

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK**

**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE  
CRUDOS PESADOS”**

Realizado por:

**HUGO GUILLERMO CUENCA CUENCA**

Director del proyecto:

**Ing. Edilberto Antonio Llanes Cedeño, PhD.**

Como requisito para la obtención del título de:

**MAGÍSTER EN ECOEFICIENCIA INDUSTRIAL CON MENCIÓN EN EFICIENCIA  
ENERGÉTICA**

Quito, agosto 2020

# MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

## DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, HUGO GUILLERMO CUENCA CUENCA, con cédula de identidad # 1709826745, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



FIRMA

1709826745

## **DECLARATORIA**

El presente trabajo de investigación titulado:

**“MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE  
CRUDOS PESADOS”**

Realizado por:

**HUGO GUILLERMO CUENCA CUENCA**

Como Requisito para la Obtención del Título de: **MASTER EN ECOEFICIENCIA  
INDUSTRIAL CON MENCIÓN EN EFICIENCIA ENERGÉTICA** ha sido dirigido por el  
profesor

**Ing. Edilberto Antonio Llanes Cedeño, PhD**

quien considera que constituye un trabajo original de su autor



**FIRMA**

## **LOS PROFESORES INFORMANTES**

Los Profesores Informantes:

**MSc. Monica Susana Delgado Yanez**

**MSc. Paolo Salazar Alvear**

Después de revisar el trabajo presentado,

lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador



FIRMA



FIRMA

## DEDICATORIA

A mis Hijos que son mi mayor inspiración y que me fortalecen en cada reto personal o familiar

A mi querida esposa que siempre me impulsa a superarme y me brinda su apoyo incondicional.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi tutor Edilberto Llanes Cedeño y Lectores Mónica Delgado y Paolo Salazar que me  
brindaron su significativo aporte en la culminación de este proyecto  
A OCP, por el apoyo en esta Maestría y por facilitarme la información y datos para el  
desarrollo de esta investigación. A todos los departamentos que colaboraron con la  
información como Operaciones, Mediciones y Derecho de Vía

## Resumen

La producción petrolera mundial incrementó la producción de crudo pesado, en el Ecuador al disminuir la producción de crudos livianos se ha iniciado la extracción de nuevos yacimientos de crudo netamente pesado con el consiguiente incremento de la viscosidad y disminución del grado API, lo que implica un incremento del costo tanto en la producción como en el transporte. El siguiente estudio analiza los datos globales de consumo de energía eléctrica, diésel y crudo del proceso de transporte de crudo por oleoducto que comprenden cuatro estaciones de bombeo y tres estaciones reductoras de presión entre los años 2018 y 2019, período que presenta cambios significativos en la calidad del producto de transporte por el incremento de crudo pesado local como al ingreso de crudo de Colombia. La presente investigación tiene por objetivo cuantificar la influencia de las variables Volumen transportado, Viscosidad, grado API, temperatura del producto, Temperatura ambiente, humedad relativa e intensidad de lluvia en el consumo energético relacionado con el transporte de petróleo pesado por oleoducto, Se determinan las variables significativas con el método de análisis multivariable del software Statgraphics Centurion XVI. Con estas variables y siguiendo las recomendaciones de la ISO 50001 se determinan los índices de consumo y las líneas base de un sistema de gestión energética. También se realiza una evaluación comparativa de los modelos de consumo de energía obtenidos del análisis multivariable en relación al modelo de una variable. De acuerdo a las correlaciones establecidas se establece que el volumen transportado y la viscosidad son los variables principales que influye en los costos energéticos es el volumen transportado con un coeficiente de correlación del 0.92. Los parámetros ambientales no presentaron alguna influencia significativa en el proceso de transporte.

**Palabras clave:** Análisis multivariable, Transporte de crudos pesados, Gestión de la Energía, Norma ISO 50001, Índices de consumo, Viscosidad.

## **Abstract**

The world oil production increased the production of heavy crude, in Ecuador by decreasing the production of light crude oil, the extraction of new deposits of clearly heavy crude has begun with the consequent increase in viscosity and decrease in the API degree, which implies a cost increase in both production and transportation. The following study analyzes the global data on the consumption of electricity, diesel and crude oil from the process of transportation of crude oil by pipeline that includes four pumping stations and three pressure reducing stations between the years 2018 and 2019, a period that presents significant changes in the quality of the transportation product due to the increase in local heavy crude oil as well as the inflow of crude from Colombia. The objective of this research is to quantify the influence of the variables Transported volume, Viscosity, API grade, product temperature, Ambient temperature, relative humidity and rain intensity on energy consumption related to the transportation of heavy oil by pipeline. Significant variables with the multivariate analysis method of the Statgraphics Centurion XVI software. With these variables and following the recommendations of ISO 50001, the consumption rates and the baselines of an energy management system are determined. A comparative evaluation of the energy consumption models obtained from the multivariate analysis in relation to the one-variable model is also carried out. According to the established correlations, it is established that the transported volume and viscosity are the main variables that influence energy costs, it is the transported volume with a correlation coefficient of 0.92. The environmental parameters did not present any significant influence on the transportation process.

**Key words:** Multivariable analysis, Heavy crude transport, Energy management, ISO 50001 standard, Consumption indexes, Viscosity



# MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

## TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN JURAMENTADA .....	1
DECLARATORIA.....	2
LOS PROFESORES INFORMANTES .....	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTO.....	5
Resumen .....	6
Abstract .....	7
TABLA DE CONTENIDO.....	8
ÍNDICE DE FIGURAS .....	10
ÍNDICE DE TABLAS .....	10
Introducción .....	12
Transporte y Viscosidad de los crudos pesados .....	16
Análisis Multivariable .....	17
Antecedentes del problema .....	18
Objetivos .....	20
Objetivo General .....	20
Objetivos Específicos .....	20
Materiales y Métodos .....	20
Recopilación Información .....	21
Clasificación de la Información .....	29
Validación de la data. ....	29
Evaluación de datos.....	31
<b>Resultados y Discusión.....</b>	<b>31</b>
Planificación Energética.....	34
Gráfico de control.....	35
Gráfico de consumo y producción en el tiempo.....	36
Diagramas de consumo-producción por energético. ....	38
Análisis de diagramas de control .....	40
CASO 1 .....	42

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

Modelos matemáticos representativo del proceso.....	55
Aporte de la Investigación.....	61
Líneas Base, Meta, Límite y Diagrama de control de consumo Base 100.....	61
Líneas Base .....	61
Índices de Producción -Base 100 .....	62
Conclusiones. ....	64
Recomendaciones.....	66
Bibliografía.....	67
Anexo 1. Reporte crudo transportado .....	75
Anexo 2. Reporte de calibración de la unidad de medición U-106.....	76
Anexo 3. Certificado de calibración del instrumento de medición de temperatura TT-03030.....	77
Anexo 4. Certificado de calibración del instrumento de medición LIT-01063 .....	79
Anexo 5. Certificado de calibración del instrumento de medición FT-01031 .....	80
Anexo 6. Factores de conversión usados por los países miembros de la OLADE, Para .....	82
Anexo 7. Estación meteorológica Davis Vantage pro 2. Especificaciones.....	84
Anexo 8. Certificado de crudo chaza (crudo de Colombia).....	87
Anexo 9. Datos mensuales de consumo de combustibles OCP 2018 2019. ....	88
Anexo 10. Análisis multivariable. (casos 1, 2 y 3) .....	108
Anexo 11. Calculo del error del modelo propuesto con los datos actuales de proceso. ....	157
(datos de Enero a Mayo del 2020.....	157
Anexo 12. Base de Datos operativos 2020 (Enero-Mayo).....	161

# MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Propuesta metodológica .....	21
<i>Figura 2.</i> Estación meteorológica, Consola Vantage Pro2S.....	28
<i>Figura 3.</i> Diagrama de flujo de Estación de Almacenamiento y Transporte con calentamiento y Generación Eléctrica. ....	33
<i>Figura 4.</i> Diagrama de flujo de Estación de Transporte y calentamiento ocasional efectuado después de paradas largas mayores a seis días. Sin Generación Eléctrica .....	33
<i>Figura 5.</i> Diagrama de flujo de Estación Reductora de Presión.....	34
<i>Figura 6.</i> Estratificación .....	34
<i>Figura 7.</i> Diagrama de Pareto .....	35
<i>Figura 8.</i> Gráfico de control de las variables Consumo energético para 100000 bbl/día.....	36
<i>Figura 9.</i> Gráfico de control de las variables Consumo energético para 200000 bbl/día.....	36
<i>Figura 10.</i> Consumo y Producción 2018-2019.....	37
<i>Figura 11.</i> Consumo de Energía Eléctrica (Sistema Eléctrico Interconectado) vs Producción.....	38
<i>Figura 12.</i> Consumo de Diésel vs Producción.....	39
<i>Figura 13.</i> Consumo de Crudo vs Producción.....	39
<i>Figura 14.</i> Consumo total de Energía (Eléctrica, diésel y crudo) vs Producción .....	40
<i>Figura 15.</i> Relación de variables entre sí para el total de los datos adquiridos (2018 y 2019) .....	42
<i>Figura 16.</i> Pares de Variables con correlación fuerte y significativa .....	45
<i>Figura 17.</i> Superficie de respuesta para el consumo y calentamiento .....	46
<i>Figura 18.</i> Relación de pares de variables para el total de los datos adquiridos (2018 y 2019)....	47
<i>Figura 19.</i> Relación de variables. Consumo de energía para el sistema de bombeo. ....	49
<i>Figura 20.</i> Consumo de energía en MWheq en función de la producción y viscosidad. ....	50
<i>Figura 21.</i> Relación de pares de variables para el total de los datos adquiridos (2018 y 2019). ...	51
<i>Figura 22.</i> Relación de variables con mayor correlación y significativas .....	53
<i>Figura 23.</i> Consumo de crudo en BEP en función de la producción y viscosidad. ....	54
<i>Figura 24.</i> Gráfico de datos 2020 y plano resultante del modelo multivariable.....	61
<i>Figura 25.</i> Índice de base 100. Proceso de bombeo y calentamiento de crudos pesados. ....	63

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Instrumentos de unidad de Medición U-0106</i> .....	23
Tabla 2. <i>Parámetros medidos en la U-106, Unidad de Medición del crudo transportado</i> .....	24
Tabla 3. <i>Tanques de almacenamiento de combustible diésel y sus respectivos transmisores de nivel</i> .....	25
Tabla 4. <i>Equivalencia de energía crudo</i> .....	27
Tabla 5. <i>Datos mensuales de consumo de combustibles OCP 2018 2019.</i> .....	30
Tabla 6. <i>Correlaciones momento producto de Pearson y correlaciones significativas.</i> .....	43

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

Tabla 7. <i>Correlaciones momento producto de Pearson y correlaciones significativas</i> .....	48
Tabla 8. <i>Correlaciones momento producto de Pearson y correlaciones significativas</i> .....	51
Tabla 9. <i>Ecuaciones resultantes del análisis del consumo energético en función de variables independientes</i> .....	56
Tabla 10. <i>Nomenclatura de las variables para ingreso en el software de análisis multivariable</i>	58

# MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

## Introducción

Los crudos pesados y extrapesados ( $API < 22.3$ ) presentan una viscosidad muy elevada ( $> 103$  cP a  $298,15$  K)(Martínez-Palou et al., 2011) con relación a un crudo liviano lo que implica una menor fluidez llevando consigo mayor dificultad para desplazarse. La reserva mundial estimada para fines del 2019 en 1733.9 billones de barriles, de las cuales el 48.1 % corresponde al Medio Oriente, el 18.7 % a América Sur y Central, América del Norte con 14.1 %, Europa y Eurasia con el 9.2 % y por último con el 7.2 % y 2.6 % África y Asia respectivamente (BP Statistical, 2020). El petróleo mantendría su primer lugar como fuente de energía pero con cada vez menos diferencia con el carbón y el gas natural, que continuarán incrementando su aporte con porcentajes del 33 %, 28 % y 24 % respectivamente (AIHE, 2019).

La tecnología convencional para el transporte está diseñada para crudos livianos y medianos, pero la canalización de crudos pesados y extrapesados puede ser un desafío debido a sus altas viscosidades, deposición de asfalteno y parafina aumentando el contenido de agua de formación, contenido de sal y problemas de corrosión (Martínez-Palou et al., 2011).

Existen tres enfoques para transporte de crudo pesado y extrapesado: reducción de la viscosidad, arrastre, minimización y mejoramiento in situ del petróleo (Domínguez, 2008; García, Rodríguez 2010). La reducción de la viscosidad del aceite que se puede lograr mediante: a) dilución con otras sustancias; b) formación de una emulsión de aceite en agua, c) aumentar y/o conservar el aceite temperatura y/o d) deprimir el punto de fluidez del crudo (Velásquez y Pereira 2014). La segunda alternativa consiste en reducir la fricción entre la tubería y el aceite pesado a través de a) la adición de sustancias que reducen la resistencia en el interior la tubería (aditivos reductores de la fricción) y / o b) desarrollar un diferente tipo de flujo (anular, suspensión). Finalmente, la mejora

## **MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS**

fisicoquímica del petróleo pesado produciendo un combustible sintético con mayor gravedad API, menor viscosidad y menos contenido de contaminantes como azufre y nitrógeno. La combinación de dos o más de estos enfoques pueden ser utilizados para resolver o mejorar el transporte en oleoductos del petróleo pesado y extrapesado ya que no hay una única solución tecnológica (Hasan, Ghannam y Esmail, 2010).

El desarrollo industrial tiene estrecha relación con el consumo intensivo de la energía y entre ellas la que presenta un incremento de su demanda es la proveniente de los hidrocarburos. El 37 % de la energía disponible en el mundo es utilizado por el sector industrial (Abdelaziz, Saidur y Mekhilef, 2011) y las proyecciones a largo plazo indican que el incremento de la demanda de energía en el campo industrial crecerá un 33 % hasta el 2035 (AIHE, 2011). Fue en la década de los 70 y debido al alto costo de los hidrocarburos que el sector industrial se preocupó del análisis de los efectos económicos y la necesidad de concientizar el descontrolado consumo de los recursos y su consiguiente agotamiento, sumado a esto la actual preocupación de los efectos ambientalmente negativos, resulta pues de gran interés obtener mediciones más exactas del consumo de combustibles para toda la industria incluida el transporte del mismo lo que implica una disminución significativa en las emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente CO<sub>2</sub> (Guerra Idrovo 2008).

Ecuador en el 2019 tuvo una producción de 194.1 millones de barriles y tiene reservas para 11 años de producción de crudo, considerando sólo los campos actualmente en operación. A esto se deben sumar las reservas que no están en producción, que aportarían de 8 a 9 años adicionales (AIHE, 2019).

De los datos estadísticos y proyecciones tratadas sabemos que el incremento de la demanda y del futuro uso de la energía trae consigo grandes cantidades de emisiones de CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y otros gases de efecto invernadero (Guerra Idrovo 2008) lo que a su vez

## **MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS**

trae catastróficos resultados en el ambiente como un incremento de temperatura entre 1,4 y 5,8 °C en unos 110 años desde 1990. Por lo que es imperativo el manejo responsable de la energía de uso industrial (Abdelaziz et al., 2011).

Varias estrategias de ahorro energético se han planteado para afrontar este problema y las grandes industrias deberían adoptar una o varias de las tres opciones sugeridas las que pueden ser; mediante la Gestión energética, la implementación de nuevas tecnologías y aplicar políticas y regulaciones (Machado, 2010).

En la adopción de nuevas tecnologías que posibilitan un significativo ahorro de energía se cuenta con el diseño de nuevos equipos que incluye un cambio o migración tecnológica con equipos más eficientes como motores de alta eficiencia, variadores de velocidad, economizadores, equipos para la prevención de fugas y para la reducción de caídas de presión con los que se conseguiría un ahorro energético y menor costo del pago de energía (Martínez-Palou et al., 2015), un gran reto no siempre viable debido al ingente inversión económica requeridos.

En cuanto a las políticas y regulaciones se enfoca directamente con la culturización de las personas a todo nivel educativo y especialmente laboral en la concientización de los efectos peligrosos que conllevan un uso ineficiente de la energía (Machado, 2010) con la adopción de políticas, ya sean estas particulares en cada empresa y proceso productivo, así como normas y reglamentaciones nacionales implementadas como en la mayoría de los países pioneros de la Gestión del consumo energético. Pero sin duda la Gestión Energética es la que menos recursos requiere ya que se basa en las auditorías energéticas para evaluar los consumos en cada proceso y gestionar alternativas de ahorro y eliminación de focos de pérdidas de energía. La Gestión se realiza controlando la energía requerida por medio de optimización del consumo o adoptando procedimientos de ahorro, pero manteniendo la producción.

## **MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS**

Gestionar la energía implica un uso eficiente y efectivo de la energía para minimizar los costos y lograr mayor competitividad, para lo cual un programa debe contemplar los siguientes objetivos: Mejorar la eficiencia energética y reducir el uso de la energía lo que conlleva una reducción de costos de producción, Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero mejorando la calidad del aire, cultivar buena comunicación en materia de energía, implementar estrategias de monitoreo, reporte y gestión del consumo de energía, encontrar nuevas y mejores formas de aumentar el rendimiento de las inversiones en energía a través de la investigación y el desarrollo, desarrollar el interés en el programa de gestión energética de todos los empleados, reducir los impactos de la interrupciones o reducciones del suministro de energía.

Un SGEN incluye una política energética, objetivos, metas energéticas y planes de acción relacionados con su eficiencia energética, usos de la energía, consumos de energía, al tiempo que se cumplen los requisitos legales y otros requisitos internos aplicables. Un SGEN permite a la organización establecer y alcanzar los objetivos y metas energéticas, tomar las acciones necesarias para mejorar su desempeño energético, y demostrar la conformidad de su sistema con respecto a los requisitos de este documento (Lloyd's Register, 2019).

Dentro de un sistema de gestión energética, el monitoreo y control energético constituye un elemento medular. Este abarca la recolección, interpretación y reporte de la información sobre el uso y consumo de energía, lo que posibilita medir el desempeño energético, establecer objetivos y metas e identificar oportunidades para reducir los consumos y los costos de energía. Las normas ISO (2011) denomina benchmarking a la evaluación comparativa a la actividad de analizar, relacionar, comparar y mejorar las prácticas operativas de un proceso,



# MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

## Transporte y Viscosidad de los crudos pesados

Sin duda la alta viscosidad de los crudos pesados conlleva un incremento en el costo energético del transporte por lo que en los diversos procesos de producción se busca metodologías o procesos que proporcionen una reducción de dicho valor. Así en el desarrollo de campos petroleros de alta viscosidad se aplica los siguientes métodos:

- Método Térmico: remojo con vapor (ciclismo, impulsión de agua, impulsión de agua caliente, inundaciones por incendios, y calefacción electromagnética).
- Método Gaseoso: desplazamiento miscible e inmisible (utilizando gases de hidrocarburos, CO<sub>2</sub>, nitrógeno, y gases de combustión).
- Método Químico: tensos activos, polímeros, diluyentes, y productos microbiológicos.
- Método Físico: tratamiento por campos físicos.

Para el proceso de transporte de crudo pesado se han utilizado varios métodos para incrementar la fluidez que es el calentamiento, la mezcla de crudos pesados con crudos de alta viscosidad, también el bombeo con mezclas con alto contenido de agua o la adición de reactivos, estos métodos son muy caros, además requieren de procesos posteriores. Pero hay un método que se ha venido investigando hace años y es los efectos de la cavitación inducida por ultrasonido en medios líquidos y su influencia en la química y el procesamiento denominado sonoquímica, este tratamiento es una alternativa es más prometedora (Abramov et al., 2017). Existen comprobaciones experimentales que demuestran la efectividad de este método y su campo de aplicación en donde se observó que el tiempo de exposición del ultrasonido favorece a la reducción de viscosidad mientras que la intensidad sónica, dependiendo del tiempo de exposición podría favorecer o no con el objetivo.

## **MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS**

Como se puede advertir la viscosidad tiene una influencia directa en el proceso de transporte ya que se relaciona directamente con la fluidez lo que implica directamente en costos energéticos.

### **Análisis Multivariable**

Se realiza para determinar la relación de propiedades o condiciones particulares del medio o proceso donde se desarrolla determinada actividad con un determinado parámetro (de la Hoz Granadillo, Herrera et al., 2014; Adaniya Higa 2019). Esta técnica requiere realizar análisis de regresión multivariable los que permiten ajustar los modelos correlacionados previos, para evaluar los efectos de determinada variable o para desarrollar modelos predictivos (Higa 2019).

El análisis multivariable es una técnica estadística que puede ser usado para explorar simultáneamente si múltiples factores (denominados variables independientes) están relacionadas con un cierto resultado (denominado variable dependiente) el tipo de modelo de regresión seleccionada depende principalmente de las variables resultantes y el papel del tiempo en los datos disponibles, usualmente existen los análisis de regresión lineal, logística y riesgos proporcionales de Cox. Las limitaciones de un análisis de regresión multivariable es que puede proporcionar información sobre relaciones potenciales, pero no implica necesariamente causalidad y solo ajusta los factores correlacionados medidos (Wakkee et al., 2014).

Utilizando un software de análisis multivariable se obtiene los coeficientes de correlación de Pearson para cada par de variables cuantitativas, siendo un valor entre -1 y +1 representando la fuerza de la relación lineal, mientras más se acerque a los extremos significa mayor correlación el signo indica si es positivo o negativo el gradiente de la recta que represente la secuencia de los datos.

## **MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS**

La significancia estadística de las correlaciones proporcionadas se representa con el parámetro P. valores menores a 0.05 indican correlación significativamente diferente de cero y que tienen un nivel de confianza del 95 %, determinándose así los pares de variables significativas

### **Antecedentes del problema**

La operación de un Oleoducto conlleva varios procesos relacionados con el fin de transportar petróleo, de estos el proceso de bombeo es el que más recursos energéticos requiere y al utilizar motores de combustión interna también generan un alto valor de emisiones perjudiciales al ambiente (Martínez-Palou et al., 2011).

Gestionar el consumo de la energía es imperativo en todo proceso industrial, pues busca mejorar la eficiencia energética a través de una menor demanda de energía lo que a su vez disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero (Johnson, Alatorre et al., 2010).

Si bien se ha desarrollado herramientas de gestión, las mismas que nos muestran las relaciones del consumo energético en función del volumen de bombeo, no se han considerado en su análisis otras variables que con el tiempo se han tornado influyentes debido a la apertura de negocios de la empresa que consiste en transportar crudos de otras calidades, la variación de los volúmenes de recepción, y un sistema de bacheo. Estudios previos solo proporcionan los índices de consumo tomando como variable significativa el volumen de crudo transportado ya que las variables de viscosidad y grado API permanecían con una variación insignificante hasta el 2016, año en el cual se inicia con un proceso de integración hidrocarburífera entre Ecuador y Colombia (AIHE, 2017), el tipo de producción toma un giro importante al incluirse nuevas fuentes de petróleo con características diferentes tanto en calidad como en viscosidad, y la tendencia de

## **MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS**

incremento de producción ya sea en producción local o externa nos permite avizorar una inminente incremento en la demanda de energía y para gestionar el óptimo consumo energético es necesario replantear el análisis de consumos y las opciones operativas que incluyen el uso de sistemas alternativos o complementarios.

Para identificar un plan de acción se requiere determinar un modelo matemático de correlación de las diversas variables del proceso disponibles y determinar cuáles afectan el consumo de combustible para la operación del sistema de bombeo y poder determinar los índices de consumo y así gestionar los consumos energéticos.

El uso de los sistemas de calentamiento permite disminuir la viscosidad del producto y a su vez transportar con un régimen de menor consumo de energía del sistema de bombeo, pero a la vez implica un considerable consumo de energía en la operación de los hornos requeridos. Como los pronósticos de producción petrolera tiende a incrementar el crudo pesado y las alternativas para facilitar el transporte sugieren que se ataque el tema de la alta viscosidad ya sea; por la inyección de emulsificantes, con las mezclas con crudos livianos o calentando el producto con el uso de intercambiadores de calor, siendo este último el sistema más viable por la disponibilidad de infraestructura implementada, es conveniente conocer cuáles son los parámetros más óptimos en los que se viabiliza el uso de dichos intercambiadores.

Teniendo en cuenta que las fuentes de combustible fósiles no son inagotables, que su consumo descontrolado afecta directamente a la estabilidad ambiental, por otro lado consideramos que tanto en las etapas de extracción, tratamiento, transporte y refinación se consume el mismo producto objeto de producción, que los hidrocarburos seguirán siendo por mucho tiempo la energía que mueve la industria y conociendo que la demanda seguirá en aumento es imprescindible implementar sistemas de gestión de esta energía, por lo que en base a las recomendaciones que señalan las Normas ISO 50001 (Daoud,

# **MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS**

Zamzam, Helmy y Rageh, 2014) específicamente en su numeral 4.4 y 4.4.3 relacionado a la Planificación Energética, donde se sugiere un análisis de variables que se han registrado en el proceso de operación para identificar las correlaciones con el consumo de energía y plantear indicadores de monitoreo de dicho consumo. La determinación de los índices se logrará con la identificación de las variables significativas para luego elaborar las líneas base de consumo (IPIECA, 2013).

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Elaborar un modelo multivariable para un sistema de transporte de crudos pesados, mediante el análisis y evaluación de las variables que intervienen en el proceso, para el establecimiento de las líneas bases energéticas.

### **Objetivos Específicos**

- Analizar las variables que intervienen desde el punto energético en el transporte de crudo, mediante la recolección y medición de los parámetros, para su inclusión o exclusión del modelo.
- Procesar la base de datos de las variables seleccionadas, y determinar las variables que determina el proceso de bombeo.
- Obtener un modelo multivariable, por medio del análisis estadístico para el monitoreo energético.

## **Materiales y Métodos**

La Metodología a seguir en este análisis sugiere una etapa de recolección de información y validación de la misma, para posteriormente identificar una base de datos

# MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

en la cual se procede a eliminar información atípica del proceso y luego proceder con el análisis multivariable donde se establecerán las correlaciones existentes y se definen la o las ecuaciones que se ajusten a nuestro proceso. En la figura 1 se representa de forma simplificada la metodología propuesta.

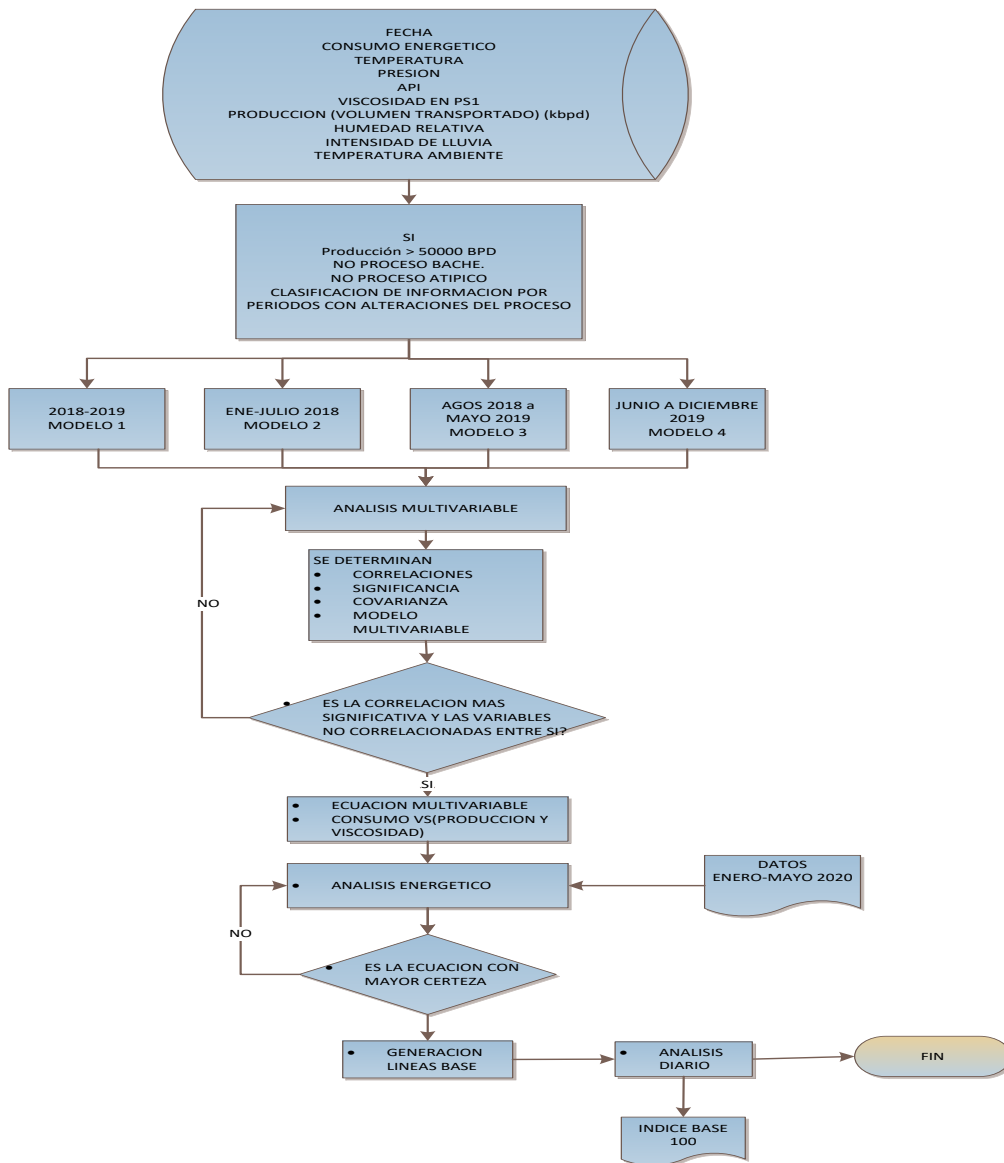


Figura 1. Propuesta metodológica

## Recopilación Información

La información adquirida en este estudio se toma de los instrumentos utilizados en el proceso de transporte en cada una de las estaciones de bombeo y reducción de presión del

## **MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS**

oleoducto a través de los medidores instalados y calibrados para los requerimientos específicos del proceso. Si bien esta información se la puede tener en línea y en tiempo real en el sistema SCADA, también se vale de la data histórica almacenada por el mismo sistema a través de los años de operación del oleoducto, estos mismos datos también se encuentran organizados en el sistema EAM donde se reportan las condiciones de operación diariamente actualizada por el SCADA y complementada por datos ingresados manualmente por el operador específicamente en cuanto a consumos energéticos. Los datos corresponden específicamente de los años 2018 y 2019.

A continuación, se describe los equipos y los dispositivos de medición de los datos utilizados considerando varias etapas del proceso y cada uno de los instrumentos involucrados para la Estación Amazonas, el resto de Estaciones el proceso es similar y con los equipos de las mismas condiciones y estándares.

El proceso de transporte de petróleo pesado inicia una vez que se dispone de crudo en los tanques de almacenamiento en la Estación PS1 TK-0101/102/103/104. Una vez seleccionado el Tanque de despacho se arranca un equipo de refuerzo denominado bombas *booster* P-0101A/B/C/D/E con los que se logra incrementar la presión requerida para el trabajo de las bombas principales y vencer las resistencias al paso del crudo por el sistema de intercambiadores de calor E-0101A/B/C/D/E y la U-106 del sistema de medición. El número de equipos a poner en línea dependerá del volumen planificado diariamente para el proceso de transporte de crudo pesado.

Como existen varios procesos involucrados, es necesario definir e identificar cada uno de los ellos, equipos y datos involucrados en cada etapa.

*Sistema de Medición U-106.*- En este sistema se obtiene los datos de medición de la calidad del crudo transportado, la rata de transporte y el volumen acumulado diariamente, (existen varios volúmenes acumulados que van a partir de datos tomados por el

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

instrumento y considerando las correcciones por equipos de medición, constantes por condiciones estándar, agua, residuos sólidos, etc.), para el estudio se utiliza el volumen grueso. Los equipos de medición utilizados para la adquisición de datos en la U-0106, cuyas características principales se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1.  
*Instrumentos de unidad de Medición U-0106*

DESCRIPCION	VOLUMEN	PRESION	TEMPERATURA
<b>Tipo de medidor</b>	Desplazamiento positivo	Transmisor de Presión	Transmisor de Temperatura
<b>Marca</b>	Smith Meter	Rosemount	Rosemount
<b>Modelo</b>	LJB10-S3	3051C	3144P
<b>Número de Serie</b>	BB 153630	1170344	0408544
<b>ID/Tag</b>	FE-01244	PT-01244	TT-01244 <sup>a</sup>
<b>Unidad</b>	BBL/h	PSI	°F
<b>K-factor</b>	1590	0.01	0.01
<b>Límite de control (MF)</b>	+/- 0.12%	+/-3 PSI	+/-0.5 °F
<b>Intervalo de Medición</b>	931-4564 BBL/h	0-300 PSI	0-200°F
<b>Incertidumbre</b>	0.00060	0.06	0.33

Los datos de calidad se obtienen en el análisis realizado diariamente y reportados en los certificados emitidos como se indica en la Tabla 2.

Toda la información en cuanto a la calidad es periódica cada 24 horas y se realiza el corte a las 06H00 obteniendo un volumen representativo en una toma muestras, que es un dispositivo que toma pequeñas muestras periódicas durante las 24 horas de análisis. Los resultados del análisis que se realizan bajo métodos estandarizados se reportan en los



## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

certificados que igualmente se emiten todos los días. En el anexo 1 se muestra un Certificado típico.

Tabla 2.  
*Parámetros medidos en la U-106, Unidad de Medición del crudo transportado*

U-106			
FULL_TAG	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
<b>FI-01006</b>	Flujo		bbbl/h
<b>TI-01006</b>	Temperatura		°F
<b>P-01006</b>	Presión		Psig
<b>VI-01006</b>	Viscosidad		cP
<b>AI-01006</b>	Sedimentos y Agua		%
<b>FII-01006</b>	Volumen Indicado		bbbl
<b>FGI-01006</b>	Volumen Grueso		bbbl
<b>FSI-01006</b>	Volumen Estándar		bbbl
<b>FNI-01006</b>	Volumen Neto		bbbl
<b>FMI-01006</b>	Masa		ton
<b>DI-01260</b>	Densidad Promedio		Dens. Relativa

De la información del análisis de la calidad de crudo utilizamos la viscosidad a 100 y 120 °F para proceder a calcular la viscosidad a temperatura de entrada al sistema de bombeo haciendo uso de la norma ASTM D 341 que permite calcular la viscosidad en función de la temperatura dados dos puntos de la curva Viscosidad-Temperatura, otro parámetro de utilidad es la calidad API A 15.6 °C (condiciones estándar de medición).

Los datos de propiedades del crudo transportado se encuentran debidamente validados por las certificaciones de mediciones aprobadas y certificadas por la ARCH, que es el

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

ente regulador de la actividad hidrocarburífera en el Ecuador. Periódicamente esta unidad de medición y de acuerdo a los requerimientos por la ARCH se realiza las calibraciones emitiéndose un certificado como se muestra en el anexo 2.

El dato de la temperatura del crudo al ingreso al sistema de bombas principales (que podría ser calentado o no dependiendo de la calidad del mismo) se obtiene del transmisor TT-01030 cuya hoja de calibración certificada se muestra en el anexo 3.

*Sistema de bombas booster:* Este sistema provee la presión inicial requerida por las bombas principales por medio de 5 bombas de tornillo las que consumen diésel para su trabajo. Estos equipos solo se requieren en la Estación Amazonas ya que la presión que existe en los tanques de almacenamiento varían de 3 PSI a 18 PSI dependiendo del nivel de los tanques, en el resto de estaciones los controladores del proceso que corresponden al set de trabajo impuesto por operaciones siempre se mantendrán sobre los 150 PSI en condiciones normales de operación, para el caso de reinicio de bombeo las estaciones arrancan los equipos principales una vez que la estación aguas arriba proporciona la presión suficiente presión de trabajo

El consumo de diésel de las bombas *booster* se realiza por la evaluación diaria de los niveles de los tanques de diésel TK- 0116/114/115/125 su variación de niveles a través de medidores de instalados en cada tanque como indica la tabla 3.

Tabla 3.

*Tanques de almacenamiento de combustible diésel y sus respectivos transmisores de nivel*

<b>Tanque de almacenamiento de diésel</b>	<b>Volumen (bbl)</b>	<b>Descripción del medidor de nivel</b>	<b>Tipo de transmisor</b>
<b>TK-0116</b>	800	LIT-01057	ULTRASONICO
<b>TK-0114</b>	320	LIT-01056	ULTRASONICO
<b>TK-0115</b>	200	LIT-01061	ULTRASONICO
<b>TK-0125</b>	16	LIT-01063	ULTRASONICO

## **MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS**

En el anexo 4 se adjunta una hoja de calibración del medidor LIT-01063 y el resto de medidores cumplen con las mismas especificaciones.

Equipos principales, que consisten las bombas Centrífugas con motores de combustión interna D-0101A/B/C/D/E, quienes son los principales consumidores de combustible crudo que se extrae de la línea a través del medidor de flujo FT-01031 cuyo certificado de calibración se indica en el anexo 5.

El consumo de combustibles en cada estación es particular y depende si la generación eléctrica se realiza en la Estación como es el caso de AMAZONAS Y SARDINAS que utilizan crudo para este efecto, o con la cantidad de energía eléctrica adquirido al Sistema Interconectado Nacional y el mismo que se mide con los equipos de los proveedores de energía eléctrica de cada Estación como es el caso de CAYAGAMA y PARAMO.

Para utilizar una sola unidad equivalente de energía consumida, se lleva todos los consumos de crudo y diésel a kWh equivalentes haciendo uso de la tabla de conversión proporcionada por la OLADE en el Manual de Estadística Energética 2017. Para el caso de la generación en AMAZONAS Y CAYAGAMA como se realiza utilizando crudo como combustible solo se añade este consumo al del crudo consumido por las bombas principales obteniendo un crudo total de consumo para transporte y generación. En las estaciones de Reducción de presión CHIQUILPE, PUERTO QUITO Y TERMINAL MARITIMO, se tiene los consumos de energía eléctrica a través del sistema interconectado y adicional el consumo de diésel en los generadores de cada estación para la autogeneración y arranque de pruebas de equipos, en estas estaciones no hay consumo de crudo para ninguna actividad del proceso de transporte. La tabla 4 muestra las conversiones de los energéticos según datos de la OLADE, cuya tabla de equivalencias se muestra en el anexo 6.

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

Tabla 4.

*Equivalencia de energía según datos de la OLADE*

UNIDAD	COMBUSTIBLE	EQUIVALENTE kWh
<b>Gal</b>	diésel	14.79
<b>bb1</b>	Crudo	621.54

Fuente: (OLADE, 2017)

Para realizar el análisis energético solo para el sistema de bombeo se utiliza la unidad de BEP (barriles equivalentes de petróleo) por ser una unidad internacional de energía

Tabla 4.

*Equivalencia de energía crudo*

UNIDAD	COMBUSTIBLE	BEP
<b>bb1</b>	crudo	1.0304

Fuente: (OLADE, 2017).

Por lo que obtiene la medición global de consumo de energía con la ecuación 1.

$$kW_{heq} = V_c * k_1 + V_d * k_2 + E_e \quad [1]$$

Donde:

$kW_{heq}$  = Consumo de energía equivalente para transporte en el oleoducto

[ $kW_{heq}$ ]

$V_c$  = Consumo de crudo (ps1+s2+ps3+ps4+crudo para calentamiento) [bb1]

$V_d$  = Consumo Diésel (suma desde PS1 a MT) [galones]

$K_1, K_2$  = Constantes OLADE.

$E_e$  = Consumo de generación eléctrica del sistema Interconectado (PS2 +PS4) [kWh]

Por facilidad de cálculos se usarán Mega Watios equivalentes de energía [ $MW_{heq}$ ].

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

En cuanto a la información climática y meteorológica se toma la información histórica que se encuentra administrado por el Departamento de Derecho de Vía cuyos datos son obtenidos en la ESTACIÓN METEOROLÓGICA DAVIS VANTAGE PRO 2 cuyas especificaciones técnicas se encuentra en el anexo 7 (DAVIS Instruments, 2012).

La información meteorológica que proporciona este sistema se obtiene por medio de la estación que se ilustra en la figura 2, la cual recoge entre otras:

- Temperatura ambiente de la Estación de bombeo
- Datos pluviométricos
- Humedad Relativa
- Punto De Rocío.
- Velocidad y dirección del viento.
- Sensación térmica.
- Índice de calor.
- Presión atmosférica etc.



Figura 2. Estación meteorológica, Consola Vantage Pro2S

Fuente: Manual de usuario Vantage Pro2

La información más relevante se considera la temperatura, humedad relativa e intensidad de lluvia de la Estación Amazonas ya que es ahí donde se almacena el crudo y

## **MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS**

podría alterar la temperatura del mismo, el resto de información no es considerado, pues al ser este oleoducto enterrado casi en su totalidad no se ve afectado por las condiciones climáticas

### **Clasificación de la Información**

Para un análisis más concreto se ha eliminado de la data histórica los días atípicos del proceso como son los días con el bombeo suspendido ya sea estas paradas programadas o por algún requerimiento emergente o de proceso donde se suscitan paradas que superen las 6 horas. También se eliminan los días de proceso de “bacheo” de crudo Chaza que corresponde a un crudo liviano de Colombia con características de muy baja viscosidad que está por alrededor de 10 cStk a 100 °F y 27.5 API (anexo 8).

En cuanto a la información climatológica también se utilizan los datos de temperatura ambiente, humedad relativa e intensidad de lluvia dejando de lado la información suministrada por las Estaciones totales ya que no influyen en el consumo energético. Una vez seleccionada la información se procede a tabular los datos como se indica en la tabla 5. La tabla completa se encuentra detallada en el anexo 9

### **Validación de la data.**

Las informaciones recopiladas de las diversas fuentes se tabulan en formato Excel para su aplicación posterior con los resultados obtenidos y el seguimiento por parte de la Organización

En la tabla 5 se tabula un resumen mensual de la información base de este estudio y comprende las variables tanto de proceso como las ambientales, en cuanto al consumo de combustibles se presentan tres alternativas de evaluación; el consumo de combustibles tanto para el proceso de bombeo, que comprende el diésel, crudo y energía eléctrica, como el crudo utilizado en el sistema de calentamiento, el consumo de combustibles solo para

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

el proceso de bombeo y adicional se tiene el consumo específicamente del crudo utilizado en los equipos principales de bombeo. La información diaria de los años 2018 y 2019 de los consumos y variables se detallan en el anexo 9.

Tabla 5.  
*Datos mensuales de consumo de combustibles OCP 2018 2019.*

FECHA	VOLUMEN TRANSPORTADO	CONSUMO SIN CALENTAMIENTO	CONSUMO CON CALENTAMIENTO	CONSUMO CRUDO BOMBEO	° API @ 60°F	TEMPERATURA INICIAL	VISCOSIDAD AD @ T inicial	PRESION DE DESCARGA	Humedad ambiente	Intensidad de lluvia	Temp ambiente
	KBBL	MWh	MWh	BEP	° F	cSt	PSI	%	mm/día	° F	
ene-18	3897,0	14289,0	14289,0	19562,1	17,4	105,6	530,2	1377,4	92,5	45,5	76,2
feb-18	3854,5	13144,4	13144,4	18422,9	17,4	107,3	502,0	1451,6	91,0	20,4	78,3
mar-18	4077,5	14132,9	14132,9	19580,0	17,4	107,3	496,9	1411,6	92,0	57,9	76,4
abr-18	3998,1	14404,3	14404,3	19978,3	17,4	106,2	531,7	1412,9	92,0	67,2	75,4
may-18	4350,1	15573,1	15573,1	21785,3	17,2	107,4	556,0	1445,5	92,2	71,5	75,0
jun-18	3702,8	12969,1	12969,1	18419,9	17,1	107,8	558,2	1477,9	91,1	61,2	75,0
jul-18	5161,1	18188,3	18188,3	25875,5	17,0	108,9	563,3	1486,6	90,9	33,6	74,6
ago-18	4911,6	17612,4	19087,5	25332,1	16,6	114,3	528,7	1444,6	89,7	38,9	75,6
sep-18	4254,8	15536,3	17629,7	21542,1	16,3	116,7	521,2	1446,8	86,8	26,6	78,0
oct-18	4791,7	17110,4	18911,0	23519,1	16,7	115,4	455,4	1418,3	87,5	30,0	77,8
nov-18	4451,9	16015,5	17892,1	22196,3	16,5	118,8	435,7	1394,9	87,3	65,4	78,1
dic-18	4321,0	15694,1	17578,8	22085,1	16,4	118,8	453,0	1469,7	87,8	37,4	76,5
ene-19	5012,1	16392,1	17918,8	22586,0	16,3	120,3	443,0	1435,3	89,3	67,6	76,3
feb-19	4053,5	13230,9	14368,5	18135,1	16,3	120,7	449,0	1443,1	90,3	60,4	77,3
mar-19	4200,1	14045,2	15352,4	19541,8	16,3	119,8	457,2	1439,1	91,1	64,3	76,4
abr-19	4411,1	15183,3	17237,0	20802,3	16,3	119,6	472,1	1453,4	89,9	75,2	77,3
may-19	4601,6	15315,9	18686,7	20050,2	16,4	120,7	436,0	1429,3	90,5	149,7	76,9
jun-19	4729,5	15256,1	18418,3	20601,0	16,6	115,8	477,1	1450,6	92,0	51,9	75,3
jul-19	5272,6	17632,2	21850,4	24133,4	16,6	125,8	336,5	1425,5	90,7	81,0	75,7
ago-19	4606,3	15977,5	19803,5	22115,2	16,5	127,7	324,0	1436,6	90,0	46,9	75,0
sep-19	5663,8	18570,3	23213,2	26038,3	16,8	126,0	307,1	1431,5	87,5	49,3	77,3
oct-19	4943,3	17273,3	21078,0	23838,5	16,6	125,7	330,2	1438,8	85,4	97,8	76,4
nov-19	5105,3	17875,3	22313,0	24851,8	16,5	127,4	308,2	1428,0	86,3	42,7	76,9
dic-19	5021,8	17216,5	22724,4	23586,7	16,6	131,2	275,0	1349,1	86,5	73,4	76,7

Fuente: (OCP, 2019)

# **MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS**

## **Evaluación de datos.**

Con la información definida para el análisis, se procede a seguir los requerimientos sugeridos por la norma ISO 50001 así como los lineamientos de Gestión Energética Empresarial sugerida por Borroto. Borroto. 2001 Con los datos validados se procede con el análisis multivariable.

Una vez definidas las variables a través de un análisis de correlaciones y significancia se proceden a encontrar el modelo que represente la producción de los años considerados para el estudio y luego se realiza al análisis comparativo con los consumos energético del año 2020, lo que nos permite validar el modelo que represente el proceso actual.

Con el modelo matemático definido se elabora un libro Excel en el que se ingresa la información diaria de cada Estación y mediante la transformación de todos los consumos de combustibles a una sola energía equivalente, en este caso MWheq. (MWh equivalentes) se consigue el consumo energético global del oleoducto. Con el modelo que represente el proceso de transporte de crudo en el oleoducto y los consumos reales diarios se puede realizar una evaluación diaria del comportamiento del consumo energético del oleoducto.

## **Resultados y Discusión**

La norma ISO 50001, en su capítulo 4, describe los requisitos generales y responsabilidades para establecer documentar, implementar, mantener y mejorar un Sistema de Gestión Energética (SGEn), y de acuerdo a los objetivos trazados se consideran estas recomendaciones como base para el análisis del consumo energético y como sugiere la norma se puede direccionar el estudio a determinado sector o subsistema del proceso, permitiéndonos direccionar este estudio al sistema de bombeo de crudo. En este sentido se delimita al estudio a un sistema de bombeo de crudo pesado considerando los consumos totales de energía eléctrica, consumo de crudo y diésel requeridos en el



## **MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS**

proceso, considerados en un sistema de consumo de energía equivalente para plantear las líneas base de consumo, adicional se realiza las evaluaciones de las correlaciones existentes con la información de otras variables obtenidas del proceso. Evaluando las correlaciones existentes de las variables se definen cuáles de éstas influyen en el consumo y determinan los índices de consumo para posteriormente de acuerdo a una planificación estratégica observar el desempeño energético del proceso con los Indicadores de desempeño energético utilizando un diagrama de ahorro o un diagrama base 100. En este estudio se plantea incluir todas las variables disponibles tanto de proceso como ambientales para definir las que tengan correlación con el consumo.

Para cubrir el objetivo de establecer el indicador energético considerando las variables de proceso y de encontrar una herramienta normalizada para controlar el consumo energético, Borroto (2002) recomienda realizar el análisis de datos de acuerdo al siguiente diseño de sistema de gestión.

- Diagrama Energético -productivo.
- Estratificación
- Diagrama de Pareto
- Gráfico de control
- Gráfico de consumo-producción
- Diagrama de dispersión y correlación
- Diagrama índice de consumo – producción
- Gráfico de tendencia o de sumas acumulativas.
- Diagrama Energético –productivo: Representa el diagrama del proceso de transporte, donde se muestran las entradas y salidas de materiales y de energía, con lo que se establece.

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

En la figura 3, 4 y 5 se muestra el diagrama energético productivo para el proceso de bombeo, donde se destacan las entradas de energéticos en las diferentes etapas del proceso, este diagrama también es usado en el estudio DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA, Llanez, Ayo y Rocha (2016) donde se muestran los tipos de combustibles usado, el uso y aplicación específica de los mismos para una empresa metalmeccánica ofreciendo una síntesis del proceso.

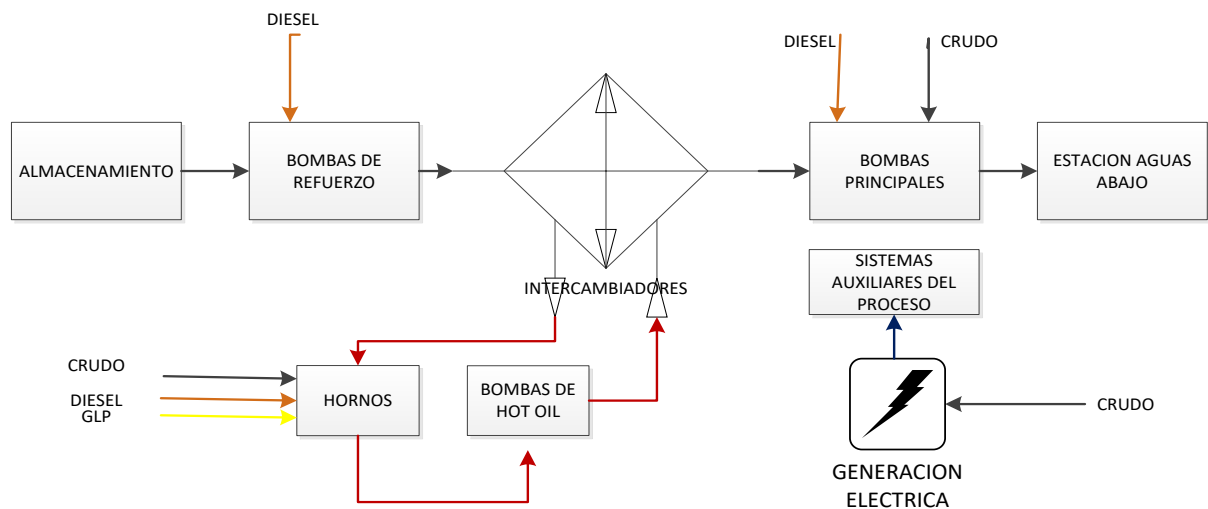


Figura 3. Diagrama de flujo de Estación de Almacenamiento y Transporte con calentamiento y Generación Eléctrica.

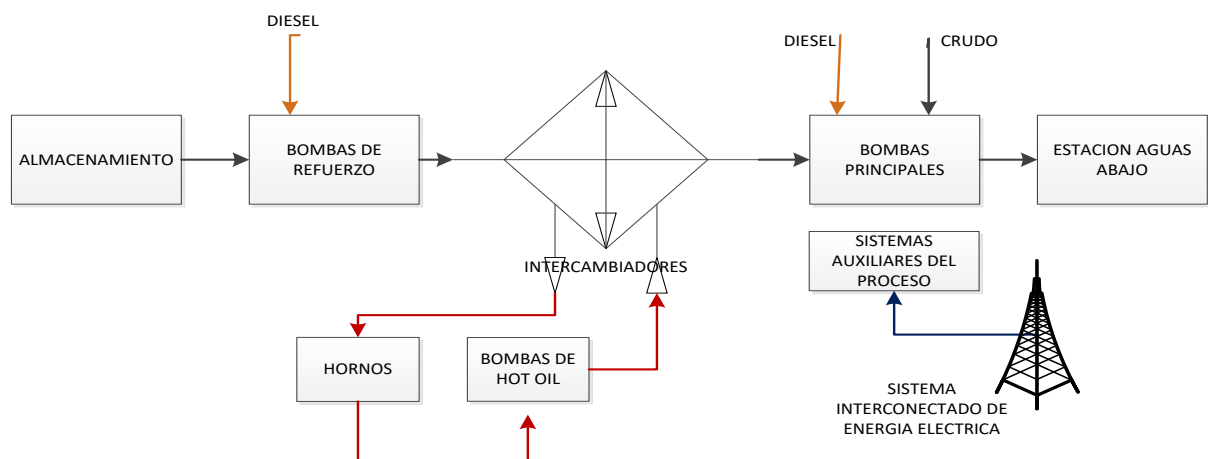


Figura 4. Diagrama de flujo de Estación de Transporte y calentamiento ocasional efectuado después de paradas largas mayores a seis días. Sin Generación Eléctrica

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

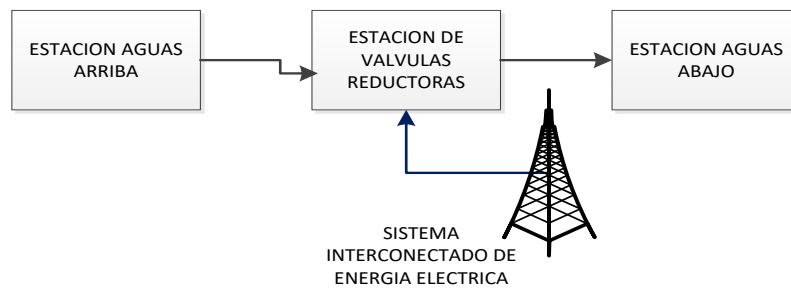


Figura 5. Diagrama de flujo de Estación Reductora de Presión.

### Planificación Energética

Para la estratificación de consumidores de energía, se toman para el análisis las bombas principales del oleoducto, el sistema de generación eléctrica, y los equipos auxiliares ya que son los mayores consumidores de energía, pues son los responsables de la operación en si del oleoducto (Figura 6).

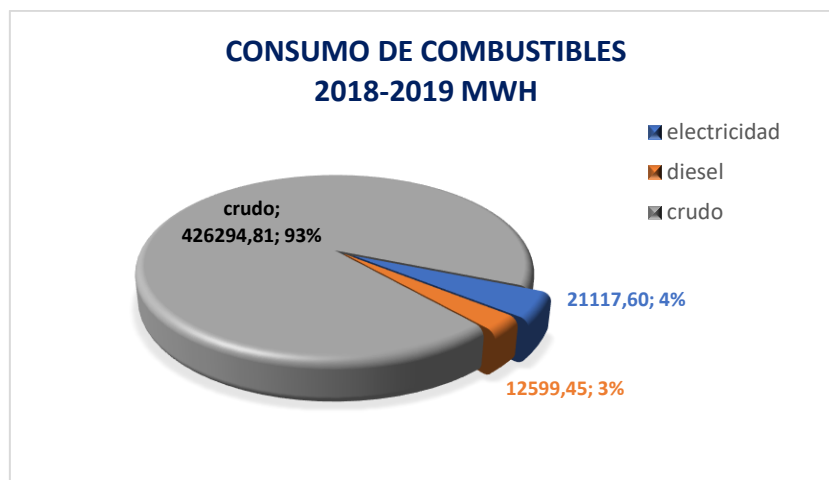


Figura 6. Estratificación

- **Diagrama de Pareto**

Los combustibles usados en el proceso de transporte son el crudo combustible, diésel y energía eléctrica, los mismos que se evalúan en el diagrama de Pareto, concluyendo que el crudo es el principal combustible con el 93 % del total de los combustibles (Figura 7).

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

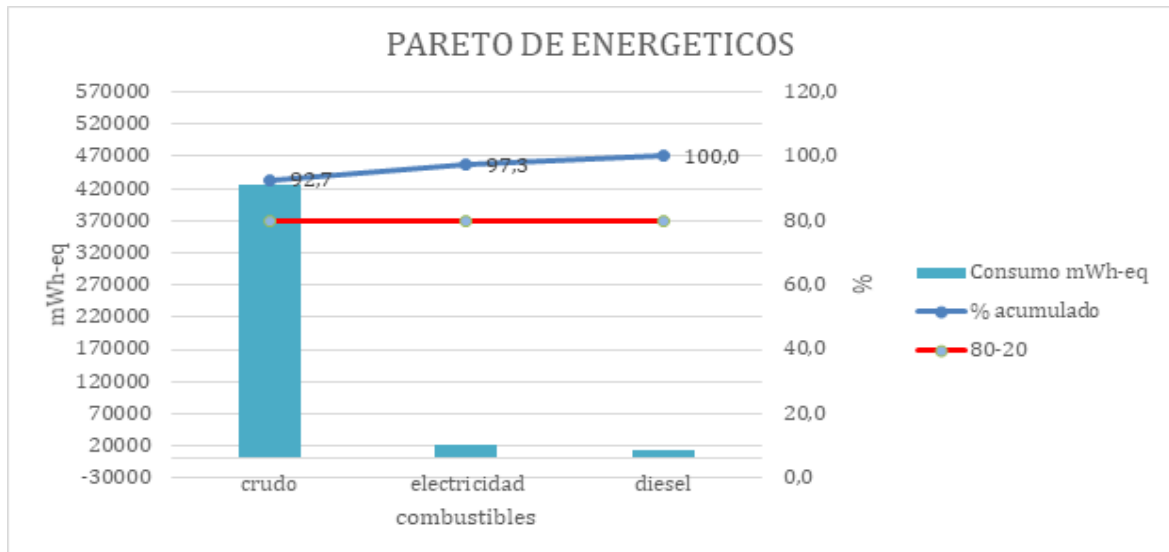


Figura 7. Diagrama de Pareto

Tanto el diagrama de estratificación como el diagrama de Pareto usados nos permite conocer los principales energéticos utilizados en el proceso de transporte de crudo de igual manera que en la tesis DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA, Ruiz (2017) se utiliza dichos diagramas para conocer los principales consumidores de electricidad del proceso en la planta ENKADOR, encontrando que las áreas de generación de aire comprimido, hilatura y texturizado I con el 24, 22 y 18 % respectivamente son los mayores consumidores.

### Gráfico de control.

Estos diagramas permiten establecer si las variables analizadas pueden controlarse y posibilitan verificar el comportamiento del consumo energético futuro de acuerdo con los ajustes realizados al proceso, Borroto (2001) sugiere aplicar este tipo de herramienta. En los gráficos 8 y 9 se verifica que el proceso es estable y las variables pueden controlarse.

# MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

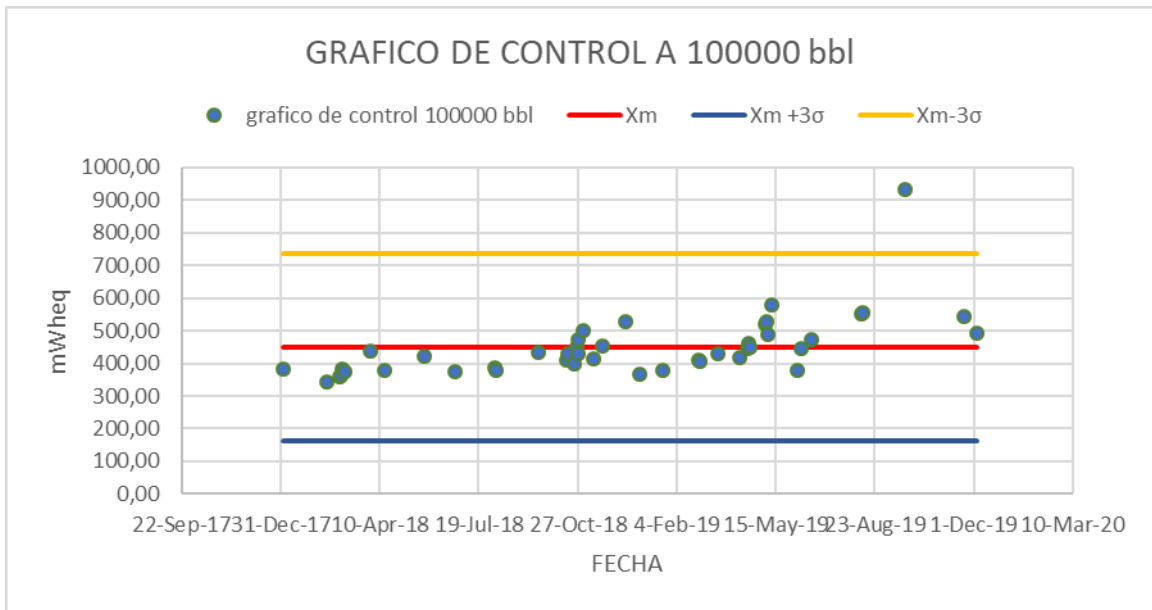


Figura 8. Gráfico de control de las variables Consumo energético para 100000 bbl/día

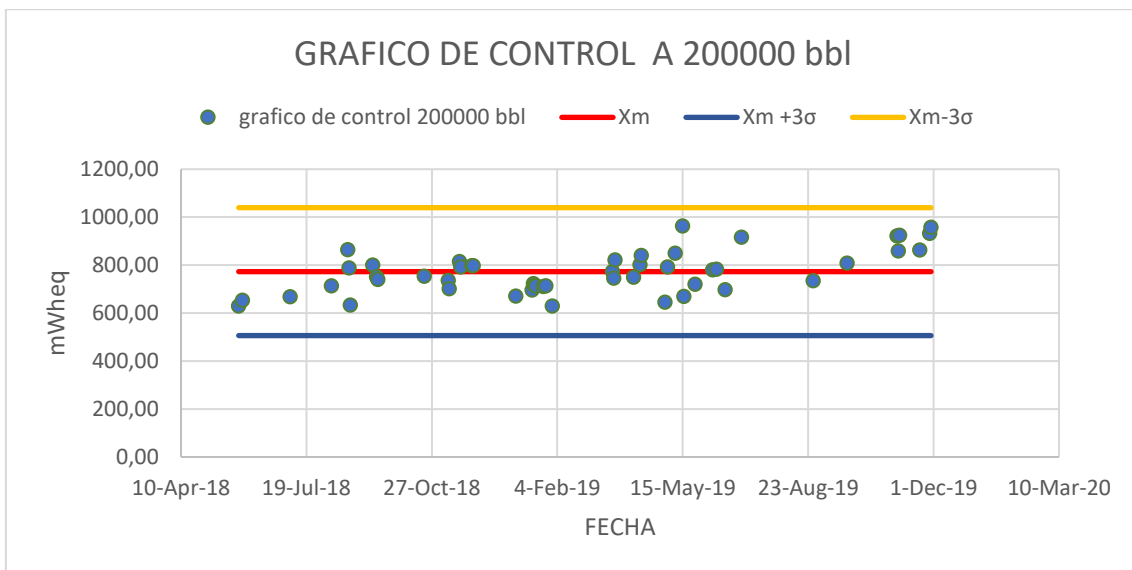


Figura 9. Gráfico de control de las variables Consumo energético para 200000 bbl/día

## Gráfico de consumo y producción en el tiempo.

Estos gráficos muestran simultáneamente la variación del consumo energético con la producción en el tiempo (figura 10), pudiéndose identificar dos puntos claramente con incremento de consumo, el primero en agosto del 2018 y el segundo a fines de junio del

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

2019. Los cambios representativos del consumo indican las fechas de inicios de calentamiento, así en agosto de 2018 se inicia el calentamiento en la estación PS3 y el segundo incremento de junio del 2019 es debido al calentamiento iniciado en PS1.

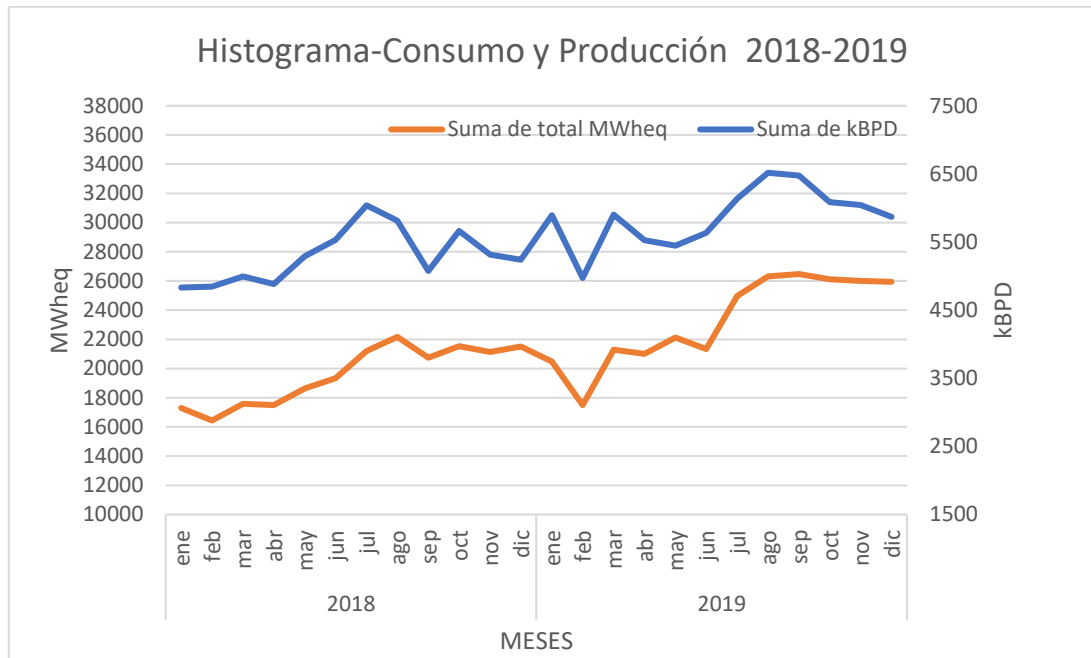


Figura 10. Consumo y Producción 2018-2019

En los gráficos Consumo-producción se observa que el consumo energético no varía paralelamente con la producción y esto se debe al cambio que sufre el crudo bombeado por el oleoducto en cuanto a su viscosidad de ahí la importancia de considerar esta variable para el análisis energético, en contraste con el estudio DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA, Llenez, Ayo y Rocha (2016) donde también se utiliza este diagrama de Consumo y Producción en el tiempo pero en gráficos separados y en este caso si se observa un comportamiento paralelo indicándonos una relación directa entre producción y consumo.

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

### Diagramas de consumo-producción por energético.

Se los realiza por tipo de portador energético, y por áreas, considerando en cada caso la producción asociada al portador energético en cuestión, según se muestran en las figuras 11, 12, 13 y 14. Determinándose que la producción que representa los barriles de crudo bombeado influyen directamente en el consumo de crudo combustible, y de igual forma con la sumatoria de toda la energía consumida en el proceso. El consumo energético tanto del diésel y eléctrico por separado no se ven significativamente afectado por la producción y su gestión no puede ser enfocada con indicadores.

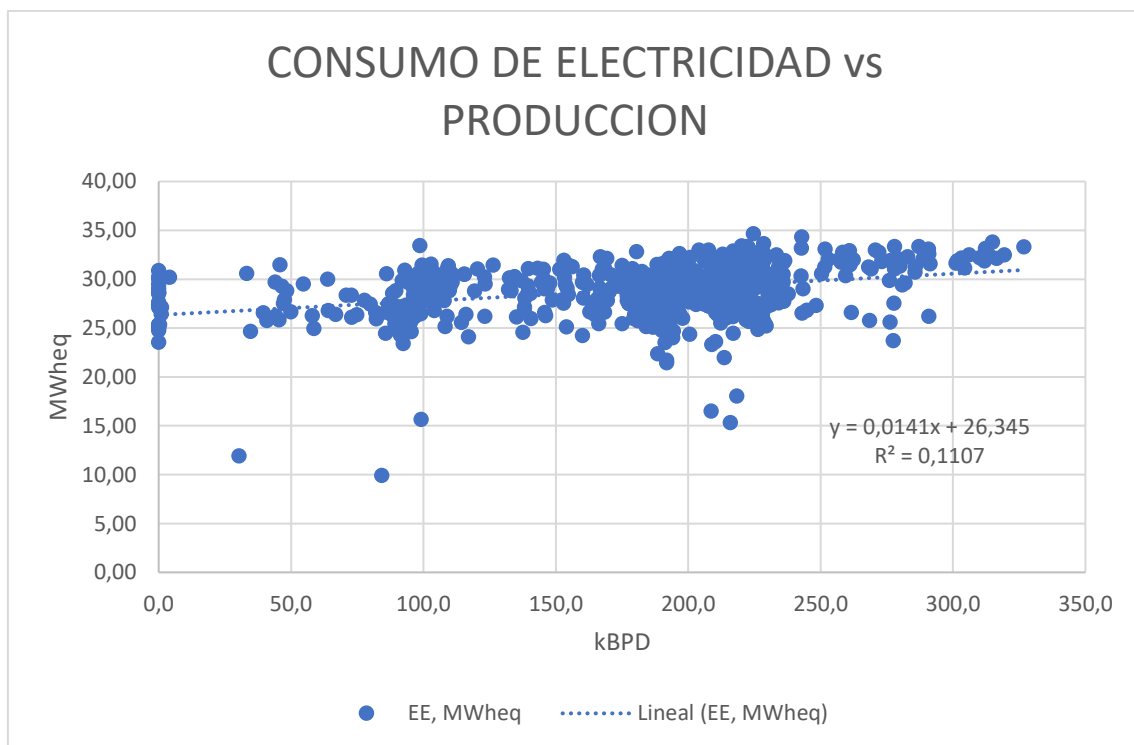


Figura 11. Consumo de Energía Eléctrica (Sistema Eléctrico Interconectado) vs Producción

# MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

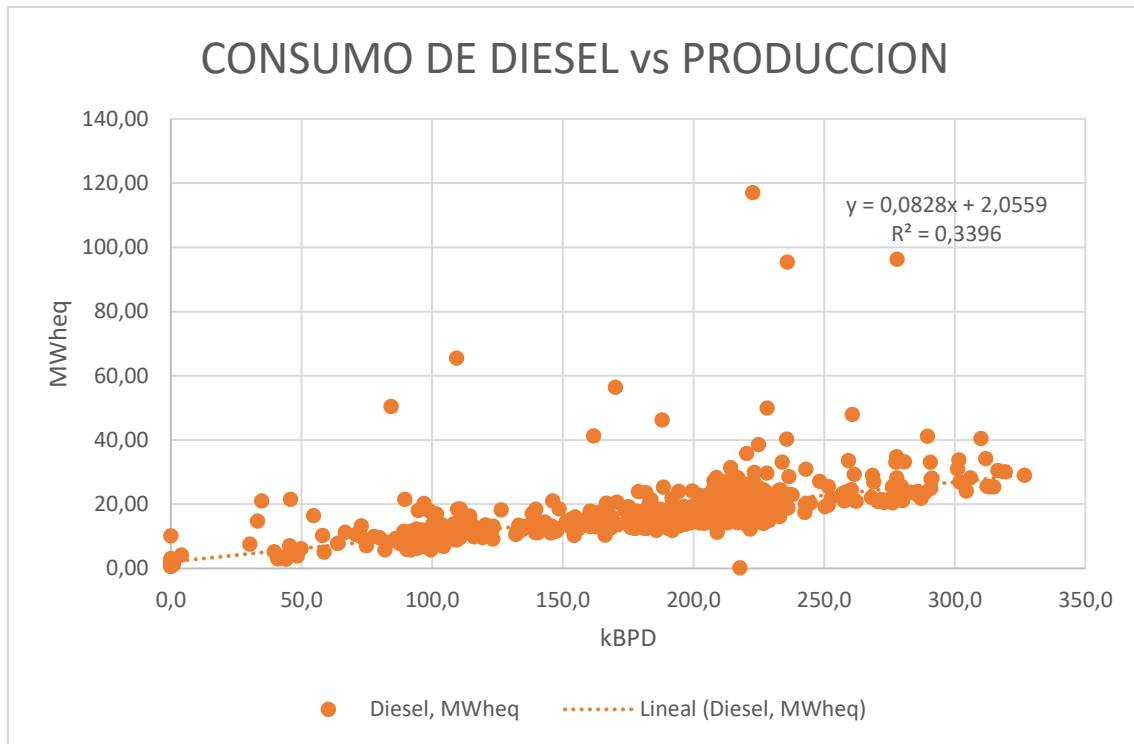


Figura 12. Consumo de Diésel vs Producción

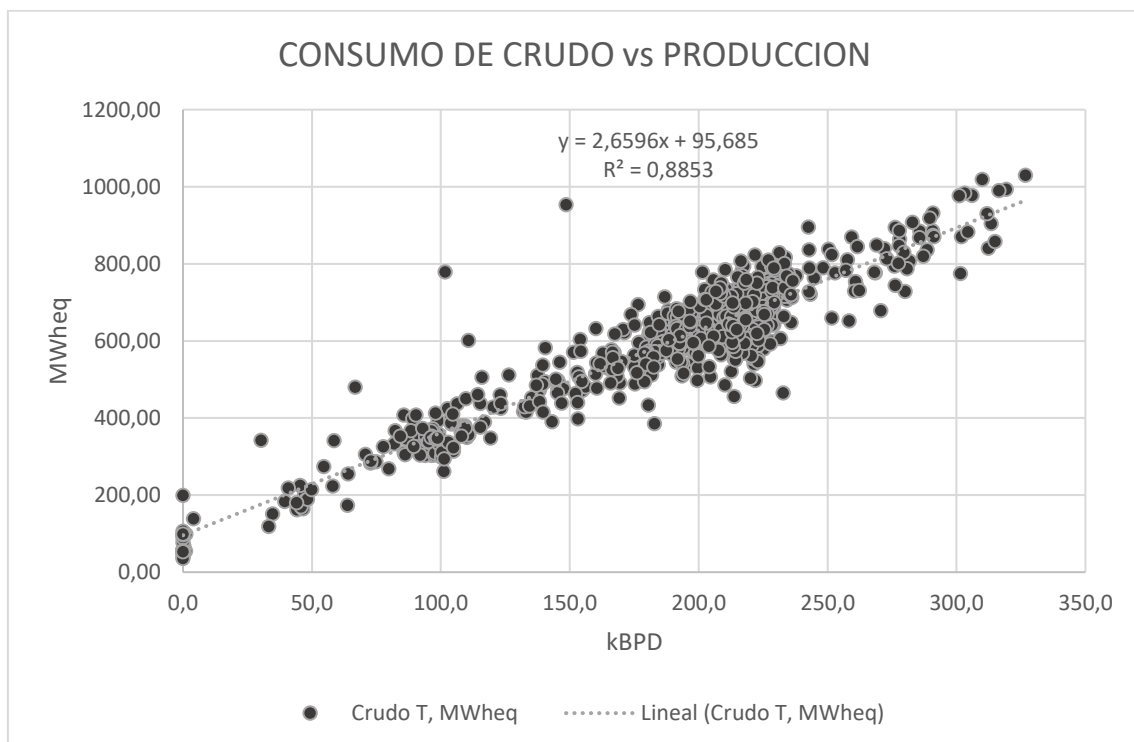


Figura 13. Consumo de Crudo vs Producción



## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

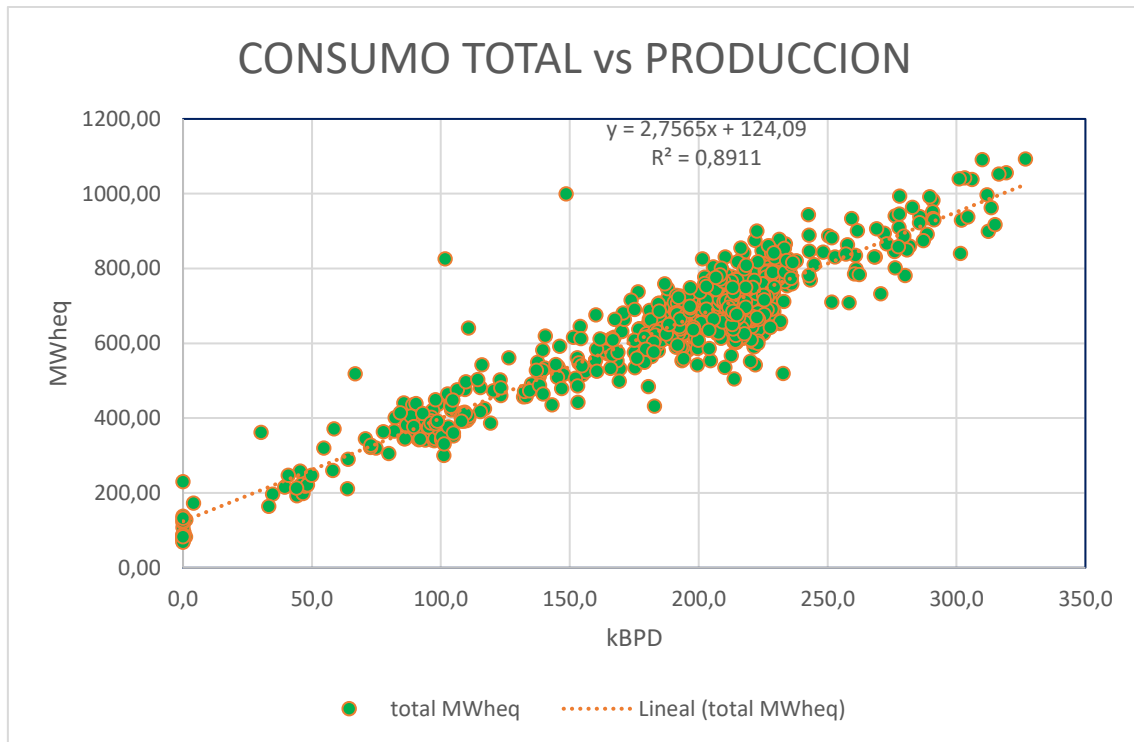


Figura 14. Consumo total de Energía (Eléctrica, diésel y crudo) vs Producción

Las figuras 11, 12, 13 y 14 muestran los consumos tanto de la totalidad como de cada uno de los combustibles utilizados en función de la producción y se puede definir cuál de ellos mantienen una correlación suficientemente fuerte para definir líneas base de consumo del combustible en función de la producción, de igual manera que en la tesis DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA, Ruiz (2017) se encuentra que la gráfica del consumo eléctrico en función del proceso de hilatura permite encontrar la línea base meta y límite de este proceso. Si este estudio no consideraría un análisis multivariable sería suficiente con estos gráficos y las ecuaciones lineales obtenidas por regresión lineal para encontrar las líneas base y metas del proceso.

### Análisis de diagramas de control

Una vez determinado que el consumo de crudo o el consumo total de todos los combustibles es determinado por la producción se procede a considerar otras variables de

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

proceso y ambientales para analizar la incidencia en el consumo energético a través del análisis multivariable, usando el software Statgraphics, lo que nos permite elaborar las líneas base de consumo (IPIECA, 2013), y tomando como referencia a la NORMA ISO 50001 generar los diagramas de consumo energético en función de las variables influyentes que se determinan.

Para el proceso de análisis de datos se consideran cuatro casos importantes debido al proceso de calentamiento involucrado:

- *Caso 1:* Se involucra a todos los datos del 2018 y 2019, sin considerar los cambios en el proceso relacionados con la calidad del crudo ni el calentamiento del mismo para el transporte.
- *Caso 2:* Involucra los datos del 2018 hasta el mes de Julio que es el mes en el que se inicia el proceso de calentamiento en la Estación PS3. Este caso corresponde al análisis de datos como fue la operación habitual con un crudo que mantenía las características iniciales de diseño del oleoducto con una calidad del crudo entre 18 y 19 API.
- *Caso 3:* Con datos desde agosto del 2018 a junio del 2019, en este periodo se opera con calentamiento en la Estación PS3.
- *Caso 4:* Con datos desde julio a diciembre del 2019, en donde se incluye en el proceso el calentamiento del crudo tanto en PS1 y PS3.

Además, se clasifica al consumo en tres alternativas que se usarán de acuerdo al tipo de información requerida por el proceso:

- *CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO.* - Considera el consumo de toda la energía utilizada para el proceso de bombeo y además el crudo consumido en el proceso de calentamiento en los hornos en PS1 y PS3.

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

- *CONSUMO B.* Considera solo el consumo de combustibles en la operación netamente de bombeo y generación para el transporte del crudo.
- *CONSUMO DE CRUDO.* - Considera solo el crudo utilizado en los equipos principales de las cuatro estaciones de bombeo.

### CASO 1

*Análisis de “CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO”, considerando datos 2018 y 2019.*

Haciendo uso del software Statgraphics se obtiene información estadística y gráfica que permite conocer la participación de las variables en el análisis.

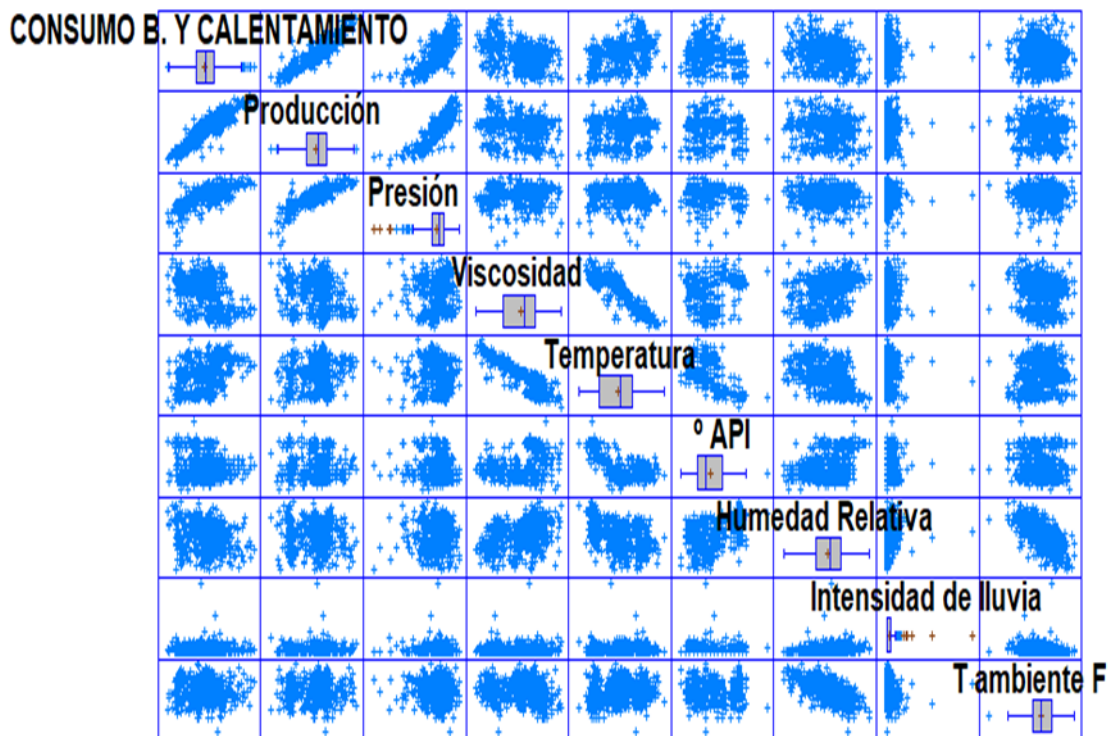


Figura 15. Relación de variables entre sí para el total de los datos adquiridos (2018 y 2019)

La figura 15 muestra el comportamiento de los datos en relación de variables entre sí, donde se puede ver una relación entre cada par de variables para poder determinar si tiene

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

una tendencia que implique la existencia de una Correlación de Pearson o llamada también relación lineal.

Nota: considerando el consumo tanto de energía para sistema de bombeo como la utilizada en el sistema de calentamiento

En la tabla 6 se muestra las correlaciones momento producto de Pearson para cada par de variables y la significancia estadística de las correlaciones existentes.

Tabla 6.  
*Correlaciones momento producto de Pearson y correlaciones significativas.*

	CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO	Producción	Presión	Viscosidad	Temperatura	API	Humedad Relativa	Intensidad de lluvia	T ambiente F
	MWheq	KBPD	PSI	cStk	°F	°API	%	mm/h	°F
CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO		0,89	0,68	-0,43	0,40	-0,17	-0,24	0,05	0,01
Producción	0,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,82
Presión	0,68	0,84	0,00	0,00	0,00	0,76	0,15	0,45	0,44
Viscosidad	-0,43	-0,19	0,12	0,00	-0,89	0,29	0,41	-0,03	-0,15
Temperatura	0,40	0,14	-0,09	-0,89	0,00	-0,66	-0,47	0,04	0,15
° API	-0,17	-0,01	-0,05	0,29	-0,66	0,00	0,34	-0,02	-0,13
Humedad Relativa	-0,24	-0,06	0,06	0,41	-0,47	0,34	0,00	0,18	-0,68
Intensidad de lluvia	0,05	0,03	-0,02	-0,03	0,04	-0,02	0,18	0,00	-0,20
T ambiente F	0,01	-0,03	-0,07	-0,15	0,15	-0,13	-0,68	-0,20	0,00
	0,82	0,44	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

De la tabla 6 se obtienen la correlación de los pares de datos y la intensidad de dicha correlación (valores cercanos a -1 y +1), y con el parámetro P representado con el segundo

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

resultado de cada par de datos la significancia estadística representativa (menor a 0.05).

Los pares de datos con correlación y significancia se describen a continuación.

- Consumo B. Y Calentamiento Y Producción
- Consumo B. Y Calentamiento Y Presión
- Consumo B. Y Calentamiento Y Viscosidad
- Consumo B. Y Calentamiento Y Temperatura
- Consumo B. Y Calentamiento Y ° Api
- Consumo B. Y Calentamiento Y Humedad Relativa
- Producción y Presión
- Producción y Viscosidad
- Producción y Temperatura
- Presión y Viscosidad
- Presión y Temperatura
- Viscosidad y Temperatura
- Viscosidad y ° API
- Viscosidad y Humedad Relativa
- Viscosidad y T ambiente F
- Temperatura y ° API
- Temperatura y Humedad Relativa
- Temperatura y T ambiente F
- ° API y Humedad Relativa
- ° API y T ambiente F
- Humedad Relativa e Intensidad de lluvia
- Humedad Relativa y T ambiente F
- Intensidad de lluvia y T ambiente F

De la tabla 6 y tanto por la información de correlación y significancia se concluye que los datos ambientales no tienen relación con el consumo energético en el transporte de crudo, lo que permite eliminar las variables de temperatura ambiente, humedad relativa y cantidad de lluvia inicialmente propuestos, esto tendría la explicación en las propiedades del oleoducto el cual está enterrado en 90 % y además tiene un revestimiento aislante en toda su extensión (Manual de Operación del Sistema de oleoducto rev 4.OCP, 2018)

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

Se consideran en el análisis los pares de variables con significancia y correlación representativa reduciendo los pares de variables a:

- CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO y Producción
- CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO y Presión
- Producción y Presión
- Viscosidad y Temperatura
- Humedad relativa y Temperatura ambiente.

La figura 16 representa la relación entre las cuatro variables seleccionadas y la ecuación de consumo está determinada por la ecuación 2:

$$\text{CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO} = -472,36 + 3,16*\text{Producción} - 0,05*\text{Presión} - 0,0795*\text{Viscosidad} + 6,10*\text{Temperatura} \quad [2]$$

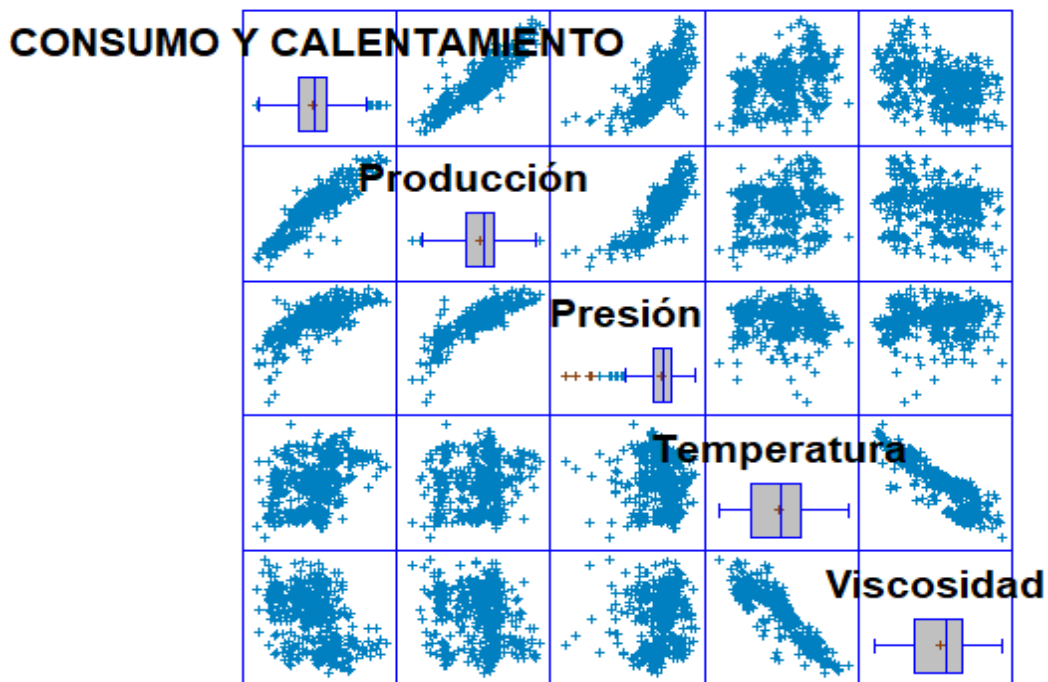


Figura 16. Pares de Variables con correlación fuerte y significativa

De la figura 16 y de la tabla 6 se determina que existe una correlación significativa entre Producción y Presión y entre Viscosidad y Temperatura lo que implica que son variables dependientes entre sí, por lo que se eliminan la Presión y la Temperatura del análisis, resultando las variables independientes para el análisis final a:

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

- Producción
- Viscosidad

Las mismas que relacionadas con el consumo energético para el sistema de bombeo y el calentamiento se reduce a la ecuación de dos variables determinada por la ecuación 3:

$$\text{CONSUMO Y CALENTAMIENTO} = 399,355 + 3,06 * \text{Producción} - 0,545 * \text{Viscosidad.} \quad [3]$$

Con un  $R^2$  de 86.29%

Obteniéndose la figura 17 para los datos analizados.

Gráfico de CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO vs Producción y Viscosidad

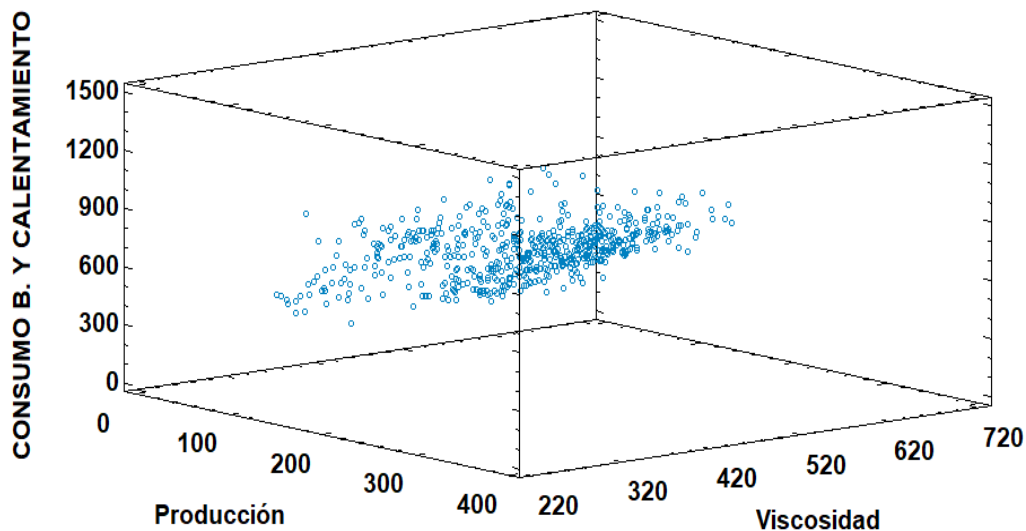


Figura 17. Superficie de respuesta para el consumo y calentamiento

Para fines comparativos se determina la ecuación lineal (ecuación 4) con la variable de mayor fuerza correlacional que es la producción para comparar resultados al final del análisis.

$$\text{CONSUMO Y CALENTAMIENTO} = 122,84 + 3,241 * \text{Producción} \quad [4]$$

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

Esta ecuación tiene un coeficiente de correlación de 0.891124 y un  $R^2$  de 79.4%

### *Análisis de "CONSUMO B". considerando datos 2018 y 2019*

Con del software Statgraphics, se realiza el análisis con los datos de consumo de energía utilizada para el bombeo sin considerar el crudo utilizado para el calentamiento, se obtienen los siguientes resultados (Figuras 18 y tabla 7).

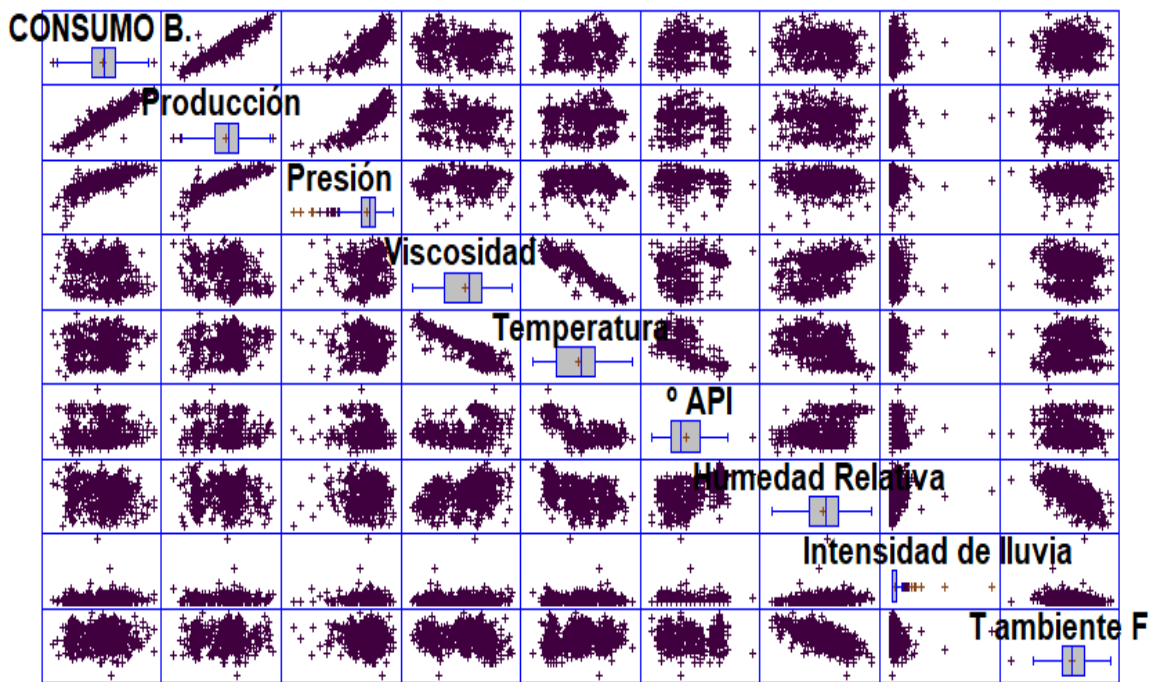


Figura 18. Relación de pares de variables para el total de los datos adquiridos (2018 y 2019)

De la tabla 7 y figura 18 se obtienen los pares de variables que tienen significancia estadística.

CONSUMO B. y Producción	Presión y Viscosidad
CONSUMO B. y Presión	Presión y Temperatura
CONSUMO B. y Viscosidad	Viscosidad y Temperatura
CONSUMO B. y Temperatura	Viscosidad y ° API
CONSUMO B. y Humedad Relativa	Viscosidad y Humedad Relativa
Producción y Presión	Viscosidad y T ambiente F



## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

Producción y Viscosidad	Temperatura y ° API
Producción y Temperatura	Temperatura y Humedad Relativa
Temperatura y T ambiente F	° API y Humedad Relativa
° API y T ambiente F	Humedad Relativa y Intensidad de lluvia
Humedad Relativa y T ambiente F	Intensidad de lluvia y T ambiente F

Tabla 7.  
Correlaciones momento producto de Pearson y correlaciones significativas

	CONSUMO B.	Producción	Presión	Viscosidad	Temperatura	° API	Humedad Relativa	Intensidad de lluvia	T ambiente F
	MWheq	KBPD	PSI	cStk	°F	°API	%	mm/h	°F
CONSUMO B.		0,94	0,78	-0,16	0,10	0,01	-0,11	0,03	-0,02
Producción	0,94		0,84	-0,19	0,14	-0,01	-0,06	0,03	-0,03
Presión	0,78	0,84		0,12	-0,09	-0,05	0,06	-0,02	-0,07
Viscosidad	-0,16	-0,19	0,12		-0,89	0,29	0,41	-0,03	-0,15
Temperatura	0,10	0,14	-0,09	-0,89		-0,66	-0,47	0,04	0,15
° API	0,01	-0,01	-0,05	0,29	-0,66		0,34	-0,02	-0,13
Humedad Relativa	-0,11	-0,06	0,06	0,41	-0,47	0,34		0,18	-0,68
Intensidad de lluvia	0,03	0,03	-0,02	-0,03	0,04	-0,02	0,18		-0,20
T ambiente F	0,54	0,45	0,58	0,52	0,39	0,57	0,00	-0,20	

De la tabla 7 se deducen las variables con significancia estadística y correlación fuerte, para consumo del sistema de bombeo, las que son:

- Consumo y producción
- Consumo y Presión

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

- Producción y Presión
- Viscosidad y Temperatura

La figura 19 representa la relación de las variables seleccionadas y el modelo que representa el consumo de energía en MWheq en función de la producción, presión, temperatura y viscosidad está determinada por la ecuación 5:

$$\text{CONSUMO B.} = 194,55 + 2,84 * \text{Producción} - 0,035 * \text{Presión} + 0,0204 * \text{Viscosidad} - 0,327 * \text{Temperatura} \quad [5]$$

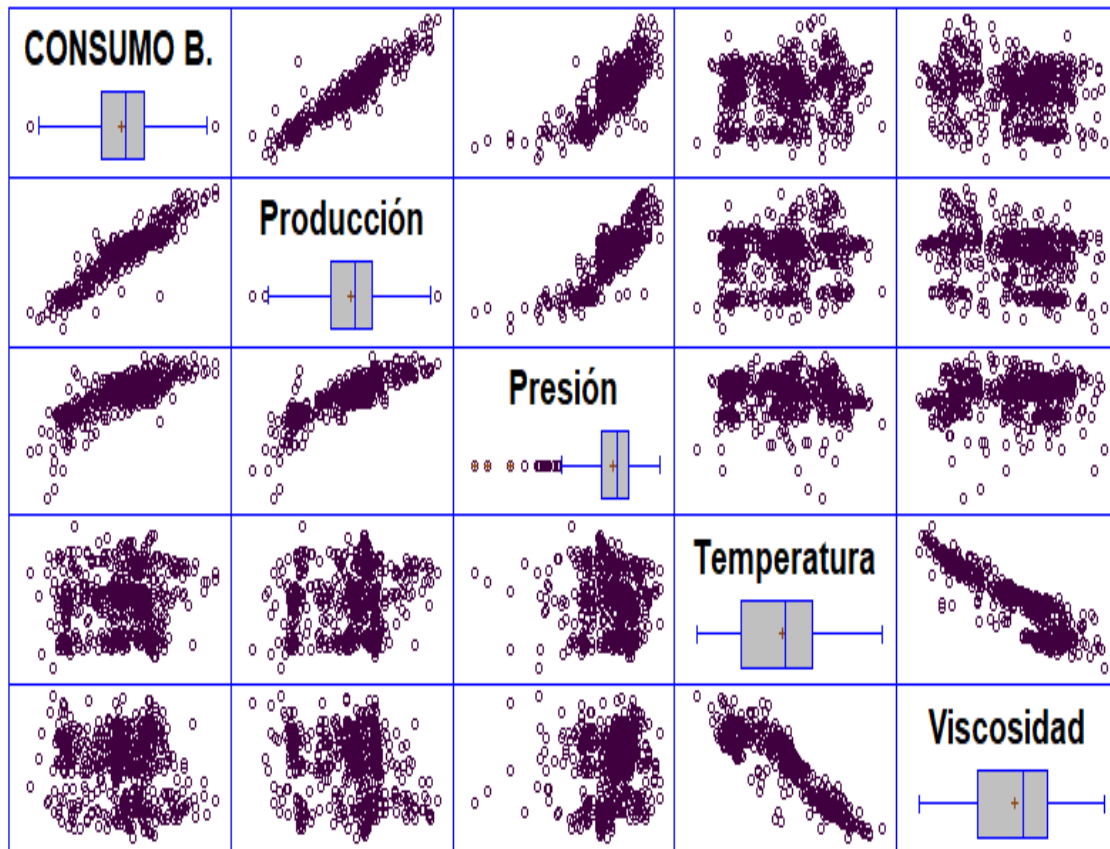


Figura 19. Relación de variables. Consumo de energía para el sistema de bombeo.

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

Gráfico de CONSUMO B. vs Producción y Viscosidad

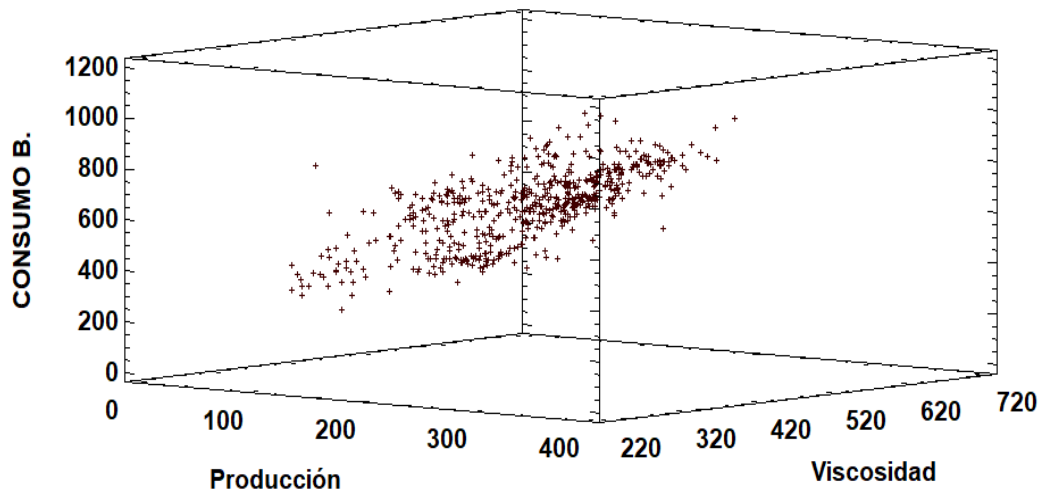


Figura 20. Consumo de energía en MWheq en función de la producción y viscosidad.

Eliminando la presión y temperatura por ser variables que se correlacionan con la producción y viscosidad respectivamente se obtiene que el consumo de energía en el proceso de bombeo y sin considerar el calentamiento dependen de las variables producción y Viscosidad representada por la ecuación 6.

$$\text{CONSUMO B.} = 107,68 + 2,79 * \text{Producción} + 0,0366 * \text{Viscosidad} \quad [6]$$

Esta ecuación tiene un  $R^2$  de 88.36 %

El consumo correlacionado con la Producción y la Viscosidad se muestra en la figura 20.

Si se considera solo a la variable producción se obtiene la ecuación 7.

$$\text{CONSUMO B.} = 126,25 + 2,783 * \text{Producción} \quad [7]$$

Esta ecuación tiene un coeficiente de correlación de 0.9397 y un  $R^2$  de 88.31 %

### *Análisis de "CONSUMO DE CRUDO". considerando datos 2018 y 2019*

Este análisis considera solo el crudo consumido en los equipos principales de bombeo de las cuatro estaciones de bombeo, sin considerar crudo para generación ni

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

calentamiento, y con la totalidad de los datos del 2018 y 2019, la figura 21 y la tabla 8 muestran el análisis de correlación y significancia.

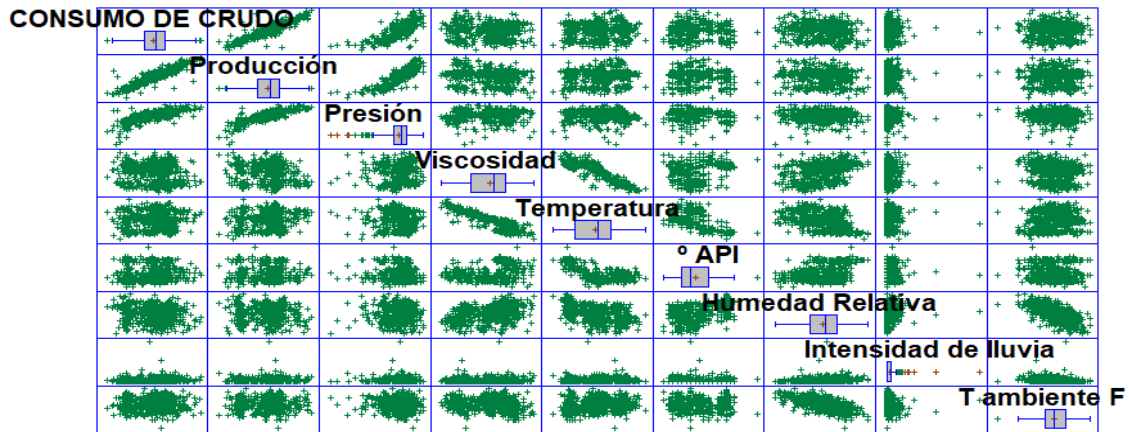


Figura 21. Relación de pares de variables para el total de los datos adquiridos (2018 y 2019).

Se considera el consumo de crudo en las bombas principales del sistema de oleoducto.

Tabla 8.

*Correlaciones momento producto de Pearson y correlaciones significativas.*

	CONSUMO DE CRUDO	PRODUCCIÓN	PRESIÓN	VISCOSIDAD	TEMPERATURA	° API	HUMEDAD RELATIVA	INTENSIDAD DE LLUVIA	T AMBIENTE F
	MWheq	KBPD	PSI	cStk	°F	°API	%	mm/h	°F
CONSUMO DE CRUDO		0,92	0,77	-0,12	0,08	0,02	-0,10	0,02	-0,03
Producción	0,92	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	0,07	0,58	<b>0,02</b>	0,60	0,46
Presión	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	0,76	0,15	0,45	0,44
Viscosidad	-0,12	-0,19	0,12	<b>0,00</b>	-0,09	-0,05	0,06	-0,02	-0,07
Temperatura	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,04</b>	0,25	0,14	0,58	0,10
° API	0,08	0,14	-0,09	-0,89	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	0,52	<b>0,00</b>
Humedad Relativa	0,07	<b>0,00</b>	<b>0,04</b>	<b>0,00</b>	-0,66	-0,47	<b>0,00</b>	0,39	<b>0,00</b>
Intensidad de lluvia	0,02	-0,01	-0,05	0,29	-0,66	0,34	<b>0,00</b>	-0,02	-0,13
T ambiente F	0,58	0,76	0,25	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>		<b>0,00</b>	0,57	<b>0,00</b>
	-0,10	-0,06	0,06	0,41	-0,47	0,34		0,18	-0,68
	<b>0,02</b>	0,15	0,14	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
	0,02	0,03	-0,02	-0,03	0,04	-0,02	0,18		-0,20
	0,60	0,45	0,58	0,52	0,39	0,57	<b>0,00</b>		<b>0,00</b>
	-0,03	-0,03	-0,07	-0,15	0,15	-0,13	-0,68	-0,20	
	0,46	0,44	0,10	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

De la figura 21 y tabla 8 se obtienen los pares de variables que tienen significancia estadística considerando solo el crudo utilizado por las bombas principales.

- CONSUMO DE CRUDO y Producción
- CONSUMO DE CRUDO y Presión
- CONSUMO DE CRUDO y Viscosidad
- CONSUMO DE CRUDO y Humedad Relativa
- Producción y Presión
- Producción y Viscosidad
- Producción y Temperatura
- Presión y Viscosidad
- ° API y Humedad Relativa
- Humedad Relativa y Intensidad de lluvia
- Intensidad de lluvia y T ambiente F
- Presión y Temperatura
- Viscosidad y Temperatura
- Viscosidad y ° API
- Viscosidad y Humedad Relativa
- Viscosidad y T ambiente F
- Temperatura y ° API
- Temperatura y Humedad Relativa
- Temperatura y T ambiente F
- ° API y T ambiente F
- Humedad Relativa y T ambiente F

De la tabla 8 se deducen las variables con significancia estadística y correlación fuerte son:

- CONSUMO DE CRUDO y producción
- CONSUMO DE CRUDO y Presión
- Producción y Presión

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

- Viscosidad y Temperatura

La figura 22 representa la relación de las variables seleccionadas y el modelo que representa el consumo de energía en MWheq en función de la producción, presión, temperatura y viscosidad está determinado por la ecuación 8:

$$\text{CONSUMO DE CRUDO} = 135,77 + 4,468 * \text{Producción} - 0,081 * \text{Presión} + 0,144 * \text{Viscosidad} - 0,200 * \text{Temperatura} \quad [8]$$

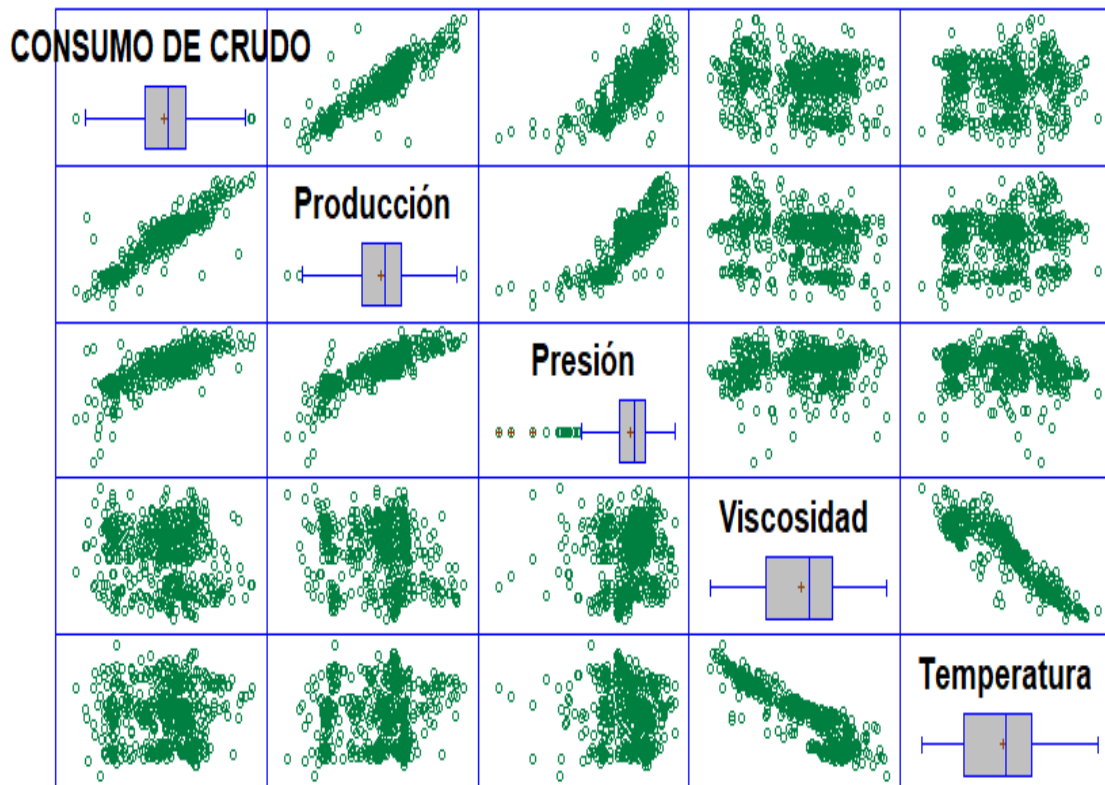


Figura 22. Relación de variables con mayor correlación y significativas

Se considera únicamente el consumo de crudo en los equipos principales de bombeo.

Eliminando la presión y temperatura por ser variables que se correlacionan con la producción y viscosidad respectivamente se obtiene que el consumo de crudo de los

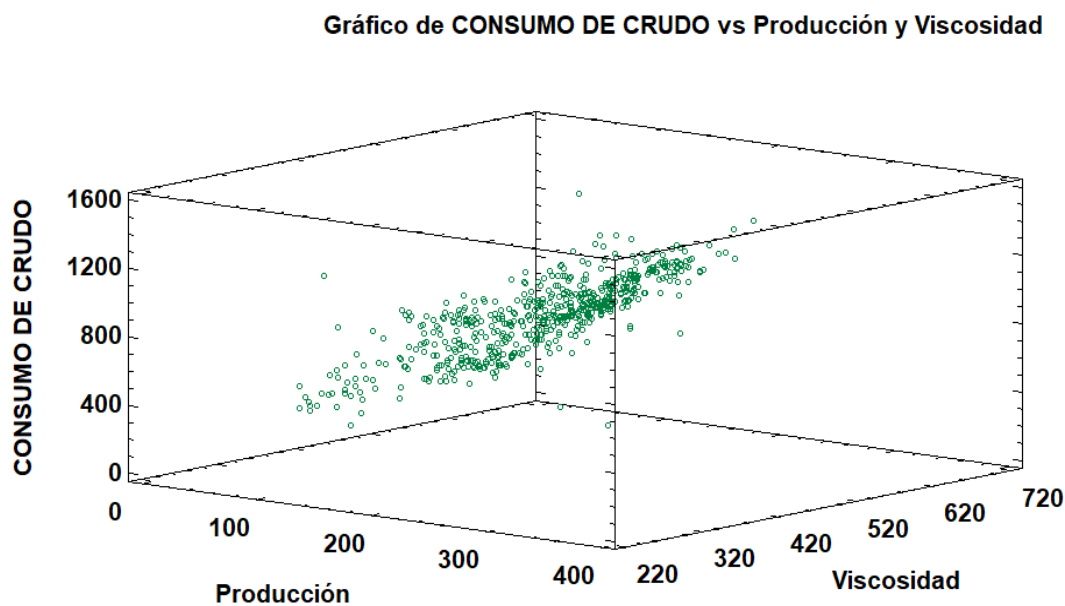
## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

equipos principales de bombeo depende de las variables producción y Viscosidad representada por la ecuación 9.

$$\text{CONSUMO DE CRUDO} = 19,06 + 4,359 * \text{Producción} + 0,139 * \text{Viscosidad} \quad [9]$$

Esta ecuación tiene un R-cuadrada de 84.78 %

El consumo correlacionado con la Producción y la Viscosidad se muestra en la figura 23.



*Figura 23.* Consumo de crudo en BEP en función de la producción y viscosidad.

Si se considera solo a la variable producción se obtiene la ecuación 10.

$$\text{CONSUMO DE CRUDO} = 89,83 + 4,31 * \text{Producción} \quad [10]$$

Esta ecuación tiene un coeficiente de correlación de 0.9193 y un  $R^2$  de 84.51 %

El desarrollo de los casos 2, 3 y 4 son similares al primer caso, la diferencia radica en la cantidad de datos que se selecciona para el análisis, pues como se constata en el análisis gráfico del consumo y producción en el tiempo existen tres secciones bien definidas; periodo sin calentamiento, periodo con calentamiento parcial (PS1) y periodo con

## **MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS**

calentamiento en dos estaciones (ps1 y Ps3). Siendo el desarrollo del análisis similar se indican un resumen general de los modelos obtenidos de acuerdo al periodo de datos analizado. El hecho de obtener modelos diferentes nos permite hacer un seguimiento del proceso futuro considerando el tipo de proceso efectuado ya sea para procesos con calentamiento o sin el mismo.

En la tabla 9 se presentan un resumen de los modelos obtenidos para cada escenario y el desarrollo particular del procedimiento se adjunta en el anexo 10

### **Modelos matemáticos representativo del proceso**

Se realiza el análisis de consumo de combustibles para el transporte de crudo pesado considerando varios aspectos que pasan por la verificación de la disponibilidad de los datos, clasificación y selección, segmentación de la información tomando en cuenta el cambio de consumo de combustibles por calentamiento cuando el proceso y la calidad del crudo transportado así lo requiere. Por ser el crudo el combustible más significativo del proceso (93%) se analiza por separado solo dicho consumo en el proceso de transporte.

Considerando que existen cambios operacionales que involucran el uso del sistema de calentamiento con sus respectivos hornos y que a partir de julio del 2018 se inicia con la recepción de crudo con mayor viscosidad implicando usar un horno en PS3 y a partir de junio del 2019 otro horno en la Estación PS1. Con este antecedente se clasifica la información en cuatro grupos para realizar el análisis y encontrar las ecuaciones que relacionen las variables existentes con el consumo de combustibles. El primer segmento de datos se considera los datos globales del 2018 y 2019, el segundo de enero a julio del 2018, el tercero de agosto del 2018 a junio del 2019 y el último de julio a diciembre del 2019.



## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

También se considera tres alternativas de análisis desde el punto de vista de consumo de energía obteniéndose el primer análisis que contempla el consumo de energía tanto para el sistema de bombeo y el combustible usado para el calentamiento en los hornos, el segundo análisis contempla solo el combustible usado para el sistema de bombeo así como también generación y un tercer caso en el que se analiza el consumo solo de crudo combustible por ser el combustible más significativo en el proceso de transporte.

Como resultado del análisis se obtienen las ecuaciones que relacionan el consumo energético en función de las variables que mantiene una correlación importante y que a la vez sean significativas, luego se obtiene un modelo eliminando las variables que se correlacionan entre sí y finalmente una ecuación lineal con las variable más significativa y correlacionada. Estos resultados para todas las segmentaciones de los datos están detallados en la tabla 9.

Tabla 9.

*Ecuaciones resultantes del análisis del consumo energético en función de variables independientes*

ECUACIÓN	NUM
DATOS 2018-2019	
CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO = $-472,36 + 3,16 * \text{Producción} - 0,05 * \text{Presión} - 0,0795 * \text{Viscosidad} + 6,10 * \text{Temperatura}$	[2]
CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO = $399,355 + 3,06 * \text{Producción} - 0,545 * \text{Viscosidad}$ .	[3]
CONSUMOB. Y CALENTAMIENTO = $122,84 + 3,241 * \text{Producción}$	[4]
CONSUMO B. = $194,55 + 2,84 * \text{Producción} - 0,035 * \text{Presión} + 0,0204 * \text{Viscosidad} - 0,327 * \text{Temperatura}$	[5]
CONSUMO B. = $107,68 + 2,79 * \text{Producción} + 0,0366 * \text{Viscosidad}$	[6]
CONSUMO B. = $126,25 + 2,783 * \text{Producción}$	[7]
CONSUMO DE CRUDO = $135,77 + 4,468 * \text{Producción} - 0,081 * \text{Presión} + 0,144 * \text{Viscosidad} - 0,200 * \text{Temperatura}$	[8]
CONSUMO DE CRUDO = $19,06 + 4,359 * \text{Producción} + 0,139 * \text{Viscosidad}$	[9]
CONSUMO DE CRUDO = $89,83 + 4,31 * \text{Producción}$	[10]

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

DATOS enero-julio 2018

---



---


$$\text{CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO} = -76,44 + 3,19 * \text{Producción} - 0,224 * \text{Presión} + 0,323 * \text{Viscosidad} + 2,678 * \text{Temperatura} \quad [11]$$

$$\text{CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO} = -28,133 + 2,902 * \text{Producción} + 0,266 * \text{Viscosidad} \quad [12]$$

$$\text{CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO} = 112,322 + 2,910 * \text{Producción} \quad [13]$$

$$\text{CONSUMO B.} = -76,441 + 3,193 * \text{Producción} - 0,224 * \text{Presión} + 0,3223 * \text{Viscosidad} + 2,678 * \text{Temperatura} \quad [14]$$

$$\text{CONSUMO B.} = -28,134 + 2,902 * \text{Producción} + 0,265 * \text{Viscosidad.} \quad [15]$$

$$\text{CONSUMO B.} = 112,322 + 2,910 * \text{Producción} \quad [16]$$

$$\text{CONSUMO DE CRUDO} = -315,688 + 5,07 * \text{Producción} - 0,38 * \text{Presión} + 0,533 * \text{Viscosidad} + 5,170 * \text{Temperatura} \quad [17]$$

$$\text{CONSUMO DE CRUDO} = -164,532 + 4,584 * \text{Producción} + 0,43 * \text{Viscosidad} \quad [18]$$

$$\text{CONSUMO DE CRUDO} = 62,735 + 4,596 * \text{Producción} \quad [19]$$

DATOS agosto 2018- junio 2019

---



---


$$\text{CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO} = -278,887 + 3,128 * \text{Producción} - 0,039 * \text{Presión} + 0,118 * \text{Viscosidad} + 3,53 * \text{Temperatura} \quad [20]$$

$$\text{CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO} = 180,805 + 3,038 * \text{Producción} - 0,060 * \text{Viscosidad} \quad [21]$$

$$\text{CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO} = 149,947 + 3,053 * \text{Producción} \quad [22]$$

$$\text{CONSUMO B.} = 201,872 + 2,943 * \text{Producción} - 0,079 * \text{Presión} + 0,125 * \text{Viscosidad} - 0,474 * \text{Temperatura} \quad [23]$$

$$\text{CONSUMO B.} = 53,487 + 2,831 * \text{Producción} + 0,124 * \text{Viscosidad} \quad [24]$$

$$\text{CONSUMO B.} = 116,753 + 2,800 * \text{Producción} \quad [25]$$

$$\text{CONSUMO DE CRUDO} = -167,637 + 4,599 * \text{Producción} - 0,145 * \text{Presión} + 0,426 * \text{Viscosidad} + 1,743 * \text{Temperatura} \quad [26]$$

$$\text{CONSUMO DE CRUDO} = -69,057 + 4,368 * \text{Producción} + 0,297 * \text{Viscosidad} \quad [27]$$

$$\text{CONSUMO DE CRUDO} = 82,968 + 4,294 * \text{Producción} \quad [28]$$

DATOS julio-diciembre 2019

---



---


$$\text{CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO} = 138,067 + 2,979 * \text{Producción} + 0,180 * \text{Presión} - 0,717 * \text{Viscosidad} + 0,745 * \text{Temperatura} \quad [29]$$

$$\text{CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO} = 434,959 + 3,246 * \text{Producción} - 0,721 * \text{Viscosidad} \quad [30]$$

$$\text{CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO} = 221,514 + 3,186 * \text{Producción} \quad [31]$$

$$\text{CONSUMO B.} = 373,857 + 2,392 * \text{Producción} + 0,177 * \text{Presión} - 0,399 * \text{Viscosidad} - 2,295 * \text{Temperatura} \quad [32]$$

$$\text{CONSUMO B.} = 202,938 + 2,667 * \text{Producción} - 0,164 * \text{Viscosidad} \quad [33]$$

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

$$\text{CONSUMO B.} = 154,466 + 2,653 * \text{Producción} \quad [34]$$

$$\text{CONSUMO DE CRUDO} = 700,743 + 3,841 * \text{Producción} + 0,222 * \text{Presión} - 0,75 * \text{Viscosidad} - 4,731 * \text{Temperatura} \quad [35]$$

$$\text{CONSUMO DE CRUDO} = 203,738 + 4,194 * \text{Producción} - 0,309 * \text{Viscosidad} \quad [36]$$

$$\text{CONSUMO DE CRUDO} = 112,265 + 4,168 * \text{Producción} \quad [37]$$

Para su interpretación y manejo del software de análisis multivariable, simplificamos las ecuaciones de acuerdo a la siguiente nomenclatura tabla 10

Tabla 10.

*Nomenclatura de las variables para ingreso en el software de análisis multivariable*

<b>NOMENCLATURA</b>	<b>VARIABLE</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>C_H</b>	CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO	MWheq.
<b>C</b>	CONSUMO B.	MWheq.
<b>Cc</b>	CONSUMO DE CRUDO	BEP
<b>X</b>	Producción	kBPD
<b>Y</b>	Viscosidad	cStk
<b>P</b>	Presión	PSI
<b>Q</b>	Temperatura	° F

De acuerdo a las condiciones actuales de producción y con la proyección de incremento de viscosidad del crudo a transportarse se requiere calentar al inicio del proceso y en la Estación intermedia la que permite compensar las pérdidas de calor al ambiente por las condiciones geográficas por donde avanza el oleoducto, con esta premisa se decide utilizar las ecuaciones generadas de los datos de Julio a diciembre del 2019 ya que son las condiciones que se mantienen en la operación actual. El resto de ecuaciones tiene su validez cuando el proceso así lo amerite, ya que en determinadas circunstancias de producción podría no requerirse el calentamiento en una de las Estaciones o en ninguna de ellas. Las ecuaciones desde la 29 a la 37 representan los modelos para los datos de Julio a diciembre del 2019 y con el análisis de las tres alternativas de análisis de consumo.

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

Dada las ecuaciones representativas del proceso, se procede a generar una línea base de consumo para valorar los datos calculados frente a los datos del proceso actual, cuyos datos están contemplados desde enero a mayo del 2020, también se compara con el modelo lineal proporcionado con todos los datos globales (2018 y 2019) para conocer en qué porcentaje disminuye el error de cada modelo.

- $C_H = 138,067 + 2,979*X + 0,180*P - 0,717*Y + 0,745*Q$  [29]

- $C_H = 434,959 + 3,246*X - 0,721*Y$  [30]

- $C_H = 221,514 + 3,186*X$  [31]

- $C = 373,857 + 2,392*X + 0,177*P - 0,399*Y - 2,295*Q$  [32]

- $C = 202,938 + 2,667*X - 0,164*Y$  [33]

- $C = 154,466 + 2,653*X$  [34]

- $C_c = 700,743 + 3,841*X + 0,222*P - 0,75*Y - 4,731*Q$  [35]

- $C_c = 203,738 + 4,194*X - 0,309*Y$  [36]

- $C_c = 112,265 + 4,168*X$  [37]

Se determina que el análisis con el consumo del crudo para bombeo y crudo para calentamiento  $C_H$  nos proporciona la ecuación que responde al proceso actual ya que tiene un error promedio del 4% frente al 17% de error en la exactitud de los resultados del modelo que considera todos los datos del año 2018 y 2019 como se verifica en el Anexo 11, donde se analizan los datos calculados con los reales del proceso en el año 2020. De este modo se concluye que la ecuación que mejor representa el proceso en las condiciones actuales está dada por:

$$C_H = 434,959 + 3,246*X - 0,721*Y \quad [30]$$

## **MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS**

A partir de la ecuación 30, que define al proceso y se puede elaborar la línea base de consumo con las variables Producción (X) y la viscosidad (Y).

En la tesis doctoral “El análisis multivariante aplicado al abastecimiento de gas licuado de petróleo (GLP) en el Perú” Higa (2019) que es un estudio cuantitativo, no experimental, explicativo y correlacional se obtienen las correlaciones de las variables independientes y su impacto o correlación con el abastecimiento de GLP a nivel Nacional en el Perú, cuya metodología aplicada es compatible con el análisis de las variables independientes tratadas en este estudio y la influencia que tiene en el consumo energético para el proceso de transporte de petróleo pesado

Al igual que en el estudio revisado para verificar la linealidad de los datos se realiza un análisis de los gráficos de dispersión lo que nos permite identificar las variables que influyen en el proceso, durante el análisis se verifica que existen variables que mantienen una correlación entre sí lo que podría generar información redundante en el modelo se hace necesario disminuir el número de variables como el caso del volumen transportado con la presión de descarga del sistema de bombeo de la estación.

Otra similitud es que los datos son reales y se tiene certeza de los mismos y como son continuas en el tiempo, para los dos casos de estudio nos permite utilizar la matriz de correlaciones producto-momento de Pearson, permitiendo encontrar el valor de las correlaciones y la significancia de las variables en el análisis. Finalmente, en el estudio de referencia se usa el software de análisis multivariado SPSS 33 mientras que el estudio presentado hace uso del software Statgraphics.

La diferencia en los estudios analizados radica que en el análisis multivariado tomada como referencia se establecen las ecuaciones que representan dos modelos que relacionan el abastecimiento de GLP en el Perú de acuerdo a su origen, ya sea GLP, extraído como gas natural o GLP, extraído del petróleo. En el caso del estudio presentado se presenta el

# MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

modelo del consumo energético en función del volumen bombeado y la viscosidad del producto transportado.

## Aporte de la Investigación

### Líneas Base, Meta, Límite y Diagrama de control de consumo Base 100

Determinado el modelo del consumo de energía para el proceso de transporte mediante la ecuación 30, que representa un modelo de predicción de consumo y como tal de monitoreo del comportamiento del proceso en función del consumo energético, se elaboran hojas de registro de datos diarios de todos los consumos de combustibles en todo el Oleoducto incluyendo el consumo relacionado con el calentamiento en hornos para evaluar su comportamiento diario comparando los datos reales de consumo con los datos calculados por el modelo presentado en este estudio. El desarrollo de los registros y seguimiento están elaborados en base a la información recopilada hasta Mayo del 2020, que se pueden revisar a detalle en el Anexo 12.

### Líneas Base

Graficada la ecuación del Consumo en función de la producción y la viscosidad y sobrepuesta los datos del 2020 muestran la concordancia de la ecuación definida con los datos históricos y los datos del proceso actual como se muestran en la figura 24.

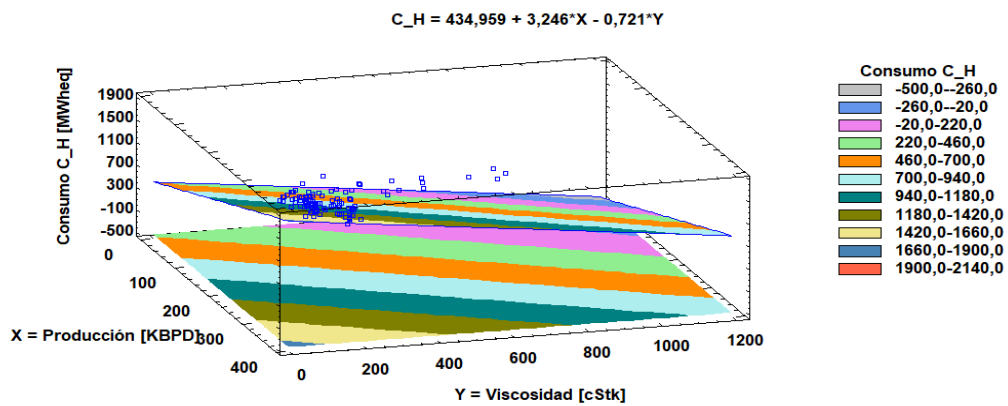


Figura 24. Gráfico de datos 2020 y plano resultante del modelo multivariable

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

### Líneas Meta y Límite

Dado que la ecuación 30 nos proporciona una superficie meta ya que contempla los mejores datos, eliminando los de mayor error y debido a que el error estándar de los residuos es del 77.43 se puede encontrar las líneas meta y límite de consumos obteniendo las siguientes ecuaciones:

- Línea Meta

$$C_H = 357,53 + 3,246 * X - 0,721 * Y \quad [38]$$

- Línea Límite.

$$C_H = 512,389 + 3,246 * X - 0,721 * Y \quad [39]$$

### Índices de Producción -Base 100

Regularmente al realizar un análisis de consumo energético tradicionalmente usamos un índice Consumo Energético vs Producción cuando se tiene una variable principal que influye en la producción, en nuestro caso al realizarse la evaluación considerando otra variable adicional que es la viscosidad por lo que no se aplica el método indicado, pero se puede usar un gráfico BASE 100 para indicar las veces que el consumo energético excede el valor calculado resultando un consumo inadecuado y un candidato fijo a tomar en cuenta en el análisis de consumos, de otro lado si el consumo no llega al 100% del consumo calculado implica que el consumo es menor al planificado y también nos indica que el proceso en si tiene características que generan un Ahorro como muestra la figura 25.

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

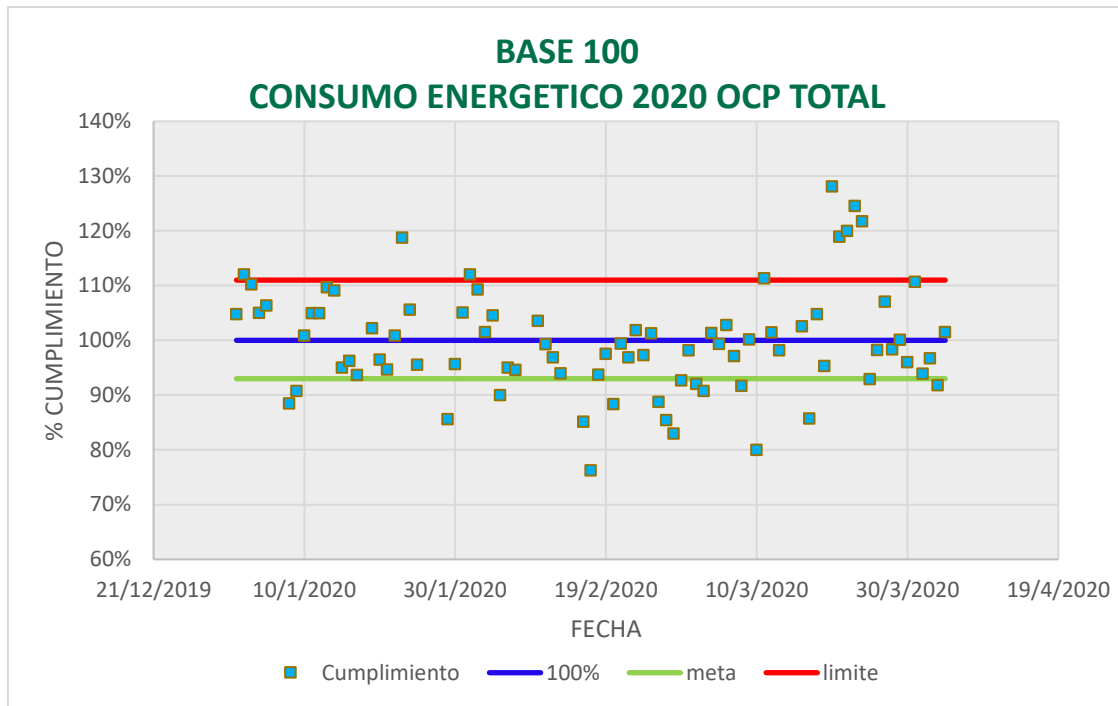


Figura 25. Índice de base 100. Proceso de bombeo y calentamiento de crudos pesados.



## **MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS**

### **Conclusiones.**

1. Se encuentra que la ecuación de consumo energético:  $C_H = 434,959 + 3,246 * \text{Producción} - 0,721 * \text{Viscosidad}$  es un modelo multivariable que define el consumo energético para el proceso de transporte de crudo considerando las variables de Producción y Viscosidad, los que nos permite realizar el monitoreo energético a través de un seguimiento diario.
2. El estudio considera de partida datos de las variables tanto operativos como ambientales siendo los operativos los que muestran mayor correlación y significancia y de ellas el volumen bombeado la principal variable correlacionada y significativa seguida por la viscosidad, aunque con poca incidencia. En cuanto a las variables proporcionadas por el sistema de Estaciones Totales que posee el Oleoducto no tienen correlación con el consumo energético por lo que dichos parámetros como temperatura ambiente, pluviometría o humedad relativa y que representan solo una parte de los datos adquiridos, proporcionaron valores demasiado pequeños de correlación por lo que se desestimaron en el análisis realizado.
3. La ecuación 30 determina que el crudo que recibe OCP para el transporte de crudo es dependiente de la cantidad y calidad (Volumen y viscosidad), la misma que de todas las segmentaciones realizadas y alternativas planteadas y de acuerdo al proceso actual del oleoducto se integra en el segmento de análisis de datos de Julio a Diciembre del 2019 y al consumo energético considerando todos los combustibles que intervienen en el proceso de bombeo más el crudo empleado para calentamiento definidos por el parámetro CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO.
4. Las relaciones en la evaluación de los consumos energéticos considerados tanto en los consumos totales incluido el calentamiento ( $C_H$ ) y consumos totales sin el consumo

## **MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS**

por calentamiento (Cc) se debe a que el crudo es el combustible más significativo en el proceso de transporte con un 93 % en el total de la energía utilizada.

5. El análisis multivariado nos proporciona la cuantificación de la influencia de la calidad del crudo transportado con su viscosidad y aunque su peso es relativamente bajo, 5% del consumo energético nos permite conocer los consumos requeridos para este sistema de transporte cuando no se disponga por cualquier razón de los hornos, donde las viscosidades se incrementarán significativamente y correspondientemente el consumo energético.
6. Si bien la variable principal y que determina el consumo tiene que ver con la producción (volumen transportado) al comparar el modelo lineal de consumo con el modelo multivariable se aprecia que el margen de error disminuye del 17 % al 5 % del modelo calculado con los valores reales del consumo para el año 2020, determinando que el modelo multivariable nos garantiza una mejor fiabilidad en el monitoreo energético.
7. Los consumos actuales de acuerdo al índice de producción en el gráfico BASE 100 indican que existe un 46 % de datos factibles de mejorar en cuanto al consumo energético, que corresponde a los puntos sobre la línea base y límite, además existen puntos fuera de la línea límite y que se relacionarían con consumos excesivos de combustibles que estaría relacionados con un parámetro no controlado que es el drenaje de contenido de agua del combustible que no se mide y se asume como consumo.

## **MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS**

### **Recomendaciones**

1. Un caso particular no cubierto en este análisis es enfocarse en el consumo exclusivo de los equipos de bombeo volumen de Crudo utilizado específicamente por las bombas principales (Cc), pues al resultar el crudo el combustible más significativo y las bombas principales los máximos consumidores de crudo en el proceso, se podrían analizar importantes oportunidades de mejora al analizar con los otros parámetros operativos de la bomba en sí.
2. Si las condiciones operativas del oleoducto a futuro contemplan cambios drásticos de calidad y si se planifica algún tipo de segregación de crudo que pueda representar transportes por baches de calidades muy diferentes y que la periodicidad de este proceso sea mayor a tres baches mensuales se debe analizar estos cambios para generar nuevos indicadores del consumo energético en un determinado rango de viscosidades, lo que implicaría tener un sistema dinámico de indicadores. En la actualidad se realiza un bache mensual y estos datos no fueron considerados para el estudio realizado.
3. Los términos independientes de los modelos representan consumos constantes que no se relacionan con el proceso de bombeo lo que sugiere ejecutar auditorías energéticas a los subprocesos.
4. Realizar un detallado análisis del método de medición del crudo combustible, tanto para el proceso de bombeo como calentamiento en busca de eliminar valores de consumo inadecuados.

# MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

## Bibliografía

- Abdelaziz, E. A., Saidur, R., & Mekhilef, S. (2011). A review on energy saving strategies in industrial sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 150–168. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.003>
- Abramov, V. O., Abramova, A. V., Bayazitov, V. M., Mullakaev, M. S., Marnosov, A. V., & Ildiyakov, A. V. (2017). Acoustic and sonochemical methods for altering the viscosity of oil during recovery and pipeline transportation. *Ultrasonics Sonochemistry*, 35, 389–396. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.10.017>
- AIHE. (2011). Asociación de la Industria Hidrocarburífera del Ecuador Petroleo en Cifras. Comentario Elcano 32/2017, 8–9. Retrieved from [https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&cad=rja&uact=8&ved=0CEkQFjAF&url=http://www.aihe.org.ec/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=97&Itemid=&ei=aE\\_qU5STGIzNsQTPj4CoDw&usg=AFQjCNGB0tkxXZ\\_rQeK6PBbZBRiQnkNTuA&sig2=x](https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&cad=rja&uact=8&ved=0CEkQFjAF&url=http://www.aihe.org.ec/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=97&Itemid=&ei=aE_qU5STGIzNsQTPj4CoDw&usg=AFQjCNGB0tkxXZ_rQeK6PBbZBRiQnkNTuA&sig2=x)
- Daoud, M., Zamzam, M., Helmy, A., & Rageh, A. (2014). ISO 50001-energy management systems accreditation, ADCO safeguards the environment with efficient energy utilization. 30th Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference: Challenges and Opportunities for the Next 30 Years, ADIPEC 2014, 3, 2244–2253. <https://doi.org/10.2118/171886-MS>
- DAVIS Instruments. (2012). Vantage Pro2. <http://www.davisnet.com/weather/products/vantage-pro-professional-weather-stations.asp>

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

Energética, G., & Iso, S. (2014). Guía de implantación de sistema de gestión energética según iso 50001.

Estudio experimental sobre la eficiencia de un tratamiento de ultrasonido en un sistema de flujo continuo para la reducción de viscosidad de crudo pesado. (2013). *Revista Ion*, 26(2), 47–63.

Guide to Energy Management - Barney L. Capehart, Wayne C. Turner, William J. Kennedy - Google Books. (n.d.). Retrieved from [https://books.google.nl/books?hl=en&lr=&id=8zA9ONTNgpIC&oi=fnd&pg=PA1&dq=guide+to+energy+management&ots=YcG2M\\_nWiS&sig=a6HGBvp7vo6wDq0jCpGXvYvk3aI#v=onepage&q=guide to energy management&f=false](https://books.google.nl/books?hl=en&lr=&id=8zA9ONTNgpIC&oi=fnd&pg=PA1&dq=guide+to+energy+management&ots=YcG2M_nWiS&sig=a6HGBvp7vo6wDq0jCpGXvYvk3aI#v=onepage&q=guide+to+energy+management&f=false)

Hasan, S. W., Ghannam, M. T., & Esmail, N. (2010). Heavy crude oil viscosity reduction and rheology for pipeline transportation. *Fuel*, 89(5), 1095–1100. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.12.021>

IPIECA. (2013). Guidelines for implementing ISO 50001 Energy. Climate Change.

Machado, C. A. S. (2010). Gestión energética empresarial una metodología para la reducción de consumo de energía. *Energy Management in Business a Method to Reduce Energy Consumption*, 5(2), 107–126. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=79660774&lang=es&site=ehost-live>

Martínez-Palou, R., Mosqueira, M. de L., Zapata-Rendón, B., Mar-Juárez, E., Bernal-Huicochea, C., de la Cruz Clavel-López, J., & Aburto, J. (2011a). Transportation of heavy and extra-heavy crude oil by pipeline: A review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 75(3–4), 274–282. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2010.11.020>

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

- Martínez-Palou, R., Mosqueira, M. de L., Zapata-Rendón, B., Mar-Juárez, E., Bernal-Huicochea, C., de la Cruz Clavel-López, J., & Aburto, J. (2011b). Transportation of heavy and extra-heavy crude oil by pipeline: A review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 75(3–4), 274–282. <https://doi.org/10.1016/J.PETROL.2010.11.020>
- Martínez-Palou, R., Reyes, J., Cerón-Camacho, R., Ramírez-de-Santiago, M., Villanueva, D., Vallejo, A. A., & Aburto, J. (2015). Study of the formation and breaking of extra-heavy-crude-oil-in-water emulsions—A proposed strategy for transporting extra heavy crude oils. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 98, 112–122. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2015.09.014>
- Zhang, M., Li, H., Zhou, M., & Mu, H. (2011). Decomposition analysis of energy consumption in Chinese transportation sector. *Applied Energy*, 88(6), 2279–2285. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2010.12.077>
- Serna, Carlos (2010) *Gestión energética empresarial una metodología para la reducción de consumo de energía*, Antioquia, Colombia, Ed. Conasfaltos
- Ipieca (2013) *Guidelines for implementing ISO 50001 Energy Management Systems in the oil and gas industry*. London, United Kingdom: OGP/IPIECA
- LBNL (2005). *Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities For Petroleum Refineries: An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers*. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, February 2005, USA. [www.energystar.gov/ia/business/industry/ES\\_Petroleum\\_Energy\\_Guide.pdf](http://www.energystar.gov/ia/business/industry/ES_Petroleum_Energy_Guide.pdf)
- IMO (2009). *Guidelines for Voluntary Use of the Ship Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI)*.
- International Maritime Organization, MEPC.1/Circ.684, 17 August 2009, London.

## **MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS**

[www.mardep.gov.hk/en/msnote/pdf/msin0924anx2.pdf](http://www.mardep.gov.hk/en/msnote/pdf/msin0924anx2.pdf)

ISO (2011). Win the Energy Challenge with ISO 50001. International Organization for Standardization,

June 2011, Switzerland. [www.iso.org/iso/iso\\_50001\\_energy.pdf](http://www.iso.org/iso/iso_50001_energy.pdf)

Campos, Juan (2007). Sistemas de gestión integral de la energía: guía para la implementación. Bogotá, Colombia: UPME

Estudio experimental sobre la eficiencia de un tratamiento de ultrasonido en un sistema de flujo continuo para la reducción de viscosidad de crudo pesado. (2013). Revista Ion, 26(2), 47–63.

Lloyd's Register. (2019). Norma Iso 50001 Sobre Sistemas De Gestión De La Energía. <https://www.lr.org/es-es/iso-50001/>

Martínez-Palou, R., Mosqueira, M. de L., Zapata-Rendón, B., Mar-Juárez, E., Bernal-Huicochea, C., de la Cruz Clavel-López, J., & Aburto, J. (2011). Transportation of heavy and extra-heavy crude oil by pipeline: A review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 75(3–4), 274–282. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2010.11.020>

Metodología de conversion de unidades OLADE.pdf. (n.d.).

Wakkee, M., Hollestein, L. M., & Nijsten, T. (2014). Multivariable analysis. *Journal of Investigative Dermatology*, 134(5), e20. <https://doi.org/10.1038/jid.2014.132>

Abramov, V. O., Abramova, A. V., Bayazitov, V. M., Mullakaev, M. S., Marnosov, A. V., & Ildiyakov, A. V. (2017). Acoustic and sonochemical methods for altering the viscosity of oil during recovery and pipeline transportation. *Ultrasonics Sonochemistry*, 35, 389–396. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.10.017>

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

- AIHE. (2011). Asociación de la Industria Hidrocarburífera del Ecuador Petroleo en Cifras. Comentario Elcano 32/2017, 8–9. [https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&cad=rja&uact=8&ved=0CEkQFjAF&url=http://www.aihe.org.ec/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=97&Itemid=&ei=aE\\_qU5STGIzNsQTPj4CoDw&usq=AFQjCNGB0tkxXZ\\_rQeK6PBbZBRiQnkNTuA&sig2=x](https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&cad=rja&uact=8&ved=0CEkQFjAF&url=http://www.aihe.org.ec/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=97&Itemid=&ei=aE_qU5STGIzNsQTPj4CoDw&usq=AFQjCNGB0tkxXZ_rQeK6PBbZBRiQnkNTuA&sig2=x)
- DAVIS Instruments. (2012). Vantage Pro2. <http://www.davisnet.com/weather/products/vantage-pro-professional-weather-stations.asp>
- Energética, G., & Iso, S. (2014). Guía de implantación de sistema de gestión energética según iso 50001.
- Lloyd's Register. (2019). Norma Iso 50001 Sobre Sistemas De Gestión De La Energía. <https://www.lr.org/es-es/iso-50001/>
- Martínez-Palou, R., Mosqueira, M. de L., Zapata-Rendón, B., Mar-Juárez, E., Bernal-Huicochea, C., de la Cruz Clavel-López, J., & Aburto, J. (2011). Transportation of heavy and extra-heavy crude oil by pipeline: A review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 75(3–4), 274–282. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2010.11.020>
- Metodologia de conversion de unidades OLADE.pdf. (n.d.).
- Wakkee, M., Hollestein, L. M., & Nijsten, T. (2014). Multivariable analysis. *Journal of Investigative Dermatology*, 134(5), e20. <https://doi.org/10.1038/jid.2014.132>
- Adaniya Higa, B. J. (2019). "Abastecimiento de gas licuado de petróleo (GLP). Análisis causal de los factores que lo impactan mediante análisis multivariable."



## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

- Ballenilla García de Gamarra, F. J. R. I. e. I. E., 55, 73-87. (2005). "La sostenibilidad desde la perspectiva del agotamiento de los combustibles fósiles, un problema socio-ambiental relevante."
- Cortés Llerena, C. F. (2017). Técnicas para mejorar el transporte de crudos pesados por oleoductos, Quito, 2017.
- de la Hoz Granadillo, E. J., T. J. F. Herrera and J. M. J. C. y. a. Gómez (2014). "Evaluación del comportamiento de los indicadores de productividad y rentabilidad financiera del sector petróleo y gas en Colombia mediante el análisis discriminante." **59**(4): 167-191.
- Domínguez, J. C. J. I. q. (2008). "Transporte de crudo pesado a través de oleoducto: evaluación de diferentes tecnologías." (465): 54-65.
- Freda, J. F. and R. J. U. d. S. B. A. De Dicco, Argentina (2004). "Agotamiento de las reservas de hidrocarburos en Argentina."
- García, C. A., O. C. Rodríguez, P. A. Casallas, G. Cruz, F. E. Hernández, L. E. Afanador and L. J. F. E. r. e. Rodríguez (2010). "Optimización del transporte por oleoducto de crudo pesado Castilla." **8**(1): 2.
- Guerra Idrovo, G. A. (2008). La emisión de gases efecto invernadero (GEI) durante el desarrollo de operaciones de explotación de hidrocarburos, Quito, Ecuador.
- Higa, B. A. J. I. d. (2019). "El análisis multivariante aplicado al abastecimiento de Gas Licuado de Petróleo (GLP) en el Perú." **22**(2): 47-64.
- Johnson, T. M., C. Alatorre, Z. Romo and F. Liu (2010). Mexico-Estudio sobre la disminución de emisiones de carbono, The World Bank.

## **MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS**

Lima, H. G. J. P. d. D. R. L. d. E. "Agotamiento de los campos petroleros gigantes y nuevo potencial de hidrocarburos en México, Fabio Barbosa, iiec-unam, 2011." **43**(171).

Onate Morales, J. A. and R. F. Rodriguez Navas (2012). Evaluacion De Las Alternativas De Transporte De Crudo Pesado Por Tuberias: Caso Aplicado Al Campo Rubiales, Universidad Industrial de Santander, Escuela De Ing. De Petroleos.

Rivera, R. (1998). La explotación de crudos pesados en el Ecuador, Quito, Ecuador.

Velásquez, I. and J. C. J. R. i. U. Pereira (2014). "Emulsiones de agua en crudo. Aspectos Generales." **21**(3): 45-54.


# **MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS**

## **ANEXOS**



**MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE  
CRUDOS PESADOS**

**Anexo 2. Reporte de calibración de la unidad de medición U-106.**

Report No. : 3258	Prove Report	
Prover ID : U-0108	Prover Volume : 14.2749 BBL	
Skid ID : U-0106	Prover Inside Diameter : 15.2500 in.	
Meter ID : FT01264A	Prover Wall Thickness : 0.3750 in.	
Meter K-Factor : 1590	Product Density : 0.9470 REL D	
Prove Completed 2017-07-15 21:27:22	Product Type : OIL	

Trip Number	Half Trip Pulses	Round Trip Pulses	Meter Temp °F	Prover Temp °F	Meter Press PSIG	Prover Press PSIG	Flow Rate BPH
01	11556	23236	105.6	105.5	110.7	106.4	2262
02	11555	23235	105.7	105.6	110.8	106.5	2260
03	11550	23232	105.7	105.6	111.0	106.7	2268
04	11548	23238	105.7	105.6	110.7	106.5	2245
05	11547	23229	105.7	105.6	110.9	106.6	2258
06	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
07	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
08	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
09	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
10	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
Average		23234	105.7	105.6	110.8	106.5	2259

**PROVE COMPLETED**


Percent Deviation Pulses :	0.039	New Meter Factor :	0.9779
Percent Deviation MF :	-0.670	Current Meter Factor :	0.9845
CTS =	1.00085	CTLM =	0.98249
CPS =	1.00014	CPLM =	1.00049
CTLP =	0.98253	CCFM =	0.98297
CPLP =	1.00047		
CCFP =	0.98396		

Signature: 




# MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS


## Anexo 3. Certificado de calibración del instrumento de medición de temperatura TT-03030



**metrologic**  
CENTRO DE METROLOGIA E INSPECCIÓN



Red Ecuadoriana de Metrología



SERVICIO DE ACREDITACIÓN ECUATORIANO  
Acreditación N° SAE LC 10-004  
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN - TRANSMISOR DE TEMPERATURA

Pág: 01

Reporte No: **METR-LAB-20-0153-TIT**

**Cliente:** METROLOGIC S.A.  
**Persona de contacto:** José Ponce  
**Dirección:** José Ponce Martínez 703-10 y Calle C

**Fecha Calibración Inicial:** 2020-07-01  
**Fecha Calibración Final:** 2020-07-01  
**Fecha de Emisión de Certificado:** 2020-07-02

**TRANSMISIBILIDAD:** El patrón utilizado en esta procedimiento ha sido calibrado con instrumentos trazables a estándares internacionales.  
**PROCEDIMIENTO:** El procedimiento utilizado en la calibración ha sido descrito de acuerdo a especificaciones de la norma NTE (NTE) ISO/IEC 17025:2018 con el código PTT-ALOGIC-098.034 rev. 0.  
**INSTRUMENTOS:** La inserción de la calibración fue realizada de acuerdo a la "Práctica para la estimación de la incertidumbre de la medida" PUE R02-04E.  
**NOTA:** Este certificado solo aplica para el item identificado y únicamente se podrá reproducir en forma completa y con la aprobación escrita, específica de METROLOGIC S.A.

**Datos del Instrumento a Calibrarse:**

**Equipo:** TRANSMISOR DE TEMPERATURA  
**Marca:** TEKTRON  
**Tag:** ETR-201-098-ALOGIC  
**Modelo:** 2109A-101310E10710000  
**Rango:** [ 0 a 200 ] °F [ -17,78 a 101,11 ] °C  
**Aislamiento:** 250 °F 138,89 °C  
**Unidades:** Grados

**Condiciones Ambientales de Ensayo:**

**Temperatura:** Inicial 22,8 °C  
Final 23,4 °C  
**Presión atmosférica:** 126,9 hPa  
**Humedad Relativa:** 41,0 %  
**Medio de Prueba:** Pureo Sólido

**Lugar de Calibración:**  
LABORATORIO METROLOGIC QUITO

**Patrón de Referencia utilizado:**

**Identificación:** PTT-170-098-ALOGIC & PTT-19-098-ALOGIC  
**Equipo:** SISTEMA TERMOESTRÓMETRO (DISPLAY + SENSOR)  
**Marca:** BOUTCH  
**Modelo:** 715 10 & 026-14-02  
**Serie:** 303771-02448-3  
**Exactitud:** ± 0,0097 °F  
**Rango:** [ -102 a 482 ] °F  
**Fecha de calibración:** 2019-09-08  
**Número de certificado:** 70028214

**Patrón Indicador de utilidad:**


**Identificación:** PTT-020-098-ALOGIC  
**Equipo:** Calibrador de Presión  
**Marca:** MARYS  
**Modelo:** 1410  
**Serie:** 2200002  
**Exactitud:** ± 0,01 % de la lectura + 0,4  
**Rango:** [ 0 a 34 ] inA  
**Fecha de calibración:** 2019-06-19  
**Número de certificado:** LMBL20146PAC

**Método(s) de medición(s) utilizado(s):**

**Identificación:** ETR-141-098-ALOGIC  
**Serie:** 303881  
**Número de certificado:** MET-LAB-MED-101-10

#### RESULTADOS DE LA MEDICIÓN

N°	TEMPERATURA NOMINAL		PATRÓN CORREGIDO		META A SER CALIBRADO		ERRORES OBSERVADOS		Incertidumbres k=2 para aproximadamente 95,45%		
	Ejemplares		Ejemplares		Ejemplares		Ejemplares				
	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	
1	20,00	-3,88	24,87	-3,98	24,91	-3,94	5,584	0,033	0,018	0,31	0,17
2	125,00	51,67	124,95	51,60	124,95	51,66	11,800	0,103	0,057	0,31	0,17
3	200,00	107,22	200,50	107,50	200,52	107,51	16,433	-0,017	-0,010	0,31	0,17



PAG000A-01

2019-10-21

Quito: José Ponce Martínez N 73-10 y Calle "C" (Sector Ponciano Alto)  
Teléfono: 2 800 254 / 3 826 360 / 098 3372 484 • E-mail: calibraciones@metrologic.com.ec  
El Caca: Av. Alejandro Labaka km 7 1/2 Vía a Lago Agrio (Frente a Servisilva)  
Teléfono: 06 2 378 038 / 098 8088 316 • E-mail: elcaca@metrologic.com.ec



# MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN		Pág.: 1 / 2				
VOLUMEN CONTRA VOLUMEN						
Solicitante:	OCP ECUADOR S.A.	CERTIFICADO No.:	OCP-AMA-20-0001 FQIT-07			
Persona contacta:	Ing. Gustavo López	Fecha de inicio de la calibración:	2020-07-10			
Dirección:	PST Estación Amazonas - Lago Agrio	Fecha del final de la calibración:	2020-07-10			
		Fecha de emisión del certificado:	2020-07-10			
<p><b>TRAZABILIDAD:</b> EL PATRÓN UTILIZADO EN ESTE PROCEDIMIENTO HA SIDO CALIBRADO CON INSTRUMENTOS TRAZABLES A ESTÁNDARES INTERNACIONALES.</p> <p><b>PROCEDIMIENTO:</b> EL PROCEDIMIENTO UTILIZADO EN LA CALIBRACIÓN HA SIDO DESARROLLADO DE ACUERDO A REQUERIMIENTOS DE LA NORMA NTEVEN ISO/IEC 17025:2018 CON EL CÓDIGO PTT-METROLOGIC-DME-021, BAJO LA NORMATIVA API CAPITULO 5 - SECCIÓN 6.</p> <p><b>INCERTIDUMBRE:</b> LA INCERTIDUMBRE DE LA CALIBRACIÓN FUE ESTIMADA DE ACUERDO A LA "POLÍTICA LA INCERTIDUMBRE DE MEDIDA EN LAS CALIBRACIONES" PLUS R02.</p> <p><b>NOTA:</b> ESTE CERTIFICADO SOLO APLICA PARA EL ÍTEM IDENTIFICADO Y ÚNICAMENTE SE PODRÁ REPRODUCIR EN FORMA COMPLETA Y CON LA APROBACIÓN ESCRITA ESPECIAL DE METROLOGIC S.A.</p>						
INFORMACIÓN DEL MEDIDOR PATRÓN						
DENOMINACIÓN:	MEDIDOR DE FLUIDO	TIPO:	CORRULIS			
FECHA DE CALIBRACIÓN:	2019-12-17	NÚMERO DE CERTIFICADO:	7.22147915			
FACTOR K:	Pulsos/ml	MARCA:	MICROWATTEN			
SERIAL SENSOR No.:	14979774	MODELO SENSOR:	CMF2000M18N2BAS2Z2			
SERIAL TRANSMISOR No.:	33322559	MODELO TRANSMISOR:	2700111ADASLANZ			
INTERVALO DE MEDICIÓN:	(27,5 a 95) m³/h = (1,19e-3 a 2,42e-2)m³/s	RESOLUCIÓN:	0,00001 m³ = 1,00E-6 m³			
CÓDIGO INTERNO:	PTN-187-DME-MI-0002	FACTOR DE MEDIDA:	1,0000			
INFORMACIÓN DE UNIDAD BAJO PRUEBA (UBP)						
DENOMINACIÓN:	MEDIDOR DE FLUIDO VOLUMÉTRICO	TIPO:	CORRULIS			
SERIAL SENSOR / TRANSMISOR No.:	F4159402000	MARCA:	ENDRESS+HAUSER			
TAG:	FE-0103418	MODELO TRANSMISOR:	PROMSS B4			
UBICACIÓN:	MEDIDOR DE CONSUMO COMBUSTIBLE	MODELO SENSOR:	84F90			
FACTOR DE CALIBRACIÓN DE FLUIDO DEL FABRICANTE:	1,0000	INTERVALO DE MEDICIÓN (10 a 350) m³/h = (0,19E-4 a 1,67E-2)m³/s				
FACTOR K:	Pulsos/m	EMPRESA:	OCP ECUADOR S.A.			
CONDICIONES DE PROCESO						
TASA DE FLUIDO:	(m³/h)	0,0042	TIPO DE FLUIDO:	Crudo O1		
DENSIDAD:	(kg/m³)	924,5	TEMPERATURA AMBIENTE:	( 33,8 a 34,1 ) °C		
FUENTE DE DENSIDAD:	PATRÓN CORRULIS		HUMEDAD RELATIVA:	52,7 % HR		
FACTOR DE CORRECCIÓN DE DENSIDAD:	1,00000		HORA INICIO:	11:30		
			FINAL:	11:50		
INFORMACIÓN DE LA PRUEBA						
VERIFICADO EL CERO:	SI					
FECHA DE LA PRUEBA ANTERIOR:	2020-05-10					
FACTOR DE MEDIDA PROMIO:	0,9985					
CORRIDA No.:						
TASA DE FLUIDO:	(m³/h)	1	2	3	4	5
DENSIDAD DEL PATRÓN:	(kg/m³)	924,5	924,5	924,5	924,5	924,5
DENSIDAD DE LA UBP:	(kg/m³)	924,5	924,5	924,5	924,5	924,5
TIEMPO DE PRUEBA:	(h)	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032
TEMPERATURA DEL PATRÓN:	(°C)	25,75	25,85	25,90	25,95	25,90
	(°F)	78,4	78,5	78,6	78,7	78,8
CTL DEL PATRÓN:	(mPa)	0,99055	0,99259	0,99299	0,99251	0,99248
PRESIÓN DEL PATRÓN:	(Pa)	618	615	613	611	609
	(psi)	89,0	89,2	88,9	88,8	89,1
CPL DEL PATRÓN:	(°C)	1,00039	1,00000	1,00038	1,00036	1,00038
TEMPERATURA DE LA UBP:	(°C)	25,75	25,80	25,90	25,95	26,00
	(°F)	78,4	78,5	78,8	79,7	78,8
CIL DE LA UBP:	(Pa)	0,99256	0,99299	0,99255	0,99251	0,99249
PRESIÓN DE LA UBP:	(psi)	618	615	613	611	609
	(mPa)	89,0	89,2	88,9	88,8	89,1
CPL DE LA UBP:	(mPa)	1,00009	1,00038	1,00038	1,00038	1,00038
VOLUMEN BRUTO DEL PATRÓN:	(m³)	3,00580	3,00236	3,00271	3,00096	3,00466
	(m³)	0,477	0,477	0,477	0,478	0,478
VOLUMEN BRUTO DE LA UBP:	(m³)	3,00819	3,00974	3,01066	3,01200	3,01258
	(m³)	0,478	0,478	0,479	0,479	0,479
VOLUMEN CORREGIDO DEL PATRÓN:	(m³)	2,98900	2,98129	2,98148	2,98090	2,98350
	(m³)	0,474	0,474	0,474	0,474	0,474
VOLUMEN CORREGIDO DE LA UBP:	(m³)	2,99724	2,98980	2,99037	2,99058	2,99113
	(m³)	0,475	0,475	0,475	0,475	0,475
METER FACTOR VOLUMEN:		0,9978	0,9975	0,9974	0,9973	0,9973
METER FACTOR PROMEDIO VOLUMEN:				0,9975		
Uexp con k=2 para un nivel de confianza aproximado de 95%:				4,1E-04		
REPETIBILIDAD:				0,03 %		
UBP	UNIDAD BAJO PRUEBA					



# MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

## Anexo 4. Certificado de calibración del instrumento de medición LIT-01063

DPC/TRACK

Tag ID LIT-01063	Serial Number 1283367
Test Type 74X Analog	Manufacturer
	Model Number
Test Date 01/15/2012	Function
Test Time 11:57:01	Instrument Type
	Temperature 29.00 C
Final Status Passed	Humidity 60.0 %
Input Low 0	Output Low 4
Input High 45	Output High 20
Input Units inR20	Output Units mA
Input Unit Type Normal	Output Unit Type Normal
Source Function Pressure	Measure Function Current
Source Mode Automatic	Measure Mode Automatic
Amplitude 0.0 V	Square Root No
	Loop Power off
Tolerance 0.250 %	

**As Found**

Input	Output	%Error	
0	3.979	-0.130%	Result Passed
11.29	8.024	0.060%	
22.53	12.036	0.160%	Max. Dev. -0.230%
33.77	15.995	-0.080%	
45.04	20.036	0.140%	Linearity -0.235%
33.77	16.04	0.210%	
22.5	11.963	-0.230%	
11.27	7.992	-0.090%	
0	3.983	-0.110%	

**As Left**

Input	Output	%Error	
			Result
			Max. Dev.
			Linearity

**Sensor Data**

SN: 95550419  
 Model: FLUKE-700P04  
 Date: 11/ 8/2007, 08:15:44  
 Zeroed: YES

**Procedure**

**Testers**

EST. ARGONAS OCP

Reason For Work	Action(s) Taken	Problem(s)
-----------------	-----------------	------------

Comments

OLEODUCTO DE CRUDOS PESADOS S.A



# MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

## Anexo 5. Certificado de calibración del instrumento de medición FT-01031

 VERSION: 01 REVISIÓN: 02	<b>CERTIFICACIÓN</b>	CÓDIGO: EURO_IC-2015
	<b>INSPECCIÓN DE CALIBRACION MEDIDORES DE FLUJO MASICO</b>	APROBACIÓN: 27/07/2015 ELABORADO POR: RC FECHA REVISIÓN: 28/09/15 PÁGINA 1 de 3

**CERTIFICACIÓN N°** : EURO-09\_IC04  
**INSPECCIÓN SOLICITADA POR** : OCP ECUADOR

**ALCANCE**

Verificación e inspección de la calibración del medidor de flujo másico localizado en la Estación Amazonas de OCP Ecuador y determinación del factor de corrección del medidor

Tag	Modelo	N° de Serie	Diámetro
FT-01031	Promass 84F50	FA159402000	DN50 -2"

**FECHA DE VERIFICACIÓN**

OCTUBRE 03 DEL 2015

**LUGAR**

ESTACIÓN AMAZONAS PS-1, OCP

**EQUIPO DE REFERENCIA UTILIZADO**

MEDIDOR DE FLUJO MASICO PROMASS 83F

Fecha de calibración	20.05.2015
Serie N°	H203A702000
Modelo	PROMASS 83F
Puntos de prueba	10
Volumen por prueba	5 BBL
Fluido de referencia	Crudo combustible 21,4°API
Caudal promedio	69,997 BBL/H
Densidad promedio	56,7904 lb/ft <sup>3</sup>
Temperatura promedio	97,03 °F
Presión Promedio	21,18 PSI

**UNIDAD BAJO PRUEBA**

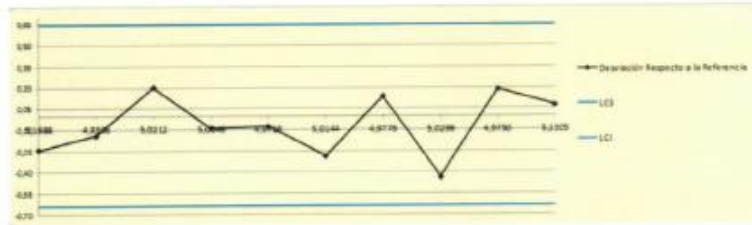
MEDIDOR DE FLUJO MASICO PROMASS 84F

Fecha de calibración	N/D
Serie N°	FA159402000
Modelo	PROMASS 84F
Puntos de prueba	10
Volumen por prueba	5 BBL
Fluido de referencia	Crudo combustible 21,4°API
Caudal promedio	70,0003 BBL/H
Densidad promedio	56,8401 lb/ft <sup>3</sup>
Temperatura promedio	97,06 °F
Presión Promedio	21,18 PSI

# MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

 VERSION: 01 REVISIÓN: 02	<b>CERTIFICACIÓN</b>  <b>INSPECCIÓN DE CALIBRACION</b> <b>MEDIDORES DE FLUJO MASICO</b>	CÓDIGO: EURO_JC-2015 APROBACIÓN: 27/07/2015 ELABORADO POR: RC FECHA REVISIÓN: 28/09/15 PÁGINA 3 de 3
--	--	--

Gráfico N° 1.- Puntos de prueba y límites de control



**FIRMAS DE ACEPTACIÓN**

  
**OCP – ESTACIÓN AMAZONAS**  
 Ing. Gustavo López

  
**ARCH SUCUMBIOS**  
 Ing. Santiago Suárez

  
**EUROINSTRUMENTS**  
 Ing. Rafael Cárdenas



## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

### Anexo 6. Factores de conversión usados por los países miembros de la OLADE, Para el año 2018

[.https://docplayer.es/20640256-Guia-m-5-metodologia-de-conversion-de-unidades.html](https://docplayer.es/20640256-Guia-m-5-metodologia-de-conversion-de-unidades.html)

**Tabla 29. Equivalencia en Bep de algunas unidades utilizadas en OLADE**

1 bbl	de petróleo	=	1.0015	bep
1 bbl	de gasolina	=	0.8934	bep
1 bbl	de diesel	=	1.0015	bep
1 bbl	de combustibles pesados	=	1.0304	bep
1 bbl	de GLP	=	0.6701	bep
1 bbl	de kerosene	=	0.9583	bep
10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	de gas natural	=	5.9806	bep
10 <sup>3</sup> kWh	de hidro/geo electricidad	=	0.6196	bep
1 ton	de leña	=	2.5940	bep
1 ton	de carbón vegetal	=	4.9718	bep
1 ton	de carbón mineral	=	5.0439	bep
1 ton	de coque de carbón	=	4.8998	bep
1 ton	de uranio	=	71.2777	bep
1 ton	de etanol	=	0.5980	bep
1 ton	de biodiesel	=	0.9508	bep
1 ton	de bagazo	=	1.3114	bep

Fuente: SIEE-OLADE

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

**Tabla No. 9: Factores de conversión usados por los países miembros de OLADE**

Unidades Originales	10 <sup>3</sup> bbbl	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> ton	GWh	GWh	kg	10 <sup>3</sup> ton	GWh	10 <sup>3</sup> bbbl	10 <sup>3</sup> bbbl	10 <sup>3</sup> bbbl	10 <sup>3</sup> bbbl	10 <sup>3</sup> ton	10 <sup>3</sup> ton	10 <sup>3</sup> bbbl
A : BOE x 10 <sup>3</sup>	PETROLEO	GAS NATU-TAL	CARBON	HIDRO	GEOTER.	NUCLEAR	LEÑA	ELECTR.	GASOLINA	KERO SENE/ JET FUEL	DIESEL OIL	FUEL OIL	COQUE	CARBON VEGETAL	ALCOHOL
ARGENTINA	1.0139	5.9808	4.2513	0.8198	0.8198	71.2777	1.8573	0.8198	0.8715	0.9535	1.0082	1.0484	4.8998	4.8836	0.5980
BARBADOS	1.0015	5.9808	5.0439	0.8198	0.8198	71.2777	2.5940	0.8198	0.8913	0.9583	1.0015	1.0304	4.8998	4.9718	0.5980
BOLIVIA	1.0015	5.9808	5.0439	0.8198	0.8198	71.2777	2.3417	0.8198	0.8934	0.9583	1.0015	1.0304	4.8998	5.2240	0.5980
BRASIL	0.9898	6.5715	3.2431	0.8198	0.8198	71.9957	2.2049	0.8198	0.8397	0.9187	0.9715	1.0803	4.8710	4.5395	0.5957
CHILE	1.0519	5.9808	5.0439	0.8198	0.8198	71.2777	2.5219	0.8198	0.9388	1.0300	1.0489	1.1169	5.0439	4.9718	0.5980
COLOMBIA	1.0864	5.9544	4.8836	0.8198	0.8198	71.2777	2.5940	0.8198	0.8790	0.9583	0.9943	1.0864	3.4587	3.4587	0.5980
COSTA RICA	0.9943	5.9808	5.2601	0.8198	0.8198	71.2777	3.0984	0.8198	0.8935	0.9439	0.9943	1.0864	4.8118	4.8836	0.5980
CUBA	1.0015	5.9808	5.0439	0.8198	0.8198	71.2777	2.5940	0.8198	0.8934	0.9583	1.0015	1.0304	4.8998	4.9718	0.5980
ECUADOR	1.0304	5.8862	5.0439	0.8198	0.8198	71.2777	2.1617	0.8198	0.8798	0.9576	0.9994	1.0304	4.8998	4.9718	0.5980
EL SALVADOR	1.0051	5.9808	5.0439	0.8198	0.8198	71.2777	2.5940	0.8198	0.8828	0.9485	0.9912	1.0711	4.8998	4.8836	0.5980
GRENADA	1.0015	5.9808	5.0439	0.8198	0.8198	71.2777	2.5940	0.8198	0.8934	0.9583	0.9943	1.0304	4.8998	4.9718	0.5980
GUATEMALA	0.9929	5.9808	5.0439	0.8198	0.8198	71.2777	2.5940	0.8198	0.8913	0.9453	0.9929	1.0885	4.8998	4.9388	0.5980
GUYANA	1.0015	5.9808	5.0439	0.8198	0.8198	71.2777	2.5940	0.8198	0.8934	0.9583	1.0015	1.0304	4.8998	4.9718	0.5980
HAITI	1.0015	5.9808	5.0439	0.8198	0.8198	71.2777	2.5940	0.8198	0.8934	0.9583	1.0015	1.0304	4.8998	4.9718	0.5980
HONDURAS	1.0138	5.9808	5.0439	0.7558	0.8198	71.2777	2.5940	0.8198	0.8711	0.9583	1.0087	1.0482	5.0439	3.6028	0.5980
JAMAICA	1.0015	5.9808	5.0439	0.8198	0.8198	71.2777	2.5940	0.8198	0.8934	0.9583	1.0015	1.0304	4.8998	4.9718	0.5980
MEXICO	1.1043	5.9808	5.4200	0.8198	0.8198	71.2777	3.1704	0.8198	0.9338	1.0128	1.0589	1.1478	4.8048	4.9718	0.5980
NICARAGUA	0.9994	5.9808	5.0439	0.7823	0.8198	71.2777	2.5940	0.8198	0.8908	0.9540	0.9857	1.0878	4.8118	5.0439	0.5980
PANAMA	0.9943	5.9808	5.2601	0.8198	0.8198	71.2777	2.8898	0.8198	0.8790	0.9583	0.9943	1.0592	4.8998	4.8928	0.5980
PARAGUAY	0.9938	5.9808	5.0439	0.8198	0.8198	71.2777	2.5940	0.8198	0.8902	0.9452	0.9922	1.0889	4.8998	4.9718	0.5957
PERU	0.9943	5.9548	4.2743	0.7748	0.8198	71.2777	2.5940	0.8198	0.8790	0.9583	0.9943	1.0592	4.8998	4.8782	0.5980
REPUBLICA DOMINICANA	1.0015	5.9808	2.7957	0.8198	0.8198	71.2777	2.5940	0.8198	0.8934	0.9583	1.0015	1.0304	4.8998	4.9574	0.5980
SURINAM	1.0304	5.9808	5.0439	0.8198	0.8198	71.2777	2.5940	0.8198	0.8913	0.9583	1.0015	1.0304	4.8998	4.9718	0.5980
TRINIDAD Y TOBAGO	1.0015	6.4124	5.0439	0.8198	0.8198	71.2777	2.5940	0.8198	0.8790	0.9727	1.0015	1.0304	4.8998	4.9718	0.5980
URUGUAY	1.0400	5.9808	5.0439	0.8198	0.8198	71.2777	1.9455	0.8198	0.8540	0.9481	0.9816	1.0741	4.8998	5.4042	0.5980
VENEZUELA	1.1087	7.5951	5.2600	0.8198	0.8198	71.2777	2.5219	0.8198	0.9247	1.0141	1.0871	1.1334	5.0424	5.8288	0.5980

Se obtiene las siguientes conversiones de los energéticos:

UNIDAD	COMBUSTIBLE	Equivalente kWh
Gal	diésel	14.79
bbbl	Crudo	621.54

Y

UNIDAD	COMBUSTIBLE	BEP
bbbl	crudo	1.0304

# MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

## Anexo 7. Estación meteorológica Davis Vantage pro 2. Especificaciones



# Vantage Pro2™

Manuel de la console

Bedienungsanleitung für die Konsole

Manual de la consola

Pour les stations météo Vantage Pro2™ et Vantage Pro2 Plus™  
Für Vantage Pro2™ und Vantage Pro2 Plus™ Wetterstationen  
Para las estaciones meteorológicas Vantage Pro2™ y Vantage Pro2 Plus™

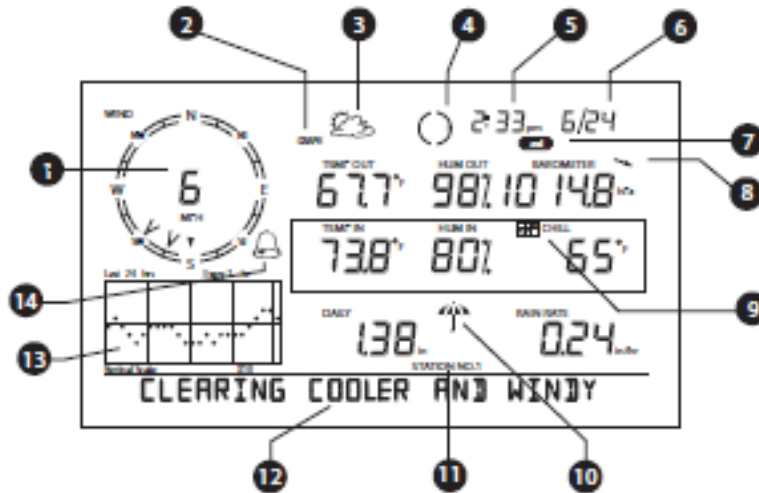
**DAVIS** 

Davis Instruments, 3465 Diablo Avenue, Hayward, CA 94545-2778 U.S.A. • 510-732-9229 • [www.davisnet.com](http://www.davisnet.com)



# MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

## Caractéristiques de l'affichage de la console Vantage Pro2 Vantage Pro2 Konsolendisplay-Funktionen Características de la pantalla de la consola Vantage Pro2



- |   |   |   |
|---|---|---|
| 1. Rose des vents                               | 1. Kompassrose  | 1. Compás (rosa de los vientos)               |
| 2. Modes Graphique et Hi/Low (Min/Max)          | 2. Grafik- u. Hi/Low (Höchst-/Tiefstwertinstellungen) | 2. Modo gráfico y de Hi/Low (máximas/mínimas) |
| 3. Icônes de prévisions                         | 3. Vorhersagesymbole                                  | 3. Iconos del pronóstico meteorológico        |
| 4. Indication de Phase de la lune               | 4. Mondphasenanzeige                                  | 4. Indicador de las fases de la luna          |
| 5. Heure/Heure de lever du soleil               | 5. Uhrzeit/Sonnenaufgang                              | 5. Hora/Hora de salida del sol                |
| 6. Date/coucher du soleil                       | 6. Datum/Sonnenuntergang                              | 6. Fecha/ Hora de puesta del sol              |
| 7. Indication de bouton 2ND                     | 7. 2ND-Tasteranzeige                                  | 7. Indicador de botón 2ND                     |
| 8. Flèche de tendance de pression atmosphérique | 8. Luftdrucktrendpfeil                                | 8. Flecha de tendencia barométrica            |
| 9. Icône graphique                              | 9. Grafiksymbol                                       | 9. Icono gráfico                              |
| 10. Icône pluie                                 | 10. Regensymbol                                       | 10. Icono de lluvia actual                    |
| 11. Indicateur de numéro de station             | 11. Stationsnummerranzeige                            | 11. Indicador de número de estación           |
| 12. Bande déroulante météo                      | 12. Wetterlaufschritzanzeige                          | 12. Teletipo                                  |
| 13. Zone graphique                              | 13. Grafikfeld  | 13. Espacio gráfico                           |
| 14. Icône alarme                                | 14. Alarmsymbol                                       | 14. Icono de alarma                           |

### FCC Part 15 Class B Registration Warning

This equipment has been tested and found to comply with the limits for a Class B digital device, pursuant to Part 15 of the FCC Rules. These limits are designed to provide reasonable protection against harmful interference in a residential installation. This equipment generates, uses, and can radiate radio frequency energy and, if not installed and used in accordance with the instructions, may cause harmful interference to radio communications.

However, there is no guarantee that interference will not occur in a particular installation. If this equipment does cause harmful interference to radio or television reception, which can be determined by turning the equipment on and off, the user is encouraged to try to correct the interference by one or more of the following measures:

- Reorient or relocate the receiving antenna.
- Increase the separation between the equipment and receiver.
- Connect the equipment into an outlet on a circuit different from that to which the receiver is connected.
- Consult the dealer or an experienced radio/TV technician for help.

Changes or modification not expressly approved in writing by Davis Instruments may void the warranty and void the user's authority to operate this equipment. IC: 378810-6328

### EC EMC Compliance

This product complies with the essential protection requirements of the EC EMC Directive 2004/108/EC, Low Voltage Directive 2006/95/EC; and Eco-Design Directive 2005/32EC > .05 watt no-load adaptor.

### Vantage Pro 2 Console Manual, Euro Version

Rev. E, May 29, 2012

Document Part Number: 07395.240

For Vantage Pro2 Consoles #6312 & 6312C

And Vantage Pro2 Weather Stations #6152, 6152C, 6153, 6162, 6162C, 6163

Vantage Pro®, Vantage Pro2™, WeatherLink®, and Vantage Vue® are trademarks of Davis Instruments Corp., Hayward, CA. Windows® is a trademark of Microsoft Corporation in the US and other countries. Macintosh® is a trademark of Apple, Inc. in the US and other countries.

© Davis Instruments Corp. 2012. All rights reserved. Davis Instruments Quality Management System is ISO 9001 certified. Information in this document subject to change without notice.

# MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

## Annexe B : Spécifications Anhang B: Technisch Daten Apéndice B: Especificaciones

Veuillez consulter les caractéristiques complètes de votre station Vantage Pro2 sur notre site internet : [www.davisnet.com](http://www.davisnet.com).

### Console

Température de fonctionnement  
0° à +60°C (+32° à +140°F)  
Température de non fonctionnement  
-10° à +70°C (+14° à +158°F)  
Courant consommé par la console

Sans fil : 0,9 mA en moyenne, 30 mA en pointe (ajoutez 120 mA pour allumage d'affichage, plus 0,125 mA pour chaque station de transmission optionnelle reçue par la console) avec une alimentation de 4 à 6 V CC.

Câblée : 10 mA en moyenne, 15 mA en pointe (plus 80 mA pour affichage allumé) avec une alimentation de 4 à 6 V CC.

Adaptateur d'alimentation secteur  
5 V CC, 900 mA

Pile de secours  
3 piles C

Durée de vie des piles (sans allim. secteur)

Sans-fil : Jusqu'à 9 mois ;  
(Câblé :  
1 mois (environ)

Connecteurs  
RJ-11

Matériau du boîtier  
plastique ABS résistant aux UV

Type d'affichage de la console  
Afficheur à cristaux liquides transactif

Rétro-éclairage de l'affichage  
Diodes électroluminescentes

Dimensions :

Console (avec l'antenne)  
270 mm x 156 mm x 41 mm

Console (sans l'antenne)  
244 mm x 156 mm x 41 mm

Affichage

151 mm x 86 mm

Poids (avec piles)  
0,85 Kg.

Siehe komplette technische Daten für Ihre Vantage Pro2-Station auf unserer Website: [www.davisnet.com](http://www.davisnet.com).

### Konsole

Betriebstemperatur  
0 bis +60 °C  
(+32 bis +140 °F)

Lagertemperatur  
-10 bis +70 °C (+14 bis +158 °F)

Konsolen-Stromaufnahme Drahtlos:  
0,9 mA Durchschnitt, 30 mA Spitze (120 mA für Anzeigeluchten addieren 0,125 mA für jede optionale von der Konsole empfangene Sendestation addieren) bei 4 bis 6 VDC Kabelverbindung: 10 mA (Durchschnitt), 15 mA (Spitze) (+ 80 mA für beleuchtetes Display) bei 4 bis 6 VDC

Netzteil  
5 VDC, 900 mA

Notstrombatterien  
3 C-Zellen

Batterielebensdauer (ohne Netzstrom)  
Drahtlos: bis zu 9 Monaten;  
(Kabelgebunden: 1 Monat (ungefähr)

Steckverbinder  
Modular RJ-11

Gehäusematerial  
UV-beständiger ABS-Kunststoff

Konsolen-Display-Type  
transfektive LCD

Display-Hintergrundbeleuchtung  
LEDs

Abmessungen:

Konsole (mit Antenne)  
270 mm x 156 mm x 41 mm

Konsole (ohne Antenne)  
244 mm x 156 mm x 41 mm

Display  
151 mm x 86 mm )

Gewicht (mit Batterien)  
850 g

Veá las especificaciones completas de su estación Vantage Pro2 en nuestro sitio web: [www.davisnet.com](http://www.davisnet.com).

### Consola

Temperatura de funcionamiento  
0° a +60°C (+32° a +140°F)

Temperatura de no funcionamiento  
-10° a +70°C (+14° a +158°F)

Consumo de corriente de la consola  
Inalámbrica: 0,9 mA promedio, 30 mA máximo (agregar 120 mA para las luces de pantalla, agregar 0,125 mA por cada estación transmisora opcional recibida por la consola), de 4 a 6 V CC

Cableada: 10 mA (promedio), 15 mA (máximo) (+ 80 mA para pantalla iluminada), de 4 a 6 V CC

Adaptador de corriente  
5 VCC, 900 mA

Batería de respaldo  
3 pilas C

Vida útil de la batería (sin corriente CA)  
Inalámbrica: hasta 9 meses;  
(Cableada: 1 mes (aproximadamente)

Conectores Modular RJ-11

Material de la carcasa Plástico ABS resistente a UV

Tipo de pantalla de la consola  
LCD transfectiva

Luz de fondo de la pantalla LEDs

Dimensiones:  
Consola (con antena) 270 mm x 156 mm x 41 mm

Consola (sin antena)  
244 mm x 156 mm x 41 mm

Pantalla  
151 mm x 86 mm

Peso (con pilas) 0,85 kg

# MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

## Anexo 8. Certificado de crudo chaza (crudo de Colombia)

Batch Report		OCPECUADOR	
Report No.	9049	8:06:36AM 7/31/2020	
Skid ID	U-801	Oficial	
Start Time	7/30/2020 6:00:00AM		
Finish Time	7/31/2020 6:00:00AM	Product Name	Crudo
Batch Number	2150	Product Type	OIL
<hr/>			
Meter ID	U-801		
<hr/>			
Meter Factor	1,0069		
Avg. Temperature (°F)	80,7		
Avg. Pressure (PSIG)	11,4		
Avg. Density (REL D)	0,8855		
Avg. Density (API)	28,3		
CTL	0,99096		
CPL	1,00005		
CCF	0,99786		
BS&W (%)	0,135		
CSW	0,99865		
Factor K	961,80		
Pulses No.	3.624.471		
Indicated Volume (BBL)	3,768.42		
Gross Volume (BBL)	3.794,43		
Gross STD Volume (BBL)	3.760,35		
Net STD Volume (BBL)	3.755,27		
Mass (KLB)	1.164,368		
<hr/>			
Sampler Values			
<hr/>			
Batch Grab Factor			
Sampler Actual Volume	GAL		
Calculated Volume	GAL		
Signature: _____			



## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

### Anexo 9. Datos diarios de las variables de proceso, ambientales y consumo de combustibles OCP 2018 2019.

FECHA	VOLUMEN TRANSPORT ADO	CONSUMO SIN CALENTAM IENTO	CONSUMO CON CALENTAM IENTO	CONSUMO CRUDO BOMBEO	° API @ 60°F	TEMPERATU RA INICIAL	VISCOSIDA D @ T inicial	PRESION DE DESCARGA	Humedad ambiente	Intensida d de lluvia	Temp ambiente
	KBBL	MWh	MWh	BEP		° F	cSt	PSI	%	mm/día	° F
1-Jan-18	177,03	639,07	639,07	895,09	17,4	106,00	528,54	1423,32	96,96	117	71,41
2-Jan-18	95,43	381,74	381,74	490,69	17,5	106,76	499,81	1324,92	88,54	0	78,04
3-Jan-18	91,31	389,61	389,61	504,76	17,6	107,16	492,29	1320,52	88,79	0	78,64
4-Jan-18	94,24	366,36	366,36	465,99	17,6	107,08	494,10	1319,92	87,38	0	79,13
5-Jan-18	138,22	511,60	511,60	695,34	17,6	106,88	496,75	1383,68	94,38	182,7	76,94
6-Jan-18	185,88	640,23	640,23	905,86	17,5	106,80	500,19	1444,32	93,38	97	77,08
7-Jan-18	180,68	654,48	654,48	920,46	17,4	106,88	492,47	1442,00	91,29	0	77,86
8-Jan-18	186,60	628,48	628,48	877,71	17,4	106,88	493,20	1448,32	89,38	165,8	78,15
9-Jan-18	185,21	620,42	620,42	862,73	17,3	106,80	528,83	1437,32	93,33	26,1	75,54
10-Jan-18	185,50	657,82	657,82	924,44	17,3	106,64	534,17	1452,20	94,00	27,7	73,84
11-Jan-18	108,17	413,28	413,28	540,12	17,4	105,24	545,05	1349,76	97,00	17,2	72,34
12-Jan-18	91,45	382,76	382,76	496,79	17,4	105,64	524,38	1321,44	94,00	0	74,51
13-Jan-18	93,67	379,11	379,11	489,57	17,4	107,40	497,43	1316,64	88,42	0	77,03
14-Jan-18	92,42	359,69	359,69	458,12	17,5	106,56	506,71	1320,88	92,46	0	75,99
15-Jan-18	90,71	347,17	347,17	436,51	17,4	105,08	542,20	1322,36	95,71	69,8	74,30
16-Jan-18	82,27	400,94	400,94	517,88	17,3	103,96	593,04	1311,80	95,00	3	74,34
17-Jan-18	152,93	560,95	560,95	765,61	17,4	105,88	528,73	1409,96	93,54	0	75,13
18-Jan-18	237,84	820,72	820,72	#####	17,4	105,88	521,20	1409,96	95,88	110	75,16
20-Jan-18	74,82	320,30	320,30	385,80	17,4	100,04	652,01	1148,80	96,25	245,1	73,27
25-Jan-18	226,42	784,38	784,38	#####	16,9	104,48	527,01	1492,92	90,79	0	75,55
26-Jan-18	225,22	804,85	804,85	#####	17,3	103,08	618,17	1506,16	94,83	69,1	75,52
27-Jan-18	230,27	791,14	791,14	#####	17,5	105,68	500,74	1499,20	94,33	0	75,81
28-Jan-18	230,30	784,64	784,64	#####	17,4	105,80	498,62	1492,64	93,29	16,5	77,46
29-Jan-18	226,78	800,63	800,63	#####	17,4	103,28	577,92	1493,60	87,83	0	79,63
30-Jan-18	90,40	388,02	388,02	492,80	17,4	105,00	553,49	1153,35	88,96	0	79,29
31-Jan-18	123,24	460,60	460,60	616,30	17,5	105,00	538,54	1266,92	89,63	37,1	79,14
3-Feb-18	187,35	664,06	664,06	935,23	17,4	106,84	511,33	1484,36	89,96	0	79,99
4-Feb-18	224,45	743,02	743,02	#####	17,4	107,00	511,11	1508,75	89,29	0	81,10

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

5-Feb-18	194,45	651,19	651,19	901,72	17,4	106,64	517,82	1459,36	87,79	28,7	81,47
6-Feb-18	222,92	720,35	720,35	#####	17,5	106,96	500,33	1484,56	92,08	75	78,67
7-Feb-18	227,99	721,49	721,49	#####	17,3	107,76	502,67	1492,84	90,50	0	79,09
8-Feb-18	227,34	757,85	757,85	#####	17,3	107,76	509,83	1492,84	86,92	0	80,03
11-Feb-18	145,44	538,58	538,58	734,01	17,4	107,24	502,45	1408,84	83,71	0	80,30
12-Feb-18	184,43	579,96	579,96	800,04	17,4	107,00	506,15	1439,88	91,04	46,5	78,95
13-Feb-18	70,79	344,83	344,83	421,50	17,3	107,00	517,53	1289,52	93,00	0	78,31
14-Feb-18	179,25	628,64	628,64	873,17	17,4	107,00	507,44	1452,08	91,96	0	78,66
15-Feb-18	176,97	598,48	598,48	826,35	17,4	107,00	508,87	1426,00	93,54	0	76,39
16-Feb-18	96,44	342,21	342,21	415,12	17,4	106,48	517,09	1326,76	95,25	10,4	75,70
17-Feb-18	177,66	622,31	622,31	869,69	17,3	107,44	498,50	1446,04	93,58	0	76,49
18-Feb-18	228,53	778,43	778,43	#####	17,3	107,32	507,93	1506,12	94,29	0	76,58
23-Feb-18	221,85	776,92	776,92	#####	17,4	106,72	508,61	1489,00	90,58	0	78,94
24-Feb-18	231,29	807,40	807,40	#####	17,4	107,40	494,41	1493,88	93,42	190,2	76,35
25-Feb-18	234,23	753,78	753,78	#####	17,3	108,52	485,64	1494,76	86,38	0	79,18
26-Feb-18	231,50	789,87	789,87	#####	17,4	108,28	478,79	1478,24	92,38	0	77,55
27-Feb-18	205,58	715,31	715,31	#####	17,4	108,00	483,37	1442,88	90,08	0	78,28
28-Feb-18	186,01	609,74	609,74	850,05	17,4	107,88	470,80	1415,60	94,46	56,9	74,98
1-Mar-18	95,46	359,94	359,94	450,38	17,4	108,28	465,62	1282,12	92,96	147,8	76,76
2-Mar-18	96,55	362,62	362,62	454,52	17,4	107,32	498,88	1307,84	96,13	108,9	73,30
3-Mar-18	97,62	382,39	382,39	487,96	17,3	107,52	506,06	1323,00	92,83	3	76,32
4-Mar-18	91,84	364,69	364,69	452,49	17,4	107,88	499,18	1318,32	90,79	0	78,13
6-Mar-18	97,41	374,63	374,63	470,98	17,5	106,28	514,28	1335,12	94,00	12,2	75,43
11-Mar-18	225,38	766,11	766,11	#####	17,5	106,20	512,71	1483,96	88,17	4,8	79,17
12-Mar-18	210,37	831,09	831,09	#####	17,4	107,12	492,31	1457,64	91,79	79,5	78,24
13-Mar-18	226,36	755,51	755,51	#####	17,4	108,60	464,36	1463,80	87,33	0	80,41
14-Mar-18	230,74	783,94	783,94	#####	17,4	108,28	472,65	1478,64	88,33	0	79,73
15-Mar-18	233,69	866,03	866,03	#####	17,5	108,00	472,27	1482,40	95,21	212,1	73,71
16-Mar-18	194,36	627,49	627,49	878,19	17,4	108,28	473,39	1426,60	93,67	0	75,54
17-Mar-18	191,35	623,96	623,96	875,64	17,3	108,36	485,89	1432,28	92,00	121	75,76

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

18-Mar-18	183,80	615,69	615,69	852,91	17,4	108,48	482,85	1418,80	91,79	0	74,87
21-Mar-18	85,79	344,61	344,61	428,93	17,4	107,00	521,36	1272,60	92,54	26,1	76,33
22-Mar-18	135,18	491,48	491,48	662,33	17,3	108,96	476,48	1419,04	91,25	56,6	76,39
23-Mar-18	187,74	644,44	644,44	903,34	17,3	107,00	514,94	1463,24	92,58	0	75,25
24-Mar-18	190,21	640,65	640,65	904,75	17,3	107,68	502,89	1455,04	89,79	0	78,82
25-Mar-18	182,69	613,90	613,90	857,93	17,4	107,88	480,02	1445,40	89,50	17,8	79,59
26-Mar-18	189,66	623,03	623,03	870,06	17,3	107,08	501,02	1444,32	92,38	215,7	77,00
27-Mar-18	182,81	622,87	622,87	868,82	17,6	107,00	491,85	1431,72	93,92	114,1	74,00
28-Mar-18	184,13	596,16	596,16	831,83	17,5	105,16	539,96	1434,96	91,88	0	74,87
29-Mar-18	186,68	614,20	614,20	857,42	17,4	105,68	531,60	1443,28	94,46	137,9	74,53
30-Mar-18	189,34	611,44	611,44	853,28	17,4	105,96	520,28	1441,04	92,83	10,9	75,09
31-Mar-18	188,27	616,00	616,00	856,79	17,5	105,76	503,64	1416,60	92,38	121,9	75,47
1-Apr-18	99,00	437,00	437,00	563,05	17,5	106,64	489,75	1319,20	88,75	0	77,80
2-Apr-18	94,71	393,76	393,76	491,40	17,5	105,00	525,39	1321,00	94,00	150,2	74,97
3-Apr-18	58,08	260,30	260,30	288,09	17,5	104,08	544,07	1244,92	94,96	15,2	72,97
4-Apr-18	169,48	532,54	532,54	733,77	17,5	105,08	517,80	1436,36	94,00	6,4	73,24
9-Apr-18	227,27	844,42	844,42	#####	17,4	105,32	529,02	1463,48	93,67	448,2	73,27
10-Apr-18	227,34	790,61	790,61	#####	17,4	105,32	544,21	1463,48	92,75	81,8	75,19
11-Apr-18	227,04	803,88	803,88	#####	17,4	105,20	543,39	1496,00	91,58	175,5	76,12
12-Apr-18	227,92	795,11	795,11	#####	17,4	106,64	529,09	1493,60	88,54	0	78,18
13-Apr-18	154,06	644,75	644,75	910,63	17,4	107,08	518,05	1387,68	90,25	7,4	76,95
14-Apr-18	85,72	440,55	440,55	590,94	17,3	105,72	555,89	1298,84	93,54	6,1	73,57
15-Apr-18	95,36	377,96	377,96	492,54	17,4	106,24	542,51	1332,64	89,50	161,9	76,03
16-Apr-18	138,06	477,63	477,63	638,07	17,3	105,72	556,12	1403,20	94,29	74,9	72,85
17-Apr-18	180,95	664,43	664,43	942,26	17,3	105,88	550,20	1448,12	92,13	131,6	75,38
18-Apr-18	168,37	574,18	574,18	796,29	17,3	106,12	550,76	1433,08	91,88	0	75,98
19-Apr-18	184,64	667,19	667,19	940,89	17,3	105,84	559,60	1461,16	95,08	136,4	73,18

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

20-Apr-18	177,64	614,35	614,35	859,58	17,4	107,12	528,03	1448,96	91,13	0	75,33
23-Apr-18	81,93	365,24	365,24	462,83	17,3	106,68	531,85	1286,56	89,08	36,3	76,51
24-Apr-18	164,84	571,15	571,15	782,21	17,4	105,88	555,72	1438,68	89,96	0	77,17
25-Apr-18	222,95	769,27	769,27	#####	17,4	104,84	580,03	1507,36	92,29	3	77,02
26-Apr-18	248,28	844,12	844,12	#####	17,4	106,60	508,21	1513,92	93,08	0	74,89
27-Apr-18	217,93	718,99	718,99	#####	17,4	107,84	486,50	1457,88	91,92	1	76,42
28-Apr-18	185,56	607,64	607,64	845,76	17,4	107,72	490,22	1415,72	90,50	0	77,44
29-Apr-18	179,39	619,79	619,79	866,92	17,4	107,64	520,89	1411,52	95,00	59,9	72,99
30-Apr-18	181,63	589,47	589,47	814,30	17,2	108,56	503,47	1425,60	91,21	117,6	75,13
1-May-18	87,88	390,62	390,62	506,73	17,5	109,48	470,35	1316,68	94,04	47,5	75,16
2-May-18	89,20	435,82	435,82	572,39	17,3	108,04	499,22	1315,92	94,29	19,3	74,77
3-May-18	160,05	554,63	554,63	759,43	17,4	108,08	500,57	1429,00	90,63	0	76,35
8-May-18	223,20	741,05	741,05	#####	17,4	106,24	544,59	1522,08	90,92	0	76,34
9-May-18	223,72	788,44	788,44	#####	17,2	106,88	533,52	1493,28	94,13	73,1	73,61
10-May-18	229,45	749,41	749,41	#####	17,2	107,48	545,06	1506,92	90,67	0	76,17
11-May-18	226,80	784,34	784,34	#####	17,3	107,36	526,49	1492,36	87,96	0	77,62
12-May-18	229,42	785,98	785,98	#####	17,3	106,48	546,88	1503,32	91,54	337,1	76,02
13-May-18	175,07	575,47	575,47	792,89	17,3	107,44	527,76	1439,96	92,50	18,8	74,68
14-May-18	166,28	612,82	612,82	865,87	17,2	107,24	536,86	1428,00	91,08	0	75,57
15-May-18	184,78	634,15	634,15	890,98	17,2	107,20	541,41	1444,20	92,21	130,3	75,54
16-May-18	186,50	641,30	641,30	898,92	17,2	107,20	535,18	1452,64	91,38	110,3	75,81
17-May-18	187,58	631,64	631,64	884,86	17,2	107,20	557,58	1454,88	93,08	102,8	75,49
18-May-18	180,25	629,10	629,10	862,29	17,2	107,64	545,76	1437,20	93,08	37,1	75,03
21-May-18	162,89	607,95	607,95	850,25	17,1	107,68	570,19	1451,32	92,96	0	73,67
22-May-18	163,73	578,85	578,85	797,27	17,1	107,00	583,95	1446,56	89,13	0	75,93
23-May-18	30,32	361,98	361,98	482,60	17,1	105,12	629,79	1040,72	93,79	388,4	72,80

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

24-May-18	146,12	592,01	592,01	807,11	18,1	105,84	573,76	1387,20	94,25	105,8	73,38
25-May-18	104,15	421,97	421,97	550,03	17	108,10	560,96	1555,00	93,04	32,4	73,56
26-May-18	196,74	629,61	629,61	880,46	17	106,37	609,49	1516,21	92,63	35,8	74,65
27-May-18	211,11	771,28	771,28	#####	16,8	108,96	597,07	1534,32	93,33	46	74,25
28-May-18	220,68	746,13	746,13	#####	16,8	109,00	576,48	1541,08	93,58	37	73,29
29-May-18	200,58	653,92	653,92	920,68	16,8	109,00	578,73	1484,40	90,58	0	76,42
30-May-18	180,90	647,07	647,07	911,83	17,1	104,88	645,26	1467,48	92,54	176,5	74,11
31-May-18	182,70	607,58	607,58	843,14	17	109,36	562,69	1475,72	92,71	88,2	75,76
1-Jun-18	117,00	424,98	424,98	558,33	17	109,68	526,05	1385,52	88,88	0	78,27
2-Jun-18	137,63	549,17	549,17	753,51	17	109,36	550,61	1414,72	88,88	0	77,51
3-Jun-18	180,99	687,65	687,65	976,72	16,9	108,64	566,71	1465,96	91,71	12,5	76,22
4-Jun-18	216,87	828,58	828,58	#####	16,9	106,88	581,05	1517,08	92,50	196,1	74,54
9-Jun-18	228,38	791,63	791,63	#####	17,2	108,36	525,38	1486,52	91,17	0	74,73
10-Jun-18	229,51	829,11	829,11	#####	17,1	109,04	516,20	1499,48	91,04	61,5	76,02
11-Jun-18	226,35	770,53	770,53	#####	16,9	105,52	638,43	1508,88	91,17	25,4	76,63
12-Jun-18	222,35	741,38	741,38	#####	16,9	107,08	603,08	1530,36	88,13	0	78,08
13-Jun-18	227,50	774,60	774,60	#####	17	107,92	562,77	1513,04	92,46	1,8	74,20
14-Jun-18	212,30	704,50	704,50	991,97	17,1	109,08	510,38	1476,60	90,71	0	75,01
15-Jun-18	215,28	729,31	729,31	#####	17,2	109,16	509,00	1476,04	92,08	3,6	74,85
16-Jun-18	226,58	765,55	765,55	#####	17,2	106,80	553,07	1485,00	93,29	195	71,48
19-Jun-18	214,19	728,91	728,91	#####	17,3	106,52	563,19	1513,88	91,13	0	73,83
20-Jun-18	276,22	940,61	940,61	#####	17,2	106,52	562,57	1513,88	90,04	0	75,28
21-Jun-18	290,86	982,76	982,76	#####	17,2	106,52	566,07	1513,88	88,96	76,2	74,82
22-Jun-18	244,80	810,57	810,57	#####	17	109,16	532,06	1531,40	92,25	133,1	73,36
25-Jun-18	95,63	374,95	374,95	476,65	17	107,00	604,30	1352,44	93,21	283,3	72,18
26-Jun-18	140,41	534,28	534,28	721,35	17	107,68	577,10	1417,88	92,38	113,5	73,31
1-Jul-18	217,55	842,36	842,36	#####	17	108,00	574,70	1447,32	87,21	0	76,55
2-Jul-18	216,82	780,12	780,12	#####	16,8	105,48	640,41	1513,08	86,04	0	76,72
3-Jul-18	212,96	778,16	778,16	#####	16,9	107,00	601,93	1512,64	91,96	15,5	74,05

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

4-Jul-18	221,97	772,60	772,60	#####	17	108,52	568,36	1519,24	90,13	0	75,43
5-Jul-18	233,65	792,92	792,92	#####	16,9	109,08	557,28	1506,28	88,50	0	76,46
6-Jul-18	199,46	667,80	667,80	939,90	16,9	108,96	560,53	1457,12	88,50	0	76,77
7-Jul-18	186,03	640,33	640,33	895,75	16,9	109,08	563,38	1439,04	89,42	36,1	76,57
8-Jul-18	184,75	707,56	707,56	#####	17	109,96	535,62	1453,12	91,17	0	75,04
9-Jul-18	183,89	627,34	627,34	879,56	17	109,40	558,93	1455,60	90,75	0	73,86
10-Jul-18	180,78	625,99	625,99	871,21	17	108,76	562,16	1460,20	90,33	20,3	74,33
11-Jul-18	182,57	624,97	624,97	870,55	16,9	108,88	576,45	1466,44	93,17	193,5	71,47
12-Jul-18	180,65	624,79	624,79	875,33	16,9	108,96	565,78	1471,16	90,88	0	73,53
17-Jul-18	220,06	718,15	718,15	#####	17	108,56	573,21	1518,72	90,50	2	75,61
18-Jul-18	227,78	788,05	788,05	#####	17	109,00	564,84	1515,20	92,63	1,8	73,19
19-Jul-18	194,75	692,53	692,53	973,61	17	109,24	559,26	1480,52	91,50	19	74,64
20-Jul-18	230,40	788,93	788,93	#####	17,1	110,00	526,76	1499,24	92,88	144,1	74,17
21-Jul-18	230,40	774,34	774,34	#####	17	109,76	519,07	1495,16	91,50	166,4	75,32
22-Jul-18	216,96	811,03	811,03	#####	17	107,80	558,75	1479,96	93,25	47,6	71,37
23-Jul-18	221,83	758,74	758,74	#####	17	110,84	517,03	1498,60	90,13	0	74,52
26-Jul-18	167,19	616,35	616,35	849,41	16,9	109,52	554,76	1476,52	93,08	44,7	73,15
27-Jul-18	181,42	662,57	662,57	931,90	17	108,00	573,94	1477,52	94,25	62,5	72,20
28-Jul-18	205,80	739,02	739,02	#####	17	108,32	565,72	1490,60	89,79	0	75,75
29-Jul-18	215,90	769,04	769,04	#####	17	109,08	578,22	1499,88	93,33	45,2	74,72
30-Jul-18	221,68	791,16	791,16	#####	16,9	109,92	568,96	1516,68	90,08	0	76,10
31-Jul-18	225,88	793,40	793,40	#####	16,9	110,08	556,69	1516,08	92,75	40,5	74,16
1-Aug-18	226,30	789,69	789,69	#####	16,9	110,00	547,48	1497,84	91,33	0	73,93
2-Aug-18	191,85	653,92	653,92	929,08	16,9	109,20	559,76	1467,32	88,83	0	75,40
3-Aug-18	188,08	637,25	637,25	898,71	17	110,28	515,92	1473,24	85,63	0	78,67
4-Aug-18	99,18	385,03	385,03	511,44	16,9	113,00	487,98	1254,32	87,83	0	76,20
5-Aug-18	95,58	377,80	377,80	482,55	16,7	111,92	543,75	1285,60	86,13	0	77,49
6-Aug-18	93,49	383,13	383,13	489,07	16,8	110,96	556,27	1329,00	90,38	218,4	75,43
7-Aug-18	89,81	358,53	358,53	447,93	16,6	110,88	601,26	1345,56	92,38	52,6	72,77
8-Aug-18	200,88	713,57	713,57	#####	16,7	111,00	596,83	1544,92	89,63	4,8	74,83
13-Aug-18	235,92	772,66	868,25	968,77	17,4	111,16	403,03	1447,32	90,54	0	74,86
14-Aug-18	210,41	752,73	846,80	#####	17,3	113,00	388,00	1428,96	88,92	0	76,45
15-Aug-18	234,81	826,16	917,77	#####	17,1	111,48	534,24	1460,56	89,42	33,6	76,40
16-Aug-18	227,74	859,89	982,69	#####	16,9	113,08	554,61	1491,44	92,71	87,1	72,28

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

17-Aug-18	228,37	841,85	952,52	#####	16,9	111,00	602,72	1477,00	90,29	198,9	74,02
18-Aug-18	210,52	784,21	886,00	#####	16,7	113,80	570,26	1465,64	87,17	0	77,02
19-Aug-18	210,41	741,29	842,34	#####	16,6	116,00	534,77	1488,92	86,42	0	78,40
20-Aug-18	207,38	768,15	873,98	#####	16,5	116,44	537,00	1495,08	89,50	41,9	74,44
21-Aug-18	202,96	761,28	865,03	#####	16,2	116,00	567,52	1510,52	90,83	0	73,93
22-Aug-18	204,59	739,02	788,04	#####	16,3	116,92	526,02	1499,04	90,96	24,4	75,60
23-Aug-18	198,58	632,99	632,99	881,94	16,4	117,00	508,28	1479,00	92,88	63	74,74
24-Aug-18	192,02	662,70	701,67	935,04	16,3	117,76	500,90	1475,80	87,04	0	78,87
25-Aug-18	188,25	724,28	784,39	#####	16,3	118,52	493,94	1468,84	86,71	42,7	78,48
26-Aug-18	189,76	696,73	756,85	984,39	16,3	117,80	503,23	1473,56	90,21	77	75,27
27-Aug-18	191,41	694,85	774,52	979,42	16,2	117,80	528,68	1478,76	92,96	205	73,19
28-Aug-18	148,66	530,05	591,69	#####	16,3	116,80	550,22	1415,36	92,75	0	72,97
29-Aug-18	189,93	614,00	689,13	872,50	16,2	117,76	522,99	1475,60	90,08	0	75,87
30-Aug-18	108,95	391,46	453,10	512,69	16,1	118,16	522,25	1347,48	90,71	0	76,51
31-Aug-18	145,82	519,17	580,82	711,40	16,1	118,92	518,22	1427,00	89,54	0	78,22
1-Sep-18	91,50	342,33	385,89	433,67	16,2	117,24	534,65	1331,04	90,92	0	76,87
2-Sep-18	92,22	364,52	412,63	466,03	16,3	116,48	547,59	1343,80	87,17	0	78,01
3-Sep-18	91,90	377,33	447,98	490,71	16,3	115,56	552,13	1344,00	85,13	1,8	78,72
4-Sep-18	145,64	533,59	611,79	722,33	16,3	116,08	536,58	1429,68	94,17	47,8	73,02
5-Sep-18	205,73	804,19	910,94	#####	16,2	114,12	602,96	1520,40	88,13	53,8	77,26
10-Sep-18	200,28	716,44	800,64	#####	16,4	115,44	518,81	1514,68	83,75	0	79,41
11-Sep-18	193,80	651,07	736,73	906,83	16,5	114,08	529,87	1493,00	86,58	33	78,04
12-Sep-18	195,00	679,45	768,13	951,46	16,4	113,72	552,44	1532,84	88,75	1,3	77,88
13-Sep-18	200,95	663,84	751,22	918,39	16,6	114,92	495,07	1528,40	82,21	0	80,06
14-Sep-18	195,97	645,57	740,06	895,30	16,4	116,28	516,96	1516,88	91,13	143,5	75,37
15-Sep-18	193,15	647,92	744,19	905,03	16,3	116,88	522,91	1517,96	87,46	0	77,00
16-Sep-18	179,73	625,58	718,42	866,76	16,4	117,28	507,18	1445,84	92,04	64,5	73,58
17-Sep-18	95,14	373,12	434,89	467,09	16,3	117,84	501,03	1305,92	83,38	0	77,77
18-Sep-18	190,02	655,46	731,08	921,55	16,3	117,96	500,73	1476,16	85,88	46,2	79,30
19-Sep-18	192,44	668,55	742,08	945,03	16,3	117,72	511,20	1478,64	88,46	0	77,58
20-Sep-18	193,05	637,01	710,55	894,19	16,3	117,84	509,59	1477,68	84,42	0	79,86
21-Sep-18	192,36	655,69	729,84	922,76	16,2	118,12	519,56	1473,72	88,83	24,7	76,67
22-Sep-18	191,11	652,18	729,33	911,25	16,2	118,08	520,79	1471,44	86,04	0	78,62
23-Sep-18	192,49	628,97	719,05	869,32	16,2	118,80	502,60	1467,08	82,13	0	80,36

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

24-Sep-18	194,14	665,37	785,48	934,54	16,3	119,16	472,88	1466,16	83,21	100,8	80,47
25-Sep-18	191,21	698,32	789,01	989,68	16,1	119,28	495,33	1458,96	87,79	173,8	76,59
26-Sep-18	140,56	619,10	711,02	904,69	16,1	113,40	629,45	1395,96	89,00	0	75,81
27-Sep-18	90,40	438,89	512,43	582,36	16	118,56	547,79	1364,44	84,58	0	77,87
28-Sep-18	58,66	371,24	426,39	479,00	16	114,52	622,04	1316,24	82,54	0	80,72
29-Sep-18	116,02	542,36	628,15	742,06	16,6	116,16	441,35	1376,08	84,83	0	81,57
30-Sep-18	231,36	878,24	951,83	#####	16,9	117,68	359,34	1569,04	88,96	0	78,47
			1025,4								
1-Oct-18	259,40	933,48	0	#####	16,8	119,04	362,83	1501,52	91,39	38,8	77,49
2-Oct-18	243,00	846,62	926,28	#####	17	117,80	361,20	1472,32	87,58	0	78,05
3-Oct-18	214,80	741,62	833,30	#####	17,2	117,28	276,75	1388,64	86,67	0	78,32
4-Oct-18	222,62	736,87	767,51	#####	17,4	116,00	277,55	1397,80	88,13	0	78,37
5-Oct-18	243,34	769,50	800,13	#####	17,3	116,60	300,94	1390,44	90,88	7,9	75,79
10-Oct-18	225,41	700,02	791,69	974,19	17,3	112,68	362,51	1432,72	86,25	0	77,92
11-Oct-18	236,16	758,90	832,56	#####	17	112,58	404,31		90,54	5,3	75,49
12-Oct-18	233,40	765,39	848,06	#####	16,9	113,48	415,73	1460,60	87,25	7,9	77,68
13-Oct-18	233,97	798,66	884,33	#####	16,9	112,60	429,65	1458,08	89,38	228,8	76,04
14-Oct-18	235,66	786,67	879,87	#####	17	112,56	422,47	1450,04	88,54	3,6	76,75
15-Oct-18	216,43	712,00	785,65	991,49	16,7	114,36	428,34	1439,96	88,67	61,2	76,65
16-Oct-18	101,91	370,64	411,20	458,54	16,5	114,90	447,11		89,63	122,2	76,06
17-Oct-18	97,84	391,65	430,75	502,57	16,5	115,40	508,44	1345,48	83,29	0	78,58
18-Oct-18	184,33	705,80	788,46	#####	16,4	115,76	503,76	1472,64	81,75	0	80,38
19-Oct-18	90,14	393,88	434,45	505,23	16,4	118,32	456,24	1207,28	86,96	0	79,54
20-Oct-18	192,79	726,15	802,81	#####	16,5	114,72	519,10	1503,88	89,50	0	75,53
21-Oct-18	196,08	665,79	752,99	931,22	16,5	114,84	520,19	1489,52	87,04	0	78,37
22-Oct-18	192,72	721,04	800,70	#####	16,3	115,92	522,60	1490,84	87,92	101,3	78,45
23-Oct-18	139,52	582,15	642,26	795,50	16,3	116,80	508,08	1392,76	87,54	61,4	78,10
24-Oct-18	97,64	364,44	399,00	454,86	16,2	117,20	522,52	1320,12	85,33	0	80,26
25-Oct-18	94,00	341,21	383,31	413,89	16,3	116,40	524,64	1329,44	89,25	107,2	77,36
26-Oct-18	97,06	396,47	447,58	506,39	16,3	116,36	530,32	1332,16	87,58	28,4	78,03
27-Oct-18	96,99	374,14	428,25	468,29	16,3	116,00	523,89		89,25	31,5	76,69
28-Oct-18	96,87	421,26	473,89	525,01	16,4	115,72	514,30	1332,40	85,17	0	79,47
29-Oct-18	170,17	631,55	702,20	807,03	16,4	114,68	530,11	1481,80	85,63	3,8	78,71
30-Oct-18	188,00	746,21	825,88	#####	16,4	113,28	561,96	1473,76	84,33	0	78,94



## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

31-Oct-18	191,47	728,26	812,46	#####	16,4	113,20	560,53	1474,84	85,83	0	78,37
1-Nov-18	104,41	446,19	500,36	587,01	16,4	115,64	503,35	1329,72	89,17	74,5	75,52
6-Nov-18	226,41	750,73	834,93	#####	16,7	116,16	443,53	1478,72	84,50	123,2	79,87
7-Nov-18	226,42	713,11	803,32	999,32	16,6	117,16	440,52	1477,80	86,29	130,6	77,52
8-Nov-18	224,97	736,52	822,19	#####	16,6	117,88	439,28	1475,20	89,67	117,8	75,23
9-Nov-18	204,97	663,55	735,68	927,93	16,5	118,72	433,33	1439,20	87,54	0	77,05
10-Nov-18	196,24	630,62	701,27	874,23	16,6	118,24	434,97	1420,76	86,63	0	78,44
11-Nov-18	132,09	456,73	509,37	602,52	16,5	119,00	423,67	1339,68	88,21	0	77,91
12-Nov-18	102,04	362,95	414,05	453,45	16,5	118,68	424,78	1306,64	86,58	50,2	79,15
13-Nov-18	147,69	516,91	586,03	695,60	16,5	118,68	445,68	1306,64	86,17	0	78,49
14-Nov-18	190,95	685,54	763,74	973,23	16,6	118,92	421,31	1436,64	86,71	98,3	79,59
15-Nov-18	192,36	675,13	744,25	949,95	16,6	118,64	429,30	1430,24	84,25	0	80,63
16-Nov-18	191,66	704,09	785,29	996,50	16,6	118,72	429,47	1420,48	88,75	318,2	75,91
17-Nov-18	86,78	381,49	420,58	486,10	16,6	122,60	375,11	1183,68	88,13	9,6	78,45
18-Nov-18	198,80	718,85	815,06	#####	16,6	118,92	421,13	1444,48	84,29	57,4	80,32
19-Nov-18	197,32	700,65	792,39	990,28	16,6	118,48	428,94	1438,36	87,42	226,1	77,68
20-Nov-18	139,48	527,82	578,99	713,79	16,5	118,52	432,59	1326,68	88,96	20,1	76,71
21-Nov-18	96,35	402,23	454,87	513,83	16,4	117,92	451,53	1241,52	89,04	36,4	76,24
22-Nov-18	94,17	389,46	431,56	495,72	16,4	117,60	479,01	1252,28	87,71	23,6	77,89
23-Nov-18	190,64	709,26	799,53	#####	16,5	117,84	468,68	1442,04	87,50	44,2	79,17
24-Nov-18	191,80	707,75	792,01	#####	16,5	117,80	461,21	1439,08	89,29	161	77,19
25-Nov-18	151,45	615,89	686,61	849,23	16,5	121,96	400,24	1411,72	87,29	0	78,79
26-Nov-18	184,71	686,46	770,72	965,87	16,4	120,00	428,45	1442,44	87,96	27,9	79,18
27-Nov-18	193,33	690,05	765,24	972,11	16,5	119,64	431,64	1444,96	87,42	8,6	78,22
28-Nov-18	195,37	712,62	798,35	#####	16,4	120,00	428,64	1448,52	84,67	139,4	79,42
29-Nov-18	197,12	717,41	797,13	#####	16,5	119,84	431,87	1453,88	87,83	33,8	78,77
30-Nov-18	194,34	713,45	788,64	#####	16,5	119,96	418,97	1436,20	88,38	0	78,02
2-Dec-18	88,40	405,20	450,30	516,58	16,5	120,08	419,42	1288,84	85,75	0	79,11
3-Dec-18	154,31	612,42	687,61	853,74	16,5	118,88	438,54	1426,04	84,75	0	78,67
8-Dec-18	214,91	772,25	871,52	#####	16,5	120,00	412,87	1498,52	90,58	24,6	75,02
9-Dec-18	207,82	743,72	832,46	#####	16,5	118,08	443,56	1493,72	89,88	57,7	76,26
10-Dec-18	207,76	774,38	869,12	#####	16,5	113,76	520,12	1500,88	88,92	149,1	76,41
11-Dec-18	215,13	817,66	921,46	#####	16,4	119,60	434,48	1503,08	90,04	128,6	74,00
12-Dec-18	227,14	860,86	967,67	#####	16,4	118,88	446,68	1504,12	90,54	137,4	73,19

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

13-Dec-18	217,83	796,07	872,79	#####	16,5	118,64	453,94	1487,00	89,79	18,5	73,46
14-Dec-18	102,72	464,39	527,57	610,36	16,4	118,64	457,86	1487,00	90,54	22,4	72,61
16-Dec-18	54,64	319,81	369,44	363,05	16,4	120,80	425,08	1042,60	84,21	0	78,80
17-Dec-18	176,57	737,46	824,72	#####	16,4	116,64	495,59	1472,32	90,04	80,3	75,74
18-Dec-18	250,39	887,47	1000,28	#####	16,4	118,56	468,91	1571,36	88,21	75,3	75,71
19-Dec-18	285,82	938,81	1050,10	#####	16,3	119,80	447,57	1595,32	90,00	42,9	76,00
20-Dec-18	281,89	860,18	963,99	#####	16,3	119,40	454,20	1565,12	88,00	0	76,78
23-Dec-18	154,97	515,72	601,45	688,07	16,4	117,56	485,84	1475,40	87,46	0	76,66
25-Dec-18	168,41	553,33	633,06	745,21	16,5	117,36	473,41	1498,08	86,29	0	77,23
26-Dec-18	252,89	830,80	942,08	#####	16,4	119,72	446,47	1570,92	86,63	0	76,48
27-Dec-18	271,97	894,06	1006,87	#####	16,4	119,92	441,23	1542,20	89,67	85,4	76,34
28-Dec-18	216,41	854,74	935,93	#####	16,5	116,80	497,70	1452,64	86,54	0	78,24
29-Dec-18	97,42	339,77	365,32	417,45	16,4	118,92	454,98	1334,04	87,75	0	78,96
30-Dec-18	242,64	943,46	1033,73	#####	16,4	120,24	432,40	1537,52	83,08	0	79,20
31-Dec-18	230,98	771,57	851,30	#####	16,3	121,68	415,88	1486,08	82,42	0	78,80
1-Jan-19	194,58	631,36	690,00	874,41	16,4	121,84	409,27	1432,40	83,42	0	78,81
2-Jan-19	198,02	617,62	670,26	847,93	16,4	121,60	418,40	1438,04	82,71	0	78,46
3-Jan-19	219,98	695,35	750,99	969,63	16,4	121,00	433,94	1471,96	87,88	0	77,08
8-Jan-19	221,73	662,09	717,73	919,13	16,4	119,00	454,26	1491,20	86,54	243	77,68
9-Jan-19	225,65	732,19	781,83	#####	16,4	119,36	451,25	1501,24	87,46	56,7	76,66
10-Jan-19	226,92	743,59	800,77	#####	16,3	120,08	437,43	1499,08	88,75	74,9	78,94
11-Jan-19	227,87	746,86	802,50	#####	16,4	120,64	432,25	1500,28	90,33	16,9	75,55
12-Jan-19	227,96	761,67	827,85	#####	16,4	120,80	428,13	1493,72	90,54	252,8	73,80
13-Jan-19	110,18	393,23	442,87	494,97	16,4	119,88	446,55	1334,36	89,17	0	76,33
14-Jan-19	156,23	524,42	586,06	706,50	16,4	119,88	440,85	1334,36	90,29	246,2	73,55
15-Jan-19	195,05	625,62	696,34	869,50	16,4	119,96	441,08	1453,68	89,29	62	75,70
16-Jan-19	199,70	647,39	722,58	901,80	16,4	120,00	442,85	1455,52	90,33	48,7	75,70
17-Jan-19	201,16	651,76	716,47	909,56	16,4	120,68	435,58	1455,72	90,04	93,3	74,44
18-Jan-19	202,33	646,81	712,99	900,82	16,3	121,04	425,71	1453,64	89,79	0	76,51
19-Jan-19	192,65	626,37	677,54	867,02	16,3	121,20	439,12	1447,76	91,17	163	73,54
20-Jan-19	145,27	508,91	557,07	681,22	16,3	120,76	440,01	1380,48	91,13	37	73,40

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

21-Jan-19	97,69	345,84	380,46	426,51	16,2	120,68	447,07	1330,24	91,00	0	74,09
22-Jan-19	153,63	547,98	596,08	747,57	16,3	120,24	442,85	1413,96	91,25	44,7	75,88
23-Jan-19	194,21	626,13	686,31	873,31	16,3	120,60	437,16	1452,68	91,08	52,1	75,82
24-Jan-19	195,47	647,69	710,87	902,87	16,3	121,12	431,71	1448,96	90,92	1,8	74,95
25-Jan-19	193,93	641,07	702,72	895,34	16,3	119,96	453,19	1447,76	89,25	0	77,22
26-Jan-19	196,56	656,52	713,70	920,07	16,3	117,48	511,98	1462,40	89,71	146,8	78,20
27-Jan-19	107,90	403,00	446,63	516,13	16,3	119,84	454,55	1330,72	87,00	4	80,15
28-Jan-19	154,71	539,62	581,72	726,39	16,3	120,28	445,42	1409,84	90,83	33,3	78,94
29-Jan-19	183,14	633,31	697,96	880,83	16,3	120,28	453,72	1409,84	91,63	246,1	74,23
30-Jan-19	193,56	553,29	619,47	748,45	16,3	120,00	452,64	1452,80	90,63	0	76,45
31-Jan-19	196,06	582,40	629,03	797,76	16,3	120,00	455,04	1450,44	90,29	1,3	78,15
1-Feb-19	191,37	589,11	635,74	807,89	16,3	121,16	432,90	1435,64	91,25	102,4	76,09
4-Feb-19	178,08	568,29	623,93	770,00	16,2	117,56	505,24	1500,40	92,04	38,1	74,63
9-Feb-19	216,70	724,39	781,50	#####	16,2	118,52	496,39	1525,88	91,08	197	75,50
10-Feb-19	220,10	742,93	807,52	#####	16,3	119,64	475,42	1510,68	91,79	0	75,74
11-Feb-19	222,66	746,26	807,85	#####	16,4	120,24	451,82	1505,24	89,00	171	77,92
12-Feb-19	221,71	766,78	820,89	#####	16,3	117,36	502,33	1501,28	89,96	15	77,63
13-Feb-19	224,64	695,64	749,75	962,23	16,3	119,44	465,25	1509,84	90,13	0	78,70
14-Feb-19	194,50	573,37	630,48	781,71	16,3	119,68	455,56	1427,00	90,38	34,8	78,45
15-Feb-19	92,07	343,60	375,16	415,22	16,4	113,92	568,14	1312,78	89,83	0	77,36
16-Feb-19	261,15	798,39	878,05	#####	16,4	119,80	443,00	1595,76	90,33	0	76,66
17-Feb-19	280,79	849,77	911,35	#####	16,2	121,92	426,54	1596,32	89,25	14,8	77,30
18-Feb-19	207,05	625,99	666,55	866,59	16,3	122,08	430,56	1421,40	91,33	67,3	77,29
19-Feb-19	193,75	588,38	652,97	803,92	16,3	122,00	433,02	1391,80	92,29	143	76,60
20-Feb-19	133,11	457,50	499,59	596,52	16,2	122,16	433,62	1347,64	90,13	26,2	77,18
21-Feb-19	184,13	630,87	689,45	877,43	16,2	122,12	434,35	1445,12	92,38	218	73,93
22-Feb-19	180,58	617,67	661,24	856,79	16,2	123,44	414,96	1443,16	92,33	0	76,75
23-Feb-19	194,73	648,94	701,52	907,77	16,3	122,96	407,05	1436,44	89,63	0	78,90
24-Feb-19	181,80	617,34	662,45	844,64	16,2	124,60	390,76	1425,00	90,25	269,8	76,75
25-Feb-19	132,51	471,33	508,89	616,56	16,2	122,43	421,79	1352,95	88,92	31,8	78,89
26-Feb-19	99,48	369,30	411,40	459,78	16,3	121,92	424,08	1327,28	87,32	0	79,68
27-Feb-19	99,45	369,56	407,12	461,04	16,3	120,96	431,02	1329,40	88,08	0	79,92
28-Feb-19	143,19	435,49	485,06	556,79	16,3	121,48	434,92	1406,32	89,75	0	79,21
5-Mar-19	227,37	690,84	753,96	967,36	16,3	120,76	426,04	1498,20	88,25	162,6	78,81

**MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE  
CRUDOS PESADOS**

6-Mar-19	227,72	708,22	753,32	993,21	16,3	120,72	439,21	1465,08	92,13	169,9	76,21
7-Mar-19	227,78	712,23	763,33	#####	16,4	120,92	437,02	1464,80	92,42	148,1	76,15
8-Mar-19	228,45	691,70	738,27	972,89	16,3	121,00	438,32	1462,48	91,21	0	76,27
9-Mar-19	227,83	642,65	692,23	893,54	16,4	120,88	446,09	1462,00	91,75	51,8	75,94
10-Mar-19	183,08	622,21	664,25	862,85	16,3	120,68	446,91	1427,56	92,00	90,4	73,42
11-Mar-19	193,09	590,35	633,92	817,94	16,3	120,84	441,92	1441,48	91,42	0	74,59
12-Mar-19	194,20	559,14	622,45	770,73	16,4	120,84	435,02	1449,00	86,42	0	78,76
13-Mar-19	188,26	647,18	683,27	910,76	16,4	121,44	425,85	1425,64	91,04	0	77,21
14-Mar-19	192,23	626,10	728,49	874,84	16,3	120,12	462,16	1447,76	92,38	169,6	75,04
15-Mar-19	194,25	659,37	713,29	925,29	16,4	116,56	513,41	1450,48	89,54	41,7	76,44
17-Mar-19	96,35	392,53	429,60	496,25	16,4	115,48	525,39	1174,80	92,50	62	75,42
18-Mar-19	191,23	682,28	767,89	958,92	16,4	119,64	433,67	1489,48	91,42	0	77,01
19-Mar-19	191,61	678,12	739,71	947,87	16,3	119,84	458,00	1456,64	91,17	0	77,65
20-Mar-19	195,23	676,06	773,44	946,99	16,2	119,84	464,02	1456,64	88,83	8,8	78,61
21-Mar-19	196,93	689,92	745,56	971,86	16,3	121,60	429,67	1451,60	90,79	0	77,90
22-Mar-19	196,28	731,03	821,84	#####	16,2	120,90	445,58	1449,83	92,88	145	74,14
23-Mar-19	49,89	247,42	274,14	268,22	16,2	119,50	465,07	1154,96	91,67	0	76,09
24-Mar-19	171,16	663,73	751,79	928,81	16,3	118,60	479,99	1426,72	90,88	0	77,44
29-Mar-19	178,98	615,77	681,96	849,89	16,3	118,00	482,16	1465,76	92,67	323,4	75,28
30-Mar-19	223,00	759,19	780,76	#####	16,3	118,00	482,87	1570,92	91,38	17,3	76,97
31-Mar-19	225,22	759,12	838,96	#####	16,2	119,52	479,06	1569,20	92,50	24,4	76,42
1-Apr-19	228,05	749,91	765,35	#####	16,2	120,76	435,67	1560,20	90,88	0	77,86
2-Apr-19	226,57	689,41	741,56	968,46	16,2	118,28	477,22	1546,20	89,92	10,9	77,53
3-Apr-19	206,31	675,60	731,24	949,34	16,3	118,40	494,10	1500,36	91,96	73,1	75,70

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

4-Apr-19	192,82	638,38	700,02	890,52	16,2	119,52	475,15	1462,72	86,29	0	79,91
5-Apr-19	189,47	611,78	699,04	842,25	16,3	120,28	462,88	1446,72	88,04	8,4	80,26
6-Apr-19	203,81	642,59	749,40	895,15	16,3	120,40	459,22	1470,32	90,42	38,3	78,73
7-Apr-19	210,40	674,79	780,07	940,11	16,3	119,92	461,79	1482,52	91,42	222	76,54
8-Apr-19	152,24	506,31	586,03	675,71	16,3	119,76	463,82	1396,84	91,54	0	74,60
9-Apr-19	104,93	352,14	418,32	433,51	16,3	120,48	454,39	1350,72	83,83	0	78,83
10-Apr-19	166,66	611,96	706,69	852,18	16,3	121,56	439,12	1436,44	86,04	0	79,68
11-Apr-19	203,78	676,87	801,69	948,83	16,3	122,32	435,68	1477,88	90,42	0	78,07
12-Apr-19	202,99	715,39	840,09	#####	16,2	122,52	423,42	1470,32	89,92	253,8	77,21
13-Apr-19	123,05	502,23	568,35	666,94	16,3	121,64	437,81	1316,68	92,29	233	74,98
14-Apr-19	192,55	644,31	758,53	886,52	16,3	119,20	472,48	1448,52	88,88	0	78,82
15-Apr-19	134,46	473,50	556,10	621,42	16,2	120,04	468,83	1390,00	91,96	95,1	75,61
16-Apr-19	93,00	412,37	475,48	527,90	16,2	120,04	463,34	1390,00	91,13	0	76,40
17-Apr-19	95,28	376,56	445,68	471,33	16,3	118,16	501,37	1348,04	87,79	0	78,84
18-Apr-19	96,25	386,28	461,41	484,14	16,2	115,80	554,92	1356,52	91,33	283,4	76,96
19-Apr-19	98,11	385,22	448,34	472,60	16,2	118,12	505,28	1363,12	92,42	177,7	74,43
20-Apr-19	182,55	602,58	728,82	824,61	16,3	119,72	473,38	1484,52	90,46	0	77,17
21-Apr-19	212,93	753,89	860,58	#####	16,2	117,84	502,89	1502,44	92,08	90,4	75,12
26-Apr-19	222,94	817,70	910,97	#####	16,3	120,40	450,02	1540,32	87,21	0	79,07
27-Apr-19	228,12	757,52	834,24	#####	16,3	120,16	452,18	1559,28	92,46	333,9	74,62
28-Apr-19	218,98	766,70	838,89	#####	16,2	119,56	481,53	1526,24	88,71	0	78,59
29-Apr-19	224,90	759,34	830,06	#####	16,4	114,36	556,01	1508,68	90,13	60,7	77,82
1-May-19	199,60	585,87	646,04	780,27	16,3	127,72	358,75	1507,68	86,42	0	78,72
2-May-19	207,89	704,32	788,46	962,64	16,2	126,16	397,59	1481,96	90,29	175	77,98
3-May-19	204,65	553,96	792,21	737,85	16,1	128,72	381,33	1476,56	92,96	173	74,65
4-May-19	153,25	442,28	650,50	560,16	16,3	131,28	313,42	1396,76	93,04	81,6	74,41
5-May-19	100,39	342,10	518,77	401,36	16,3	130,80	309,09	1325,56	91,79	176	75,64
6-May-19	100,50	349,91	529,58	419,67	16,3	129,20	340,34	1326,48	91,50	298,5	75,75
7-May-19	101,19	300,49	487,64	337,12	16,2	129,84	339,53	1339,12	91,38	10,4	76,03
8-May-19	173,81	715,63	931,34	#####	16,2	127,84	364,74	1430,56	90,63	161,9	77,05
9-May-19	198,76	614,80	850,05	835,17	16,2	126,72	381,47	1454,20	91,83	2,8	76,28
10-May-19	207,43	646,42	893,68	893,20	16,2	133,08	302,82	1453,56	87,58	0	79,15
11-May-19	97,90	394,37	580,04	580,89	16,3	120,00	465,42	1453,56	88,13	0	79,58

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

12-May-19	66,83	518,08	688,43	694,89	16,2	117,00	525,69	1236,12	90,13	340,4	78,82
13-May-19	79,86	305,09	305,09	344,35	16,4	112,00	602,64	1236,12	92,96	103,4	76,09
14-May-19	160,46	584,33	698,49	796,45	16,5	111,92	575,53	1456,84	93,54	68,2	73,65
15-May-19	201,53	825,99	962,71	#####	16,4	111,92	553,93	1456,84	92,17	17,8	75,36
16-May-19	199,58	542,18	669,89	719,43	16,7	114,88	485,22	1474,88	93,13	95,3	74,62
17-May-19	205,27	770,30	902,54	#####	16,6	115,52	476,02	1477,28	86,92	0	77,72
22-May-19	226,79	725,80	811,53	#####	16,7	114,20	488,41	1523,64	86,92	0	78,34
23-May-19	228,30	738,35	811,09	#####	16,6	115,40	477,42	1525,72	88,42	0	79,60
24-May-19	228,71	790,16	854,81	#####	16,5	115,40	479,79	1523,80	90,21	123	78,10
25-May-19	199,50	666,07	720,24	921,81	16,7	117,36	436,84	1475,36	91,04	21,6	77,30
26-May-19	138,30	487,80	540,43	634,85	16,5	118,32	420,63	1374,84	91,96	90,7	75,32
27-May-19	229,30	750,59	824,31	#####	16,6	114,96	493,03	1521,32	86,67	0	77,53
28-May-19	182,92	431,85	486,02	332,01	16,7	114,96	475,02	1521,32	92,08	3,8	76,32
29-May-19	232,76	519,69	591,88	280,01	16,6	117,00	463,94	1511,36	92,71	122,5	76,27
30-May-19	84,26	413,69	472,33	495,30	16,7	122,00	370,82	1188,84	89,54	0	79,11
31-May-19	191,83	595,82	678,55	817,22	16,6	114,39	491,32	1441,08	90,25	1975,9	77,98
1-Jun-19	268,52	830,95	931,76	#####	16,5	115,38	495,20	1556,96	90,33	0	78,16
2-Jun-19	275,98	845,81	951,09	#####	16,5	114,66	503,41	1561,36	91,33	69,2	76,69
3-Jun-19	146,84	479,41	533,58	634,26	16,6	112,62	514,63	1396,20	93,38	147,7	73,78
4-Jun-19	181,75	564,47	639,66	754,94	16,4	114,88	505,16	1441,80	93,13	45,7	72,43
5-Jun-19	119,34	386,27	443,44	484,02	16,9	111,62	500,96	1355,92	91,04	81,4	75,40
6-Jun-19	101,34	331,04	377,67	395,11	16,8	110,85	512,99	1330,04	92,71	5,9	74,98
7-Jun-19	166,47	569,20	668,48	772,28	16,6	115,96	473,11	1421,40	90,50	0	76,85
8-Jun-19	199,91	656,80	780,15	907,64	16,8	112,78	496,81	1458,48	92,42	57,4	75,70

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

9-Jun-19	153,10	486,22	600,57	631,81	16,7	113,22	503,49	1402,32	94,04	76,9	74,09
10-Jun-19	102,93	376,02	443,61	460,95	16,5	113,75	516,93	1359,12	92,75	14	75,12
11-Jun-19	199,83	670,91	783,60	928,37	16,6	113,56	517,39	1506,48	92,83	79,7	75,18
16-Jun-19	223,03	606,02	741,39	815,01	16,6	113,44	507,55	1517,04	93,50	130,3	74,59
17-Jun-19	223,01	599,70	733,60	801,29	16,6	113,39	507,52	1515,48	92,17	51,3	75,05
18-Jun-19	204,06	586,31	697,60	780,48	16,6	115,48	463,85	1495,72	93,58	51,8	73,76
19-Jun-19	226,63	724,90	849,73	#####	16,6	112,56	521,08	1514,44	91,67	0	74,94
20-Jun-19	98,69	391,53	471,25	483,13	16,7	114,77	481,89	1173,76	93,58	49,7	74,74
22-Jun-19	180,49	484,24	572,98	616,43	16,6	107,47	636,36	1449,08	93,58	1,5	73,54
23-Jun-19	242,88	781,44	934,88	#####	16,6	110,96	568,12	1571,36	94,17	25,7	71,39
24-Jun-19	260,85	835,06	982,43	#####	16,6	112,17	541,57	1612,28	90,71	0	74,59
26-Jun-19	109,41	476,17	670,91	533,45	16,7	118,95	424,84	1178,20	90,92	8,4	77,25
			1272,6								
27-Jun-19	277,92	993,60	1	#####	16,5	128,05	312,42	1562,64	87,38	40,1	78,83
			1242,5								
28-Jun-19	282,93	963,50	1	#####	16,5	126,27	328,07	1520,60	93,46	266,5	75,18
			1214,0								
29-Jun-19	290,76	951,56	2	#####	16,6	128,17	311,09	1534,08	92,25	33,5	76,48
30-Jun-19	192,81	665,00	880,82	911,91	16,7	127,37	305,27	1380,00	86,25	9,2	77,90
1-Jul-19	196,70	685,74	916,58	945,87	16,7	129,37	290,34	1384,48	87,96	0	77,53
			1034,1								
2-Jul-19	221,62	768,68	4	#####	16,6	129,30	288,07	1426,52	90,83	15	76,65
3-Jul-19	170,75	680,99	920,84	936,57	16,6	127,44	312,09	1377,76	85,50	0	78,76
4-Jul-19	110,84	399,58	582,25	488,61	16,7	125,58	323,39	1332,36	89,96	103,1	77,51
5-Jul-19	109,16	414,27	490,93	522,25	16,4	128,80	319,41	1342,08	89,75	94	75,88
6-Jul-19	161,81	611,36	734,60	793,25	16,6	123,98	343,73	1416,04	90,21	0	75,55
7-Jul-19	214,24	771,32	930,58	#####	16,5	127,88	319,58	1455,92	93,33	45,8	74,06
12-Jul-19	208,99	725,33	913,56	#####	16,6	125,58	329,15	1444,40	92,71	487,5	75,13
13-Jul-19	214,78	712,89	874,91	990,62	16,5	126,56	318,89	1435,36	91,08	23,6	76,27
14-Jul-19	220,75	729,71	937,49	#####	16,6	127,36	316,63	1441,00	93,17	210,4	74,40
15-Jul-19	217,84	656,25	859,50	904,37	16,6	127,30	327,16	1440,48	88,50	87,3	76,90
16-Jul-19	222,38	720,54	926,79	#####	16,6	125,25	342,42	1446,84	89,83	189,7	76,39
			1045,0								
17-Jul-19	277,72	909,70	7	#####	16,6	126,13	347,53	1526,88	91,04	126	76,21
18-Jul-19	233,35	790,79	900,60	#####	16,7	123,60	362,36	1481,48	92,42	179,9	74,55
19-Jul-19	235,84	773,57	887,92	#####	16,2	126,13	320,18	1526,88	91,29	8,7	75,22

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

20-Jul-19	209,41	665,03	779,32	904,93	16,6	123,60	354,78	1481,48	91,79	7,6	75,18
21-Jul-19	216,97	688,39	795,20	953,76	16,6	124,25	355,91	1442,32	91,54	94,7	75,76
22-Jul-19	208,71	663,31	818,73	941,96	16,6	125,00	348,05	1450,08	90,25	72,1	76,45
23-Jul-19	216,18	741,40	902,67	#####	16,6	125,42	360,62	1445,84	92,21	118,9	75,16
24-Jul-19	63,79	211,53	265,93	194,03	16,5	125,72	380,34	1145,88	92,33	49,3	75,16
25-Jul-19	139,70	464,97	547,70	590,29	16,5	122,34	379,88	1382,44	93,92	71,1	73,26
26-Jul-19	179,04	549,07	648,35	719,63	16,6	120,01	397,35	1435,68	88,79	0	75,96
27-Jul-19	258,39	708,78	894,08	975,43	16,6	124,96	346,38	1511,36	93,04	189,7	74,43
28-Jul-19	270,63	732,24	932,26	#####	16,5	125,16	348,31	1524,24	93,04	13,4	72,71
29-Jul-19	110,75	641,20	795,93	893,35	16,7	127,24	293,68	1325,80	85,13	0	77,12
30-Jul-19	169,26	498,68	680,43	652,83	16,3	127,75	352,00	1412,76	88,96	0	75,79
31-Jul-19	213,00	716,86	834,09	#####	16,8	126,14	308,52	1451,64	90,88	0	75,97
5-Aug-19	220,79	716,34	895,29	#####	16,6	125,46	334,37	1533,76	93,04	0	68,54
6-Aug-19	216,51	745,53	948,64	#####	16,7	127,84	309,35	1505,56	88,96	0	73,33
7-Aug-19	218,11	732,72	910,39	#####	16,6	126,08	363,20	1486,16	89,88	0	75,46
8-Aug-19	220,60	746,30	955,61	#####	16,6	125,89	328,94	1473,48	91,00	0	76,24
9-Aug-19	220,73	739,55	928,38	#####	16,6	127,59	300,77	1471,84	91,25	148,2	76,26
10-Aug-19	103,96	437,09	550,48	553,37	16,6	126,32	326,74	1342,40	90,17	0	77,49
11-Aug-19	103,88	431,48	557,18	540,86	16,7	125,27	316,14	1342,84	93,13	134,3	73,60
12-Aug-19	120,47	472,80	568,41	606,06	16,7	122,04	366,13	1321,28	91,29	0	75,79
13-Aug-19	261,58	900,74	1098,2 8	#####	16,4	125,57	346,72	1531,76	91,75	127,5	75,11
14-Aug-19	277,89	945,22	1141,6 2	#####	16,6	126,36	320,90	1543,04	90,71	0	75,31
15-Aug-19	251,66	882,50	1060,5 4	#####	16,5	127,13	326,77	1493,68	91,46	34,8	72,79
16-Aug-19	233,31	853,93	1038,2 8	#####	16,3	129,02	353,56	1478,04	88,29	0	75,91
17-Aug-19	211,84	672,92	842,78	927,51	16,7	127,79	321,87	1448,88	88,17	0	76,75
18-Aug-19	235,98	810,56	991,29	#####	16,4	130,22	297,97	1467,36	85,17	0	78,31
19-Aug-19	234,17	821,20	1014,3 5	#####	16,5	129,73	300,54	1454,00	89,08	277,8	74,98
20-Aug-19	222,33	733,31	913,72	#####	16,2	129,73	342,61	1454,00	91,96	35,6	71,84
21-Aug-19	233,06	711,68	877,00	994,77	16,5	127,28	329,27	1475,20	91,67	0	74,11
22-Aug-19	109,21	416,00	538,22	518,25	16,4	137,81	254,19	1274,96	89,04	0	74,50
23-Aug-19	209,14	710,99	900,60	994,94	16,4	130,18	304,86	1429,84	91,08	28,1	73,69



**MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE  
CRUDOS PESADOS**

24-Aug-19	208,08	717,70	899,20	#####	16,6	128,71	299,52	1419,08	91,25	26,4	74,21
25-Aug-19	126,38	561,54	675,33	747,94	16,5	130,23	295,39	1326,68	86,08	0	77,08
26-Aug-19	166,79	609,16	763,46	820,08	16,4	130,23	302,52	1326,68	89,29	265	75,13
27-Aug-19	199,84	608,25	734,42	828,33	16,6	119,82	409,75	1440,28	86,75	0	78,58
			1050,9								
1-Sep-19	288,67	892,03	9	#####	16,8	128,68	280,11	1522,84	86,63	5,8	79,10
			1093,2								
2-Sep-19	229,16	841,87	4	#####	16,7	128,68	281,90	1522,84	84,33	0	79,51
3-Sep-19	214,40	621,30	817,82	847,64	16,8	129,60	265,27	1423,84	84,46	0	79,69
4-Sep-19	217,77	625,34	837,92	880,48	16,7	129,60	278,37	1423,84	91,42	90,2	74,89
5-Sep-19	115,41	481,59	593,73	626,56	16,6	131,16	277,94	1268,40	90,58	0	75,10
6-Sep-19	208,66	613,65	817,16	832,62	16,7	130,48	276,57	1396,40	89,42	0	76,04
8-Sep-19	64,12	290,03	362,83	329,15	16,7	125,65	328,07	904,44	81,67	0	78,58
			1151,7								
9-Sep-19	273,05	865,78	0	#####	16,9	125,81	294,04	1509,96	86,83	0	77,55
			1157,3								
10-Sep-19	290,90	933,72	3	#####	16,9	124,31	317,21	1524,12	86,38	0	77,39
			1149,2								
11-Sep-19	312,33	899,01	1	#####	16,9	126,55	291,97	1558,32	91,29	102,3	76,04
			1101,7								
12-Sep-19	314,98	917,39	2	#####	16,9	126,55	282,19	1558,32	91,21	220,7	74,86
			1202,5								
13-Sep-19	313,44	962,68	9	#####	16,9	117,16	395,52	1559,17	91,21	89,6	74,53
14-Sep-19	260,50	785,87	986,81	#####	16,8	126,27	300,66	1480,60	90,38	123,3	74,34
15-Sep-19	213,48	637,99	788,12	868,61	16,9	126,24	307,52	1406,56	87,46	0	77,56
16-Sep-19	215,86	692,59	849,71	960,01	16,9	121,53	361,09	1409,46	84,83	0	78,32
17-Sep-19	214,64	664,12	837,60	913,94	16,8	125,07	315,30	1407,88	84,42	0	79,90
18-Sep-19	115,41	417,43	542,50	528,72	16,9	126,84	297,17	1333,40	90,29	228	76,90
19-Sep-19	108,40	404,17	521,46	502,87	16,9	128,12	286,91	1333,04	86,75	0	79,41
			1023,2								
20-Sep-19	268,12	831,16	1	#####	16,9	123,56	336,28	1496,68	90,25	0	76,98
21-Sep-19	187,48	624,26	752,08	854,37	16,7	123,39	337,64	1392,40	88,88	0	76,39
22-Sep-19	101,72	825,39	931,90	#####	16,7	127,78	289,53	1291,28	85,42	0	77,42
23-Sep-19	200,85	655,51	808,77	903,53	16,9	122,12	345,41	1432,44	88,33	226,5	75,71
			1052,3								
28-Sep-19	316,49	7	4	#####	17	123,00	293,74	1550,75	87,29	114,8	77,19
			1306,7								
			1038,4								
29-Sep-19	306,06	1	0	#####	16,7	123,27	348,87	1533,83	84,29	0	78,58

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

30-Sep-19	311,91	996,57	1222,6 3	#####	16,7	128,03	287,97	1545,64	83,79	30,2	79,64
1-Oct-19	310,06	1091,2 6	1350,2 8	#####	16,7	123,74	337,61	1536,56	86,42	31,7	78,40
2-Oct-19	276,27	801,42	1048,5 6	#####	16,6	123,74	334,58	1536,56	87,33	107	77,77
3-Oct-19	209,86	710,88	858,74	989,89	16,8	125,45	319,92	1380,64	88,83	1052, 6	73,96
4-Oct-19	262,29	783,47	783,47	#####	16,8	117,59	418,36	1475,84	84,75	0	77,64
5-Oct-19	110,73	405,10	465,28	495,30	16,6	127,35	303,58	1312,16	86,00	0	77,76
6-Oct-19	109,52	412,01	529,36	517,42	16,6	131,42	274,72	1340,40	88,79	135,9	74,87
7-Oct-19	279,64	886,91	1036,4 3	#####	16,6	126,50	328,81	1529,68	85,58	17	76,84
8-Oct-19	326,73	1092,4 5	1292,1 6	#####	16,6	125,58	333,92	1583,00	88,17	238,8	73,43
9-Oct-19	86,12	344,46	400,65	411,13	16,5	129,22	295,11	1222,04	85,46	0	76,45
13-Oct-19	222,66	900,48	1109,5 6	#####	16,5	128,27	318,15	1562,64	84,75	0	75,40
14-Oct-19	289,62	991,46	1202,8 1	#####	16,3	126,30	345,71	1614,12	84,88	0	75,70
15-Oct-19	257,76	863,58	1071,5 0	#####	16,3	125,60	357,92	1540,64	82,88	1,5	76,43
16-Oct-19	214,85	770,19	949,61	#####	16,6	125,60	343,03	1540,64	84,54	26,2	74,47
17-Oct-19	144,63	543,35	673,81	734,27	16,7	118,96	401,29	1393,56	83,04	0	77,15
18-Oct-19	106,36	475,52	614,87	626,03	16,5	125,10	335,02	1357,84	82,88	0	77,11
19-Oct-19	109,75	497,36	617,16	642,16	16,7	128,60	294,33	1359,96	85,50	173,7	76,01
20-Oct-19	167,53	664,23	823,19	916,28	16,6	125,09	338,01	1397,88	86,58	106,5	73,28
21-Oct-19	211,86	729,32	912,30	#####	16,7	126,58	310,18	1414,40	82,75	0	77,00
22-Oct-19	211,62	724,07	885,78	#####	16,7	126,06	320,05	1408,96	85,21	0	77,13
23-Oct-19	242,81	889,51	1089,0 9	#####	16,7	126,06	322,24	1408,96	86,08	255	75,94
28-Oct-19	217,77	799,64	953,02	#####	16,6	127,12	310,93	1418,20	84,79	0	78,37
29-Oct-19	206,69	743,35	944,47	#####	16,7	126,71	306,85	1411,84	83,71	0	79,30
30-Oct-19	207,67	627,88	778,99	843,10	16,7	127,44	307,56	1400,20	85,25	146,4	76,78
31-Oct-19	160,52	525,41	686,88	693,56	16,6	123,52	366,84	1385,42	86,29	54,1	76,00
1-Nov-19	212,73	765,84	947,72	#####	16,6	128,67	304,83	1428,60	85,13	2,5	76,60
2-Nov-19	200,49	737,05	921,75	#####	16,5	128,37	308,04	1397,32	85,58	6,3	76,04
3-Nov-19	196,83	695,23	859,21	962,27	16,4	130,27	297,91	1396,32	87,38	9,6	76,52

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

4-Nov-19	196,83	748,92	924,24	#####	16,5	128,56	305,74	1387,80	87,38	58,2	76,05	
5-Nov-19	192,14	723,18	903,22	#####	16,6	127,71	309,85	1378,04	88,58	27,9	75,05	
7-Nov-19	77,78	363,47	493,14	436,99	16,5	126,17	335,53	1189,67	86,63	0	76,41	
8-Nov-19	269,06	906,52	6	#####	16,4	120,86	401,04	1593,24	88,83	0	74,39	
9-Nov-19	301,12	5	1039,4	1263,6	#####	16,5	120,86	392,39	1593,24	86,63	9,7	76,45
10-Nov-19	220,95	749,67	923,15	#####	16,5	121,05	390,01	1614,58	84,21	0	78,22	
11-Nov-19	210,64	713,60	871,21	991,73	16,4	128,04	319,34	1423,40	87,29	260,7	75,94	
12-Nov-19	137,06	528,32	677,41	697,14	16,4	128,74	307,41	1323,60	87,71	194,2	75,13	
13-Nov-19	225,19	728,10	878,30	#####	16,6	120,53	394,05	1464,13	84,92	0	77,41	
14-Nov-19	301,91	929,17	0	#####	16,6	127,56	308,70	1583,33	82,33	0	81,06	
15-Nov-19	123,33	480,71	610,99	627,03	16,5	130,24	275,90	1323,17	86,96	91,9	78,19	
16-Nov-19	107,96	391,94	517,50	483,70	16,5	130,93	261,22	1296,38	88,29	22,2	75,25	
17-Nov-19	179,48	584,48	749,94	787,72	16,6	130,28	274,69	1377,21	84,42	0	78,71	
18-Nov-19	285,72	922,42	5	#####	16,5	127,92	294,11	1522,71	87,92	32,3	74,92	
19-Nov-19	304,44	937,72	4	#####	16,7	128,26	307,41	1550,79	85,13	10,9	78,05	
20-Nov-19	196,64	699,23	863,40	969,95	16,6	130,92	224,43	1414,21	86,50	2,3	76,93	
21-Nov-19	104,72	448,14	545,27	575,82	16,6	125,24	253,36	1309,16	85,67	0	78,01	
26-Nov-19	218,32	749,60	933,93	#####	16,6	127,76	291,38	1435,32	87,00	31,8	76,34	
27-Nov-19	218,08	711,79	932,46	984,61	16,6	128,01	308,51	1434,32	86,46	113,3	78,79	
28-Nov-19	202,36	759,80	932,97	#####	16,6	126,24	315,32	1419,72	87,88	161,8	74,90	
29-Nov-19	203,01	752,09	957,99	#####	16,8	131,15	248,55	1427,32	86,29	33	77,59	
30-Nov-19	218,48	808,84	0	#####	16,6	129,78	275,65	1416,80	83,46	0	80,17	
1-Dec-19	175,25	690,12	857,71	954,93	16,8	126,49	308,93	1358,88	87,92	140,3	75,01	
2-Dec-19	209,83	764,90	993,72	#####	16,6	131,58	262,17	1402,08	87,58	79,9	75,21	
3-Dec-19	160,11	676,10	865,82	942,78	16,8	130,42	266,16	1336,04	87,00	15	76,91	
4-Dec-19	104,90	360,25	492,37	446,53	16,7	130,18	275,26	1279,44	83,88	0	78,64	
5-Dec-19	165,90	533,16	723,49	712,09	16,7	128,37	299,42	1374,36	85,88	582,4	77,82	
6-Dec-19	218,32	696,83	879,50	948,01	16,5	124,33	358,42	1447,20	86,00	42,9	76,45	
7-Dec-19	210,25	535,23	763,31	711,29	16,3	133,54	261,87	1428,32	86,96	2	75,76	
8-Dec-19	188,50	650,30	845,47	850,24	16,6	131,55	280,31	1379,84	86,17	0	78,16	

**MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE  
CRUDOS PESADOS**

9-Dec-19	215,55	669,60	892,65	916,64	16,6	131,55	277,07	1379,84	86,33	28,7	77,11
10-Dec-19	182,58	576,52	784,19	784,03	16,6	134,84	249,19	1377,72	82,96	0	79,50
15-Dec-19	212,88	678,04	910,96	930,61	16,6	133,78	256,94	1396,24	88,33	0	75,17
16-Dec-19	211,67	696,33	919,08	983,53	16,6	133,59	255,70	1392,48	86,58	0	76,17
17-Dec-19	213,36	685,16	921,70	929,08	17	133,76	249,37	1389,72	86,71	140,7	76,90
18-Dec-19	214,82	676,81	874,62	936,96	16,6	133,32	250,85	1385,12	86,58	64,5	76,67
19-Dec-19	213,23	749,28	980,18	#####	16,5	132,22	266,46	1384,92	86,79	60,2	75,78
20-Dec-19	72,81	321,84	429,51	375,43	16,6	128,11	300,36	1095,96	86,83	146	74,75
21-Dec-19	168,69	575,69	772,95	770,01	16,7	128,97	288,04	1303,44	86,88	29	76,48
22-Dec-19	205,74	664,99	896,44	910,83	16,6	132,19	260,25	1398,84	88,08	46	75,71
			1107,4								
23-Dec-19	277,48	858,08	8	#####	16,5	129,54	278,95	1501,52	87,13	222,7	73,58
24-Dec-19	72,95	327,71	403,64	386,26	16,4	122,82	366,77	955,24	86,96	0	76,16
25-Dec-19	176,09	560,39	783,93	764,45	16,6	129,84	292,42	1303,16	86,63	80,3	78,34
26-Dec-19	204,00	634,89	884,91	860,74	16,4	132,58	267,95	1389,88	86,04	5,8	77,61
27-Dec-19	208,50	771,55	987,07	#####	16,7	134,02	243,18	1390,76	86,83	24,9	78,15
			1027,6								
28-Dec-19	208,86	801,36	6	#####	16,6	135,26	231,54	1382,16	86,13	38,3	75,87
			1048,0								
29-Dec-19	208,35	782,54	6	#####	16,5	135,21	240,96	1386,76	85,50	0	78,40
			1027,4								
30-Dec-19	206,76	775,72	6	#####	16,8	134,13	238,90	1382,28	87,58	105,4	76,43
31-Dec-19	114,38	503,09	650,46	665,17	16,6	129,13	298,13	1223,92	85,46	126,9	78,19

# MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

## Anexo 10. Análisis multivariable. (casos 1, 2 y 3)

### CASO 1

**1.a Análisis de CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO, considerando datos 2018 y 2019.** Haciendo uso del software Statgraphics se obtiene información estadística y gráfica que permite conocer la participación de las variables en el análisis.

La figura 15 muestra el comportamiento de los datos en relación de variables entre sí, donde se puede ver una relación entre cada par de variables para poder determinar si tiene una tendencia que implique la existencia de una Correlación de Pearson o llamada también relación lineal.

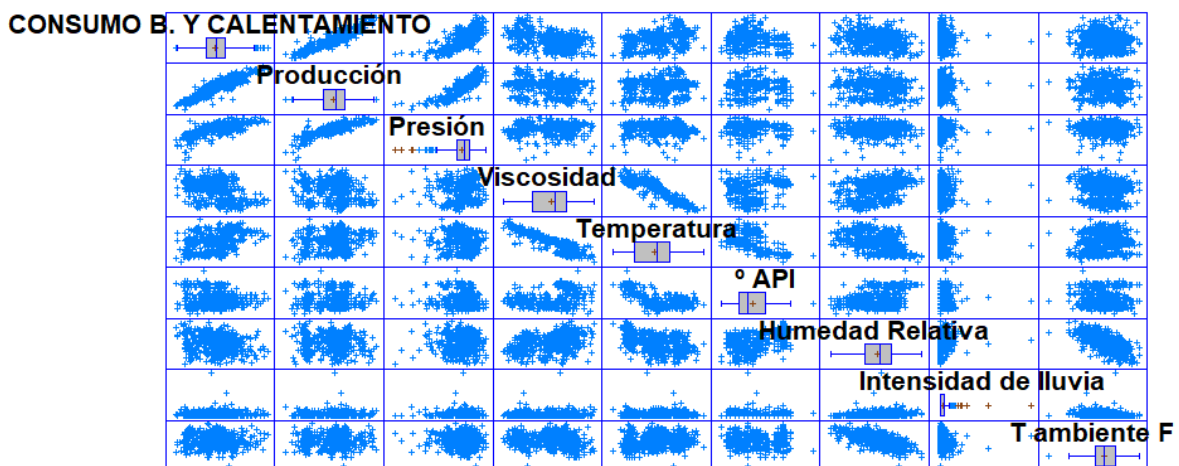


Figura 15. Relación de variables entre sí para el total de los datos adquiridos (2018 y 2019) considerando el consumo tanto de energía para sistema de bombeo como la utilizada en el sistema de calentamiento.

En la tabla 6 se muestra las correlaciones momento producto de Pearson para cada par de variables y la significancia estadística de las correlaciones existentes.

Tabla 6 Correlaciones momento producto de Pearson y correlaciones significativas.

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

	CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO	Producción	Presión	Viscosidad	Temperatura	API	Humedad Relativa	Intensidad de lluvia	T ambiente F
	MWheq	KBPD	PSI	cStk	°F	°API	%	mm/h	°F
CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO		0,89 0,00	0,68 0,00	- 0,43 0,00	0,40 0,00	- 0,17 0,00	-0,24 0,00	0,05 0,27	0,01 0,82
Producción	0,89 0,00		0,84 0,00	- 0,19 0,00	0,14 0,00	- 0,01 0,76	-0,06 0,15	0,03 0,45	- 0,03 0,44
Presión	0,68 0,00	0,84 0,00		0,12 0,00	-0,09 0,04	0,05 0,25	0,06 0,14	-0,02 0,58	0,07 0,10
Viscosidad	-0,43 0,00	-0,19 0,00	0,12 0,00		-0,89 0,00	0,29 0,00	0,41 0,00	-0,03 0,52	- 0,15 0,00
Temperatura	0,40 0,00	0,14 0,00	-0,09 0,04	- 0,89 0,00		- 0,66 0,00	-0,47 0,00	0,04 0,39	0,15 0,00
° API	-0,17 0,00	-0,01 0,76	-0,05 0,25	0,29 0,00	-0,66 0,00		0,34 0,00	-0,02 0,57	- 0,13 0,00
Humedad Relativa	-0,24 0,00	-0,06 0,15	0,06 0,14	0,41 0,00	-0,47 0,00	0,34 0,00		0,18 0,00	- 0,68 0,00
Intensidad de lluvia	0,05 0,27	0,03 0,45	-0,02 0,58	- 0,03 0,52	0,04 0,39	0,02 0,57	0,18 0,00		- 0,20 0,00
T ambiente F	0,01 0,82	-0,03 0,44	-0,07 0,10	- 0,15 0,00	0,15 0,00	0,13 0,00	-0,68 0,00	-0,20 0,00	

De la tabla 6 se obtienen la correlación de los pares de datos y la intensidad de dicha correlación (valores cercanos a -1 y +1), y con el parámetro P representado con el segundo resultado de cada par de datos la significancia estadística representativa (menor a 0.05). Los pares de datos con correlación y significancia se describen a continuación.

CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO y Viscosidad y ° API  
Producción

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO y Presión	Viscosidad y Humedad Relativa
CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO y Viscosidad	Viscosidad y T ambiente F
CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO y Temperatura	Temperatura y ° API
CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO y ° API	Temperatura y Humedad Relativa
CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO y Humedad Relativa	Temperatura y T ambiente F
Producción y Presión	° API y Humedad Relativa
Producción y Viscosidad	° API y T ambiente F
Producción y Temperatura	Humedad Relativa e Intensidad de lluvia
Presión y Viscosidad	Humedad Relativa y T ambiente F
Presión y Temperatura	Intensidad de lluvia y T ambiente F
Viscosidad y Temperatura	

De la tabla 6 y tanto por la información de correlación y significancia se concluye que los datos ambientales no tienen relación con el consumo energético en el transporte de crudo, lo que permite eliminar las variables de temperatura ambiente, humedad relativa y cantidad de lluvia inicialmente propuestos, esto tendría la explicación en las propiedades del oleoducto el cual está enterrado en 90 % y además tiene un revestimiento aislante en toda su extensión. Manual de Operación del Sistema de oleoducto rev 4.OCP.2018

Se consideran en el análisis los pares de variables con significancia y correlación representativa reduciendo los pares de variables a:

- CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO y Producción
- CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO y Presión
- Producción y Presión
- Viscosidad y Temperatura
- Humedad relativa y Temperatura ambiente.

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

La figura 16 representa la relación entre las cuatro variables seleccionadas y la ecuación de consumo está determinada por la ecuación 2:

$$\text{CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO} = -472,36 + 3,16 * \text{Producción} - 0,05 * \text{Presión} - 0,0795 * \text{Viscosidad} + 6,10 * \text{Temperatura}$$

[2]

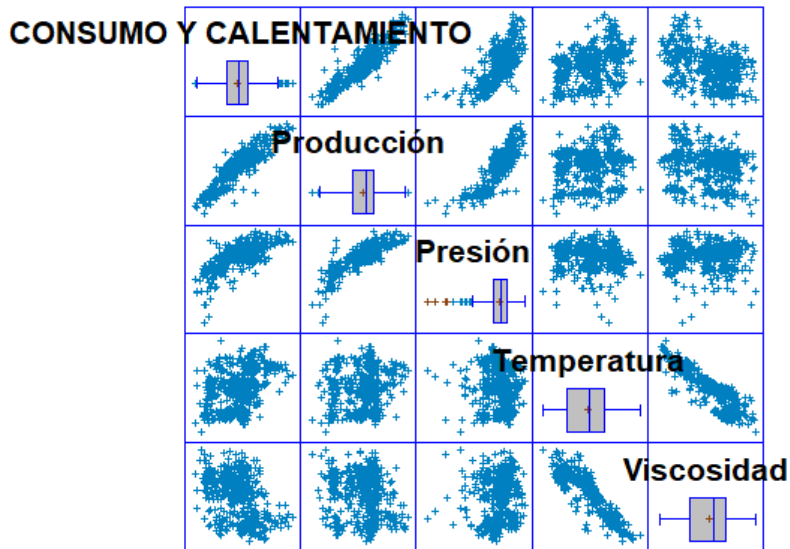


Figura 16. Pares de Variables con correlación fuerte y significativa

Del gráfico 16 y de la tabla 6 se determina que existe una correlación significativa entre Producción y Presión y entre Viscosidad y Temperatura lo que implica que son variables dependientes entre sí, por lo que se eliminan la Presión y la Temperatura del análisis, resultando las variables independientes para el análisis final:

- Producción
- Viscosidad

Las mismas que relacionadas con el consumo energético para el sistema de bombeo y el calentamiento se reduce a la ecuación de dos variables determinada por la ecuación 3:

$$\text{CONSUMO Y CALENTAMIENTO} = 399,355 + 3,06 * \text{Producción} - 0,545 * \text{Viscosidad}.$$

[3]

Con un  $R^2$  de 86.29%

Obteniéndose la figura 17 para los datos analizados.



# MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

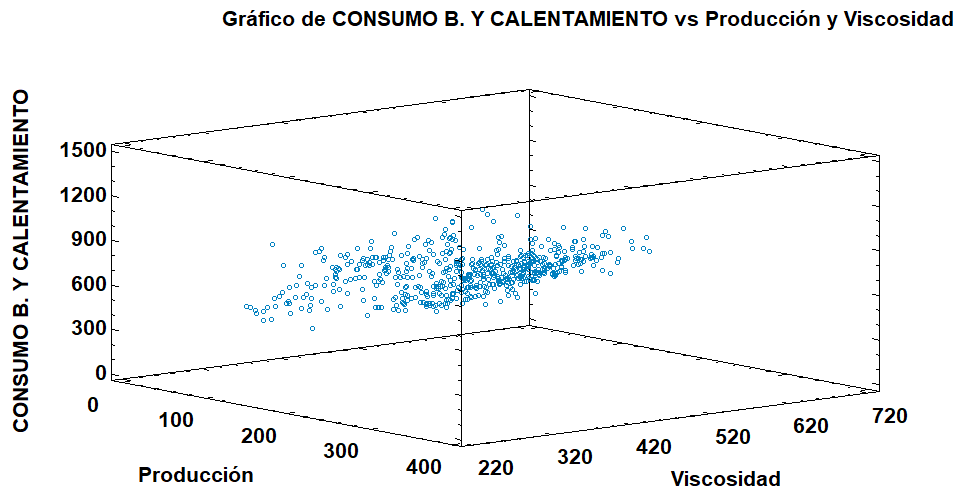


Figura 17. Superficie de respuesta para el consumo y calentamiento

Para fines comparativos se determina la ecuación lineal (ecuación 4) con la variable de mayor fuerza correlacional que es la producción para comparar resultados al final del análisis.

$$\text{CONSUMO Y CALENTAMIENTO} = 122,84 + 3,241 * \text{Producción}$$

[4]

Esta ecuación tiene un coeficiente de correlación de 0.891124 y un  $R^2$  de 79.4%

## 1.b Análisis de CONSUMO B. considerando datos 2018 y 2019

Con del software Statgraphics, se realiza el análisis con los datos de consumo de energía utilizada para el bombeo sin considerar el crudo utilizado para el calentamiento, se obtienen los siguientes resultados. Figuras 18 y tabla 7.

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

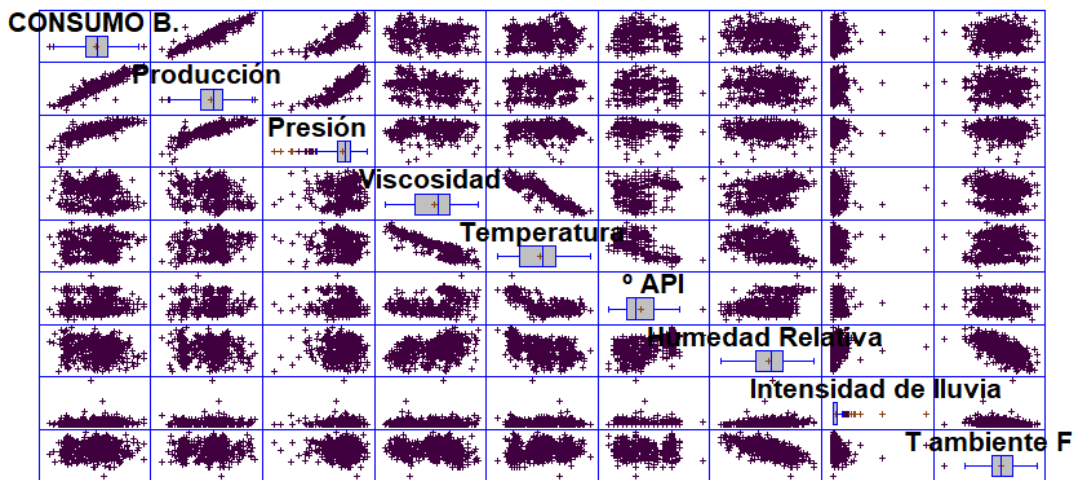


Figura 18. Relación de pares de variables para el total de los datos adquiridos (2018 y 2019) considerando únicamente el consumo de energía para el sistema de bombeo del oleoducto sin considerar calentamiento.

Tabla 7 Correlaciones momento producto de Pearson y correlaciones significativas Para consumo del sistema de bombeo.

	CONSUMO B.	Producción	Presión	Viscosidad	Temperatura	° API	Humedad Relativa	Intensidad de lluvia	T ambiente F
	MWheq	KBPD	PSI	cStk	°F	°API	%	mm/h	°F
CONSUMO B.		0,94	0,78	-0,16	0,10	0,01	-0,11	0,03	-0,02
Producción	0,94		0,84	-0,19	0,14	-0,01	-0,06	0,03	-0,03
Presión	0,78	0,84		0,12	-0,09	-0,05	0,06	-0,02	-0,07
Viscosidad	-0,16	-0,19	0,12		-0,89	0,29	0,41	-0,03	-0,15
Temperatura	0,10	0,14	-0,09	-0,89		-0,66	-0,47	0,04	0,15
° API	0,01	-0,01	-0,05	0,29	-0,66		0,34	-0,02	-0,13
Humedad Relativa	-0,11	0,01	0,06	0,41	0,29	0,34		0,39	0,00
Intensidad de lluvia	0,03	0,03	-0,02	-0,03	0,04	-0,02	0,39		0,00
T ambiente F	-0,02	-0,03	-0,07	-0,15	0,15	-0,13	0,00	0,00	

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

	0,74	0,76	0,25	0,00	0,00		0,00	0,57	0,00
Humedad Relativa	-0,11	-0,06	0,06	0,41	-0,47	0,34		0,18	-0,68
	0,01	0,15	0,14	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
Intensidad de lluvia	0,03	0,03	-0,02	-0,03	0,04	-0,02	0,18		-0,20
	0,54	0,45	0,58	0,52	0,39	0,57	0,00		0,00
T ambiente F	-0,02	-0,03	-0,07	-0,15	0,15	-0,13	-0,68	-0,20	
	0,58	0,44	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

De la tabla 7 y figura 18 se obtienen los pares de variables que tienen significancia estadística.

CONSUMO B. y Producción  
 CONSUMO B. y Presión  
 CONSUMO B. y Viscosidad  
 CONSUMO B. y Temperatura  
 CONSUMO B. y Humedad Relativa  
 Producción y Presión  
 Producción y Viscosidad  
 Producción y Temperatura  
 Presión y Viscosidad  
  
 Presión y Temperatura  
 Viscosidad y Temperatura

Viscosidad y ° API  
 Viscosidad y Humedad Relativa  
 Viscosidad y T ambiente F  
 Temperatura y ° API  
 Temperatura y Humedad Relativa  
 Temperatura y T ambiente F  
 ° API y Humedad Relativa  
 ° API y T ambiente F  
 Humedad Relativa y Intensidad de lluvia  
 Humedad Relativa y T ambiente F  
 Intensidad de lluvia y T ambiente F

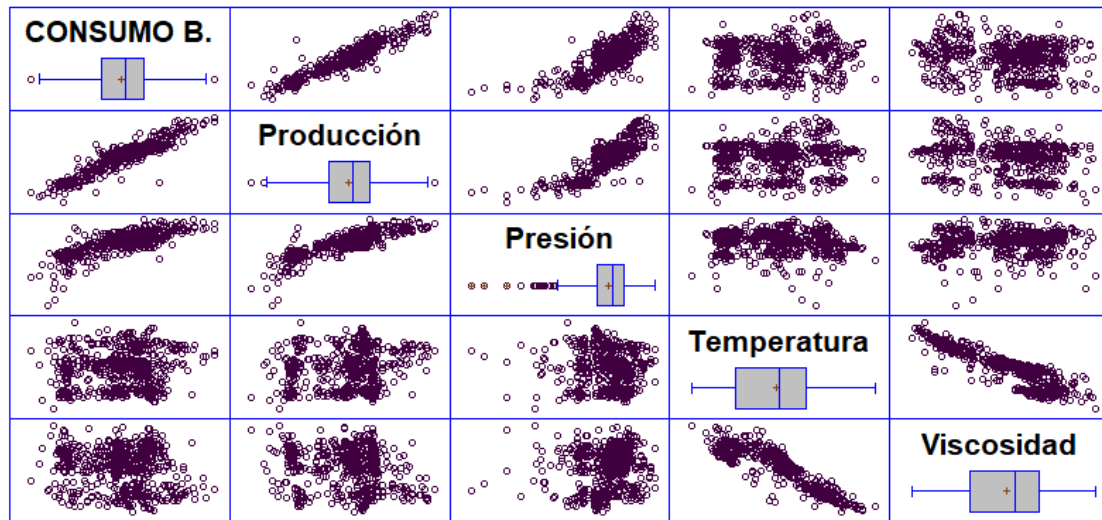
De la tabla 7 se deducen las variables con significancia estadística y correlación fuerte que son:

- Consumo y producción
- Consumo y Presión
- Producción y Presión
- Viscosidad y Temperatura

La figura 19 representa la relación de las variables seleccionadas y el modelo que representa el consumo de energía en MWh<sub>eq</sub> en función de la producción, presión, temperatura y viscosidad está determinada por la ecuación 5:

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

$$\text{CONSUMO B.} = 194,55 + 2,84 * \text{Producción} - 0,035 * \text{Presión} + 0,0204 * \text{Viscosidad} - 0,327 * \text{Temperatura} \quad [5]$$



*Figura 19.* Relación de variables con mayor correlación y significativas analizadas en la totalidad de los datos (2018 y 2019) y considerando únicamente el consumo de energía para sistema de bombeo.

Eliminando la presión y temperatura por ser variables que se correlacionan con la producción y viscosidad respectivamente se obtiene que el consumo de energía en el proceso de bombeo y sin considerar el calentamiento dependen de las variables producción y Viscosidad representada por la ecuación 6.

$$\text{CONSUMO B.} = 107,68 + 2,79 * \text{Producción} + 0,0366 * \text{Viscosidad}$$

[6]

Esta ecuación tiene un  $R^2$  de 88.36 %

El consumo correlacionado con la Producción y la Viscosidad se muestra en la figura 20.

# MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

Gráfico de CONSUMO B. vs Producción y Viscosidad

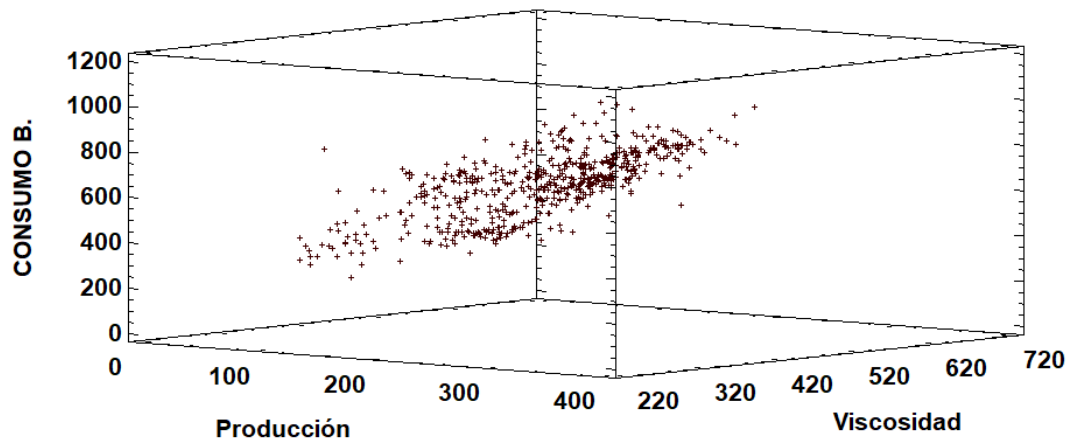


Figura 20. Consumo de energía en MWheq para todos los datos del 2018 y 2019 en función de la producción y viscosidad.

Si se considera solo a la variable producción se obtiene la ecuación 7.

$$\text{CONSUMO B.} = 126,25 + 2,783 * \text{Producción}$$

[7]

Esta ecuación tiene un coeficiente de correlación de 0.9397 y un  $R^2$  de 88.31 %

## 1.c Análisis de CONSUMO DE CRUDO. considerando datos 2018 y 2019

Este análisis considera solo el crudo consumido en los equipos principales de bombeo de las cuatro estaciones de bombeo, sin considerar crudo para generación ni calentamiento, y con la totalidad de los datos del 2018 y 2019, la figura 21 y la tabla 8 muestran el análisis de correlación y significancia.

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

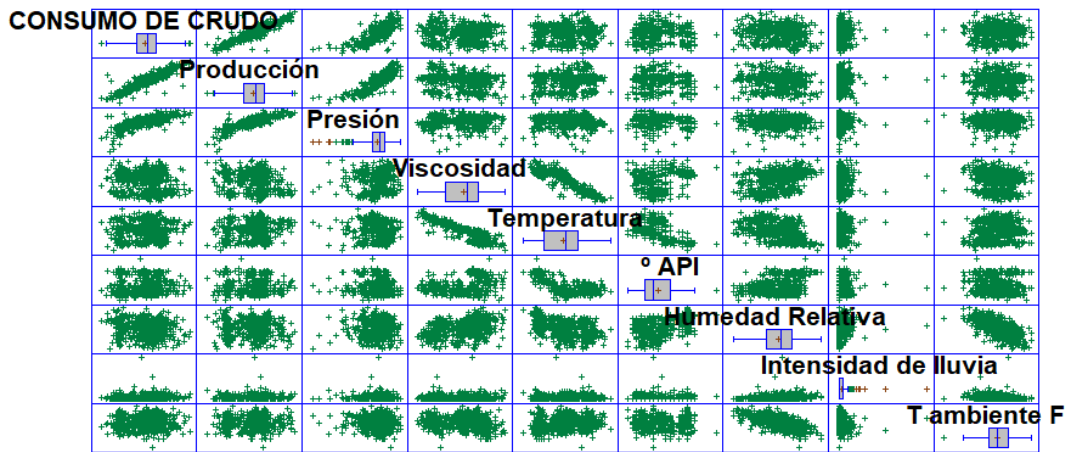


Figura 21. Relación de pares de variables para el total de los datos adquiridos (2018 y 2019) considerando únicamente el consumo de crudo en las bombas principales del sistema de oleoducto.

Tabla 8 Correlaciones momento producto de Pearson y correlaciones significativas considerando solo el crudo utilizado por las bombas principales.

	CONSUMO DE CRUDO	Producción	Presión	Viscosidad	Temperatura	° API	Humedad Relativa	Intensidad de lluvia	T ambiente F
	MWheq	KBPD	PSI	cStk	°F	°API	%	mm/h	°F
CONSUMO DE CRUDO		0,92	0,77	-0,12	0,08	0,02	-0,10	0,02	-0,03
Producción	0,92		0,84	-0,19	0,14	-0,01	-0,06	0,03	-0,03
Presión	0,77	0,84		0,12	-0,09	-0,05	0,06	-0,02	-0,07
Viscosidad	-0,12	-0,19	0,12		-0,89	0,29	0,41	-0,03	-0,15
Temperatura	0,08	0,14	-0,09	-0,89		-0,66	-0,47	0,04	0,15
° API	0,02	-0,01	-0,05	0,29	-0,66		-0,47	0,04	0,15
Humedad Relativa	-0,10	-0,06	0,06	0,41	-0,47	-0,47		0,04	0,15
Intensidad de lluvia	0,02	0,03	-0,02	-0,03	0,04	0,04	0,04		0,15
T ambiente F	-0,03	-0,03	-0,07	-0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

° API	0,02	-0,01	-0,05	0,29	-0,66		0,34	-0,02	-0,13
	0,58	0,76	0,25	0,00	0,00		0,00	0,57	0,00
Humedad Relativa	-0,10	-0,06	0,06	0,41	-0,47	0,34		0,18	-0,68
	0,02	0,15	0,14	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
Intensidad de lluvia	0,02	0,03	-0,02	-0,03	0,04	-0,02	0,18		-0,20
	0,60	0,45	0,58	0,52	0,39	0,57	0,00		0,00
T ambiente F	-0,03	-0,03	-0,07	-0,15	0,15	-0,13	-0,68	-0,20	
	0,46	0,44	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

De la figura 21 y tabla 8 se obtienen los pares de variables que tienen significancia estadística.

CONSUMO DE CRUDO y Producción	Viscosidad y Humedad Relativa
CONSUMO DE CRUDO y Presión	Viscosidad y T ambiente F
CONSUMO DE CRUDO y Viscosidad	Temperatura y ° API
CONSUMO DE CRUDO y Humedad Relativa	Temperatura y Humedad Relativa
Producción y Presión	Temperatura y T ambiente F
Producción y Viscosidad	° API y Humedad Relativa
Producción y Temperatura	° API y T ambiente F
Presión y Viscosidad	Humedad Relativa y Intensidad de lluvia
Presión y Temperatura	Humedad Relativa y T ambiente F
Viscosidad y Temperatura	Intensidad de lluvia y T ambiente F
Viscosidad y ° API	

De la tabla 8 se deducen las variables con significancia estadística y correlación fuerte son:

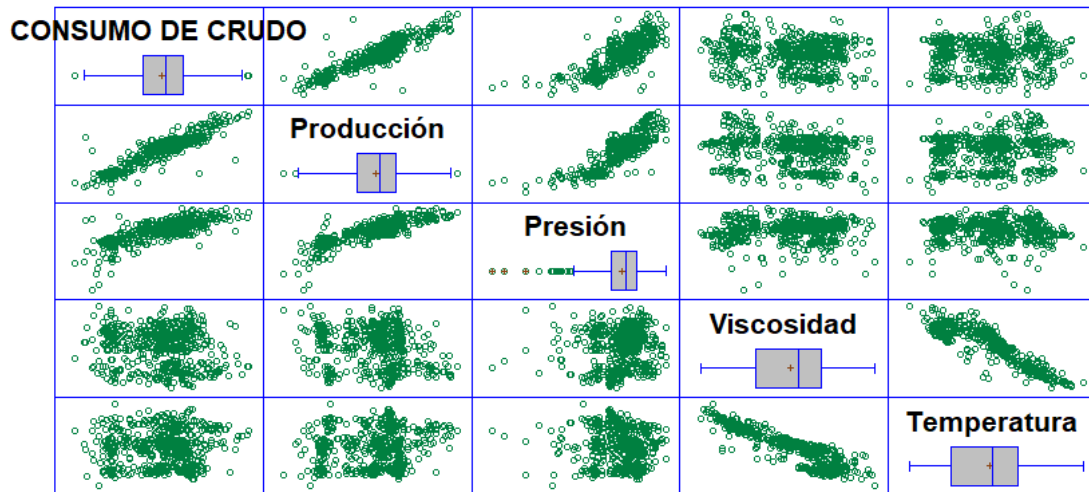
- CONSUMO DE CRUDO y producción
- CONSUMO DE CRUDO y Presión
- Producción y Presión
- Viscosidad y Temperatura

La figura 22 representa la relación de las variables seleccionadas y el modelo que representa el consumo de energía en MWheq en función de la producción, presión, temperatura y viscosidad está determinado por la ecuación 8:

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

$$\text{CONSUMO DE CRUDO} = 135,77 + 4,468 * \text{Producción} - 0,081 * \text{Presión} + 0,144 * \text{Viscosidad} - 0,200 * \text{Temperatura}$$

[8]



*Figura 22.* Relación de variables con mayor correlación y significativas analizadas en la totalidad de los datos (2018 y 2019) y considerando únicamente el consumo de crudo en los equipos principales de bombeo.

Eliminando la presión y temperatura por ser variables que se correlacionan con la producción y viscosidad respectivamente se obtiene que los consumos de crudo de los equipos principales de bombeo dependen de las variables producción y Viscosidad representada por la ecuación 9.

$$\text{CONSUMO DE CRUDO} = 19,06 + 4,359 * \text{Producción} + 0,139 * \text{Viscosidad}$$

[9]

Esta ecuación tiene un R-cuadrada de 84.78 %

El consumo correlacionado con la Producción y la Viscosidad se muestra en la figura 23.



# MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

Gráfico de CONSUMO DE CRUDO vs Producción y Viscosidad

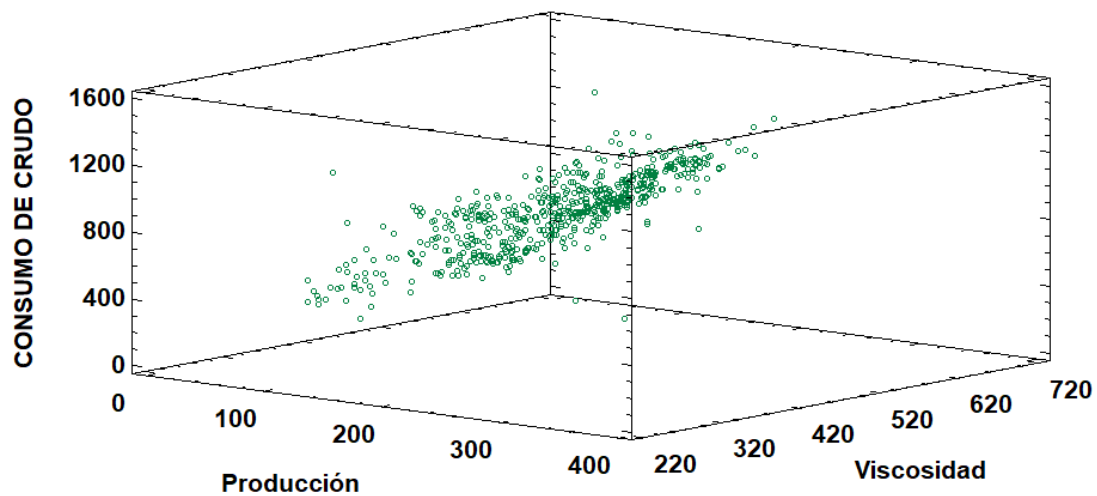


Figura 23. Consumo de crudo en BEP para todos los datos del 2018 y 2019 en función de la producción y viscosidad.

Si se considera solo a la variable producción se obtiene la ecuación 10.

$$\text{CONSUMO DE CRUDO} = 89,83 + 4,31 * \text{Producción}$$

[10]

Esta ecuación tiene un coeficiente de correlación de 0.9193 y un  $R^2$  de 84.51 %

## CASO 2

### 2.a Análisis de CONSUMO Y CALENTAMIENTO, considerando datos Enero a julio 2018.

Haciendo uso del software Statgraphics se obtiene información estadística y gráfica que permite conocer la participación de las variables en el análisis.

La figura 24 muestra el comportamiento de los datos en relación de variables entre sí, donde se puede ver una relación entre cada par de variables para poder determinar si

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

tiene una tendencia que implique la existencia de una Correlación de Pearson o llamada también relación lineal.

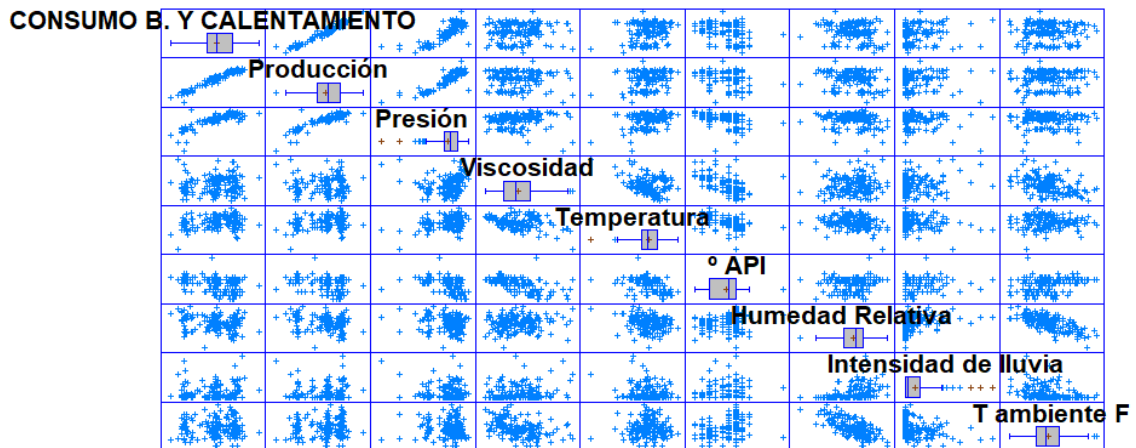


Figura 24. Relación de variables entre sí para los datos de Enero a Julio 2018 considerando el consumo tanto de energía para sistema de bombeo como la utilizada en el sistema de calentamiento.

En la tabla 9 se muestra las correlaciones momento producto de Pearson para cada par de variables y la significancia estadística de las correlaciones existentes.

Tabla 9 Correlaciones momento producto de Pearson y correlaciones significativas.

	CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO	Producción	Presión	Viscosidad	Temperatura	° API	Humedad Relativa	Intensidad de lluvia	T ambiente F
		MWhe q	KBP D	PSI	cStk	°F	°API	%	mm/ h
CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO		0,97	0,85	0,10	0,23	-0,32	-0,18	0,00	0,04
Producción	0,97		0,89	0,03	0,25	-0,29	-0,19	-0,05	0,08
Presión	0,85	0,89		0,09	0,37	-0,41	-0,18	-0,16	0,01
Viscosidad	0,10	0,03	0,09		0,70	0,00	0,01	0,57	0,34
Temperatura	0,23	0,25	0,37	0,70		0,00	0,00	0,02	0,63
° API	-0,32	-0,29	-0,41	0,00	0,00		0,02	0,95	0,63
Humedad Relativa	-0,18	-0,19	-0,18	0,01	0,00	0,02		0,95	0,63
Intensidad de lluvia	0,00	-0,05	-0,16	0,57	0,02	0,95	0,95		0,63
T ambiente F	0,04	0,08	0,01	0,34	0,63	0,63	0,63	0,63	

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

	0,00	0,00		0,25	0,00	0,00	0,02	0,04	0,88
Viscosidad	0,10	0,03	0,09		-0,26	-0,58	0,07	0,16	-0,41
	0,22	0,70	0,25		0,00	0,00	0,38	0,04	0,00
Temperatura	0,23	0,25	0,37	-0,26		-0,48	-0,25	-0,21	0,01
	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,01	0,87
° API	-0,32	-0,29	-0,41	-0,58	-0,48		0,15	0,04	0,29
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,06	0,64	0,00
Humedad Relativa	-0,18	-0,19	-0,18	0,07	-0,25	0,15		0,36	-0,69
	0,02	0,01	0,02	0,38	0,00	0,06		0,00	0,00
Intensidad de lluvia	0,00	-0,05	-0,16	0,16	-0,21	0,04	0,36		-0,36
	0,95	0,57	0,04	0,04	0,01	0,64	0,00		0,00
T ambiente F	0,04	0,08	0,01	-0,41	0,01	0,29	-0,69	-0,36	
	0,63	0,34	0,88	0,00	0,87	0,00	0,00	0,00	

De la tabla 9 se obtienen la correlación de los pares de datos y la intensidad de dicha correlación (valores cercanos a -1 y +1), y con el parámetro P representado con el segundo resultado de cada par de datos la significancia estadística representativa (menor a 0.05). Los pares de datos con correlación y significancia se describen a continuación.

CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO y Producción	Presión y Intensidad de lluvia
CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO y Presión	Viscosidad y Temperatura
CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO y Temperatura	Viscosidad y ° API
CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO y ° API	Viscosidad y Intensidad de lluvia
CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO y Humedad Relativa	Viscosidad y T ambiente F
Producción y Presión	Temperatura y ° API
Producción y Temperatura	Temperatura y Humedad Relativa
Producción y ° API	Temperatura y Intensidad de lluvia
Producción y Humedad Relativa	° API y T ambiente F
Presión y Temperatura	Humedad Relativa y Intensidad de lluvia
Presión y ° API	Humedad Relativa y T ambiente F
Presión y Humedad Relativa	Intensidad de lluvia y T ambiente F

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

Se consideran en el análisis los pares de variables con significancia y correlación representativa reduciendo los pares de variables a:

- Consumo y producción
- Consumo y Presión
- Producción y Presión
- Viscosidad y Temperatura

La figura 25 representa la relación entre las cuatro variables seleccionadas y la ecuación de consumo está determinada por la ecuación 11:

$$\text{CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO} = -76,44 + 3,19 \cdot \text{Producción} - 0,224 \cdot \text{Presión} + 0,323 \cdot \text{Viscosidad} + 2,678 \cdot \text{Temperatura}$$

[11]

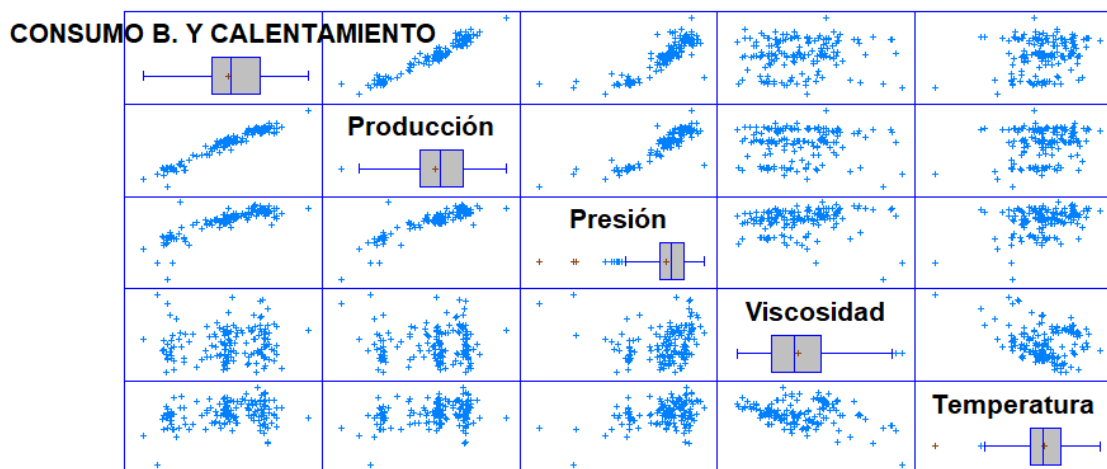


Figura 25. Pares de Variables con correlación fuerte y significativa

De la figura 25 y de la tabla 9 se determina que existe una correlación significativa entre Producción y Presión y entre Viscosidad y Temperatura lo que implica que son variables dependientes entre sí, por lo que se eliminan la Presión y la Temperatura del análisis, resultando las variables independientes para el análisis final:

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

- Producción
- Viscosidad

Las mismas que relacionadas con el consumo energético para el sistema de bombeo y el calentamiento se reduce a la ecuación de dos variables determinada por la ecuación 12:

$$\text{CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO} = -28,133 + 2,902 * \text{Producción} + 0,266 * \text{Viscosidad}$$

[12]

Obteniéndose la figura 26 para los datos analizados.

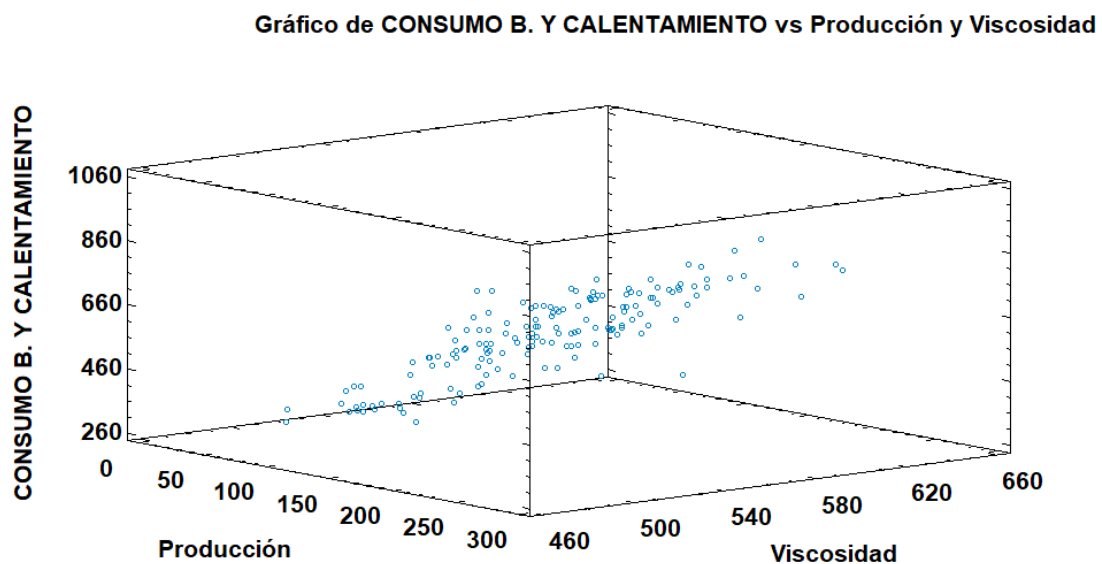


Figura 26. Superficie de respuesta para el consumo y calentamiento

Para fines comparativos se determina la ecuación lineal (ecuación 13) con la variable de mayor fuerza correlacional que es la producción para comparar resultados al final del análisis.

$$\text{CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO} = 112,322 + 2,910 * \text{Producción}$$

[13]

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

Esta ecuación tiene un coeficiente de correlación de 0.9736 y un  $R^2$  de 94.8%

### 2.b Análisis de CONSUMO B, considerando datos Enero a julio 2018.

Con del software Statgraphics, se realiza el análisis con los datos de consumo de energía utilizada para el bombeo sin considerar el crudo utilizado para el calentamiento, se obtienen los siguientes resultados. Figuras 27 y tabla 10.

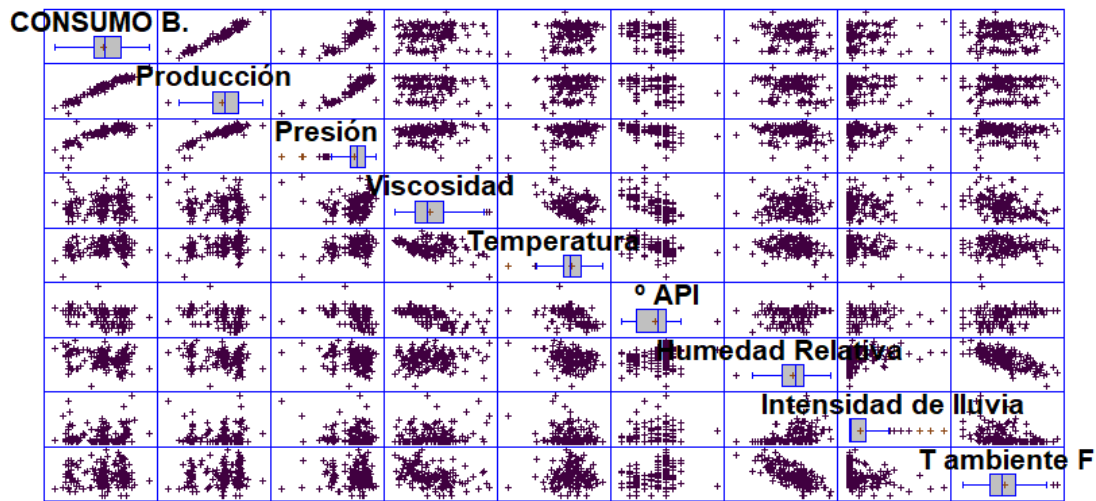


Figura 27. Relación de pares de variables para los datos de enero a julio 2018 considerando únicamente el consumo de energía para el sistema de bombeo del oleoducto sin considerar calentamiento.

Tabla 10 Correlaciones momento producto de Pearson y correlaciones significativas.

	CONSUMO B.	Producción	Presión	Viscosidad	Temperatura	° API	Humedad Relativa	Intensidad de lluvia	T ambiente F
CONSUMO B.		0,97	0,85	0,10	0,23	-0,32	-0,18	0,00	0,04
Producción	0,97		0,89	0,03	0,25	-0,29	-0,19	-0,05	0,08
Presión	0,85	0,89		0,09	0,37	-0,41	-0,18	-0,16	0,01
Viscosidad	0,10	0,03	0,09		0,25	0,00	0,02	0,04	0,88
Temperatura	0,23	0,25	0,37	0,25		0,00	0,02	0,04	0,88
° API	-0,32	-0,29	-0,41	0,00	0,00		0,02	0,04	0,88
Humedad Relativa	-0,18	-0,19	-0,18	0,02	0,02	0,02		0,04	0,88
Intensidad de lluvia	0,00	-0,05	-0,16	0,04	0,04	0,04	0,04		0,88
T ambiente F	0,04	0,08	0,01	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

Viscosidad	0,10	0,03	0,09		-0,26	-0,58	0,07	0,16	-0,41
	0,22	0,70	0,25		0,00	0,00	0,38	0,04	0,00
Temperatura	0,23	0,25	0,37	-0,26		-0,48	-0,25	-0,21	0,01
	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,01	0,87
° API	-0,32	-0,29	-0,41	-0,58	-0,48		0,15	0,04	0,29
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,06	0,64	0,00
Humedad Relativa	-0,18	-0,19	-0,18	0,07	-0,25	0,15		0,36	-0,69
	0,02	0,01	0,02	0,38	0,00	0,06		0,00	0,00
Intensidad de lluvia	0,00	-0,05	-0,16	0,16	-0,21	0,04	0,36		-0,36
	0,95	0,57	0,04	0,04	0,01	0,64	0,00		0,00
T ambiente F	0,04	0,08	0,01	-0,41	0,01	0,29	-0,69	-0,36	
	0,63	0,34	0,88	0,00	0,87	0,00	0,00	0,00	

De la tabla 10 y figura 27 se obtienen los pares de variables que tienen significancia estadística.

CONSUMO B. y Producción  
 CONSUMO B. y Presión  
 CONSUMO B. y Temperatura  
 CONSUMO B. y ° API  
 CONSUMO B. y Humedad Relativa  
 Producción y Presión  
 Producción y Temperatura  
 Producción y ° API  
 Producción y Humedad Relativa  
 Presión y Temperatura

Presión y ° API  
 Presión y Humedad Relativa

Presión y Intensidad de lluvia  
 Viscosidad y Temperatura  
 Viscosidad y ° API  
 Viscosidad y Intensidad de lluvia  
 Viscosidad y T ambiente F  
 Temperatura y ° API  
 Temperatura y Humedad Relativa  
 Temperatura y Intensidad de lluvia  
 ° API y T ambiente F  
 Humedad Relativa y Intensidad de lluvia  
 Humedad Relativa y T ambiente F  
 Intensidad de lluvia y T ambiente F

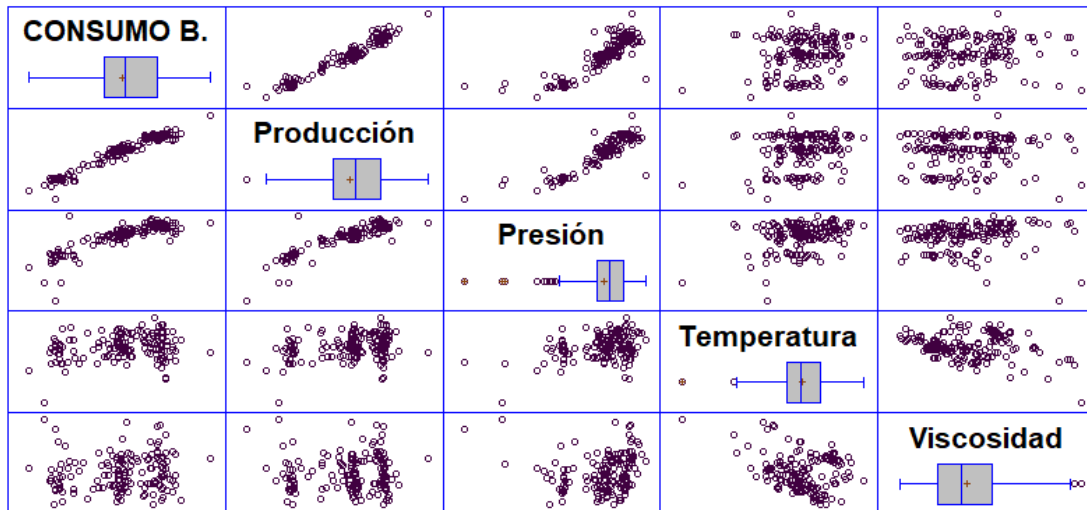
De la tabla 10 se deducen las variables con significancia estadística y correlación fuerte que son:

- Consumo y producción
- Consumo y Presión
- Producción y Presión
- Viscosidad y Temperatura

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

La figura 28 representa la relación de las variables seleccionadas y el modelo que representa el consumo de energía en MWheq en función de la producción, presión, temperatura y viscosidad está determinada por la ecuación 14:

$$\text{CONSUMO B.} = -76,441 + 3,193 * \text{Producción} - 0,224 * \text{Presión} + 0,3223 * \text{Viscosidad} + 2,678 * \text{Temperatura} \quad [14]$$



*Figura 28.* Relación de variables con mayor correlación y significativas analizadas en los datos de enero a julio 2018 y considerando únicamente el consumo de energía para sistema de bombeo.

Eliminando la presión y temperatura por ser variables que se correlacionan con la producción y viscosidad respectivamente se obtiene que el consumo de energía en el proceso de bombeo y sin considerar el calentamiento dependen de las variables producción y Viscosidad representada por la ecuación 15.

$$\text{CONSUMO B.} = -28,134 + 2,902 * \text{Producción} + 0,265 * \text{Viscosidad}. \quad [15]$$

Esta ecuación tiene un  $R^2$  de 95.238 %

El consumo correlacionado con la Producción y la Viscosidad se muestra en la figura 29



# MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

Gráfico de CONSUMO B. vs Producción y Viscosidad

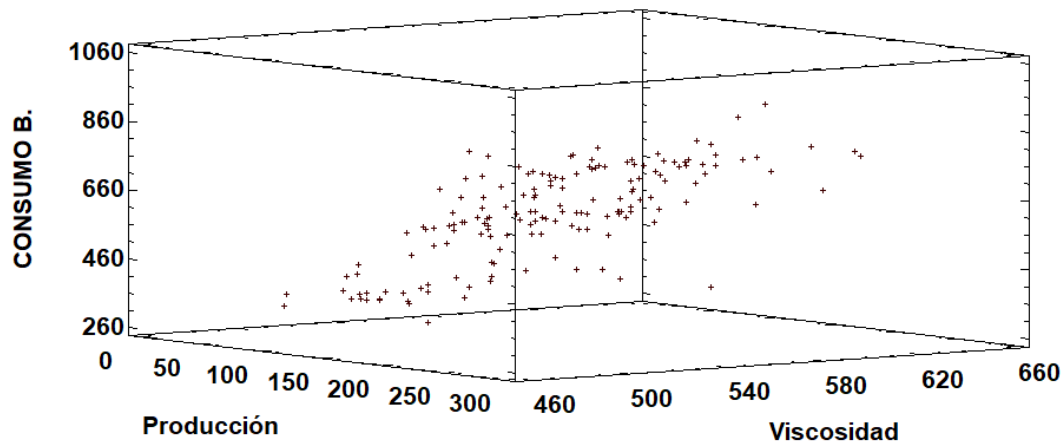


Figura 29. Consumo de energía en MWheq para todos los datos del 2018 y 2019 en función de la producción y viscosidad.

Si se considera solo a la variable producción se obtiene la ecuación 16.

$$\text{CONSUMO B.} = 112,322 + 2,910 * \text{Producción}$$

[16]

Esta ecuación tiene un coeficiente de correlación de 0.973634 y un  $R^2$  de 94.7964 %

## 2.c Análisis de CONSUMO DE CRUDO, considerando datos Enero a julio 2018.

Este análisis considera solo el crudo consumido en los equipos principales de bombeo de las cuatro estaciones de bombeo, sin considerar crudo para generación ni calentamiento, y con datos de enero a julio del 2018, la figura 30 y la tabla 11 muestran el análisis de correlación y significancia.

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

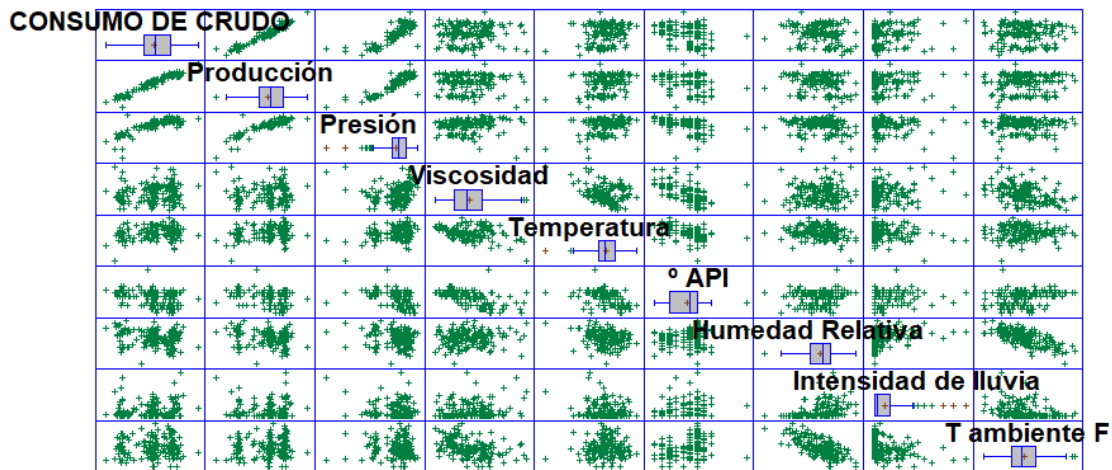


Figura 30. Relación de pares de variables para los datos de enero a julio del 2018 considerando únicamente el consumo de crudo en las bombas principales del sistema de oleoducto.

Tabla 11 Correlaciones momento producto de Pearson y correlaciones significativas considerando solo el crudo utilizado por las bombas principales.

	CONSUMO DE CRUDO	Producción	Presión	Viscosidad	Temperatura	° API	Humedad Relativa	Intensidad de lluvia	T ambiente F
CONSUMO DE CRUDO	0,97	0,85	0,10	0,24	-0,32	-0,18	0,01	0,04	
Producción	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00	0,02	0,91	0,66	
Presión	0,00	0,00	0,70	0,00	0,00	0,01	0,57	0,34	
Viscosidad	0,10	0,03	0,09	0,25	0,00	0,00	0,02	0,04	
Temperatura	0,22	0,70	0,25	-0,26	0,00	0,00	0,38	0,04	
° API	-0,32	-0,29	-0,41	-0,58	-0,48	0,15	0,04	0,29	
Humedad Relativa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,87	
Intensidad de lluvia	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,64	0,00	
T ambiente F	-0,18	-0,19	-0,18	0,07	-0,25	0,15	0,36	-0,69	

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

	0,02	0,01	0,02	0,38	0,00	0,06		0,00	0,00
Intensidad de lluvia	0,01	-0,05	-0,16	0,16	-0,21	0,04	0,36		-0,36
	0,91	0,57	0,04	0,04	0,01	0,64	0,00		0,00
T ambiente F	0,04	0,08	0,01	-0,41	0,01	0,29	-0,69	-0,36	
	0,66	0,34	0,88	0,00	0,87	0,00	0,00	0,00	

De la figura 30 y tabla 11 se obtienen los pares de variables que tienen significancia estadística.

CONSUMO DE CRUDO y Producción	Presión y Intensidad de lluvia
CONSUMO DE CRUDO y Presión	Viscosidad y Temperatura
CONSUMO DE CRUDO y Temperatura	Viscosidad y ° API
CONSUMO DE CRUDO y ° API	Viscosidad y Intensidad de lluvia
CONSUMO DE CRUDO y Humedad Relativa	Viscosidad y T ambiente F
Producción y Presión	Temperatura y ° API
Producción y Temperatura	Temperatura y Humedad Relativa
Producción y ° API	Temperatura y Intensidad de lluvia
Producción y Humedad Relativa	° API y T ambiente F
Presión y Temperatura	Humedad Relativa e Intensidad de lluvia
Presión y ° API	Humedad Relativa y T ambiente F
Presión y Humedad Relativa	Intensidad de lluvia y T ambiente F

De la tabla 11 se deducen las variables con significancia estadística y correlación fuerte son:

CONSUMO DE CRUDO y producción.

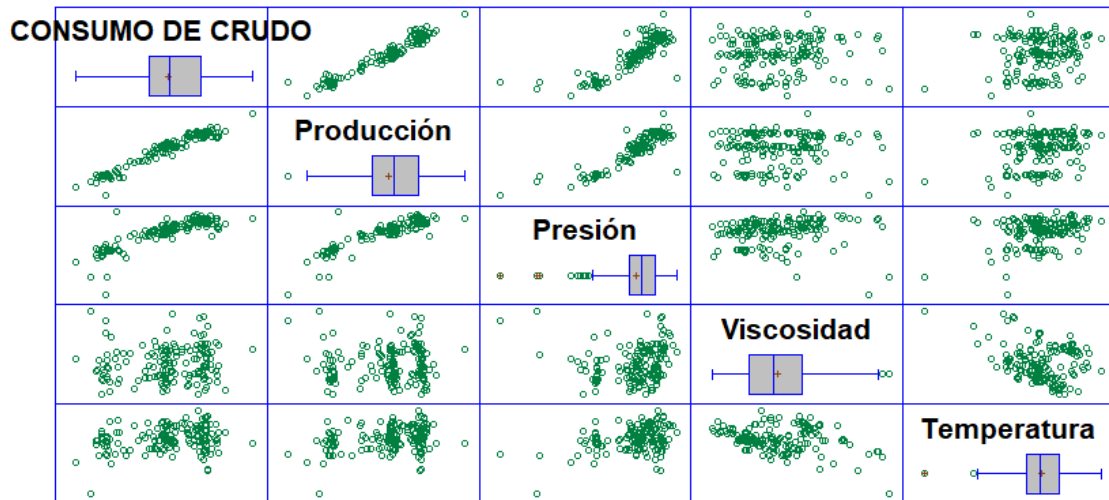
- Consumo y producción
- Consumo y Presión
- Producción y Presión
- Viscosidad y Temperatura

La figura 31 representa la relación de las variables seleccionadas y el modelo que representa el consumo de energía en MWheq en función de la producción, presión, temperatura y viscosidad está determinado por la ecuación 17:

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

$$\text{CONSUMO DE CRUDO} = -315,688 + 5,07 * \text{Producción} - 0,38 * \text{Presión} + 0,533 * \text{Viscosidad} + 5,170 * \text{Temperatura}$$

[17]



*Figura 31.* Relación de variables con mayor correlación y significativas analizadas con los datos de enero a julio del 2018 y considerando únicamente el consumo de crudo en los equipos principales de bombeo.

Eliminando la presión y temperatura por ser variables que se correlacionan con la producción y viscosidad respectivamente se obtiene que el consumo de crudo de los equipos principales de bombeo dependen de las variables producción y Viscosidad representada por la ecuación 18.

$$\text{CONSUMO DE CRUDO} = -164,532 + 4,584 * \text{Producción} + 0,43 * \text{Viscosidad}$$

[18]

Esta ecuación tiene un  $R^2$  de 94.968 %

El consumo correlacionado con la Producción y la Viscosidad se muestra en la figura 32

# MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

Gráfico de CONSUMO DE CRUDO vs Producción y Viscosidad

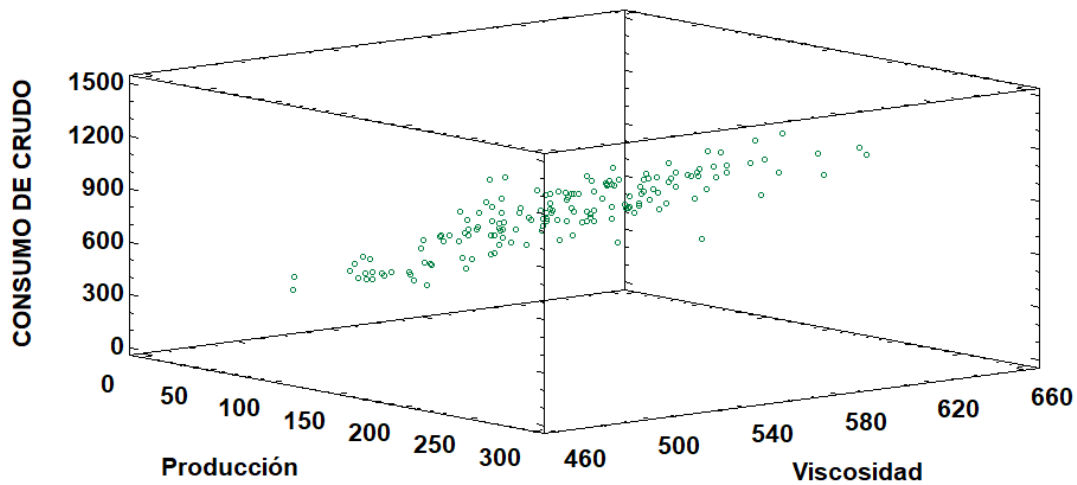


Figura 32. Consumo de crudo en BEP para los datos de enero a julio del 2018 en función de la producción y viscosidad.

Si se considera solo a la variable producción se obtiene la ecuación 19.

$$\text{CONSUMO DE CRUDO} = 62,735 + 4,596 * \text{Producción}$$

[19]

Esta ecuación tiene un coeficiente de correlación de 0.972141 y un  $R^2$  de 94.5059 %

## CASO 3

### 3.a Análisis de CONSUMO Y CALENTAMIENTO, considerando datos Agosto 2018 a Junio 2019.

Haciendo uso del software Statgraphics se obtiene información estadística y gráfica que permite conocer la participación de las variables en el análisis.

La figura 33 muestra el comportamiento de los datos en relación de variables entre sí, donde se puede ver una relación entre cada par de variables para poder determinar si

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

tiene una tendencia que implique la existencia de una Correlación de Pearson o llamada también relación lineal.

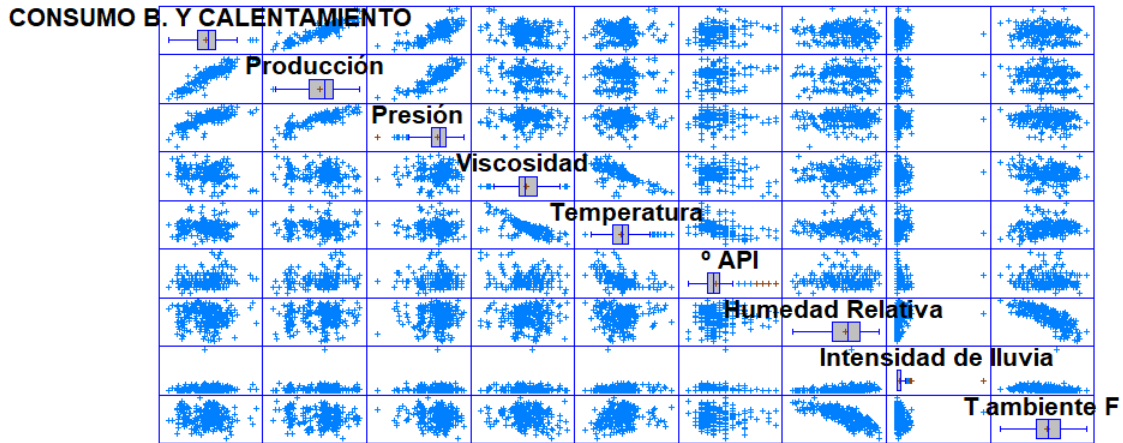


Figura 33. Relación de variables entre sí para los datos de agosto 2018 a Junio 2019 considerando el consumo tanto de energía para sistema de bombeo como la utilizada en el sistema de calentamiento.

En la tabla 12 se muestra las correlaciones momento producto de Pearson para cada par de variables y la significancia estadística de las correlaciones existentes.

Tabla 12 Correlaciones momento producto de Pearson y correlaciones significativas.

	CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO	Producción	Presión	Viscosidad	Temperatura	° API	Humedad Relativa	Intensidad de lluvia	T ambiente F
	MWheq	KBP D	PSI	cStk	°F	°API	%	mm/ h	° F
		0,97	0,85	0,10	0,23	-0,32	-0,18	0,00	0,04
CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO		0,00	0,00	0,22	0,00	0,00	0,02	0,95	0,63
Producción	0,97		0,89	0,03	0,25	-0,29	-0,19	-0,05	0,08
	0,00	0,00	0,00	0,70	0,00	0,00	0,01	0,57	0,34

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

Presión	0,85	0,89		0,09	0,37	-0,41	-0,18	-0,16	0,01
	0,00	0,00		0,25	0,00	0,00	0,02	0,04	0,88
Viscosidad	0,10	0,03	0,09		-0,26	-0,58	0,07	0,16	-0,41
	0,22	0,70	0,25		0,00	0,00	0,38	0,04	0,00
Temperatura	0,23	0,25	0,37	-0,26		-0,48	-0,25	-0,21	0,01
	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,01	0,87
° API	-0,32	-0,29	-0,41	-0,58	-0,48		0,15	0,04	0,29
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,06	0,64	0,00
Humedad Relativa	-0,18	-0,19	-0,18	0,07	-0,25	0,15		0,36	-0,69
	0,02	0,01	0,02	0,38	0,00	0,06		0,00	0,00
Intensidad de lluvia	0,00	-0,05	-0,16	0,16	-0,21	0,04	0,36		-0,36
	0,95	0,57	0,04	0,04	0,01	0,64	0,00		0,00
T ambiente F	0,04	0,08	0,01	-0,41	0,01	0,29	-0,69	-0,36	
	0,63	0,34	0,88	0,00	0,87	0,00	0,00	0,00	

De la tabla 12 se obtienen la correlación de los pares de datos y la intensidad de dicha correlación (valores cercanos a -1 y +1), y con el parámetro P representado con el segundo resultado de cada par de datos la significancia estadística representativa (menor a 0.05). Los pares de datos con correlación y significancia se describen a continuación.

CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO y Producción	Viscosidad y ° API
CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO y Presión	Viscosidad y T ambiente F
CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO y Viscosidad	Temperatura y ° API
CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO y ° API	Temperatura y T ambiente F
Producción y Presión	Humedad Relativa y Intensidad de lluvia
Producción y Viscosidad	Humedad Relativa y T ambiente F
Producción y ° API	Intensidad de lluvia y T ambiente F
Viscosidad y Temperatura	

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

Se consideran en el análisis los pares de variables con significancia y correlación representativa reduciendo los pares de variables a:

- Consumo y producción
- Consumo y Presión
- Producción y Presión
- Viscosidad y Temperatura

La figura 34 representa la relación entre las cuatro variables seleccionadas y la ecuación de consumo está determinada por la ecuación 20:

$$\text{CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO} = -278,887 + 3,128 * \text{Producción} - 0,039 * \text{Presión} + 0,118 * \text{Viscosidad} + 3,53 * \text{Temperatura} \quad [20]$$

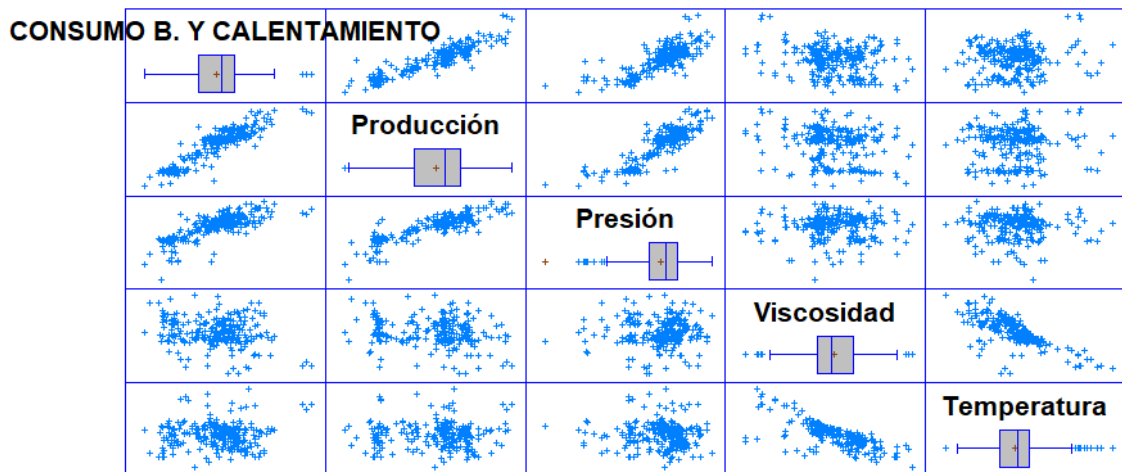


Figura 34. Pares de Variables con correlación fuerte y significativa

De la figura 34 y de la tabla 12 se determina que existe una correlación significativa entre Producción y Presión y entre Viscosidad y Temperatura lo que implica que son variables dependientes entre sí, por lo que se eliminan la Presión y la Temperatura del análisis, resultando las variables independientes para el análisis final:

- Producción



## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

### ➤ Viscosidad

Las mismas que relacionadas con el consumo energético para el sistema de bombeo y el calentamiento se reduce a la ecuación de dos variables determinada por la ecuación 21:

$$\text{CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO} = 180,805 + 3,038 * \text{Producción} - 0,060 * \text{Viscosidad} \quad [21]$$

Esta ecuación tiene un  $R^2$  de 81.3752 %

Obteniéndose la figura 35 para los datos analizados.

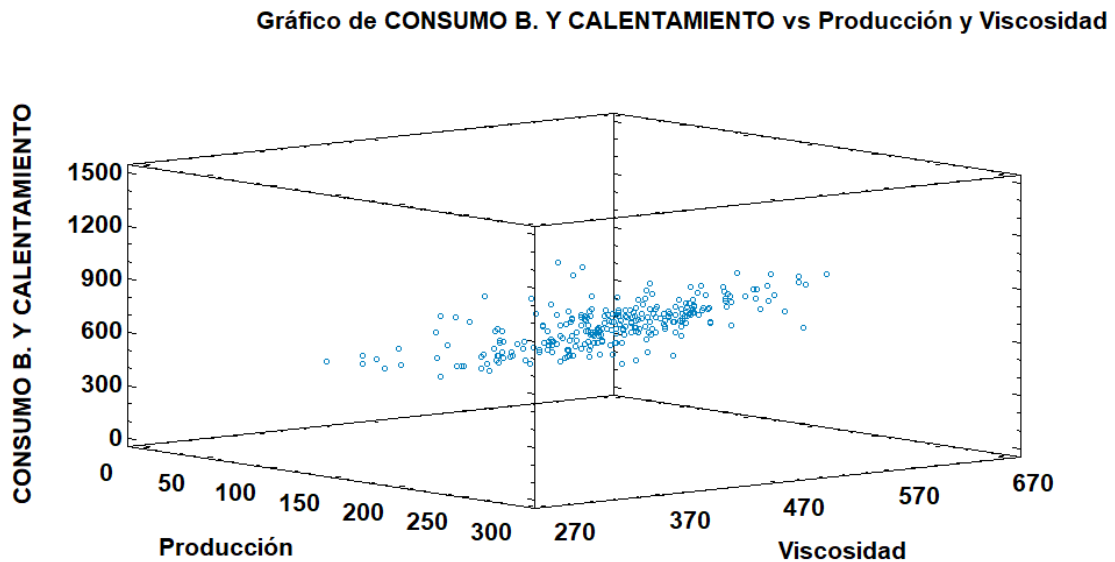


Figura 35. Superficie de respuesta para el consumo y calentamiento

Para fines comparativos se determina la ecuación lineal (ecuación 22) con la variable de mayor fuerza correlacional que es la producción para comparar resultados al final del análisis.

$$\text{CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO} = 149,947 + 3,053 * \text{Producción} \quad [22]$$

Esta ecuación tiene un coeficiente de correlación de 0.9018 y un  $R^2$  de 81.33 %

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

### 3.b Análisis de CONSUMO B, considerando datos Agosto 2018 a junio 2019

Con del software Statgraphics, se realiza el análisis con los datos de consumo de energía utilizada para el bombeo sin considerar el crudo utilizado para el calentamiento, se obtienen los siguientes resultados. Figuras 36 y tabla 13.

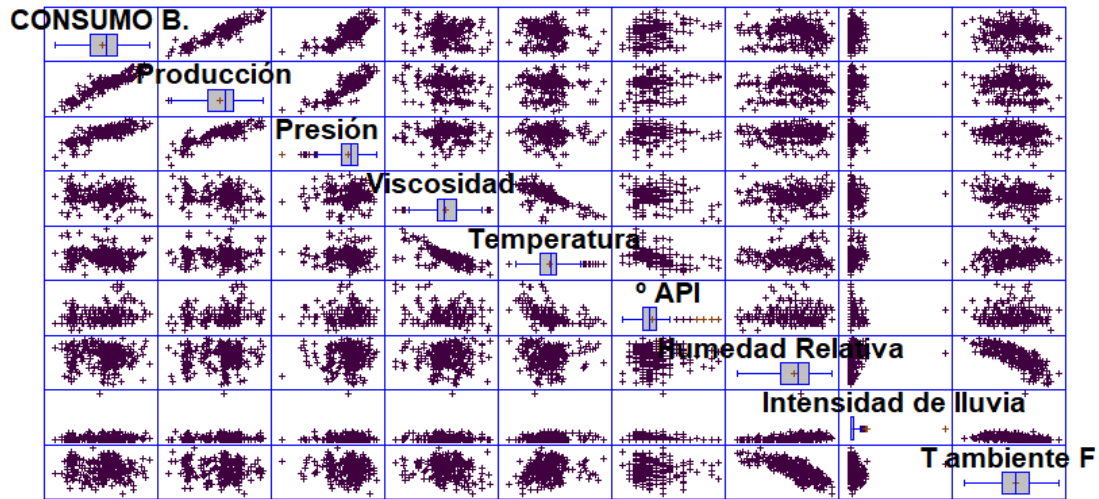


Figura 36. Relación de pares de variables para los datos de agosto 2018 a junio 2019 considerando únicamente el consumo de energía para el sistema de bombeo del oleoducto sin considerar calentamiento.

Tabla 13 Correlaciones momento producto de Pearson y correlaciones significativas.

	CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO	Producción	Presión	Viscosidad	Temperatura	° API	Humedad Relativa	Intensidad de lluvia	T ambiente F
	MWheq	KBPD	PSI	cStk	°F	°API	%	mm/h	° F
CONSUMO B.		0,93	0,80	-0,14	-0,02	0,22	-0,02	0,03	-0,04
Producción	0,93		0,86	-0,20	0,02	0,22	0,08	0,05	-0,10
Presión	0,80	0,86		0,04	-0,04	0,00	0,07	0,01	-0,11
Viscosidad	-0,14	-0,20	0,04		-0,73	-0,17	0,03	-0,02	-0,17
Temperatura	0,02	0,00	0,49	0,49		0,96	0,26	0,81	0,07
° API	0,22	0,00	0,00	0,70	0,70		0,18	0,45	0,11
Humedad Relativa	-0,02	0,68	0,18	0,61	0,61	0,18		0,81	0,07
Intensidad de lluvia	0,03	0,61	0,45	0,81	0,81	0,45	0,81		0,07
T ambiente F	-0,04	0,51	0,11	0,07	0,07	0,11	0,07	0,07	

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

Temperatura	-0,02	0,02	-0,04	-0,73		-0,50	0,01	0,03	0,16
	0,70	0,70	0,47	0,00		0,00	0,87	0,62	0,01
° API	0,22	0,22	0,00	-0,17	-0,50		-0,04	-0,03	-0,08
	0,00	0,00	0,96	0,01	0,00		0,55	0,65	0,21
Humedad Relativa	-0,02	0,08	0,07	0,03	0,01	-0,04		0,20	-0,76
	0,68	0,18	0,26	0,61	0,87	0,55		0,00	0,00
Intensidad de lluvia	0,03	0,05	0,01	-0,02	0,03	-0,03	0,20		-0,15
	0,61	0,45	0,81	0,77	0,62	0,65	0,00		0,01
T ambiente F	-0,04	-0,10	-0,11	-0,17	0,16	-0,08	-0,76	-0,15	
	0,51	0,11	0,07	0,00	0,01	0,21	0,00	0,01	

De la tabla 13 y figura 36 se obtienen los pares de variables que tienen significancia estadística.

CONSUMO B. y Producción  
 CONSUMO B. y Presión  
 CONSUMO B. y Viscosidad  
 CONSUMO B. y ° API  
 Producción y Presión  
  
 Producción y Viscosidad  
 Producción y ° API  
 Viscosidad y Temperatura

Viscosidad y ° API  
 Viscosidad y T ambiente F  
 Temperatura y ° API  
 Temperatura y T ambiente F  
 Humedad Relativa y Intensidad de lluvia  
 Humedad Relativa y T ambiente F  
 Intensidad de lluvia y T ambiente F

De la tabla 13 se deducen las variables con significancia estadística y correlación fuerte que son:

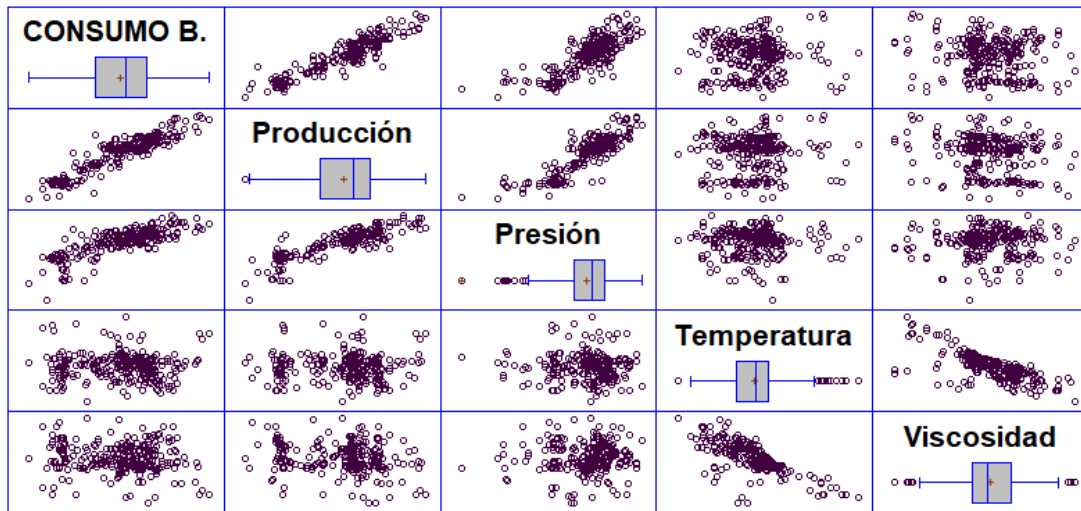
- Consumo y producción
- Consumo y Presión
- Producción y Presión
- Viscosidad y Temperatura

La figura 37 representa la relación de las variables seleccionadas y el modelo que representa el consumo de energía en MWheq en función de la producción, presión, temperatura y viscosidad está determinada por la ecuación 23:

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

$$\text{CONSUMO B.} = 201,872 + 2,943 * \text{Producción} - 0,079 * \text{Presión} + 0,125 * \text{Viscosidad} - 0,474 * \text{Temperatura} \quad [23]$$

Esta ecuación tiene un  $R^2$  de 86.38 %



*Figura 37.* Relación de variables con mayor correlación y significativas analizadas en los datos de agosto 2018 a junio 2019 y considerando únicamente el consumo de energía para sistema de bombeo.

Eliminando la presión y temperatura por ser variables que se correlacionan con la producción y viscosidad respectivamente se obtiene que el consumo de energía en el proceso de bombeo y sin considerar el calentamiento dependen de las variables producción y Viscosidad representada por la ecuación 24.

$$\text{CONSUMO B.} = 53,487 + 2,831 * \text{Producción} + 0,124 * \text{Viscosidad} \quad [24]$$

Esta ecuación tiene un  $R^2$  de 86.60 %

El consumo correlacionado con la Producción y la Viscosidad se muestra en la figura 38

# MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

Gráfico de CONSUMO B. vs Producción y Viscosidad

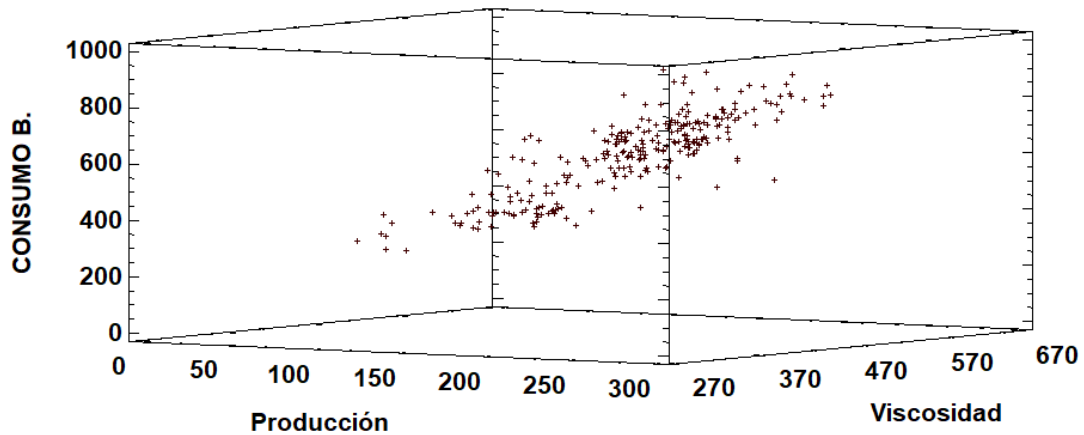


Figura 38. Consumo de energía en MWheq para los datos de agosto 2018 a junio 2019 en función de la producción y viscosidad.

Si se considera solo a la variable producción se obtiene la ecuación 25.

$$\text{CONSUMO B.} = 116,753 + 2,800 * \text{Producción}$$

[25]

Esta ecuación tiene un coeficiente de correlación de 0.9293 y un  $R^2$  de 86.37 %

### 3.c Análisis de CONSUMO DE CRUDO, considerando datos Agosto 2018 a Junio 2019.

Este análisis considera solo el crudo consumido en los equipos principales de bombeo de las cuatro estaciones de bombeo, sin considerar crudo para generación ni calentamiento, y con datos de agosto del 2018 a junio 2019, la figura 39 y la tabla 14 muestran el análisis de correlación y significancia.

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

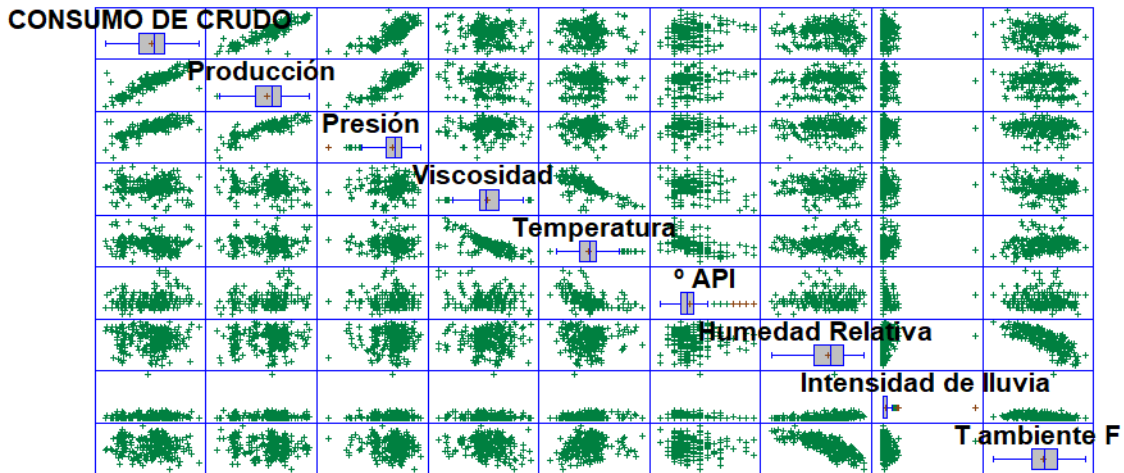


Figura 39. Relación de pares de variables para los datos de agosto 2018 a junio 2019 considerando únicamente el consumo de crudo en las bombas principales del sistema de oleoducto.

Tabla 14 Correlaciones momento producto de Pearson y correlaciones significativas considerando solo el crudo utilizado por las bombas principales.

	CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO	Producción	Presión	Viscosidad	Temperatura	° API	Humedad Relativa	Intensidad de lluvia	T ambiente F
	MWheq	KBPD	PSI	cStk	°F	°API	%	mm/h	° F
CONSUMO B.		0,88	0,77	-0,11	-0,03	0,18	-0,03	0,02	-0,05
Producción	0,88		0,86	-0,20	0,02	0,22	0,08	0,05	-0,10
Presión	0,77	0,86		0,04	-0,04	0,00	0,07	0,01	-0,11
Viscosidad	-0,11	-0,20	0,04		-0,73	-0,17	0,03	-0,02	-0,17
Temperatura	0,08	0,02	-0,04	-0,73		-0,50	0,01	0,03	0,16
° API	0,18	0,22	0,00	-0,17	-0,50		-0,04	-0,03	-0,08

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

	0,00	0,00	0,96	0,01	0,00		0,55	0,65	0,21
Humedad Relativa	-0,03	0,08	0,07	0,03	0,01	-0,04		0,20	-0,76
	0,60	0,18	0,26	0,61	0,87	0,55		0,00	0,00
Intensidad de Lluvia	0,02	0,05	0,01	-0,02	0,03	-0,03	0,20		-0,15
	0,70	0,45	0,81	0,77	0,62	0,65	0,00		0,01
T ambiente F	-0,05	-0,10	-0,11	-0,17	0,16	-0,08	-0,76	-0,15	
	0,40	0,11	0,07	0,00	0,01	0,21	0,00	0,01	

De la figura 39 y tabla 14 se obtienen los pares de variables que tienen significancia estadística.

CONSUMO DE CRUDO y Producción	Viscosidad y ° API
CONSUMO DE CRUDO y Presión	Viscosidad y T ambiente F
CONSUMO DE CRUDO y ° API	Temperatura y ° API
Producción y Presión	Temperatura y T ambiente F
Producción y Viscosidad	Humedad Relativa y Intensidad de lluvia
Producción y ° API	Humedad Relativa y T ambiente F
Viscosidad y Temperatura	Intensidad de lluvia y T ambiente F

De la tabla 14 se deducen las variables con significancia estadística y correlación fuerte son:

- Consumo y producción
- Consumo y Presión
- Producción y Presión
- Viscosidad y Temperatura

La figura 40 representa la relación de las variables seleccionadas y el modelo que representa el consumo de energía en MWheq en función de la producción, presión, temperatura y viscosidad está determinado por la ecuación 26:

$$\text{CONSUMO DE CRUDO} = -167,637 + 4,599 * \text{Producción} - 0,145 * \text{Presión} + 0,426 * \text{Viscosidad} + 1,743 * \text{Temperatura}$$

[26]

Esta ecuación tiene un R<sup>2</sup> de 78.72 %

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

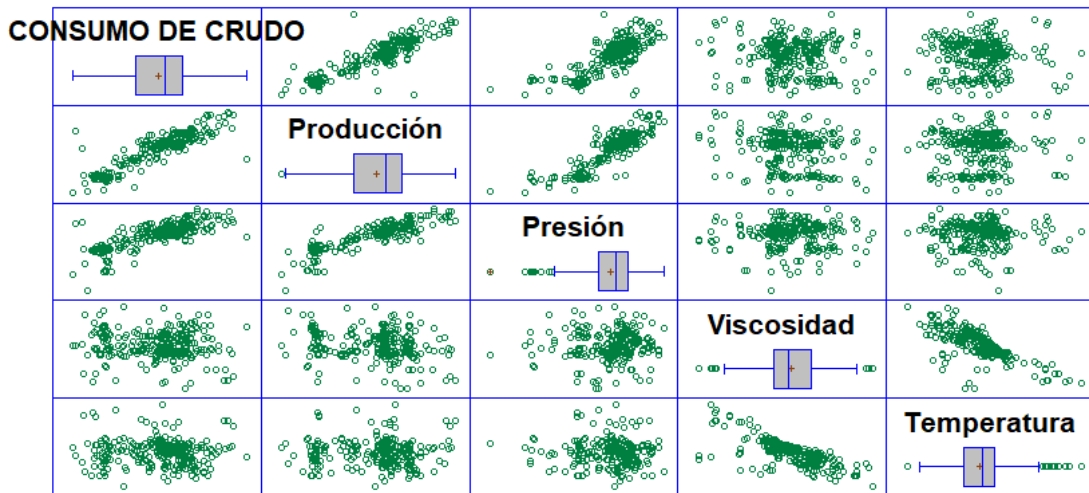


Figura 40. Relación de variables con mayor correlación y significativas analizadas con los datos de agosto 2018 a junio 2019 y considerando únicamente el consumo de crudo en los equipos principales de bombeo.

Eliminando la presión y temperatura por ser variables que se correlacionan con la producción y viscosidad respectivamente se obtiene que los consumos de crudo de los equipos principales de bombeo dependen de las variables producción y Viscosidad representada por la ecuación 27.

$$\text{CONSUMO DE CRUDO} = -69,057 + 4,368 * \text{Producción} + 0,297 * \text{Viscosidad}$$

[27]

Esta ecuación tiene un  $R^2$  de 79.04 %

El consumo correlacionado con la Producción y la Viscosidad se muestra en la figura 41



# MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

Gráfico de CONSUMO DE CRUDO vs Producción y Viscosidad

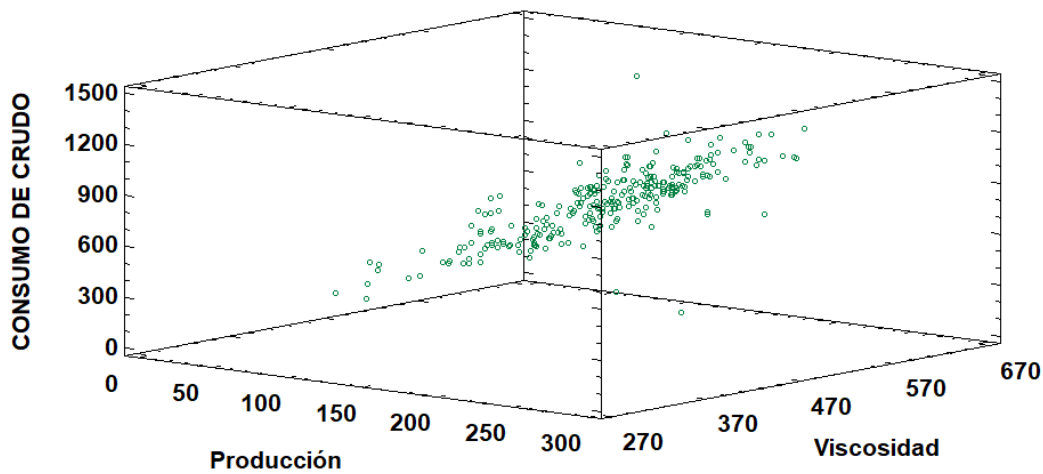


Figura 41. Consumo de crudo en BEP para los datos de agosto del 2018 a junio del 2019 en función de la producción y viscosidad.

Si se considera solo a la variable producción se obtiene la ecuación 28.

$$\text{CONSUMO DE CRUDO} = 82,968 + 4,294 * \text{Producción}$$

[28]

Esta ecuación tiene un coeficiente de correlación de 0.8864 y un  $R^2$  de 78.57 %

## CASO 4

### 4.a Análisis de CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO, considerando datos Julio a diciembre 2019.

Haciendo uso del software Statgraphics se obtiene información estadística y gráfica que permite conocer la participación de las variables en el análisis.

La figura 42 muestra el comportamiento de los datos en relación de variables entre sí, donde se puede ver una relación entre cada par de variables para poder determinar si tiene una tendencia que implique la existencia de una Correlación de Pearson o llamada también relación lineal.

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

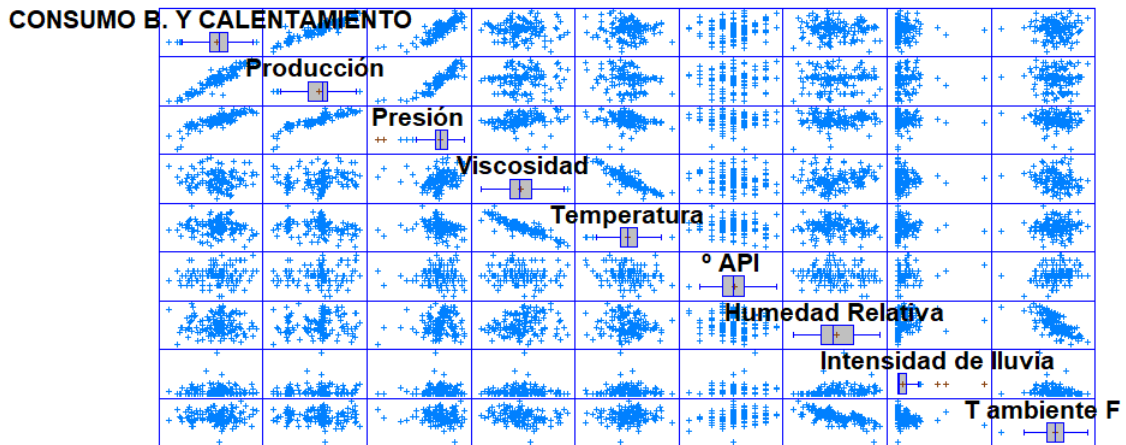


Figura 42. Relación de variables entre sí para los datos de Julio a diciembre del 2019 considerando el consumo tanto de energía para sistema de bombeo como la utilizada en el sistema de calentamiento.

En la tabla 15 se muestra las correlaciones momento producto de Pearson para cada par de variables y la significancia estadística de las correlaciones existentes.

Tabla 15 Correlaciones momento producto de Pearson y correlaciones significativas.

	CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO	Producción	Presión	Viscosidad	Temperatura	° API	Humedad Relativa	Intensidad de lluvia	T ambiente F
MWheq		KBPD	PSI	cStk	°F	°API	%	mm/h	° F
CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO		0,92	0,81	-0,01	-0,05	0,11	-0,05	0,01	0,01
Producción	0,92		0,87	0,13	-0,18	0,13	0,07	0,03	-0,04
Presión	0,81	0,87		0,22	-0,25	0,04	0,14	-0,01	-0,12
Viscosidad	-0,01	0,13	0,22		-0,88	-0,13	0,20	0,00	-0,20
Temperatura	0,86	0,11	0,01			0,11	0,01	0,99	0,01
° API	-0,05	-0,18	-0,25	-0,88			-0,20	-0,13	-0,04
Humedad Relativa	0,56	0,03	0,00	0,00				0,12	0,66
Intensidad de lluvia	0,11	0,13	0,04	-0,13	-0,20		-0,09	0,13	0,28
T ambiente F	0,16	0,11	0,65	0,11	0,02		0,29	0,10	0,00
	-0,05	0,07	0,14	0,20	-0,13	-0,09		0,22	-0,69
	0,55	0,41	0,08	0,01	0,12	0,29		0,01	0,00
	0,01	0,03	-0,01	0,00	-0,04	0,13	0,22		-0,25

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

	0,87	0,67	0,92	0,99	0,66	0,10	0,01		0,00
T ambiente F	0,01	-0,04	-0,12	-0,20	0,07	0,28	-0,69	-0,25	
	0,91	0,63	0,16	0,01	0,38	0,00	0,00	0,00	

De la tabla 15 se obtienen la correlación de los pares de datos y la intensidad de dicha correlación (valores cercanos a -1 y +1), y con el parámetro P representado con el segundo resultado de cada par de datos la significancia estadística representativa (menor a 0.05). Los pares de datos con correlación y significancia se describen a continuación.

CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO y Producción	Viscosidad y Humedad Relativa
CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO y Presión	Viscosidad y T ambiente F
Producción y Presión	Temperatura y ° API
Producción y Temperatura	° API y T ambiente F
Presión y Viscosidad	Humedad Relativa y Intensidad de lluvia
Presión y Temperatura	Humedad Relativa y T ambiente F
Viscosidad y Temperatura	Intensidad de lluvia y T ambiente F

Se consideran en el análisis los pares de variables con significancia y correlación representativa reduciendo los pares de variables a:

- Consumo y producción
- Consumo y Presión
- Producción y Presión
- Viscosidad y Temperatura

La figura 43 representa la relación entre las cuatro variables seleccionadas y la ecuación de consumo está determinada por la ecuación 29:

$$\text{CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO} = 138,067 + 2,979 * \text{Producción} + 0,180 * \text{Presión} - 0,717 * \text{Viscosidad} + 0,745 * \text{Temperatura}$$

[29]

Esta ecuación tiene un R<sup>2</sup> de 86.70 %

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

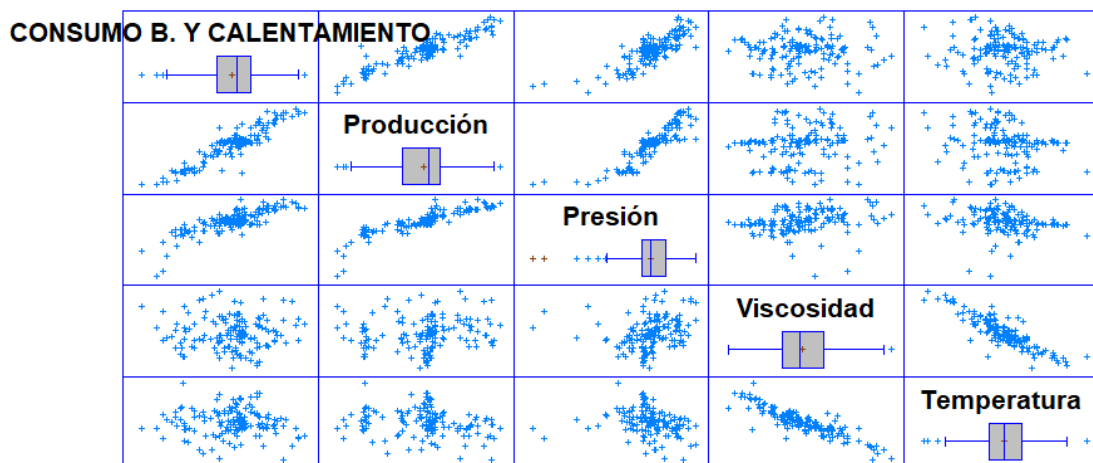


Figura 43. Pares de Variables con correlación fuerte y significativa

De la figura 43 y de la tabla 15 se determina que existe una correlación significativa entre Producción y Presión y entre Viscosidad y Temperatura lo que implica que son variables dependientes entre sí, por lo que se eliminan la Presión y la Temperatura del análisis, resultando las variables independientes para el análisis final:

- Producción
- Viscosidad

Las mismas que relacionadas con el consumo energético para el sistema de bombeo y el calentamiento se reduce a la ecuación de dos variables determinada por la ecuación 30:

$$\text{CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO} = 434,959 + 3,246 * \text{Producción} - 0,721 * \text{Viscosidad} \quad [30]$$

Esta ecuación tiene un  $R^2$  de 86.5 %

Obteniéndose la figura 44a y 44b para los datos analizados.

# MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

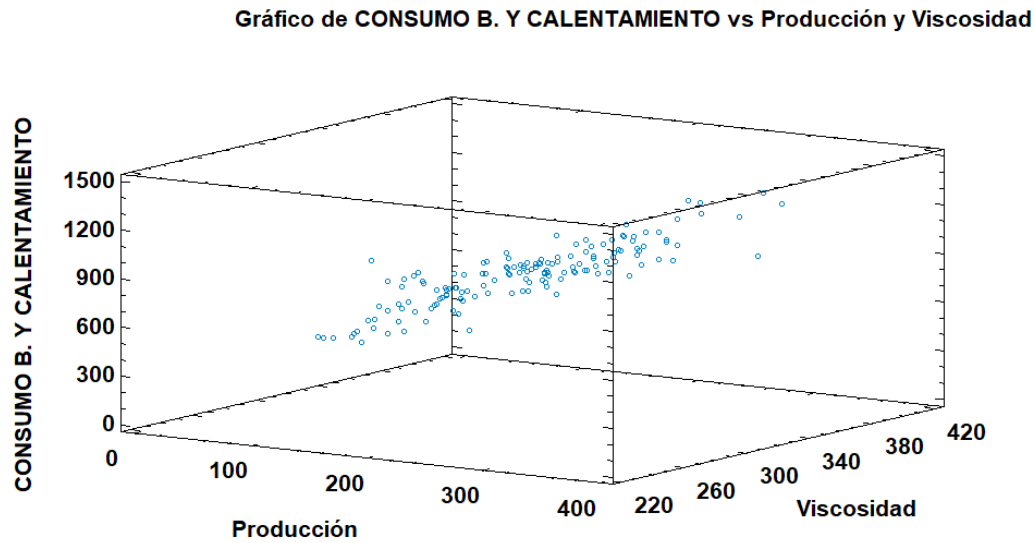


Figura 44a. Superficie de respuesta para el consumo y calentamiento

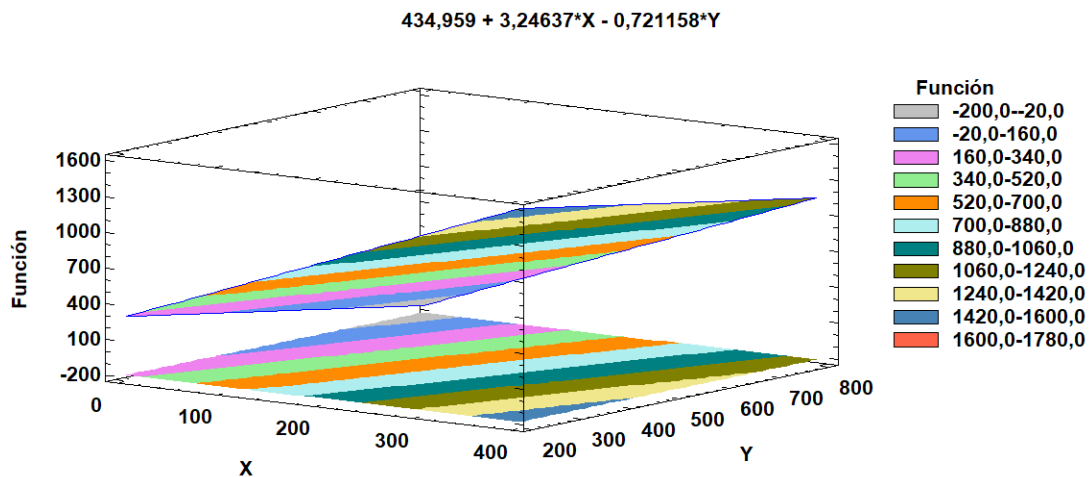


Figura 44b. Superficie de respuesta para el consumo y calentamiento

Para fines comparativos se determina la ecuación lineal (ecuación 31) con la variable de mayor fuerza correlacional que es la producción para comparar resultados al final del análisis.

$$\text{CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO} = 221,514 + 3,186 * \text{Producción}$$

[31]

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

Esta ecuación tiene un coeficiente de correlación de 0.9202 y un R<sup>2</sup> de 84.69 %

### 4.b Análisis de CONSUMO B, considerando datos de Julio a Diciembre del 2019

Con el software Statgraphics, se realiza el análisis con los datos de consumo de energía utilizada para el bombeo sin considerar el crudo utilizado para el calentamiento, se obtienen los siguientes resultados. Figuras 45 y tabla 16.

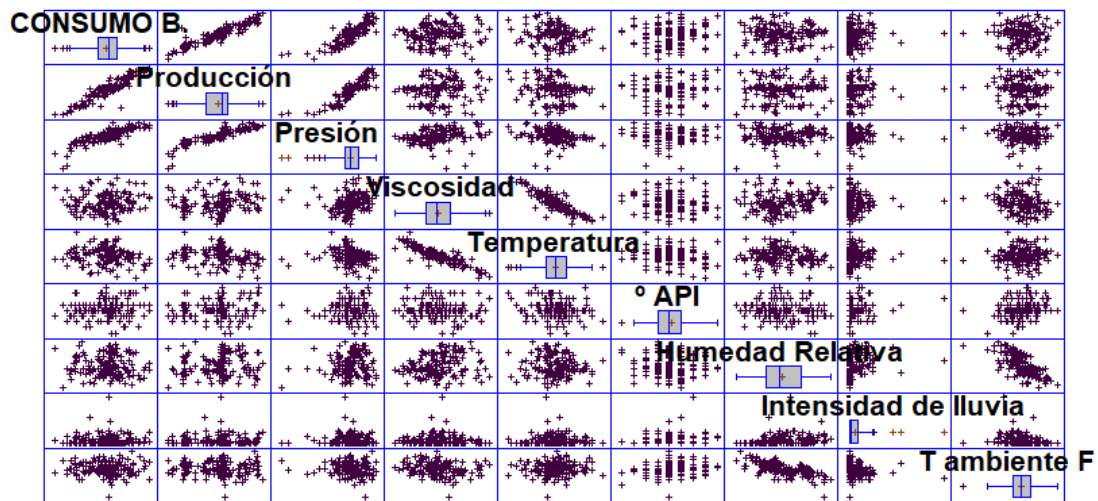


Figura 45. Relación de pares de variables para los datos de julio a diciembre del 2019 considerando únicamente el consumo de energía para el sistema de bombeo del oleoducto sin considerar calentamiento.

Tabla 16 Correlaciones momento producto de Pearson y correlaciones significativas.

	CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO	Producción	Presión	Viscosidad	Temperatura	° API	Humedad Relativa	Intensidad de lluvia	T ambiente F
	MWheq	KBP D	PSI	cStk	°F	°API	%	mm/ h	° F
CONSUMO B.		0,92	0,82	0,08	-0,15	0,11	-0,02	0,01	-0,02
Producción	0,92	0,00	0,00	0,31	0,07	0,20	0,77	0,86	0,79
			0,87	0,13	-0,18	0,13	0,07	0,03	-0,04

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

	0,00		0,00	0,11	0,03	0,11	0,41	0,67	0,63
Presión	0,82	0,87		0,22	-0,25	0,04	0,14	-0,01	-0,12
	0,00	0,00		0,01	0,00	0,65	0,08	0,92	0,16
Viscosidad	0,08	0,13	0,22		-0,88	-0,13	0,20	0,00	-0,20
	0,31	0,11	0,01		0,00	0,11	0,01	0,99	0,01
Temperatura	-0,15	-0,18	-0,25	-0,88		-0,20	-0,13	-0,04	0,07
	0,07	0,03	0,00	0,00		0,02	0,12	0,66	0,38
° API	0,11	0,13	0,04	-0,13	-0,20		-0,09	0,13	0,28
	0,20	0,11	0,65	0,11	0,02		0,29	0,10	0,00
Humedad Relativa	-0,02	0,07	0,14	0,20	-0,13	-0,09		0,22	-0,69
	0,77	0,41	0,08	0,01	0,12	0,29		0,01	0,00
Intensidad de lluvia	0,01	0,03	-0,01	0,00	-0,04	0,13	0,22		-0,25
	0,86	0,67	0,92	0,99	0,66	0,10	0,01		0,00
T ambiente F	-0,02	-0,04	-0,12	-0,20	0,07	0,28	-0,69	-0,25	
	0,79	0,63	0,16	0,01	0,38	0,00	0,00	0,00	

De la tabla 16 y figura 45 se obtienen los pares de variables que tienen significancia estadística.

CONSUMO B. y Producción  
 CONSUMO B. y Presión  
 Producción y Presión  
 Producción y Temperatura  
 Presión y Viscosidad  
 Presión y Temperatura  
 Viscosidad y Temperatura

Viscosidad y Humedad Relativa  
 Viscosidad y T ambiente F  
 Temperatura y ° API  
 ° API y T ambiente F  
 Humedad Relativa y Intensidad de lluvia  
 Humedad Relativa y T ambiente F  
 Intensidad de lluvia y T ambiente F

De la tabla 16 se deducen las variables con significancia estadística y correlación fuerte que son:

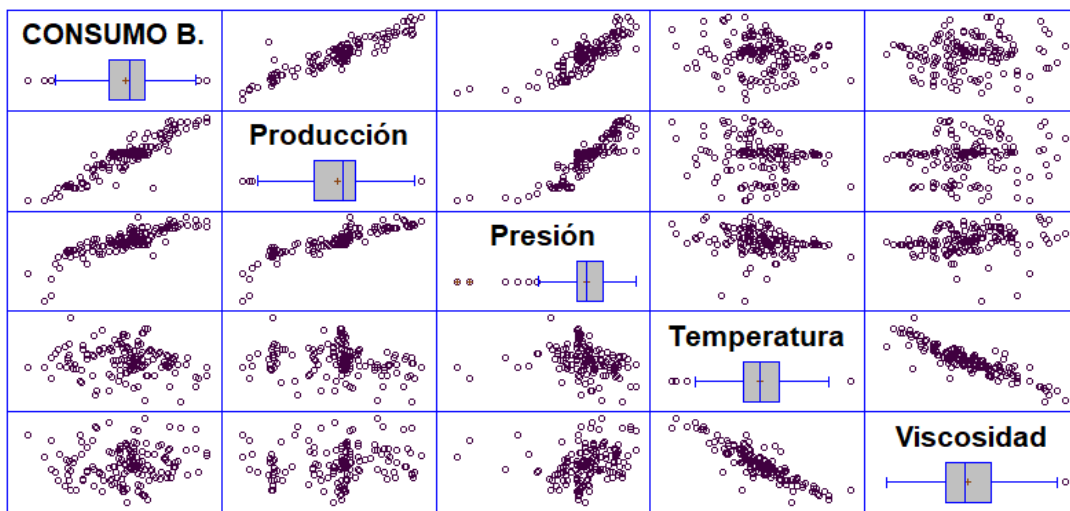
- Consumo y producción
- Consumo y Presión
- Producción y Presión
- Viscosidad y Temperatura

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

La figura 46 representa la relación de las variables seleccionadas y el modelo que representa el consumo de energía en MWheq en función de la producción, presión, temperatura y viscosidad está determinada por la ecuación 32:

$$\text{CONSUMO B.} = 373,857 + 2,392 * \text{Producción} + 0,177 * \text{Presión} - 0,399 * \text{Viscosidad} - 2,295 * \text{Temperatura} \quad [32]$$

Esta ecuación tiene un  $R^2$  de 85.74 %



*Figura 46.* Relación de variables con mayor correlación y significativas analizadas en los datos de julio a diciembre del 2019 y considerando únicamente el consumo de energía para sistema de bombeo.

Eliminando la presión y temperatura por ser variables que se correlacionan con la producción y viscosidad respectivamente se obtiene que el consumo de energía en el proceso de bombeo y sin considerar el calentamiento dependen de las variables producción y Viscosidad representada por la ecuación 33.

$$\text{CONSUMO B.} = 202,938 + 2,667 * \text{Producción} - 0,164 * \text{Viscosidad} \quad [33]$$

Esta ecuación tiene un  $R^2$  de 85.42 %

El consumo correlacionado con la Producción y la Viscosidad se muestra en la figura 47a y 47b



# MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

Gráfico de CONSUMO B. vs Producción y Viscosidad

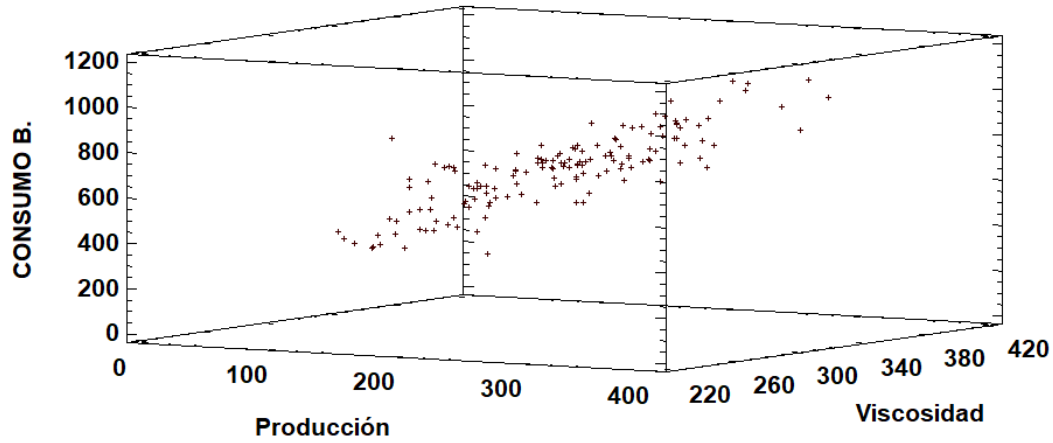


Figura 47a. Consumo de energía en MWheq para los datos de julio a diciembre del 2019 en función de la producción y viscosidad.

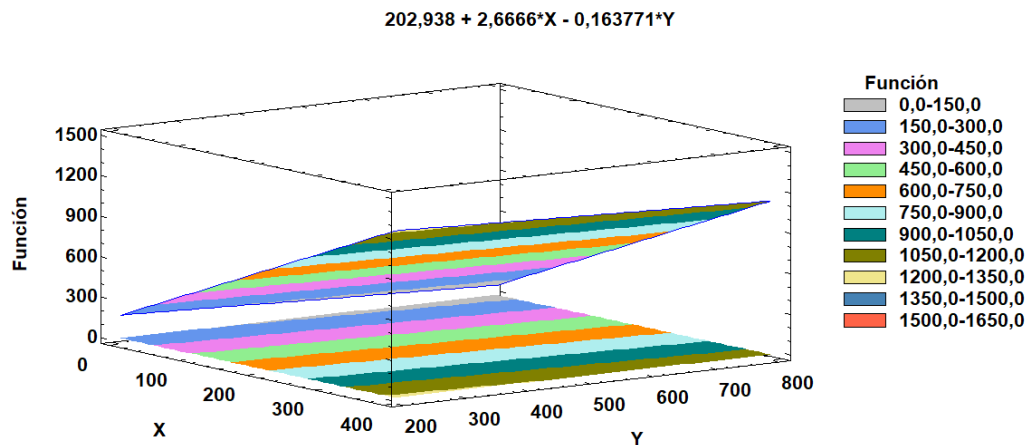


Figura 47b. Superficie de respuesta para el consumo y calentamiento

Si se considera solo a la variable producción se obtiene la ecuación 34.

$$\text{CONSUMO B.} = 154,466 + 2,653 * \text{Producción}$$

[34]

Esta ecuación tiene un coeficiente de correlación de 0.9234 y un  $R^2$  de 85.28 %

## 4.c Análisis de CONSUMO DE CRUDO, considerando datos de Julio a diciembre del 2019.

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

Este análisis considera solo el crudo consumido en los equipos principales de bombeo de las cuatro estaciones de bombeo, sin considerar crudo para generación ni calentamiento, y con datos de julio a diciembre del 2019, la figura 348y la tabla 17 muestran el análisis de correlación y significancia.

Correlación gráfica

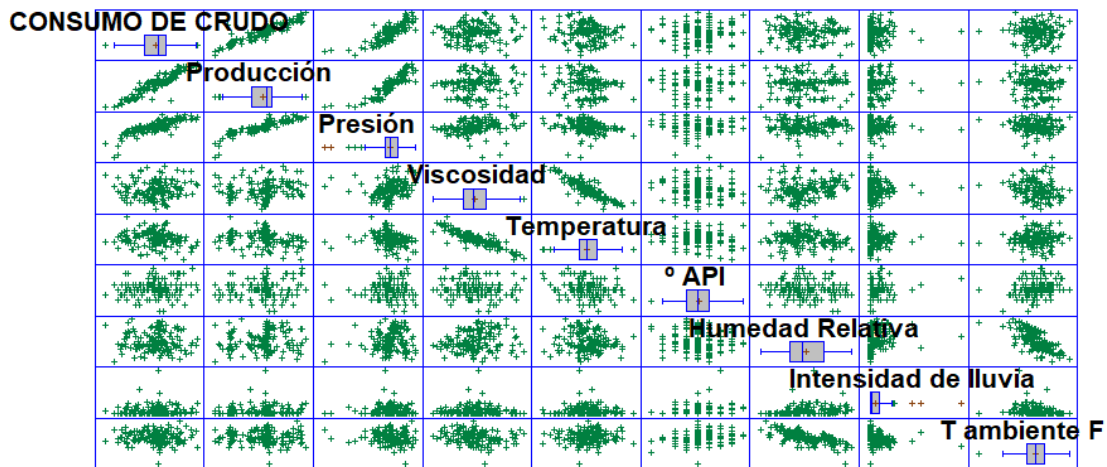


Figura 48. Relación de pares de variables para los datos de julio a diciembre del 2019 considerando únicamente el consumo de crudo en las bombas principales del sistema de oleoducto.

Tabla 17 Correlaciones momento producto de Pearson y correlaciones significativas considerando solo el crudo utilizado por las bombas principales.

	CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO	Producción	Presión	Viscosidad	Temperatura	° API	Humedad Relativa	Intensidad de lluvia	T ambiente F
	MWheq	KBPD	PSI	cStk	°F	°API	%	mm/h	° F
CONSUMO B.		0,92	0,82	0,08	-0,14	0,11	-0,02	0,02	-0,02
Producción	0,92		0,87	0,13	-0,18	0,13	0,07	0,03	-0,04
Presión	0,00	0,00		0,11	0,03	0,11	0,41	0,67	0,63

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

Presión	0,82	0,87		0,22	-0,25	0,04	0,14	-0,01	-0,12
	0,00	0,00		0,01	0,00	0,65	0,08	0,92	0,16
Viscosidad	0,08	0,13	0,22		-0,88	-0,13	0,20	0,00	-0,20
	0,36	0,11	0,01		0,00	0,11	0,01	0,99	0,01
Temperatura	-0,14	-0,18	-0,25	-0,88		-0,20	-0,13	-0,04	0,07
	0,08	0,03	0,00	0,00		0,02	0,12	0,66	0,38
° API	0,11	0,13	0,04	-0,13	-0,20		-0,09	0,13	0,28
	0,16	0,11	0,65	0,11	0,02		0,29	0,10	0,00
Humedad Relativa	-0,02	0,07	0,14	0,20	-0,13	-0,09		0,22	-0,69
	0,77	0,41	0,08	0,01	0,12	0,29		0,01	0,00
Intensidad de lluvia	0,02	0,03	-0,01	0,00	-0,04	0,13	0,22		-0,25
	0,84	0,67	0,92	0,99	0,66	0,10	0,01		0,00
T ambiente F	-0,02	-0,04	-0,12	-0,20	0,07	0,28	-0,69	-0,25	
	0,84	0,63	0,16	0,01	0,38	0,00	0,00	0,00	

De la figura 48 y tabla 17 se obtienen los pares de variables que tienen significancia estadística.

CONSUMO DE CRUDO y Producción	Viscosidad y Humedad Relativa
CONSUMO DE CRUDO y Presión	Viscosidad y T ambiente F
Producción y Presión	Temperatura y ° API
Producción y Temperatura	° API y T ambiente F
Presión y Viscosidad	Humedad Relativa y Intensidad de lluvia
Presión y Temperatura	Humedad Relativa y T ambiente F
Viscosidad y Temperatura	Intensidad de lluvia y T ambiente F

De la tabla 17 se deducen las variables con significancia estadística y correlación fuerte son:

- Consumo y producción
- Consumo y Presión
- Producción y Presión
- Viscosidad y Temperatura

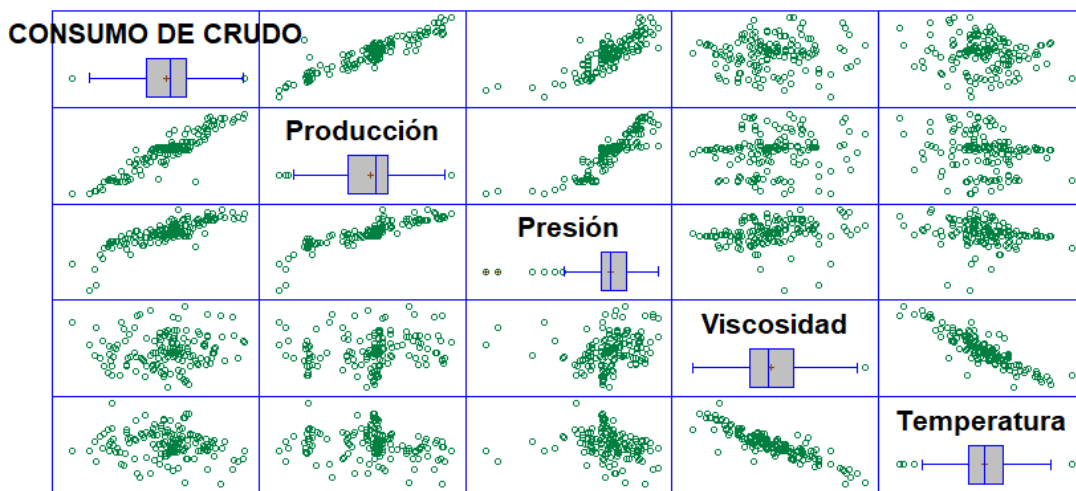
## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

La figura 49 representa la relación de las variables seleccionadas y el modelo que representa el consumo de energía en MWheq en función de la producción, presión, temperatura y viscosidad está determinado por la ecuación 35:

$$\text{CONSUMO DE CRUDO} = 700,743 + 3,841 * \text{Producción} + 0,222 * \text{Presión} - 0,75 * \text{Viscosidad} - 4,731 * \text{Temperatura}$$

[35]

Esta ecuación tiene un  $R^2$  de 85.62 %



*Figura 49.* Relación de variables con mayor correlación y significativas analizadas con los datos de julio a diciembre del 2019 y considerando únicamente el consumo de crudo en los equipos principales de bombeo.

Eliminando la presión y temperatura por ser variables que se correlacionan con la producción y viscosidad respectivamente se obtiene que el consumo de crudo de los equipos principales de bombeo depende de las variables producción y Viscosidad representada por la ecuación 36.

$$\text{CONSUMO DE CRUDO} = 203,738 + 4,194 * \text{Producción} - 0,309 * \text{Viscosidad}$$

[36]

Esta ecuación tiene un  $R^2$  de 85.36 %

El consumo correlacionado con la Producción y la Viscosidad se muestra en la figura 50a y 50b

# MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

Gráfico de CONSUMO DE CRUDO vs Producción y Viscosidad

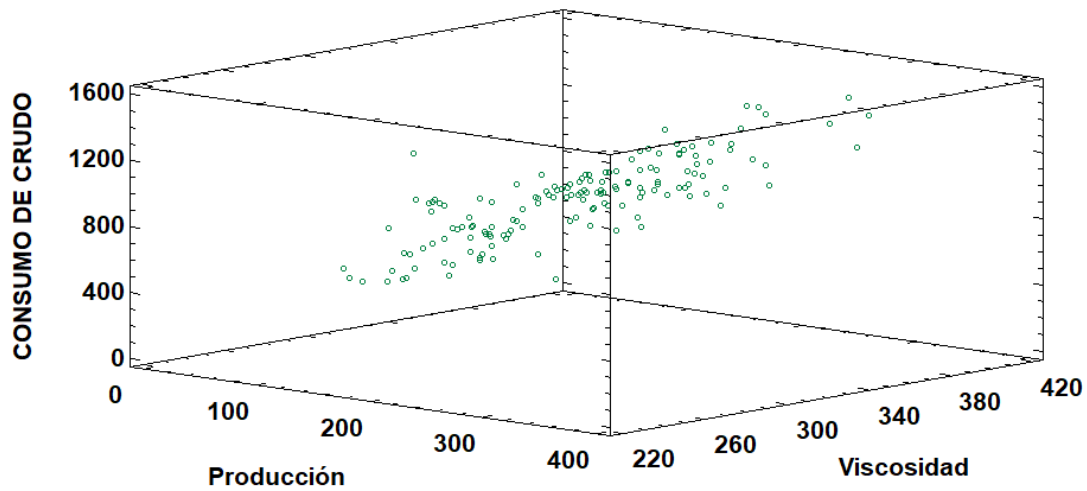


Figura 50a2. Consumo de crudo en BEP para los datos de julio a diciembre del 2019 en función de la producción y viscosidad.

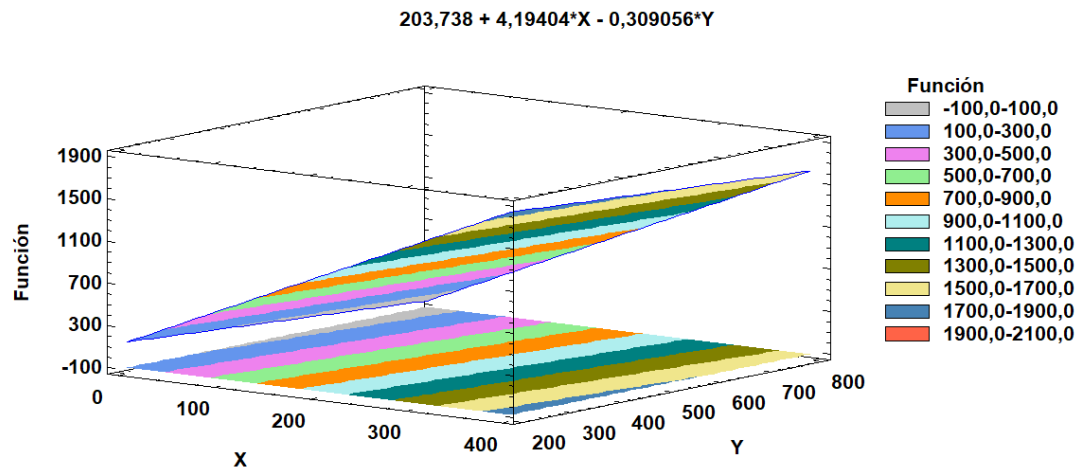


Figura 50b. Superficie de respuesta para el consumo y calentamiento  
Si se considera solo a la variable producción se obtiene la ecuación 37.

$$\text{CONSUMO DE CRUDO} = 112,265 + 4,168 * \text{Producción}$$

[37]

Esta ecuación tiene un coeficiente de correlación de 0.9229 y un  $R^2$  de 85.17 %

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

**Anexo 11. Calculo del error del modelo propuesto con los datos actuales de proceso.**

<b>ECUACION 30</b>	<b>ECUACION 4</b>
<b><math>C_H = 399,355 + 3,06*X - 0,545*Y.</math></b>	<b><math>C_H = 122,84 + 3,241*X</math></b>

**(datos de Enero a Mayo del 2020)**

FECHA	CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO		VISCOSIDAD		3	4	30	31
	mWeq	cStk			%	%	%	%
1/1/2020	741,98	267,51	7%	21%	5%	8%		
2/1/2020	834,73	284,94	13%	24%	11%	13%		
3/1/2020	1037,25	233,76	12%	23%	9%	15%		
4/1/2020	941,70	248,56	8%	19%	5%	10%		
5/1/2020	755,12	263,91	8%	22%	6%	10%		
8/1/2020	834,43	244,62	-9%	3%	-13%	-7%		
9/1/2020	558,25	269,04	-8%	11%	-10%	-5%		
10/1/2020	566,77	270,95	2%	22%	1%	5%		
11/1/2020	853,02	255,47	7%	20%	5%	9%		
12/1/2020	991,28	224,32	8%	20%	5%	11%		
13/1/2020	1331,14	255,48	12%	19%	9%	12%		
14/1/2020	1373,75	251,09	12%	18%	8%	12%		
15/1/2020	1205,07	245,67	-1%	6%	-5%	-1%		
16/1/2020	1221,12	244,59	0%	7%	-4%	1%		
17/1/2020	871,40	269,88	-4%	7%	-7%	-3%		
19/1/2020	801,97	339,34	3%	11%	2%	0%		
20/1/2020	1136,32	265,50	0%	7%	-4%	0%		
21/1/2020	485,91	322,35	-6%	11%	-6%	-8%		
22/1/2020	803,76	245,16	4%	18%	1%	7%		
23/1/2020	580,52	385,71	13%	22%	16%	6%		
24/1/2020	989,78	225,60	9%	20%	5%	12%		
25/1/2020	577,17	281,27	-3%	14%	-5%	-2%		
29/1/2020	1036,87	254,40	-12%	-4%	-17%	-12%		
30/1/2020	1164,93	257,12	-1%	6%	-5%	-1%		

**MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE  
CRUDOS PESADOS**

31/1/2020	1132,25	264,04	8%	16%	5%	8%
1/2/2020	1332,60	274,48	14%	19%	11%	13%
2/2/2020	1343,03	262,13	12%	18%	9%	12%
3/2/2020	932,02	251,27	5%	16%	1%	6%
4/2/2020	986,92	249,26	7%	18%	4%	9%
5/2/2020	842,13	246,64	-7%	5%	-11%	-5%
6/2/2020	519,09	317,29	-5%	11%	-5%	-7%
7/2/2020	864,46	252,95	-2%	9%	-6%	-1%
9/2/2020	377,57	512,43	28%	25%	40%	-1%
10/2/2020	652,92	305,59	4%	18%	3%	4%
11/2/2020	735,10	276,86	1%	15%	-1%	2%
12/2/2020	1069,22	265,87	0%	8%	-3%	0%
13/2/2020	1143,45	283,14	-3%	3%	-6%	-4%
16/2/2020	788,88	238,41	-13%	0%	-17%	-11%
17/2/2020	680,85	253,31	-27%	-12%	-31%	-25%
18/2/2020	884,70	238,20	-3%	9%	-7%	-1%
19/2/2020	651,72	263,97	0%	16%	-3%	2%
20/2/2020	554,07	295,61	-12%	5%	-13%	-12%
21/2/2020	937,30	223,91	3%	16%	-1%	6%
22/2/2020	901,04	229,27	0%	13%	-3%	3%
23/2/2020	963,62	234,26	5%	17%	2%	8%
24/2/2020	1131,03	247,24	1%	9%	-3%	2%
25/2/2020	1239,94	247,32	5%	12%	1%	6%
26/2/2020	713,16	242,53	-9%	7%	-13%	-6%
27/2/2020	518,11	244,76	-15%	9%	-17%	-9%
28/2/2020	500,45	251,95	-18%	6%	-21%	-13%
29/2/2020	679,52	272,86	-6%	9%	-8%	-4%
1/3/2020	1120,17	274,54	2%	8%	-2%	1%
2/3/2020	1042,53	268,74	-5%	3%	-9%	-5%
3/3/2020	1108,77	255,74	-6%	1%	-10%	-6%
4/3/2020	936,26	243,44	5%	16%	1%	7%
5/3/2020	919,39	246,64	3%	14%	-1%	5%
6/3/2020	961,32	237,24	6%	17%	3%	8%

**MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE  
CRUDOS PESADOS**

7/3/2020	944,38	213,23	1%	14%	-3%	5%
8/3/2020	812,44	202,75	-5%	11%	-9%	1%
9/3/2020	499,80	364,67	-2%	10%	0%	-9%
10/3/2020	766,68	218,84	-20%	-5%	-25%	-16%
11/3/2020	1066,20	218,84	14%	25%	10%	17%
12/3/2020	673,27	238,41	4%	22%	1%	9%
13/3/2020	598,51	250,56	0%	20%	-2%	5%
16/3/2020	914,53	311,42	5%	12%	2%	3%
17/3/2020	834,29	246,68	-13%	0%	-17%	-11%
18/3/2020	990,38	249,69	8%	18%	5%	9%
19/3/2020	685,11	307,95	-3%	8%	-5%	-5%
20/3/2020	591,41	439,09	18%	21%	22%	6%
21/3/2020	689,64	283,58	17%	32%	16%	18%
22/3/2020	893,03	276,84	18%	29%	17%	19%
23/3/2020	1154,32	255,05	22%	31%	20%	23%
24/3/2020	1168,42	234,32	21%	30%	18%	23%
25/3/2020	674,54	251,10	-5%	12%	-8%	-2%
26/3/2020	1153,05	240,25	2%	10%	-2%	3%
27/3/2020	1296,99	267,12	10%	16%	7%	10%
28/3/2020	1196,60	264,00	2%	9%	-2%	2%
29/3/2020	1014,75	247,07	4%	13%	0%	5%
30/3/2020	367,66	323,15	-7%	17%	-4%	-9%
31/3/2020	850,34	364,33	10%	16%	10%	5%
1/4/2020	919,98	238,25	-3%	9%	-7%	-1%
2/4/2020	936,85	238,20	0%	12%	-3%	2%
3/4/2020	907,32	225,63	-5%	8%	-9%	-2%
4/4/2020	916,91	294,79	4%	12%	1%	3%
6/4/2020	836,09	370,23	12%	17%	11%	6%
7/4/2020	558,75	289,35	7%	25%	7%	9%
7/5/2020	418,81	507,63	32%	29%	42%	6%
8/5/2020	832,89	362,56	23%	29%	23%	18%
9/5/2020	708,80	317,10	28%	40%	28%	27%
10/5/2020	1633,34	233,91	38%	44%	35%	39%



**MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE  
CRUDOS PESADOS**

11/5/2020	1386,14	227,48	19%	26%	15%	20%
12/5/2020	1591,35	249,67	27%	32%	24%	27%
13/5/2020	1557,03	211,74	20%	26%	16%	21%
14/5/2020	1493,01	190,69	15%	23%	11%	17%
15/5/2020	1013,51	218,55	20%	33%	17%	24%
16/5/2020	900,90	324,71	12%	19%	10%	9%
17/5/2020	410,01	596,83	43%	29%	57%	5%
18/5/2020	755,15	807,18	51%	26%	62%	14%
19/5/2020	656,14	860,11	63%	31%	78%	17%
20/5/2020	653,48	757,93	54%	30%	66%	16%
21/5/2020	777,38	824,86	66%	41%	77%	29%
22/5/2020	704,33	631,39	47%	35%	55%	22%
23/5/2020	974,56	572,98	38%	31%	41%	22%
24/5/2020	1038,02	481,00	28%	26%	30%	18%
25/5/2020	998,48	445,48	22%	22%	22%	13%
26/5/2020	1069,07	435,18	27%	27%	27%	19%
27/5/2020	355,14	664,39	27%	-1%	46%	-27%

## MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS

### Anexo 12. Base de Datos operativos 2020 (Enero-Mayo)

FECHA	CONSUMO CRUDO	PRODUCCION	CONSUMO B.	CONSUMO B. Y CALENTAMIENTO	VISCOSIDAD
	BEP SIN GEN	KBPD	mWeq	mWeq	cStk
1/1/2020	755,60	143,62	557,34	741,98	267,51
2/1/2020	884,59	158,85	642,10	834,73	284,94
3/1/2020	1077,78	207,95	763,32	1037,25	233,76
4/1/2020	1020,18	197,49	726,62	941,70	248,56
5/1/2020	786,68	143,44	573,85	755,12	263,91
8/1/2020	889,48	210,87	655,30	834,43	244,62
9/1/2020	594,85	115,30	452,05	558,25	269,04
10/1/2020	542,82	99,37	428,19	566,77	270,95
11/1/2020	907,39	173,11	653,34	853,02	255,47
12/1/2020	1039,21	206,79	739,09	991,28	224,32
13/1/2020	1536,96	296,65	1053,29	1331,14	255,48
14/1/2020	1568,31	309,76	1083,35	1373,75	251,09
15/1/2020	1348,45	311,41	936,61	1205,07	245,67
16/1/2020	1352,10	311,28	941,51	1221,12	244,59
17/1/2020	928,09	212,67	682,08	871,40	269,88
19/1/2020	844,06	183,21	618,04	801,97	339,34
20/1/2020	1293,52	287,84	903,15	1136,32	265,50
21/1/2020	438,28	95,78	365,31	485,91	322,35
22/1/2020	847,34	165,96	616,24	803,76	245,16
23/1/2020	584,78	102,31	446,98	580,52	385,71
24/1/2020	1058,00	204,90	746,13	989,78	225,60
25/1/2020	557,03	114,59	433,87	577,17	281,27
29/1/2020	1182,59	295,72	838,72	1036,87	254,40
30/1/2020	1296,95	298,36	910,07	1164,93	257,12
31/1/2020	1250,40	256,75	872,61	1132,25	264,04
1/2/2020	1513,70	293,43	1041,59	1332,60	274,48
2/2/2020	1547,48	302,79	1063,56	1343,03	262,13
3/2/2020	1064,03	204,71	758,66	932,02	251,27

**MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE  
CRUDOS PESADOS**

4/2/2020	1094,91	212,28	772,75	986,92	249,26
5/2/2020	914,67	209,22	663,25	842,13	246,64
6/2/2020	506,41	104,77	402,71	519,09	317,29
7/2/2020	893,56	203,69	648,31	864,46	252,95
9/2/2020	320,30	50,02	291,24	377,57	512,43
10/2/2020	647,72	128,18	492,40	652,92	305,59
11/2/2020	729,24	155,62	546,10	735,10	276,86
12/2/2020	1163,01	265,06	819,49	1069,22	265,87
13/2/2020	1296,34	303,77	908,93	1143,45	283,14
16/2/2020	785,96	204,45	585,25	788,88	238,41
17/2/2020	758,19	197,34	566,62	680,85	253,31
18/2/2020	847,65	209,72	623,90	884,70	238,20
19/2/2020	626,20	130,52	482,10	651,72	263,97
20/2/2020	550,18	124,88	430,48	554,07	295,61
21/2/2020	943,21	206,20	680,37	937,30	223,91
22/2/2020	893,60	203,53	653,39	901,04	229,27
23/2/2020	1020,36	209,53	728,54	963,62	234,26
24/2/2020	1252,20	279,06	866,92	1131,03	247,24
25/2/2020	1338,39	298,24	934,89	1239,94	247,32
26/2/2020	729,99	167,38	537,36	713,16	242,53
27/2/2020	468,67	107,29	378,03	518,11	244,76
28/2/2020	449,25	107,81	367,17	500,45	251,95
29/2/2020	656,34	152,60	508,31	679,52	272,86
1/3/2020	1184,53	278,54	837,20	1120,17	274,54
2/3/2020	1132,49	274,63	803,54	1042,53	268,74
3/3/2020	1124,55	299,30	798,76	1108,77	255,74
4/3/2020	993,77	204,69	714,25	936,26	243,44
5/3/2020	915,70	205,87	660,92	919,39	246,64
6/3/2020	905,79	206,84	655,56	961,32	237,24
7/3/2020	912,70	212,95	659,89	944,38	213,23
8/3/2020	801,20	184,11	589,88	812,44	202,75
9/3/2020	467,81	100,73	376,09	499,80	364,67
10/3/2020	839,46	209,98	633,09	766,68	218,84

**MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE  
CRUDOS PESADOS**

11/3/2020	1129,53	209,76	794,02	1066,20	218,84
12/3/2020	677,91	123,46	508,41	673,27	238,41
13/3/2020	587,15	109,47	455,36	598,51	250,56
16/3/2020	951,59	209,91	688,41	914,53	311,42
17/3/2020	981,91	220,65	705,18	834,29	246,68
18/3/2020	1201,40	212,75	840,55	990,38	249,69
19/3/2020	866,59	155,88	625,98	685,11	307,95
20/3/2020	661,02	105,79	490,80	591,41	439,09
21/3/2020	726,66	107,64	539,79	689,64	283,58
22/3/2020	997,37	156,87	706,42	893,03	276,84
23/3/2020	1302,25	208,23	898,78	1154,32	255,05
24/3/2020	1339,45	213,80	926,60	1168,42	234,32
25/3/2020	679,20	145,51	510,13	674,54	251,10
26/3/2020	1241,12	281,09	862,64	1153,05	240,25
27/3/2020	1501,23	298,50	1030,49	1296,99	267,12
28/3/2020	1322,22	299,43	923,78	1196,60	264,00
29/3/2020	1137,86	233,14	802,06	1014,75	247,07
30/3/2020	305,09	55,77	274,64	367,66	323,15
31/3/2020	856,04	183,66	629,74	850,34	364,33
1/4/2020	921,51	220,87	668,24	919,98	238,25
2/4/2020	913,97	217,34	670,02	936,85	238,20
3/4/2020	915,27	220,62	663,41	907,32	225,63
4/4/2020	874,71	209,84	637,10	916,91	294,79
6/4/2020	871,36	176,38	633,08	836,09	370,23
7/4/2020	542,15	90,63	426,45	558,75	289,35
7/5/2020	254,99	53,59	337,38	418,81	507,63
8/5/2020	705,64	143,98	589,58	832,89	362,56
9/5/2020	564,13	92,89	509,64	708,80	317,10
10/5/2020	1565,41	244,16	1196,05	1633,34	233,91
11/5/2020	1464,50	278,91	1029,54	1386,14	227,48
12/5/2020	1534,34	294,50	1235,01	1591,35	249,67
13/5/2020	1657,62	316,51	1155,10	1557,03	211,74
14/5/2020	1557,24	317,63	1072,24	1493,01	190,69

**MODELO MULTIVARIABLE PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE  
CRUDOS PESADOS**

15/5/2020	929,73	172,56	732,30	1013,51	218,55
16/5/2020	919,20	187,14	672,15	900,90	324,71
17/5/2020	331,86	52,27	321,41	410,01	596,83
18/5/2020	714,49	133,82	537,59	755,15	807,18
19/5/2020	548,70	101,30	463,11	656,14	860,11
20/5/2020	622,68	102,37	476,53	653,48	757,93
21/5/2020	697,22	103,80	549,29	777,38	824,86
22/5/2020	683,97	102,94	508,94	704,33	631,39
23/5/2020	1110,67	169,38	815,98	974,56	572,98
24/5/2020	1236,35	198,19	860,85	1038,02	481,00
25/5/2020	1196,80	203,57	839,90	998,48	445,48
26/5/2020	1233,12	203,64	891,91	1069,07	435,18