

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					   	
	CARTA DE AUTORIZACIÓN						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 1

Neiva, 06 de junio de 2023

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN
 UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
 Neiva

El suscrito:

Jhon Alejandro Cedeño Alvira, con C.C. No. 1081422589, Autor de la tesis y/o trabajo de grado titulado "DESARROLLO DE UN APLICATIVO SOFTWARE PARA EL CALCULO DE REQUERIMIENTOS DE POTENCIA EN EQUIPOS Y MAQUINARIA AGRICOLA" presentado y aprobado en el año 2023 como requisito para optar al título de Ingeniero Agrícola;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: Jhon Alejandro Cedeño

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					   	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO					SC 7384-1 SA-CERIE 587526 OS-CER 597555	
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 4

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Desarrollo de un aplicativo software para el cálculo de requerimientos de potencia en equipos y maquinaria agrícola

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Cedeño Alvira	Jhon Alejandro

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Arévalo Hernández	John Jairo

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
N.A	N.A

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Agrícola

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería Agrícola

CIUDAD: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2023

NÚMERO DE PÁGINAS: 31

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					 ISO 9001 SC 7384-1		 ISO 14001 SA-CERES 59750	 OHSAS 18001 OS-CER 59755	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO									
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 4			

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una **X**):

Diagramas X Fotografías___ Grabaciones en discos X Ilustraciones en general X Grabados___
 Láminas___ Litografías___ Mapas___ Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas
 o Cuadros X

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: N.A

MATERIAL ANEXO: N.A

PREMIO O DISTINCIÓN: (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria): N.A

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <u>Cálculo de potencia</u>	6. <u>Power calculation</u>
2. <u>Desarrollo de software</u>	7. <u>Software development</u>
3. <u>Maquinaria agrícola</u>	8. <u>Agricultural machinery</u>
4. <u>Mecanización</u>	9. <u>Mechanization</u>
5. <u>Herramienta tecnologica</u>	10. <u>Technological tool</u>

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS				 SC 7384-1 SA-CERIE 987526 OS-CER 987555		
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 4

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

En el presente trabajo de grado se describe la creación de una herramienta interactiva que permite calcular los requerimientos de potencia de los diferentes implementos y maquinarias agrícolas que son imprescindibles para desarrollar las labores mecanizadas de un cultivo, además de la creación y uso de una base de datos con información actualizada sobre tractores e implementos agrícolas que, mediante el uso de programación puede ser analizada por el aplicativo desarrollado.

El aplicativo está programado de tal forma que el usuario pueda manejarlo de manera intuitiva, haciendo uso de un diseño específicamente creado para este, con colores y logos que permitan su identificación en el mercado.

Los cálculos prácticos del software se dividen en tres (3) apartados principales: El apartado (1) análisis completo del sistema de producción, analiza en conjunto los apartados (2) cálculo de potencia disponible por el equipo tractor y (3) cálculo de la potencia requerida por el tractor para operar con un implemento seleccionado, permitiendo analizar los implementos agrícolas necesarios para el desarrollo de labores de preparación de suelo, siembra y cosecha; Enfocándose principalmente en el cálculo de la potencia que realmente se necesita (requerida) y la que realmente se dispone.

Con la implementación del aplicativo, el usuario podría trabajar los implementos y el equipo tractor en mejores condiciones, permitiendo mejorar el rendimiento del conjunto equipo-tractor-suelo, bajo diferentes condiciones de trabajo, aportando una herramienta importante en el área de mecanización agrícola.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

This degree project describes the creation of an interactive tool that allows calculating the power requirements of the different implements and agricultural machinery that are essential to carry out the mechanized work of a crop, in addition to the creation and use of a data base. data with updated information on tractors and agricultural implements that, through the use of programming, can be analyzed by the developed application.

The application is programmed in such a way that the user can handle it intuitively, making use of a design specifically created for it, with colors and logos that allow its identification in the market.

The practical calculations of the software are divided into three (3) main sections: Section (1) complete analysis of the production system, jointly analyzes sections (2) calculation of power available by the tractor equipment and (3) calculation of the power required by the tractor to operate with a selected implement, allowing to analyze the necessary agricultural implements for the development of soil preparation, planting and harvesting tasks; Focusing mainly on the calculation of the power that is really needed (required) and the one that is actually available.

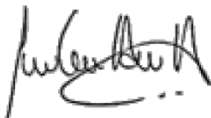
	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					   	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO					SC 7384-1 SA-CERIE 587526 OS-CER 597555	
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	4 de 4

With the implementation of the application, the user could work the implements and the tractor equipment in better conditions, allowing to improve the performance of the equipment-tractor-soil set, under different working conditions, providing an important tool in the area of agricultural mechanization.

APROBACION DE LA TESIS

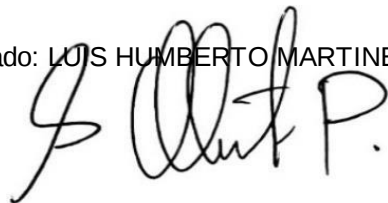
Nombre Jurado: JUAN GONZALO ARDILA MARIN

Firma:



Nombre Jurado: LUIS HUMBERTO MARTINEZ PALMETH

Firma:



DESARROLLO DE UN APLICATIVO SOFTWARE PARA EL CÁLCULO DE REQUERIMIENTOS DE POTENCIA EN EQUIPOS Y MAQUINARIA AGRÍCOLA.

Trabajo de grado presentado al departamento de Ingeniería Agrícola
como requisito para optar al título de: Ingeniero Agrícola

Autor

Jhon Alejandro Cedeño Alvira: 20161144828

Director:

Msc. John Jairo Arévalo Hernández

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Agrícola

Neiva, Huila, Colombia. 2023

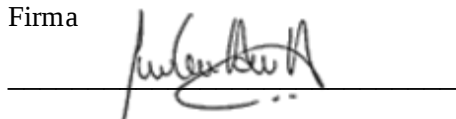
Firma



Director: Msc. John Jairo Arévalo Hernández

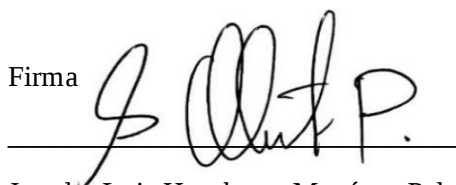
Nota de aceptación

Firma



Jurado: Juan Gonzalo Ardila Marín

Firma



Jurado: Luis Humberto Martínez Palmet

Tabla de Contenido

1. INTRODUCCIÓN	6
2. MATERIALES Y MÉTODOS	8
2.1. Identidad del Aplicativo.....	8
2.2. Revisión De La Literatura	8
2.3. Procedimiento.....	10
2.3.1. SELECCIÓN DE PROGRAMAS BASE	10
2.3.2. CARACTERÍSTICAS ESPECIALES	10
2.3.3. PROGRAMACIÓN DEL APLICATIVO	12
• Apartado 2: Cálculo de potencia disponible por el equipo tractor:	13
• Apartado 3: Cálculo de potencia requerida por el implemento:.....	16
• Apartado 1: Análisis completo del sistema productivo.....	21
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
3.1. Validación del software.....	25
3.1.1. VALIDACION 1	25
3.1.2. VALIDACION 2	26
3.1.3. VALIDACION 3	27
4. CONCLUSIONES	29
5. AGRADECIMIENTOS	30
6. REFERENCIAS	30

Lista de Imágenes

IMAGEN 1. Creación de proyecto tipo aplicación de Windows Form.	11
IMAGEN 2. Diseño de portada introductoria.....	12
IMAGEN 3. Algoritmo menú de registro.	13
IMAGEN 4. Algoritmo de cálculo de Potencia Disponible (tractor)	14
IMAGEN 5. Implementos evaluados por el aplicativo.	17
IMAGEN 6. Gráfica para determinar coeficiente de labranza.....	19
IMAGEN 7. Algoritmo de cálculo de Potencia Requerida (implemento)	20
IMAGEN 8. Diagrama de tablas relacionadas en la Base de datos.	21
IMAGEN 9. Algoritmo de análisis completo para el sistema productivo.	23
IMAGEN 10. Logo y marca del aplicativo.....	23
IMAGEN 11. Interfaz del instalador.	24
IMAGEN 12. Registro en base de datos de tractores e implementos.....	25
IMAGEN 13. Resultado de prueba de validación 1.	26
IMAGEN 14. Resultado de prueba de validación 2.	27
IMAGEN 15. Resultado de prueba de validación 3.	28

Lista de Ecuaciones

<i>Perdida por atlitud</i>	(1).....	14
<i>Perdida por temperatura</i>	(2).....	15
<i>Perdida por rodamiento</i>	(3).....	15
<i>Esfuerzo de tracción (F)</i>	(4).....	17
<i>Resistencia del suelo y cultivo (Rsc)</i>	(5).....	18
<i>Resistencia de rodadura (Rr)</i>	(6).....	18
<i>Coefiente de resistencia rodadura (Crr)</i>	(7).....	18
<i>Unidad de Traccion</i>	(8).....	19
<i>Potencia requerida BDT CV</i>	(9).....	25
<i>Equivalencia CV = HP</i>	(10).....	26

Lista de Tablas

TABLA 1. Tabla comparativa entre Explomaq, Plamheagri y Maquinar	9
TABLA 2. determinación de coeficiente de resistencia.....	16
TABLA 3. Coeficiente de suelo para cálculo de resistencia a rodadura.	18
TABLA 4. Tabla de resumen comparativa entre resultados bibliográficos y resultados del aplicativo MAQUINAR	29

DESARROLLO DE UN APLICATIVO SOFTWARE PARA EL CÁLCULO DE REQUERIMIENTOS DE POTENCIA EN EQUIPOS Y MAQUINARIA AGRÍCOLA.

RESUMEN

El proyecto tiene como finalidad crear una herramienta interactiva que permita calcular los requerimientos de potencia de los diferentes implementos y maquinarias agrícolas que son imprescindibles para desarrollar las labores mecanizadas de un cultivo, además de desarrollar y hacer uso de una base de datos con información actualizada sobre tractores e implementos agrícolas que, mediante el uso de programación puedan analizarse por el aplicativo.

El aplicativo esta desarrollado de tal forma que el usuario pueda manejarlo de manera intuitiva, haciendo uso de un diseño específicamente creado para este, con colores y logos que permitan su identificación en el mercado.

Los cálculos prácticos del software se dividen en tres (3) apartados principales : El apartado (1) análisis completo del sistema de producción, analiza en conjunto los apartados (2) y (3), enfocados en el desarrollo del sistema productivo, incluyendo variables del terreno como el área, pendiente, tipo y condición del suelo; variables de la zona como altitud, temperatura, patinamiento y variables de la maquinaria como marca, modelo, tipo, peso, dimensiones, potencia y velocidad de operación.

El apartado (2), calcula la potencia disponible por el tractor en la toma de fuerza (TDF) y en la barra de tiro (BDT), ajustada a las condiciones de trabajo, basado en las diferentes pérdidas por temperatura, patinamiento, transmisión, altitud y rodamiento; y finalmente, el apartado (3), calcula la potencia requerida por el tractor para operar con el implemento seleccionado en las condiciones de trabajo anteriormente mencionadas, este apartado permite analizar los implementos agrícolas necesarios para la preparación del suelo, como también en las labores de; siembra, abonado, aporque y cosecha.

La importancia del software radica en el cálculo de la potencia que realmente se necesita (requerida) y la que realmente se dispone, debido a que, con la implementación del aplicativo, los implementos y el equipo tractor podrían trabajar en mejores condiciones, permitiendo evitar daños y reduciendo así, los costos de mantenimiento y combustible de la maquinaria. Por lo tanto, el software podría ayudar a optimizar el rendimiento del conjunto equipo-tractor-suelo, bajo diferentes condiciones de trabajo, aportando una herramienta importante en el área de mecanización agrícola.

Palabras clave: Cálculo de potencia, desarrollo de software, maquinaria agrícola, mecanización.

ABSTRACT

The purpose of the project is to create an interactive tool that allows calculating the power requirements of the different agricultural implements and machinery that are essential to develop

the mechanized work of a crop, in addition to developing and making use of a database with updated information on tractors and agricultural implements that, through the use of programming, can be analyzed by the application.

The application is developed in such a way that the user can handle it intuitively, making use of a design specifically created for it, with colors and logos that allow its identification in the market. The practical calculations of the software are divided into three (3) main sections: Section (1) complete analysis of the production system, jointly analyzes sections (2) and (3), focused on the development of the productive system, including variables of the land such as the area, slope, type and condition of the soil; area variables such as altitude, temperature, slippage and machinery variables such as brand, model, type, weight, dimensions, power and operating speed.

Section (2) calculates the power available by the tractor in the power take-off (PTO) and in the drawbar (BDT), adjusted to the working conditions, based on the different losses due to temperature, slippage, transmission, altitude and bearing; and finally, section (3), calculates the power required by the tractor to operate with the selected implement in the previously mentioned working conditions, this section allows analyzing the necessary agricultural implements for soil preparation, as well as in the work of ; sowing, fertilizing, hilling and harvesting.

The importance of the software lies in the calculation of the power that is really needed (required) and the one that is actually available, because, with the implementation of the application, the implements and the tractor equipment could work in better conditions, allowing to avoid damages. and thus, reducing the maintenance and fuel costs of the machinery. Therefore, the software could help to optimize the performance of the equipment-tractor-soil set, under different working conditions, providing an important tool in the area of agricultural mechanization.

Keywords: Power calculation, software development, agricultural machinery, mechanization

1. INTRODUCCIÓN

El sector agrícola en el país es uno de los sectores que mayores aportaciones tiene en la economía de Colombia; indicando según (DANE, 2022) que, en el segundo trimestre del año 2022, se presentó un crecimiento de un 1% con respecto al mismo periodo del año anterior, incidiendo directamente en las condiciones de vida de la población rural, y siendo la principal fuente para proveer alimentos para el consumo de la población en general. Ahora bien, para garantizar la seguridad alimentaria es necesario aumentar la productividad de este sector mediante prácticas de industrialización y uso de herramientas tecnológicas que mejoren el panorama actual. Para ello, es de suma importancia orientar la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación, hacia la generación de nuevos conocimientos científicos que puedan aplicarse en la práctica para hacer frente a los retos que se presenten (Torregroza & Ruiz, 2018).

Según (Ashburner & Sims, 1984), la mecanización en la agricultura no es algo novedoso, debido a que la historia muestra que el ser humano comenzó fabricando utensilios y herramientas manuales, luego pasó a implementar dichas herramientas con ayuda de la tracción animal y posteriormente con la revolución industrial y el desarrollo de los motores de combustión interna, estas labores se hicieron más eficientes. De esta forma, la dinámica de la agricultura ha estado

expuesta desde su surgimiento, a constantes cambios debido a la variedad de inventos, adopciones, adaptaciones e innovaciones de las tecnologías hechas por el hombre con la finalidad de mejorar la productividad (Ortiz, et al., 2016).

(Díaz & Pérez, 2007), indican que la relación entre la mecanización agrícola y los recursos naturales se deberían ver como un sistema integrado, donde la máquina interactúa con cada recurso y a la vez, entre los recursos y donde la contaminación de uno afecta al otro, como la interrelación entre los conjuntos maquinaria, aire, agua y suelo; Refutado de igual forma por (Hunt, 1991), donde expone que la maquinaria como unidad energética para el trabajo agrícola, produce un impacto negativo sobre el entorno ambiental, sobre los suelos, las aguas y la atmósfera. Por ello, desde organizaciones internacionales como la (FAO), (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2018) se ha mencionado que se puede garantizar el desarrollo de sistemas agrícolas sostenibles, por medio de la mecanización sostenible reconocida como “la práctica de introducir maquinaria adecuada a los agricultores para asegurar que su producción no sólo sea ambientalmente sostenible, sino también más eficiente” (Fuentes, 2017).

El uso de la tecnología por medio de la mecanización brinda herramientas para que las labores sean mucho más rápidas y confiables, velando por la conservación de los suelos y por mejorar la rentabilidad, así, como mejorar los procesos requeridos en los cultivos, por lo que escoger la maquinaria y herramientas adecuadas para cada condición de trabajo es tan importante, (Cortés, et al., 2009). Sin embargo, a la hora de determinar los implementos y maquinas agrícolas adecuadas, surgen múltiples variables en las que intervienen, el suelo, el cultivo, las condiciones climáticas y la maquinaria, que según (Orbe & Plaza, 1988) son, la topografía del terreno, altitud, temperatura, condiciones del suelo, la capacidad y potencia de la maquinaria agrícola, variables que hacen que el proceso de selección sea muy engorroso.

Por lo anterior, conocer la potencia que verdaderamente el equipo tractor dispone para operar un implemento de manera adecuada, permite evitar daños tanto en la maquinaria, como en los cultivos, que finalmente repercute en costos adicionales y pérdidas al agricultor. De hecho, un estudio realizado sobre la potencia en máquinas agrícolas; específicamente en tractores, concluye que, es de gran importancia conocer, además de las características de la máquina, la adecuada operación y mantenimiento según las condiciones en las que se utiliza, pues, ante diferentes tipos de terreno, la potencia demandada de un tractor puede variar. Así mismo, expone el autor, que la utilización correcta de la potencia es uno de los campos menos analizados por el agricultor y los técnicos, recomendando entonces realizar estudios periódicos de las necesidades de potencia de los diferentes cultivos, (Chaparro, 1995).

(Díaz & Pérez, 2007) y (Murcia, et al., 2006), afirman que los daños ambientales como la degradación del suelo, contaminación del agua, contaminación atmosférica y costos por reparación, mantenimiento, combustible e imprevistos, pueden reducirse si se selecciona y usa mejor la maquinaria agrícola. (Díaz, 2018), justifica que uno de los principales problemas que se presentan dentro de los sistemas de producción agropecuarios, es el escaso desarrollo tecnológico mediante aplicaciones informáticas ya sean en línea, móviles o de escritorio, que puedan servir de apoyo para la toma de decisiones por los agricultores y que contribuya a mejorar sus producciones, optimizar los procesos y hacerlos más eficientes y sustentables.

Una de las primeras innovaciones en esta materia se desarrolló en la Universidad de Sucre, específicamente en el área de ingeniería agrícola, donde se presentó en la modalidad de trabajo de grado, un Software, llamado SOPLAGRI, con un enfoque hacia a la selección y proceso de planificación de maquinaria y herramientas agrícolas. Posteriormente, se desarrolló PLAMHEAGRI, enfocado de igual forma en el proceso de planificación de maquinaria agrícola, pero implementando una base de datos y una interfaz adecuada a su tiempo, (Estrada Pérez, 2006). De igual forma, en 2013 se presentó a la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (Cuba), EXPLOMAQ, software para la evaluación energética y económica de la maquinaria agrícola, (Pereira Marin, et al., 2013). Además, se realizó una publicación sobre el mismo ante la Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, (2015).

(Villalobos, 2018) ratifica que es fundamental la utilización de nuevas estrategias que mejoren los procesos de administración de los cultivos en el campo colombiano, permitiendo explotar el potencial agrícola del país.

Por lo anterior, la ejecución del presente proyecto tiene como objetivo desarrollar una herramienta tecnológica, que permita determinar los requerimientos de potencia de los diferentes implementos y maquinarias agrícolas, calculando las diferentes pérdidas de potencia según la zona de trabajo, el tipo de suelo y maquinaria, que determine la potencia disponible por el equipo de tracción, además, que permita calcular los requerimientos de potencia del implemento a evaluar, que brinde información al usuario sobre las mejores condiciones de trabajo y especificaciones técnicas de tractores y herramientas compatibles, que posea una interfaz gráfica fácil de manejar, orientada a brindar el mejor servicio al usuario, con información clara y concisa, fácil de interpretar y que se pueda administrar desde la casa u oficina en un computador con un sistema operativo Windows, que pueda servir como base para la selección y dimensionamiento de maquinaria e implementos agrícolas y que contribuya al manejo armónico entre suelo, implemento y tractor.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Identidad del Aplicativo

(Hoyos, 2016), afirma que la acción de colocar un nombre al producto, diseñar un logo, símbolo llamativo y exponer a la marca de manera permanente al consumidor a través de los medios de comunicación, hoy en día se define como branding, donde se orienta a capturar la esencia de una oferta (producto), trabajar a fondo una personalidad diferente y conectar a un nivel emocional con la marca en cuestión, dota de cierta magia a la marca, haciéndola más atractiva al usuario.

La relación directa que se pretende crear entre el aplicativo y la rama de la mecanización agrícola es la base para el desarrollo de la identidad de este, en la que se busca que el nombre asocie procesos de cálculo, trabajo e integre conceptos como maquinaria.

2.2. Revisión De La Literatura

Para el desarrollo del proyecto se inició recolectando toda la información referente posible, sobre proyectos realizados anteriormente donde se encontraron tesis de grado como SOPLAGRI y

PLAMHEAGRI (Estrada Pérez, 2006), EXPLوماQ (Pereira Marin, et al., 2013) modelos de programación de aplicativos, manejo de herramientas de cálculo, lenguajes de programación y sistemas de base de datos, como desarrollo de C# con Visual Studio y Guía de programación de C# y C# 7: Desarrollo de aplicaciones Windows con Visual Studio 2017 (Hugon, 2018).

Con base en esto se creó la tabla 1, en la cual se puede contrastar la información, variables y funcionalidades de 2 aplicativos desarrollados en el ámbito de maquinaria agrícola mencionados anteriormente (EXPLوماQ y PLAMHEAGRI), versus MAQUINAR.

Además se realizaron consultas teóricas y desarrollos prácticos de cálculos de potencia en Toma de Fuerza y Barra de Tiro en tractores agrícolas y conceptualización general en administración y maquinaria agrícola como administración de maquinaria agrícola (Álvarez Cardona, 2004).

TABLA 1. Tabla comparativa entre Explوماq, Plamheagri y Maquinar

ANÁLISIS DE TABLA COMPARATIVA ENTRE EXPLOMAQ, PLAMHEAGRI Y MAQUINAR			
	EXPLOMAQ	PLAMHEAGRI	MAQUINAR
OBJETIVO	Software para la evaluación energética y económica de la maquinaria agrícola	Software para la planificación de maquinaria y herramienta agrícola	Software para el cálculo de requerimientos de potencia en equipos y maquinaria agrícola
LENGUAJE DE PROGRAMACION	Visual Basic	Visual Basic	C#
MOTOR DE PROGRAMACION	Visual Studio 6.0	Visual Studio	Visual Studio 2022
MOTOR DE BASE DE DATOS	N/A	Microsoft Access	Microsoft SQL Server
EJECUTABLE	Portable	Instalador	Instalador conjunto
VENTANA DE REGISTRO	N/A	SI	SI
ANÁLISIS DE CULTIVO	N/A	SI	N/A
CARACTERÍSTICAS DE TERRENO	N/A	SI	SI
ANÁLISIS DE TRACTOR			
TRACTOR	Tractor	Según marca	Según marca
		Según modelo	Según modelo
ANÁLISIS DE LABORES			
PRELABRANZA	N/A	Corta maleza	N/A
		Desbrozadora	
LABRANZA PRIMARIA	Arado	Arado de discos	Arado de discos
		Arado cincel	Arado cincel
		Arado rotativo	Arado de vertedera
		Rastra arado	Subsolador
LABRANZA SECUNDARIA	N/A	Rastra	Cultivador de campo
			Niveladora
		Arado rotativo	Rastra de doble acción
			Rastra de tiro excéntrico
			Rolo
ABONADO	N/A	Abonadora	N/A
SIEMBRA	N/A	Sembradora	Sembradora de grano fino Sembradora de grano grueso
COSECHA	N/A	Cosechadora	Segadora
FUNCIONALIDAD			
CÁLCULO DE PERDIDAS DE POTENCIA	SI	SI	SI
CÁLCULO DE POTENCIA DISPONIBLE EN TRACTOR	SI	SI	SI

	EXPLORAMAQ	PLAMHEAGRI	MAQUINAR
CALCULO DE POTENCIA REQUERIDA POR IMPLEMENTO	SI	SI	SI
CALCULO DE POTENCIA REQUERIDA POR IMPLEMENTO Y DISPONIBLE POR TRACTOR EN CONJUNTO	N/A	N/A	SI
CALCULO DE EFICIENCIA (hectáreas/hora)	N/A	SI	N/A
PLANIFICACION GRAFICA DE LABORES (CALENDARIO)	N/A	SI	N/A
EVALUACION ECONOMICA	SI	N/A	N/A
MENSAJES EMERGENTES	SI	SI	SI
REGISTRO Y GUARDADO DE PROYECTOS	N/A	SI	SI
MODIFICACION DE PARAMETROS POR USUARIO	SI	SI	SI
INTERFASE GRAFICA	SI	SI	SI

2.3.Procedimiento

2.3.1. SELECCIÓN DE PROGRAMAS BASE

Posterior a la recolección de información básica, se seleccionaron los programas motores tanto para la programación del aplicativo como para el manejo de la base de datos.

- Microsoft Visual Studio (Professional 2022 (64 bits))

Basado en la conferencia internacional N 23 sobre análisis, evolución y reingeniería de software (SANER) en la investigación presentada por (Amann, et al., 2016) en la que se evaluó el entorno de desarrollo integrado (IDE) de Microsoft Visual Studio, enfatizándose en el tiempo de programación utilizado por diferentes programadores profesionales, realizando una comparación con diferentes entornos y determinando la usabilidad del entorno frente a los demás y otras investigaciones, se escogió este entorno de desarrollo como base para la programación y ejecución del proyecto propuesto en el presente documento.

- Microsoft SQL Server

De igual forma se eligió el motor de base de datos de SQL Server, debido a que según (Liu & Özsu, 2009) es el lenguaje de consulta de base de datos más utilizado en el mundo, además que permite la conexión con otros programas para el manejo de la información, este punto fue el que más llamó la atención debido a las necesidades del aplicativo.

2.3.2. CARACTERÍSTICAS ESPECIALES

Luego que se tuvo claro sobre qué bases se iba a trabajar, se determinaron las características especiales del aplicativo, funciones, ecuaciones y entorno visual.

Posterior al análisis de la información referente al proceso de cálculo, para determinación de los requerimientos de potencia en maquinaria agrícola, se optó por subdividir los procesos de cálculo, generando más versatilidad al aplicativo.

Esta subdivisión, permite analizar independientemente, tanto el equipo tractor, como los diferentes implementos incorporados en la base de datos del aplicativo; además, de permitir analizar el tractor e implemento trabajando en conjunto, determinando la potencia necesaria por el implemento y la disponible por el equipo tractor.

El aplicativo al programarse desde cero, debía contar claramente con funciones características de ventanas de Windows, como maximizar, minimizar, desplazar y cerrar, mejorando el manejo de este y generando ante el usuario comodidad al implementar funciones con las cuales el usuario ya está familiarizado.

Además de las funciones básicas, era importante generar la identidad del aplicativo, manejando una paleta de colores que sería característica de este, implementando un logo y nombre que lo diferenciara.

Se determinó el tipo de proyecto a implementar, escogiendo entre las plantillas disponibles por Visual Studio, Aplicación de Windows Form, la cual permite generar un enfoque visual y práctico, al crear “formularios” en forma de ventanas y permitiendo el uso del lenguaje de programación escogido que por términos prácticos fue C#.

La imagen 1, muestra la interfaz de trabajo del programa Visual Studio, donde se observan diferentes tipos de proyectos que se pueden seleccionar, y el lenguaje de programación que manejan los mismos.

Además de lo mencionado anteriormente, las aplicaciones basadas en formularios de Windows permiten la creación de múltiples formularios que se pueden trabajar en simultaneo y mediante uso de programación de código se puede manejar y abrir formularios dentro de otro.

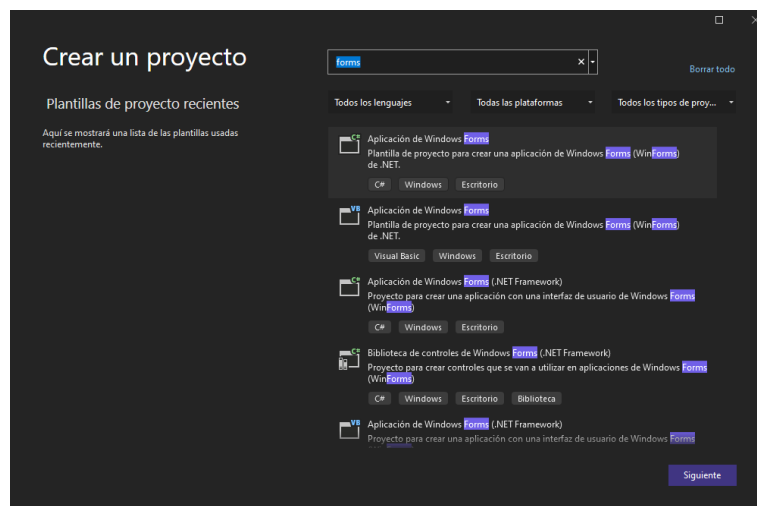


IMAGEN 1. Creación de proyecto tipo aplicación de Windows Form.

Posteriormente, se creó una ventana de precarga tipo portada, que se puede apreciar en la imagen 2, la cual permitiría al aplicativo testear la conexión con la base de datos mejorando el rendimiento de este luego del inicio real del software, en esta ventana de precarga se agregó una introducción al aplicativo, implementando la paleta de colores relacionada y logos característicos.

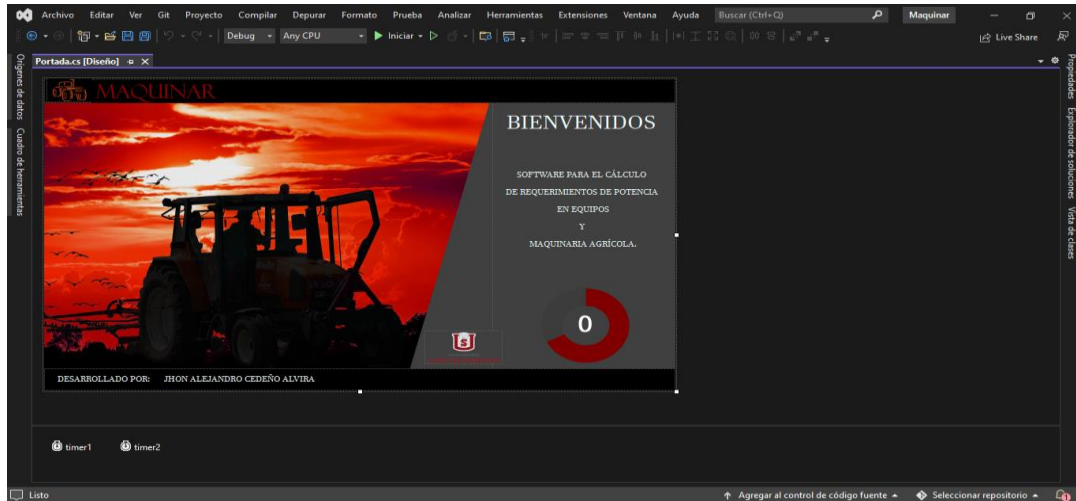


IMAGEN 2. Diseño de portada introductoria.

Esta ventana cuenta además con funciones de transparencia y temporizadores, los cuales permiten que el formulario aparezca y desaparezca automáticamente ante el usuario.

2.3.3. PROGRAMACIÓN DEL APLICATIVO

El software fue programado para trabajar con unidades del sistema internacional y mostrar en las ventanas solo dos cifras significativas, pero la base de datos puede guardar hasta 32 caracteres por variable, permitiéndole al aplicativo manejar un alto nivel de exactitud en los procesos de cálculo.

Posterior a la precarga de la ventana de portada, aparece la ventana menú, en la cual se habilitan las opciones de registro y control de versiones anteriores.

La imagen 3, muestra el algoritmo de la primera etapa del aplicativo, considerada como menú de registro, en el cual se pueden escoger dos opciones, (proyecto nuevo o proyecto existente); Escogiendo la opción de proyecto nuevo, se solicitan variables de registro como lo son, nombre del proyecto, propietario y localización, posterior a esto surge una ventana lateral, la cual permite escoger entre los tres tipos de proyecto, (Análisis Completo, Cálculo de Potencia Disponible y Cálculo de Potencia Requerida); Al presionar sobre cada tipo de proyecto se despliega un mensaje explicativo, esto ejecutará un algoritmo diferente generando una nueva ventana que contendrá características especiales según el tipo de proyecto.

Al escoger la opción de abrir proyecto existente, se despliega una tabla en la que se reflejan los proyectos guardados en la base de datos, permitiendo al usuario escoger entre estos y posteriormente abrir, modificar o eliminar el proyecto seleccionado.

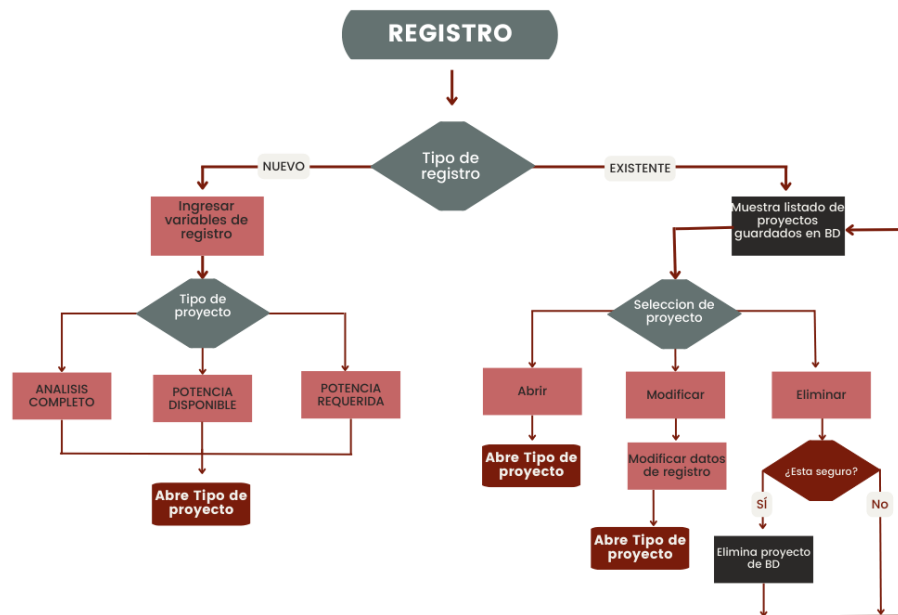


IMAGEN 3. Algoritmo menú de registro.

Fue importante identificar las variables que evaluaría el aplicativo, sabiendo que la mecanización agrícola busca la armonización entre suelo, tractor e implemento, se determinaron las variables requeridas, como las características del suelo y condiciones de la zona, variables del tractor, así como las características de este, peso, potencia, rodadura y variables del implemento como ancho operativo, tiro y peso. Además, a este conjunto de variables se agregan las variables propias del terreno y cultivo, teniendo como variable fundamental la velocidad de operación, esta variable fue requerida para la gran mayoría de las ecuaciones que utilizó el aplicativo.

- Apartado 2: Cálculo de potencia disponible por el equipo tractor:

Existen diferentes métodos para estimar la potencia en maquinaria agrícola, pero el énfasis de este apartado es determinar la potencia disponible por el equipo tractor, según las características especiales de este y de la zona de trabajo.

La imagen 4, muestra el algoritmo con los procesos y variables que utiliza el apartado de potencia disponible.

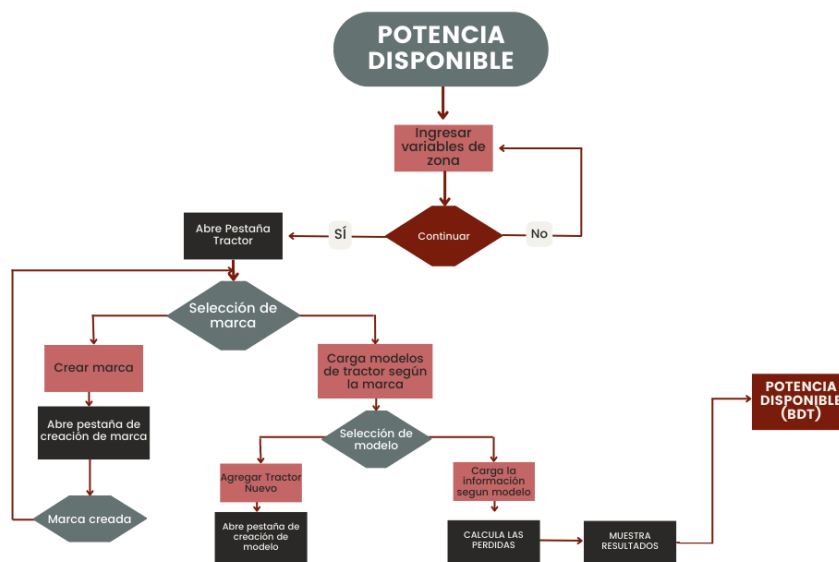


IMAGEN 4. Algoritmo de cálculo de Potencia Disponible (tractor)

Este apartado permite identificar según variables de zona como altitud, temperatura, patinamiento, transmisión y rodamiento, las pérdidas generadas por cada una de estas variables en el equipo tractor seleccionado; Estas variables afectan conjuntamente la potencia disponible por el tractor, basados en las siguientes condiciones:

1. Altitud:

(Lapuerta, et al., 2006), concluyen que la altitud disminuye notablemente la potencia indicada, y por tanto la efectiva, desarrollada por un motor de aspiración natural, en todo el rango de regímenes de giro de los tractores agrícolas.

Finalmente, en la ecuación (1), se infiere que por cada 300 m por encima del nivel del mar se pierde 1% de potencia.

$$Perdida\ por\ altitud\ (\%) = \frac{(Altitud\ de\ trabajo)}{300} \quad (1)$$

donde: Altitud de trabajo = (msnm).

2. Temperatura ambiente:

Según (Lapuerta, et al., 2006), en los motores de combustión interna, cuando la temperatura ambiente está por encima de 15°C se pierde 1% de potencia por cada 5°C que aumente la temperatura. Esto se puede reflejar en la ecuación (2).

$$Perdida\ por\ temperatura\ (\%) = \frac{(Temperatura\ ambiente)}{5} - 3 \quad (2)$$

donde: $Temperatura\ ambiente = (^{\circ}C)$.

3. Patinamiento:

Según (Gil, 2000), lo ideal para trabajar con el equipo tractor en campo es que el patinamiento esté entre 5 – 7%, valor que puede fluctuar debido a diferentes factores como lo son:

- Deterioro de las llantas
- Suelo muy húmedo
- Implemento inadecuado:
 - Alto ancho de trabajo
 - Mucho peso
 - Aumento de profundidad de trabajo

Basado en estos factores y el rango de patinamiento ideal del equipo tractor mencionado anteriormente, el usuario puede estimar el patinamiento e ingresarlo de forma manual al aplicativo.

4. Pérdida por transmisión mecánica:

Se estima que, según las condiciones de operación, trabajo y mantenimiento del equipo tractor, las pérdidas por transmisión mecánica oscilan entre un 10% y 13% de la potencia nominal del equipo.

Basado en estas premisas, el estado actual del equipo tractor y la vida útil del mismo, el usuario puede estimar el porcentaje de pérdidas generadas por transmisión e ingresarlo manualmente al aplicativo, el cual en la pestaña de resultados estima por defecto unas pérdidas del 13%, asumiendo las mayores pérdidas que pueden generarse por este factor, pero permitiendo al usuario su manipulación entre los parámetros estimados.

5. Resistencia al rodamiento, con pendiente:

Para calcular la potencia perdida por rodamiento en la ecuación (3), es necesario tener en cuenta la pendiente que presenta el terreno sobre el que se trabajará, la masa del equipo tractor que se quiere evaluar, y el coeficiente de resistencia al rodamiento, el cual tiene en cuenta el tipo de rodadura que utiliza el equipo tractor, además de, el tipo de superficie refiriéndose al suelo y sus condiciones, caracterizándolo en 5 tipos diferentes.

$$Perdida\ por\ rodamiento\ (cv) = \frac{[(\rho)(m)(\cos \alpha + m)(\sin \alpha)](velocidad)}{270} \quad (3)$$

donde: ρ = coeficiente de resistencia al rodamiento (tabla 2); m = masa del tractor (kg); α = ángulo de pendiente (°); velocidad (km/h)

La tabla 2, permite determinar según el tipo de superficie sobre la que se va a operar y el tipo de rodadura (llantas u orugas), el coeficiente de resistencia al rodamiento, variable requerida para el cálculo de las pérdidas por rodamiento mostrada en la ecuación (3).

TABLA 2. determinación de coeficiente de resistencia.

Tipo de superficie	Coeficiente Tractor llantas	Coeficiente Tractor orugas
Concreto	0,02 – 0,03	N/A
Carreteable	0,05	0,06
Suelo arcilloso húmedo	0,10	0,07
Suelo arcilloso seco	0,06 -0,08	0,07
Suelo limoso	0,20	0,10
Arena suelta seca	0,35	0,20

Fuente (Pérez, 2006)

Al conocer los diferentes factores por los cuales se pierde potencia en el equipo tractor, se consideraron cada uno de estos factores como variables solicitadas por el aplicativo, contenidas dentro de una ventana con el nombre “Condiciones de la zona”, al completar los campos referentes a las variables anteriormente mencionadas, y presionar un botón, se procede a seleccionar el equipo tractor a evaluar, esto dentro de otra ventana contenedora, enfatizando el uso de los equipos tractores almacenados en la base de datos, y permitiendo la búsqueda mediante dos variables (Marca y Modelo), estas contienen una lista desplegable con la información almacenada en la base de datos que al completarse, automáticamente rellenan los campos de Peso, Rodadura, Potencia. Además, carga las imágenes tanto de la marca como del modelo seleccionado.

Si el tractor que se desea evaluar no se encuentra almacenado dentro de la base de datos, se puede agregar uno nuevo al presionar un botón que muestra una ventana con los campos requeridos para el registro del tractor.

Luego de analizar la información del equipo tractor y de seleccionar continuar, se habilita la pestaña de resultados, la cual muestra los factores de pérdidas y la potencia residual por cada factor, suministrando finalmente la potencia disponible tanto en la toma de fuerza (TDF) como en la barra de tiro (BDT). Adicionalmente, se muestra el logo y fotografía del equipo tractor evaluado, junto con un resumen explicativo de la información suministrada.

- Apartado 3: Cálculo de potencia requerida por el implemento:

Así como es necesario conocer la potencia disponible por el equipo tractor, es igualmente importante conocer la potencia requerida al trabajar un implemento en específico. Este apartado contempla inicialmente el desglose de actividades que se pueden realizar en campo, siendo estas,

labranza primaria, labranza secundaria, siembra y cosecha, las labores que se van a evaluar con el aplicativo.

Según el tipo de labor escogida, el aplicativo mostrará una serie de implementos, los cuales son aptos para desarrollar dicha labor, cada implemento tiene una forma de cálculo, parámetros y variables diferentes a evaluar, por esta razón, luego de la selección de labores, se despliega una pestaña independiente por cada tipo de labor, conteniendo en su interior una subdivisión por implemento, tal como se muestra en la imagen 5.



IMAGEN 5. Implementos evaluados por el aplicativo.

La imagen 5, muestra los diferentes implementos que permite evaluar el aplicativo, separados por tipo de labor, donde en labranza primaria, se pueden analizar implementos como (arado de cincel, arado de disco, arado de vertedera, etc.), y así con cada labor diferente; En esta ventana el usuario puede escoger el implemento que desea analizar.

Según el tipo de implemento, el aplicativo solicitará información, sobre marca y modelo, para realizar una búsqueda interna en la base de datos. Al elegir la opción de búsqueda en base de datos y seleccionar un modelo en específico, el aplicativo autollenará los campos requeridos por el sistema, para el cálculo de la potencia requerida.

De no habilitar la opción de búsqueda en base de datos, se podrá ingresar la información manualmente, detallando marca y modelo del implemento para su registro en el aplicativo. Según el implemento se solicitará información sobre ancho de labor, velocidad de operación, profundidad de trabajo, tipo de suelo, número de discos o vertederas y diámetro de estos, para calcular el coeficiente de labranza, que a su vez finalmente determinará el esfuerzo de tracción, variable necesaria para calcular la potencia requerida en la barra de tiro.

- Esfuerzo de tracción (F):

La ecuación (4), permite calcular el esfuerzo de tracción.

$$F = R_{syc} + R_r \quad (4)$$

donde: F = Esfuerzo de tracción; R_{syc} = Resistencia de suelo y cultivo (kgf); R_r = Resistencia a la rodadura (kgf)

- Resistencia del suelo y cultivo (R_{syc}):

La ecuación (5) permite calcular la fuerza resultante, paralela a la dirección de avance, requerida por una maquina o implemento para su tracción o movimiento, denominada Resistencia de suelo y cultivo.

$$R_{syc} = (\text{Tracción requerida por unidad})(\text{ancho de labor}) \quad (5)$$

donde: Tracción requerida por unidad (kgf/m); ancho de labor (m)

- Resistencia de rodadura (R_r):

La ecuación (6) permite calcular la fuerza paralela a la dirección de avance, requerida por el tractor o implemento para su movilización o transporte sobre la superficie del suelo, denominada resistencia de rodadura.

$$R_r = (\text{coeficiente de resistencia rodadura})(\text{peso total de la maquina}) \quad (6)$$

donde: peso total de la maquina (kgf)

- Coeficiente de resistencia rodadura (C_{rr})

La ecuación (7) permite calcular el coeficiente de rodadura como se muestra a continuación.

$$C_{rr} = (1.2/C_n) + 0.04 \quad (7)$$

donde: C_n = coeficiente según tipo de suelo (tabla 3), en función de la resistencia a la penetración del suelo, la geometría de la rueda y la carga normal soportada por el suelo.

TABLA 3. Coeficiente de suelo para cálculo de resistencia a rodadura.

Tipo de suelo	Valor del C_n
Suelo duro –concreto	50
Suelo firme – pastura	30
Suelo labrado – franco	20
Suelo suelto - arenoso	15

Fuente (Chaparro, 1995)

Las variables mencionadas anteriormente como el esfuerzo de tracción, resistencia de suelo y cultivo, además de la resistencia de rodadura son variables que, según la información suministrada por el usuario como lo son el tiro, ancho de labor, peso del equipo tractor y tipo de suelo, el aplicativo calcula internamente y muestra en la pestaña resultados como perdidas por rodamiento.

Existen implementos como el arado de cincel, en labranza primaria, los cuales sólo requieren variables como el ancho de labor, velocidad de operación y tiro, que, al buscar el implemento dentro de la base de datos, automáticamente llenará la variable de ancho de labor y al introducir la velocidad de operación, calculará el tiro recomendado para ese tipo de implemento, determinando así, el esfuerzo de tracción y la potencia requerida por el mismo. A su vez existen implementos como el arado de Vertederas o Discos, que requieren un cálculo adicional para determinar el esfuerzo de tracción o tiro requerido para operar el implemento, este cálculo se realiza con la ecuación (8).

$$F = (\text{Ancho de labor})(\text{Profundidad de trabajo})(\text{Coeficiente de labranza}) \quad (8)$$

donde: Ancho de labor (cm); Profundidad de trabajo (cm); Coeficiente de labranza (kgf/cm²)

Adicionalmente, se requiere determinar el coeficiente de labranza (CL), en el cual influyen variables de velocidad y tipo de suelo, para determinarlo mediante el uso de la gráfica representada en la imagen 6.

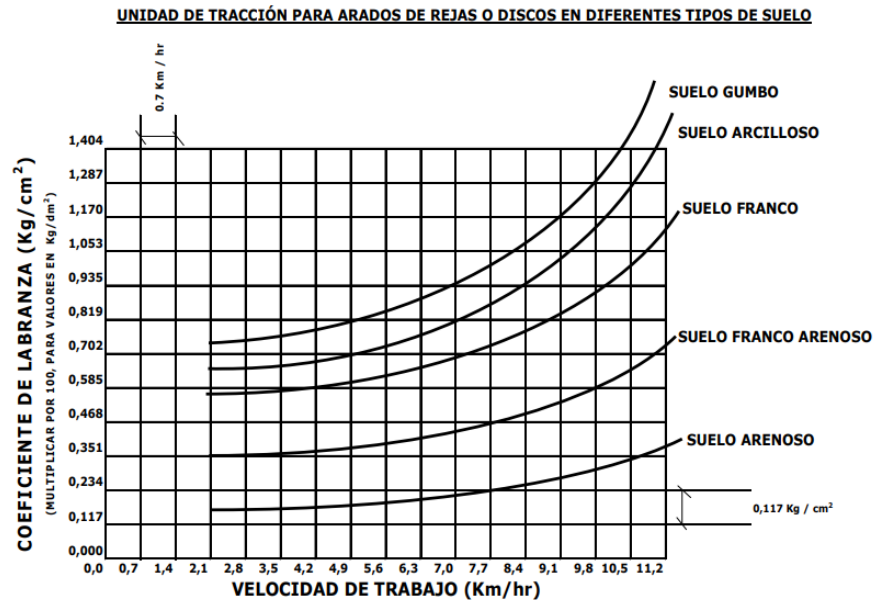


IMAGEN 6. Gráfica para determinar coeficiente de labranza.

Fuente (Ortiz Arévalo, 2009)

Para que el aplicativo lograra interpretar los datos de la gráfica y calcular el coeficiente de labranza, se obtuvo la ecuación de cada curva según el tipo de suelo y como parámetro variable se utilizó la velocidad de operación del implemento.

Al completar los campos de las variables requeridas por el implemento, se podrá continuar con los resultados de potencia requerida, en donde se mostrará un resumen explicativo, que contendrá información sobre el tipo de implemento, marca y modelo escogido, indicando la potencia necesaria en la barra de tiro para operar en las condiciones de trabajo proporcionadas, las cuales se indicarán justo debajo de dicho texto. Adicionalmente, se mostrará en esta ventana la imagen del implemento evaluado y se podrá regresar al menú inicial del aplicativo al presionar el botón cerrar.

La imagen 7, muestra el proceso que ejecuta el aplicativo, para el cálculo del requerimiento de potencia para operar un implemento en particular; es importante recalcar que este apartado no evalúa implementos en conjunto, sólo permite evaluar un implemento por análisis. Adicional al algoritmo que se presenta en la imagen, es importante recalcar la conexión a la base de datos que se ejecuta en cada instancia de guardado, modificación y eliminado.

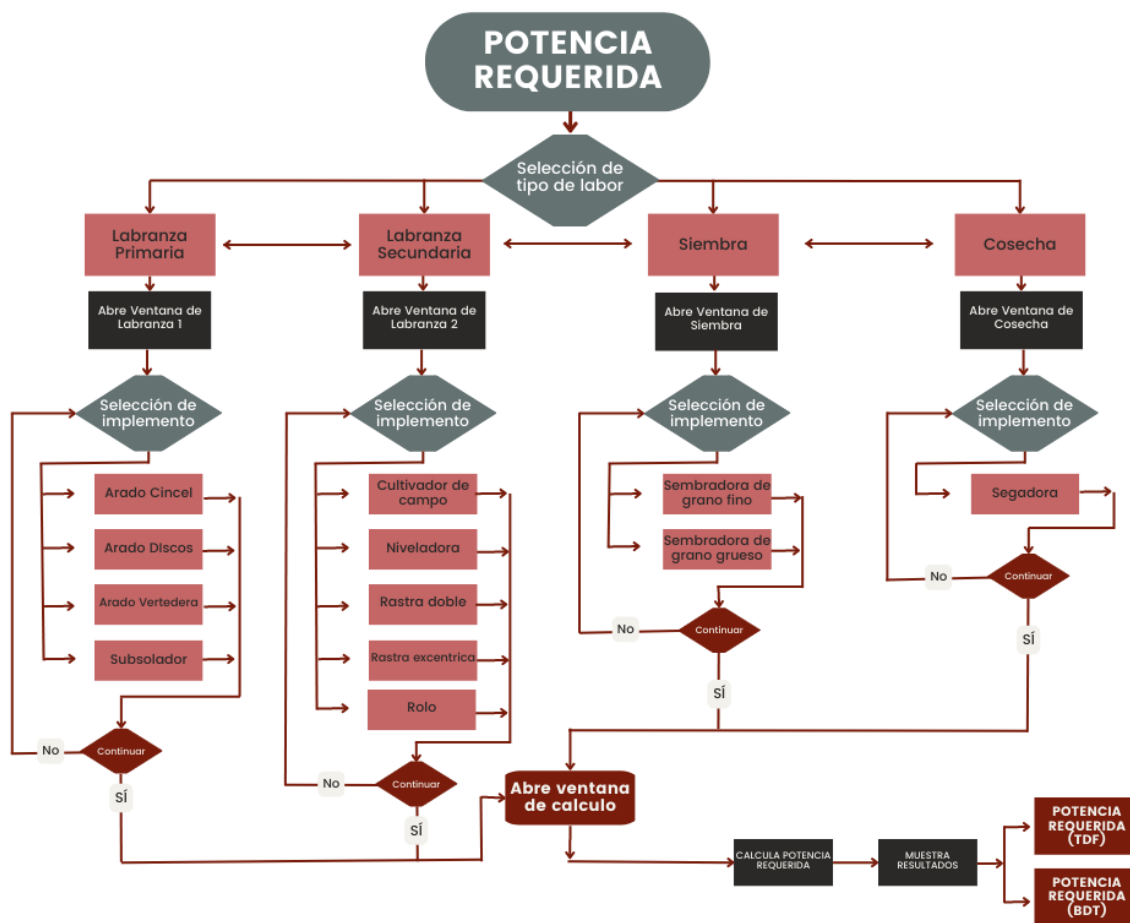


IMAGEN 7. Algoritmo de cálculo de Potencia Requerida (implemento)

Este algoritmo representa el funcionamiento del aplicativo, donde inicialmente nos permite escoger entre las diferentes labores agrícolas que permite evaluar el mismo, al escogerla, este despliega una ventana explicativa sobre la labor seleccionada y muestra los diferentes implementos que se pueden evaluar, al continuar aparecerá la ventana de cálculo según la labor seleccionada, donde se podrá seleccionar el implemento a evaluar y se solicitará información referente a este, posteriormente el aplicativo realizará los cálculos de esfuerzo de tracción para determinar la potencia necesaria para

operar el implemento seleccionado con las condiciones especificadas por el usuario y lo mostrará finalmente en la pestaña de resultados.

La programación de la conexión a la base de datos está estructurada como todo el aplicativo, en una programación orientada a objetos (POO), donde el código que permite dicha conexión se encuentra almacenado en una función, que posee más de 500 llamados. Esta función permite la reutilización de código, al separarlo por clases; cada vez que se requiera la utilización de una función almacenada, se hace el llamado a la tabla contenedora de información, la cual puede almacenar múltiples variables como se muestra en la imagen 8.

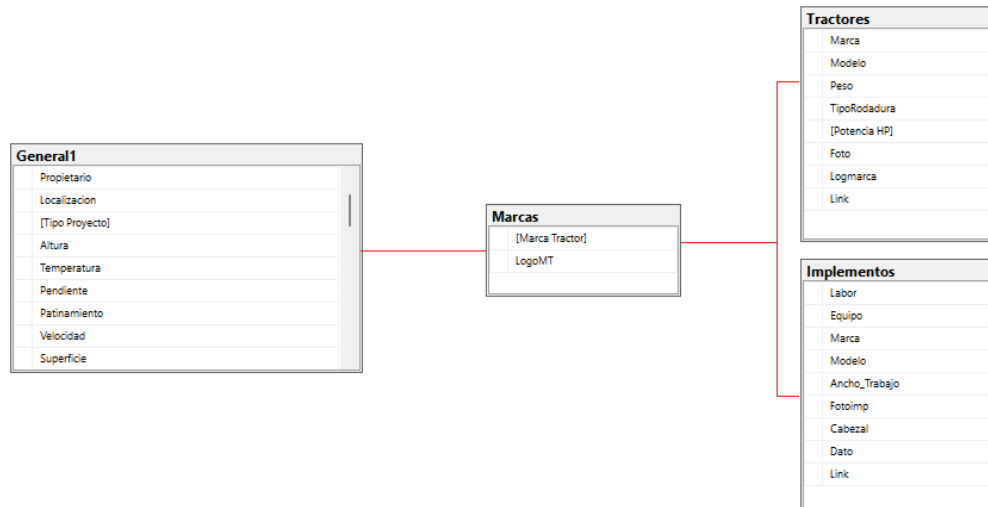


IMAGEN 8. Diagrama de tablas relacionadas en la Base de datos.

- **Apartado 1: Análisis completo del sistema productivo**

Como se ha mencionado anteriormente, este apartado evalúa el conjunto tractor/implemento, permitiendo así obtener un análisis completo a la hora de estimar la potencia realmente necesaria, para realizar las labores de campo.

Inicialmente contará con una versión similar a la utilizada en el apartado 2, de cálculo de potencia disponible, en donde se solicitará información adicional del registro del cultivo y el área trabajar, luego solicitará las condiciones de operación del tractor, como lo son la altitud, temperatura, pendiente del terreno, patinamiento, jornada de trabajo y superficie. Todo guardado y manejado directamente desde la base de datos.

Luego de completar los requerimientos solicitados en esta ventana, se mostrará la interfaz para seleccionar el equipo tractor, donde contará con las mismas funciones que esta ventana ofrece en el apartado 2, de cálculo de potencia disponible. Al seleccionar el tractor que se desea evaluar se procede a seleccionar las labores que se encuentran subdivididas en, labranza primaria, labranza secundaria, siembra y cosecha; estas labores al presionarlas despliegan una lista que contiene los implementos que se pueden evaluar en dicha labor y al seleccionarlos, se anexan a una lista de

verificación que se muestra en la pantalla, para tener claro realmente que implementos se desean evaluar.

Al verificar los implementos a evaluar, se procede a continuar con el análisis individual de cada implemento, separados por tipo de labor, en donde uno a uno se evaluarán los implementos escogidos, completando los campos de información requeridos. Finalmente se habilitará una pestaña resumen, la cual mostrará las pérdidas calculadas en el equipo tractor evaluado; a la derecha, en un apartado independiente se mostrará una tabla resumen que indicará el tipo de labor, el equipo, la marca, el modelo, la potencia requerida por el equipo tractor para trabajar dicho implemento en las condiciones de trabajo evaluadas y la potencia disponible por el equipo tractor; al seleccionar la celda de la tabla que contiene el implemento evaluado, se desplegará de igual forma un texto resumen con la información condensada, indicando finalmente si el equipo tractor cumple con la potencia requerida para operar el implemento.

Esta ventana resumen también contará con opciones cómo modificar el tractor escogido, abrir directamente el implemento seleccionado en la tabla resumen o eliminarlo completamente del análisis, al obtener la información solicitada, se podrá cerrar y volver al menú inicio.

La imagen 9, muestra el algoritmo utilizado por el apartado de análisis completo, en que se puede evidenciar que se agrupan los apartados 2 y 3 referentes a cálculo de potencia disponible por equipo tractor y cálculo de potencia requerida por implemento, respectivamente.

Al iniciar el algoritmo de análisis completo, se solicita información referente a condiciones de zona y selección del equipo tractor, variables que permiten ejecutar el algoritmo de cálculo de potencia disponible, posteriormente se despliega una ventana en la cual el usuario puede seleccionar múltiples implementos según las labores que permite evaluar el aplicativo, (labranza primaria, labranza secundaria, siembra y cosecha), al continuar, se adicionan a la ventana de trabajo múltiples pestañas según las labores seleccionadas, que contienen en su interior otra subdivisión de pestañas que permiten ir calculando la potencia requerida de cada uno de los implementos seleccionados siguiendo el orden de selección del usuario.

Al finalizar los cálculos del último implemento seleccionado por el usuario, se adiciona la pestaña de resultados, en la cual se muestran las pérdidas calculadas para el equipo tractor según las condiciones de zona suministradas inicialmente (pérdidas por altitud, temperatura, patinamiento y transmisión), y se despliega una tabla resumen que muestra todos los implementos seleccionados por el usuario con la información referente a los mismos y los resultados de la potencia requerida para operarlos dentro de los parámetros suministrados.

Adicionalmente el aplicativo cuenta con la funcionalidad de determinar mediante un código de color (rojo), si el equipo tractor seleccionado no cuenta con la potencia disponible que requiere el implemento, además de indicarlo textualmente en un pequeño párrafo que se despliega al seleccionar el implemento en la tabla resumen. De presentarse el caso que el tractor seleccionado no cumpla con la potencia disponible necesaria para operar el implemento, el usuario puede seleccionar un equipo tractor diferente, abrir la pestaña del implemento para modificar parámetros de operación o eliminar el implemento de la consulta.

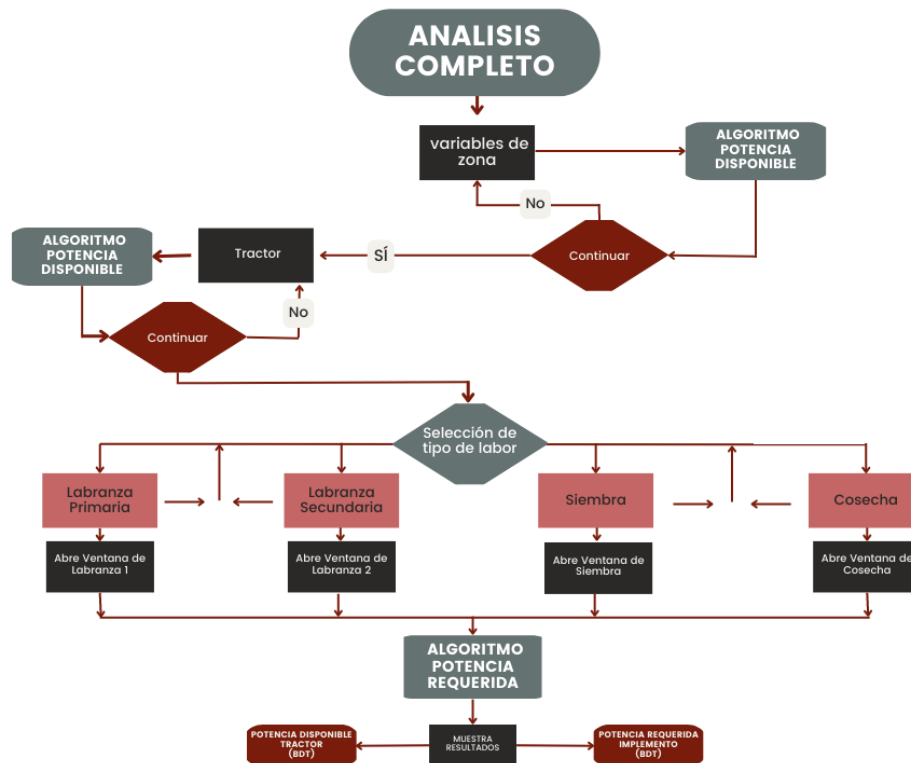


IMAGEN 9. Algoritmo de análisis completo para el sistema productivo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado, se desarrolló un aplicativo con el nombre “MAQUINAR”, el cual permite calcular los requerimientos de potencia, en equipos y maquinaria agrícola, permitiendo al usuario manejar y entender mejor la información suministrada, adaptándose específicamente a las condiciones de operación y equipos disponibles por el usuario; La imagen 10, muestra el nombre y logo del aplicativo desarrollado y descrito en este documento.



IMAGEN 10. Logo y marca del aplicativo.

El aplicativo se desarrolló con el lenguaje de programación de C#, mediante el (IDE) de Visual Studio donde se compilaron más de 30.147 líneas de código, agrupadas en 6 clases y 21 formularios de Windows, además de la implementación de base de datos en conexión con SQL Server, donde se creó una instancia contenedora con 4 tipos de tablas (tabla General, tabla Marcas, tabla Tractores y tabla Implementos), las cuales almacenan toda la información requerida y suministrada por el usuario para el óptimo funcionamiento del aplicativo.

Fruto de la programación en Visual Studio, se obtuvo un ejecutable (.exe) del aplicativo, y se optó por mejorarlo mediante la creación de un instalador completo, el cual contuviera tanto el ejecutable generado por Visual Studio, como el instalador de SQL, que a su vez luego de instalarlo, creará la base de datos “MAQUINAR” e implementará una interfaz visual atractiva al usuario, como se observa en la imagen 11.

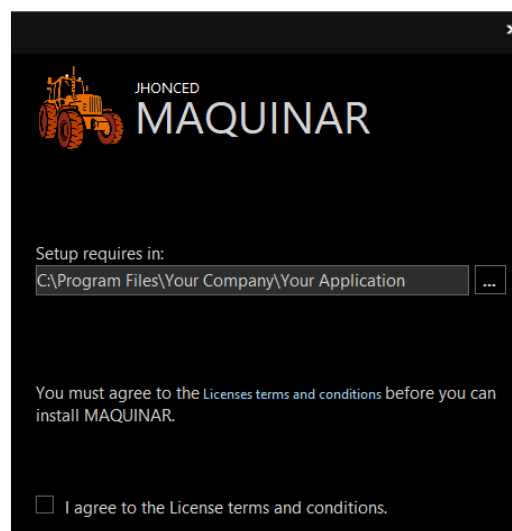


IMAGEN 11. Interfaz del instalador.

El avance fundamental de MAQUINAR frente a otros softwares desarrollados anteriormente como “PLAMHEAGRI” y “EXPLOMAQ”, se basa en el cálculo específico de la potencia disponible y requerida en las operaciones agrícolas, su análisis en conjunto y el uso de una extensa base de datos la cual se alimentó en todo el transcurso de programación del software. Contando con más de 50 equipos tractores catalogados en 6 marcas diferentes que se pueden encontrar en el mercado colombiano como “JOHN DEERE”, “KUBOTA”, “MASSEY FERGUSON”, “VALTRA”, “CASE” y “NEW HOLLAND”, y contando con más de 70 implementos subdivididos por tipo de labor y marcas.

La imagen 12, muestra los registros que se crean con la instalación del aplicativo, permitiéndole al software contar con una base de datos precargada con información puntual referente a tractores e implementos, para determinar los requerimientos y disponibilidad de potencia en estos, facilitando el manejo de la información dentro del aplicativo.

Marca	Modelo	Peso	TipoRodad...	Potencia ...	Foto	Log...	Link
JOHN DEERE	5055E	2745	Llantas 4WD	54.25	<Bi...	<Bin...	https://...
JOHN DEERE	5075E	2950	Llantas 4WD	73.98	<Bi...	<Bin...	https://...
JOHN DEERE	5075E - CAB	3320	Llantas 4WD	73.98	<Bi...	<Bin...	https://...
JOHN DEERE	5090E	3220	Llantas 4WD	88.77	<Bi...	<Bin...	https://...
JOHN DEERE	5090EH	3235	Llantas 4WD	88.77	<Bi...	<Bin...	https://...
JOHN DEERE	5036C	1775	Llantas 4WD	35	<Bi...	<Bin...	https://...
JOHN DEERE	5045D	1819	Llantas 2WD	55	<Bi...	<Bin...	https://...
JOHN DEERE	5065E	2300	Llantas 4WD	65	<Bi...	<Bin...	https://...
JOHN DEERE	6403-CAB	4300	Llantas 4WD	109	<Bi...	<Bin...	https://...
JOHN DEERE	6603	4490	Llantas 4WD	124	<Bi...	<Bin...	https://...

Labor	Equipo	Marca	Modelo	Ancho...	Fot...	C...	D...	Link
Labranza Prima...	Arado Cincel	MONTANA - R	AR03P	0.9	<Bin...	3	N...	http://www.ma...
Labranza Prima...	Arado de Disc...	JOHN DEERE	624	0.609	<Bin...	3	66	https://www.de...
Labranza Prima...	Arado de Vert...	JOHN DEERE	945-3V	0.762	<Bin...	3	20	https://www.de...
Labranza Prima...	Subsolador	INAMEC	SI - 1	0.35	<Bin...	1	N...	https://www.ag...
Labranza Prima...	Arado de Disc...	JOHN DEERE	635	0.762	<Bin...	3	71	https://www.de...
Labranza Prima...	Arado de Disc...	JOHN DEERE	645	1.016	<Bin...	4	71	https://www.de...
Labranza Prima...	Arado de Disc...	JOHN DEERE	3745	1.12	<Bin...	4	71	https://www.de...
Labranza Prima...	Arado de Disc...	JOHN DEERE	3755	1.4	<Bin...	5	71	https://www.de...
Labranza Prima...	Arado de Vert...	JOHN DEERE	945-4V	1.016	<Bin...	4	25	https://www.de...
Labranza Prima...	Arado de Vert...	JOHN DEERE	975-3V	1.219	<Bin...	3	41	https://www.de...

IMAGEN 12. Registro en base de datos de tractores e implementos.

Además del instalador mencionado anteriormente, se elaboró el manual de usuario, que se puede encontrar en los documentos anexos, donde se describe el proceso de instalación paso a paso contemplando desde la creación de la instancia “MAQUINAR”, hasta la verificación del uso correcto del mismo. Además, explica la utilización correcta del aplicativo, detallando cada uno de los apartados, funciones individuales, características y alertas, con el uso de recursos visuales, como pantallazos propios del aplicativo.

3.1.Validación del software

La comprobación del aplicativo se realizó contrastando resultados de cálculos manuales y cálculos estipulados en bibliografía consultada vs los resultados obtenidos por el aplicativo.

(Ortiz Arévalo, 2009), en el capítulo 2 de su libro, propone 3 ejercicios que permiten determinar la potencia requerida por el implemento en la barra de tiro (BDT), los cuales se validaron con el aplicativo MAQUINAR, obteniendo los siguientes resultados:

3.1.1. VALIDACION 1

Implemento: Arado de discos
 Ancho de trabajo: 1.25m
 Profundidad de trabajo: 30 cm
 Tipo de suelo: Arcilloso
 Velocidad de operación: 8.4 Km/h

Inicialmente es necesario conocer el esfuerzo de tracción, por lo cual el autor (Ortiz Arévalo, 2009), utiliza la ecuación (8), descrita anteriormente y determina el coeficiente de labranza como 0.935 kgf/cm^2 según la gráfica propuesta en la imagen 6; El aplicativo calcula este coeficiente como 0.939 kgf/cm^2 , esta diferencia se puede atribuir al error visual y criterio de cada usuario.

Haciendo uso de la ecuación (8), se determina el esfuerzo de tracción como 3506.25 kg, y posteriormente calcula la potencia requerida con uso de la ecuación (9).

$$Potencia\ requerida\ BDT\ (CV) = \frac{(Esfuerzo\ de\ traccion)(Velocidad)}{270} \quad (9)$$

donde: Esfuerzo de tracción= (kgf); *Velocidad* = Km/h; 270 = Factor de conversión para expresar la potencia en CV.

$$Potencia\ requerida\ BDT\ (cv) = \frac{(3506.25)(8.4)}{270} = 109.1CV$$

Posterior a tener la potencia requerida en la barra de tiro en caballos de vapor (CV), se requiere convertir esta a unidades de Horse Power (HP), para contrastar los resultados con los obtenidos por el aplicativo; conociendo la equivalencia que indica la ecuación (10), se puede obtener este resultado.

$$1\ CV = 0.9863\ HP \quad (10)$$

donde: CV= Caballos de vapor; HP = Horse Power.

Para determinar la potencia en HP, se realiza regla de 3 y determina un coeficiente de 0.9863, que se multiplica por los CV resultantes del ejercicio mostrado en (Ortiz Arévalo, 2009).

$$109.1\ CV * 0.9863 = 107.60\ HP$$

El aplicativo MAQUINAR, calcula el esfuerzo de tracción como 3521 kg y determina que la potencia a la barra de tiro necesaria para que el equipo tractor opere el implemento es de 108.04 HP, como se muestra en la imagen 13.

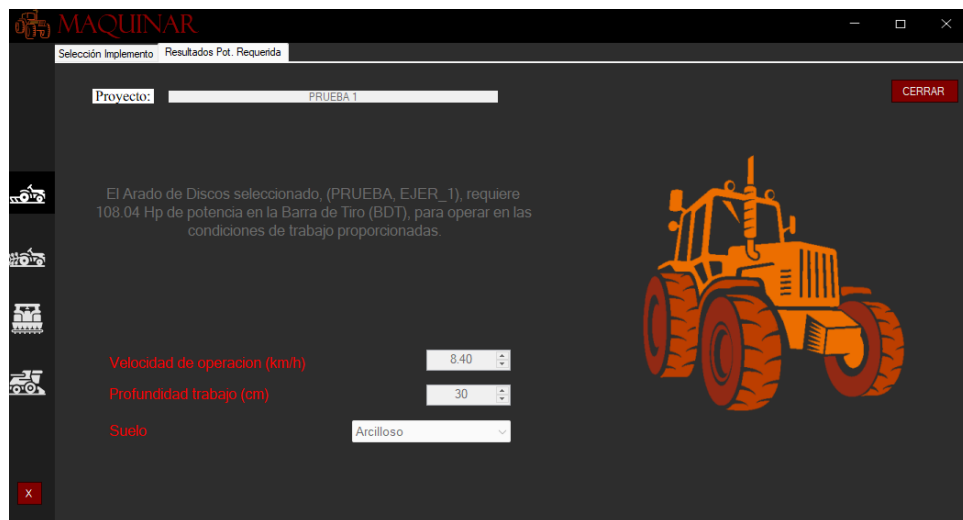


IMAGEN 13. Resultado de prueba de validación 1.

3.1.2. VALIDACION 2

Implemento: Rastra de discos excéntrica

Ancho de trabajo: 3.00m

Profundidad de trabajo: 20 cm

Velocidad de operación: 7 Km/h

El autor (Ortiz Arévalo, 2009), determina según la tabla 1, expresada en su libro, que la unidad de tracción para un rastra de discos excéntrica es de 60kg/dm² y con base en esto el autor hace uso nuevamente de la ecuación (8) para determinar el esfuerzo de tracción y dando como resultado de este 3600kgf.

Prosiguiendo con el uso de la ecuación (9), se determina la potencia requerida por el implemento.

$$Potencia\ requerida\ BDT\ (cv) = \frac{(3600)(7)}{270} = 93.3cv$$

Realizando una regla de 3 con base en la ecuación (10), se determina un coeficiente de 0.9863, que se multiplica por los CV resultantes del ejercicio dispuesto por (Ortiz Arévalo, 2009), para determinar la potencia en HP.

$$93.3\ CV * 0.9863 = 92.02HP$$

El aplicativo MAQUINAR, calcula el esfuerzo de tracción según la tabla propuesta por (Ortiz Arévalo, 2009), determinando el esfuerzo de tracción como 3600kgf y determina con la ecuación (9), que la potencia a la barra de tiro necesaria para que el equipo tractor opere el implemento es de 92.05 HP, como se muestra en la imagen 14.

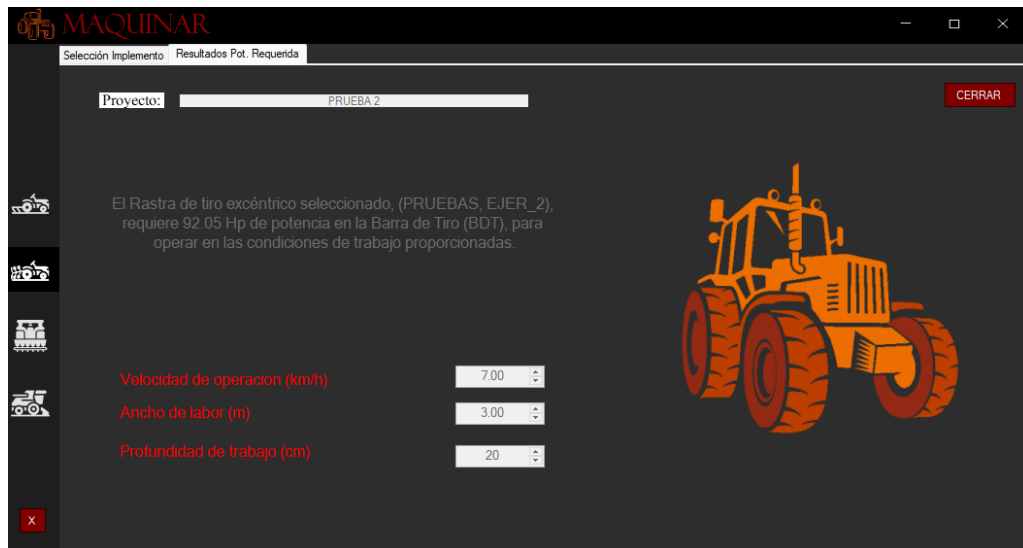


IMAGEN 14. Resultado de prueba de validación 2.

3.1.3. VALIDACION 3

Implemento: Sembradora a golpe
 Ancho de trabajo: 3.60m
 Velocidad de operación: 5 Km/h
 (4 surcos a 90 cm entre ellos)

El autor (Ortiz Arévalo, 2009), determina según la tabla 1, expresada en su libro, que la unidad de tracción para una sembradora de grano grueso como (maíz, soya y algodón) con siembra y anexos, oscila entre 113 y 204 kgf/surco; basado en esta premisa el autor selecciona la unidad de tracción para el equipo de 159 kgf/surco, que al multiplicarlo por el número de surcos, permite hallar el esfuerzo de tracción de 636 kgf; Con base en esto el autor hace uso nuevamente de la ecuación (9) para determinar la potencia requerida por el implemento.

$$Potencia\ requerida\ BDT\ (cv) = \frac{(636)(5)}{270} = 11.77cv$$

Realizando una regla de 3 con base en la ecuación (10), se determina un coeficiente de 0.9863, que se multiplica por los CV resultantes del ejercicio dispuesto por (Ortiz Arévalo, 2009), para determinar la potencia en HP.

$$11.77\ CV * 0.9863 = 11.61HP$$

El aplicativo MAQUINAR, calcula el esfuerzo de tracción según la tabla propuesta por (Ortiz Arévalo, 2009), determinando que la unidad de tracción (tiro) puede encontrarse entre 45 y 82 kgf/surco para sembradoras de grano grueso, y si es siembra con anexos, puede encontrarse entre 113 y 204 kgf/surco, la determinación de este parámetro la realiza el usuario con base a su criterio, para el desarrollo de este ejercicio se utilizó un valor intermedio para siembra de grano grueso con anexos, determinando el tiro como 140kgf/surco, que al multiplicarlo por el número de surcos, da un esfuerzo de tracción de 660kgf, que al utilizar la ecuación (9), determina que la potencia a la barra de tiro necesaria para que el equipo tractor opere el implemento es de 12.05 HP, tan como se muestra en la imagen 15.

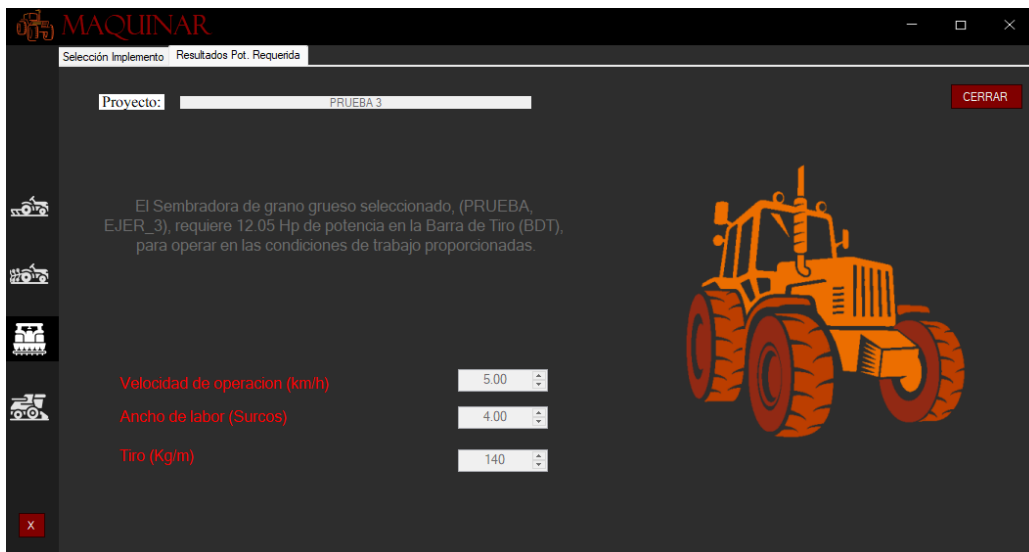


IMAGEN 15. Resultado de prueba de validación 3.

La tabla 4, permite contrastar la información obtenida por el aplicativo MAQUINAR vs los resultados calculados según (Ortiz Arévalo, 2009), así como la variación entre los resultados obtenidos.

TABLA 4. *Tabla de resumen comparativa entre resultados bibliográficos y resultados del aplicativo MAQUINAR*

PRUEBA	RESULTADO BIBLIOGRAFICO	RESULTADO MAQUINAR	% DIFERENCIA
EJERCICIO 1	107.60 HP	108.04 HP	0.41%
EJERCICIO 2	92.02 HP	92.05 HP	0.03%
EJERCICIO 3	11.61 HP	12.05 HP	3.79%

4. CONCLUSIONES

El uso del software “MAQUINAR”, podría ayudar a los agro empresarios, administradores, operadores y personal relacionado con maquinaria agrícola a realizar los cálculos de requerimientos de potencia que a su vez puedan facilitar la selección y dimensionamiento de equipos e implementos agrícolas, permitiendo realizar un uso adecuado de la maquinaria según cada condición de trabajo.

Según la tabla 3, expuesta anteriormente se puede definir un rango máximo de desviación de la información calculada por el aplicativo sobre un 5% por encima y por debajo de los valores calculados bibliográficamente para cada implemento, cabe resaltar que el aplicativo calcula la potencia según los parámetros ingresados por el usuario, y que esta potencia puede variar según el estado del equipo, mantenimientos y operación de este.

Debido al uso inadecuado que se da por parte de los campesinos, administradores y operadores a la maquinaria agrícola, pasando desapercibida la influencia de la topografía colombiana que cuenta con diferentes tipos de relieve y condiciones climáticas y que afectan de forma directa el comportamiento de la maquinaria según cada condición de trabajo, es indispensable el uso de software y alternativas que evalúen dichos factores como se hace en el desarrollo de este proyecto, mediante la implementación de “MAQUINAR”.

Con el desarrollo del aplicativo “MAQUINAR”, se brinda una herramienta la cual puede permitir a los estudiantes de maquinaria agrícola y usuarios en general con interés en el ámbito de mecanización, calcular los requerimientos de potencia en equipos y maquinaria agrícola, cálculos que son muy extensos y complicados al realizarlos de forma manual, mientras que mediante el uso de este software se podrían realizar en un menor tiempo y con un alto nivel de veracidad.

Es importante recalcar que “MAQUINAR”, puede ser la base para un proyecto mucho más ambicioso que pueda implementarse a nivel nacional y que ayude a los pequeños y medianos administradores de maquinaria agrícola a seleccionar la maquinaria adecuada según las condiciones de trabajo, disminuyendo así los costos energéticos y de mantenimiento, ayudando a su vez a disminuir las emisiones de gases contaminantes y mejorando las condiciones del suelo al reducir la compactación de este.

Este proyecto puede impulsar a los profesionales del campo a implementar y desarrollar nuevas tecnologías, que mejoren los procesos de todos los sectores que afectan la productividad agrícola. Además, puede utilizarse como recurso de práctica y enseñanza, en las áreas de mecanización y

maquinaria agrícola, debido a su componente de cálculo para determinación de la potencia requerida y disponible en equipos y maquinaria agrícola.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento especial a Dios, por permitir concluir esta etapa de mi vida de forma satisfactoria y por guiarme por el mejor camino. A mis familiares y amigos, por siempre estar pendientes de mi evolución durante la carrera, ya que sus consejos y apoyo permitieron llevar a feliz término este proyecto tan importante para mi vida profesional.

6. REFERENCIAS

- Álvarez Cardona, A. (2004). Administración de maquinaria agrícola (Vol. 29). (U. N. Colombia, Ed.)
- Amann, S., Proksch, S., Nadi, S., & Mezini, M. (2016). A study of visual studio usage in practice (Vol. 1). (IEEE). 23rd International Conference on Software Analysis, Evolution, and Reengineering (SANER). doi:<https://doi.org/10.1109/SANER.2016.39>
- Ashburner, J. E., & Sims, B. G. (1984). Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza (Vol. 56). San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Chaparro, J. M. (1995). Potencia en máquinas agrícolas. Ingeniería e Investigación(32), 4–19. doi:<https://doi.org/10.15446/ing.investig.n32.24803>
- Cortés, E., Álvarez, F., & González, H. (2009). La mecanización agrícola: Gestión, selección y administración de la maquinaria para las operaciones de campo. CES Medicina Veterinaria Y Zootecnia, 4 (2), 151–160.
- DANE. (16 de agosto de 2022). Boletín Técnico Producto Interno Bruto- PIB. Obtenido de http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/bol_PIB_LLtrim22_produccion_y_gasto.pdf
- Díaz, B. (2018). Desarrollo de una aplicación móvil para predecir la producción de biomasa forrajera. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 9(2). doi:<https://doi.org/10.22490/21456453.2209>
- Díaz, N., & Pérez, J. N. (2007). Metodología para evaluar el impacto de la maquinaria agrícola sobre los recursos naturales del medio ambiente. XIII, 1-12.
- Estrada Pérez, L. (2006). Implementación de un software para la planificación de maquinaria y herramientas agrícolas.
- Fuentes, J. S. (2017). La mecanización agrícola: campo de acción de la ingeniería agronómica (Vol. 4). Ecuador: Revista Digital Siembra. doi:<https://doi.org/10.29166/siembra.v4i1.500>
- Gil, E. (2000). MAQUINARIA AGRÍCOLA Tractor, preparación del suelo y siembra. (U. P. CATALUNYA, Ed.) ESCOLA SUPERIOR D'AGRICULTURA DE BARCELONA.
- Hoyos, R. (2016). Branding, el arte de marcar corazones. (E. Ediciones, Ed.)
- Hugon, J. (2018). C# 7: desarrolle aplicaciones Windows con Visual Studio 2017. Eni.

- Hunt, D. (1991). Maquinaria agrícola: rendimiento económico, costos, operaciones, potencia y selección de equipo : manual de laboratorio y cuaderno de trabajo (Vol. 7). (Limusa, Ed.) México.
- Lapuerta, M., Armas, O., Agudelo, J., & Sanchez, C. (2006). Estudio del efecto de la altitud sobre el comportamiento de motores de combustión interna. Parte 1: Funcionamiento (Vol. 17). Información Tecnológica. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642006000500005>
- Lapuerta, M., Armas, O., R. Agudelo, J., & Sánchez, C. A. (2006). Estudio del Efecto de la Altitud sobre el Comportamiento de Motores de Combustión Interna. Parte 1: Funcionamiento (No. 5 ed., Vol. 17). (I. Tecnológica, Ed.) doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642006000500005>
- Liu, L., & Özsu, M. (2009). Encyclopedia of Database Systems (Vol. 6). (B. M. Springer, Ed.) New York, USA. doi:https://doi.org/10.1007/978-0-387-39940-9_1091
- Murcia, G., Rivera, J., & Pinzón, N. (2006). Administración de maquinaria agrícola para el manejo sostenible de los suelos en el Valle Calido del Alto Magdalena. (C. C. Agropecuaria, Ed.) CORPOICA.
- Orbe, G., & Plaza, G. (1988). Consideraciones Basicas Para La Seleccion De Maquinaria Agricola. (I. N. Agropecuarias, Ed.) Quito, Ecuador.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2018). FAO.
- Ortiz Arévalo, F. J., 2009. MAQUINARIA AGRICOLA (Vols. II, CÁLCULOS: potencias, pérdidas y rendimientos del tractor agricola). ESCUELA NACIONAL DE AGRICULTURA.
- Ortiz, M. G., Palacios, M. I., & Cervantes, F. (2016). La mecanizacion agricola. Mexico. doi:<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5030.6968>
- Pereira, C., Marín, A., & Cueto, O.(2013). ExploMq, software para la evaluación energética y económica de la maquinaria agrícola. (U. C. Villas, Ed.) Doctoral dissertation.
- Pérez, M., (2006.) Rendimiento de un tractor agrícola en función del sistema de la labranza y la carga. II. Consumo de combustible y resistencia a la rodadura. s.l.:Scielo.
- Torregroza, A. M., & Ruiz, J. L. (2018). Ingeniería Aplicada al sector agropecuario. CECAR - Corporación Universitaria del Caribe. doi:<https://doi.org/10.21892/9789588557991>
- Villalobos, G. M. (2018). Desarrollo de un sistema web y móvil para la gestión de cultivos agrícolas. Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad, 10(18), 151-166. doi:<https://doi.org/10.22430/21457778.669>