,000	euro VI
11	02-nov	tu carro	Bucaramanga	Foton	Auman	2023	450,000,000	112500	130000	13%	2	Cummins ISG	340,000	euro VI
12	26-oct	Market place	Bucaramanga	Mack	Anthem	2023	650,000,000	162500	180700	10%	2	Mack	150,000	euro VI
13	26-oct	Market place	Medellin	Kenworth	T880	2023	740,000,000	185000	196000	6%	2	Cummins X15	1,980,000	euro VI
14	26-oct	Market place	Medellin	Kenworth	T880	2023	740,000,000	185000	196000	6%	2	Cummins X15	80,000	euro VI
15	02-nov	Market place	Bucaramanga	Mack	Anthem	2023	650,000,000	162500	180700	10%	2	Mack	170,000	euro VI
16	26-oct	Market place	medellin	Shacman	X3000	2023	412,000,000	103000	122000	16%	2	Cummins ISZ	215,000	euro VI
17	26-oct	Market place	medellin	Shacman	X3000	2023	410,000,000	102500	122000	16%	2	Cummins ISZ	230,000	euro VI
18	03-nov	Market place	medellin	Shacman	X3000	2023	390,000,000	97500	122000	20%	2	Cummins ISZ	250,000	euro VI
19	03-nov	Market place	medellin	Shacman	X3000	2023	412,000,000	103000	122000	16%	2	Cummins ISZ	230,000	euro VI
20	09-nov	Market place	Barranquilla	Scania	G500	2023	620,000,000	155000	167500	7%	2	Cummins ISZ	189,000	euro VI
21	03-nov	Market place	Bogota	Shacman	X5000	2023	440,000,000	110000	122000	10%	2	Cummins ISZ	407,000	euro VI
22	26-oct	Market place	medellin	Shacman	X3000	2023	407,000,000	101750	122000	17%	2	Cummins ISZ	280,000	euro VI
23	02-nov	Market place	Barranquilla	Scania	G500	2023	650,000,000	162500	167500	3%	2	Scania	206,000	euro VI
24	26-oct	Renting Colom	Funza	Kenworth	T880	2022	540,000,000	135000	196000	31%	3	paccar MX13	206,000	euro VI