



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

**SIMULACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN MAQUINARIA  
AGRÍCOLA USANDO LAS HERRAMIENTAS DE SIMSCAPE Y DRIVELINE DE  
MATLAB**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniero Mecánico Automotriz

AUTOR: DANIEL WILLIAM PATIÑO ORDOÑEZ

TUTOR: ING. JUAN DIEGO VALLADOLID QUITOISACA, M.Sc.

Cuenca - Ecuador

2023

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Yo, Daniel William Patiño Ordoñez con documento de identificación N° 0105661268, manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 18 de agosto del 2023

Atentamente,



---

Daniel William Patiño Ordoñez

0105661268

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Daniel William Patiño Ordoñez con documento de identificación N° 0105661268, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud soy el autor del Artículo académico: “Simulación del consumo de combustible en maquinaria agrícola usando las herramientas de Simscape y Driveline de Matlab”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 18 de agosto del 2023

Atentamente,



---

Daniel William Patiño Ordoñez

0105661268

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Juan Diego Valladolid Quitoisaca con documento de identificación N° 0104821210, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **SIMULACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN MAQUINARIA AGRÍCOLA USANDO LAS HERRAMIENTAS DE SIMSCAPE Y DRIVELINE DE MATLAB**, realizado por Daniel William Patiño Ordoñez con documento de identificación N° 0105661268, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 18 de agosto del 2023

Atentamente,



---

Ing. Juan Diego Valladolid Quitoisaca M.Sc.

0104821210

# SIMULACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN MAQUINARIA AGRÍCOLA USANDO LAS HERRAMIENTAS DE SIMSCAPE Y DRIVELINE DE MATLAB

## SIMULATION OF FUEL CONSUMPTION IN AGRICULTURAL MACHINERY USING MATLAB SIMSCAPE AND DRIVELINE TOOLS

William Patiño Ordoñez<sup>1</sup>

### Resumen

El artículo aborda la simulación del consumo de combustible en maquinaria agrícola utilizando las herramientas SimScape y Driveline de MATLAB. La investigación se centra en analizar el consumo de combustible en diferentes maquinarias agrícolas durante distintos procesos de producción. Mediante la recopilación de datos sobre las horas de trabajo y la obtención de promedios de consumo de combustible y revoluciones por minuto (RPM) en cada proceso, se destaca que la maquinaria Jhon Deere 9460R, dedicada a la nivelación del suelo, exhibe el mayor consumo de combustible.

La aplicación de una reducción promedio del 6% en el consumo de combustible para cada máquina se logra mediante la implementación de técnicas de optimización en el rendimiento de los motores, ajustes en los procesos de producción y el empleo de prácticas más eficientes. La validación de estas mejoras se realiza mediante pruebas de campo en condiciones reales, donde se determina el consumo de combustible y los costos correspondientes. Se observará un ahorro por hora al aplicar la reducción de consumo, lo que se traduciría en un ahorro mensual a analizar.

En conclusión, se resalta la importancia del uso adecuado y la organización eficiente de las maquinarias agrícolas para generar ahorros significativos en combustible y tiempo de trabajo, con un potencial de ahorro estimado. El estudio demuestra cómo la optimización y la implementación de prácticas más eficientes pueden contribuir positivamente a la rentabilidad y sostenibilidad en la agricultura.

**Palabras Clave:** combustible, simulación, maquinaria pesada, consumo.

### Abstract

The article addresses the simulation of fuel consumption in agricultural machinery using MATLAB's SimScape and Driveline tools. The research focuses on analyzing fuel consumption in different agricultural machinery during various production processes. By collecting data on working hours and obtaining averages for fuel consumption and revolutions per minute (RPM) in each process, it is highlighted that the Jhon Deere 9460R machinery, designed for soil leveling, exhibits the highest fuel consumption.

Applying an average reduction of 6% in fuel consumption for each machine is achieved through the implementation of optimization techniques in engine performance, adjustments in production processes, and the use of more efficient practices. Validation of these improvements is carried out through field tests under real conditions, where fuel consumption and corresponding costs are determined. An observed saving of \$4.24 per hour upon applying the consumption reduction translates to an approximate monthly saving of \$2956.

In conclusion, the importance of proper use and efficient organization of agricultural machinery to generate significant savings in fuel and working time is highlighted, with a potential savings of up to 15%. The study demonstrates how optimization and the implementation of more efficient practices can positively contribute to profitability and sustainability in agriculture.

**Keywords:** fuel, simulation, heavy machinery, consumption.

---

<sup>1</sup> Autor del análisis de la Simulación del consumo de combustible en maquinaria agrícola usando las herramientas de Simscape y Driveline de Matlab, Facultad de Ingeniería en Mecánica Automotriz, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

## 1. Introducción

Los recursos naturales son vitales para la producción de bienes materiales, siendo la base fundamental para el desarrollo de actividades productivas y de servicios que satisfacen las necesidades humanas [1]. En este contexto, la agricultura, una actividad esencial, conlleva un consumo considerable de recursos, una preocupación acentuada en tiempos actuales debido al crecimiento poblacional y su demanda alimentaria.

A nivel mundial, la demanda de energía primaria alcanza aproximadamente 11400 millones de toneladas equivalentes de petróleo (emtp) por año [2]. Los combustibles fósiles, representando más del 80% de esta demanda, destacan como la fuente principal de energía, donde el petróleo, el carbón y el gas desempeñan roles predominantes [3].

En el contexto ecuatoriano, esta preocupación se hace evidente en el sector agrícola, particularmente en empresas como Agroazúcar, donde el consumo ineficiente o excesivo de combustible impacta la rentabilidad y el crecimiento sostenible. En este sentido, la empresa ha realizado un estudio interno para evaluar el consumo de combustible en sus maquinarias agrícolas, vinculando directamente este gasto con sus operaciones comerciales. Aunque los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de herramientas de simulación avanzadas, como el Simscape Driveline de Matlab, y se han identificado esfuerzos para comprender el consumo de combustible en maquinaria agrícola, se observa una brecha en la literatura con respecto a investigaciones específicas que combinen simulación y experimentación para optimizar dicho consumo. Por ende, esta investigación busca llenar este vacío al recopilar datos de consumo de combustible y RPM de diversas maquinarias agrícolas en condiciones reales. Estos datos se emplearán para configurar y simular modelos utilizando herramientas como el SimScape Driveline de Matlab. Además, se analizarán los

resultados obtenidos para proponer recomendaciones concretas que optimicen el consumo de combustible en el sector agrícola.

Este estudio pretende proporcionar una base sólida para implementar estrategias eficientes de consumo de combustible en la maquinaria agrícola, promoviendo así la sostenibilidad y rentabilidad de las empresas del sector.

La decisión que más condiciona el consumo de combustible en una explotación agrícola es la selección de los cultivos, así como el tipo y el número de operaciones agrícolas a desarrollar en cada uno de ellos. Como por ejemplo tenemos diferentes tipos de cultivos, los extensivos como el maíz y trigo los intensivos como el tomate y papas y especiales como viñedos o frutales y las operaciones más comunes tenemos labranza, siembra, fertilización, riego. [4]. Pero una vez tomada esta decisión, la selección y adaptación de la maquinaria utilizada a los trabajos previstos, y la ejecución de estos, puede modificar notablemente dichos consumos

La energía que absorbe una máquina agrícola es el resultado de la fuerza necesaria y la velocidad proporcionada [5]. Este proceso se utiliza para analizar el impacto medioambiental y la eficacia de las prácticas agrícolas. Además, más adelante podremos observar que el costo energético de combustible y maquinaria es una parte significativa del costo total de producción en la agricultura empresarial [6].

Las máquinas agrícolas tienen un objetivo fundamental dentro de la agricultura: la humanización del pesado trabajo del hombre. Esta maquinaria se caracteriza por ser resistente, de fácil manejo, mantenimiento, reparación, pero tiene como gran desventaja con respecto a otras tecnologías más modernas su alto consumo de combustible, el cual encarece los costos de producción. Por ejemplo, el costo promedio de operación de un tractor estándar se sitúa en torno a 25 dólares por hora de trabajo, con un consumo medio de 10 litros de combustible por hora. En

términos de eficiencia energética, se estima que una máquina agrícola tipo cosechadora consume alrededor de 50 MJ por hectárea trabajada. [7], esto se une al hecho de que los tractores y máquinas agrícolas tienen un alto costo de adquisición y operación en términos monetarios (dólar/hora, dólar/hectárea) y energéticos mega Joules/hora (MJ/h), mega Joules/hectárea (MJ/ha), dichos términos son utilizados en la agricultura para medir y evaluar tanto el peso de los cultivos y el trabajo realizado en una determinada cantidad de tiempo (dólar/h y dólar/ha), así como la cantidad de energía consumida o requerida durante esas actividades agrícolas (MJ/h y MJ/ha).

El consumo de combustible y la maquinaria representan un alto porcentaje del costo energético total de producción en la agricultura empresarial [1]; por lo cual es importante realizar un estudio y uso de herramientas o simuladores que permitan un cálculo de consumo de combustible más eficiente en los diferentes procesos productivos agrícolas y fomentar una mejor explotación y uso de los medios mecanizados, siendo esta una tarea de vital importancia en los momentos actuales.

Esta situación de cierta manera crítica no es ajena a nuestro entorno y ya se ha venido detectando desde hace algunos años atrás debido a que resulta costoso el mantenimiento y puesta en marcha de la diferente maquinaria en la empresa objeto de estudio y que de alguna manera es simplemente necesaria e indispensable en la producción.

Con lo antes mencionado el objeto del presente estudio es determinar el consumo de combustible de cada una de las maquinarias agrícolas galón/hora (gal/h), su trabajo realizado y potencia necesaria para la misma y con ello determinar mediante simulación el posible ahorro de combustible sin afectar la producción y uso de la maquinaria de estudio.

Esta investigación tiene como objetivo mejorar la gestión del abastecimiento de combustible en una flota específica de equipo agrícola. Se estudiará el consumo promedio de Diesel por día, labor, hectárea y en un período definido. Se implementarán procedimientos de recopilación y

análisis de datos para prevenir pérdidas monetarias y asegurar la adecuada planificación del abastecimiento de combustible en la empresa.

Dicho estudio del consumo de combustible en la maquinaria agrícola es esencial para avanzar hacia prácticas agrícolas más sostenibles y eficientes en el futuro. Al comprender y mejorar la eficiencia del uso de combustible, se reduce los impactos ambientales negativos y garantizar una agricultura más amigable con el medio ambiente y económicamente viable a largo plazo.

## **2. Materiales y Métodos**

En el contexto de esta investigación, la comprensión y dominio de los programas y herramientas de simulación son pilares fundamentales para alcanzar resultados precisos y significativos. Aunque no se encuentren enunciados específicos en la etapa introductoria, numerosos estudios previos han empleado programas similares de simulación para investigar el impacto del consumo de combustible en la maquinaria agrícola.

El método que se tomó para la toma de datos fue mediante el SERVICE ADVISORTM (ACCESO) COMAND CENTER, al ser propio de John Deere nos entrega muchos datos referentes a las actividades que están realizando en ese momento la maquinaria tales como, consumo de combustible, hectáreas trabajadas, RPM, etc., como se muestra en tabla 1. Al momento de realizar las tomas de datos se toman en cuenta diferentes variables tales como, consumo de combustible, el mismo que es proporcional al tipo de labor que está realizando el tractor agrícola, el clima, estado del suelo y principalmente el estado de la maquinaria.



Fig. 1: Service advisor

Para analizar cómo diferentes configuraciones de maquinaria afectan el consumo de combustible en distintos escenarios agrícolas. Estos estudios proporcionaron un marco inicial sobre la eficiencia energética y los factores influyentes en el consumo de combustible, sentando las bases para abordar aún más a fondo esta problemática.

Tabla I: Comandos mostrados en pantalla

ITÉM	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	Temperatura de aceite de motor.	Permite visualizar la temperatura de funcionamiento del motor.
2	Temperatura de fluido hidráulico.	Muestra el valor de la temperatura del fluido hidráulico (aceite).
3	Presión de aceite de motor.	Visualiza la presión de funcionamiento del aceite de motor.
4	Consumo por hectárea.	Muestra el consumo de combustible por cada hectárea de labor.
5	RPM.	Muestra las revoluciones por minuto del motor.
6	Consumo de combustible.	Permite visualizar el consumo de combustible en tiempo real, en litros por cada hora.
7	Hectáreas.	Muestra las hectáreas recorridas por cada labor.
8	Hectáreas por hora.	Muestra las hectáreas de labor por cada hora.
9	Km por hora (velocidad).	Muestra la velocidad del vehículo.

10	Voltaje de la batería.	Muestra el voltaje en el que se encuentra la batería, comprobado del óptimo funcionamiento del alternador.
11	Distancia de desplazamiento.	Muestra la distancia la cual se desplaza la máquina.

## 2.1. Maquinaria

En la unidad experimental, se utilizaron los tractores descritos en la Tabla II y representados en la Fig. 2, los cuales intervienen en distintos procesos de producción

Tabla II: Maquinaria de estudio en Agroazúcar

Marca	Modelo		Utilización
JOHN DEERE	7230R	JD 29	FERTILIZACION
JOHN DEERE	8270R	JD 07	ROTURAR
			DESCALIFICAR
			FERTILIZAR
			APORCAR
JOHN DEERE	9460R	JD 13	NIVELACIÓN
JOHN DEERE	9460R	JD 11	NIVELACIÓN
JOHN DEERE	8295R	JD 17	PREPARACIÓN
JOHN DEERE	8295R	JD 09	PREPARACIÓN
JOHN DEERE	9460 R	JD 34	PASAR RASTRA
JOHN DEERE	8295R	JD12	PASAR SUBSUELO



Fig. 2: Tractor John Deere



## 2.2. Adquisición de Datos

Para llevar a cabo el trabajo de campo y la recolección de datos, se empleó una combinación de técnicas de estudio. El registro de datos permitió llevar un seguimiento detallado del consumo de combustible de cada maquinaria, anotando la cantidad utilizada en intervalos de tiempo específicos.

Por otra parte, mediante una entrevista al personal encargado de las operaciones en la empresa puede tener acceso a la información relacionada a cada una de las maquinarias utilizadas y su operación en los diferentes procesos de producción. Una vez obtenida la información de campo, se utilizó Simscape Driveline de Matlab para realizar una simulación acerca del consumo de combustible.

## 2.3. Software

Simscape Driveline es una biblioteca para modelar sistemas mecánicos con componentes como engranajes, motores y transmisiones. Además, se integra con sistemas eléctricos, hidráulicos y neumáticos. Con Simscape y MATLAB, se pueden crear modelos personalizados para control y pruebas [2].

## 2.4. Simulación

En el mundo de la maquinaria pesada y los motores de combustión, optimizar el consumo de combustible es crucial tanto por motivos económicos como medioambientales, con ayuda del software de simulación realizado en Matlab se puede comparar y evaluar el consumo entre la prueba experimental de campo realizada y explorar mejoras y reducir emisiones. Transforma el análisis del consumo en el sector, proporcionando cálculos avanzados y una interfaz fácil de usar. Capacita a los usuarios.

para tomar decisiones basadas en datos, reducir costos y contribuir a un futuro más verde. Para realizar la simulación de consumo de combustible en la diferente maquinaria agrícola, se configuro el

diseño del sistema de propulsión del vehículo. Como se describe en la Fig. 2

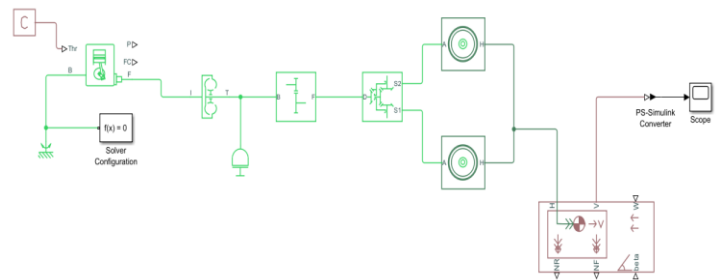


Fig. 3: Esquema de simulación del sistema de propulsión de un vehículo.

### 2.4.1 Bloques de simulación y configuración de sistema

Este sistema representa un modelo altamente eficiente de motores de combustión interna, incorporando avanzados controladores de velocidad y un límite de RPM preciso. El sistema responde de manera óptima a comandos de aceleración y torque, mientras se analiza el consumo de combustible en tiempo real. En caso de que la velocidad exceda el máximo permitido o disminuya por debajo del umbral establecido, el sistema se detiene automáticamente y emite una notificación de error. Además, proporciona informes detallados sobre la potencia generada y la tasa de consumo de combustible para un análisis exhaustivo resumiendo obtenemos.

#### 1. Modelo del Motor y Controladores de Velocidad:

Parámetros clave: Aceleración, torque, límite de RPM.

Configuración: Velocidades máximas y mínimas, respuesta a comandos de aceleración y torque.

Información incluida: Consumo de combustible en tiempo real, informes

detallados de potencia generada y tasa de consumo de combustible.

## 2. Convertidor de Par:

Componentes: Impulsor, turbina, estator.

Valores específicos: Régimen de velocidades, modos de conducción y reposo.

## 3. Engranajes y Caja de Cambios:

Detalle clave: Importancia de la relación de transmisión.

Valores establecidos: Posiciones de engranajes y su influencia en la eficiencia de consumo.

## 4. Diferencial:

Configuración relevante: Tren de engranajes cónicos planetarios y su influencia en la tracción.

Modelo Simplificado de Neumático:

Parámetros destacados: Radio, inercia, rigidez y amortiguación longitudinales.

## 5. Modelo Simplificado de Neumático:

Parámetros destacados: Radio, inercia, rigidez y amortiguación longitudinales.

Estos bloques de simulación se han configurado con valores específicos para cada componente, lo que permite la reproducción exacta del sistema. Por ejemplo, el modelo del motor se ha establecido con valores precisos de aceleración, límites de RPM y respuesta a comandos específicos. De igual manera, tanto el convertidor de par como los engranajes tienen configuraciones detalladas que influyen directamente en la transferencia de potencia y la eficiencia de consumo.

Por último, se incorpora un modelo simplificado de neumático, parametrizado por su radio. Este elemento es crucial en el diseño global del sistema de consumo de combustible, ya que se consideran aspectos como la inercia del neumático, así como la rigidez y amortiguación longitudinales, contribuyendo de manera significativa a una simulación más realista y precisa.

En conjunto, este sistema de simulación de consumo de combustible para maquinaria pesada representa una herramienta integral y avanzada para analizar y optimizar el rendimiento energético de vehículos en condiciones variadas de operación.

### 2.4.2 Influencia de la Inercia del Neumático en el Consumo de Combustible

La inercia del neumático es un factor clave que incide en la cantidad de energía requerida para acelerar y frenar el vehículo, lo que tiene un impacto directo en el consumo de combustible. Esta inercia está influenciada por varias características físicas del neumático:

**Peso y masa:** El peso total del neumático, que está relacionado con su masa, puede afectar la inercia. Neumáticos más pesados pueden presentar una inercia mayor, lo que podría generar más resistencia al movimiento y potencialmente aumentar el consumo de combustible.

**Volumen y diseño estructural:** El volumen y la estructura del neumático también desempeñan un papel en su inercia. Diseños estructurales más robustos o un mayor volumen podrían influir en la inercia del neumático, afectando así la resistencia al movimiento y, en consecuencia, el consumo de combustible.

Ajustes de variables en cada bloque del esquema de simulación del sistema de propulsión de un vehículo.

Motor del vehículo

- Rpm de la maquinaria

Convertidor de torque

- Potencia Efectiva

Engranaje simple

- Velocidad del vehículo

Diferencial

- Inercia producida por elementos mecánicos

Neumático

- Inercia producida por los neumáticos

Una vez que se establecieron las conexiones entre los distintos componentes dentro del sistema que conforman el esquema principal del circuito, se identificaron las variables a ser medidas, las cuales son las siguientes:

- Velocidad del vehículo: La velocidad a la que se desplaza el vehículo, medida en kilómetros por hora (km/h) o metros por segundo (m/s).
- Aceleración del vehículo: La tasa de cambio de la velocidad del vehículo en el tiempo, medida en metros por segundo al cuadrado (m/s<sup>2</sup>).
- Consumo instantáneo de combustible: La cantidad de combustible consumida por unidad de tiempo, medida en litros por hora (l/h) o galones por hora (gal/h).
- Eficiencia del motor: La relación entre la energía útil generada por el motor y la energía total contenida en el combustible, expresada como un porcentaje.
- Flujo de combustible: La cantidad de combustible que se suministra al motor por unidad de tiempo, medida en litros por minuto (l/min) o galones por minuto (gal/min).

Después de determinar las variables a ser medidas en el Scope, procedimos a realizar la simulación

Fig. 4 se obtuvo los resultados siguientes.

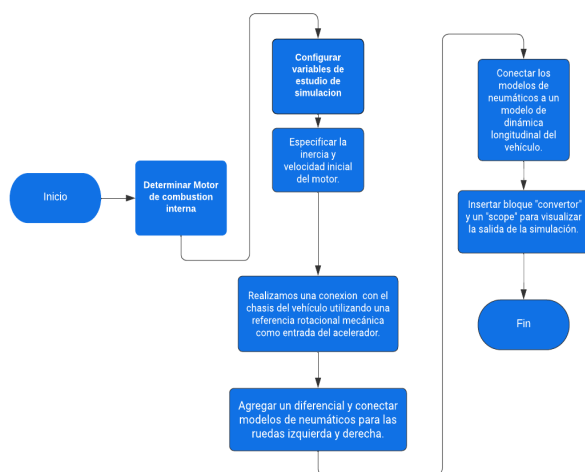


Fig. 3: Diagrama de flujo para la simulación

### 3. Resultados y Discusión

Los resultados de esta investigación se obtuvieron mediante la recolección de datos de las diversas maquinarias agrícolas durante diferentes procesos de producción. Se emplearon equipos de medición específicos para recopilar la información relevante, incluyendo:

**Medidores de consumo de combustible:** Se utilizaron dispositivos especializados para registrar con precisión la cantidad de combustible consumido por cada maquinaria durante su funcionamiento en distintas tareas agrícolas.

**Registradores de horas de trabajo:** Se emplearon instrumentos para registrar el tiempo de funcionamiento de cada máquina durante un promedio de 10 horas diarias, permitiendo un seguimiento detallado de su rendimiento a lo largo del tiempo.

En la Tabla III se puede observar el consumo de combustible litros/hora (L/H) y las RPM que necesita las diferentes maquinarias agrícolas con respecto al proceso productivo al que están destinados datos obtenidos experimentalmente en el análisis de campo.

Tabla III: Promedio de consumo de combustible en cada maquinaria

Número	Maquinaria	L/H promedio	RPM
1	7230R	9,54	1443,24
2	8270R	20,12	1764,99
3	9460R	41,59	1980,17
4	9460R	41,41	2041,72
5	8295R	26,99	1787,93
6	8295R	27,93	1803,61
7	9460 R	34,20	1914,83
8	8295R	32,04	1882,21

### A. Consumo de combustible real

Los datos relacionados con el consumo de combustible de la maquinaria agrícola se recopilaron en el lugar de operación utilizando instrumentación especializada. Se emplearon equipos específicos, como flujómetros y caudalímetros, para realizar mediciones directas y precisas del flujo de combustible utilizado por cada máquina durante su jornada de trabajo.

Estos dispositivos fueron estratégicamente instalados en el sistema de suministro de combustible de cada equipo, permitiendo una medición continua y exacta del consumo de combustible en tiempo real durante sus actividades operativas. Esta metodología de medición directa garantizó la obtención de datos fiables y detallados sobre el consumo real de combustible de cada maquinaria agrícola en su entorno de trabajo.

A partir de estas mediciones instrumentadas, se tabularon y promediaron los valores correspondientes al consumo de combustible de cada máquina durante su jornada laboral, lo que proporcionó una visión precisa de los requerimientos energéticos de la maquinaria agrícola en el terreno.

Tabla IV: Consumo de combustible de cada tractor/hora de trabajo

Número	TRACTOR	HORAS DE TRABAJO	LITROS
1	9460R	11	457,44
2	9460R	10	414,12
3	8295R	10	276,58
4	8295R	10	260,76
5	7230R	11	104,96
6	8270R	9	181,08
7	9460R	3	165,18
8	8295R	9	280,75

Durante las horas de trabajo de la diferente maquinaria, para luego calcular un promedio de consumo de combustible de cada tractor (litros y galones) y posteriormente determinar cómo consumo total de combustible de 70galones/h con un valor aproximado de \$1,54/galón [8].

### B. Consumo simulado

En base a los parámetros reales obtenidos de la maquinaria se procede a insertarlos en el esquema de simulación y comparar los resultados

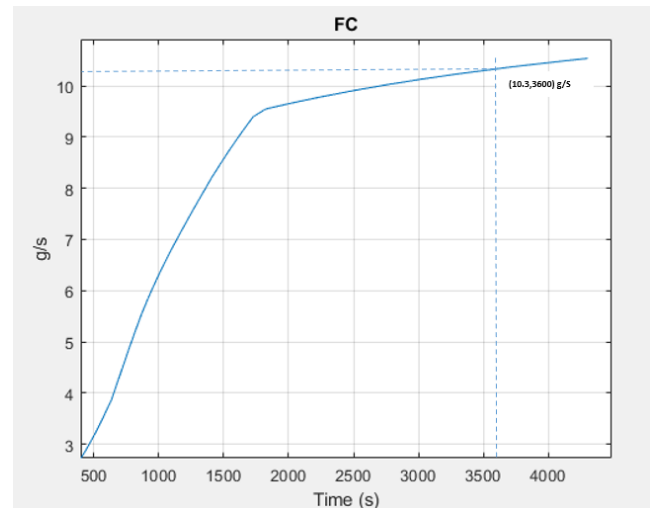


Fig. 5: Resultados de simulación en Simscape Driveline

En la Fig. 5 se puede evidenciar un consumo simulado de 10.3 g/3600s el cual se obtuvo con valores estándar de la media de una maquinaria agrícola para la maquinaria 9460R notando una considerada disminución de consumo de combustible con respecto al valor real tomado en trabajo de campo que es 10.98 g/3600s. La cual es la media de los galones utilizados en cada hora de trabajo de una maquinaria mostrada en la tabla siguiente dicha disminución es posible en base a los porcentajes de disminución analizados anteriormente del combustible (Tabla IV)

Tabla V: Consumo simulado del combustible en simscape driveline.

Número	TRACTOR	HORAS DE TRABAJO	CONSUMO SIMULADO	
			LITROS	GALONES
1	9460R	11	430.13	113.63
2	9460R	10	387.84	102.46
3	8295R	10	250.32	66.84
4	8295R	10	232.00	61.95
5	7230R	11	75.23	20.09
6	8270R	9	155.73	41.59
7	9460R	3	155.58	41.55
8	8295R	9	254.31	67.92

### C. Porcentaje de reducción

Para conseguir un mejor entendimiento del ahorro de combustible se tomará en cuenta que existen ciertos procedimientos ha seguir en la maquinaria, los cuales ayudarán a disminuir el consumo del mismo. A continuación, se presenta una tabla detallando el porcentaje para el ahorro del combustible.

Tabla VI: Prácticas realizadas para disminución de combustible

Régimen de motor y relación de compresión del motor	10% a 20% (respecto al consumo estándar)
Adecuados tiempos de mantenimiento	5% al 10% (respecto al consumo estándar)
Mantenimientos netos del motor	5% al 10% (respecto al consumo estándar)
Reducción al patinaje	5% (respecto al consumo estándar)
Neumáticos de doble tracción y bloque de diferencial	5% al 10% (respecto al consumo estándar)

En la Tabla VI se evidencia los porcentajes óptimos que influyen en la disminución y correcto consumo de combustible en base a Luis Márquez [9].

El porcentaje de reducción aplicado respecto al consumo estándar de combustible para cada

maquinaria fue en promedio del 6% de las practicas realizadas para disminución de combustible, una vez establecido este valor se multiplicó para cada uno de los consumos reales de combustible obteniendo un valor aproximado registrados en galones obteniendo asi un valor aproximado de reducción de consumo para cada una de las maquinarias en estudio.

Estos valores calculados son los que se deberían usar en cada maquinaria aplicando las recomendaciones para un ahorro de combustible.

Koffler y Rohde analizan la relación existente entre el peso del vehículo y el consumo de combustible en motores de combustión interna mediante un modelo simplificado de cálculo. Partiendo de un consumo inicial determinado, considerando las curvas de Willans, determinan cual será el incremento del consumo de combustible en función de la variación del peso [10].

Tabla VII: Consumo real de combustible y consumo aplicando factor de reducción

TRACTOR	CONSUMO galones	Aplicando reducción de porcentaje	Total, de consumo aplicando porcentaje
9460R	120,84	7,2504	113,5896
9460R	109,39	6,5634	102,8266
8295R	73,06	4,3836	68,6764
8295R	68,88	4,1328	64,7472
7230R	27,72	1,6632	26,0568
8270R	47,83	2,8698	44,9602
9460R	43,63	2,6178	41,0122
8295R	74,16	4,4496	69,7104

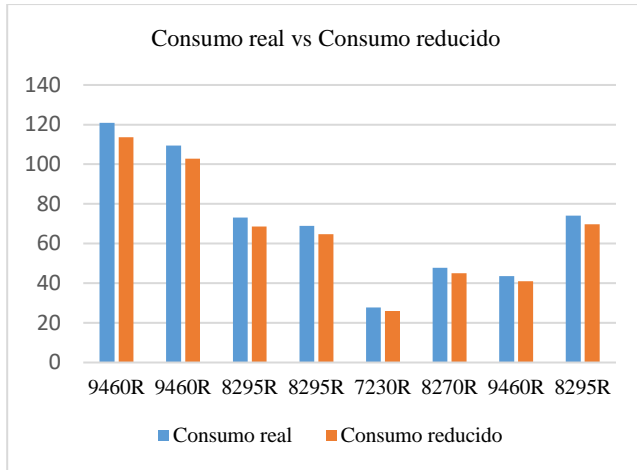


Fig. 6: consumo real vs consumo reducido

En la Fig. 6, se puede evidenciar la diferencia entre el consumo real versus el consumo reducido una vez aplicado el porcentaje de reducción para cada una de las maquinarias agrícolas observando así que, si se da una reducción en el consumo que, aunque no parezca significativa a la larga representara un ahorro grande y por ende una disminución de costes en el trabajo.

El consumo de combustible y el factor de seguridad son dos aspectos esenciales para considerar en el funcionamiento de la maquinaria, especialmente en el ámbito agrícola. [11]. La reserva de combustible o extra necesario para garantizar que una maquinaria cumpla su trayecto de manera segura y eficiente es de vital importancia

La disponibilidad de una reserva de combustible adecuada proporciona un margen de seguridad crucial en caso de imprevistos, como desvíos inesperados o situaciones de emergencia. Esta reserva adicional garantiza que la maquinaria tenga suficiente combustible para completar su trayecto planificado y, al mismo tiempo, brinda flexibilidad para afrontar circunstancias inesperadas sin poner en riesgo la operación.

El factor de seguridad también tiene en cuenta otros factores, como las condiciones del terreno y las variaciones en el consumo de combustible debido a diferentes cargas de trabajo. La

maquinaria agrícola a menudo se enfrenta a terrenos desafiantes y operaciones prolongadas, donde el consumo de combustible puede variar significativamente. Contar con una reserva de combustible adecuada permite enfrentar estos desafíos de manera segura y eficiente, evitando interrupciones y garantizando la continuidad del trabajo [10].

Tabla VIII: Consumo de combustible aplicando porcentaje del Factor de seguridad

TRACTOR	Total, de consumo aplicando porcentaje	Total, de consumo aplicando porcentaje del Factor de seguridad	Suma total de consumo con factor de seguridad por actividad
9460R	113,5896	2,271792	115,861392
9460R	102,8266	2,056532	104,883132
8295R	68,6764	1,373528	70,049928
8295R	64,7472	1,294944	66,042144
7230R	26,0568	0,521136	26,577936
8270R	44,9602	0,899204	45,859404
9460R	41,0122	0,820244	41,832444
8295R	69,7104	1,394208	71,104608

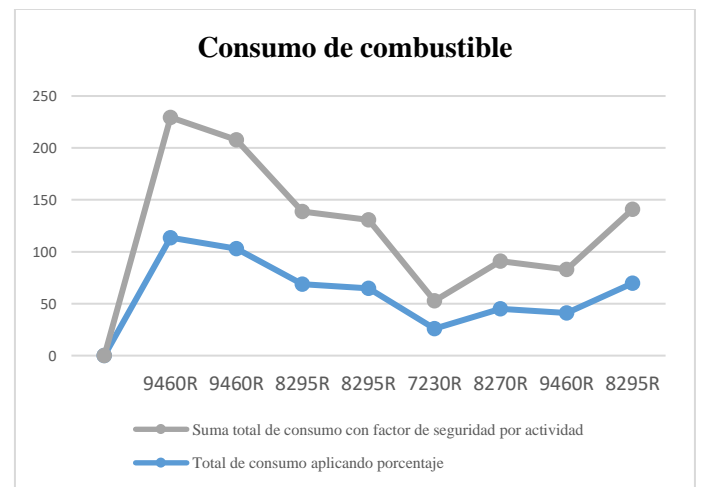


Fig. 7: Diferencia de consumo de combustible aplicando factor de seguridad

En la Tabla IX se observa el total de consumo de combustible una vez aplicado el factor de seguridad determinado. Es importante considerar este factor de seguridad en este tipo de maquinaria agrícola ya que supone una estructura



segura y eficiente con respecto al trabajo a realizar, en otras palabras, es la relación entre la resistencia y la fuerza o acción sobre un elemento

De la misma manera en la Fig. 6 Se detecta un ligero aumento en el consumo de combustible en la maquinaria que, a pesar de tener un factor de reducción, presenta un incremento en el consumo respecto al mismo nivel de uso. pero aplicando el factor de seguridad, es importante reconocer que ha pesar de incrementar el consumo se está tomando en cuenta la manera ideal de la maquinaria.

### Consumo de combustible

Una vez determinado el consumo reducido aplicando tanto el factor de reducción y factor de seguridad, se determina el consumo para cada una de las maquinarias y el costo que este representa, con ello determinar el ahorro tanto de combustible como de dinero.

Tabla IX: Total de consumo aplicando porcentaje del Factor de seguridad

Suma total de consumo con factor de seguridad por actividad	Consumo por hora	Costo de galón de Diesel
115,861392	10,5328538	16,22059488
104,883132	10,4883132	16,15200233
70,049928	7,0049928	10,78768891
66,042144	6,6042144	10,17049018
26,577936	2,416176	3,72091104
45,859404	5,09548933	7,847053573
41,832444	13,944148	21,47398792
71,104608	7,900512	12,16678848

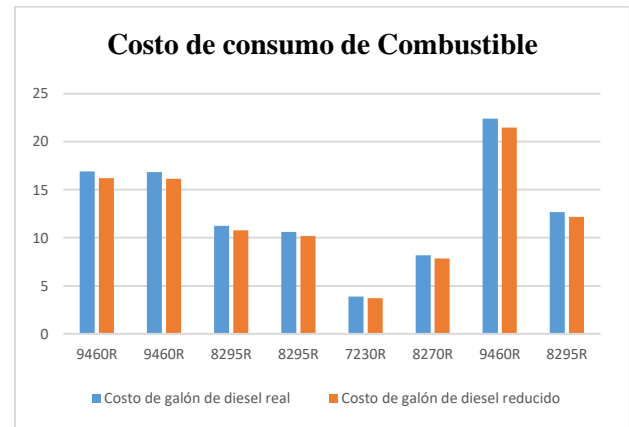


Fig. 8: Costo de consumo de combustible

En la Fig. 8 podemos observar el consumo de combustible real versus el consumo de combustible reducido y aunque no parezca una diferencia significativa, se puede determinar que el ahorro de combustible es de \$ 4,24 por hora. Este valor escalado de manera mensual correspondería a un ahorro de \$2956 dólares aproximadamente, este valor calculado por toda la flota que tiene la empresa de alrededor de 50 equipos sería un valor de \$ 117800 dólares mensualmente.

## 4. Conclusiones

La consideración detallada de variables como la velocidad, la aceleración, el consumo instantáneo de combustible, la eficiencia del motor y el flujo de combustible nos ha proporcionado una visión precisa del consumo en diferentes situaciones de conducción.

Mediante la simulación en Simscape Driveline, comparada con la experimentación de campo y el análisis en Excel, se logró una consistencia notoria entre los resultados simulados y los datos reales. Esta coherencia valida a Simscape Driveline como una herramienta efectiva para predecir el consumo de combustible en condiciones del mundo real.

Al finalizar este estudio, se determinó un consumo promedio de aproximadamente 70 galones por hora en la maquinaria de Agroazucar. Tras la simulación, se logró

reducir este consumo en cerca de 4 galones por hora, lo que representa un ahorro mensual aproximado de \$2956, tomando en cuenta el valor de cada galón.

Un aspecto fundamental para reducir el consumo de combustible es la correcta utilización de la maquinaria agrícola, que debe ser organizada y monitoreada para maximizar su eficiencia. La literatura respalda que una organización estructurada del trabajo puede generar un ahorro considerable de combustible y tiempo, superando el 15%. Planificar los recorridos, las labores, marcar las pasadas y estructurar las parcelas puede lograr ahorros del 10 al 15% [12].

En futuras investigaciones, será crucial ampliar la metodología, detallar los materiales y equipos usados, así como realizar análisis técnicos más exhaustivos. Además, se recomienda definir y medir con mayor precisión la efectividad de la herramienta utilizada para la simulación.

### AGRADECIMIENTO

El autor de la presente investigación desea agradecer a la empresa Agroazúcar por su buena predisposición y ayuda en el presente trabajo.

### Referencias

- [1] D. Lora, R. Ramos y M. Fernández, «Consumo energético de la maquinaria agrícola con el empleo de técnicas de agricultura de precisión,» *Revista Ingeniería Agrícola*, pp. 3-28., 2015 .
- [2] AIE, «World Energy Outlook 2007.,» Agencia Internacional de Energía, París, 2007.
- [3] FAO, «Estado mundial de la agricultura y la alimentación,» FAO, Roma, 2008.
- [4] IDAE, Ahorro de Combustible en el Tractor Agrícola, Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2005.
- [5] D. Lora, «Consumo energético de la maquinaria agrícola con el empleo de técnicas de agricultura de precisión,» *Revista Ingeniería Agrícola*, pp. 23 - 28, 2017.
- [6] FAO, «Energy consumption and input output relation in field operations,» CNRE study, Roma, 2000.
- [7] A. Miranda, P. Pedro, A. Natali y S. Meibi, «Análisis comparativo de los costos totales energéticos, de explotación y consumo de combustible del cultivo del arroz en las tecnologías en seco y fangueo directo,» *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 18, n° 3, 2009.
- [8] «globalpetrolprices,» [En línea]. Available: [https://es.globalpetrolprices.com/Ecuador/diesel\\_prices/](https://es.globalpetrolprices.com/Ecuador/diesel_prices/). [Último acceso: 16 05 2023].
- [9] L. Marquez, Ahorro de combustible en el tractor agrícola, Barcelona: BH Editores, 2005.
- [10] C. Muñoz, Estimación de la reducción del consumo de combustible en



vehículos como consecuencia de la reducción de peso, Madrid: Escuela Politécnica Superior de Mondragón, 2010.

- [11] R. Tolouei y H. Titheridge, Vehicle mass as a determinant of fuel consumption and secondary safety performance, Transportation Research, 2009.
- [12] IDAE, Ahorro de combustible en el tractor agrícola, Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2005.