

**UNIVERSIDAD MILITAR  
NUEVA GRANADA**



**IMPACTO EN EL COSTO DEL COMBUSTIBLE DEL EQUIPO EN OBRAS  
VIALES EJECUTADAS POR EL EJÉRCITO NACIONAL COMPARADOS CON  
OBRAS DE CONSTRUCCIÓN COMERCIAL**

Javier Danilo Páez Herrera

Ensayo

Director de Trabajo de Grado  
Doctor Santiago García Carvajal

Especialista en Alta Gerencia

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA  
ESPECIALIZACIÓN EN ALTA GERENCIA  
BOGOTÁ  
2015**

# **IMPACTO EN EL COSTO DEL COMBUSTIBLE DEL EQUIPO EN OBRAS VIALES EJECUTADAS POR EL EJÉRCITO NACIONAL COMPARADOS CON OBRAS DE CONSTRUCCIÓN COMERCIAL**

Javier Danilo Páez Herrera Universidad Militar Nueva Granada

## **RESUMEN**

*Mediante el análisis y la formulación de un modelo matemático de correlación que calcule de manera precisa el consumo de combustible en función del rendimiento en equipos de proyectos viales ejecutados por el Ejército Nacional, se conseguirá que los valores que se obtienen analíticamente se aproximen más a la realidad, siendo un procedimiento alternativo para el cálculo de estas variables, ya que son importantes para el costo operacional de los equipos de un proyecto de construcción de carretera.*

*Teniendo en cuenta que Colombia cuenta con una topografía demasiado variable; muchos de los proyectos que se desarrollan periódicamente están asociados a la topografía que se presenta; se cuenta con tres grandes cordilleras, donde los efectos de la altura sobre el nivel del mar producen una disminución en la presión atmosférica y ocasionando que la potencia del motor baje y la reducción de tracción de la máquina. Como consecuencia de estos factores se tiene un rendimiento bajo de la máquina y un consumo alto de combustible incrementando los costos del proyecto.*

JEL: C02-C20-C25-C35

PALABRAS CLAVE: Análisis, formulación, modelo, correlación, Ejército Nacional, combustible, valores.

## **IMPACT ON THE COST OF FUEL EQUIPMENT IN ROAD WORKS EXECUTED BY THE NATIONAL ARMY COMPARED WITH COMMERCIAL CONSTRUCTION WORKS**

### **ABSTRACT**

*By analyzing and formulating a mathematical correlation model to calculate accurately the fuel consumption based on performance in teams of road projects executed by the Army, he will ensure that the values obtained analytically are closer to the actually, being an alternative method for calculating these variables, as they are important for operational cost of the equipment of a road construction project.*

*Given that Colombia has a topography too variable; many of the projects being developed regularly are associated with topography presented; it has three major mountain ranges, where the effects of the altitude above sea level produced a decrease in atmospheric pressure and causing lower engine power and reduced tensile machine. As a result of these factors have a low machine performance and high fuel consumption increasing project costs.*

KEYWORDS: Analysis, design, model, correlation, Army, fuel values.

## **INTRODUCCIÓN**

En el presente trabajo se pretende desarrollar un modelo matemático de correlación que calcule de manera precisa el consumo de combustible en función del rendimiento en equipos de proyectos viales se beneficiara de primera mano la jefatura de ingenieros militares, debido a que algunas de las variables serán investigadas de la base de datos sobre proyectos viales de la escuela con el fin de que en futuros proyectos el modelo de correlación se pueda implementar para evitar el incremento de costos en consumo de combustible.

Teniendo en cuenta que Colombia cuenta con una topografía demasiado variable; muchos de los proyectos que se desarrollan periódicamente están asociados a la topografía que se presenta; se cuenta con tres grandes cordilleras, donde los efectos de la altura sobre el nivel del mar producen una disminución en la presión atmosférica y ocasionando que la potencia del motor baje y la reducción de tracción de la máquina. Como consecuencia de estos factores se tiene un rendimiento bajo de la máquina y un consumo alto de combustible incrementando los costos del proyecto.

Cuando se tienen proyectos en zonas donde las presiones atmosféricas son bajas, condición que es muy predominante en nuestra topografía, esto hace que el combustible de la maquina se evapore produciendo un consumo mayor, rendimientos bajos de la máquina y como consecuencia de estos se elevan los costos en las actividades que involucren maquinaria y por ende sobrecostos en los proyectos.

De otra manera también se pueden beneficiar todas las empresas del sector público y del sector privado que estén directamente relacionadas con proyectos de infraestructura vial.

## **REVISIÓN DE LITERATURA**

De acuerdo con el (Ministerio Del Ejercito E.U.A, 1985)

Los avances se deben al buen rendimiento de la máquina, asociado a muchos factores tales como: topografía plana, buenas condiciones climáticas, un buen operador, entre otras y los retrasos en estas actividades se deben a malos rendimientos asociados a los opuestos sumándole una fuerte resistencia al rodamiento, altos niveles de altura sobre el nivel del mar, entre otras. Los tipos de equipos más frecuentes en los proyectos viales para la ejecución de las obras son: Motoniveladora, Vibro compactador, Cargador, retroexcavadora y volqueta, entre otros; pero se asociaron estos ya serán los que se va emplear en la investigación.

Las tablas de rendimientos de la maquina clasifican los rendimientos de las maquinas en cada una de las actividades por hora, siendo una base de trabajo para un buen control en la ejecución de las obras.

Existen tablas de rendimientos nacionales e internacionales con las que se apoyan empresas públicas y privadas para la ejecución de los proyectos viales

Según la información brindada por el departamento de consolidación del Ejercito Nacional (Jefatura de ingenieros Militares) de los siguientes proyectos viales objeto de referencia

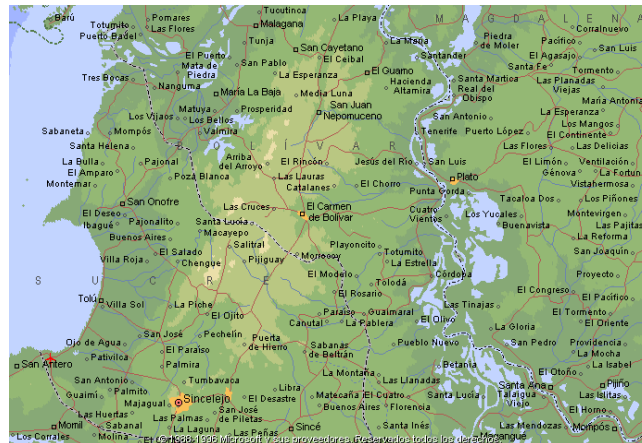
(Escuela de Ingenieros Militares, Bogotá, 1984.)

En Colombia la contratación estatal está reglamentada por una serie de normas, decretos, directrices y reglamentos, en los cuales se regulan diferente tipos de contratos de pendiendo la razón del mismos, el marco general se establece en la Ley 80 de 1993, Por la cual se expide el Estatuto General de Contratación de la Administración Pública. Pero esta depende de lo establecido en la constitución nacional y de ella se desprenden otras leyes aclaratorias y una serie de decretos y actos administrativos

(Escuela de Ingenieros Militares, “Informe técnico proyecto Transversal Montes de María”, Junio de 2008.)

Proyecto vial Transversal Montes de María: Este proyecto inicio en Junio de 2008 con la ejecución de la Jefatura de Ingenieros de Ingenieros militares.

**Figura. 1. Proyecto Transversal Montes de María.**



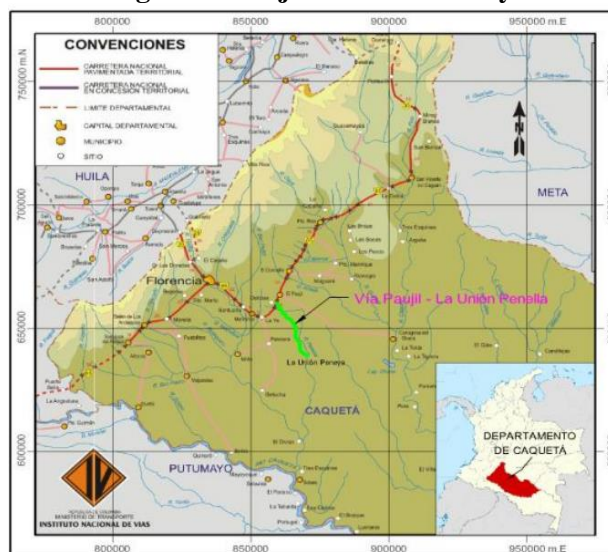
**Fuente.** *Ingenieros-militares-entregan-segunda-fase-en-el-proyecto-de-mejoramiento-de-via-montes-de-maria-departamento-de-bolivar*

Objeto del contrato: Trazar, diseñar y construir 42 km de vía que comunica los municipios de Carmen de bolívar en el departamento de bolívar y el municipio de Chirulito en el departamento de sucre.

(Escuela de Ingenieros Militares, ” Informe técnico proyecto Paujil La Unión Peneya”, Octubre de 2008)

Proyecto vial Paujil La Unión Peneya: Este proyecto inicio en Octubre de 2008 con la ejecución de la Escuela de Ingenieros de Ingenieros militares; este proyecto fue financiado por FONADE.

**Figura. 2. Paujil La Unión Peneya**



**Fuente.** *Fondo financiero de proyectos de desarrollo-fonade*

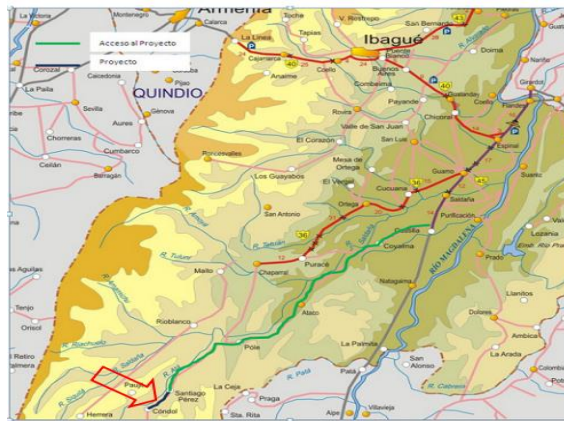
El lugar de ejecución corresponde en la vía que conduce desde el municipio del Paujil hacia la inspección de la Unión Peneya, en el departamento del Caquetá. Sector Cruce “y” del Líbano (el paujil) definido como k0+000 y referenciado con coordenadas (1°31’21”n – 75°20’31”o) hasta el k4 en el departamento de Caquetá.

Objeto del contrato: mejoramiento con terminado en Pavimento asfáltico vía paujil - La unión Peneya, departamento de Caquetá

(Escuela de Ingenieros Militares, ” Informe técnico Ataco Planadas” , Diciembre de 2013.)

Proyecto vial Soberanía: Este proyecto inicio en Diciembre de 2013 con la ejecución de la Escuela de Ingenieros de Ingenieros militares.

**Figura. 3. Proyecto vial Soberanía**



**Fuente.** Fondo financiero de proyectos de desarrollo-fonade

El proyecto se ubica en el sector llamado Santiago Pérez hasta el sector llamado el Cóndor ubicado sobre el río Ata, en una longitud de 10 km, de la vía Ataco Planadas en el Municipio de Ataco en el Departamento del Tolima.

Objeto del contrato: Obras de estabilización, obras hidráulicas y complementarias para el proyecto Pavimentación de la vía ataco planadas sector la brecha en el departamento del Tolima.

(Escuela de Ingenieros Militares, ” Informe técnico Proyecto Transversal de la macarena” , Octubre de 2011)

Proyecto vial la Transversal de la Macarena: Este proyecto inicio el Octubre de 2011 con la ejecución de la Escuela de Ingenieros de Ingenieros militares.

**Figura. 4. Proyecto vial la Transversal de la Macarena**



**Fuente.** Fuente. [www.invias.gov.co/index.php/](http://www.invias.gov.co/index.php/).

La Transversal de La Macarena es un proyecto vial bioceánico que conectará a Colombia con Ecuador y Venezuela, atravesando por el centro del país y los llanos orientales. La totalidad de este proyecto abarca los 221 kilómetros, ejecutados en dos frentes: uno en San Juan de Arama en el Meta y otro en Baraya en el departamento del Huila.

Objeto del Contrato: construcción de vía que comunica municipios del norte del Huila y el oriente del meta (Escuela de Ingenieros Militares, "Informe técnico Proyecto Junín- Barbacoas", 2009. )

Proyecto vial Junín Barbacoas: Este proyecto inicio el año 2009 con la ejecución de la Escuela de Ingenieros de Ingenieros militares.

**Figura. 5. Junín Barbacoas.**



**Fuente.** <http://www.invias.gov.co/index.php/sala/noticias/1204-avanza-pavimentacion-en-via-junin-barbacoas>

Como resultado de acciones conjuntas entre el INVÍAS, el Ejército Nacional y el Instituto para el Desarrollo de Antioquia (IDEA), desde el primero de Junio, se dio inicio a la pavimentación en la vía Junín-Barbacoas, en el departamento de Nariño.

Así mismo, se han logrado avances en la obra correspondientes al arreglo de puntos críticos entre los kilómetros 27 y 54, en el tramo Buenavista-Barbacoas.

Objeto del Contrato: proyecto: pavimentar 27 km del tramo comprendido entre Junín y barbacoas Nariño

Condiciones del Sitio.

Las condiciones del sitio influyen directamente en el estudio y trazado de la obra y en la concepción del equipo. (Caterpillar, 2009)

**Topografía.** El movimiento de tierras es, en principio, un trabajo que consiste en quitar donde sobra y llenar donde falta; las condiciones ideales de un trabajo son aquellos en que el volumen de corte compensa el volumen de relleno, pero solamente las características topográficas del sitio nos indican si estas condiciones se encuentran o si hay necesidad de hacer préstamos de material de un sitio diferente para completar el relleno.

La topografía también influye en los métodos y procedimientos que se van a emplear en la construcción o en la ubicación de las instalaciones y en los medios de comunicaciones.

**Naturaleza del suelo y su geología.** El suelo y las condiciones geológicas determinan los tipos de materiales que se encuentran en las excavaciones, las fuentes de los materiales para los terraplenes y el

equipo que se va a emplear para su explotación, Así por ejemplo, la arena suelta y seca, ofrece poca resistencia a las cuchillas de los equipos, pero se dificulta para cargarla, requiriendo gran habilidad del operario. Las piedras o cantos rodados pueden requerir ser trituradas antes de ser utilizadas como material de relleno. La humedad contenida en los materiales puede convertirlos en masas pegajosas difíciles de cargar y de esparcir.

Drenajes. La permeabilidad del suelo, el nivel de la capa freática y los canales naturales de desagüe, determinan la cantidad de trabajo necesario para el drenaje preliminar y final. Los estudios de las condiciones del sitio deben incluir los efectos de las lluvias y la inundación de los canales de desagüe. Hay que proporcionar drenaje apropiado en todas las fases de la construcción, a fin de reducir al mínimo las demoras debidas al mal tiempo, para disminuir la humedad de los materiales que se han de excavar y para facilitar el control de la humedad al compactar terraplenes y explanaciones. El problema del desagüe puede con frecuencia ser el factor predominante al determinar el orden de sucesión de las operaciones y la selección del equipo

Condiciones climáticas y meteorológicas.(Caterpillar, Operación de la excavadora , 2003)

a) Clima y altitud. El calor o el frío excesivos afectan el rendimiento de operarios y equipos, retardando los trabajos los trabajos de construcción. Una temperatura media con ligeras lluvias es el clima ideal para estos trabajos.

La altura sobre el nivel del mar tiene efectos en la potencia de todos los motores de combustión interna.

b) Pluviosidad. Los planes a largo plazo deben incluir un estudio sobre las fluctuaciones meteorológicas, pues las lluvias continuas afectan la mayoría de las fases de construcción e impiden particularmente el trabajo en terreno arcilloso

Plazo de ejecución (Caterpillar, operación maquinaria pesada Motoniveladora, 2003 )

El tiempo es factor básico en la construcción. Está afectado por las siguientes circunstancias:

a) Tiempo útil. Un hombre y una máquina nunca están en condiciones de trabajar los 60 minutos de una hora o de varias; pueden ocurrir cortas interrupciones en el trascurso del trabajo, que afectan la producción, como por ejemplo, el mantenimiento preventivo del equipo, necesidades del operario, demoras del cargue, etc.

La experiencia demuestra que normalmente se aprovechan 50 minutos de la hora, o sea un 83%. Hay pues, una parte del tiempo de trabajo que no es productiva y a estos se suman interrupciones debidas al mal tiempo atmosférico o a averías, que por ser inevitables, deben tener presentes cuando se va a fijar el plazo de ejecución de la obra

### **Definición del problema.**

El rendimiento del combustible para los equipos en obras viales varía de acuerdo a la resistencia por pendiente, eficiencia de operación, las condiciones climáticas, el operador de la máquina, el tipo de motor, la resistencia al rodamiento, el efecto de la altura sobre el nivel del mar y según la actividad que ejecute la máquina; (no es lo mismo excavar un suelo blando que excavar un suelo rocoso; adicionalmente, la potencia que necesita el motor para operar en un terreno montañoso es mayor a la que requiere para operar en un terreno plano). También es importante mencionar que solo las empresas privadas cuentan con una guía de rendimientos que permiten controlar el gasto del combustible en cualquier obra vial; por su parte, las empresas públicas no cuentan con una guía certificada de rendimientos, por esto, no se es posible cuantificar con exactitud la cantidad precisa de combustible para que las máquinas operen continuamente durante el desarrollo del proyecto de carreteras.

Una mala proyección del consumo de combustible generaría sobre costos. Por ejemplo, una cantidad insuficiente de combustible bloquea las actividades de las maquinas, causando un incremento en la duración del proyecto, lo cual es inviable para las finanzas del proyecto. Por otro lado proyecciones o estimaciones altas de combustible, de igual manera van a afectar las finanzas del proyecto produciendo bloqueo de las obras por el excesivo consumo de combustible.

La marca Caterpillar suministra algunos valores de consumo de combustible que sirve como base para los proyectos; por ejemplo para un tipo de Motoniveladora 120G GSH-37 se da un consumo 5.43 galones por hora para las actividades que desarrolla una Motoniveladora de esta especificación, pero como ya sabemos en estos consumos dados no se tiene en cuenta muchas de las variables que están relacionadas, para determinar la causa de que el equipo consuma más o menos combustible de lo que muestran las tablas de consumo, generalmente en los proyectos se consume más combustible de los 5.43 galones por hora y de igual manera para otro tipo de equipos; lo cual producirá sobrecostos en las actividades relacionadas con equipos.

Se correlacionaran los datos y por medio de métodos estadísticos y matemáticos se modelara el procedimiento para la obtención del gasto de combustible óptimo para un equipo en función del rendimiento o trabajo realizado.

#### Tipo de proyectos

- La Traversal Montes de María.
- Paujil La Unión Peneya.
- Traversal de la Macarena.
- La Soberanía.
- Junín Barbacoas.

#### Tipo de equipos

- Una Motoniveladora
- Una Excavadora
- Un Bulldozer
- Un cargador
- Un Vibro compactador

#### Tipo de combustible

- ACPM para todos los equipos

#### Formulación de la pregunta de investigación

¿Cuál es el impacto en el costo del combustible del equipo en obras viales ejecutadas por el ejército nacional comparados con obras de construcción comercial?

**HIPOTESIS:** En los proyectos viales los sobrecostos por el consumo de combustible ocasiona incrementos en los presupuestos, debido a una mala administración del equipo; ya que en la planeación de los equipos no se evalúan variables como resistencia por pendiente, los equipos que se van a emplear, el operario, el tren de llantas donde está inmerso la resistencia al rodamiento, entre otros; por tal razón se hace necesario desarrollar una metodología que ayude a controlar el rendimiento del combustible en los equipos en teoría para que el consumo en los equipos sea el más exacto posible ya que si no se tiene un control con el



combustible el proyecto puede verse afectado en la ejecución de las obras prolongando los tiempos establecidos en los contratos y un incremento en los costos.

## METODOLOGÍA

La metodología utilizada en el trabajo de investigación es cuantitativa, que consiste en el contraste de teorías ya existentes a partir de una serie de hipótesis surgidas de la misma, siendo necesario obtener una muestra, ya sea en forma aleatoria o discriminada, pero representativa de una población o fenómeno objeto de estudio.

Este proyecto se clásica en los siguientes tipos de investigación:

- Investigación Analítica.
- Investigación Cuantitativa.

## DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo del proyecto de investigación se estableció un método investigativo consistente en desarrollar los objetivos específicos mediante la recolección y clasificación de la información necesaria que nos permite hacer un análisis de la incidencia de la maquinaria en los proyectos de infraestructura vial en los que se hiciera uso de la maquinaria institucional respecto a los cuales se requiere el alquiler de la misma para su desarrollo el posterior análisis se recopilo información de proyectos de infraestructura vial.

**Figura. 6.Diseño Metodológico**



**Fuente.** *Elaboración propia Diseño metodológico de la investigación*

## **POBLACIÓN OBJETO DE ESTUDIO**

Universo:

La población es la cantidad de equipos que pertenecen al Ministerio de Transporte que son empleados en todos los proyectos de infraestructura vial y también se refiere a todos los proyectos viales ejecutados por las entidades públicas del estado.

La muestra para nuestro son los cinco tipos de equipos seleccionados y los cinco proyectos viales pertenecientes a la Escuela de ingenieros Militares.

Cabe anotar que los cinco equipos son los mismos en los cinco proyectos viales.

## **INSTRUMENTOS**

Muestra de equipos

- Excavadora
- vibro compactador
- Motoniveladora
- Bulldozer
- Cargador

Muestra de Proyectos viales

### **La Trasversal Montes de María.**

Objeto del contrato: Obras de estabilización, obras hidráulicas y complementarias para el proyecto Pavimentación de la vía ataco planadas sector la brecha en el departamento del Tolima.

### **La soberanía**

Objeto del contrato: mejoramiento con terminado en Pavimento asfáltico vía paujil - La unión Peneya, departamento de Caquetá.

### **Trasversal de la Macarena.**

Objeto del Contrato: construcción de vía que comunica municipios del norte del Huila y el oriente del meta.

### **Paujil la Unión Peneya.**

Objeto del contrato: Obras de estabilización, obras hidráulicas y complementarias para el proyecto Pavimentación de la vía ataco planadas sector la brecha en el departamento del Tolima.

### **Junín Barbacoas.**

Objeto del Contrato: proyecto: pavimentar 27 km del tramo comprendido entre Junín y barbacoas Nariño

## Trabajo de campo

### Análisis de la información

A continuación se relata el procedimiento para cada uno de los objetivos específicos planteados y que se definen como las fases de la investigación:

*Seleccionar cinco proyectos viales de la Jefatura de ingenieros militares donde se evidencien problemas de rendimiento y consumos de combustible.*

- Identificación de cinco proyectos que haya adelantado la Jefatura de Ingenieros de la Jefatura De ingenieros Militares en los cuales se detallen consumos de combustible y sus correspondientes rendimientos ejecutados por cinco tipos de equipos para cada uno de los cinco proyectos viales.
- Para esta fase con los cinco proyectos viales seleccionados se identifican los cinco tipos de equipos que van ser los mismos para los proyectos viales.
- El suministro de información obedece al carácter público de los contratos de obra y de los documentos que lo conforman que se encuentran en la base de dato de la Jefatura de Ingenieros.
- En la siguiente fase se caracterizaran los cinco tipos de equipos para sustraer la información de datos sobre consumos de combustible y rendimientos.

*Caracterizar una muestra de equipos convencionales de intervención vial susceptible de valoración de rendimientos y consumos.*

Dado que se cuenta con una base técnica de información de los cinco proyectos viales se consideró pertinente adelantar las siguientes pautas que permitieran acceder de manera rápida y ordenada a la información:

- Clasificación de la información por proyectos viales: debido a que los cinco equipos deben ser los mismos para los cinco proyectos se hizo a una caracterización de los equipos que se presentaban con mayor frecuencia para para cada uno de los proyectos
- En el análisis de información para los cinco proyectos se identificó que los equipos que más se presentaban en obra eran los siguientes: La motoniveladora, la excavadora, el Bulldozer, el cargador y el vibrocompactador
- Conociendo lo anterior se determinó que la información a clasificar sobre consumos de combustible y rendimientos fuera sobre los equipos antes mencionados.
- La caracterización de los cinco equipos para el proyecto No 1. Traversal Montes de María fue la siguiente: Motoniveladora marca New Holland, la excavadora 210 Case, Bulldozer marca New Holland, Cargador marca New Holland y un Vibrocompactador marca JCB.
- La caracterización de los cinco equipos para el proyecto No 2. Traversal de la Macarena fue la siguiente: Motoniveladora marca New Holland, Excavadora marca Kobelco, Bulldozer marca Caterpillar D6N, Cargador marca Komatsu y vibrocompactador marca Dinapac.
- La caracterización de los cinco equipos para el proyecto No 3. Junín Barbacoas fue la siguiente: motoniveladora New Holland RG140B, Excavadora marca Caterpillar 320DL, Bulldozer marca Caterpillar D6N, Cargador marca 621E Case y Vibrocompactador marca Caterpillar CS-583E 10TON.

- La caracterización de los cinco equipos para el proyecto No 4. La soberanía fue la siguiente: motoniveladora marca Caterpillar, excavadora marca Kobelco 4671, Bulldozer marca New Holland, Cargador marca New Holland y Vibrocompactador Caterpillar.
- La caracterización de los cinco equipos para el proyecto No 5. Paujil La unión Peneya fue la siguiente: motoniveladora marca New Holland, excavadora marca 210 Case, Bulldozer marca Caterpillar D6N, Cargador marca Case y Vibrocompactador marca Caterpillar.
- Según la base de datos técnicos de la Jefatura de ingenieros se encontró los cinco equipos caracterizados para los cinco proyectos viales contienen gran cantidad de datos sobre el consumo de combustible y los rendimientos
- Si bien se ha caracterizado las variables que inciden en el proceso de la correlación de un modelo matemático del consumo en función del rendimiento, también debe desarrollarse la identificación de las diferentes condiciones de operación que presenta los cinco tipos de equipos en los proyectos viales
- Condición tipo de suelo (suelo arcilloso) para los cinco equipos en los proyectos en que se presente
- Para la condición tipo de suelo (suelo rocoso) para los cinco equipos en los proyectos en que se presente.
- Para la condición topografía (pendiente ascendente) para los cinco proyectos en los proyectos en que se presente
- Estas condiciones de operación fueron las más representativas para los proyectos

*Identificar una serie de condiciones de operación para la muestra de equipos (tipo de suelo, altitud pendiente, etc.).*

Si bien se ha caracterizado las variables que inciden en el proceso de la correlación de un modelo matemático del consumo en función del rendimiento, también debe desarrollarse la identificación de las diferentes condiciones de operación que presenta los cinco tipos de equipos en los proyectos viales.

- Condición tipo de suelo (suelo arcilloso) para los cinco equipos en los proyectos en que se presente.
- Para la condición tipo de suelo (suelo rocoso) para los cinco equipos en los proyectos en que se presente.
- Para la condición topografía (pendiente ascendente) para los cinco proyectos en los proyectos en que se presente.
- Estas condiciones de operación fueron las más representativas para los proyectos

*Desarrollar una matriz de registro de operación en cuanto a rendimiento y consumo.*

Si bien se ha caracterizado las variables que inciden en el proceso de la correlación de un modelo matemático del consumo en función del rendimiento, también debe desarrollarse las matrices con base en la información de datos sobre consumos y rendimientos suministrada de la base de datos técnicos de la Jefatura de Ingenieros.

Para desarrollar las matrices se analiza las diferentes condiciones de operación de los equipos para los cinco proyectos viales lo cual se procedió de la siguiente manera:

- Se extraen los datos sobre consumo de combustible y sus respectivos rendimientos para cada uno de los cinco equipos y para los cinco proyectos.

- La base de datos para cada uno de los equipos en los cinco proyectos fue separada de acuerdo a las diferentes condiciones de operación de los equipos y de los proyectos viales.
- Procesamiento de datos y entrega de resultados

## RESULTADOS

### CONSUMOS Y RENDIMIENTOS DE MAQUINARIA EN LOS CINCO PROYECTOS VIALES

Como resultado en la Definición y caracterización de los equipos de construcción de carreteras en los cuales se hayan desarrollado proyectos viales se expone la siguiente base de datos, la cual constituye la muestra del presente proyecto.

**Tabla 1. Consumos reales de combustible y rendimiento reales en actividades para la motoniveladora new holland en el proyecto transversal montes de María.**

CONSUMOS DE COMBUSTIBLE (GAL/HORA)	RENDIMIENTOS (M3/HORA)
3.750	36
3.950	37
4.000	38.5
4.050	39
4.100	39.5
4.200	40
4.350	41
4.050	42.5
4.500	43.5
4.700	45
4.650	40.5
4.700	41.6
4.900	43.6
4.950	44
5.000	44.5
5.200	45.5
5.300	46.2
5.450	47
5.550	47.8
5.625	48.8
5.625	47.2
5.735	47.9
5.855	48.7
5.900	48.9
6.150	50.5
5.900	48.95
6.450	52.4
6.600	52.9
6.750	53.5
6.875	54.8

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 2. Consumos reales de combustible y rendimiento reales en actividades para la motoniveladora new holland rg140b en el proyecto trasversal la Macarena**

DATOS CONSUMO DE COMBUSTIBLE (GAL/HORA)	RENDIMIENTOS (M3/HORA)
4.250	36.4
4.300	37.2
4.450	38.5
4.500	3.9
4.650	39.8
4.900	40.5
5.150	41.3
5.375	44.5
4.650	45.2
5.250	45.8
4.850	37.2
5.000	38.5
5.415	41.3
5.275	41.8
5.375	42.5
5.725	44.6
5.625	44.2
5.395	43.5

Fuente: *Elaboración Propia.*

**Tabla 3. Consumos reales de combustible y rendimiento reales en actividades para la motoniveladora new holland rg140b en el proyecto Junín barbacoas**

DATOS CONSUMO DE COMBUSTIBLE (GAL/HORA)	RENDIMIENTOS (M3/HORA)
4.125	36.7
5.000	37.4
4.325	38.5
4.450	39.3
4.650	41.5
4.915	40.6
4.875	41.5
4.800	43
5.050	43.2
5.150	43.8
4.725	38.4
4.625	37.9
4.925	39.2
5.005	40.3
5.410	42.5
5.675	43.5

5.650	44.1
5.475	43.9
5.785	45.6
5.375	46.2
4.875	48.5
5.415	49.5
5.725	49.7
5.625	50.2
5.500	51.3
5.425	52.5
5.875	53.6
6.150	55.6
6.275	56.4
6.375	57.6

Fuente: *Elaboración Propia.*

**Tabla 4. Consumos reales de combustible y rendimiento reales en actividades para la motoniveladora Caterpillar en el proyecto la soberanía**

<b>DATOS CONSUMO DE COMBUSTIBLE MOTONIVELADORA (GAL/HORA)</b>	<b>RENDIMIENTOS (M3/HORA)</b>
4.625	35.7
4.875	36.4
5.150	36.9
5.500	37.9
6.150	38.2
5.275	38.7
5.375	41.5
5.925	41.2
6.050	43.5
5.725	45.2
4.125	39.5
4.575	42.8
4.875	43.4
5.125	45.6
4.600	47.2
5.250	48.3
5.725	49.5
5.475	50.2
5.875	51.5
5.600	52.4
3.925	48.5
4.125	49.6
4.225	50.5

4.600	51.7
4.250	52.6
4.375	54.5
4.625	56.7
4.300	58.3
4.950	59.5
4.850	60.5

Fuente: *Elaboración Propia.*

**Tabla 5. Consumos reales de combustible y rendimiento reales en actividades para la motoniveladora new holland en el proyecto la soberanía**

<b>DATOS CONSUMO DE COMBUSTIBLE</b>	<b>RENDIMIENTOS (M3/HORA)</b>
4.625	38.7
4.875	42.5
4.835	42.7
4.845	42
4.955	43.3
4.915	44.1
5.000	44.7
5.035	45.4
5.050	45.9
5.075	47.2
4.975	49.8
4.125	43.7
4.700	45.2
4.500	45.7
4.525	47.2
4.625	49.3
4.500	49.1
4.565	49.4
4.795	50
4.725	51.2
4.650	51.7
5.225	51.9
4.925	48.8
5.375	49.7
5.250	51.5
5.565	52
5.475	52.7
5.725	53.8
5.975	54.5
5.625	55.6
6.375	58.5

Fuente: *Elaboración Propia.*



**Matrices de consumo real de combustible en función del rendimiento real para la maquinaria en los cinco proyectos viales en algunas condiciones de operación.**

En relación con la matriz de variables consumo real de combustible por hora en función del rendimiento real en obra por hora se analiza para diferentes las condiciones de operación del equipo, las cuales están presentes en los cinco proyectos viales, con el objetivo de graficar la matriz de variables por condición de operación del equipo. Esto se hace para obtener la mejor regresión según el comportamiento de los datos.

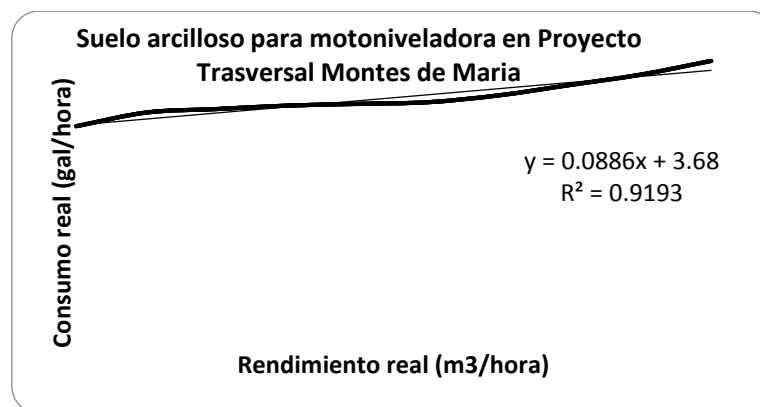
**Tabla 6. Matriz de consumo real en función del rendimiento real para la Motoniveladora de marca New Holland en el proyecto Traversal Montes de María para la condición suelo arcilloso**

CONDICIÓN 1. SUELO ARCILLOSO	
CONSUMO REAL	RENDIMIENTO REAL
3,750	36
3,950	37
4,000	38,5
4,050	39
4,075	39,5
4,100	40
4,200	41
4,350	42,5
4,500	43,5
4,700	45

*Fuente: Elaboración Propia.*

El comportamiento de los datos de la matriz corresponde a una función lineal por lo tanto se hace la regresión lineal para los datos, determinando su ecuación lineal y su coeficiente de correlación; en la figura se muestra el valor de la pendiente y el intercepto, también se muestra el valor de coeficiente de correlación que es de 0,9193 cuyo es cercano a 1, lo cual quiere decir que los datos son confiables. Como se muestra en la siguiente Grafica.

**Figura. 7. Regresión lineal para Motoniveladora New Holland en Proyecto Traversal Montes de María en condición de operación de suelo arcilloso**



*Fuente: Elaboración Propia.*

Parámetros determinados:  
 Ecuación lineal:  $Y = 0.0886X + 3.68$   
 $R^2 = 0.9193$ : dato que ofrece confiabilidad

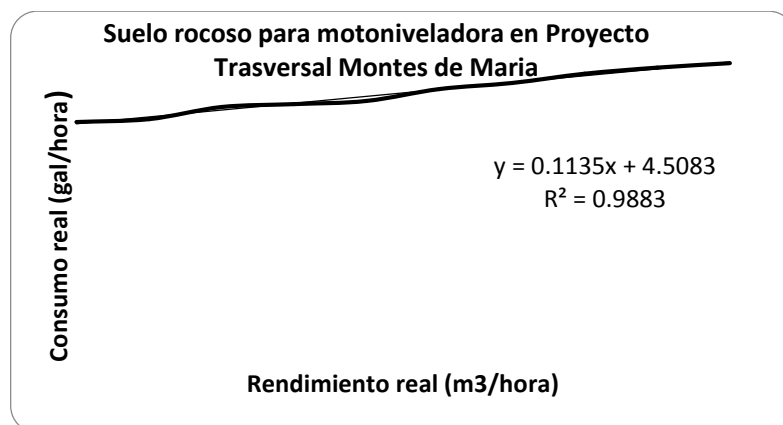
**Tabla 7. Matriz de consumo real en función del rendimiento real para la Motoniveladora de marca New Holland en el proyecto Traslversal Montes de maría para la condición suelo rocoso**

CONDICIÓN 2. SUELO ROCOSO	
CONSUMO REAL	RENDIMIENTO REAL
4,650	40,5
4,700	41,6
4,900	43,6
4,950	44
5,000	44,5
5,200	45,5
5,300	46,2
5,450	47
5,550	47,8
5,625	48,8

*Fuente: Elaboración Propia.*

El comportamiento de los datos de la matriz corresponde a una función lineal por lo tanto se hace la regresión lineal para los datos, determinando su ecuación lineal y su coeficiente de correlación; en la figura se muestra el valor de la pendiente y el intercepto, también se muestra el valor de coeficiente de correlación que es de 0,9883 cuyo es cercano a 1, lo cual quiere decir que los datos son confiables. Como se muestra en la siguiente Grafica.

**Figura. 8. Regresión lineal para Motoniveladora New Holland en Proyecto Traslversal Montes de María en condición de operación de suelo rocoso**



*Fuente: Elaboración Propia.*

Parámetros determinados:  
 Ecuación lineal:  $Y = 0.1135X + 4.5083$   
 $R^2 = 0.9883$ : dato que ofrece confiabilidad

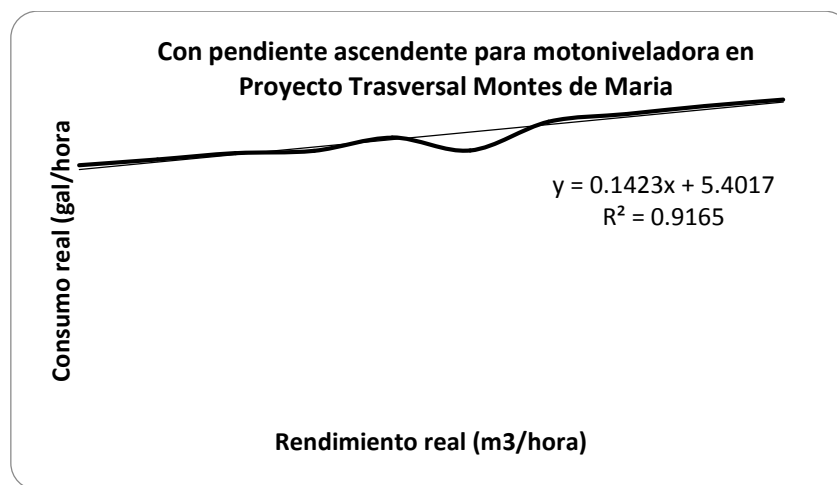
**Tabla 8. Matriz de consumo real en función del rendimiento real para la Motoniveladora de marca New Holland en el proyecto Traversal Montes de María para la condición pendiente ascendente**

CONDICIÓN 3. CON PENDIENTE ASCENDENTE	
CONSUMO REAL	RENDIMIENTO REAL
5,625	47,2
5,735	47,9
5,855	48,7
5,900	48,9
6,150	50,5
5,905	48,95
6,450	52,4
6,600	52,9
6,750	53,5

**Fuente:** *Elaboración Propia.*

El comportamiento de los datos de la matriz corresponde a una función lineal por lo tanto se hace la regresión lineal para los datos, determinando su ecuación lineal y su coeficiente de correlación; en la figura se muestra el valor de la pendiente y el intercepto, también se muestra el valor de coeficiente de correlación que es de 0,9883 cuyo es cercano a 1, lo cual quiere decir que los datos son confiables. Como se muestra en la siguiente Grafica.

**Figura. 9. Regresión lineal para Motoniveladora New Holland en Proyecto Traversal Montes de María en condición de operación pendiente ascendente**



**Fuente:** *Elaboración Propia.*

Parámetros determinados:

Ecuación lineal:  $Y = 0.1423X + 5.4017$

$R^2 = 0.9165$ : dato que ofrece confiabilidad

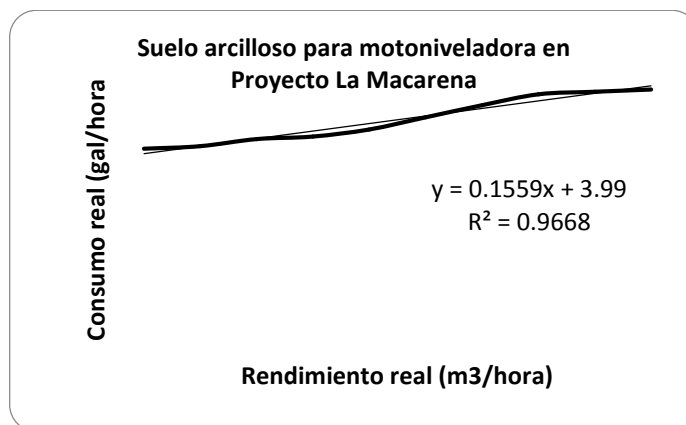
**Tabla 9. Matriz de consumo real en función del rendimiento real para la Motoniveladora de marca New Holland en el proyecto Traslversal la Macarena para la condición suelo arcilloso.**

CONDICION 1. SUELO ARCILLOSO	
CONSUMO REAL	RENDIMIENTO REAL
4,250	36,4
4,300	37,2
4,450	38,5
4,500	3,9
4,650	39,8
4,900	40,5
5,150	41,3
5,375	44,5
5,425	45,2
5,475	45,8

*Fuente: Elaboración Propia.*

El comportamiento de los datos de la matriz corresponde a una función lineal por lo tanto se hace la regresión lineal para los datos, determinando su ecuación lineal y su coeficiente de correlación; en la figura se muestra el valor de la pendiente y el intercepto, también se muestra el valor de coeficiente de correlación que es de 0,9668 cuyo es cercano a 1, lo cual quiere decir que los datos son confiables. Como se muestra en la siguiente Grafica.

**Figura. 10.Regresión lineal para Motoniveladora New Holland en Proyecto Traslversal de la Macarena en condición de operación suelo arcilloso.**



*Fuente: Elaboración Propia.*

Parámetros determinados:

Ecuación lineal:  $Y = 0.1559X + 3.99$

$R^2 = 0.9668$ : dato que ofrece confiabilidad

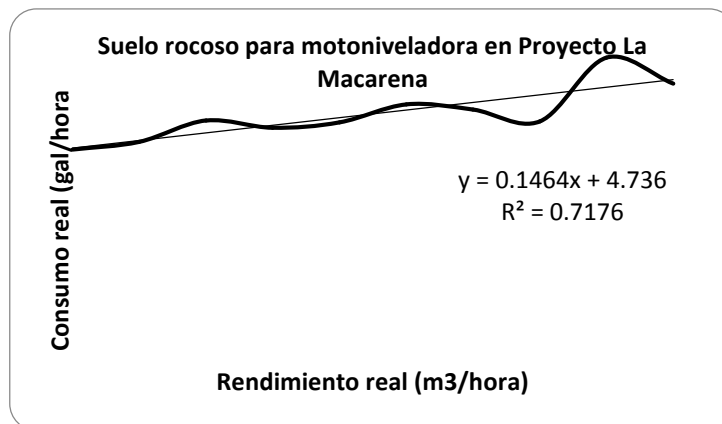
**Tabla 10. Matriz de consumo real en función del rendimiento real para la Motoniveladora de marca New Holland en el proyecto Traversal la Macarena para la condición suelo rocoso.**

CONDICIÓN 2. SUELO ROCOSO	
CONSUMO REAL	RENDIMIENTO REAL
4,850	37,2
5,000	38,5
5,415	41,3
5,275	41,8
5,375	42,5
5,725	44,6
5,625	44,2
5,395	43,5
6,625	47,4
6,125	46,8

*Fuente: Elaboración Propia.*

El comportamiento de los datos de la matriz corresponde a una función lineal por lo tanto se hace la regresión lineal para los datos, determinando su ecuación lineal y su coeficiente de correlación; en la figura se muestra el valor de la pendiente y el intercepto, también se muestra el valor de coeficiente de correlación que es de 0,7176 cuyo valor es cercano a 1, lo cual quiere decir que los datos son confiables. Como se muestra en la siguiente Grafica.

**Figura. 11. Regresión lineal para Motoniveladora New Holland en Proyecto Traversal de la Macarena en condición de operación suelo rocoso.**



*Fuente: Elaboración Propia.*

Parámetros determinados:

Ecuación lineal:  $Y = 0.1464X + 4.736$

$R^2 = 0.7176$ : dato que ofrece confiabilidad

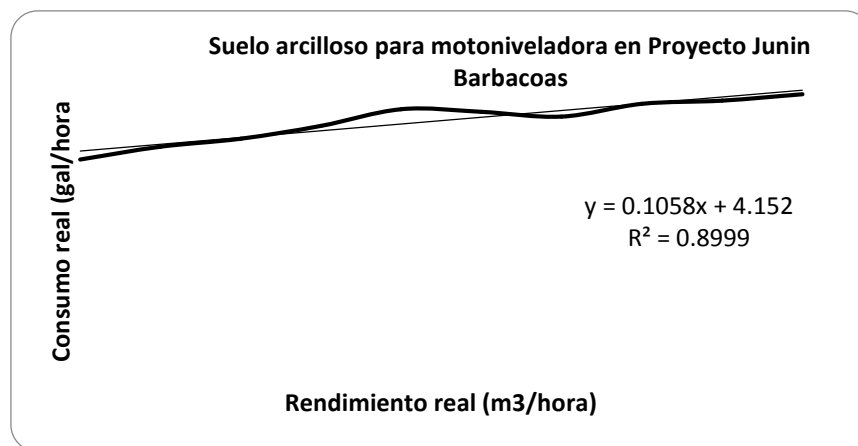
**Tabla 11. Matriz de consumo real en función del rendimiento real para la Motoniveladora de marca New Holland RG140B en el proyecto Junín Barbacoas para la condición suelo arcilloso.**

CONDICIÓN 1. SUELO ARCILLOSO	
Consumo real (gal/hora)	Rendimiento real (m3/hora)
4,125	36,7
4,325	37,4
4,450	38,5
4,650	39,3
4,915	41,5
4,875	40,6
4,800	41,5
5,000	43
5,050	43,2
5,150	43,8

*Fuente: Elaboración Propia.*

El comportamiento de los datos de la matriz corresponde a una función lineal por lo tanto se hace la regresión lineal para los datos, determinando su ecuación lineal y su coeficiente de correlación; en la figura se muestra el valor de la pendiente y el intercepto, también se muestra el valor de coeficiente de correlación que es de 0,8999 cuyo valor es cercano a 1, lo cual quiere decir que los datos son confiables. Como se muestra en la siguiente Grafica.

**Figura. 12. Regresión lineal para Motoniveladora New Holland RG140B en Proyecto Junín Barbacoas en condición de operación suelo arcilloso.**



*Fuente: Elaboración Propia.*

Parámetros determinados:

Ecuación lineal:  $Y = 0.1058X + 4.152$

$R^2 = 0.8999$ : dato que ofrece confiabilidad

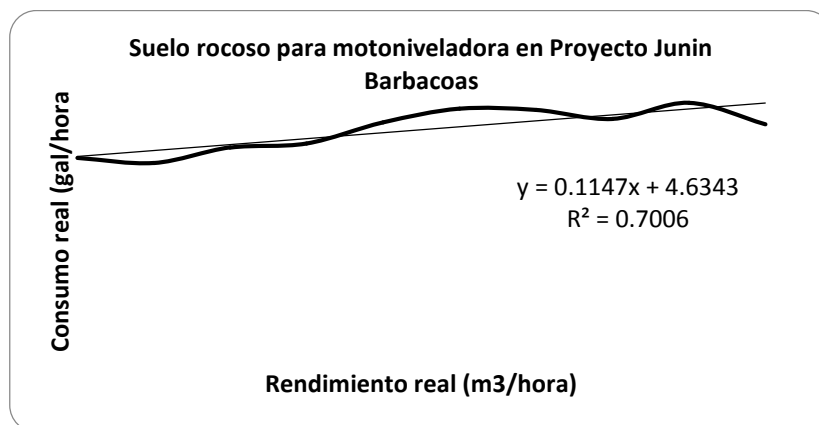
**Tabla 12. Matriz de consumo real en función del rendimiento real para la Motoniveladora de marca New Holland RG140B en el proyecto Junín Barbacoas para la condición suelo rocoso.**

CONDICIÓN 2. SUELO ROCOSO	
Consumo real (gal/hora)	Rendimiento real (m3/hora)
4,725	38,4
4,625	37,9
4,925	39,2
5,005	40,3
5,410	42,5
5,675	43,5
5,650	44,1
5,475	43,9
5,785	45,6
5,375	46,2

Fuente: *Elaboración Propia.*

El comportamiento de los datos de la matriz corresponde a una función lineal por lo tanto se hace la regresión lineal para los datos, determinando su ecuación lineal y su coeficiente de correlación; en la figura se muestra el valor de la pendiente y el intercepto, también se muestra el valor de coeficiente de correlación que es de 0,7006 cuyo valor es cercano a 1, lo cual quiere decir que los datos son confiables. Como se muestra en la siguiente Grafica.

**Figura. 13. Regresión lineal para Motoniveladora New Holland RG140B en Proyecto Junín Barbacoas en condición de operación suelo rocoso.**



Fuente: *Elaboración Propia.*

Parámetros determinados:

Ecuación lineal:  $Y = 0.1147X + 4.6343$

$R^2 = 0.7006$ : dato que ofrece confiabilidad

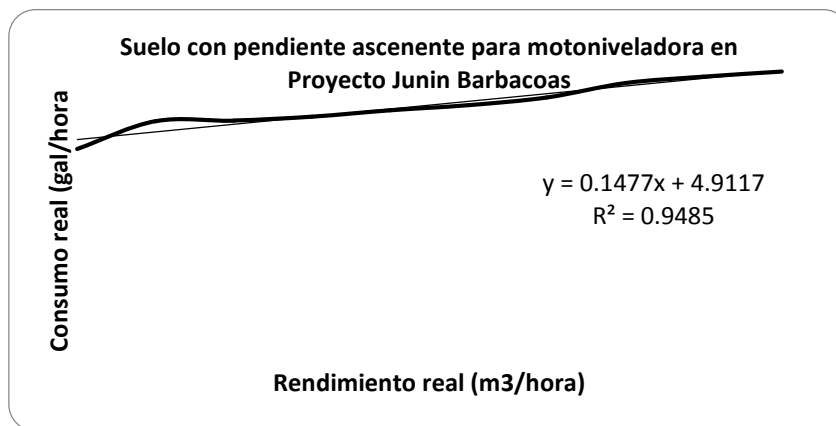
**Tabla 13. Matriz de consumo real en función del rendimiento real para la Motoniveladora de marca New Holland RG140B en el proyecto Junín Barbacoas para la condición pendiente ascendente.**

CONDICION 3. CON PENDIENTE ASCENDENTE	
Consumo real (gal/hora)	Rendimiento real (m3/hora)
4,875	48,5
5,415	49,5
5,425	49,7
5,500	50,2
5,625	51,3
5,725	52,5
5,875	53,6
6,150	55,6
6,275	56,4
6,375	57,6

Fuente: *Elaboración Propia.*

El comportamiento de los datos de la matriz corresponde a una función lineal por lo tanto se hace la regresión lineal para los datos, determinando su ecuación lineal y su coeficiente de correlación; en la figura se muestra el valor de la pendiente y el intercepto, también se muestra el valor de coeficiente de correlación que es de 0,9485 cuyo valor es cercano a 1, lo cual quiere decir que los datos son confiables. Como se muestra en la siguiente Grafica.

**Figura. 14. Regresión lineal para Motoniveladora New Holland RG140B en Proyecto Junín Barbacoas en condición de operación pendiente ascendente**



Fuente: *Elaboración Propia.*

Parámetros determinados:

Ecuación lineal:  $Y = 0.1477X + 4.9117$

$R^2 = 0.9485$ : dato que ofrece confiabilidad



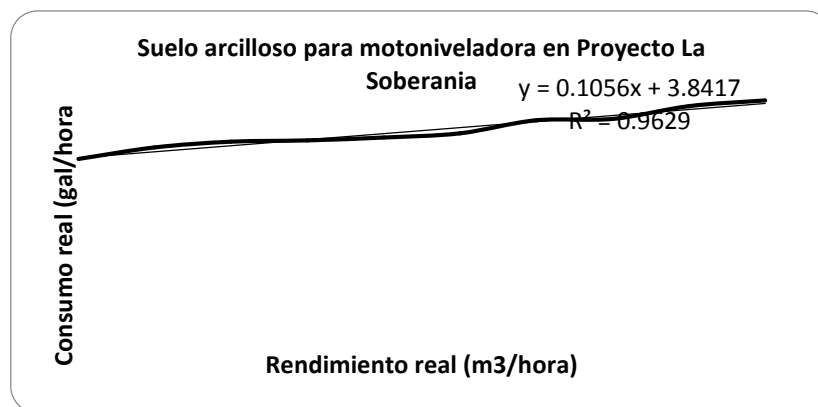
**Tabla 14. Matriz de consumo real en función del rendimiento real para la Motoniveladora de marca Caterpillar en el proyecto La Soberanía para la condición suelo arcilloso.**

CONDICIÓN 1. SUELO ARCILLOSO	
Consumo real (gal/hora)	Rendimiento real (m3/hora)
3,925	35,7
4,125	36,4
4,225	36,9
4,250	37,9
4,300	38,2
4,375	38,7
4,600	41,5
4,625	41,2
4,850	43,5
4,950	45,2

**Fuente:** *Elaboración Propia.*

El comportamiento de los datos de la matriz corresponde a una función lineal por lo tanto se hace la regresión lineal para los datos, determinando su ecuación lineal y su coeficiente de correlación; en la figura se muestra el valor de la pendiente y el intercepto, también se muestra el valor de coeficiente de correlación que es de 0,9629 cuyo valor es cercano a 1, lo cual quiere decir que los datos son confiables. Como se muestra en la siguiente Grafica.

**Figura. 15. Regresión lineal para Motoniveladora Caterpillar en Proyecto La Soberanía**



**Fuente:** *Elaboración Propia*

Parámetros determinados:

Ecuación lineal:  $Y = 0.1056X + 3.8417$

$R^2 = 0.9629$ : dato que ofrece confiabilidad

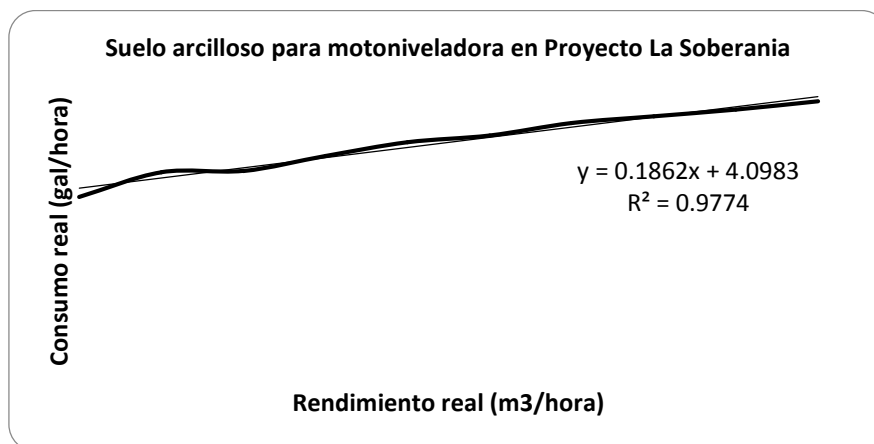
**Tabla 15. Matriz de consumo real en función del rendimiento real para la Motoniveladora de marca Caterpillar en el proyecto La Soberanía para la condición suelo rocoso.**

CONDICIÓN 2. SUELO ROCOSO	
Consumo real (gal/hora)	Rendimiento real (m3/hora)
4,125	39,5
4,575	42,8
4,600	43,4
4,875	45,6
5,125	47,2
5,250	48,3
5,475	49,5
5,600	50,2
5,725	51,5
5,875	52,4

**Fuente:** *Elaboración Propia.*

El comportamiento de los datos de la matriz corresponde a una función lineal por lo tanto se hace la regresión lineal para los datos, determinando su ecuación lineal y su coeficiente de correlación; en la figura se muestra el valor de la pendiente y el intercepto, también se muestra el valor de coeficiente de correlación que es de 0,9774 cuyo valor es cercano a 1, lo cual quiere decir que los datos son confiables. Como se muestra en la siguiente Grafica.

**Figura. 16. Regresión lineal para Motoniveladora Caterpillar en Proyecto La Soberanía en condición de operación suelo rocoso.**



**Fuente:** *Elaboración Propia..*

Parámetros determinados:

Ecuación lineal:  $Y = 0.1862X + 4.0983$

$R^2 = 0.9774$ : dato que ofrece confiabilidad

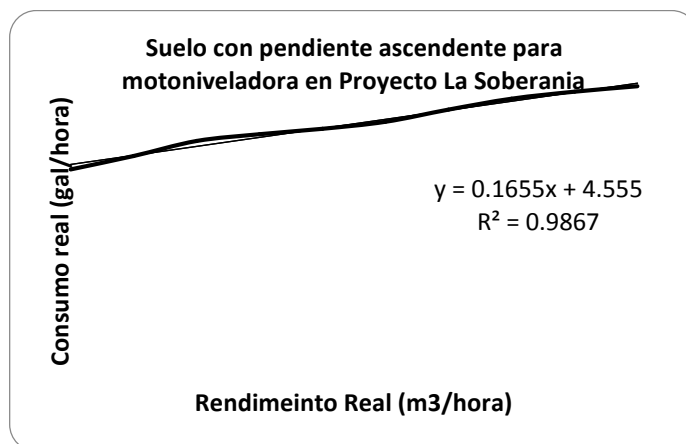
**Tabla 16. Matriz de consumo real en función del rendimiento real para la Motoniveladora de marca Caterpillar en el proyecto La Soberanía para la condición pendiente ascendente.**

CONDICIÓN 3. CON PENDIENTE ASCENDENTE	
Consumo real (gal/hora)	Rendimiento real (m3/hora)
4,625	48,5
4,875	49,6
5,150	50,5
5,275	51,7
5,375	52,6
5,500	54,5
5,725	56,7
5,925	58,3
6,050	59,5
6,150	60,5

**Fuente:** *Elaboración Propia.*

El comportamiento de los datos de la matriz corresponde a una función lineal por lo tanto se hace la regresión lineal para los datos, determinando su ecuación lineal y su coeficiente de correlación; en la figura se muestra el valor de la pendiente y el intercepto, también se muestra el valor de coeficiente de correlación que es de 0,9867 cuyo valor es cercano a 1, lo cual quiere decir que los datos son confiables. Como se muestra en la siguiente Grafica.

**Figura. 17. Regresión lineal para Motoniveladora Caterpillar en Proyecto La Soberanía en condición de operación pendiente ascendente.**



**Fuente:** *Elaboración Propia.*

Parámetros determinados:

Ecuación lineal:  $Y = 0.1655X + 4.555$

$R^2 = 0.9867$ : dato que ofrece confiabilidad

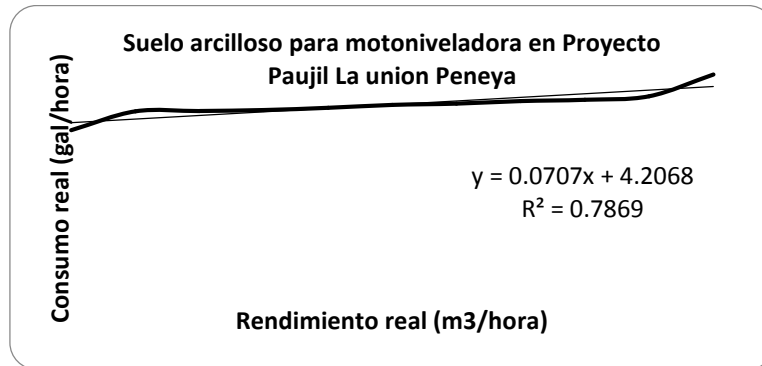
**Tabla 17. Matriz de consumo real en función del rendimiento real para la Motoniveladora de marca Caterpillar en el proyecto Paujil la Unión Peneya para la condición suelo arcilloso.**

CONDICIÓN 1. SUELO ARCILLOSO	
Consumo real (gal/hora)	Rendimiento real (m3/hora)
4,125	38,7
4,500	42,5
4,505	42,7
4,525	42
4,565	43,3
4,625	44,1
4,650	44,7
4,700	45,4
4,725	45,9
4,795	47,2

Fuente: *Elaboración Propia.*

El comportamiento de los datos de la matriz corresponde a una función lineal por lo tanto se hace la regresión lineal para los datos, determinando su ecuación lineal y su coeficiente de correlación; en la figura se muestra el valor de la pendiente y el intercepto, también se muestra el valor de coeficiente de correlación que es de 0,7869 cuyo valor es cercano a 1, lo cual quiere decir que los datos son confiables. Como se muestra en la siguiente Grafica.

**Figura. 18. Regresión lineal para Motoniveladora Caterpillar en Proyecto Paujil la Unión Peneya en condición de operación suelo arcilloso.**



Fuente: *Elaboración Propia.*

Parámetros determinados:

Ecuación lineal:  $Y = 0.0707X + 4.2068$

$R^2 = 0.7869$ : dato que ofrece confiabilidad

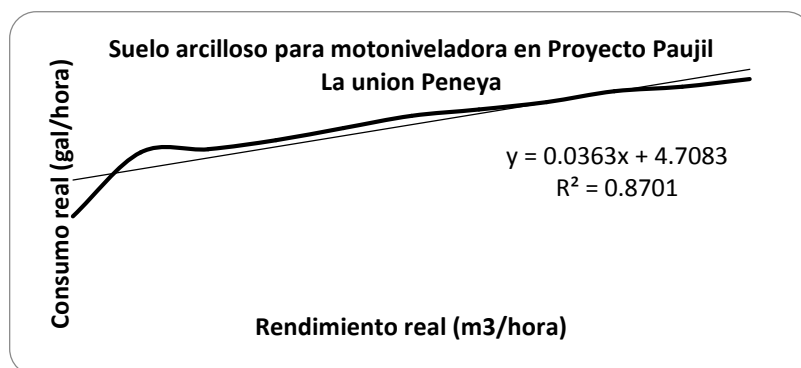
**Tabla 18. Matriz de consumo real en función del rendimiento real para la Motoniveladora de marca Caterpillar en el proyecto Paujil la Unión Peneya para la condición suelo rocoso.**

CONDICIÓN 2.SUELO ROCOSO	
Consumo real (gal/hora)	Rendimiento real (m3/hora)
4,625	43,7
4,835	45,2
4,845	45,7
4,875	47,2
4,915	49,3
4,955	49,1
4,975	49,4
5,000	50
5,035	51,2
5,050	51,7
5,075	51,9

Fuente: *Elaboración Propia.*

El comportamiento de los datos de la matriz corresponde a una función lineal por lo tanto se hace la regresión lineal para los datos, determinando su ecuación lineal y su coeficiente de correlación; en la figura se muestra el valor de la pendiente y el intercepto, también se muestra el valor de coeficiente de correlación que es de 0,8701 cuyo valor es cercano a 1, lo cual quiere decir que los datos son confiables. Como se muestra en la siguiente Grafica.

**Figura. 19. Regresión lineal para Motoniveladora Caterpillar en Proyecto Paujil la Unión Peneya en condición de operación suelo rocoso**



Fuente: *Elaboración Propia.*

Parámetros determinados:

Ecuación lineal:  $Y = 0.0363X + 4.7083$

$R^2 = 0.8701$ : dato que ofrece confiabilidad

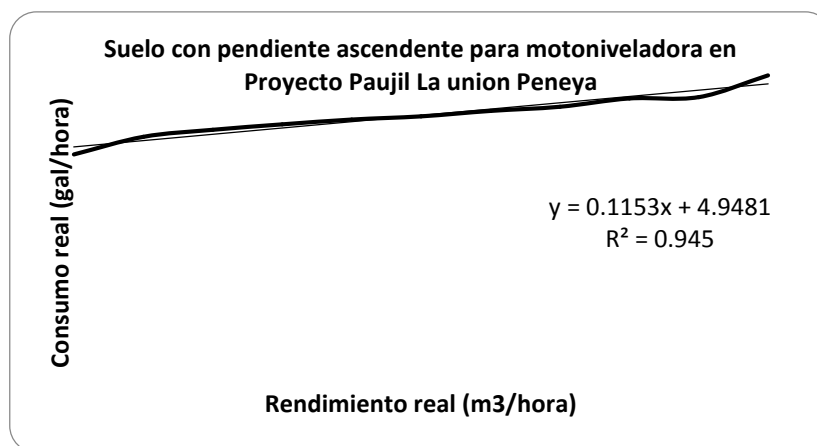
**Tabla 19. Matriz de consumo real en función del rendimiento real para la Motoniveladora de marca Caterpillar en el proyecto Paujil la Unión Peneya para la condición pendiente ascendente.**

CONDICIÓN 3. CON PENDIENTE ASCENDENTE	
Consumo real (gal/hora)	Rendimiento real (m3/hora)
4,925	48,8
5,250	49,7
5,375	51,5
5,475	52
5,565	52,7
5,625	53,8
5,725	54,5
5,800	55,6
5,950	57,4

Fuente: *Elaboración Propia.*

El comportamiento de los datos de la matriz corresponde a una función lineal por lo tanto se hace la regresión lineal para los datos, determinando su ecuación lineal y su coeficiente de correlación; en la figura se muestra el valor de la pendiente y el intercepto, también se muestra el valor de coeficiente de correlación que es de 0,945 cuyo valor es cercano a 1, lo cual quiere decir que los datos son confiables. Como se muestra en la siguiente Grafica.

**Figura. 20. Regresión lineal para Motoniveladora Caterpillar en Proyecto Paujil la Unión Peneya en condición de operación suelo rocoso.**



Fuente: *Elaboración Propia.*

Parámetros determinados:  
 Ecuación lineal:  $Y = 0.1153X + 4.9481$   
 $R^2 = 0.945$ : dato que ofrece confiabilidad

**Análisis de las regresiones de las matrices de consumo reales en función del rendimiento para los cinco equipos en los cinco proyectos viales.**

De acuerdo a las regresiones desarrolladas en todas las diferentes condiciones de operación aplicadas a los cinco equipos utilizados en los cinco proyectos viales se dio como constante una ecuación lineal la cual corresponde al mejor comportamiento de los datos de las variables en estudio ya que los coeficientes de correlación son valores cercanos a uno (1). Con base en el análisis matemático desarrollado se pudo determinar que el mejor modelo o ecuación que correlaciona el consumo real del combustible en función del rendimiento real en proyectos viales es una función o ecuación lineal con su correspondiente pendiente e intercepto. A continuación se muestran los las tablas ecuaciones lineales para cada uno de los equipos en las diferentes condiciones de operación para los cinco proyectos viales.

**Tabla 20.Ecuaciones lineales en los cinco proyectos viales.**

<b>EQUIPO 1</b>	MOTONIVELADORA
<b>PROYECTO 1</b>	PROYECTO MONTES DE MARIA
<b>FUNCIONES PARA LAS DIFERENTES CONDICIONES</b>	
<b>SUELO ARCILLOSO</b>	$Y=0,0886X+3,68$
<b>SUELO ROCOSO</b>	$Y=0,1135X+4,5083$
<b>TERRENO CON PENDIENTE ASCENDENTE</b>	$Y=0,1423X+5,4017$
<b>EQUIPO 1</b>	MOTONIVELADORA
<b>PROYECTO 2</b>	PROYECTO TRASVERSAL LA MACARENA
<b>FUNCIONES PARA LAS DIFERENTES CONDICIONES</b>	
<b>SUELO ARCILLOSO</b>	$Y=0,1559X+3,99$
<b>SUELO ROCOSO</b>	$Y=0,1464X+4,736$
<b>EQUIPO 1</b>	MOTONIVELADORA
<b>PROYECTO 3</b>	PROYECTO JUNIN BARBACOAS
<b>FUNCIONES PARA LAS DIFERENTES CONDICIONES</b>	
<b>SUELO ARCILLOSO</b>	$Y=0,1058X+4,125$
<b>SUELO ROCOSO</b>	$Y=0,1147X+4,6343$
<b>TERRENO CON PENDIENTE ASCENDENTE</b>	$y=0,1477X+4,9117$
<b>EQUIPO 1</b>	MOTONIVELADORA
<b>PROYECTO 4</b>	PROYECTO LA SOBERANIA
<b>FUNCIONES PARA LAS DIFERENTES CONDICIONES</b>	
<b>SUELO ARCILLOSO</b>	$Y=0,1056X+3,8417$
<b>SUELO ROCOSO</b>	$Y=0,1862X+4,0983$
<b>TERRENO CON PENDIENTE ASCENDENTE</b>	$Y=0,1655X+4,555$
<b>EQUIPO 1</b>	MOTONIVELADORA
<b>PROYECTO 5</b>	PROYECTO PAUJIL LA UNION PENEYA
<b>FUNCIONES PARA LAS DIFERENTES CONDICIONES</b>	
<b>SUELO ARCILLOSO</b>	$Y=0,0707+4,2068$
<b>SUELO ROCOSO</b>	$y=0,0363X+4,7083$
<b>TERRENO CON PENDIENTE ASCENDENTE</b>	$y=0,1153X+4,9481$

Fuente: *Elaboración Propia.*

### **Modelo o ecuación matemática de correlación de consumo real de combustible en función del rendimiento en cinco equipos aplicados a cinco proyectos viales.**

Como se mencionó anteriormente el mejor modelo matemático que representa el comportamiento de los datos de consumo real en función del rendimiento real fue una función o ecuación lineal basada en el análisis matemático desarrollado.

La función lineal fue una constante en las diferentes condiciones de operación de los cinco equipos en los cinco proyectos viales. Esto se ve reflejado en las tablas No 86, 87, 88, 89 y 90 donde especifican las ecuaciones lineales para cada uno de los equipos en las diferentes condiciones de operación aplicadas a los proyectos viales y se puede notar que la función lineal está presente en todos los casos. Por consiguiente el modelo o ecuación matemático general para proyectar el consumo o el rendimiento en los cinco equipos de construcción de carreteras es el siguiente:

De la función lineal general tenemos:

$$Y=MX+B$$

Luego para nuestros conceptos se tiene:

$$C= MR+B$$

**Donde:**

**C:** Consumo real de combustible por hora

**R:** Rendimiento real sobre la actividad por hora

**M:** Pendiente.

**B:** Intercepto con el eje del consumo.

De acuerdo a lo anterior la pendiente es conocida ya que se calcula el promedio de las pendientes e interceptos por el tipo de equipo teniendo en cuenta que sea la misma condición de operación en los cinco proyectos viales.

Esto se hace debido a que las pendientes e interceptos son muy similares obedeciendo a que datos de los proyectos viales empleados tienen características muy similares.

A continuación se presenta los promedios de pendientes e interceptos de las funciones lineales para cada uno de los equipos en los cinco proyectos viales, promedio de pendientes e interceptos para el tipo de equipo de la misma condición de operación para los cinco proyectos

Los siguientes valores son determinados de las tablas de acuerdo a cada caso respectivamente



**Tabla 21. Datos de pendiente e intercepto para Maquinaria**

<b>PARA SUELO ARCILLOSO</b>		
PENDIENTE	M	0.10532
INTERCEPTO	B	3.9687
<b>PAR SUELO ROCOSO</b>		
PENDIENTE	M	0.1402
INTERCEPTO	B	4.53704
<b>CON PENDIENTE ASCENDENTE</b>		
PENDIENTE	M	0.1427
INTERCEPTO	B	4.9105

**Fuente:** *Elaboración Propia.*

Luego el modelo matemático para la motoniveladora basado en las condiciones de operación por ejemplo para suelo arcilloso será:

$$C = 0.10532R + 3.9687$$

De igual manera se hace para la condición suelo rocoso y pendiente ascendente.

**Tabla 22. Condición suelo rocoso y pendiente ascendente.**

<b>PARA SUELO ARCILLOSO</b>		
PENDIENTE	M	0.0739
INTERCEPTO	B	4.20746
<b>PAR SUELO ROCOSO</b>		
PENDIENTE	M	0.18398
INTERCEPTO	B	4.69602

**Fuente:** *Elaboración Propia.*

Luego el modelo matemático basado en las condiciones de operación por ejemplo para suelo arcilloso será:

$$C = 0.0739R + 4.20746$$

De igual manera se hace para la condición suelo rocoso.

**Tabla 23. Datos de pendiente e intercepto para el Bulldozer**

<b>PARA SUELO ARCILLOSO</b>		
PENDIENTE	M	0.14395
INTERCEPTO	C1	4.19886
<b>PAR SUELO ROCOSO</b>		
PENDIENTE	M	0.12594
INTERCEPTO	C1	4.65548

**Fuente:** *Elaboración Propia.*

Luego el modelo matemático para el Bulldozer basado en las condiciones de operación por ejemplo para suelo arcilloso será:

$$C = 0.14395R + 4.19886$$

De igual manera se hace para la condición suelo rocoso.

**Tabla 24. Datos de pendiente e intercepto para el cargador**

<b>PARA SUELO ARCILLOSO</b>		
PENDIENTE	M	0.1361
INTERCEPTO	C1	4.133425
<b>PAR SUELO ROCOSO</b>		
PENDIENTE	M	0.0981
INTERCEPTO	C1	4.95314
<b>CON PENDIENTE ASCENDENTE</b>		
PENDIENTE	M	0.11585
INTERCEPTO	C1	5.229

**Fuente:** *Elaboración Propia.*

Luego el modelo matemático para el cargador basado en las condiciones de operación por ejemplo para suelo arcilloso será:

$$C = 0.1361R + 4.133425$$

De igual manera se hace para la condición suelo rocoso y pendiente ascendente.

**Tabla 25. Datos de pendiente e intercepto para el vibro-compactador**

<b>PARA SUELO ARCILLOSO</b>		
PENDIENTE	M	0.128525
INTERCEPTO	C1	4.0606
<b>PARA SUELO ROCOSO</b>		
PENDIENTE	M	0.10318
INTERCEPTO	C1	4.40354
<b>CON PENDIENTE ASCNDEENTE</b>		
PENDIENTE	M	0.1265
INTERCEPTO	C1	4.8617

**Fuente:** *Elaboración Propia.*

Luego el modelo matemático para el vibrocompactador basado en las condiciones de operación por ejemplo para suelo arcilloso será:

$$C = 0.128525R + 4.0606$$

De igual manera se hace para la condición suelo rocoso y pendiente ascendente.

Basado en las anteriores ecuaciones lineales se puede proyectar el rendimiento o el consumo para una hora o más y este se puede utilizar en presupuestos de contratos de obra o como valores que puedan ser comparados para el control de otros proyectos viales.

La metodología para implementar el modelo matemático general que se muestra a continuación.

$$C = MR + B$$

Donde:

- C:** Consumo real de combustible por hora
- R:** Rendimiento real sobre la actividad por hora
- M:** Pendiente.
- B:** Intercepto con el eje del consumo.

La utilización del modelo es muy sencillo y practico ya que en cualquier proyecto conocemos las condiciones de operación del equipo en obra y conocemos el tipo de equipo que se va a emplear.

Con estos parámetros y teniendo como base este proyecto donde se trabajó con cinco proyectos viales se tiene una base de datos confiable como son: M (pendiente) y B (intercepto), valores que fueron determinados mediante procedimientos matemáticos basados en las condiciones de operación de los equipos en los cinco proyectos viales.

Luego si por ejemplo deseamos determinar un consumo de combustible o rendimiento real en obra en cualquier proyecto vial, se debe tener en cuenta el tipo de equipo y la condición de operación del equipo en obra y luego se reemplaza los valores de M y B, dependiendo del equipo y la condición de operación.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La recolección de la información fue algo dispendiosa ya que la mayoría de datos no estaban en su totalidad en la Jefatura de Ingenieros de la Escuela de Ingenieros militares. La información restante fue suministrada por FONADE que era la entidad que le hacía seguimiento a los proyectos viales.
- Los valores de rendimientos y consumos teóricos son valores que están cercanos a los reales en algunos casos. Cuando los datos teóricos difieren en gran proporción de los datos reales se debe a las diferentes variables que se presentan en la operación de los equipos en proyectos viales como por ejemplo: la altura sobre el nivel del mar, el equipo empleado, el operador, la resistencia al rodamiento, etc.
- Muchos valores de rendimientos y consumos reales analizados los proyectos viales dan por encima de los teóricos pero sobra decir que de todas maneras se pueden usar como para el control de combustible y para presupuestos en lo concerniente a los rendimientos.
- Las condiciones de operación de los equipos en los proyectos viales que se emplearon para el cálculo de la ecuación matemática fueron las que las condiciones más críticas para la operación de los equipos y las que más se presentaron en los proyectos viales. Cabe resaltar que en algunos casos para la condición pendiente ascendente para algún tipo de equipo y en un proyecto vial no existe función lineal, esto es debido a que no hubieron datos para la condición de operación mencionada.
- El modelo o ecuación matemática calculada no solamente puede ser aplicado para determinar consumos de combustible sino también rendimientos en obra. La importancia del cálculo del consumo radica en que las entidades van a conocer el costo que tiene el combustible en determinado proyecto vial y también el cálculo del rendimiento es muy importante ya que si conocemos el consumo determinamos el rendimiento y en el ítem de insumos y equipos en el presupuesto del proyecto será muy útil. Lógicamente que los rendimientos calculados mediante la ecuación lineal van a servir muy indispensables para el control de los rendimientos en actividades para los equipos en los proyectos viales.
- El modelo o ecuación matemática puede ser utilizado principalmente por la jefatura de ingenieros en futuros proyectos viales ya que los datos fueron extraídos de sus proyectos viales. No obstante cualquier entidad pública o privada puede utilizar esta metodología para el cálculo de rendimientos y consumos siempre y cuando sea empleada para proyectos viales.
- El modelo o ecuación matemática no solamente sirve para el cálculo de consumos y rendimientos en una hora sino para n horas en las cuales trabaje los equipos.

- El modelo o ecuación matemática puede ser utilizada para algunos otros siempre y cuando los consumos y los rendimientos teóricos sean muy parecidos a los rendimientos y consumos reales utilizados para el cálculo del modelo matemático.
- La variable combustible es una variable neutra por eso no hace parte del cálculo del modelo pero cabe resaltar que se debe tener presente ya que en el sobreconsumo del combustible en algunos equipos tiene mucho que ver sobre todo cuando se trabaja en climas demasiados produciendo que algunos sistemas electrónicos del motor se enfríen produciendo que el combustible que en este caso es ACPM se evapore y haciendo que el equipo no tenga un buen rendimiento y tenga un sobre costo excesivo de combustible. Para nuestro proyecto en algunos casos se presentó lo mencionado ya que hay consumos de combustible altos en algunos proyectos viales por tal motivo cuando calculamos el consumo con un rendimiento de los suministrados en la base de datos de la jefatura de ingenieros.
- Se recomienda realizar un seguimiento al operador de la maquina ya que este influye en el rendimiento del equipo en obra por la mala operación llevando a sobrecostos en el combustible.
- Se recomienda tener más base de datos de rendimientos de otros proyectos viales, base de datos de rendimientos de otras entidades ya se públicas o privadas para obtener consumos más reales, esto debido a que la base de datos de rendimientos reales suministrado por la Jefatura de ingenieros para el cálculo del modelo matemático eran en algunos casos algo elevados.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Caterpillar. ( 2009). *Manual de rendimiento Caterpillar*. Peoria Illinois EE.UU,,: editada por Caterpillar Inc.,.
- Caterpillar. (2003 ). *operación maquinaria pesada Motoniveladora*. Peoria Illinois EE.UU,.
- Caterpillar. (2003). *Operación de la excavadora* . Peoria Illinois EE.UU, .
- Escuela de Ingenieros Militares. ( 2009. ). " *Informe técnico Proyecto Junín- Barbacoas* " . Bogotá Colombia,.
- Escuela de Ingenieros Militares. ( Octubre de 2011). " *Informe técnico Proyecto Trasversal de la macarena* " . Bogotá Colombia,.
- Escuela de Ingenieros Militares. (Bogotá, 1984,). " *Producción y empleo del equipo de construcción* ". Presencia Ltda, Ed. Bogotá, 1984, pp. 13-182.
- Escuela de Ingenieros Militares. (Diciembre de 2013.). " *Informe técnico Ataco Planadas* " . Bogotá Colombia.

Escuela de Ingenieros Militares. (Junio de 2008.). “*Informe técnico proyecto Traversal Montes de María*”. Bogotá Colombia .

Escuela de Ingenieros Militares. (Octubre de 2008). ” *Informe técnico proyecto Paujil La Unión Penya*”. Bogotá Colombia, .

Ministerio Del Ejercito E.U.A. ( 1985). “*Administración, utilización del equipo de construcción asignado al cuerpo al cuerpo de ingenieros, . USA,*”.

## **RECONOCIMIENTO**

A la Universidad Militar Nueva Granada, al personal de docentes por su orientación guía y apoyo siendo presente en cada una de las actividades que permitieron culminar nuestros estudios y la terminación de esta investigación, para ustedes nuestra gratitud por toda la responsabilidad invaluable y la ayuda que siempre nos proporcionaron para contribuir en nuestra excelencia y nuestra formación personal y profesional.

## **BIOGRAFIA**

Javier Danilo Páez Herrera Ingeniero Civil, Especialista en Diseño y Construcción de Vías (Escuela de Ingenieros Militares), Especialista en gerencia Integral de Obras (Escuela de Ingenieros Militares), profesional en Ciencias Militares por la Escuela Militar de Cadetes. Se puede contactar en la Cr50# 18-06, Cantón Occidental Puente Aranda Correo electrónico [jdph27@hotmail.com](mailto:jdph27@hotmail.com)