

Información Importante

La Universidad de La Sabana informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea de la Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad de La Sabana.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan finalidad académica, nunca para usos comerciales, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, La Universidad de La Sabana informa que los derechos sobre los documentos son propiedad de los autores y tienen sobre su obra, entre otros, los derechos morales a que hacen referencia los mencionados artículos.

BIBLIOTECA OCTAVIO ARIZMENDI POSADA

UNIVERSIDAD DE LA SABANA

Chía - Cundinamarca

**MODELO MATEMÁTICO PARA LA ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN POR
OVER AND UNDER DE ECOPETROL S.A GENERADOS EN LA
COMPENSACIÓN VOLUMÉTRICA POR CANTIDAD (CVC) DEL
OLEODUCTO DE COLOMBIA - ODC**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de

Magister en Gerencia de Operaciones
(Modalidad de profundización)

OMAR YASSED CRUZ RUIZ

Director:

Ignacio Pérez Vélez., Dr. Sc.

Presentado públicamente el día 31 de Julio de 2016

Jurados:

Nelson Obregón Neira PhD, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

Hernando Barrios Calderón MSc, Universidad de La Sabana, Chía, Colombia

Universidad de La Sabana

Escuela Internacional de Ciencias Económicas y Administrativas

Chía, Colombia

2016

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida y por seguir día a día mi camino y ser parte de él. Gracias por esa fe que ha creado en mí que crece continuamente haciéndome mejor persona, marchando bajo tus principios y leyes brindándome fuerza para lograr cada objetivo que me propongo.

A Mis Padres por ese apoyo incondicional que siempre me han brindado y enseñarme a luchar por metas y objetivos claros. ¡Ustedes son verdaderos profesores de vida!

A mi amor Maryori por brindarme seguridad, confianza y sobre todo alegría y felicidad en aquellos momentos de tristeza y preocupación. Gracias por enseñarme a amar cada día más a DIOS y sobre todo gracias por estar siempre a mi lado.

Al Ing. Ignacio Pérez Vélez por el compromiso y la dedicación a este proyecto, por compartir ese conocimiento tan valioso como es la experiencia adquirida por los años. Y por último a la Universidad de La Sabana por permitir realizar y culminar este sueño tan importante para mi crecimiento profesional y personal.

Mil y Mil Gracias.
Omar Yassed Cruz Ruiz

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo este proceso de formación.

A mi amor Maryori J. Martinez Nieto que siempre está presente en mi mente y quien me brinda ese sentimiento de cariño y ternura en cada momento de mi vida.
¡Tu felicidad es mi felicidad!

A todos aquellos que me brindaron ayuda y que aún siguen trabajando por mejorar y lograr las metas que se proponen.

Atentamente,

Omar Yassed Cruz Ruiz

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	13
2. METODOLOGÍA.....	17
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
4. JUSTIFICACIÓN	22
5. OBJETIVOS	25
5.1 OBJETIVO GENERAL.....	25
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
6. MARCO LEGAL.....	26
7. ASPECTOS ÉTICOS DEL ESTUDIO	27
8. ESTADO DEL ARTE	28
9. MARCO TEÓRICO	35
9.1 COMPENSACIÓN VOLUMÉTRICA.....	35
9.1.1 PROCESO DE COMPENSACIÓN VOLUMÉTRICA	36
9.2 BALANCE VOLUMETRICO.....	47
9.2.1 PÉRDIDAS IDENTIFICABLES.....	50
9.2.2 PÉRDIDAS NO IDENTIFICABLES.....	51
9.2.3 INTERFASES EN DUCTOS.....	51
9.3 ANALISIS ESTADISTICO	55
9.3.1 CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES	56
9.3.2 REGRESIÓN.....	59
10. DESARROLLO DEL TRABAJO.....	65
10.1 DIAGNOSTICO DE LA COMPENSACIÓN VOLUMETRICA DE CALIDAD PARA EL ODC.....	66
10.1.1 Estación Vasconia ODC.....	67
10.1.2 Sistema de transporte Vasconia ODC – Coveñas 24”	69
10.1.3 Caucasia.....	70

10.1.4	Coveñas ODC.....	71
11.	IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES DEL BALANCE DE COMPENSACIÓN VOLUMETRICA POR CALIDAD.....	73
11.1	Crudo Magdalena Blend (MMB)	75
11.2	Crudo Mezcla (CMZ)	77
11.2.1	PLANTA VASCONIA	77
11.2.2	LINEA ODC.....	79
11.2.3	COVEÑAS ODC	80
11.3	Crudo Castilla (MZC).....	81
11.3.1	PLANTA VASCONIA	81
11.3.2	LINEA ODC.....	83
11.3.3	COVEÑAS ODC	84
12	DEFINICIÓN DEL MODELO	86
12.1	Y1: Inventario Final Vasconia (CMZ)	86
12.2	Y2: Inventario Final Vasconia (MZC)	89
12.3	Y3: Inventario Final Vasconia (MMB).....	91
12.4	Y4: Inventario Final Línea (CMZ).....	92
12.5	Y5: Inventario Final Línea (MZC).....	92
12.6	Y6: Inventario Final Línea (MMB).....	94
12.7	Y7: Inventario Final Coveñas (CMZ).....	94
12.8	Y8: Inventario Final Coveñas (MZC).....	96
12.9	Y9: Inventario Final Coveñas (MMB)	97
12.10	Validación del Modelo con los resultados de las CVC para el 2016.....	98
12.11	Afectación de la incertidumbre de los sistemas de medición en los inventarios finales propiedad de Ecopetrol S.A.	99
13.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	102
14.	BIBLIOGRAFÍA.....	104
15.	ANEXO A.....	106
16.	ANEXO B.....	107
17.	ANEXO C.....	108

18. ANEXO D..... 111

19. ANEXO E..... 112

20. ANEXO F..... 115

21. ANEXO G..... 120

22. ANEXO H..... 122

23. ANEXO I..... 124

24. ANEXO J..... 125

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Utilidad neta de Ecopetrol en billones de pesos.	13
Figura 2 - Cadena de Suministro de Ecopetrol S.A.....	14
Figura 3 - Sistemas de transporte de crudos.....	16
Figura 4 - Variación del Inventario de Ecopetrol en el ODC (CVC ODC)	23
Figura 5- Estimado de la variación del Inventario de Ecopetrol en el ODC.....	24
Figura 6- Flujo de información volumétrica y facturación (Ecopetrol 2006 – 2015)	29
Figura 7- Cronograma de actividades proceso de compensación volumétrica por calidad.....	30
Figura 8- Representación del centro logístico IODC para el Oleoducto de Colombia ...	31
Figura 9 - Esquema de compensación de calidad y calidad de producto en Oleoducto.	36
Figura 10- Proceso de Compensación Volumétrica.....	37
Figura 11- Canasta de Crudo.....	38
Figura 12 - Esquema general de destilación “Netback Topping”	40
Figura 13- Esquema general de destilación “Topping Cracking”	42
Figura 14- Implementación de la CVC en estaciones de transporte	46
Figura 15- Implementación de la CVC en líneas.	46
Figura 16- Volumen de Control.....	48
Figura 17- Clasificación de pérdidas.....	51
Figura 18- Transporte de interfases en ductos.....	52
Figura 19- Composición de dos productos versus temperatura	53
Figura 20- Modelo de Interfase Regla de la Palanca.	54
Figura 21- Tipos de relación entre dos variables.	56
Figura 22- Correlación lineal entre dos variables.....	57
Figura 23- Prueba de hipótesis para Pearson.....	58
Figura 24- Patrones en una gráfica de residuales.....	62
Figura 25- Modelo Volumetría Sistema de transporte ODC.....	65
Figura 26- Modelo Volumétrico Estación Vasconia ODC.....	69
Figura 27- Modelo Volumétrico Vasconia ODC – Coveñas ODC 24”	70
Figura 28- Modelo Volumétrico Coveñas ODC.....	72
Figura 29- Comportamiento de las pérdidas no identificables del MMB en SINOPER.	76
Figura 30- Grafica de Matriz para el producto Mezcla en Vasconia.....	78
Figura 31- Grafica de Matriz para el producto Mezcla en Línea ODC.	79
Figura 32- Grafica de Matriz para el producto Mezcla en Coveñas ODC.....	80
Figura 33- Grafica de Matriz para el producto Castilla en Vasconia.....	82

Figura 34- Grafica de Matriz para el producto Castilla en Línea ODC.	83
Figura 35- Grafica de Matriz para el producto Castilla en Coveñas ODC.	84
Figura 36- Coeficientes de variables explicativas para la Mezcla en Vasconia.	87
Figura 37- Análisis de residuos para el Crudo Mezcla en Vasconia.	89
Figura 38- Análisis de residuos para el Crudo Castilla en Vasconia.	91
Figura 39- Análisis de residuos para el crudo castilla en la línea Vasconia – Coveñas ODC.	93
Figura 40- Análisis de residuos para la mezcla en la Estación Coveñas ODC.	95
Figura 41- Análisis de residuos para la mezcla Castilla en la Estación Coveñas ODC.	97
Figura 42- Comparativo de datos reales versus correlación para el 2016.	98
Figura 43- Comportamiento de las PNI y límites de tolerancia.	101
Figura 44- Porcentaje de impacto de la PNI sobre el inventario final.	101

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 - Metodologías de valoración de Crudos en Estados Unidos y Canadá.....	43
Tabla 2 - Metodologías de valoración de Crudos en Europa.....	43
Tabla 3 - Metodologías de valoración de Crudos en América Latina	44
Tabla 4 – Pasos para el cálculo de la interfase bajo método en función al Balance	55
Tabla 5 – Variables de respuesta para el modelo matemático.....	67
Tabla 6 – inventario en tanques de Vasconia ODC (Ecopetrol S.A)	68
Tabla 7 – inventario en tanques de Caucasia (Ecopetrol S.A)	71
Tabla 8 – Inventario en tanques de Coveñas ODC (Ecopetrol S.A).....	72
Tabla 9 – Convenciones de las variables para el análisis estadístico.....	74
Tabla 10 – Limites de tolerancia para los recursos de transporte ODC.....	100

Universidad de La Sabana
Escuela Internacional de Ciencias Económicas y Administrativas
Instituto de Postgrados - Forum



Universidad de
La Sabana

Proyecto de grado

Maestría en Gerencia de Operaciones

Modelo matemático para el estimado del volumen por Over and Under de Ecopetrol S.A generados en la Compensación Volumétrica por Cantidad (CVC) del Oleoducto de Colombia - ODC

Mathematical model for estimate the Ecopetrol Over and Under volume generated by the Quantity Compensation Volume (CVC) in the ODC pipeline system

Omar Yassed Cruz Ruiz*

Director de trabajo de grado

Ignacio Pérez Vélez†

* Escuela Internacional de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad de La Sabana, Autopista Norte de Bogotá, D.C., Chía (Cundinamarca), Colombia. Email: omarcruzruiz@hotmail.com

† Escuela Internacional de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad de La Sabana, Autopista Norte de Bogotá, D.C., Chía (Cundinamarca), Colombia. Email: ignacio.perez@unisabana.edu.co

Resumen: En el presente trabajo se desarrolla un modelo matemático que permite realizar una estimación del volumen mensual de Ecopetrol por préstamos generado en la compensación volumétrica de cantidad debido a los saldos a favor o en contra de producto que se dan entre los remitentes del sistema de transporte de Colombia (ODC) que afectan los inventarios finales de esta compañía.

Inicialmente se realiza un diagnóstico de los volúmenes entregados por el cliente Ecopetrol S.A a los sistemas de transporte identificando los puntos de entrega, cantidad entregada, volúmenes compensados e inventarios al finalizar el periodo de análisis. Así mismo, se efectúa el balance volumétrico para el sistema de transporte ODC estableciendo la propiedad y distribución del volumen de entrega para exportación o venta.

Basado en el histórico mensual de las compensaciones volumétricas para el sistema de transporte ODC, se incorpora un análisis de datos no planeados con el fin de identificar las relaciones entre variables y su impacto en el volumen de Over and Under de Ecopetrol S.A.

Por último, se desarrollará un modelo matemático que permite obtener los volúmenes de inventario final de Ecopetrol S.A en el ODC afectados por la variable de Over and Under teniendo en cuenta los datos no planeados del mes. Evidenciando que se transportan tres productos (Magdalena Blend, Castilla y Crudo Mezcla) en los recursos Vasconia, Sistema ODC y Coveñas; en donde el inventario final del crudo Magdalena Blend es 100% propiedad de Ecopetrol, y los inventarios propiedad de Ecopetrol para los crudos Castilla y Mezcla presentaron buena correlación en los recursos Vasconia y ODC, sin embargo, baja correlación en Coveñas. Esto debido a acuerdos entre clientes que se generan en puerto.

Palabras clave: Medición, Balance, Over and Under, Volumen, Ecopetrol, Compensación Volumétrica, Sistema de Transporte, Hidrocarburos, Oleoducto.

Abstract: This work development a mathematical model that allows an estimate of the monthly Inventory volume of Ecopetrol generated in the quality bank amount due to the balance in favor or against the product that occur between the clients of a transport system of Colombia (ODC).

Initially diagnosed volumes delivered by the customer Ecopetrol S.A. to the transport systems identifying points of delivery, quantity delivered, offset volumes and inventories at the end of the period of analysis is performed. Likewise, the volume balance for the transport system ODC establishing ownership and delivery volume distribution for export or sale will be made.

Based on the monthly historical quality bank for ODC transport system, the data analysis unplanned in order to identify relationships between variables and their impact on the volume of Over and Under incorporated Ecopetrol S.A.

Finally, a mathematical model to obtain volumes for the Final Inventory for Ecopetrol S.A. in the ODC considering unplanned month data will be developed.

Showing that three products (Magdalena Blend, Castilla and Mezcla Crude Oil) are transported in Vasconia, ODC and Coveñas resources system; where the final Magdalena Blend crude inventory is 100% owned by Ecopetrol, and inventories for Castilla Blend and Mezcla Crude Oil showed good correlation in Vasconia and ODC resources, however, low correlation in Coveñas. This is because agreements between customers generated in the Terminal.

Keywords: Measurement, Balance, Over and Under, Volume Ecopetrol, Quality Bank, Oil pipeline.

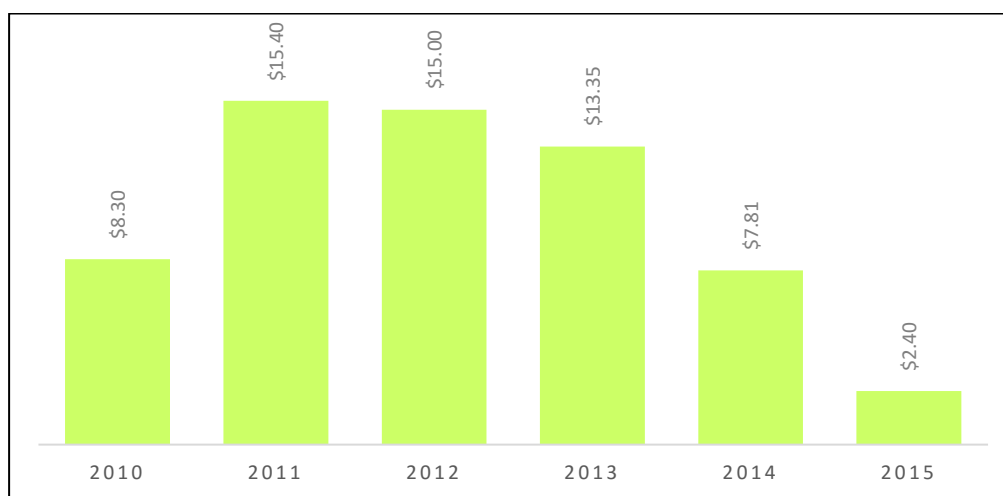
1. INTRODUCCIÓN

Uno de los instrumentos de mayor importancia al momento de evaluar el rendimiento de una compañía es el estado financiero de la misma, el cual permite evidenciar la utilidad y en muchos casos el comportamiento de la acción.

Dentro de los estados financieros de cualquier empresa las variables de inventario, perdidas, y las ventas impactan directamente el desempeño económico de la compañía, así mismo los costos de producción y la valoración de los inventarios; por ello un buen control de estas variables con la reducción de la incertidumbre en la medición de las cantidades permite obtener cifras cercanas a la realidad operacional que se traduce acertados pronósticos de inversión y análisis para la mejora y rentabilidad notoria de la empresa.

Una de las empresas más grandes del país es Ecopetrol S.A, quien reportó para el 2011 unas utilidades históricas netas de \$ 15.4 Billones de pesos colombianos siendo la más alta en los últimos años la cual se observa en la Figura 1, convirtiéndose en la principal compañía petrolera en Colombia.

Figura 1 - Utilidad neta de Ecopetrol en billones de pesos.



Fuente: Sistema de Gestión de Recursos Empresariales SAP Ecopetrol S.A. 2016

Debido a su tamaño, Ecopetrol S.A pertenece al grupo de las 40 petroleras más grandes del mundo y es una de las cuatro principales de Latinoamérica (Ecopetrol S.A E1, s.f.). Actualmente esta compañía obtiene las cifras de las variables de inventarios, pérdidas y ventas del balance volumétrico el cual queda registrado en las herramientas de información volumétrica para cada uno de los segmentos de la compañía en donde cada eslabón de la cadena de suministro, como producir, transportar, transformar, almacenar, distribuir, vender, etc., contribuye a la generación de valor, generando costos y beneficios a los recursos invertidos.

En la Figura 2 se observa el proceso de la cadena de suministro de Ecopetrol S.A en donde este inicia en el eslabón de producción obteniendo los barriles de crudo con especificaciones de calidad adecuadas para ser transportadas y transformadas en las refinerías de Barrancabermeja y Cartagena.

Figura 2 - Cadena de Suministro de Ecopetrol S.A.



Fuente: Proyecto SIEH Ecopetrol (Solución integral evacuación de crudos). 2014.

Así mismo, el transportador entrega el producto crudo en puertos Tumaco y Coveñas para ser vendido por el área de comercio internacional de la empresa. Una de las funciones primordiales de Ecopetrol S.A es la entrega de productos refinados combustibles a todos los rincones del país, para ello nuevamente el transportador se encarga de transportar estos productos por su infraestructura de

poliductos y su entrega a los mayoristas quienes distribuyen estas cantidades al consumidor final. Por otra parte, y dado a que actualmente las refinerías no cumplen con la nominación total del producto refinado del país, se tienen que realizar importaciones de ACEM, Gasolina Motor regular y Nafta para dilución del crudo por la ciudad de Santa Marta.

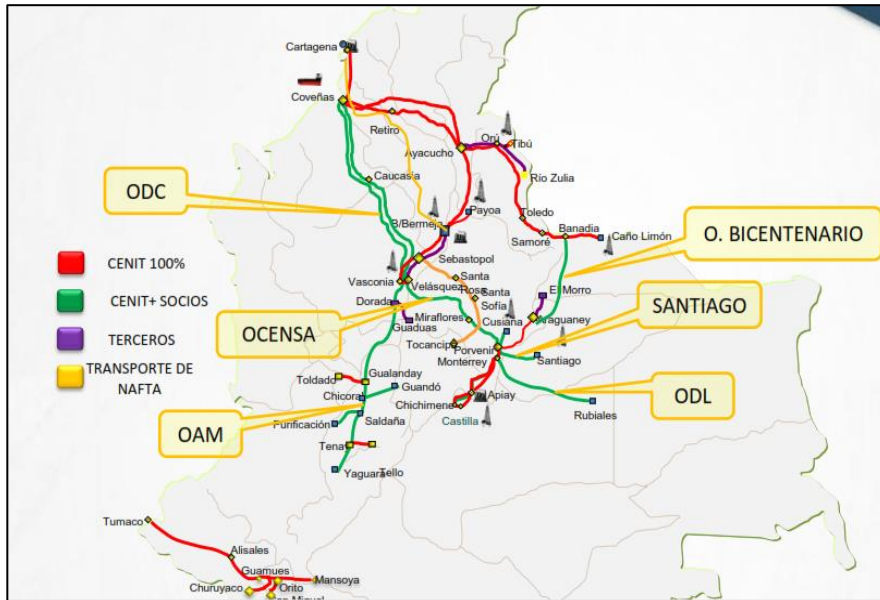
Dentro de los segmentos de la cadena de suministro de Ecopetrol S.A, el eslabón del transporte es el más complejo. Esto debido a que en esta sección se encuentra más del 90% del inventario total de la empresa en crudos y refinados, adicionalmente porque el segmento de transporte mueve producto de diferentes remitentes; así mismo, es el área en donde más pérdidas de producto se presentan dado a su exposición a zonas vulnerables de hurto de hidrocarburo y acciones de atentados.

El proceso de transporte es el área que interactúa y comunica a producción, refinación, compra – venta de productos y comercio internacional. Transporta productos de diferentes clientes haciendo exhaustivo el cálculo de la propiedad del crudo de Ecopetrol S.A en el nodo de transporte. En la Figura 3 se observan los oleoductos más representativos en la cadena de transporte de crudo en donde los oleoductos de Colombia (ODC) y el oleoducto Central S.A (OCENSA) son los más complejos debido a su interacción con la venta en puerto de exportación en Coveñas.

Cuando se realizan exportaciones de crudos se presentan casos de préstamos (cuando no se cuenta con todo el crudo para completar un buque de un cliente determinado) ocasionando deudas entre los clientes del sistema, así mismo, debido a las múltiples calidades de crudos y con el fin que los remitentes mantengan el valor de sus productos, se establece un proceso de compensación volumétrica por calidad con el fin de compensar en volumen la degradación o mejora en calidad y, por ende, el precio del crudo recibido en comparación con el

entregado, es decir, un remitente que haya entregado al sistema un crudo de mayor valor, recibirá más volumen y viceversa (Ecopetrol S.A E3, 2012).

Figura 3 - Sistemas de transporte de crudos.



Fuente: Taller de Compensación Volumétrica Cenit. Octubre 2014.

Estos casos hacen parte de la variable “*Over & Under*” que se encuentra en el balance oficial del sistema en donde se reportan las compensaciones volumétricas por calidad de producto y prestamos entre clientes, el cual se entrega los días 23 del mes siguiente luego de haber realizado el cierre contable de la empresa. Esta variable afecta directamente los inventarios, y pérdidas por tanto se debe realizar una estimación para realizar el cierre contable antes del día 05 de cada mes ocasionando altas variaciones en los estados financieros de la empresa Ecopetrol S.A. Un buen control de la variable “*Over & Under*” en las empresas dueñas del crudo en Colombia permite obtener un estado financiero certero y, por ende, cantidades que permiten reflejar una adecuada utilidad. Dado a que la información contenida en este documento es considerada como confidencial para Ecopetrol S.A y sus socios, se trabajará con datos modificados haciendo uso de un factor multiplicador.

2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para el cumplimiento de los objetivos está orientada a la profundización del análisis de datos continuos no planeados mediante el uso de técnicas basadas en la estadística, permitiendo la extracción de patrones y buscando correlación lineal entre variables para de esta forma proponer una alternativa de solución a la obtención del volumen de “*Over & Under*” de Ecopetrol S.A basado en las tendencias de esta variable de una manera más acertada. Lo cual permite mejorar la representación de los inventarios y pérdidas en la contabilidad de la empresa, teniendo un enfoque cuantitativo y realizando una investigación descriptiva. Basado en lo anterior, se consideran las siguientes técnicas a utilizar:

- Consultas Bibliográficas: Etapa en donde se realiza el levantamiento bibliográfico mediante la identificación de la información correspondiente a modelos volumétricos aplicados al balance de un sistema de transporte de productos, técnicas de análisis de datos continuos, artículos y documentos relacionado con modelos de regresión. Adicionalmente se utilizará como base de datos los históricos de las compensaciones volumétricas para el oleoducto de Colombia ODC desde el año 2012 al año 2015.
- Diagnóstico: Etapa en donde se realiza un análisis preliminar de los balances volumétricos reflejados en las compensaciones volumétricas del sistema de transporte ODC con el fin de conocer las variables de entrada, salida e inventarios del sistema. Adicionalmente se contempla realizar entrevistas al personal operativo del sistema de transporte y al personal que realiza el reporte de la información en la contabilidad de la Empresa Ecopetrol S.A.

- Consulta con Expertos: Etapa de consulta al director del proyecto permitiendo orientación constante durante los procesos de recopilación información, análisis y elaboración de documento final.

- Análisis y generación del modelo: Basado en el diagnóstico y en las consultas bibliográficas, se estudian las diferentes alternativas apoyado en el análisis de datos no planeados, correlaciones entre variables y regresión para la generación del modelo matemático de estimación del volumen por “*Over and Under*” para Ecopetrol S.A, teniendo en cuenta el balance volumétrico del sistema de transporte en función de las variables relacionadas de cada uno de los remitentes.

- Análisis de resultados: Basado en los resultados obtenidos bajo el modelo de estimación de volumen de “*Over and Under*” se realizará un comparativo con las cantidades obtenidas en los cierres volumétricos para el año 2016 y su impacto en las diferencias de las cantidades estimadas inicialmente estableciendo si el modelo de datos es mejor que el modelo actual.

- Generación del documento: Por último, se procederá a realizar la redacción y digitación del documento final.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En todo proceso productivo se requiere realizar cálculos de balance de volumen, masa y/o energía; y el transporte de hidrocarburos no es la excepción. Para entregar el producto al usuario final se debe realizar una operación de bombeo por una red de transporte definida recorriendo diferentes puntos de transferencia de custodia, en los cuales, un agente de la cadena de suministros entrega a otro la cantidad determinada de hidrocarburo con el fin de que éste sea transportado hasta el usuario final o al dueño del producto. Durante este proceso es posible que el hidrocarburo cambie sus propiedades como consecuencia de las mezclas de productos de diferentes propietarios y las variaciones en las condiciones de operación, también se pueden presentar casos fortuitos representados por pérdidas identificadas como atentados, roturas, apoderamiento y/o polillas (Ecopetrol S.A E5, 2013).

Por ello, al finalizar el corte de mes el agente transportador del producto debe realizar los balances en volumen para cada uno de los remitentes del sistema de transporte basado en las leyes de conservación de la materia y en la normatividad API 2560; dando cumplimiento a los requisitos regulatorios establecidos por el Ministerio de Minas y Energías y el Manual del Transportador garantizando la confianza en la transferencia del producto.

Sin embargo, este balance en donde se determina la propiedad del producto por remitente solo se puede obtener luego de haber transcurrido 23 días del mes cerrado (periodo que requiere el transportador para generar la compensación volumétrica por calidad) originando que en el cierre volumétrico mensual, el cual se realizan durante los tres primeros días del mes, se realicen estimaciones de volúmenes propiedad de Ecopetrol S.A. presentando a los estados financieros una aproximación de la propiedad del producto (inventarios, perdidas de volumen y movimientos internos) a nivel nacional.

Las diferencias presentadas entre el volumen estimado para el cierre volumétricos mensuales y el real expuesto en la compensación volumétrica de calidad ocasiona cambio en la propiedad de Ecopetrol representado en los inventarios finales del balance, que posteriormente es representado en los estados financieros de la empresa ocasionando impactos en los costos de producción e inversión a corto y mediano plazo.

Este inventario final real propiedad de Ecopetrol S.A en el Sistema de Transporte ODC, se ve mayormente afectado por préstamos de crudo de petróleo que se realizan entre los remitentes en los puertos de exportación para poder cumplir con el volumen de entrega a los compradores internacionales. El volumen a favor o en contra afecta directamente el Inventario final de cada uno de los clientes llegando a ser en algunos casos negativos y en otros superiores a las existencias reales en tanques de almacenamiento de producto afectando en ultimas el P/G de la empresa, por lo que la estimación de este volumen juega un papel fundamental en la determinación de los inventarios propiedad de Ecopetrol S.A en los cierres volumétricos mensuales convirtiéndose en un problema de balance volumétrico con propiedad y no contable. Actualmente no se cuenta con una metodología estructurada que determine el sentido del “*Over & Under*” (volumen a favor o en contra) y adicionalmente su cantidad incrementando aún más la incertidumbre de los estados financieros con corte mensual.

Una alternativa para mitigar este problema, es realizar previamente el análisis de los datos contenidos en los balances y compensaciones volumétricas de periodos anteriores con el fin de identificar la relación entre variables y poder generar un pronóstico de estos volúmenes. Este último tratamiento de datos es una técnica que, a partir de cálculos estadísticos, y un conjunto de situaciones del comportamiento propio del sistema, permite evaluar y confirmar la confiabilidad y calidad de los datos obtenidos (los resultados de las mediciones), encontrando

tendencias representativas o mejores estimados que cumplen con la definición de los balances y propiedad de los remitentes.

ECOPETROL S.A., está comprometida con la trazabilidad de la información volumétrica garantizando a los inversionistas información confiable e íntegra minimizando supuestos y permitiendo realizar pronósticos e inversiones a mediano y largo plazo. Es por ello que se hace inminente el estudio y aplicación de nuevos mecanismos para el estimar del volumen generado por O&U en el oleoducto ODC el cual permite conocer el estado financiero real de la compañía.

4. JUSTIFICACIÓN

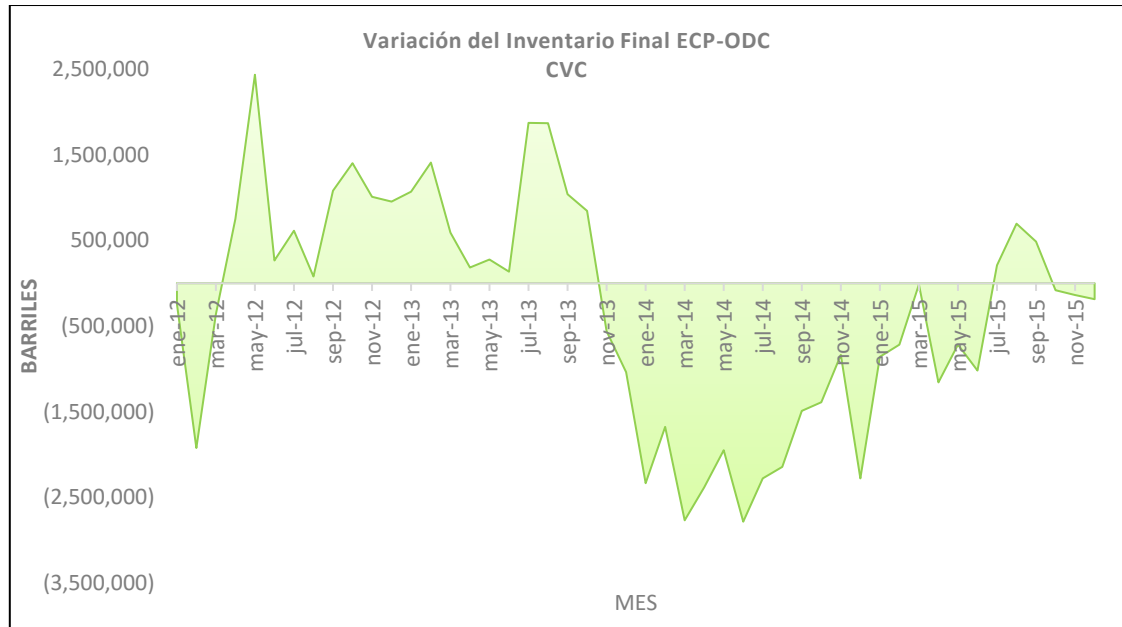
Actualmente la empresa Ecopetrol S.A realiza cierres mensuales contables en donde las variables de inventarios de productos, ventas nacionales, locales, exportaciones, perdidas de productos y los préstamos a clientes (“*over & under*”) juegan un papel muy importante en el resultado del P/G de la compañía. Es un reto para Ecopetrol S.A determinar las variables del balance volumétrico con propiedad de Ecopetrol para cada uno de los negocios de la cadena de suministro (producción, transporte, comercialización y refinación) teniendo en cuenta que esta empresa es la encargada de manejar y distribuir la mayoría del producto crudo y refinado de los remitentes a nivel Nacional.

La propiedad del crudo es estimada mediante los volúmenes producidos mensualmente los cuales son movilizados por la cadena de transporte hacia los puertos de exportación y utilizado como materia prima en las refinerías para la obtención de productos comercializables; sin embargo, una de las variables que afecta en gran medida el inventario final de Ecopetrol S.A son los préstamos que se le hacen a los remitentes conocidos como “*Over and Under*” (O&U) que perturban directamente los estados financieros los cuales han llegado a ser de 2.4 millones de barriles en abril del 2012 y de -2.7 millones de barriles en préstamos en el mes de junio del 2014 para el Oleoducto de Colombia ODC tal como se observa en la Figura 4 evidenciando una alta variabilidad en el periodo analizado. Estas variaciones equivalen del 20% al 22% del inventario total de Ecopetrol en la cadena de transporte con base en el inventario reportado por el segmento de transporte para enero del 2016 de 12,461,391.67 Bls.

La variación en los inventarios y préstamos se produce principalmente en Puertos de exportación de crudos debido a que en algunas ocasiones no se cuenta con el total de producto a exportar lo que conlleva la realización de préstamos a

remitentes. A corte de mes, los inventarios y el O&U son estimados mediante reglas de propiedad que en ocasiones pueden presentar altas desviaciones con respecto al volumen real reportado por el transportador.

Figura 4 - Variación del Inventario de Ecopetrol en el ODC (CVC ODC)

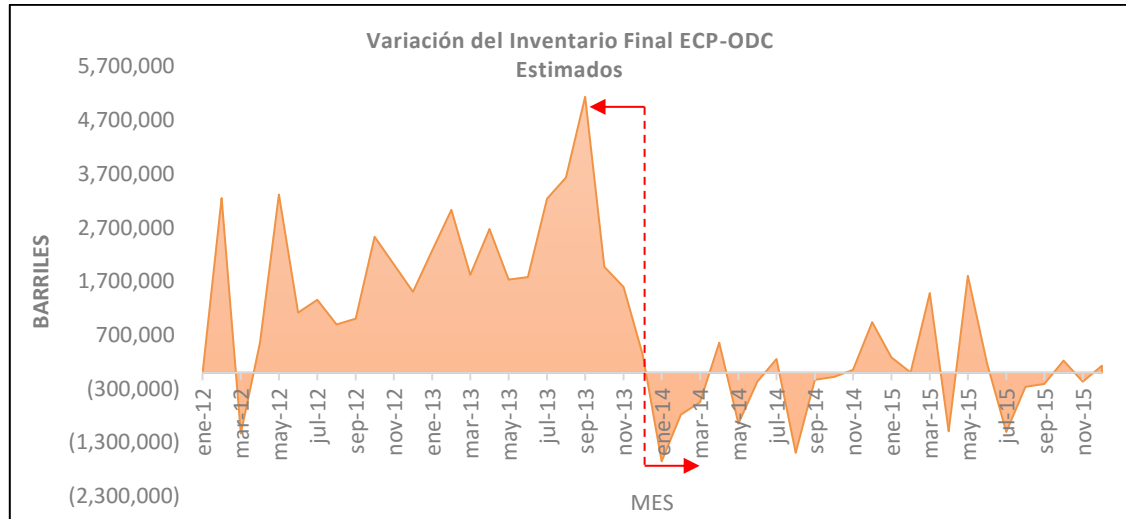


Fuente: Compensación Volumétrica del Oleoducto de Colombia (2012 – 2015).

En los últimos cuatro años las desviaciones de los datos estimados versus lo real equivalen al 10% del total del volumen transportado lo que ha causado variación en los inventarios finales propiedad de Ecopetrol conllevando a incertidumbre en las inversiones, estimación de costos y utilidades reales de la empresa. En la Figura 5 se observan las estimaciones de la variable de inventario final el cual se reporta en el cierre volumétrico de Ecopetrol S.A, notando que tiende a mantener la tendencia de datos positivos y negativos a lo largo de los meses con un cambio de sentido entre noviembre y diciembre del 2013 ocasionado por el aumento de las exportaciones propiedad de Ecopetrol aumentando el volumen al 45% del 2012 al 2013 y al 60% del 2013 al 2014 cubriendo el faltante de producto

exportado mediante préstamos a clientes, quedando en saldos negativos con variaciones altas en el inventario final.

Figura 5- Estimado de la variación del Inventario de Ecopetrol en el ODC.



Fuente: Tabla de transferencia de cierres volumétricos mensuales de Ecopetrol (2012-2015).

Disminuir las diferencias entre el dato estimado del inventario final de Ecopetrol en los cierres volumétricos mensuales y el resultado real expuesto por el documento oficial de Compensación Volumétrica por Calidad (CVC) para el Oleoducto de Colombia (ODC) mediante el análisis de datos basado en los balances con propiedad, mejoraría el reflejo de la realidad operativa de la empresa en los balances volumétricos los cuales son utilizados para la generación de los estados financieros mitigando los impactos contables, errores en los reportes a los entes gubernamentales y permitiría realizar proyecciones de inversión y nuevas estrategias que apunten a maximizar las utilidades de la compañía; de igual forma, ayudaría a realizar una mejor planeación a mediano plazo con el fin de programar las exportaciones con producto de propiedad de Ecopetrol S.A sin incurrir en préstamos a los otros remitentes.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un modelo matemático para la estimación del volumen por “*Over and Under*” de Ecopetrol S.A generado por la compensación volumétrica Calidad del sistema de transporte ODC que permita mejorar la comprensión y el comportamiento de los inventarios finales mensuales propiedad de Ecopetrol S.A en las estaciones y líneas manejados por el transportador.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comprender la metodología de Balance volumétrico establecido en los reportes históricos de compensación volumétrica por calidad para el sistema de transporte ODC identificando las variables del balance que afectan el resultado del inventario final de Ecopetrol S.A.
- Identificar las principales variables en la compensación volumétrica por calidad y su relación con el volumen de “*Over and Under*” mediante el análisis de datos no planeados para la construcción del modelo matemático de pronóstico.
- Desarrollar un modelo matemático que permita obtener la estimación del volumen por “*Over and Under*” de Ecopetrol S.A para el sistema de transporte ODC.

6. MARCO LEGAL

Actualmente en Colombia el transporte de crudo por oleoductos está regulada por el Ministerio de Minas y Energía quien es a través de la regulación numero 18 1258 de Julio del 2010 que asegura los principios de libre acceso de terceros sin discriminación, y ofrecer a los distintos agentes de la cadena del crudo las condiciones regulatorias de esta actividad, que les permita disponer de dicho transporte a precios justos y razonables, conforme a la determinación de tarifas que expida por el Ministerio de Minas y Energía (Ministerio de Minas y Energías, Julio del 2010). En su artículo 6 exige a los transportadores de crudo a contar con un Manual del transportador en donde debe definir los procedimientos para los balances volumétricos del oleoducto, cálculo de las pérdidas por transporte, lleno de línea del sistema y volumen transportado por remitente.

El Oleoducto de Colombia (ODC) cuenta con un reglamento de transporte en donde se detallan las normas generales de operación y transporte del ducto, de propiedad de socios y terceros a través del oleoducto y costa afuera. En su cláusula vigésima novena expone lo siguiente: *“Cada uno de los remitentes entregará en el PUNTO DE ENTREGA un volumen de PETROLEO CRUDO, el cual se valorizará de conformidad con el ANEXO E de este reglamento, de acuerdo con su calidad específica particularmente en cuanto se refiere a la caracterización por cortes de destilación, que según las prácticas comerciales actuales determinan su precio en cualquier mercado.”* (Oleoducto de Colombia, 2010). En cada mes calendario, ODC realizará un balance global de los volúmenes y calidades entregadas, perdidos, retirados y en tránsito y un balance particular para cada remitente por los mismos conceptos.

7. ASPECTOS ÉTICOS DEL ESTUDIO

El tratamiento de las personas participantes del estudio (directivos) y el manejo de la información estarán enmarcados dentro de los cánones de la ética investigativa y gozarán de la confidencialidad y el respeto que ello merece. Será obligación inherente a los investigadores guardar prudencia y acatamiento a la normatividad ética investigativa.

8. ESTADO DEL ARTE

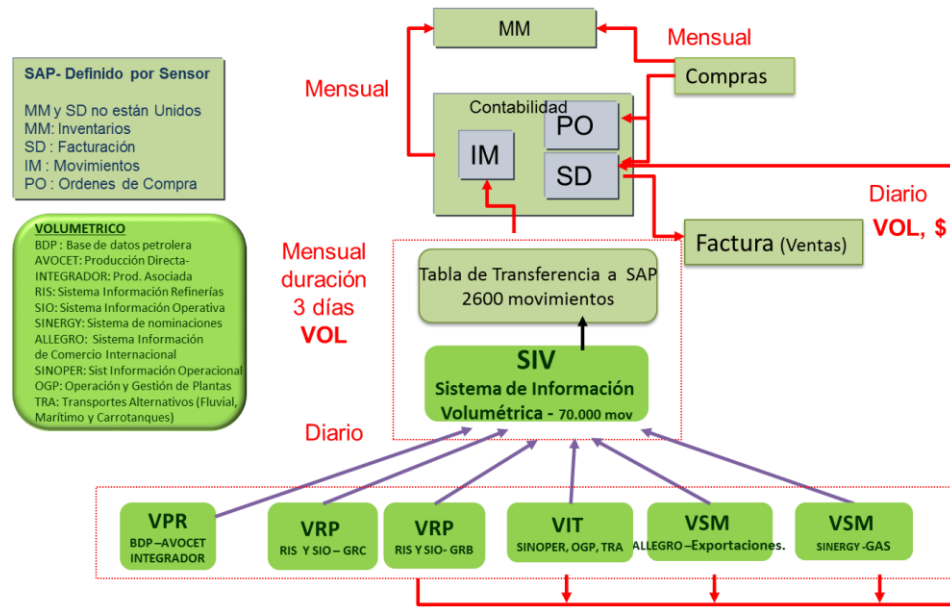
Los estados financieros de Ecopetrol S.A se generan a partir de los registros volumétricos reportados en la herramienta de información SAP, el cual cuenta con una serie de módulos que agrupados forman la contabilidad de la empresa.

Dentro de los módulos que mueven diariamente el flujo de caja de Ecopetrol S.A se encuentra el SD que es el módulo de facturación y se encarga de reportar todas las ventas de producto a nivel nacional; se encuentra el PO que es el módulo de órdenes de compra y el IM que es el módulo de los movimientos que ocurren en la operación. Estos dos últimos módulos se actualizan mensualmente cruzándolos contra el modulo MM de inventarios propiedad de Ecopetrol en toda la cadena de suministro, ocasionando que un cierre contable confiable no se pueda realizar de manera diaria generando una alta incertidumbre en las proyecciones y decisiones tomadas en el transcurso del mes. (Ecopetrol S.A E2, 2006)

Adicionalmente a ello y dado a que los módulos de MM y SD no estaban unidos, se definió una variable llamada desbalance o perdida no identificada la cual ajusta el balance cerrándolo a cero (variable dependiente) y permitiendo continuidad en el proceso contable. La utilización de SAP como herramienta contable nace en el 2006 con un proyecto llamado SENSOR, el cual tuvo como objetivo consolidar e integrar toda la información volumétrica de cada una de las áreas operativas de la organización en un solo sistema de información volumétrica (SIV) en donde se realizan los cierres mensuales y conciliaciones de cifras entre negocios. (Ecopetrol S.A E8, 2015)

En la Figura 6 se puede observar el flujo de información volumétrica de cada una las áreas de Ecopetrol S.A los cuales entregan información diaria a la SIV, realizando el cierre mensual durante los primeros tres días del mes siguiente.

Figura 6- Flujo de información volumétrica y facturación (Ecopetrol 2006 – 2015)



Fuente: Ecopetrol S.A 2012

Para el 2016, Ecopetrol S.A decide mediante el proyecto G3 y la implementación de las nuevas normas internacionales financieras (NIIF) unificar los módulos de MM y SD permitiendo realizar a partir del mes de mayo los cierres diarios para los Poliductos, pero sin embargo aún conserva el cierre mensual para los Oleoductos dado a que no ha sido posible obtener la propiedad del crudo durante el cierre.

Basado en el cronograma del transportador que se muestra en la Figura 7 se puede evidenciar que la información oficial por propietarios, inventarios y préstamos se genera 23 días después de haber cerrado el mes, lo que dificulta el cierre contable de las empresas productoras del crudo. (CENIT Transporte y Logística de Hidrocarburos, 2014). Esto conlleva a que estas empresas generen métodos sencillos de estimación de estos volúmenes con el fin de obtener los posibles inventarios finales con que pudieron cerrar el mes. Dado a que los volúmenes por compensación de calidad (CVC) son pequeños en comparación con los préstamos (“Over and Under”) que se pueden generar en los Puertos de

Exportación, el foco central busca obtener esta última variable a partir de balance del mes.

Figura 7- Cronograma de actividades proceso de compensación volumétrica por calidad.



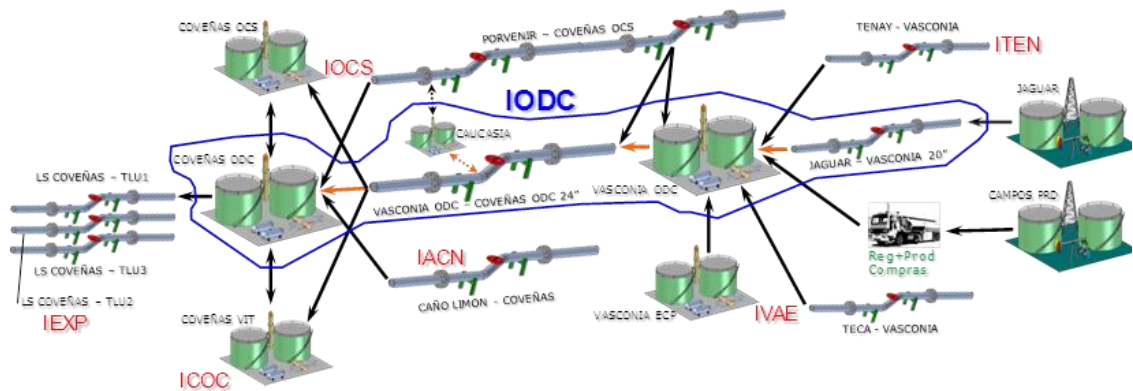
Fuente: CENIT Transportes de hidrocarburos, 2015

El propósito de la compensación volumétrica por calidad (CVC) es distribuir la propiedad de una corriente a cada propietario de crudo, respecto a su calidad inicial entregada para transporte basado en un método de valoración de crudos por cambios que se pueden presentar por las calidades del crudo inicial versus el crudo entregado en el destino final. Adicionalmente el reporte de la CVC expone los prestamos entre remitentes en los Puertos de exportación que se pueden presentar al no contar con todo el volumen o capacidad de exportación del buque.

Con la entrada del proyecto SENSOR en el año 2006, se modificó el modelo volumétrico con que se realizaba el cierre mensual agrupando los recursos (estaciones y ductos) de acuerdo a características de operación y propiedad

similares. Así, se simplificó el manejo de inventarios y de movimientos que deben representarse en los estados contables; las agrupaciones de diferentes activos se conocieron como Centros Logísticos (Celo) el cual se puede apreciar en la Figura 8 que representa al Oleoducto de Colombia ODC en el CELO llamado IODC.

Figura 8- Representación del centro logístico IODC para el Oleoducto de Colombia



Fuente: Guía de Cierre Volumétrico de VIT. Ecopetrol S.A, 2015

Entre el año 2006 hasta el 2012, se aplicó un proceso de estimación de los inventarios y préstamos para los sistemas de transporte que manejaban compensación volumétrica por calidad diferente al actual, esto debido a que en este periodo Ecopetrol S.A no contaba con profesionales con conocimiento en balance volumétrico que permitiera analizar las variables que intervienen en el proceso de compensación por calidad. Por lo tanto, la estimación consistía en cargar en el mes a cerrar (n) la última compensación volumétrica oficializada del mes (n-1), cancelando la compensación cargada en el mes anterior (n-2). De esta manera la única variable a estimar era el inventario; el cual salía del resultado de la ecuación de balance, siendo las pérdidas identificadas y las no identificadas calculadas basado en la propiedad de los movimientos de entrada utilizando la Ecuación 1 (Ecopetrol S.A E9, 2015).³²

$$\boxed{\%Prop = \frac{I_{ip} + E_p - S_p - I_{fp}}{I_{it} + E_t - S_t - I_{ft}}} \quad (\text{Ec 1})$$

En donde,

I_{ip} = Inventario inicial con propiedad

E_p = Entradas con propiedad

S_p = Salidas con propiedad

I_{fp} = Inventario final con propiedad

I_{it} = Inventario inicial total

E_t = Entradas totales

S_t = Salidas totales

I_{ft} = Inventarios finales totales

La ecuación anterior está basada en el estándar internacional API 2650 y en la ley de conservación de la materia, en donde el factor superior hace referencia a los movimientos generados por el remitente (n) y el factor inferior a los movimientos operacionales totales, por lo tanto, esta relación genera el porcentaje de propiedad el cual va de cero a uno; siendo cero, equivalente a no contar con propiedad.

Las ventajas que tenía esta metodología se enfocaba en el control de los volúmenes reales generados por la CVC, los cuales quedan registrado en la contabilidad de la empresa; adicionalmente la rapidez en la ejecución de este proceso ya que se contaban con la información a reportar, sin embargo, se trabajaba con inventarios finales errados y basados en cuentas de balances de 2 meses anteriores, así como el volumen de O&U que se cargaba en la SIV (Sistema de Información Volumétrica); de igual forma, se cargaba el total de volumen a un solo producto afectando el costo de los materiales transportados. Esta metodología generaba alta variabilidad en los inventarios finales de Ecopetrol S.A desconociendo el estado real de los préstamos e inventarios ocasionando incertidumbre en los estados financieros.

Entre los años 2012 y 2013 Ecopetrol S.A desarrollo metodologías para el cálculo de volúmenes de degradación de productos (interfases) en líneas de transporte, permitiendo implementar a la metodología de estimación de O&U los traslados entre productos transportados por los oleoductos que manejan CVC y de este modo permitir que el balance volumétrico se segregara por producto mitigando el costo para cada uno de los materiales en la contabilidad de la empresa.

A partir del 2013 a la fecha se cambió la metodología de estimación del “*Over & Under*” de Ecopetrol S.A, la cual tiene en cuenta los volúmenes que se transportaron por el sistema de transporte propiedad de esta compañía, los inventarios iniciales que corresponden a los finales del mes anterior y las salidas del sistema de transporte que conciernen a las exportaciones y transferencias a otros sistemas.

Adicionalmente se establecen unos volúmenes de interfases o degradación de producto en el sistema de transporte y se tiene en cuenta las nominaciones planteadas para el mes en análisis. El desbalance obtenido se asocia a una posible deuda o préstamo entre clientes. Esta metodología conservadora generó para el Oleoducto de Colombia una desviación en los inventarios finales corresponde al 57% del inventario real reportado propiedad de Ecopetrol (Ecopetrol S.A E6, 2013).

Mediante la exploración, análisis de variables y comportamientos de los resultados es posible que se pueda obtener una mejor aproximación a los valores estimados por O&U en el cierre mensual de Ecopetrol S.A. En la mayoría de las investigaciones realizadas en donde se busca soluciones factibles se efectúan mediciones y/o experimentos en donde se obtiene el comportamiento de las diferentes variables a partir de datos arrojados. Esta información es utilizada para determinar la relación de dependencia entre variables en búsqueda de pronósticos o predicciones que permitan conocer el comportamiento de ellas.

Uno de los mecanismos para el análisis de datos que permite establecer la relación funcional o ecuación matemática que relaciona las variables, así como la fuerza de esta relación es la estadística mediante el análisis de regresión (Cardona & Gonzalez, 2013). Este mecanismo permite explorar nuevas formas de obtener una solución factible complementando el análisis de balance que actualmente se realiza para predecir los valores de préstamos e inventarios de Ecopetrol S.A de el Oleoducto de Colombia.

9. MARCO TEÓRICO

Para determinar los volúmenes transportados en un sistema de múltiples remitentes se requiere contar con eficientes sistemas de medición que garanticen obtener cifras con baja incertidumbre.

Actualmente la medición de productos hidrocarburos se realiza en tanques de almacenamiento utilizado para la determinación de inventarios mediante la medición del nivel de producto; haciendo uso de la tabla de aforo del tanque (relación entre nivel de producto y volumen) y las tablas de corrección por temperatura se llevan todos volúmenes totales a condiciones estándares de 60°F.

Así mismo se utiliza la medición dinámica para determinar los movimientos de recibos y entregas; esta medición consiste en contar con medidores en línea, y realizar ajustes por temperatura y presión llevando los volúmenes a condiciones estándares. Todas estas mediciones son realizadas por un ente imparcial y son llevadas al balance volumétrico las cuales son utilizadas por el transportador para generar el documento de CVC en donde se detallan los balances por cada uno de los remitentes.

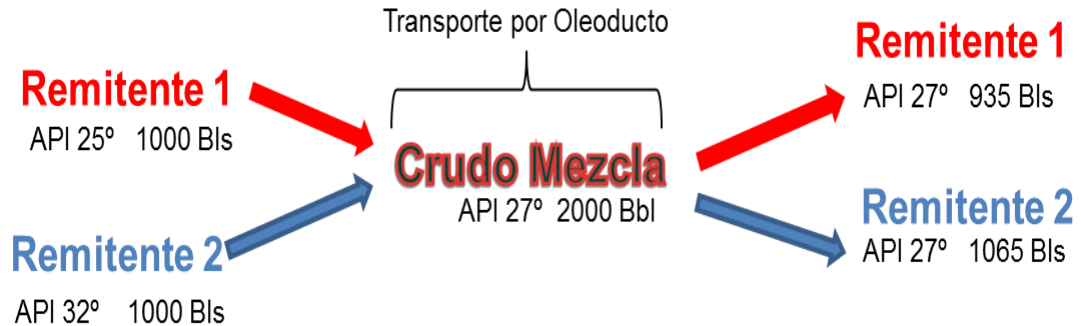
9.1 COMPENSACIÓN VOLUMÉTRICA

Actualmente en Colombia un Oleoducto puede recibir más de un tipo de producto con calidades diferentes y de varios remitentes que al ser entregados a su destinatario final se obtendrá como resultado un crudo con características de calidad y precio diferentes a los originalmente entregados.

En la Figura 9 se observa un caso ideal de balance de productos con dos remitentes de calidades diferentes en donde al ser transportado se mezclan el

crudo 1 con el crudo 2; obteniendo en el destino (salida del sistema de transporte) un producto de una sola calidad de densidad (API) de 27 grados.

Figura 9 - Esquema de compensación de calidad y calidad de producto en Oleoducto.



Fuente: Ecopetrol S.A. 2012

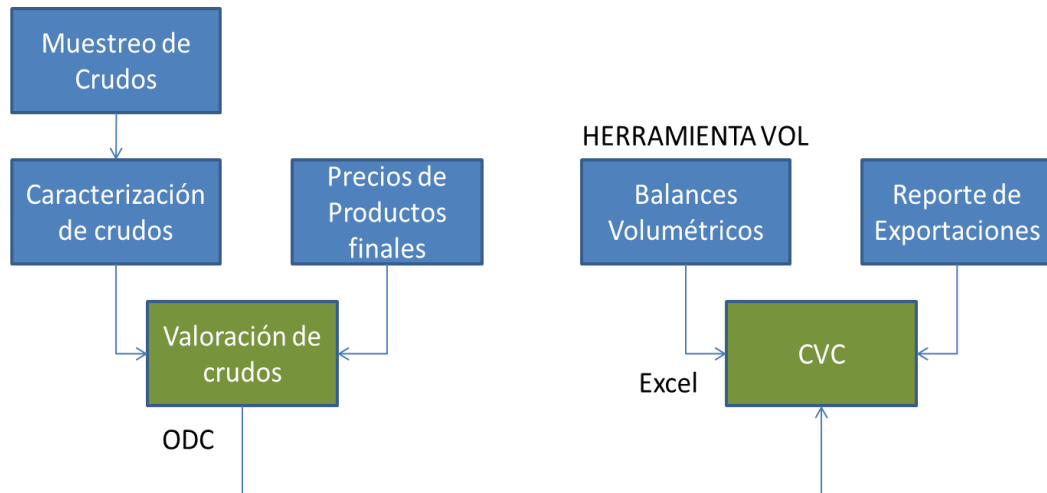
Sin embargo, al ser transportados y entregados al finalizar la cadena de transporte se presenta la compensación por volumen, en el cual al remitente #2 con mayor cantidad entregada pasa de tener un volumen de 1000 Bls a 1065 Bls, perdiendo calidad de 32°API a 27° API; por otro lado, el remitente #1 presenta una mejora en la calidad entregada pasando de 25°API a 27°API y perdiendo cantidad al pasar de 1000Bls entregados al transportador a 935 Bls. Este proceso se conoce como compensación de calidad o CVC.

9.1.1 PROCESO DE COMPENSACIÓN VOLUMÉTRICA

El proceso de CVC inicia con el muestreo de los productos que los remitentes requieren que se transporte por el oleoducto. Este muestreo sirve para poder caracterizar o conocer las calidades del crudo a transportar; dentro de las propiedades más sobresalientes para establecer el precio del crudo de petróleo se encuentra su densidad o gravedad API y el porcentaje de Azufre. En otros casos se realiza la destilación del crudo con el fin de conocer los productos livianos que se pueden obtener en una refinería.

Junto con la caracterización del crudo, los precios finales de venta los productos son requeridos por la compensación volumétrica con el fin de llevar a cabo la valoración de los crudos. En la Figura 10 se detallan las etapas para la generación de la CVC.

Figura 10- Proceso de Compensación Volumétrica.



Fuente: Ecopetrol S.A. 2012.

9.1.1.1 VALORACIÓN DE CRUDOS

Comúnmente existen dos esquemas de valoración de crudos que son utilizados en la compensación volumétrica:

- a. **Método de propiedades básicas (“Bulk Properties”)**: Este método infiere el precio del crudo a partir de sus propiedades básicas y precios de referencia internacionales. Las propiedades básicas son aquellas que se determinan al crudo sin necesidad de realizar destilaciones ni transformaciones químicas.

Las propiedades básicas más utilizadas son:

- Densidad o Gravedad API
- Contenido de Azufre (%S)

El precio de un barril de crudo se determina mensualmente mediante una regresión lineal que únicamente tiene en cuenta estas dos propiedades básicas la cual se observa en la Ecuación 2,

$$US\$/BBL = B_0 + B_1 \times G.E + B_2 \times \%S \quad (\text{Ec 2})$$

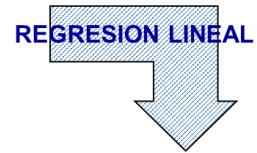
En donde, G.E corresponde a la gravedad específica del crudo la cual se obtiene a partir de la gravedad API en donde $G.E = 141.5 / (131.5 + API)$; y las constantes B_0 , B_1 y B_2 se obtienen de una canasta de crudos las cuales ya tienen precio establecidos (Ecopetrol S.A E3, 2012).

En la Figura 11 se observa un ejemplo de la canasta de crudos en donde se obtienen las constantes para la Ecuación 2 utilizada por el método de propiedades básicas.

Figura 11- Canasta de Crudo.

Crude	API	G.E.	Sulfur, wt%	\$/BLS.
San Fco.	27,0	0,8927445	0,389	43,53
Balcón	33,7	0,8565375	0,305	44,84
Andalucía	31,3	0,8691646	0,336	45,82
Tello	20,3	0,9321476	2,06	35,54
Dina	21,3	0,9260471	1,74	37,01
Palermo	16,9	0,953504	1,49	35,27
Espinal	28,1	0,8865915	0,936	43,65
Toldado	19,8	0,935228	2,9	33,92
Ortega	27,6	0,8893778	0,96	41,33
Yaguará	22,4	0,9194282	2,037	36,76
Gigante	32,2	0,8643861	0,24	45,92
Guando	27,7	0,8888191	0,484	44,19
Guaduas	18,9	0,9408245	0,527	43,50
Rio Ceibas	26,1	0,8978426	0,523	42,83
La Hocha	16,2	0,958023	2,414	32,60
Jaguar	21,7	0,9236292	0,87	41,75

B2	B1	B0
-3,93539	-41,7783	82,9583



Fuente: Ecopetrol S.A. 2012.

Como ventajas se puede resaltar que es un método sencillo requiriendo poca información de los crudos, utilizando una regresión lineal y los datos

de la canasta de crudos se pueden obtener en las publicaciones de “*Platt’s y Opus*” (Platts & Opus, 2012).

Dentro de las desventajas se destaca que es un método estadístico sujeto a errores con un coeficiente de determinación de ($R^2 = 0.94$ aprox), el cual puede utilizarse precios de crudos de diferentes ubicaciones geográficas que no son comparables y no tiene en cuenta las propiedades de la refinación.

b. Método de refinación: Este método infiere el precio del crudo a partir de las características de refinación. Existen dos métodos los cuales son:

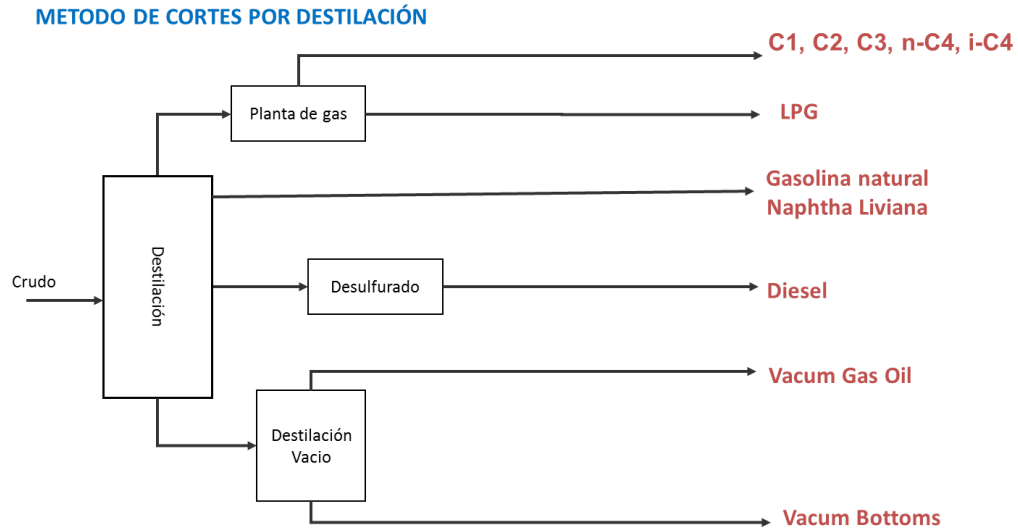
b.1 “*Netback Topping*”: Esta metodología determina el precio de un barril de crudo a partir de su comportamiento en un proceso de refinación más el precio internacional de los productos refinados que se obtengan. Este método es utilizado en Colombia por Oleoducto Central S.A (OCENSA) y por el Oleoducto de Colombia (ODC).

La base del “*Netback Topping*” es el análisis de calidad de los crudos con relación a los derivados obtenidos mediante simulación de destilación los productos refinados. El método de destilación es completo, en el cual se obtienen desde productos gaseosos (livianos) hasta los fondos del producto.

Posteriormente a la generación del valor de los productos que se pueden obtener a partir del crudo teniendo en cuenta la simulación de una planta de destilación ubicada en costa del golfo de Estados Unidos de Norte América (USGC) por ser este el principal mercado de crudos Colombianos, se realizan una serie de ajustes primarios los cuales están enfocados en la cantidad de azufre contenida en el diésel y para los fondos de la destilación de vacío se realiza ajustes por cantidad de azufre y viscosidad.

En la Figura 12 se observa el modelo básico para la destilación de los productos de esta metodología.

Figura 12 - Esquema general de destilación “*Netback Topping*”



Fuente: Ecopetrol S.A. 2012

De manera mensual se realiza un ajuste secundario basado en la diferencia existente entre la gravedad API del producto en el mes y la contenida en la muestra inicial con que se realizó el análisis de destilación. Los precios calculados bajo esta metodología con base en la tendencia del mercado muestran un coeficiente de determinación de $R^2=0.9740$ la cual representa una diferencia del 0.28US\$/Bls. Este método es el que mejor refleja el cambio de precios de los productos en el mercado real ya que los crudos existentes en Colombia son de propiedades físicas que varían desde 15 grados API hasta 45 grados API.

Dentro de las desventajas de esta metodología es que se requiere la caracterización del crudo (“Assay”) lo cual incurre en mayores costos, adicionalmente puede afectarse por cambios inesperados en el mercado en ciertos cortes de destilación y en general es un proceso mucho más

costoso debido a que se incurre en tomas de muestras confiables para obtener los “assays” actualizados, softwares y mayor conocimiento del proceso.

b.2 “Netback craking”: Esta metodología mide lo que obtendría un refinador por la destilación de los productos obtenidos del crudo a comprar, el cual es utilizado por economías basadas en la refinación.

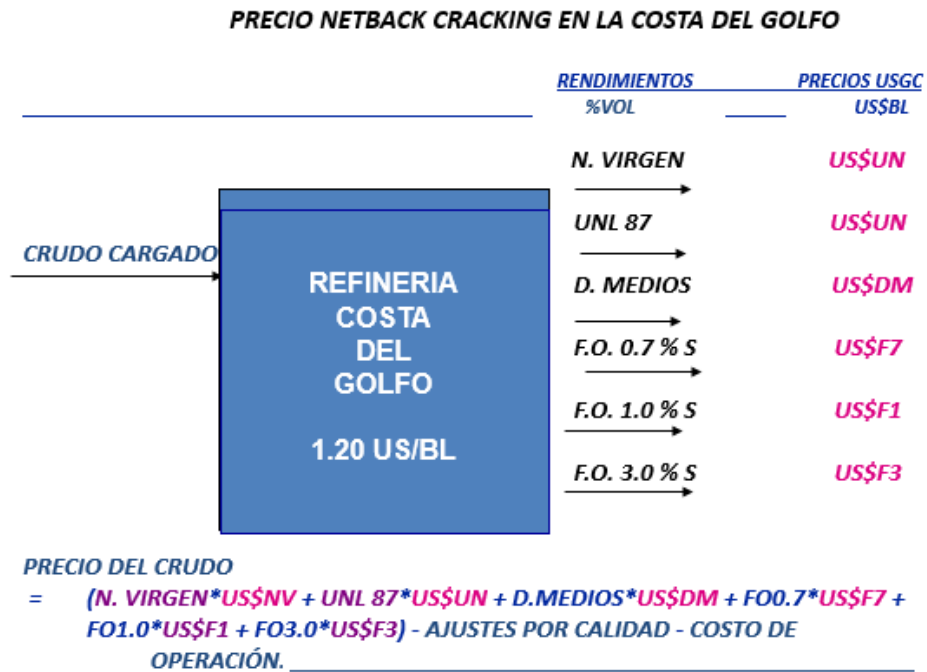
A partir de un reporte de calidad completo del crudo (“Assay”) y mediante herramientas de simulación se determinan los volúmenes y calidades de productos refinados en una refinería localizada en la costa del golfo de Estados Unidos de Norte América (USGC) conformada por una destilación simple y una de ruptura catalítica en donde su costo de operación típico es de 1.20 US\$/Bls, contemplando únicamente la producción de líquidos con un rendimiento máximo del 96%.

El precio “*netback cracking*” en el sitio del país elegido para la entrega del crudo a comprar, se determina descontando al precio “*netback cracking*” en la usgc, todos los costos asociados para llevar el crudo a ese sitio de entrega.

Estos costos son flete marítimo a costa colombiana, manejo, impuestos y transporte por oleoductos nacionales. El precio del crudo obtenido se compara con el precio de un marcador internacional (WTI, Brent) y se determina el precio de compra como un descuento del marcador (WTI – Descuento).

En la Figura 13 se observa el modelo básico para establecer el precio del crudo basado en la destilación de productos como la nafta virgen, gasolinas, destilados medios, y combustóleos.

Figura 13- Esquema general de destilación “Topping Cracking”



Fuente: Ecopetrol S.A. 2012

De estos dos métodos se desprenden distintas formas para la valoración de los crudos, que básicamente dependen de la aplicación del crudo. En la Tabla 1 se detallan las metodologías implementadas en Estados Unidos y Canadá evidenciando que en su mayoría se aplica el método de las propiedades básicas.

Tabla 1 - Metodologías de valoración de Crudos en Estados Unidos y Canadá

Oleoducto	Ubicación	Método	Comentario
Various Offshore	LA	Gravedad API	Basado en diferenciales API publicados
Various Offshore	LA	API + % S	Diferenciales de API publicados + \$1/bbl por % S
HOOPS, Offshore	TX	API + % S	Determinado por regresión de precio de crudos vs. API y % S
LOOP Terminal	LA	Destilación (4 cortes)	Inactivo, se transporta segregado.
East rockies	TX	API	Basado en diferenciales API publicados
Point Arguello	CA	API + % S	Regresión de publicación CA
Ventura	CA	API + % S	
Cook inlet	AK	API	Basado en diferenciales API publicados
TransAlaska (TAPS)	AK	Destilación (10 cortes)	En conflicto
Interprovincial	Canada	API + % S	Ajuste por S para separa los crudos dulces

Fuente: Ecopetrol S.A. 2012

Por otro lado, en Europa todos los métodos implementados utilizan la destilación como base para la valoración del crudo, esto debido a que en el mar del Norte no existe un sistema de colocación establecido (“*Posting System*”). En la Tabla 2 se detallan las metodologías implementadas en Europa.

Tabla 2 - Metodologías de valoración de Crudos en Europa.

System Method	Brend/Ninian	Ekofisk	Hotta	Horties	Oseburg	I roll
	4 Cut Distillation	3 Cut Distillation	5 Cut Distillation	4 Cut Distillation	5 Cut Distillation	5 Cut Distillation
Light Ends	X		X	X	X	X
Naphtha	X	X	X	X	X	X
Kerosene					X	X
Gasoil	X	X	X	X	X	X
Vacuum Gasoil			X			
Residue	X	X	X	X	X	X
Quality Adjustments						
Kerosene					X	X
Gasoil			X	X	X	X
VGO sulfur		X	X			
Residue sulfur	X		X	X	X	X
Residue viscos.	X		X	X	X	X
Residue		X				

Fuente: Ecopetrol S.A. 2012

En América Latina se utilizan ambas metodologías siendo Colombia la única que utiliza la destilación como base de valoración de crudos. En la Tabla 3 se detallan las metodologías implementadas en América Latina.

Tabla 3 - Metodologías de valoración de Crudos en América Latina

Oleoducto	Ubicación	Método	Comentario
OCP	Ecuador	API y %S	Regresión con canasta de crudos de USGC
SOTE	Ecuador	API	Ajuste por API, relación fija
Argentina	Argentina	API	Ajuste en especie, ajuste por ° API en una corriente común. Penalización ó crédito según variaciones por ° API
Ocensa	Colombia	Destilación	
ODC	Colombia	Destilación	

Fuente: Ecopetrol S.A. 2012

9.1.1.2 GENERACIÓN DE LA COMPENSACIÓN VOLUMETRICA

Diariamente en el Sistema de Transporte de ODC se realizan mediciones de las cantidades transportadas, recibidas y entregadas la cuales se definen en el Manual del transportador del ducto como puntos oficiales de medición. Con estas mediciones se genera el balance volumétrico del sistema considerando esta etapa como la inicial para la realización de la compensación volumétrica por calidad, el cual contempla los inventarios iniciales y finales del sistema, los movimientos de entrada y salida y las pérdidas identificables en un periodo de tiempo determinado. Por otra parte, se requiere conocer el detalle de las exportaciones realizadas por cada uno de los remitentes con el fin de conocer los volúmenes y productos que salieron del sistema de transporte.

El reporte del balance del sistema de transporte se genera de manera mensual por el transportador que corresponde al consolidado del balance diario. Este balance debe ser validado teniendo en cuenta los puntos oficiales de medición, los reportes del ente imparcial que realiza la medición en cada uno de los puntos con el fin de brindar transparencia a los remitentes, las definiciones de los

volúmenes de control para realizar el balance y sobre todo el resultado de las pérdidas no identificables.

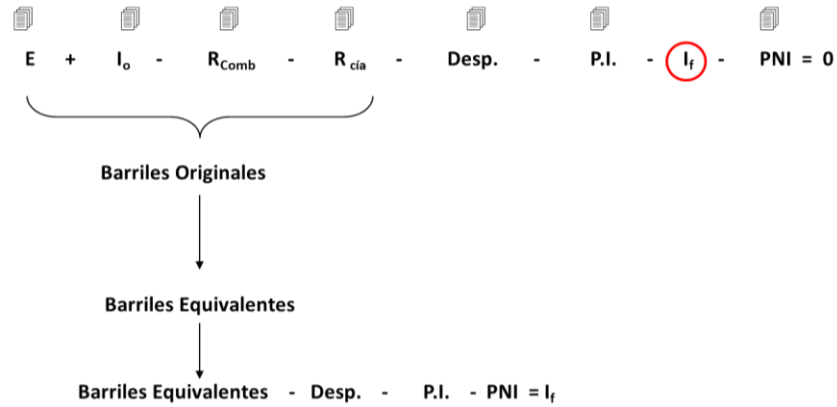
Con el fin de establecer el balance para cada uno de los remitentes el cual incluye el ajuste por CVC, es necesario conocer inicialmente las variables que afectan directamente la propiedad final de los usuarios del sistema. Esta ecuación está basada en el API 2560 y en la ley de conservación de la materia la cual se muestra en la Ecuación 3:

$$PNI_{total} = E + I_o - R - I_f - P_i \quad +/\text{- ajuste por CVC} \quad (\text{Ec 3})$$

En donde, las PNI corresponden a las pérdidas no identificadas el cual resultado de la ecuación de balance. Las E corresponden a las entradas del sistema, producto que entregan los remitentes con sus calidades medidas. Las R corresponden a los retiros del sistema de transporte, que por lo general son las exportaciones, las P_i son las pérdidas identificables que son volúmenes cuantificables que se pierden o recuperan por causas conocidas y medibles tales como atentados, roturas y tomas ilícitas. Y las I_o e I_f corresponden a los inventarios iniciales y finales del sistema respectivamente en un periodo determinado.

Dentro de un sistema de transporte existen líneas y tanques de almacenamiento de crudos los cuales mantienen inventarios al inicio y final de un periodo determinado, considerando el inventario en líneas fijos dado a que siempre se mantienen empaquetados. Esto hace que la implementación de la compensación volumétrica por calidad cambie en cada uno de estos recursos. En la Figura 14 se muestra la variable objetivo a obtener, que para el caso de las estaciones corresponde al inventario final; siendo las entradas compensadas por calidad y pasados a barriles equivalentes.

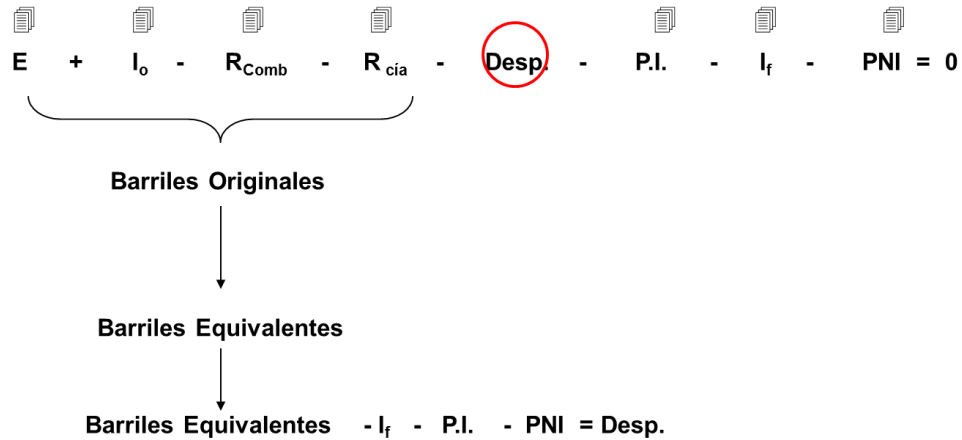
Figura 14- Implementación de la CVC en estaciones de transporte



Fuente: Ecopetrol S.A. 2012

Por el contrario, para las líneas de transporte su variable objetivo son los despachos o salidas del sistema, teniendo en cuenta que cuando son entregas a puertos estas se mantendrían fijas. En la Figura 15 se muestra la variable objetivo a obtener para las líneas de transporte.

Figura 15- Implementación de la CVC en líneas.



Fuente: Ecopetrol S.A. 2012

Las Pérdidas no identificables (PNI) se distribuyen entre los clientes según las entradas al sistema del mes a reportar, sin embargo, las pérdidas identificables

se distribuyen según las entradas al sistema del mes anterior al que se va a reportar.

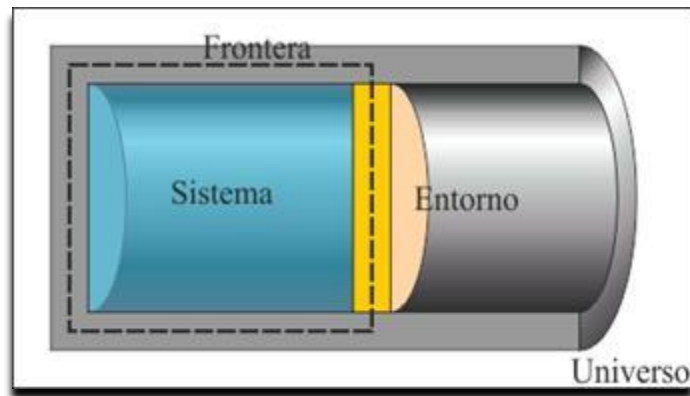
El esquema de cálculo para obtener los barriles equivalentes que son aquellos volúmenes ya compensados por calidad es el siguiente (CENIT Transporte y Logística de Hidrocarburos, 2014):

1. Inicialmente se determina las entregas por remitente. Esto se obtiene de acuerdo a los volúmenes reales entregados por cada cliente del sistema y son llamados barriles originales. ($Bls\ Originales = E_i$).
2. Posteriormente a tener los volúmenes de entrada, se procede a calcular con base en la valoración de crudos el precio de las corrientes entregadas para cada uno de los remitentes. ($Q_i = \$USD/BBL \times E_i$).
3. Se calcula la fracción de costo para cada remitente o porcentaje de distribución de acuerdo al precio de los productos. ($F.C_i = Q_i/Q_t$).
4. Se calculan los barriles equivalentes por remitente teniendo en cuenta la fracción del valor del producto. ($B\ Eq = Bls\ Originales \times F.C_i$).
5. Por último, se calcula el ajuste a realizar por cliente o compensación volumétrica por calidad. $CVC = Bls\ Equivalentes - Bls.\ Originales$).

9.2 BALANCE VOLUMETRICO

La evaluación y control del balance volumétrico en los sistemas de transporte que manejan hidrocarburos es de vital importancia dado la incidencia económica que tienen las pérdidas de producto asociado a acciones de terceros (hurto de hidrocarburo, atentados a la infraestructura, roturas) o a errores en la medición de estas variables. Adicionalmente a ello, el balance permite medir correctamente las entradas o recibos, las salidas o entregas, controlar y revisar los inventarios (“*Stock*”) del negocio de la manera más exacta posible, y controlar las pérdidas/ganancias del sistema que opera (ASEDUIS, 2014).

Figura 16- Volumen de Control.



Fuente: <http://laplace.us.es/wiki/index.php/Archivo:Masa-control.png>. 2016

La ecuación de balance se genera a partir del análisis de la materia o energía en un área determinada llamada volumen de control la cual está delimitada por una frontera imaginaria como se observa en la Figura 16 que tiene interacción con el entorno, y puede entregar, recibir o almacenar material en el sistema, y que basado en la ley de conservación de la materia se tiene que,

$$\boxed{\text{Entradas} = \text{Salidas} + \text{Acumulación}} \quad (\text{Ec } 4)$$

Despejando a cero la anterior ecuación tenemos que:

$$\boxed{\text{Entradas} - \text{Salidas} - \text{Acumulación} = 0} \quad (\text{Ec } 5)$$

Para que exista una acumulación el inventario final deberá ser mayor que el inventario inicial por lo que el resultado de esta variable será igual a:

$$\boxed{\text{Acumulación} = \text{Inventario Final} - \text{Inventario Inicial}} \quad (\text{Ec } 6)$$

Igualando la Ecuación 5 con la Ecuación 6 se obtiene lo siguiente,

$$\boxed{\text{Entradas} - \text{Salidas} - \text{Inventario Final} + \text{Inventario Inicial} = 0} \quad (\text{Ec } 7)$$

La Ecuación 7 es aplicable a estaciones o también a sistemas de transporte. En un mundo ideal, todo fluido que entra a un sistema de transporte sale, siendo este medido con precisión y su delta de inventario (Inventario Final – Inventario Inicial) viéndose reflejado en el sistema. El sistema nunca experimenta pérdidas y ganancias. Desafortunadamente el balance de un sistema ideal no puede verse reflejado en la realidad (API 2560, 2003). La mayoría de los sistemas de transporte experimentan pérdidas y ganancias ocasionadas por fallos en los sistemas de medición, condiciones operacionales (descuelgues de línea, sobre empaque del sistema, expansiones térmicas), o acciones de terceros (hurto de hidrocarburo, atentados, fugas) lo que hace que se incluya una nueva variable en la ecuación de balance llamada P/G perdida o ganancia.

$$\boxed{\text{Entradas} - \text{Salidas} - \text{Inventario Final} + \text{Inventario Inicial} = P/G} \quad (\text{Ec } 8)$$

Dentro de las perdidas y/o ganancias de un sistema se encuentra las pérdidas no identificadas (PNI) para las cuales no se puede determinar la causa y el valor de la variable; y las pérdidas identificables (PI) cuya causa y valor puede determinarse. Por tanto, el P/G es igual a:

$$\boxed{\text{Pérdidas Identificadas} + \text{Pérdidas no Identificadas} = P/G} \quad (\text{Ec } 9)$$

Unificando la Ecuación 8 y la Ecuación 9 en la variable P/G se obtiene lo siguiente,

$$\boxed{\text{Entradas} - \text{Salidas} - \text{Inventario Final} + \text{Inventario Inicial} = PI + PNI} \quad (\text{Ec } 10)$$

Dado a que la única variable desconocida del balance es la pérdida no identificada, se procede a despajarla de la Ecuación 10.

$$PNI = Entradas - Salidas - Inventario Final + Inventario Inicial - PI \quad (\text{Ec } 11)$$

Es muy importante tener en cuenta la convención a utilizar para representar las pérdidas o ganancias de acuerdo al signo del resultado obtenido en la Ecuación 11 (API 2560, 2003). Perdida no identificada expresada como signo negativo:

$$PNI = Salidas + Inventario Final + PI - Inventario Inicial - Entradas \quad (\text{Ec } 12)$$

Perdida no identificada expresada como signo positivo,

$$PNI = Entradas - Salidas - Inventario Final + Inventario Inicial - PI \quad (\text{Ec } 13)$$

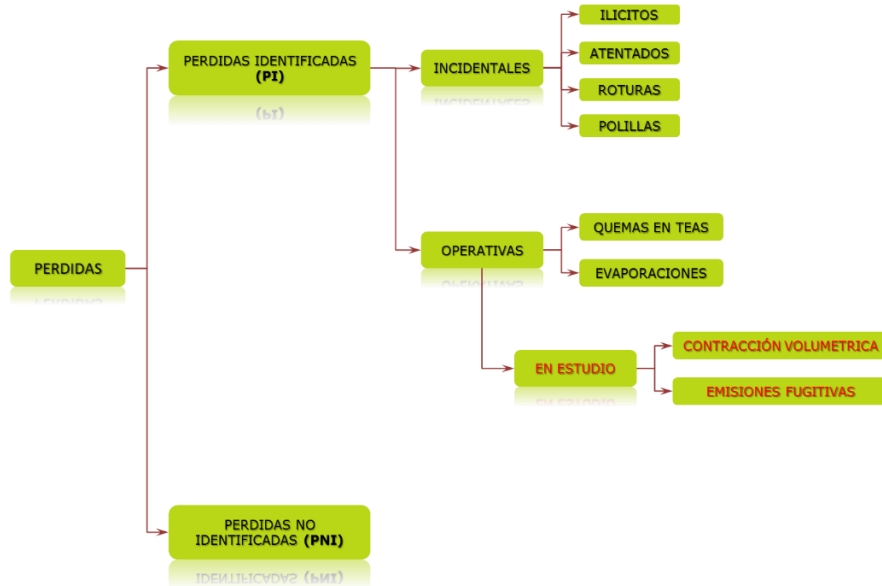
La convención más utilizada a nivel de balance volumétrico y sistemas contables es la expuesta en la Ecuación 12, en donde las pérdidas son representadas con signos negativos y las ganancias con signos positivos.

9.2.1 PÉRDIDAS IDENTIFICABLES

Son aquellas pérdidas de producto cuyo origen y causa son perfectamente determinados y cuya cantidad es establecida mediante medición directa, inferida por medio de un método matemático o estimada de la manera más razonable posible. Es considerado como una salida en la ecuación de balance (Ecopetrol S.A E8, 2015). Las pérdidas identificadas pueden ser clasificadas como incidentales, que son ocasionadas por acción de terceros fuera de la operación normal del ducto u operativas, las cuales se generan por el manejo del producto en el nodo de transporte.

En la Figura 17 se observa los tipos de pérdidas para cada una de las dos clasificaciones existentes en Ecopetrol S.A (Ecopetrol S.A E4, 2012).

Figura 17- Clasificación de pérdidas



Fuente: Ecopetrol S.A. 2012

9.2.2 PÉRDIDAS NO IDENTIFICABLES

Las pérdidas no identificadas de producto son aquellas cuyo origen y causa no pueden ser determinados, por lo cual su cantidad no puede ser discriminada por ningún método. Su valor es el resultante del desarrollo matemático de la ecuación de balance (Ecopetrol S.A E4, 2012) y por tanto es la variable de control operacional.

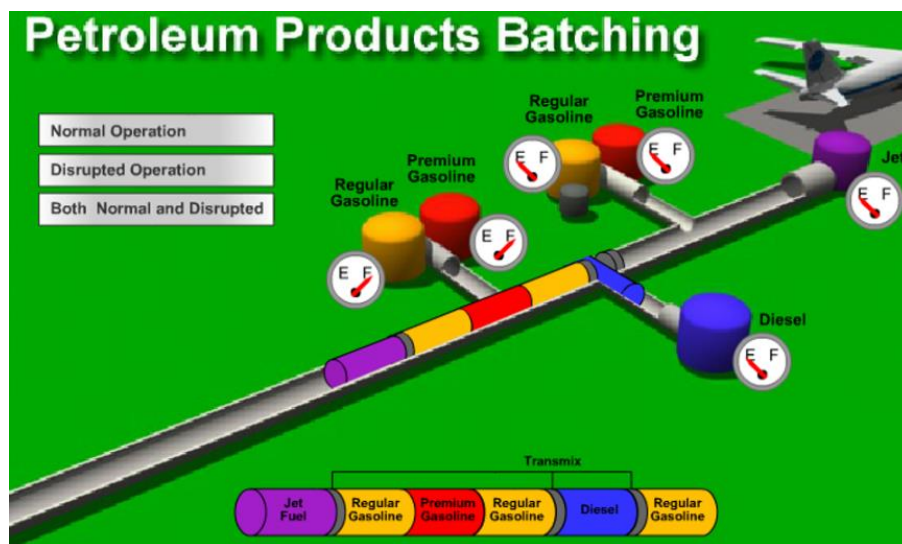
9.2.3 INTERFASES EN DUCTOS

Por lo general los sistemas de poliductos y oleoductos transportan más de un producto ocasionando que estos sean despachados desde el origen de manera segregada, incluso con cuñas o producto separador de baches. De igual forma,

en el destino se reciben estos productos de manera separada tratando de mantener las propiedades físico-químicas de los materiales más valiosos.

Dentro del sistema de transporte entre productos de diferentes densidades se generan una mezcla de calidades conocida como Interfaz, la cual tiene propiedades de ambos productos, pero no se puede clasificar como ninguno. En la Figura 18 se evidencian un diagrama de interfases entre productos refinados transportados por poliductos.

Figura 18- Transporte de interfases en ductos



Fuente: <https://onthevergeoftears.wordpress.com/tag/petroleum-refinery/>. 2016

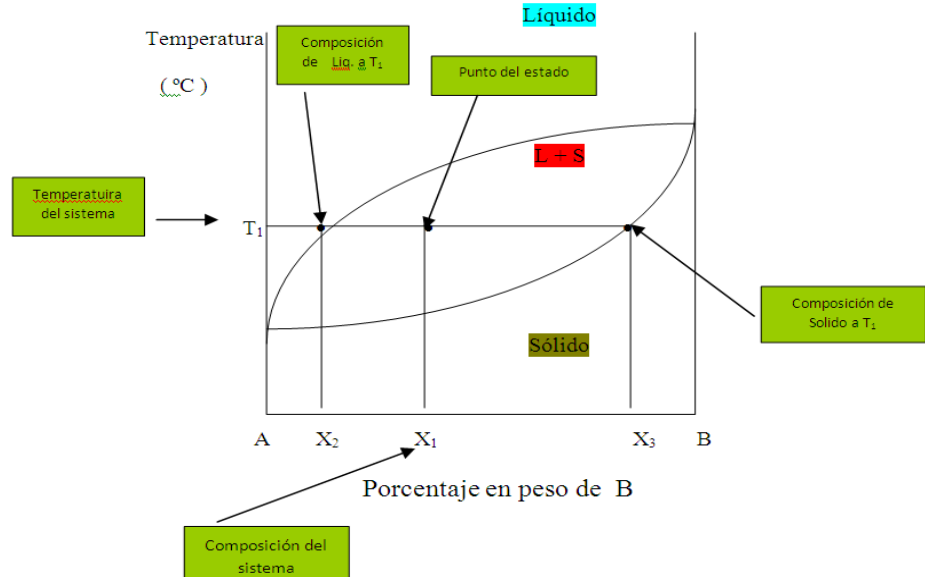
El tamaño de las interfases generadas en los sistemas de transporte depende de diferentes factores operacionales dentro de los cuales se encuentran la velocidad del fluido, la diferencia de las densidades de los productos, anomalías en el bombeo (múltiples paradas del sistema), el diámetro y longitud del ducto y la topografía (Ecopetrol S.A E7, 2014).

Actualmente existen dos métodos de estimación de los volúmenes de interfases en los sistemas de transporte:

a. **Método de la regla de la Palanca:** Este método es muy utilizado en la determinación de la composición química “real” de una aleación en equilibrio a cualquier temperatura en una región bifásica, en la cual al aplicarla al cálculo de la interfase se hace uso de la curva de calidad de densidad teniendo el corte del bache del producto (YPF Argentina, 2011).

La base del cálculo es relacionar la longitud de la isoterma del producto líquido, con la del producto sólido y de esta manera obtener el porcentaje del producto líquido y sólido en un punto determinado de la curva de composición como se muestra en la Figura 19.

Figura 19- Composición de dos productos versus temperatura



$$\begin{aligned} \% \text{ de líquido} &= \frac{\text{Longitud de la isoterma opuesta al líquido}}{\text{Longitud total de la isoterma}} = \frac{X_3 - X_1}{X_3 - X_2} \\ \% \text{ de sólido} &= \frac{\text{Longitud de la isoterma opuesta al sólido}}{\text{Longitud total de la isoterma}} = \frac{X_1 - X_2}{X_3 - X_2} \end{aligned}$$

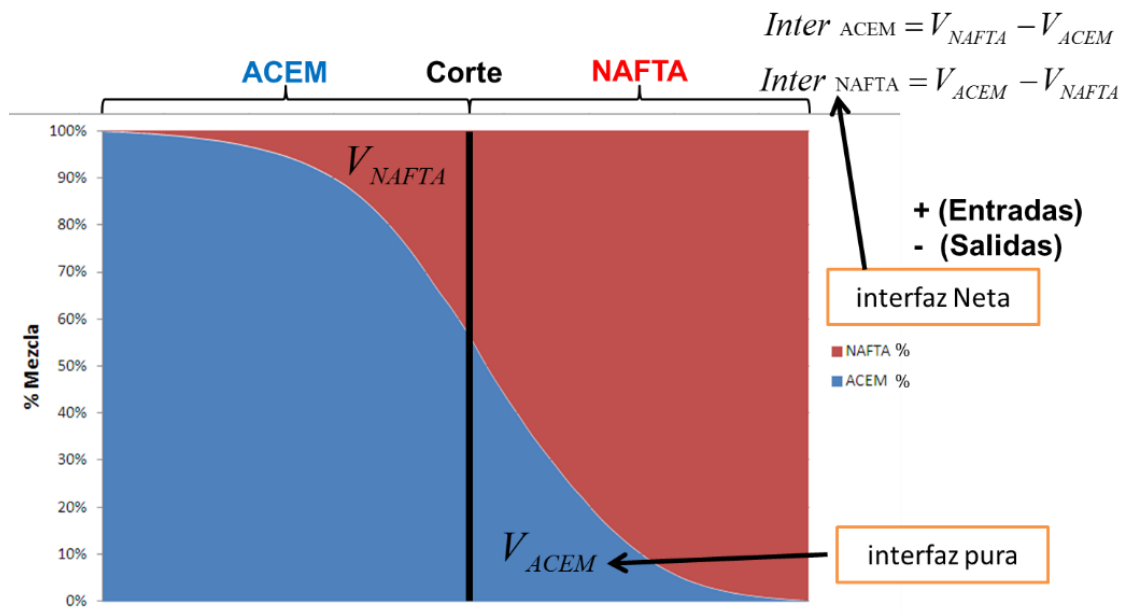
% de L + % de S = 100% para cualquier composición y temperatura

Fuente: Ecopetrol S.A. 2014

Adicionalmente se observa el punto X1 como la composición a obtener mediante los puntos conocidos X2 y X3 en donde la composición es 100% líquida para el caso de X2 o 100% sólida para el caso de X3. Para este caso, los dos materiales conocidos es la fase líquida y la fase sólida.

De esta misma manera se utilizan las ecuaciones para describir el comportamiento de la densidad de dos sustancias en la interfase, en donde se tendría que conocer la densidad del producto de la mezcla en el momento en que se realiza el corte del bache en el destino, tal como se muestra en el ejemplo de la Figura 20 para los productos ACEM y Nafta Importada.

Figura 20- Modelo de Interfase Regla de la Palanca.



Fuente: Ecopetrol S.A. 2014

- b. Método Matemático en función del Balance:** Este método consiste en realizar un balance por producto con el fin de conocer si ganaron o perdieron volumen durante el transporte. Posteriormente a ello se realiza

la distribución de la pérdida total del sistema entre los productos proporcionalmente a las entradas y de esta manera se establece el volumen que se traslada de un producto a otro (Ecopetrol S.A E7, 2014). En la Tabla 4 se detallan los para el cálculo de la interfase a través del método matemático en función del balance, metodología que fue patentada por Ecopetrol S.A en el 2014 y se está implementando para todos sus ductos a nivel nacional en el cierre mensual volumétrico.

Tabla 4 – Pasos para el cálculo de la interfase bajo método en función al Balance

Paso 1	Para cada Bache y producto dentro de un sistema específico se debe conocer la siguiente información: Recibos, Entregas, Pérdidas identificadas / $Inv_o = Inv_f = 0$
Paso 2	Para cada Bache y producto y total se calcula el Balance así: $BalanceBache_x = EntradasBache_x - SalidasBache_x - PIBache_x$ $PNI_T = \sum EntradasBache_x - \sum SalidasBache_x - \sum PIBache_x$
Paso 3	Distribución de perdidas no identificadas - PNI totales entre los Baches y productos en el sistema de transporte en proporción a la participación de las entradas en el sistema de cada producto. $PNI_x = PNI_T * \frac{EntradasBache_x}{\sum EntradasBache_x}$
Paso 4	Calculo del volumen de la interfaz para cada producto de acuerdo a la siguiente ecuación: $Interfase_x = PNI_x - BalanceBache_x$ Una interfaz negativa indica que este producto entregó y positivo significa que recibió. El modelo debe tener pre-configurado la lógica de interfaz entre productos (que producto entrega y cuales reciben). El resultado obtenido debe ser validado teniendo en cuenta los balances finales de los productos.

Fuente: Ecopetrol S.A. 2014

9.3 ANALISIS ESTADISTICO

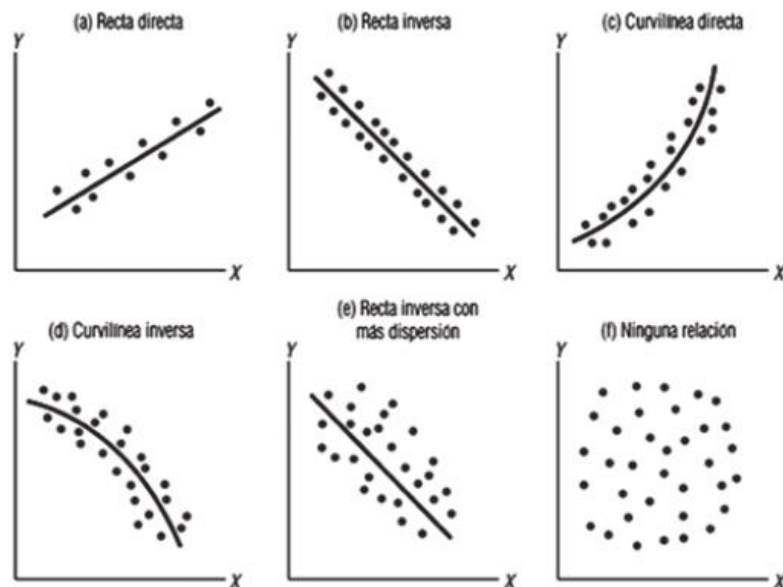
Debido a la automatización de los procesos y a la tecnología la obtención de datos de cualquier proceso puede realizarse de una manera rápida y eficiente, lo que permite obtener una mayor cantidad de información para realizar un análisis (Peñabaena & Oviedo, 2014) generando la necesidad de determinar la relación entre variables aleatorias haciendo uso de la estadística.

El análisis estadístico busca determinar si las variables están correlacionadas, es decir, si los valores de una variable tienden a ser más altos o más bajos para valores más altos o más bajos de la otra variable. Con base en las correlaciones se puede predecir el valor de una variable dado un valor determinado de la otra variable y valorar el nivel de concordancia entre los valores de las dos variables (Pita & Pértega, 2001).

9.3.1 CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES

Las relaciones estadísticas entre variables se obtienen mediante una primera fase exploratoria conocida como análisis de correlación. En general, existen varias posibles formas en que las variables cuantitativas se pueden relacionar: relación línea recta, relación línea inversa, relación no lineal directa y relación no lineal inversa. En la Figura 21 se observan unos ejemplos de algunos tipos de relación entre dos variables (Cardona & Gonzalez, 2013).

Figura 21- Tipos de relación entre dos variables.



Fuente: Application of linear regression on the problem of poverty. Diego Cardona, Javier Gonzalez. Universidad del Rosario. 2013

La cuantificación de la fuerza de relación lineal entre dos variables se determina por medio del coeficiente de correlación de Pearson el cual oscila entre -1 y +1, en donde una correlación cercana a cero evidenciada en el esquema (f) de la Figura 21 significa que no hay relación lineal entre las variables, tal como se muestra en la Figura 22.

Figura 22- Correlación lineal entre dos variables

Valores de r	Tipo y grado de correlación
-1	Negativa perfecta
$-1 < r \leq -0.8$	Negativa fuerte
$-0.8 < r < -0.5$	Negativa moderada
$-0.5 \leq r < 0$	Negativa débil
0	No existe
$0 < r \leq 0.5$	Positiva débil
$0.5 < r < 0.8$	Positiva moderada
$0.8 \leq r < 1$	Positiva fuerte
1	Positiva perfecta

Fuente: Análisis de correlación y regresión. Gómez Cesar. Escuela Superior de Computo del Instituto Politécnico Nacional. 2012.

El coeficiente de correlación de Pearson (r) puede calcularse en cualquier grupo de datos, sin embargo, la validez del test de hipótesis sobre la correlación entre las variables requiere en sentido estricto: a) que las dos variables procedan de una muestra aleatoria de individuos. b) que al menos una de las variables tenga una distribución normal en la población de la cual la muestra procede. Para el cálculo válido de un intervalo de confianza del coeficiente de correlación de r ambas variables deben tener una distribución normal. Si los datos no tienen una distribución normal, una o ambas variables se pueden transformar (transformación logarítmica) o si no se calcularía un coeficiente de correlación no paramétrico (coeficiente de correlación de Spearman) que tiene el mismo significado que el coeficiente de correlación de Pearson (Pita & Pértega, 2001).

9.3.1.1 PRUEBA DE HIPOTESIS

Dado a que el coeficiente de correlación de Pearson se calcula con base en una muestra aleatoria de puntos, se esperaría que el resultado de (r) varié su valor de una muestra a otra. Para lo cual es necesario realizar una prueba de hipótesis que valide el grado de diferencia entre las muestras a comparar teniendo en cuenta la población ρ correspondiente a (r). En la se muestran los modelos estadísticos para la realización de la prueba de hipótesis para una correlación lineal.

Figura 23- Prueba de hipótesis para Pearson.

Cola izquierda	Cola derecha	Dos colas
$H_0 : \rho \geq 0$	$H_0 : \rho \leq 0$	$H_0 : \rho = 0$
$H_1 : \rho < 0$	$H_1 : \rho > 0$	$H_1 : \rho \neq 0$

Fuente: Análisis de correlación y regresión. Gómez Cesar. Escuela Superior de Computo del Instituto Politécnico Nacional. 2012.

De igual forma, es necesario conocer el intervalo de confianza del coeficiente de correlación de Pearson; para ello, se requiere transformar aquellos datos no normales de (r) mediante la transformación de Fisher para obtener el valor de (z) y de esta manera calcular los intervalos de confianza. Tener en cuenta que tras obtener los intervalos de confianza de (z) se deberá hacer el cálculo inverso con el fin de obtener los intervalos de confianza del coeficiente de correlación de Pearson.

Si se requiere conocer el coeficiente de correlación por rangos de un grupo, se debe calcular los coeficientes de correlación de Spearman o de Kendall que se utilizan cuando los datos presentan valores externos ya que dichos valores afectan mucho el coeficiente de correlación de Pearson, o ante distribuciones no normales.

9.3.2 REGRESIÓN

La segunda fase en el proceso de exploración de los datos es el análisis de regresión, para ello se busca obtener una función o ecuación que describa estadísticamente la asociación o relación entre las variables obteniendo de esta manera una estimación del valor de una variable para un valor dado de otra. En la terminología de la regresión, la variable que se va a predecir se llama dependiente, a explicar, o endógena. La o las variables que se usan para predecir el valor de la variable dependiente se llaman independientes, o explicativas o exógenas (Cardona & Gonzalez, 2013). Existen diferentes tipos de regresión los cuales se pueden clasificar según el número de variables independientes,

- a. Regresión simple: Cuando la variable objetivo depende de una única variable independiente.
- b. Regresión múltiple: Cuando la variable objetivo depende de varias variables independientes.

Así mismo, la regresión se puede clasificar según el tipo de función,

- a. Regresión lineal: Cuando las variables independientes es una función lineal.
- b. Regresión no lineal: Cuando las variables independientes nono es una función lineal.

“Sobre los modelos de regresión se han realizado muchas investigaciones tales como Anderson, D. R., Sweeney, D. J., & Williams, T. A. (2001), Devore, J. L. (2005), Evans, M., & Rosenthal, J. S. (2005), Freund, J. E., & Simon, G. A. (1994), Levin, R. I., & Rubin, D. S. (2004) y Miller, I. (2000) coincidiendo que los mayores problemas son:

1. Curva que describe la función.
2. Encontrar la ecuación que describe los datos.

3. Demostrar que la curva cumple con los datos y que puede ser utilizada para hacer pronósticos.” (Cardona & Gonzalez, 2013).

9.3.2.1 REGRESIÓN LINEAL SIMPLE

En el análisis de dos variables aleatorias como variable independiente (x) y como variable dependiente (y), se busca encontrar una función lineal que sirva para modelar la relación entre ellas como se muestra en la Ecuación 14.

$$y = B_0 + (B_1)x + \epsilon \quad (\text{Ec 14})$$

En este modelo, la variable (y) es una función línea de (x) y la variable (e) representa el error y evidencia la variabilidad de (y) que no es posible explicar en la relación línea. (Anderson, Sweeney, & Williams, 2001).

El objetivo de la función es entonces representar mediante una recta el comportamiento de la variable (y) basado en los cambios de (x), por ende, la mejor representación sería aquella que pueda tocar todos los puntos. Uno de los criterios para obtener la función de la regresión lineal simple es el ajuste por mínimos cuadrados, la cual hace mínima la suma de los cuadrados de las desviaciones entre el dato real y el obtenido evidenciado en la Ecuación 15.

$$\min \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (\text{Ec 15})$$

Al obtener la función que describe el comportamiento de la variable dependiente, se procede a analizar la regresión hallada.

9.3.2.1.1 COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN

El coeficiente de determinación (r^2) muestra que tan ajustado es el modelo a los puntos bajo estudio y se interpreta como el porcentaje de la variación de los valores de la variable dependiente que se puede explicar con la ecuación de regresión. (Levin & Rubin, 2004).

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (\text{Ec 16})$$

En donde (y) es considerada como la variable dependiente y (\hat{y}) como el valor estimado de la variable dependiente. Entre más cercano se encuentre del valor de 1 significa que la función describe el mejor comportamiento de la variable dependiente. La segunda medida que también es usada adecuadamente, es el coeficiente de correlación (r), el cual es igual a la raíz cuadrada del coeficiente de determinación. En la Ecuación 17 se muestra su representación matemática:

$$r = \pm\sqrt{r^2} \quad (\text{Ec 17})$$

El coeficiente de correlación solo mide la fuerza de asociación en una relación lineal y puede ser utilizado en relaciones no lineales y en relaciones con dos o más variables independientes. En este sentido, el coeficiente de determinación tiene mayor aplicabilidad. (Walpole & Myers, 1999).

9.3.2.1.2 PRUEBAS DE SIGNIFICANCIA Y RESIDUALES

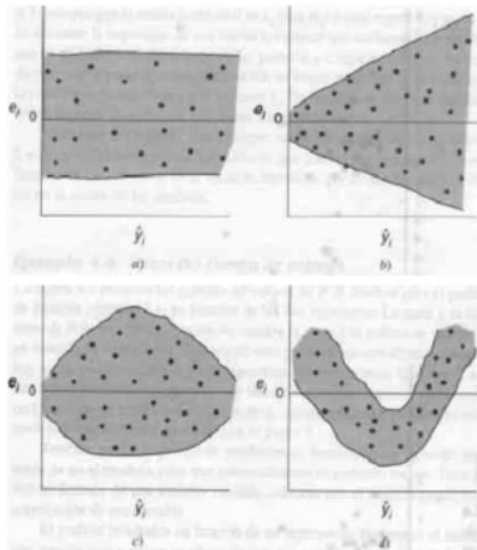
Estos dos coeficientes antes mencionados no son suficientes para llegar a una conclusión acerca de si la relación es estadísticamente significativa. Por ello, se requiere realizar pruebas en donde intervengan el tamaño de la muestra, y las

propiedades de las distribuciones muestrales tomadas para la realización de los mínimos cuadrados que dependen de la varianza del error en el modelo utilizado. Las pruebas de significancia que se realizan son la prueba t y la prueba F.

Del mismo modo, se requiere realizar el análisis de los residuales que permite validar los supuestos del modelo con respecto al error y se basa en el análisis de la gráfica de los residuales versus la variable independiente, residuales estandarizados y probabilidad normal.

En la Figura 24 se evidencian los patrones de los residuales en donde el esquema (a) muestra que la varianza es igual para todos los valores de (x) siendo una adecuada representación de la relación entre variables. Para la gráfica de los residuales estandarizados, se busca que todos los residuales se encuentren dentro de dos desviaciones estándar y centrados en cero; y, por último, la gráfica de probabilidad normal se debe evidenciar una línea recta en la cual se busca validar que el error tenga una distribución normal (Cardona & Gonzalez, 2013).

Figura 24- Patrones en una gráfica de residuales.



Fuente: Application of linear regression on the problem of poverty. Diego Cardona, Javier Gonzalez. Universidad del Rosario. 2013

9.3.2.1.3 INTERVALOS DE CONFIANZA

Los intervalos de confianza sirven para determinar la precisión asociada al valor estimado. Para ello, se calculan el intervalo de confianza y el estimado del intervalo de predicción. Por lo general, el intervalo de confianza de los datos se realiza teniendo en cuenta la desviación estándar y una confianza del 95%.

9.3.2.2 REGRESIÓN NO LINEAL

Además de la regresión lineal, existen otros tipos de regresiones que describen el comportamiento de los datos. Dentro de estas regresiones se encuentran las polinómicas las cuales pueden ser de segundo grado o cuadráticas hasta grado $n+1$, las potenciales, y las exponenciales (Minnaard, 2010).

Este tipo de regresión se analiza en conjunto con la lineal con el fin de determinar cuál de estas se ajusta más a los datos obtenidos en el análisis estadístico. De igual forma, se deben corroborar todos los supuestos establecidos en el modelo con el fin de que la relación sea estadísticamente significativa entre las variables y que el ajuste proporcionado por la ecuación sea correcto. Lo cual garantizaría que se pueda utilizar para predicciones y estimaciones futuras.

9.3.2.3 REGRESIÓN MULTIPLE

La regresión multivariada es utilizada cuando existe la contribución de múltiples factores en un resultado. Mayormente es utilizada la regresión multilínea la cual es una generalización del modelo lineal, sin embargo, no es comúnmente manejada en el área investigativa; su uso se limita a (F.J Barón & F. Tellez, 2010):

- Identificación de variables explicativas: Nos ayuda a crear un modelo en donde se seleccionen las variables que puedan influir en la respuesta, descartando aquellas que no aporten información.

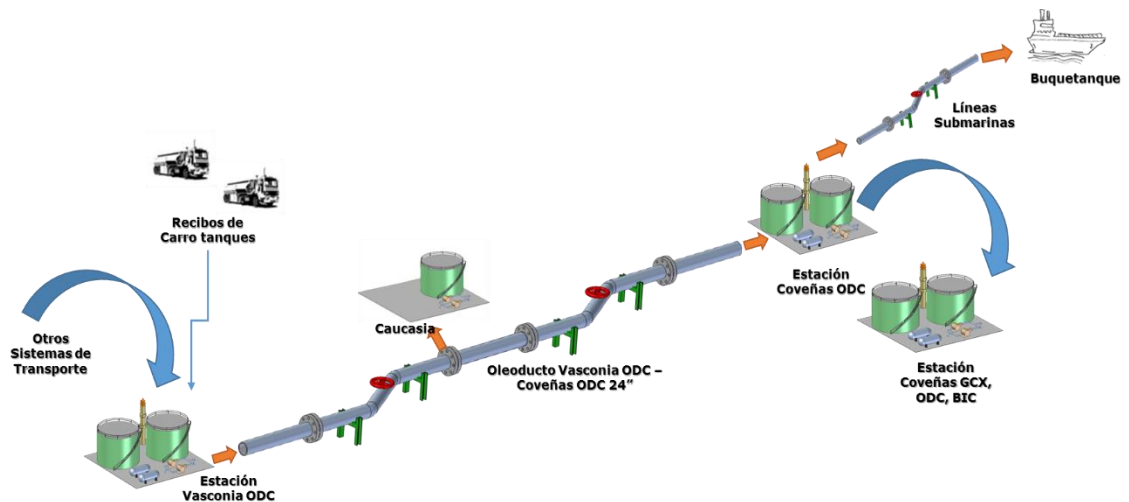
- Detección de interacciones: entre variables independientes que afectan a la variable de respuesta.
- Identificación de variables confusoras: Frecuentemente utilizado en la investigación no experimental dado a que por lo general no se tiene control sobre las variables independientes.

10. DESARROLLO DEL TRABAJO

El Oleoducto de Colombia está compuesto por cuatro recursos de transporte que permiten la evacuación de crudos desde el Magdalena Medio hasta la Costa Caribe en Coveñas con una capacidad nominal de bombeo de 210.000 Bls/día. Dentro de estos recursos se destaca la Estación Vasconia en donde inicia el proceso de recopilación de producto y bombeo hacia el sistema de transporte Vasconia ODC – Coveñas 24". Durante el trayecto del oleoducto se encuentra en el kilómetro 293+500 la estación de rebombeo Caucasia la cual utiliza crudo para el funcionamiento de sus máquinas contando con una capacidad nominal de 250.000Bls/día operación. El producto, es transportado hasta la Terminal Coveñas en donde es almacenado y preparado para ser bombeado a las líneas submarinas con destino exportación por buque tanques.

En la Figura 25 se muestra el esquema general de operación del sistema de transporte ODC delimitando el volumen de control que determina las entradas, inventarios y salidas a considerar en el modelo volumétrico.

Figura 25- Modelo Volumetría Sistema de transporte ODC.



Fuente: Autor. 2016

10.1 DIAGNOSTICO DE LA COMPENSACIÓN VOLUMETRICA DE CALIDAD PARA EL ODC

La compensación volumétrica por calidad de hidrocarburos (CVC) se realiza en la Estación Vasconia y Terminal de Coveñas, adicionalmente se realiza el balance por cada uno de los remitentes del sistema de transporte subdividido por recursos; dentro de los cuales se encuentra la Estación Vasconia ODC, la línea Vasconia ODC – Coveñas ODC y la Terminal Coveñas que incluye dentro de sus inventarios las líneas submarinas.

Debido a que el sistema de transporte maneja más de un producto, la CVC distribuye las entradas operacionales por producto por clientes del total del volumen correspondiente; dato que se tiene al finalizar el periodo mensual mucho antes que la compensación oficial, generando que estos movimientos sean considerados como las variables explicativas. Por lo tanto, se tendría lo siguiente:

- Variable de Respuesta (Y): Esta variable es considerada dentro de la compensación volumétrica como el inventario final propiedad de Ecopetrol en cada uno de los recursos que componen el sistema de transporte para cada uno de los productos. Luego de realizar el cierre volumétrico se realiza el cargue de estos inventarios en la contabilidad de la empresa Ecopetrol afectando directamente los estados financieros de la compañía.

En la Tabla 5 se observa el detalle de las variables de respuesta a obtener, las cuales se determinaron con base en el análisis de los balances y los productos manejados en el sistema de transporte:

Tabla 5 – Variables de respuesta para el modelo matemático

DESCRIPCIÓN	VARIABLE	PROPIEDAD
Inventario Final Vasconia	Y1 = Crudo Mezcla Y2 = Crudo Castilla Y3 = Crudo Magdalena	Ecopetrol S.A
Inventario Final Línea	Y4 = Crudo Mezcla Y5 = Crudo Castilla Y6 = Crudo Magdalena	Ecopetrol S.A
Inventario Final Coveñas	Y7 = Crudo Mezcla Y8 = Crudo Castilla Y9 = Crudo Magdalena	Ecopetrol S.A

Fuente: Autor. 2016. Nota: A los crudos Castilla y Magdalena no se les hace CVC

- Variables explicativas (X): Debido a que al finalizar el mes no se cuenta con la compensación volumétrica en donde se detalla la propiedad e inventarios finales por remitentes, las únicas variables explicativas a considerar serían los movimientos, perdidas e inventarios totales (sin discriminar la propiedad) y las variables de Ecopetrol S.A los cuales se obtienen de la anterior compensación del mes n-1.

En el ANEXO C se observa un modelo de reporte de la compensación volumétrica por calidad para el oleoducto de Colombia evidenciando que cada recurso tiene un manejo diferente y cálculos de balances que dependen en cierto modo de variables tales como el precio del crudo, la propiedad y los acuerdos entre clientes; por ello es necesario conocer en detalle el funcionamiento para cada una de las estaciones y líneas de transporte que lo conforman.

10.1.1 Estación Vasconia ODC

La estación Vasconia se encuentra ubicada a 18 kilómetros de la localidad de Puerto Boyaca, contando con dos secciones de almacenamiento. Una sección perteneciente a Ecopetrol S.A llamado Vasconia I el cual se encarga de suplir las necesidades de producto crudo a la Refinería de Barrancabermeja, y otra perteneciente a ODC llamada Vasconia II. En la actualidad la estación Vasconia

ODC maneja tres productos crudos denominados crudo mezcla (CMZ), crudo castilla (MZC) y crudo magdalena blend (MMB) los cuales poseen diferente calidad y por tanto se almacenan de manera segregada en 8 tanques de los cuales el tanque TK 701 se utiliza como tanque de alivio a sobrepresiones del sistema. En la Tabla 6 se detallan las capacidades nominales para cada uno de ellos.

Tabla 6 – inventario en tanques de Vasconia ODC (Ecopetrol S.A)

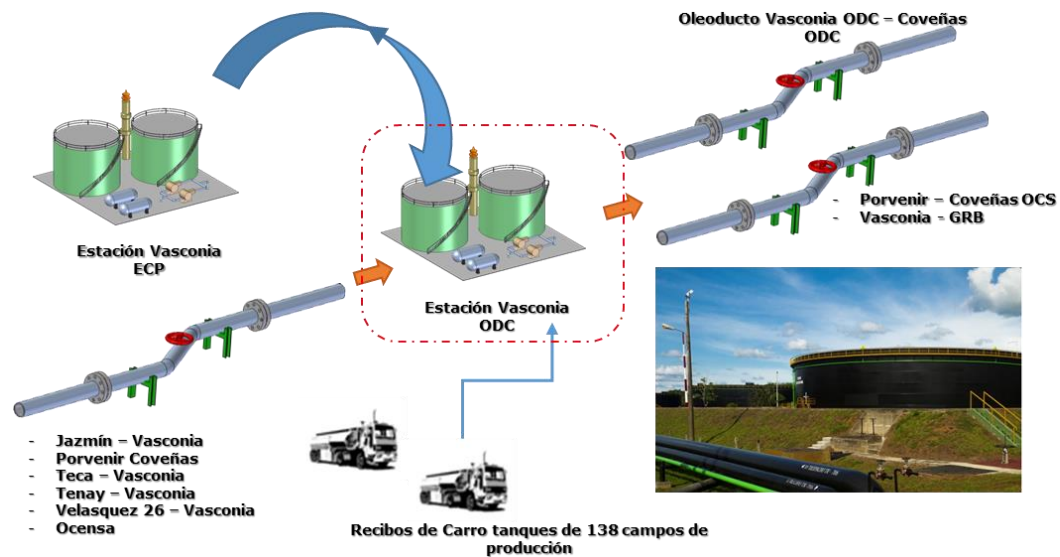
ID TANQUE	PRODUCTO	CAPACIDAD	TIPO
TK 701	CRUDO MEZCLA	10.000 BLS	RELEVO
TK 705	CRUDO MEZCLA	120.000 BLS	OPERATIVO
TK 55000R	CRUDO MEZCLA	90.000 BLS	OPERATIVO
TK 706	CRUDO MEZCLA	120.000 BLS	OPERATIVO
TK 702	MAGDALENA BLEND	120.000 BLS	OPERATIVO
TK 701	CRUDO CASTILLA	120.000 BLS	OPERATIVO
TK 703	CRUDO CASTILLA	120.000 BLS	OPERATIVO
TK 704	CRUDO CASTILLA	120.000 BLS	OPERATIVO

Fuente: SINOPER (Sistema de Información Operacional). 2016

Vasconia ODC recibe producto por carro tanques los cuales provienen de distintos campos de producción, adicionalmente recibe transferencias del Centro Vasconia I y de los sistemas de transporte Jazmín – Vasconia 20”, Porvenir – Coveñas, Teca – Vasconia, Tenay – Vasconia, y Velasquez 26 – Vasconia Y crudos provenientes del nodo de Ocesa. Todos estos sistemas están conectados al tanque TK 701 garantizando el recibo de posibles sobrepresiones que se pueden ocasionar en el transporte de crudos. Las salidas de la estación están direccionadas en su mayoría al Sistema de transporte Vasconia ODC – Coveñas ODC de 24”, teniendo la posibilidad de realizar despachos hacia el sistema de transporte Vasconia – GRB con destino Refinería de Barrancabermeja, Porvenir – Coveñas haciéndole entrega a otro transportador

de crudos como es OCENSA quien es el transportador del Oleoducto Central S.A y puede realizar transferencias al Centro Vasconia I. En la Figura 26 se esquematiza la estación Vasconia ODC con sus movimientos de entrada y salidas.

Figura 26- Modelo Volumétrico Estación Vasconia ODC.



Fuente: Autor. 2016

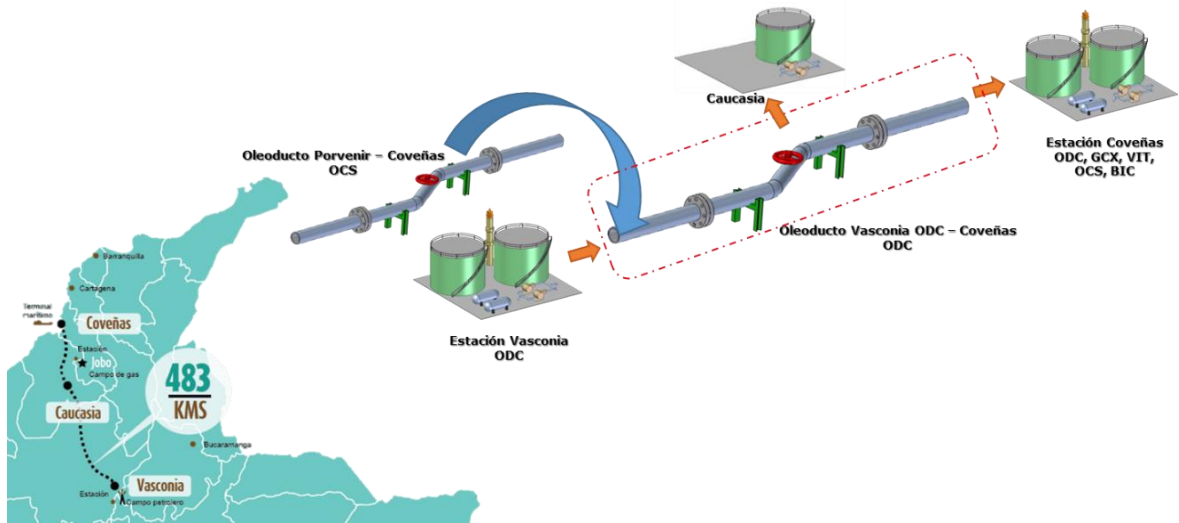
10.1.2 Sistema de transporte Vasconia ODC – Coveñas 24”

El Oleoducto de Colombia tiene aproximadamente 483 kilómetros de largo con un diámetro de 24 pulgadas con diferentes espesores que van desde 0.500 a 0.281 pulgadas con una capacidad nominal de 210.000 Bls/día operación y una capacidad de diseño de 189.000 Bls/día calendario. Su lleno de línea actual es de 838.084 Bls y maneja los productos de manera segregada (Baches) sin cuñas de separación lo que genera volúmenes de interfases entre productos.

Los dos movimientos de entrada al sistema de transporte son los despachos desde la Estación Vasconia ODC y posibles rebombes del sistema Porvenir – Coveñas OCS. Dentro de los movimientos de salida se encuentran las entregas a Coveñas ODC, GCX, OCS, VIT, BIC y las posibles interacciones que tenga con

la Planta Caucasia quien toma volumen de la línea para autoconsumo y realiza inyecciones de producto. En la Figura 27 se esquematiza el sistema Vasconia ODC – Coveñas ODC de 24” con sus movimientos de entrada y salidas.

Figura 27- Modelo Volumétrico Vasconia ODC – Coveñas ODC 24”.



Fuente: Ecopetrol S.A. 2016

10.1.3 Caucasia

La estación Caucasia se encuentra ubicada cerca de su municipalidad, en el kilómetro 293 + 500 de la estación Vasconia cumpliendo con la función de reforzar la condición de presión del oleoducto contando con un solo tanque de relevo el cual es utilizado para recibir los alivios de presión del sistema de transporte. En la Tabla 7 se detalla la capacidad del tanque de relevo de Caucasia cuyo producto es una mezcla de lo transportado por el oleoducto tomando el nombre de crudo no definido.

La Estación Caucasia también toma producto puro del sistema de transporte para utilizarlo como autoconsumo el cual se representa directamente como una salida del Oleoducto.

Tabla 7 – inventario en tanques de Caucasia (Ecopetrol S.A)

ID TANQUE	PRODUCTO	CAPACIDAD	TIPO
TK 501	CRUDO NO DEFINIDO	28.000 BLS	RELEVO

Fuente: SINOOPER (Sistema de Información Operacional). 2016

Dentro de los movimientos de entrada únicamente se contemplan los disparos de seguridad y drenajes con destino al tanque de relevo y como salida las inyecciones realizados a la línea.

10.1.4 Coveñas ODC

La estación Coveñas ODC se encuentra ubicada a 483 kilómetros de la Estación Vasconia, que está localizado en el municipio con el mismo nombre. Cuenta con 5 tanques de almacenamiento de crudo con capacidad de 250.000 Bls cada uno y dos tanques con capacidad de almacenamiento de 350.000 Bls cada uno, para el recibo y el despacho de hidrocarburos y las instalaciones para la entrega de hidrocarburos a las instalaciones costa a fuera para el cargue de buque tanques. En la Tabla 8 se detallan las capacidades nominales para cada uno de ellos.

El almacenamiento se realiza de manera segregada manteniendo la propiedad de los productos según la designación de los tanques. Dentro de los movimientos de entrada a la Estación Coveñas ODC se encuentran los recibos provenientes del sistema de transporte Vasconia ODC – Coveñas ODC de 24”, las transferencias que realizan las demás Coveñas (GCX, OCS, VIT, y BIC), los recibos de los oleoductos Porvenir – Coveñas OCS y el Caño Limón – Coveñas, así como los recibos por disparos y drenajes de sistema ODC.

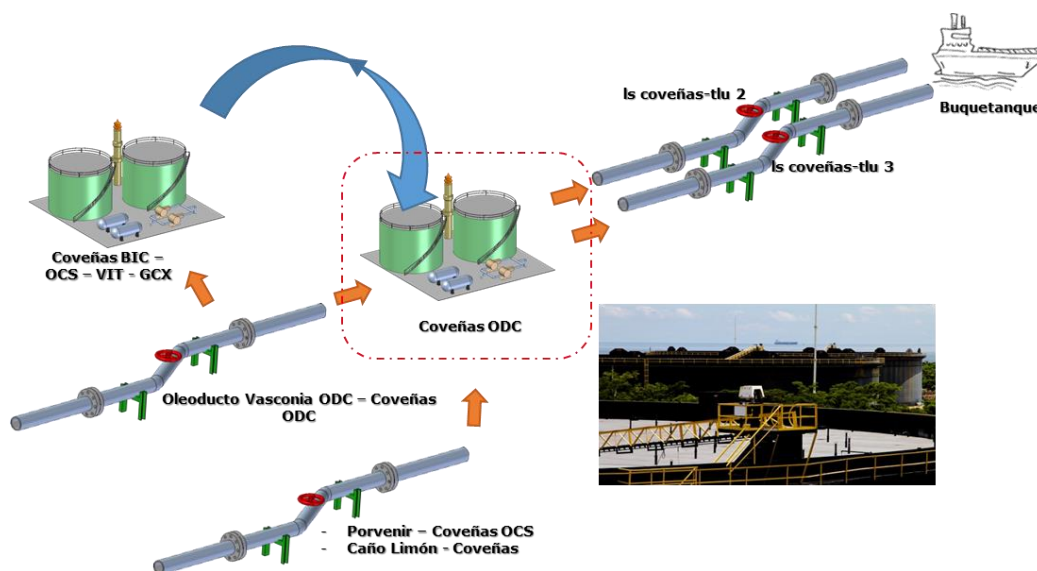
Tabla 8 – Inventario en tanques de Coveñas ODC (Ecopetrol S.A)

ID TANQUE	PRODUCTO	CAPACIDAD	TIPO
TK 501	CRUDO MEZCLA	240.000 BLS	OPERATIVO
TK 507	CRUDO MEZCLA	350.000 BLS	OPERATIVO
TK 7701	CRUDO NO DEFINIDO	20.000 BLS	RELEVO
TK 502	MAGDALENA BLEND	240.000 BLS	OPERATIVO
TK 506	MAGDALENA BLEND	350.000 BLS	OPERATIVO
TK 503	CRUDO CASTILLA	240.000 BLS	OPERATIVO
TK 504	CRUDO CASTILLA	240.000 BLS	OPERATIVO
TK 505	CRUDO CASTILLA	240.000 BLS	OPERATIVO

Fuente: Ecopetrol S.A. 2016

Dentro de los movimientos de salida evidenciamos los despachos hacia las dos líneas Sub marinas con destino Exportación (Ls TLU 1 y Ls TLU 3) y las transferencias a las demás Coveñas (GCX, OCS, VIT, y BIC). En la Figura 28 se esquematiza la estación Coveñas ODC con sus movimientos de entrada y salidas.

Figura 28- Modelo Volumétrico Coveñas ODC.



Fuente: Autor. 2016

Las líneas submarinas LS Coveñas – TLU 1 y LS Coveñas – TLU 3 tienen un lleno de línea de 39,243 Bls y 29,387 Bls respectivamente las cuales manejan productos segregados y reciben de cualquiera de las 5 Coveñas existentes, administradas por los diferentes operadores dentro de los cuales se encuentran OCENSA (OCS), Ecopetrol (VIT), Caño Limón & Oxidental de Colombia (GCX), Oleoducto de Colombia (ODC) y Bicentenario (BIC). La línea sub marina LS Coveñas – TLU 2 tiene uso exclusivo para OCENSA S.A.

11. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES DEL BALANCE DE COMPENSACIÓN VOLUMÉTRICA POR CALIDAD

Para la determinación del inventario final y de los posibles volúmenes de préstamos de Ecopetrol S.A al finalizar el mes (n) en el sistema de transporte ODC, se cuenta con información general que puede en cierta manera ayudar a obtener una mejor estimación. Dentro de esta información se encuentra:

- Balance general (sin discriminar la propiedad) de cada uno de los recursos que componen el sistema de transporte ODC.
- Compensaciones Volumétricas desde el mes n-1 hacia atrás al mes (n) a analizar.
- Exportaciones de crudo reales de Ecopetrol S.A.

Las compensaciones volumétricas y balances volumétricos mensuales utilizadas corresponden a las generadas entre el periodo comprendido del 2012 al 2015 organizando la información por tipo de transacción, dentro de las cuales se encuentran los inventarios iniciales y finales, los recibos o entradas al sistema, las salidas o entregas, las pérdidas identificadas y las pérdidas no identificadas para cada uno de los recursos que componen el Oleoducto de Colombia.

Realizando la validación de la integridad de la información, se evidencia que el reporte de compensación volumétrica del mes de septiembre del año 2012 no contempla el balance para el producto “Castilla Blend”, por lo que se descarta esta información y no es tenido en cuenta para el análisis estadístico; esto debido a que se desconoce la propiedad y los inventarios finales de Ecopetrol para este mes en particular. Se validan los resultados del balance con el fin de garantizar la igualdad de la ecuación 13 cumpliendo con la trazabilidad e integridad de los datos; rastreando datos nulos (vacíos) y no numéricos.

Se agrupan los movimientos por entradas, salidas, Inventarios y perdidas con el fin de generar una convención para cada variable y de esta manera facilitar su interpretación. Estas convenciones se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9 – Convenciones de las variables para el análisis estadístico

CONVENCIÓN	DESCRIPCIÓN
li	Inventario Inicial
If	Inventario Final
Ent	Entradas
Sal	Salidas
T	Total
pC	Castilla
pM	Mezcla
%Prop	% de Propiedad ECP
ECP	Ecopetrol
V	Vasconia
L	Línea
C	Coveñas

Fuente: Autor. 2016

Para cada balance por producto por recurso se establece una nueva variable calculada la cual corresponde al porcentaje de propiedad de Ecopetrol el cual se obtiene mediante la (. Dado a que la variable de respuesta (Inventario final) puede tener valores negativos como positivos, así como los movimientos, se descarta

la posibilidad de convertir los datos utilizando mecanismos como la transformación logarítmica.

Adicionalmente a ello, se identifican tres productos los cuales se transportan por el ODC, haciendo que el balance se deba realizar por producto y contemplar las interacciones entre ellos. Por tanto, el análisis de las variables se debe discriminar por productos y a su vez la estimación de los inventarios finales. Los productos a analizar son:

- a. Crudo Magdalena Blend (MMB).
- b. Crudo Mezcla (CMZ).
- c. Crudo Castilla Blend (MZC).

11.1 Crudo Magdalena Blend (MMB)

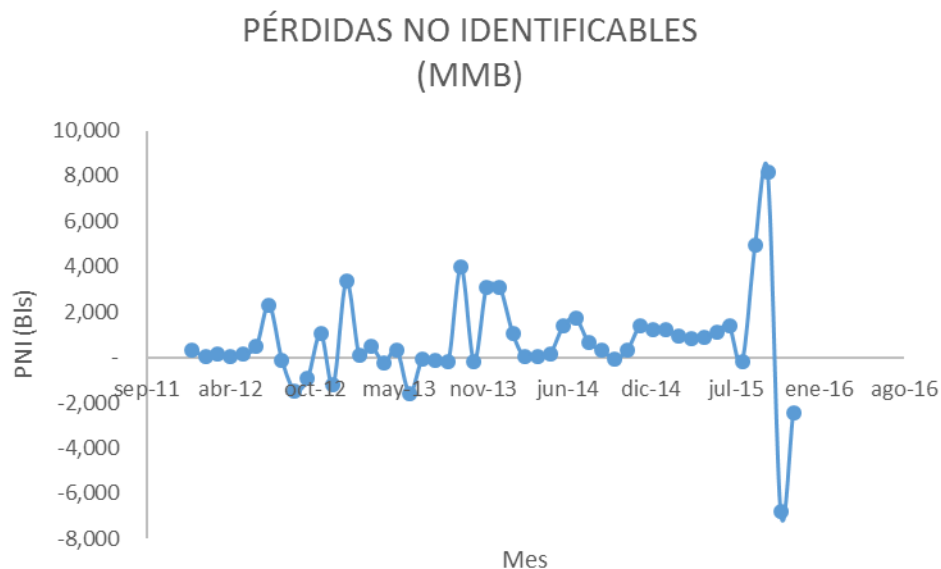
El producto Magdalena Blend se considera como una mezcla de crudos agrios pesados cuya densidad API es de 20.4° y contenido de azufre en peso es de 1.6% la cual resulta de la mezcla de algunas corrientes de crudo agrio producido en la cuenca del Magdalena Medio y el crudo de Castilla, producido en la cuenca de los Llanos Orientales (Ecopetrol S.A E9a, 2016). Para el Oleoducto de Colombia ODC este producto es considerado como 100% propiedad de Ecopetrol S.A, permitiendo obtener el valor de su inventario final mediante el balance general de cada uno de los recursos que conforman este sistema, el cual se extrae de la herramienta volumétrica de transporte SINOPER (Ecopetrol S.A E9b, 2016).

Con el fin de corroborar que los inventarios finales corresponden a lo consignado en el reporte de balance general, se realiza el comparativo entre los inventarios finales oficiales reportados en la CVC versus los contenidos en el reporte del balance final de SINOPER, evidenciando que no existen diferencias entre estos dos datos observando su detalle en el ANEXO A.

Otras de las variables que impacta directamente la contabilidad, son las pérdidas no identificadas que generan una afectación directa a los costos de producción; por tanto, se debe tener cuidado en su estimación.

Realizando la revisión de las pérdidas no identificables el producto MMB tuvo una ganancia neta en el periodo de enero del 2012 a diciembre del 2015 de 70,682 Bls de acuerdo a la Figura 29 la cual fue obtenida la herramienta SINOPER, en donde se observa dos picos en septiembre y octubre del 2015 correspondiente a las interfases en el sistema Vasconia ODC – Coveñas ODC; por lo anterior es recomendable estimar en lo posible las interfases y degradaciones de producto con el fin de obtener el balance acorde a la realidad.

Figura 29- Comportamiento de las pérdidas no identificables del MMB en SINOPER.



Fuente: Autor. 2016

Para el caso del producto Magdalena Blend no se hace necesario entrar en el detalle de la identificación de las variables que pueden afectar el inventario final propiedad de Ecopetrol S.A dado a que todas sus variables son 100% de este remitente.

11.2 Crudo Mezcla (CMZ)

El crudo de Vasconia con API de 24.3° y 0.83% de contenido de azufre y es el resultado de la mezcla de crudos producidos en los campos de los llanos y las regiones del Magdalena Alto, cuyas corrientes se unen en la Estación de Vasconia, de donde obtienen su nombre. Este crudo se exporta a través del puerto de Coveñas, el cual se encuentra a lo largo del Golfo de Morrosquillo en la Costa Atlántica. (Ecopetrol S.A E9a, 2016).

Para el análisis de correlación entre variables se realiza haciendo uso del grafico de dispersión o grafico de matriz, buscando comportamientos y posibles relaciones entre las variables mediante la herramienta MINITAB ®. Dado el número de variables y las interacciones entre ellas, se analizan por recursos.

11.2.1 PLANTA VASCONIA

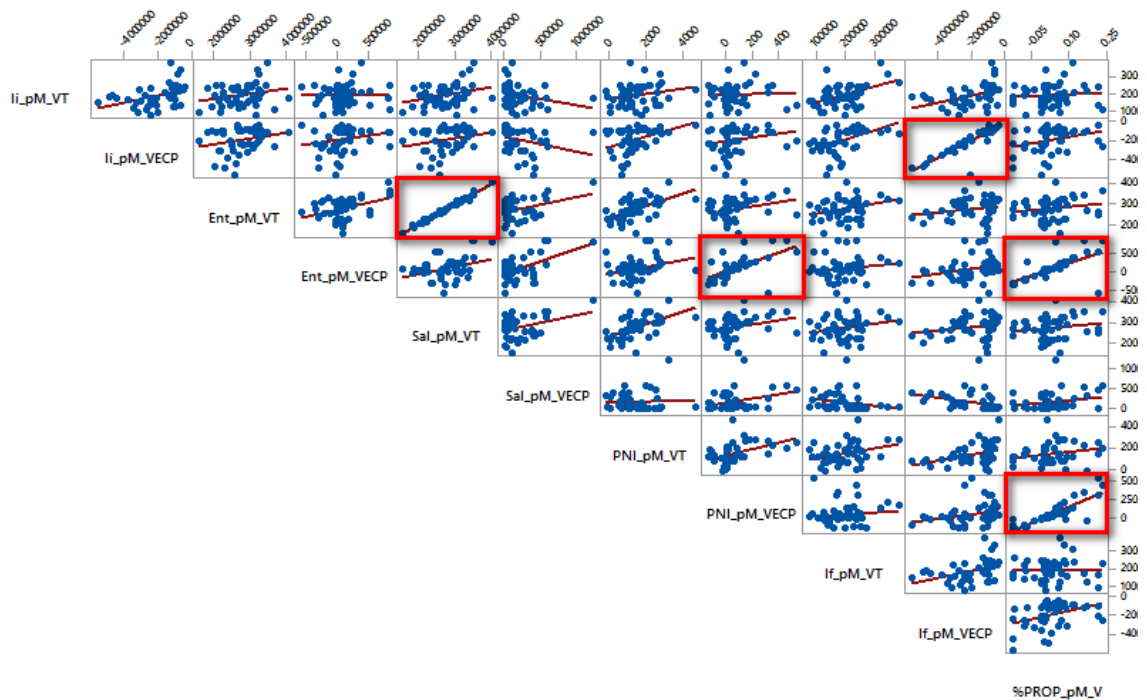
Es evidente la relación entre el Inventario Final de Ecopetrol S.A (Variable de respuesta) y los inventarios iniciales debido a que el Inventario final de un periodo corresponde al Inventario inicial del siguiente. Otra de las variables en donde se evidencia relación son las entradas con las salidas; dado a que todo el volumen recibido en la Planta Vasconia es bombeado hacia la línea mantenido la misma rata de volumen transportado. Por último, existe una relación entre las entradas totales y el porcentaje de propiedad notando que la propiedad de Ecopetrol es proporcional al volumen de entrada, esta relación es muy importante debido a que sirve para conocer las pérdidas no identificadas del producto Mezcla en Vasconia.

Adicionalmente, se evidencia una relación no muy marcada entre las pérdidas no identificables totales versus las pérdidas no identificadas propiedad de Ecopetrol, correlación que probablemente va asociado al volumen total de entrada al

sistema dado a que se nota correspondencia entre las pérdidas no identificadas propiedad de Ecopetrol con las entradas de este mismo remitente. En la Figura 30 se observa en detalle la gráfica de matriz para este producto en la Planta Vasconia.

Figura 30- Grafica de Matriz para el producto Mezcla en Vasconia.

Grafica de Matriz (Planta Vasconia - Crudo Mezcla)



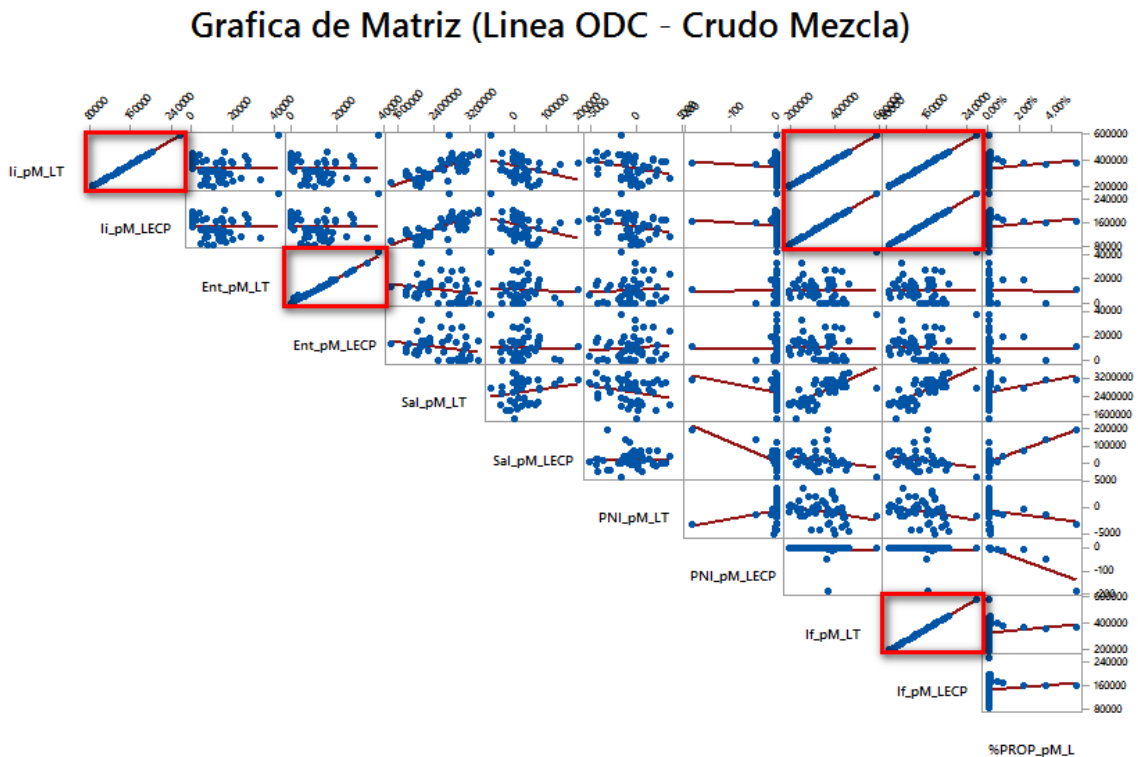
Fuente: Autor. 2016

Dentro de los movimientos de entrada al sistema se encuentran los recibos de los oleoductos OCENSA y OAM, las entradas por carro tanques, y los trasiegos que desde tanques de Crudo Castilla llegan a tanques de Crudo Mezcla. Por otro lado, dentro de los movimientos de salidas se evidencian conversiones del crudo mezcla hacia el crudo castilla y los despachos hacia la línea de ODC.

11.2.2 LINEA ODC

Para el sistema de transporte Vasconia ODC – Coveñas ODC se observa que existe una fuerte relación entre el Inventario final propiedad de Ecopetrol y el Inventario final Total siendo casi lineal, por lo que se puede concluir que en la línea el inventario se mantiene el 100% de la propiedad para este remitente. En la Figura 31 se observa en detalle la gráfica de matriz para este producto en el sistema de transporte.

Figura 31- Grafica de Matriz para el producto Mezcla en Línea ODC.



Fuente: Autor. 2016

Dentro de los movimientos de entrada se encuentran los despachos de la estación Vasconia e interfases con los otros productos y en las salidas se encuentran los movimientos de entregas a las Coveñas y los autoconsumos, la

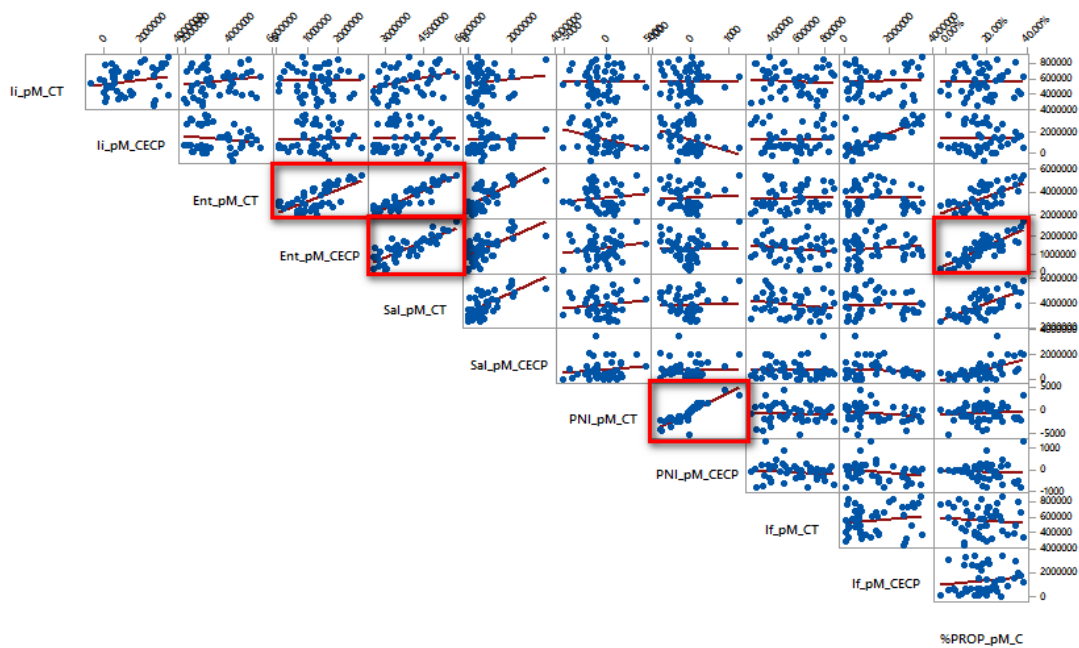
cual a partir del 2013 equivale al 100% de consumo de Ecopetrol S.A (Ver ANEXO D).

11.2.3 COVEÑAS ODC

Para la estación Coveñas ODC no se evidencia una relación marcada entre las variables del recurso y el Inventario Final propiedad de Ecopetrol, la cual se observa en detalle en la Figura 32.

Figura 32- Grafica de Matriz para el producto Mezcla en Coveñas ODC.

Grafica de Matriz (Planta Coveñas - Crudo Mezcla)



Fuente: Autor. 2016

Se observa que en las relaciones no muy marcadas se encuentran las variables de entradas versus las salidas, lo que significa que la propiedad de Ecopetrol se mantiene a lo largo del balance del recurso Coveñas, así mismo se transmite esta relación a las pérdidas no identificables y su relación con las entradas obteniendo el balance del remitente Ecopetrol. Se observa que la ecuación de balance se

cumple relaciona todas estas variables. Dentro de los movimientos de entrada se encuentran las entregas de la línea, de las otras Coveñas y las conversiones de producto. Por otra parte, para las salidas se observan traslados hacia las otras Coveñas, devoluciones trasiegos y exportaciones.

11.3 Crudo Castilla (MZC)

El Castilla Blend es un crudo pesado con un API de 18.8° y 1.97% de contenido de azufre que resulta de la mezcla del crudo de Castilla con otros crudos pesados producidos en campos de la región de los Llanos, al cual se agrega nafta virgen como diluyente para transportarlo utilizando el sistema de oleoductos hacia Coveñas. Este crudo se exporta a través del puerto de Coveñas, el cual se encuentra a lo largo del Golfo de Morrosquillo en la Costa Atlántica (Ecopetrol S.A E9a, 2016).

Para el análisis de correlación entre variables se realiza haciendo uso del grafico de dispersión o grafico de matriz, buscando comportamientos y posibles relaciones entre las variables mediante la herramienta MINITAB ®. Dado a el número de variables y las interacciones entre ellas, se analizan por recursos.

11.3.1 PLANTA VASCONIA

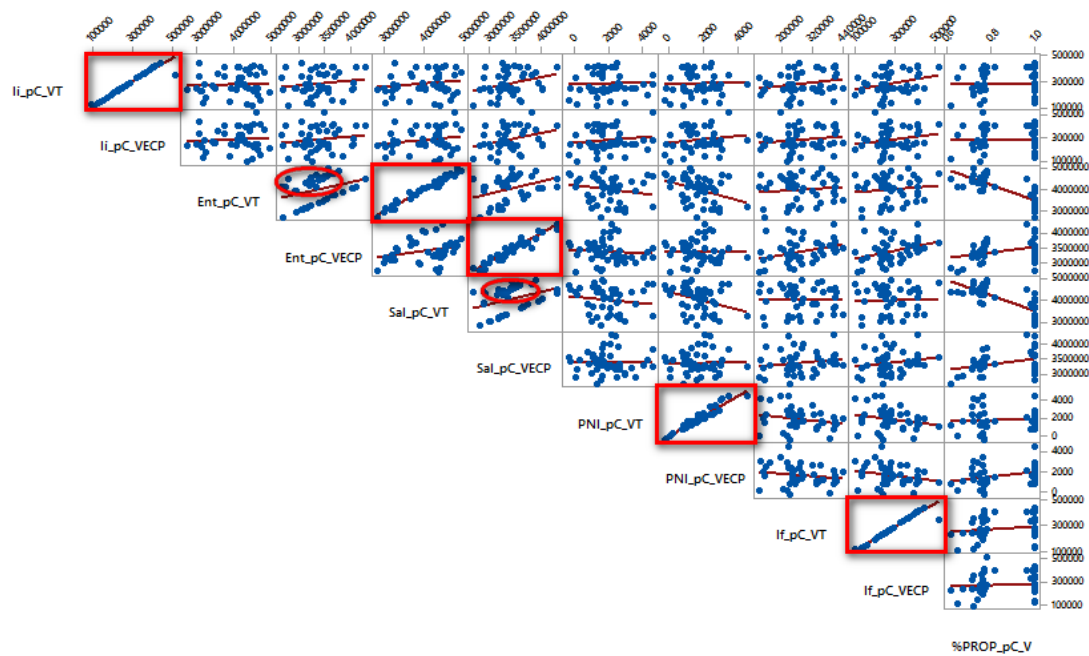
Es evidente la relación entre el Inventario Final de Ecopetrol S.A (Variable de respuesta) y los inventarios finales totales, así mismo entre las entradas, salidas y pérdidas del remitente con las totales concluyendo que probablemente todos los movimientos existentes en la Planta Vasconia son 100% propiedad de Ecopetrol S.A.

En la Figura 33 se observa en detalle la gráfica de matriz para este producto en la Planta Vasconia. Dentro de las entradas al sistema se encuentran los recibos

de los oleoductos OCENSA y producto proveniente de la asociación NARE operado por Mansarovar Energy Co., las entradas por carro tanques, diluyente Nafta y los trasiegos que desde tanques de Crudo hacia tanques de Castilla. Por otro lado, dentro de las salidas se evidencian conversiones del crudo y los despachos hacia la línea de ODC.

Figura 33- Grafica de Matriz para el producto Castilla en Vasconia.

Grafica de Matriz (Planta Vasconia - Crudo Castilla)



Fuente: Autor. 2016

Se denota en la gráfica anterior, que existe relación entre las entradas y salidas totales con las generadas por propiedad del remitente Ecopetrol S.A; sin embargo, se observan ciertos datos los cuales se encuentran por fuera de la tendencia línea los cuales corresponden a cambio en la propiedad de Ecopetrol a partir del mes de enero del 2014 hasta diciembre del 2015, pasando del 100% al 77% manteniéndose constante durante el periodo de tiempo.

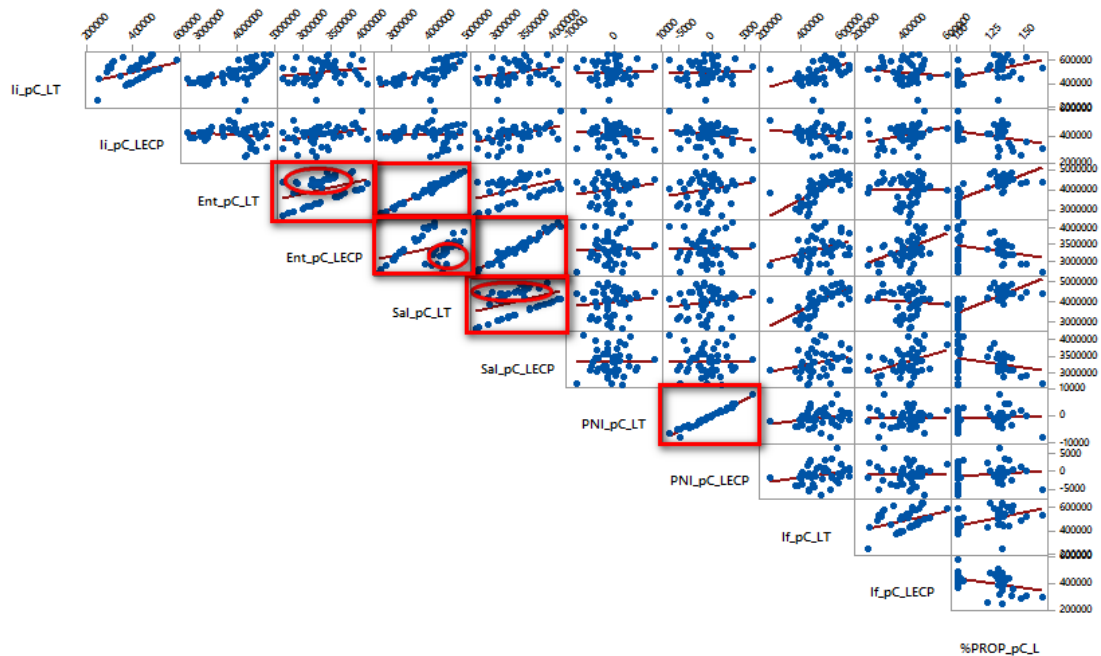
11.3.2 LINEA ODC

Para el sistema de transporte Vasconia ODC – Coveñas ODC se observa que existe una fuerte relación entre las entradas y salidas de Ecopetrol versus las entradas y salidas totales, y la consecución de las pérdidas no identificadas. En la

Figura 34 se observa en detalle la gráfica de matriz para este producto en el sistema de transporte.

Figura 34- Grafica de Matriz para el producto Castilla en Línea ODC.

Grafica de Matriz (Linea ODC - Crudo Castilla)



Fuente: Autor. 2016

Se denota en la gráfica anterior, que existe relación entre las entradas y salidas totales con las generadas por propiedad del remitente Ecopetrol S.A; sin embargo, se observan ciertos datos los cuales se encuentran por fuera de la tendencia línea los cuales corresponden a cambio en la propiedad de Ecopetrol

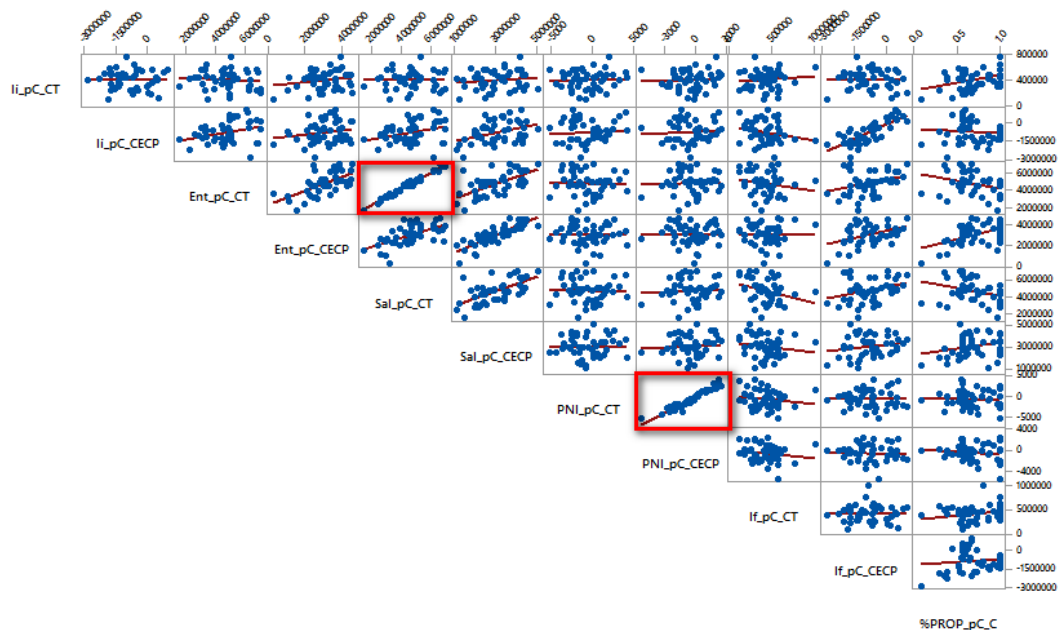
a partir del mes de enero del 2014 hasta diciembre del 2015, pasando del 100% al 133% manteniéndose constante durante el periodo de tiempo. Este cambio de propiedad coincide con el faltante de producto propiedad de Ecopetrol en la Estación Vasconia, lo que es concluyente que la propiedad de este producto es del 100% para estos dos recursos. Dentro de los movimientos de entrada se encuentran los despachos de la estación Vasconia e interfases con los otros productos y en las salidas se encuentran los movimientos de entregas a las Coveñas e interfases.

11.3.3 COVEÑAS ODC

Para la estación Coveñas ODC no se evidencia una relación marcada entre las variables del recurso y el Inventario Final propiedad de Ecopetrol, la cual se observa en detalle en la Figura 35.

Figura 35- Grafica de Matriz para el producto Castilla en Coveñas ODC.

Grafica de Matriz (Planta Coveñas - Crudo Castilla)



Fuente: Autor. 2016

Únicamente existe relación marcada en las pérdidas no identificadas del cliente con las totales y las entradas con salidas totales correspondiendo a la ecuación de balance volumétrico. Dentro de los movimientos de entrada se encuentran las entregas de la línea, de las otras Coveñas y las conversiones de producto. Por otra parte, para las salidas se observan traslados hacia las otras Coveñas, trasiegos y exportaciones.

12 DEFINICIÓN DEL MODELO

Para obtener la ecuación numérica que modela la variable a calcular con las variables explicativas, se procede a realizar un análisis de “*subset*” en donde se busca obtener que el coeficiente de correlación esté cercano a 1, teniendo en cuenta la interacción entre las variables del balance y el análisis de residuos.

12.1 Y1: Inventario Final Vasconia (CMZ)

Para el Inventario Final del producto crudo mezcla en la estación Vasconia se realiza un análisis de mejor correlación (“*Best subset*”) teniendo en cuenta las variables del balance para este producto la cual arroja como resultado un 80.0% de coeficiente de determinación ajustado para los modelos que contemplan 7 variables que se pueden evidenciar en el ANEXO E.

Los valores obtenidos del coeficiente de explicación para todos los modelos propuestos se encuentran por encima del 79% excepto para un solo modelo que relaciona inventario final total concluyendo que la propiedad de Ecopetrol para este producto en el recurso analizado no es del 100%. El modelo que contempla 7 variables es el más adecuado debido a que al agregar una nueva variable al modelo (PNI) y (ENTRADAS) se mejora el resultado de la estimación.

Posteriormente a la selección del modelo, se realiza un análisis de varianza para los modelos seleccionados con el fin de identificar si diferentes tratamientos muestran diferencias significativas o por el contrario puede suponerse que sus medias poblacionales no difieren.

Modelo 1: Para este modelo se consideran las siguientes variables de respuesta detalladas en el ANEXO E,

- *PNL_pM_VT*
- *Sal_pM_VECP*

- *Sal_pM_VT*
- *Ent_pM_VECP*
- *Ent_pM_VT*
- *Ii_pM_VECP*
- *If_pM_VT*

Se observan dos puntos inusuales o por fuera de tendencia correspondiente a las observaciones 11 (diciembre 2012) y 31 (agosto 2014) las cuales se procede a realizar su eliminación. Posteriormente a ello, se realiza nuevamente un análisis de varianza evidenciando correlación en el dato de PNI_pM_VT, procediendo a su eliminación. Este mismo proceso de análisis se realiza consecutivamente eliminando los datos de Sal_pM_VT, Ent_pM_VT e If_pM_VT, quedando únicamente las variables de Sal_pM_VECP, Ent_pM_VECP e Ii_pM_VECP.

Dentro de este análisis se denota puntos inusuales correspondiente a las observaciones 9 (octubre-2012), 17 (Julio-2013) y 31 (octubre-2014) los cuales se eliminan del análisis.

Dentro de los coeficientes obtenidos se analiza la variable VIF o factor de inflación de varianza que mide la correlación entre predictores evidenciando que se encuentran por debajo de 4, siendo moderadamente correlacionadas tal como se evidencia en la Figura 36. El coeficiente de determinación del análisis es de 99.74%.

Figura 36- Coeficientes de variables explicativas para la Mezcla en Vasconia.

Coefficients					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-12312	21409	-0.58	0.569	
Sal_pM_VECP	-1.1154	0.0838	-13.30	0.000	1.79
Ent_pM_VECP	0.9151	0.0498	18.37	0.000	1.53
Ii_pM_VECP	0.9849	0.0113	87.52	0.000	1.51

Regression Equation

$$If_pM_VECP = -12312 - 1.1154 \text{ Sal_pM_VECP} + 0.9151 \text{ Ent_pM_VECP} + 0.9849 \text{ Ii_pM_VECP}$$

Fuente: Autor. 2016

Uno de los inconvenientes al realizar el cierre volumétrico, es el desconocimiento de la propiedad de Ecopetrol S.A tanto a la entrada como a la salida, lo que conlleva a que las variables Sal_pM_VECP y Ent_pM_VECP no sean tenidas en cuenta dentro del modelo con el fin de evitar posibles errores en la determinación de la propiedad, siendo así el modelo a implementar sería el siguiente:

$$Y_1 = 77759 + 1.0918 \times (Ii_pM_VECP) \quad (\text{Ec } 18)$$

Con las siguientes características analizadas:

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	7.67858E+13	7.67858E+13	1467.82	0.000
Ii_pM_VECP	1	7.67858E+13	7.67858E+13	1467.82	0.000
Error	40	2.09251E+12	52312840420		
Total	41	7.88783E+13			

Model Summary

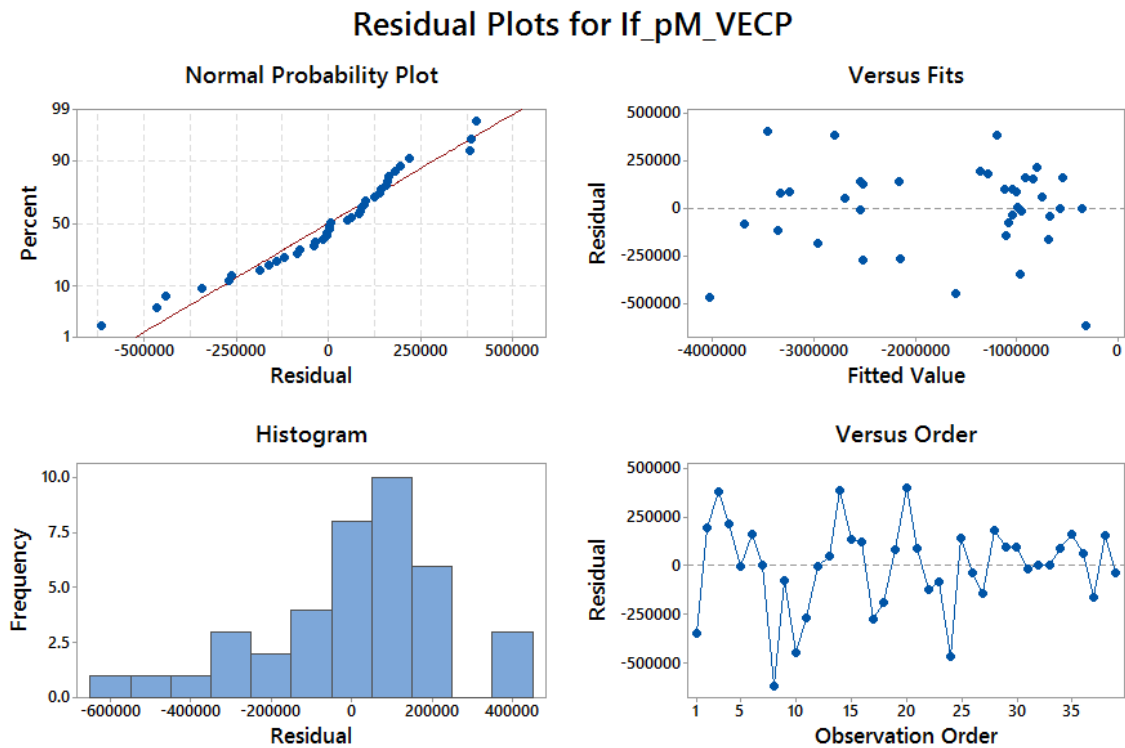
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
228720	97.35%	97.28%	97.02%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	77759	63306	1.23	0.227	
Ii_pM_VECP	1.0918	0.0285	38.31	0.000	1.00

Por último, se realiza el análisis de residuos evidenciado en la Figura 37 en donde se denota que la varianza tiende a ser igual para todos los valores de (x), estando los residuos dentro de las dos desviaciones estándares representando en una recta de distribución normal, presentando una cola del lado izquierdo de la curva.

Figura 37- Análisis de residuos para el Crudo Mezcla en Vasconia.



Fuente: Autor. 2016

12.2 Y2: Inventario Final Vasconia (MZC)

Para el Inventario Final del producto crudo castilla en la estación Vasconia se realiza un análisis de mejor correlación (*“Best subset”*) teniendo en cuenta las variables del balance para este producto la cual arroja como resultado un 100% de coeficiente de determinación ajustado para los modelos con más de 7 variables que se pueden evidenciar en el ANEXO F.

Al analizar los coeficientes de explicación pronosticado (R-pred) se nota que el modelo 7 es el más adecuado debido a que al agregar una nueva variable al modelo (Inventario Inicial Total) se mejora el resultado de la estimación en un 99.7%.

Posteriormente a la selección del modelo, se realiza un análisis de varianza para el modelo seleccionado con el fin de identificar si diferentes tratamientos muestran diferencias significativas o por el contrario puede suponerse que sus medias poblacionales no difieren.

Para este modelo se consideran las siguientes variables de respuesta detalladas en el ANEXO F,

- Ii_pC_VT
- Ii_pC_VECP
- Ent_pC_VT
- Ent_pC_VECP
- Sal_pC_VT
- Sal_pC_VECP
- If_pC_VT

Se observa que dentro del análisis de varianza las variables no tienen correlación, sin embargo, los movimientos con propiedad son desconocidos al momento de realizar el cierre volumétrico mensual, por tanto, se procede a la eliminación de las variables Ent_pC_VECP , Sal_pC_VECP .

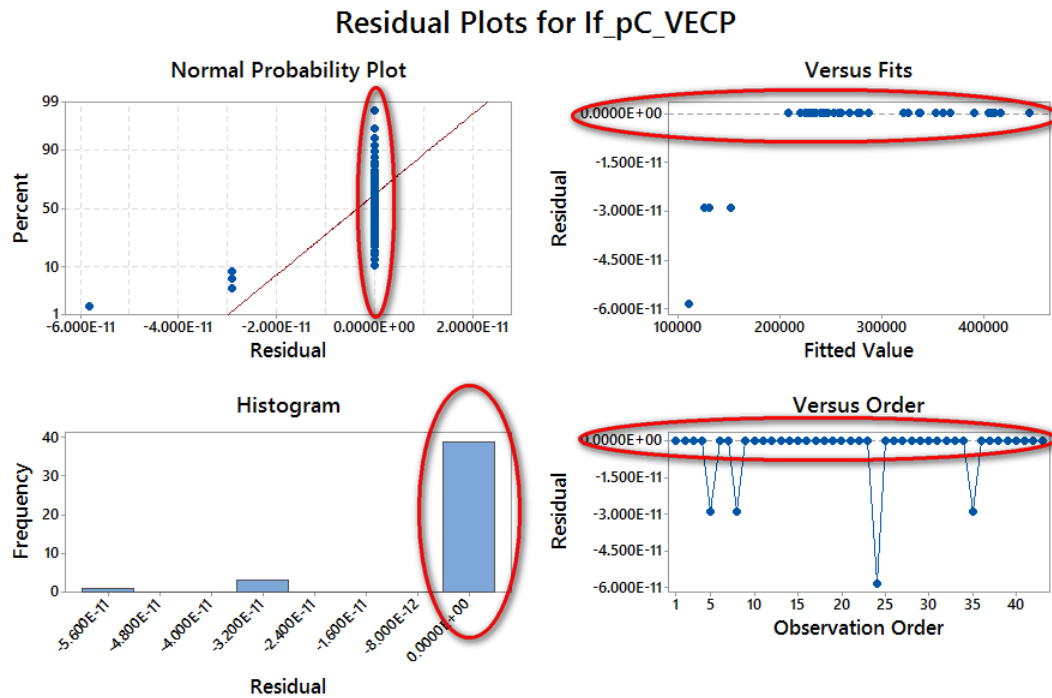
Al tomar como única variable explicativa el inventario final total se evidencia que esta variable representa al 100% la variable de respuesta por lo que se concluye lo siguiente:

$$Y_3 = If_pC_VT \quad (\text{Ec } 19)$$

La Ecuación 19 confirma que el Inventario final de crudo Castilla propiedad de Ecopetrol S.A en la Planta Vasconia equivale al 100% del Inventario final total reflejando este comportamiento en el balance del producto.

Por último, se realiza el análisis de residuos evidenciado en la Figura 38 en donde se denota que la varianza tiende a ser igual para todos los valores de (x), estando los residuos dentro de las dos desviaciones estándares representando en una recta de distribución normal, presentando una cola del lado izquierdo de la curva.

Figura 38- Análisis de residuos para el Crudo Castilla en Vasconia.



Fuente: Autor. 2016

12.3 Y3: Inventario Final Vasconia (MMB)

Para el Inventario Final del producto Magdalena Blend en la estación Vasconia no se realiza análisis de correlación dado a que se evidencia que este producto es propiedad 100% de Ecopetrol; por lo tanto, la ecuación que describe el comportamiento de esta variable sería la siguiente:

$$Y_3 = If_pM_VT \quad (\text{Ec } 20)$$

En donde la variable [If_pM_VT] corresponde al inventario final total de la estación Vasconia la cual se encuentra en los reportes de fin de mes que cuenta Ecopetrol S.A.

12.4 Y4: Inventario Final Línea (CMZ)

Para el Inventario Final del producto crudo mezcla en la línea Vasconia ODC – Coveñas ODC se observa que tiene una relación lineal con el inventario final total. De acuerdo a ello se realiza un análisis de varianza y se genera el modelo de regresión observando cumplen con los parámetros de correlación y el factor de inflación de varianza. En el ANEXO G se detalla el comportamiento de esta variable.

Al tomar como única variable explicativa el inventario final total se evidencia que esta variable tiene una relación con el inventario final del crudo mezcla con un coeficiente de correlación cercano al 100% concluyendo lo siguiente:

$$Y_4 = -144 + 0.438986 \times (If_pM_LT) \quad (\text{Ec 21})$$

Adicionalmente se realizan análisis de respuesta de la variable eliminando aquellos puntos que presentan altos residuos, sin embargo, no se evidencia cambios significativos en la variable de respuesta, por lo anterior llevando a cero el factor constante que representa la intersección de la línea ($\beta_0 = -144$).

12.5 Y5: Inventario Final Línea (MZC)

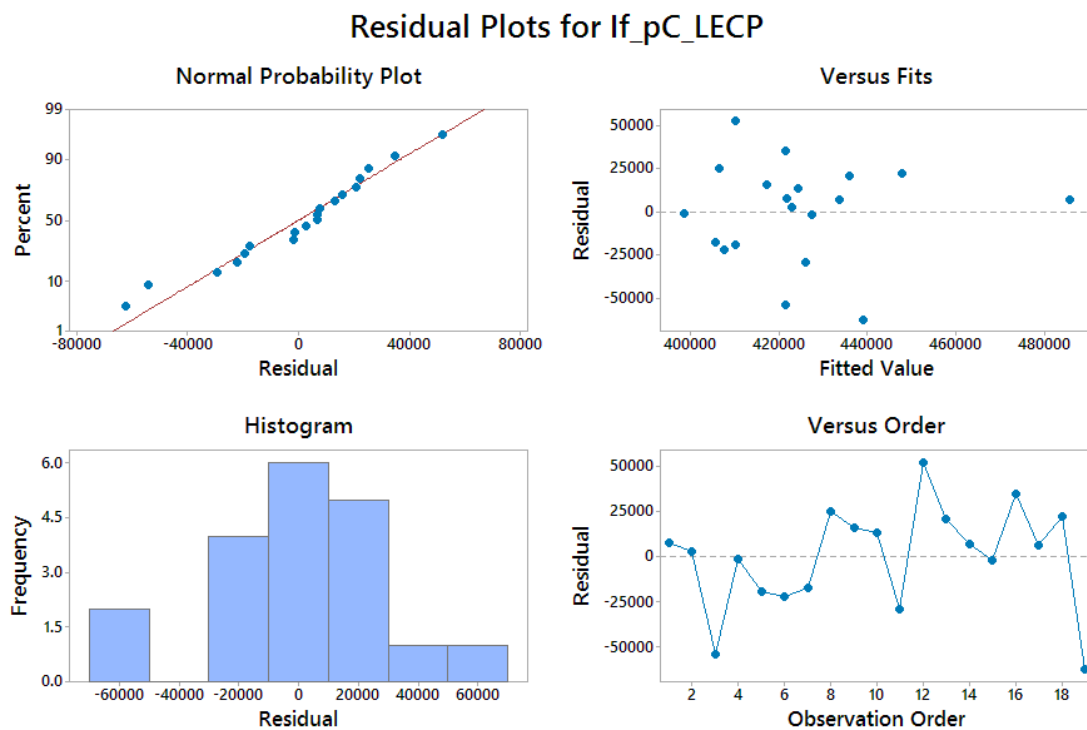
Para el Inventario Final del producto crudo Castilla en la línea Vasconia – Coveñas ODC se realiza un análisis de mejor correlación (“*Best subset*”) teniendo en cuenta las variables del balance para este producto la cual arroja como resultado un 99.7% de coeficiente de determinación ajustado para los modelos que con más de 7 variables que se pueden evidenciar en el ANEXO H.

Dentro el análisis de dispersión de las variables explicativas se evidencia una excelente correlación con el Inventario final total de este producto en la línea; por tal motivo se realiza el análisis de varianza para estas observaciones obteniendo un coeficiente de correlación de 91% cumpliendo con el VIF y varianza. La ecuación obtenida para esta variable es la siguiente:

$$Y_5 = 29932 + 0.9061 \times (If_pC_LT) \quad (\text{Ec } 22)$$

Por último, se realiza el análisis de residuos evidenciado en la Figura 39 en donde se denota que la varianza tiende a ser igual para todos los valores de (x), estando los residuos dentro de las dos desviaciones estándares representando en una recta de distribución normal.

Figura 39- Análisis de residuos para el crudo castilla en la línea Vasconia – Coveñas ODC.



Fuente: Autor. 2016

12.6 Y6: Inventario Final Línea (MMB)

Para el Inventario Final del producto Magdalena Blend de la Línea ODC no se realiza análisis de correlación dado a que se evidencia que este producto es propiedad 100% de Ecopetrol; por lo tanto, la ecuación que describe el comportamiento de esta variable sería la siguiente:

$$Y_6 = If_{pM_LT} \quad (\text{Ec 23})$$

En donde la variable [If_pM_LT] corresponde al inventario final total para este producto en la línea Vasconia ODC – Coveñas ODC la cual se encuentra en los reportes de fin de mes que cuenta Ecopetrol S.A.

12.7 Y7: Inventario Final Coveñas (CMZ)

Dado a que el análisis mediante graficas de dispersión se evidencia que no existen correlaciones directas entre la variable de respuestas y las explicativas; haciendo evidente la relación con la ecuación de balance, se procede a generar una nueva variable llamada BALANCE con el fin de correlacionar varios movimientos que puedan tener relación con el inventario final. Para ello se utiliza las bases de la ecuación de balance volumétrico expuesta en el API 2650 eliminando la variable de pérdida no identificable.

$$BALANCE = Ii_{pM_CECP} + Ent_{pM_CT} - Sal_{pM_CT} \quad (\text{Ec 24})$$

Debido a que la propiedad del producto se mantiene a lo largo del recurso, el delta de las entradas totales menos las salidas totales generarían un volumen que quedaría en acumulación y se sumaría al inventario final que es la variable que se quiere obtener. El Inventario inicial del producto Castilla propiedad de

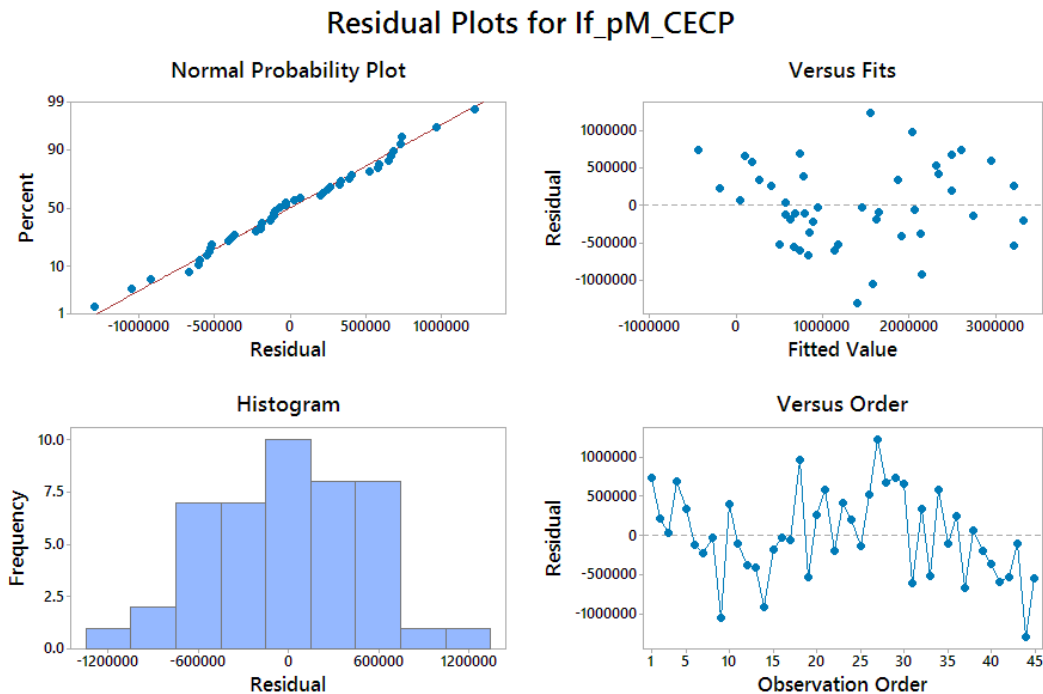
Ecopetrol permite realizar un ajuste fino a los cambios bruscos que puede presentar el inventario.

Posteriormente a obtener el resultado de esta nueva variable se procede a realizar el análisis de varianza y eliminar aquellos puntos que puedan considerarse como atípicos generando el resultado expuesto en el ANEXO J, arrojando la siguiente ecuación cuyo coeficiente de correlación es de 76.35%:

$$Y_7 = 624054 + 0.8886 \times (BALANCE) \quad (\text{Ec } 25)$$

Por último, se realiza el análisis de residuos evidenciado en la Figura 40 en donde se denota que la varianza tiende a ser igual para todos los valores de (x), estando los residuos dentro de las dos desviaciones estándares representando en una recta de distribución normal.

Figura 40- Análisis de residuos para la mezcla en la Estación Coveñas ODC.



Fuente: Autor. 2016

12.8 Y8: Inventario Final Coveñas (MZC)

Dentro del análisis mediante graficas de dispersión se evidencia que no existen correlaciones directas entre la variable de respuestas y las explicativas, y basado en la relación que existe con la ecuación de balance se define una nueva variable la cual corresponde al resultado del mismo sin incluir perdidas no identificables. Esta nueva variable es denominada BALANCE.

$$BALANCE = Ii_{pC_CECP} + Ent_{pC_CT} - Sal_{pC_CT} \quad (Ec 26)$$

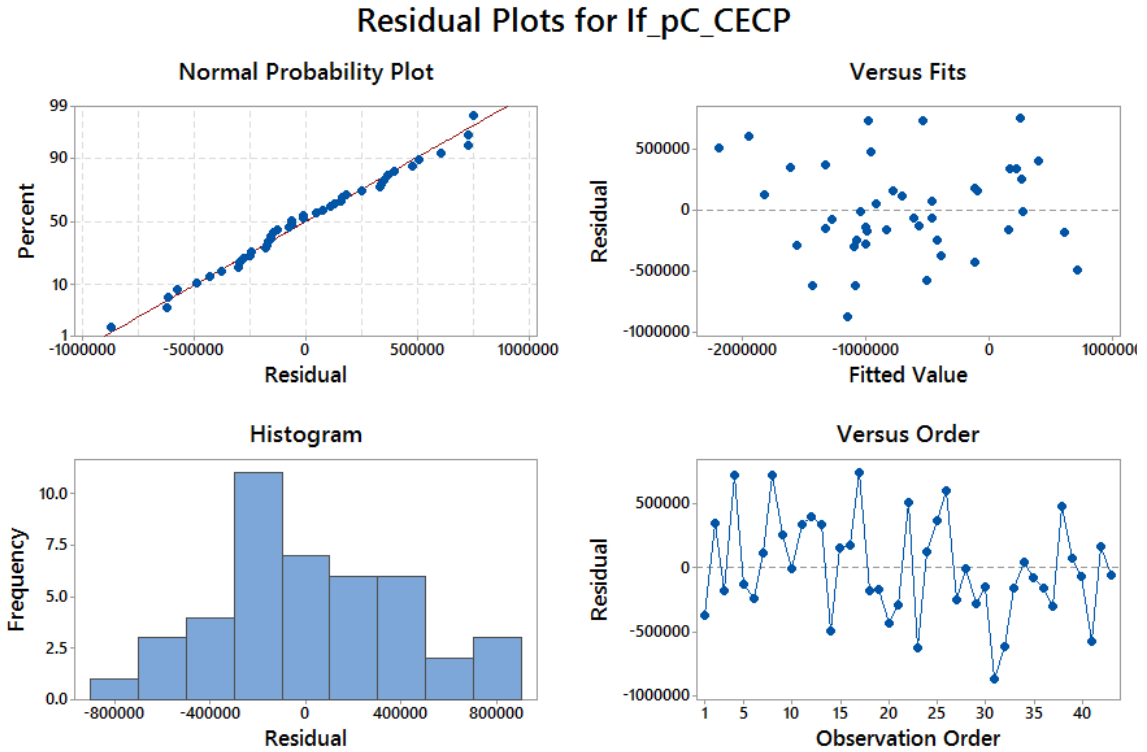
Debido a que la propiedad del producto se mantiene a lo largo del recurso, el delta de las entradas totales menos las salidas totales generarían un volumen que quedaría en acumulación y se sumaría al inventario final que es la variable que se quiere obtener. El Inventario inicial del producto Castilla propiedad de Ecopetrol permite realizar un ajuste fino a los cambios bruscos que puede presentar el inventario.

Posteriormente a obtener el resultado de esta nueva variable se procede a realizar el análisis de varianza y eliminar aquellos puntos que puedan considerarse como atípicos generando el resultado expuesto en el ANEXO I, arrojando la siguiente ecuación cuyo coeficiente de correlación es de 78.43%:

$$Y_8 = -108855 + 0.7439 \times (BALANCE) \quad (Ec 27)$$

Por último, se realiza el análisis de residuos evidenciado en la Figura 41 en donde se denota que la varianza tiende a ser igual para todos los valores de (x), estando los residuos dentro de las dos desviaciones estándares representando en una recta de distribución normal.

Figura 41- Análisis de residuos para la mezcla Castilla en la Estación Coveñas ODC.



Fuente: Autor. 2016

12.9 Y9: Inventario Final Coveñas (MMB)

Para el Inventario Final del producto Magdalena Blend de la estación Coveñas ODC no se realiza análisis de correlación dado a que se evidencia que este producto es propiedad 100% de Ecopetrol; por lo tanto, la ecuación que describe el comportamiento de esta variable sería la siguiente:

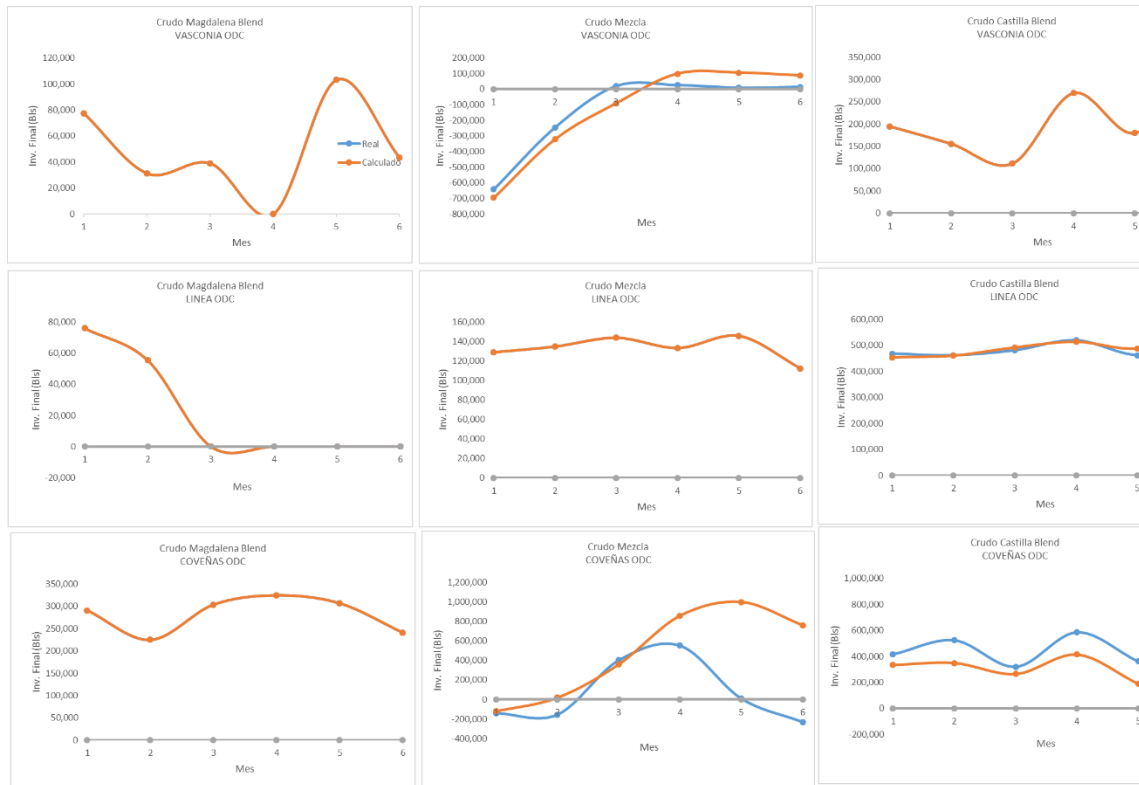
$$Y_9 = If_pM_CT \quad (\text{Ec 28})$$

En donde la variable [If_pM_CT] corresponde al inventario final total para este producto en la estación Coveñas ODC la cual se encuentra en los reportes de fin de mes que cuenta Ecopetrol S.A.

12.10 Validación del Modelo con los resultados de las CVC para el 2016.

Con base en los resultados obtenidos para cada una de las variables de respuesta, se realiza un comparativo con los datos generados por la CVC para el año 2016 de enero a junio los cuales se observan en la Figura 42.

Figura 42- Comparativo de datos reales versus correlación para el 2016.



Fuente: Autor. 2016

De acuerdo al comparativo para el año 2016, es evidente la buena correlación de la mayoría de los datos a excepción de las variables de crudo mezcla y crudo castilla para la estación Coveñas ODC, en donde la afectación por decisiones comerciales y acuerdos entre clientes hacen que sea difícil conocer los inventarios finales antes de que se genere la compensación volumétrica, por lo tanto, no sigue una tendencia o relación con las variables del balance.

12.11 Afectación de la incertidumbre de los sistemas de medición en los inventarios finales propiedad de Ecopetrol S.A.

A la hora de expresar el resultado de una medición de una magnitud física, es obligado dar alguna indicación cuantitativa de la calidad del resultado, de forma que quienes utilizan dicho resultado puedan evaluar su idoneidad (validez del mismo). Sin dicha indicación, las mediciones no pueden compararse entre sí, ni con otros valores de referencia dados en especificaciones o normas. Por ello es necesario establecer un procedimiento fácilmente comprensible y aceptado universalmente para caracterizar la calidad del resultado de una medición; esto es, para evaluar y expresar su incertidumbre.

Como dicha evaluación debe ser general y universal para las mediciones se establece la Evaluación de datos de medición — Guía para la expresión de la incertidumbre de medida, en donde se evidencian las reglas generales para realizar dicha estimación.

Las mediciones realizadas en cada uno de los puntos del sistema ODC presentan incertidumbre las cuales dependen del tipo de medición, equipos y tecnología utilizada; que basado en las mejores prácticas industriales (PEMEX REFINACIÓN, 2006) establece que dentro de los criterios de aceptación de los sistemas de medición en un ducto (OIML R-117) se debe contar con Clase A un valor máximo de 0.3% y para clase B un valor de 0.2%.

Dado que se cuenta con sistemas de medición a la entrada y a la salida, la incertidumbre combinada (calculada con la raíz cuadrada de la sumatoria de los cuadrados de las incertidumbres de los sistemas involucradas), genera que para la Clase A el error máximo permisible debe ser de 0.42% y para la Clase B de 0.28%. Para la medición estática en tanque se contempla una incertidumbre de 0.22%.

El inconveniente del cálculo de las incertidumbres de los sistemas de medición asociados a una línea de transporte o estación es que estas no contemplan factores tales como la expansión térmica de la línea, sobrepresiones o alivios del sistema e incluso efectos tales como contracción volumétrica y cambios de calidad en los productos por mezclado de los mismo.

La normatividad internacional API 2560 contempla el seguimiento de las pérdidas no identificables para los sistemas de transporte teniendo en cuenta el análisis estadístico de esta variable de manera mensual considerando una distribución normal basado en límites de tolerancia al 95% de confiabilidad.

Para los sistemas de transporte asociados a los recursos del ODC se tiene los siguientes factores de seguimiento a las pérdidas no identificadas en la Tabla 9.

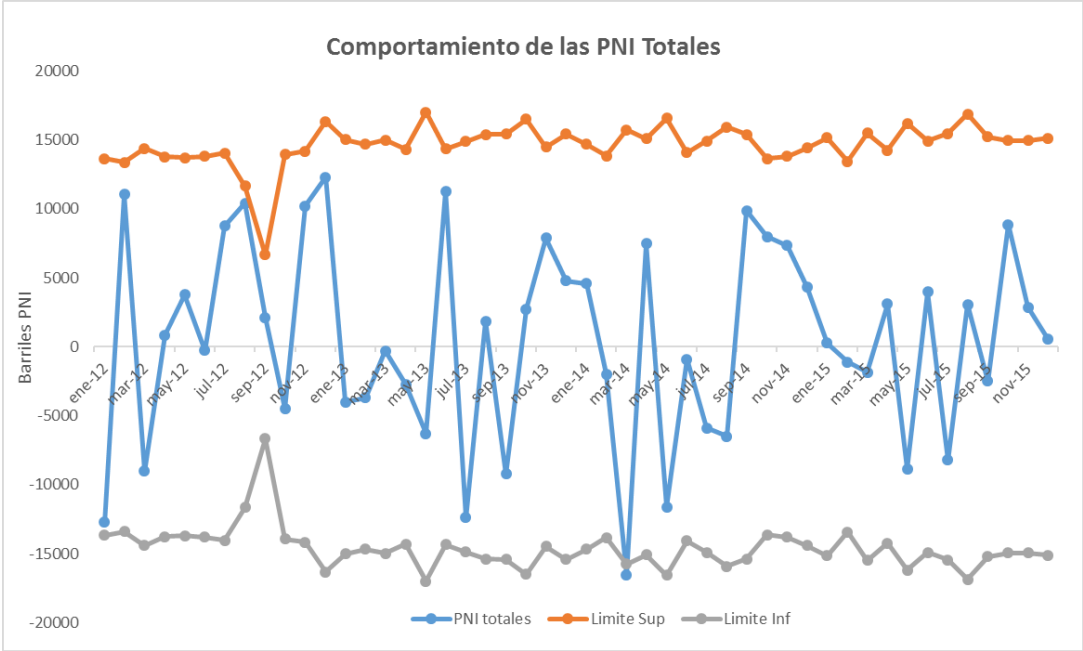
Tabla 10 – Límites de tolerancia para los recursos de transporte ODC.

RECURSOS / SISTEMAS	PRODUCTO	TOLERANCIA	
		Media	Limite
VASCONIA - ODC	CRUDO	0.050%	0.103%
VASCONIA ODC - COVEÑAS ODC 24"	CRUDO	0.109%	0.218%
COVENAS - ODC	CRUDO	0.032%	0.075%

Fuente: Ecopetrol S.A. 2016

Es evidente que la mayor desviación presentada se encuentra en el sistema de transporte Vasconia ODC – Coveñas ODC con un límite máximo de 0.218%. Con este valor de pérdida no identificada total del sistema se realiza un análisis del impacto sobre el inventario el cual se construye con los volúmenes de pérdida total que presenta el sistema, generando límites máximos permisibles los cuales en promedio equivalen a 14,622.54 Bls de pérdidas no identificadas tal como se muestra en la Figura 42.

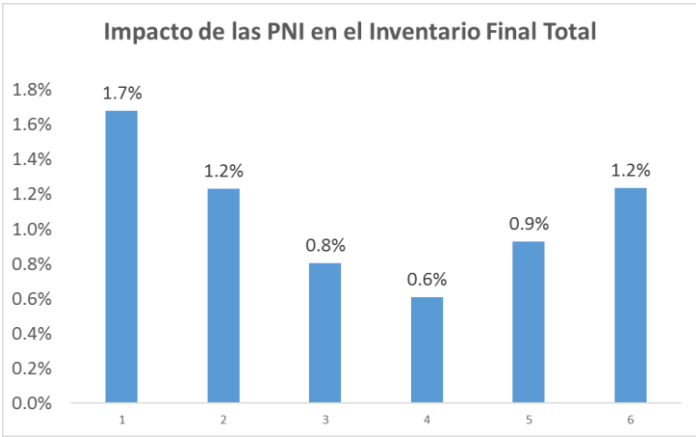
Figura 43- Comportamiento de las PNI y límites de tolerancia.



Fuente: Autor. 2016

Con base en lo anterior, se calcula el porcentaje del impacto sobre los inventarios finales para los primeros 6 meses del año evidenciando en la Figura 42 que se encuentran por debajo del 2% de los mismos.

Figura 44- Porcentaje de impacto de la PNI sobre el inventario final.



Fuente: Autor. 2016

13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Dentro de la revisión de los reportes históricos de la compensación volumétrica por Calidad se observó que el sistema de transporte ODC está distribuido por 3 recursos dentro de los cuales se destaca la Planta Vasconia, Oleoducto Vasconia – Coveñas ODC y la Terminal Coveñas que incluye el lleno de las líneas submarinas que terminan en exportación; así mismo, el balance se realiza para los tres productos manejados por el sistema, crudo Castilla, crudo Mezcla y Crudo Magdalena Blend.

Es evidente que los movimientos asociados a los reportes de CVC cumplen con la ecuación de balance siendo distribuidas por propiedad de los clientes teniendo en cuenta los volúmenes entregados por cada uno de ellos y la calidad del producto transportado.

La variable de respuesta (Inventario Final de Ecopetrol S.A) se ve afectado por múltiples transacciones dentro de las cuales se destaca que para el crudo Magdalena Blend el inventario final de Ecopetrol es igual al inventario final total de los recursos, lo que quiere decir que es equivalente al 100% de propiedad pudiéndose obtener del reporte de balance extraído de la herramienta volumétrica de Ecopetrol SINOPER, teniendo en cuenta que los únicos recursos a considerar son Vasconia ODC, el sistema Vasconia ODC – Coveñas ODC y la estación Coveñas ODC. De igual manera, se recomienda la estimación de las interfases en el sistema Vasconia ODC – Coveñas ODC y degradaciones de producto en Planta, lo cual permitiría obtener un mejor valor de las pérdidas no identificadas por producto.

Así mismo, es notable la relación existente entre los inventarios finales de los productos Castilla y Mezcla propiedad de Ecopetrol S.A para los recursos Vasconia ODC y la línea Vasconia ODC – Coveñas ODC y los movimientos e

inventarios que se generan en la realidad operacional debido a que en estos dos recursos no se generan acuerdos entre clientes por faltante o sobrante de producto, siendo la propiedad de cada uno de los clientes la única variable cambiante durante toda la cadena de transporte.

Para el caso de Coveñas ODC es evidente que para los productos Mezcla y Castilla se presenta poca correlación con las variables debido a factores externos al balance volumétrico tales como acuerdos comerciales con el transportador y entre clientes que únicamente se conocen al generar la CVC para lo cual se recomienda revisar mensualmente con los remitentes los saldos de los inventario finales con el fin de establecer planes de acción encaminados a mitigar los préstamos en puertos, mejorar la planeación y programación de los buques y puertos y su cumplimiento por parte de los remitentes teniendo como base las existencias reales en tanques, proyección de inventarios con base en la producción de crudos, paros de bombeos programados, y poder realizar los pagos en el menor tiempo posible.

Adicionalmente a lo anteriormente mencionado, se recomienda generar un balance operacional (sin CVC) durante los primeros 5 días del mes que permita conocer el estimado de los inventarios finales por parte del transportados y posteriormente (los días 23 de cada mes) generar el ajuste por CVC a implementar al mes siguiente.

Es de resaltar que los gráficos de matriz y los análisis estadísticos de regresión son herramientas que permiten identificar relaciones, comportamientos y posibles fenómenos que afectan directa o indirectamente una variable. La interpretación y el análisis de los resultados son tan importantes como la expresión resultante que muestra numéricamente la fuerza de la relación entre variables.

14. BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, D., Sweeney, D., & Williams, T. (2001). *Estadística para administración y economía Vol II*. Mexico: Thomson.
- API 2560. (2003). *Estandar API 2560 Reconciliación of Liquid Pipeline Quantities*. Primera Edición.
- ASEDUIS. (2014). *Diplomado en Medición y Control de Pérdidas de Hidrocarburos*. Bogota: Universidad Industrial de Santander.
- Cardona, D., & Gonzalez, J. (2013). Application of linear regression on the problem of poverty. *Revista Interacción Vol 12.*, 73-84.
- CENIT Transporte y Logística de Hidrocarburos. (2014). *Compensación Volumétrica por Calidad*. Bogota: Dirección de Operación y Transporte.
- Ecopetrol S.A E1. (s.f.). <http://www.ecopetrol.com.co>. Obtenido de http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/?urile=wcm%3Apath%3A/Ecopetrol_ES/Ecopetrol/nuestra-empresa/Quienes-Somos/acerca-de-nosotros/Nuestra+Historia.
- Ecopetrol S.A E2. (2006). *Proyecto SENSOR*. Bogota: Vicepresidencia de Suministro y Mercadeo.
- Ecopetrol S.A E3. (2012). *Capacitación de Compensación Volumétrica por Calidad*. Bogota: Gerencia de Operación Central, Vicepresidencia de Transporte y Logística.
- Ecopetrol S.A E4. (2012). *Manual de Contabilización de Hidrocarburos y Biocombustibles de Ecopetrol S.A. Versión 1*. Bogota: Vicepresidencia de Suministro y mercadeo.
- Ecopetrol S.A E5. (2013). *Clasificación de pérdidas identificadas de la Vicepresidencia de Transporte y Logística*. Bogota: Grupo de Gestión Volumétrica y Balances.
- Ecopetrol S.A E6. (2013). *Procedimiento de estimación de los volúmenes de Over and Under para cierre volumétrico mensual*. Bogota: Gerencia de Operación Central.
- Ecopetrol S.A E7. (2014). *Procedimiento para el cálculo y registro de interfases en ductos y conversión de productos en estaciones. Versión 1*. Bogota: Vicepresidencia de Suministro y mercadeo.
- Ecopetrol S.A E8. (2015). *Capacitación de Gestión Volumétrica y Balances*. Bogota: Universidad de Ecopetrol.

- Ecopetrol S.A E9. (2015). *Guía de Cierre Volumétrico de VIT*. Bogota: Vicepresidencia de Transporte y Logística.
- Ecopetrol S.A E9a. (12 de 07 de 2016). <http://www.ecopetrol.com.co/>. Obtenido de http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/productos-y-servicios/comercio-internacional/exportaciones/exportaciones-de-crudo!/ut/p/z0/04_Sj9CPyksy0xPLMnMz0vMAfljo8ziLQIMHd09DQy9DQJDDQ0cjQzNPJ3CHIMCvE30C7ldFQHDKIKO/
- Ecopetrol S.A E9b. (12 de 06 de 2016). <http://sinoper21/sinoperweb/>. Obtenido de Sistema de Información Operacional: <http://sinoper21/sinoperweb/>
- F.J Barón, L., & F. Tellez, M. (2010). *Apuntes de Bio estadística*. Mexico.
- Levin, R., & Rubin. (2004). *Estadística para administración y economía*. Mexico: Pearson Educación.
- Ministerio de Minas y Energías. (Julio del 2010). *Regulación numero 18 1258*. Bogota.
- Minnaard, C. (2010). *Modelos de Regresión lineales y no lineales: Su aplicación en problemas de ingeniería*. Mexico: Pearson.
- Oleoducto de Colombia. (2010). *Reglamento de Transporte Oleoducto de Colombia*. Bogota.
- PEMEX REFINACIÓN. (2006). *Acuerdo N° 002-CACM-PR*. Mexico : Comisión asesora central de Medición.
- Peñabaena, R., & Oviedo, O. (2014). *Diseño Economico-Estadístico de Cartas con parámetros variables totalmente adaptativas en presencia de datos autocorrelacionados*.
- Pita, F. S., & Pértega, D. S. (2001). *Relación entre variables cuantitativas*. Coruña: Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística.
- Platts & Opis. (2012). <http://www.platts.com>. Obtenido de <http://www.platts.com/methodology-specifications/oil>
- Walpole, R., & Myers, R. (1999). *Probabilidad y estadística para ingenieros*. Mexico: Prentice Hall.
- YPF Argentina. (2011). *Procedimiento de cuantificación de Interfases en ductos*. Buenos Aires, Argentina: YPF.

15. ANEXO A

COMPARATIVO DE INVENTARIO EN BARRILES NETOS DEL CRUDO MAGDALENA BLEND ENTRE LA CVC Y EL BALANCE GENERAL DE LOS RECURSOS ODC

INVENTARIO TOTAL (Bls)									
Mes	Crudo Magdalena Blend CVC			TOTAL	Crudo Magdalena Blend SINOPER			TOTAL	Delta
	VASCONIA	LINEA ODC	COVEÑAS		VASCONIA	LINEA ODC	COVEÑAS		
ene-12	-	-	127,754	127,754	-	-	127,754	127,754	-
feb-12	-	-	174,857	174,857	-	-	174,857	174,857	-
mar-12	-	-	14,017	14,017	-	-	14,017	14,017	-
abr-12	-	-	137,800	137,800	-	-	137,800	137,800	-
may-12	-	-	85,032	85,032	-	-	85,032	85,032	-
jun-12	-	-	67,767	67,767	-	-	67,767	67,767	-
jul-12	-	-	170,798	170,798	-	-	170,798	170,798	-
ago-12	-	-	17,499	17,499	-	-	17,499	17,499	-
sep-12	-	-	212,873	212,873	-	-	212,873	212,873	-
oct-12	-	-	73,833	73,833	-	-	73,833	73,833	-
nov-12	-	-	173,286	173,286	-	-	173,286	173,286	-
dic-12	-	-	108,803	108,803	-	-	108,803	108,803	-
ene-13	-	-	69,827	69,827	-	-	69,827	69,827	-
feb-13	-	-	121,925	121,925	-	-	121,925	121,925	-
mar-13	-	-	7,440	7,440	-	-	7,440	7,440	-
abr-13	-	-	336,345	336,345	-	-	336,345	336,345	-
may-13	-	-	188,651	188,651	-	-	188,651	188,651	-
jun-13	-	-	27,866	27,866	-	-	27,866	27,866	-
jul-13	-	-	65,768	65,768	-	-	65,768	65,768	-
ago-13	-	-	48,292	48,292	-	-	48,292	48,292	-
sep-13	-	-	13,582	13,582	-	-	13,582	13,582	-
oct-13	-	-	5,750	5,750	-	-	5,750	5,750	-
nov-13	-	-	34,269	34,269	-	-	34,269	34,269	-
dic-13	-	-	18,003	18,003	-	-	18,003	18,003	-
ene-14	-	-	74,530	74,530	-	-	74,530	74,530	-
feb-14	-	-	123,898	123,898	-	-	123,898	123,898	-
mar-14	-	-	96,935	96,935	-	-	96,935	96,935	-
abr-14	-	-	26,747	26,747	-	-	26,747	26,747	-
may-14	-	-	162,619	162,619	-	-	162,619	162,619	-
jun-14	-	-	88,597	88,597	-	-	88,597	88,597	-
jul-14	-	-	4,767	4,767	-	-	4,767	4,767	-
ago-14	-	-	52,135	52,135	-	-	52,135	52,135	-
sep-14	-	-	27,265	27,265	-	-	27,265	27,265	-
oct-14	-	-	200,482	200,482	-	-	200,482	200,482	-
nov-14	-	-	37,366	37,366	-	-	37,366	37,366	-
dic-14	-	-	95,549	95,549	-	-	95,549	95,549	-
ene-15	-	-	85,478	85,478	-	-	85,478	85,478	0
feb-15	-	-	288,116	288,116	-	-	288,116	288,116	-
mar-15	-	-	128,966	128,966	-	-	128,966	128,966	-
abr-15	10,582	-	94,069	104,652	10,582	-	94,069	104,652	-
may-15	12,324	63,112	80,195	155,631	12,324	63,112	80,195	155,631	-
jun-15	18,968	-	19,153	38,121	18,968	-	19,153	38,121	-
jul-15	425	-	293,974	294,399	425	-	293,974	294,399	-
ago-15	58,728	-	20,226	78,954	58,728	-	20,226	78,954	-
sep-15	6,780	50,152	37,803	94,735	6,780	50,152	37,803	94,735	0
oct-15	9,744	-	24,859	34,602	9,744	-	24,859	34,602	-
nov-15	46,833	-	147,831	194,663	46,833	-	147,831	194,663	-
dic-15	34,298	56,294	65,985	156,578	34,298	56,294	65,985	156,577	0

16. ANEXO B

COMPORTAMIENTO DE LAS PÉRDIDAS NO IDENTIFICADAS EN BARRILES NETOS DEL MMB

ANALISIS DE PÉRDIDAS NO IDENTIFICADAS				
RECURSO	BALANCE REAL DEL PRODUCTO MMB Bis			
	VASCONIA	LINEA ODC	COVEÑAS	PNI (Bls)
ene-12	-	-	1,674	1,674
feb-12	-	-	61	61
mar-12	-	-	204	204
abr-12	-	-	99	99
may-12	-	-	1,037	1,037
jun-12	-	-	469	469
jul-12	-	-	619	619
ago-12	-	-	741	741
sep-12	-	-	1,401	1,401
oct-12	-	-	909	909
nov-12	-	-	884	884
dic-12	-	-	2,003	2,003
ene-13	-	-	2,938	2,938
feb-13	-	-	168	168
mar-13	-	-	2,182	2,182
abr-13	-	-	591	591
may-13	-	-	114	114
jun-13	-	-	1,587	1,587
jul-13	-	-	83	83
ago-13	-	-	64	64
sep-13	-	-	695	695
oct-13	-	-	4,681	4,681
nov-13	-	-	1,163	1,163
dic-13	-	-	824	824
ene-14	-	-	2,961	2,961
feb-14	-	-	1,207	1,207
mar-14	-	-	15	15
abr-14	-	-	187	187
may-14	-	-	1,013	1,013
jun-14	-	-	1,579	1,579
jul-14	-	-	2,219	2,219
ago-14	-	-	661	661
sep-14	-	-	465	465
oct-14	-	-	3	3
nov-14	-	-	40	40
dic-14	-	-	147	147
ene-15	468	55	555	1,078
feb-15	-	-	764	764
mar-15	-	-	710	710
abr-15	-	161	209	370
may-15	-	1,169	229	1,398
jun-15	-	537	964	427
jul-15	-	790	680	1,470
ago-15	-	1,093	648	445
sep-15	4,237	1,946	981	7,164
oct-15	10,049	1,479	214	11,742
nov-15	1,222	6,074	318	5,170
dic-15	832	811	465	2,108

17. ANEXO C

REPORTE DE COMPENSACIÓN VOLUMETRICA DE CALIDAD DEL ODC



COMPENSACIÓN VOLUMETRICA POR CALIDAD
ESTACIÓN VASCONIA ODC
CRUDO MEZCLA
VERSIÓN : ORIGINAL

EMPRESA	INVENTARIO INICIAL		TOTAL ENTREGAS		MOVIMIENTO NETO BALANCE INV.INICIAL +ENTREGAS - RETIROS			FONDOS DE TANQUES
	BARRILES	USD	BARRILES	USD	BARRILES ORIGINALES	USD	FRAC COSTO (%)	BLS EQUIV
		API 24,5 %S 1,270 S.G. 0,907051282 USS/BL \$118,34						
	3.426	\$405.462,41	-3.486	-\$424.719,42	-60	-\$19.257,02	0%	-160
	21.344	\$2.525.909,31	71.837	\$8.621.272,37	92.981	\$11.147.181,68	2,39%	92.368
	608	\$71.968,05	880	\$107.227,81	1.488	\$179.195,85	0,04%	1.485
			44.323	\$5.334.162,72	65.001		1,67%	64.477
			282	\$34.390,07	508		0,01%	506
			46.369	\$5.695.373,10	79.637		2,07%	79.816
			188.104	\$23.104.478,16	268.021		6,99%	269.817
			130.997	\$16.090.193,68	209.851		5,46%	210.651
			-2.202	-\$268.244,49	-356		-0,01%	-413
	12	\$1.452,73	18	\$2.195,16	30		0,00%	30
	4.506	\$533.238,29			4.506		0,11%	4.419
	1.763	\$208.575,86	64.213	\$7.727.813,17	65.975		1,70%	65.763
	81	\$9.586,26			81		0,00%	79
			400.325		-754.624	-\$89.082.382,51	-19,13%	-738.160
			4.780		8.312	\$993.264,59	0,21%	8.230
			1.127		1.937	\$233.148,25	0,05%	1.932
			447		832	\$99.984,36	0,02%	828
			683.702		1.021.426	\$122.956.163,78	26,40%	1.018.847
	79.263	\$9.380.078,36	171.244		250.507	\$30.270.287,49	6,50%	250.828
	38.806	\$4.592.345,71	47.598		86.404	\$10.320.643,96	2,22%	85.520
	28.577	\$3.381.830,54	44.642		73.219	\$8.794.349,01	1,89%	72.872
	-5	-\$640,89			-5	-\$640,89	0,00%	-5
	3.922	\$464.090,22	12.797		16.718	\$2.011.170,83	0,43%	16.665
	633	\$74.854,27	1.139		1.771	\$211.907,80	0,05%	1.756
	60.301	\$7.136.087,06	109.909	\$13.227.250,28	170.210	\$20.363.337,35	4,37%	168.736
	51.183	\$6.056.986,60	93.898	\$11.300.332,32	145.081	\$17.357.328,92	3,73%	143.827
	0	-\$53,33			0	-\$53,33	0,00%	0
	5.219	\$617.578,86	19.476	\$2.352.192,07	24.695	\$2.969.770,93	0,64%	24.608
	8.701	\$1.029.736,31	19.130	\$2.327.292,12	27.832	\$3.357.028,44	0,72%	27.817
	27.530	\$3.257.899,50	30.310	\$3.677.371,48	57.840	\$6.935.270,98	1,49%	57.467
	4.343	\$513.899,26	34.818	\$4.227.617,24	39.161	\$4.741.516,50	1,02%	39.289
	3.963	\$469.023,73			3.963	\$469.023,73	0,10%	3.886
	0	\$0,02			0	\$0,02	0,00%	0
	8.434	\$998.122,51	16.327	\$1.989.003,24	24.762	\$2.987.125,75	0,64%	24.752
	39.739	\$4.702.761,58	93.831	\$11.430.459,92	133.570	\$16.133.221,51	3,46%	133.684
	14	\$1.637,14			14	\$1.637,14	0,00%	14
			179.147	\$21.559.805,55	245.448	\$29.405.926,12	6,31%	243.665
			44.820	\$5.394.012,15	67	\$7.674,25	0,00%	66
					85.159		2,18%	84.252
					6.947		0,18%	6.812
			14.341	\$1.725.878,78	8.041		0,21%	8.124
			16.321	\$1.964.194,48	25.899		0,67%	25.668
			10.976	\$1.320.963,72	18.008		0,46%	17.841
			266.842	\$32.113.629,59	401.884		10,33%	398.525
			19.648	\$2.364.532,03	29.375		0,75%	29.132
			-542	-\$65.980,65	2.767		0,07%	2.697
			11.592	\$1.423.843,16	19.933		0,52%	19.978
			8.364	\$1.027.311,06	13.008		0,34%	13.067
			132.534	\$16.109.163,33	188.737		4,89%	188.597
			88.252	\$10.726.821,10	104.662		2,72%	104.977
			0	\$0,00	0		0,00%	0
					6	\$681,46	0,00%	6
	(0)	-\$24,72			0	-\$24,72	0,00%	0
	7.517	\$889.529,40	18.125	\$2.192.827,68	25.642	\$3.082.357,08	0,66%	25.541
	2.355	\$278.710,56	3.187	\$383.582,78	5.542	\$662.293,34	0,14%	5.488
	43.564	\$5.155.382,35	89.641	\$10.788.024,30	133.205		3,42%	132.111
	(2.520)	-\$298.273,98			-2.520		-0,06%	-2.472
	258	\$30.491,91			258		0,01%	253
	63.094	\$7.466.549,38	147.900	\$17.799.277,77	210.993		5,43%	209.359
	45.137	\$5.341.493,06	62.672	\$7.542.368,43	107.808		2,77%	106.759
	39.289	\$4.649.441,90	38.838	\$4.784.054,72	78.127		2,03%	78.168
	99	\$11.707,94			99		0,00%	97
	334	\$39.545,86	0	\$1,54	334		0,01%	328
	26.595	\$3.147.320,41	-586	-\$71.337,08	26.010		0,66%	25.488
	1.830	\$216.516,46			1.830		0,05%	1.794
TOTAL	380.325	\$45.007.978	3.478.708	\$ 420.703.791,36	3.858.552	\$ 465.656.585,83	100%	3.858.552



**COMPENSACIÓN VOLUMETRICA POR CALIDAD
RESUMEN INVENTARIO FINAL
MAR
VERSIÓN :**

CRUDO MEZCLA EMPRESA	VASCONIA		LINEA ODC	COVENAS		TOTAL ODC	
	TOTAL	DISPONIBLE	TOTAL	TOTAL	DISPONIBLE	TOTAL	DISPONIBLE
	-158	-3.242	44.100	291.411	279.285	335.352	276.043
	23.035	23.035		-70.718	-70.718	-47.683	-47.683
	370	370		3.922	3.922	4.292	4.292
	16.081	16.081		-13.447	-13.447	2.634	2.634
	126	126		4.499	4.499	4.626	4.626
	19.909	19.909		-115.481	-115.481	-95.571	-95.571
		67.293		68.395	68.395		135.688
	52.542	52.542		-343.031	-343.031	-290.488	-290.488
	-412	-2.038	23.252	112.489	112.489	141.722	110.451
	8	8			-17.615	-17.607	-17.607
				2.323	2.323	2.323	2.323
	2.233	727	21.541	248	-5.675	24.023	-4.948
	16.396	16.396		48.400	48.400	64.796	64.796
	20	20		39	39	59	59
		-852.237	202.701	550.841			
	2.053	2.053		-4.405	-4.405	-2.352	-2.352
	482	482		16.302	16.302	16.784	16.784
	207	207		12.326	12.326	12.533	12.533
	255.485	253.658	26.118	91.595	84.414	373.198	338.072
	62.559	62.559		200.226	200.226	262.785	262.785
	21.333	21.333		31.662	31.662	52.996	52.996
	18.177	18.177		50.533	50.533	68.709	68.709
	-5	-5		-24	-24	-29	-29
	4.156	4.156		-1.171	-1.171	2.985	2.985
	438	438		-48	-48	390	390
	45.984	40.790	74.285	-255.734	-276.160	-135.465	-235.370
	35.874	35.874		16.239	16.239	52.113	52.113
	0	0		0	0	0	0
	6.137	6.137		6.280	6.280	12.417	12.417
	6.938	6.938		5.177	5.177	12.115	12.115
	14.336	14.336		45.542	45.542	59.878	59.878
		9.796			-125.624	-115.828	-115.828
	970	970		-19.336	-19.336	-18.365	-18.365
	0	0		2.460	2.460	2.460	2.460
	6.174	6.174		28.356	28.356	34.530	34.530
	34.008	33.119		10.369	6.874	57.089	39.993
	3	3		63	63	66	66
	-1	-1		3	3	2	2
	60.769	60.769		-175.862	-175.862	-115.094	-115.094
	16	16		592	592	608	608
	21.018	21.018	8.783	-76.514	-76.514	-55.496	-55.496
	2.161	1.547		-27.216	-29.631	-16.271	-28.083
	-3	-3		1	1	-2	-2
	2.023	2.023		-15.867	-15.867	-13.843	-13.843
	6.402	6.402			-19.039	-12.637	-12.637
	4.693	4.370	4.623	12.006	10.735	21.322	15.105
	99.398	99.398		403.979		503.377	503.377
	7.266	7.266		-3.759	-3.759	3.507	3.507
	2.697	-390	44.146	95.008	82.869	141.851	82.480
	4.983	4.983		-58.481	-58.481	-53.498	-53.498
	3.259	3.259		-291.591	-291.591		-288.332
				7.444	7.444	7.444	7.444
	47.037	47.037		5.586	5.586	52.623	
	26.177	26.177		6.430	6.430	32.607	
	0	0		0	0	-1	-1
	1	1		91	91	92	92
	0	0		-499	-499	-499	-499
	6.370	6.370		-10.651	-10.651	-4.281	-4.281
	1.369	1.369		-3.399	-3.399	-2.030	-2.030
				161	161	161	161
	32.950	32.950		842	842	33.792	33.792
	-2.472	-2.472		2.111	2.111	-360	-360
	63	63		792	792	856	856
	52.215	52.215		80.328	80.328	132.543	132.543
	26.630			0	0	26.630	26.630
	19.501	19.501		48.663	48.663	68.164	68.164
	24	24		4.280	4.280	4.304	4.304
	82	82		1	1	82	82
	6.363	6.363		9.319	9.319	15.682	15.682
	448	448		-53.848	-53.848	-53.400	-53.400
		283.600	462.259		453.263		736.863

CRUDO VH	VASCONIA	LINEA ODC	COVENAS	TOTAL ODC
EMPRESA	TOTAL	DISPONIBLE	TOTAL	DISPONIBLE
ECP S.A	337.246			(925.492)
				1.677.084
	337.246		375.825	414.346

CRUDO MB	VASCONIA	LINEA ODC	COVENAS	TOTAL ODC
EMPRESA	TOTAL	DISPONIBLE	TOTAL	DISPONIBLE
ECP S.A				
TOTAL				



**COMPENSACIÓN VOLUMETRICA POR CALIDAD
SISTEMA ODC
CRUDO VASCONIA HEAVY**

[]
VERSIÓN : ORIGINAL

BALANCE ESTACION VASCONIA			
	ECP S.A	[]	TOTAL
INVENTARIO INICIAL			
ENTREGAS OAM			
ENTREGAS CARROTANQUES			
ENTREGAS NAFTA			
ENTREGAS VASCONIA I			
ENTREGAS OCENSA			
TRASIEGO DE MZ A VH			
BALANCE LINEA VASCONIA - COVEÑAS			
DESPECHO LINEA ODC			
INTERFASE MZ - VH			
TRANSFERENCIA A VASCONIA I			
PI	-	-	-
INVENTARIO FINAL	337.246		337.246
PERDIDAS NO IDENTIFICABLES	1.007		1.007
TRASIEGO VH A MZ	-	-	-
CHEQUEO	-	-	-
BALANCE LINEA VASCONIA - COVEÑAS			
	ECP S.A	[]	TOTAL
INVENTARIO INICIAL	425.541	9.704	435.245
DESPECHOS DE VASCONIA	3.005.947		3.005.947
PI	-	-	-
INTERFASE VH-MZ	15.943		15.943
RECIBOS EN COVEÑAS	3.052.050	1.325	3.053.375
EXISTENCIA FINAL	367.445	8.380	375.825
PERDIDAS NO IDENTIFICABLES	(3.951)	-	(3.951)
ENTREGAS CROSS OVER	-	-	-
CHEQUEO	0	(0)	0
BALANCE ESTACION COVEÑAS			
	ECP S.A	[]	TOTAL
INVENTARIO INICIAL			
INVENTARIO INICIAL LINEA SUBMARINA (TLU1/TLU3)			
ENTREGAS LINEA ODC	3.052.050	1.325	3.053.375
ENTREGAS DE OCENSA	(709.535)	709.535	
ENTREGAS DE ACN			
TRANSFERENCIAS DE GCA			
TRANSFERENCIAS DE OCENSA A TLU		1.559.746	1.559.746
DEVOLUCION DE OCENSA			
ENTREGA TRASIEGO TQ-501			
ENTREGAS DESDE TKS DE MZ			
ENTREGAS DE OCENSA L-30" A TANQUE			
ENTREGAS DE OCENSA TANQUE A TANQUE			
EXPORTACIONES TLU 1 / TLU 3		2.958.350	2.958.350
EXPORTACIONES TLU 2			
TRANSFERENCIA A OCENSA			
PI			
INTERFASE VH - MZ			
PERDIDAS NO IDENTIFICABLES			
SALIDA TRASIEGO A TKS OTROS CRUDOS			
PRESTAMO A OCENSA			
TRANSFERENCIAS A GCA			
INVENTARIO FINAL LINEA SUBMARINA (TLU1/TLU3)			
INVENTARIO FINAL			
REVERSIÓN LINEA SUBMARINA	-		-
CHEQUEO	-	-	-

de 1

VH

18. ANEXO D

ANALISIS DE AUTOCONSUMOS EN LA LINEA DE TRANSPORTE EN BARRILES NETOS VASCONIA ODC – COVEÑAS ODC

MES	%PROP ECP	TOTAL	%PROP ECP	MOVIMIENTO	ORIGEN	PRODUCTO	RECURSO
ene-12	801.5	1,590	50%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
feb-12	2,550.0	4,572	56%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
mar-12	1,645.0	2,956	56%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
abr-12	2,308	4,037	57%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
may-12	1,807	3,638	50%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
jun-12	1,179	2,221	53%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
jul-12	1,607	3,217	50%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
ago-12	710	1,782	40%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
sep-12	1,401	2,651	53%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
oct-12	1,408	2,753	51%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
nov-12	2,017	3,748	54%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
dic-12	1,743	3,173	55%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
ene-13	1,757	3,288	53%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
feb-13	1,288	2,312	56%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
mar-13	2,047	3,482	59%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
abr-13	2,164	3,488	62%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
may-13	2,567	4,015	64%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
jun-13	3,313	5,646	59%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
jul-13	1,344	2,461	55%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
ago-13	1,477	2,576	57%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
sep-13	1,442	2,795	52%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
oct-13	2,030	3,694	55%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
ene-14	6,697	6,697	100%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
feb-14	4,633	4,633	100%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
mar-14	2,944	2,944	100%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
abr-14	3,013	3,013	100%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
may-14	2,404	2,404	100%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
jun-14	5,316	5,316	100%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
jul-14	2,345	2,345	100%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
ago-14	3,817	3,817	100%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
sep-14	3,286	3,286	100%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
oct-14	3,716	3,716	100%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
nov-14	2,807	2,807	100%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
dic-14	4,494	4,494	100%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
ene-15	5,855	5,855	100%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
feb-15	2,048	2,048	100%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
abr-15	1,359	1,359	100%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
may-15	4,137	4,137	100%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
jun-15	4,914	4,914	100%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
jul-15	3,328	3,328	100%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
ago-15	4,615	4,615	100%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
sep-15	3,203	3,203	100%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
oct-15	4,494	4,494	100%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
nov-15	4,088	4,088	100%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC
dic-15	3,250	3,250	100%	SALIDA	COMBUSTIBL	MEZCLA	LINEA ODC

19. ANEXO E

BEST SUBSET PARA EL INVENTARIO FINAL DEL CRUDO MEZCLA EN VASCONIA

Response is If_pM_VECP

Vars	R-Sq	R-Sq (adj)	R-Sq (pred)	Mallows Cp	S	P S E N a n I I P l S t E i I _ N _ a _ n _ I f _ p _ I _ p _ l _ p _ t _ p _ i _ M _ M _ M _ M _ p _ p _ p _ p _ p _ M _ V _ M _ V _ M _ V _ M _ V _ _ E _ E _ E _ E _ V _ C _ V _ C _ V _ C _ V _ T P T P T P T P T P T													
						1	80.0	79.5	72.1	0.7	599390								
1	20.2	18.5	14.6	131.3	1196711	X													
2	80.9	80.0	72.8	0.8	592261													X	X
2	80.5	79.6	72.4	1.7	599149	X													X
3	82.8	81.6	74.9	-1.4	568379				X									X	X
3	81.2	79.9	72.6	2.1	594204												X	X	X
4	82.9	81.3	74.9	0.3	573179				X	X							X	X	X
4	82.9	81.2	74.7	0.5	574278	X			X	X							X	X	X
5	83.0	81.0	74.4	2.1	578185				X	X	X	X					X	X	X
5	83.0	81.0	74.4	2.1	578190				X	X							X	X	X
6	83.1	80.5	73.6	4.0	585046				X	X	X	X					X	X	X
6	83.0	80.5	73.6	4.1	585201				X	X							X	X	X
7	83.1	80.0	73.4	6.0	592409				X	X	X	X	X				X	X	X
7	83.1	80.0	73.3	6.0	592426				X	X	X	X	X	X			X	X	X
8	83.1	79.5	73.0	8.0	600047				X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
8	83.1	79.5	0.0	8.0	600099	X			X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
9	83.1	79.0	0.0	10.0	607986	X	X		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X

Analysis de varianza

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	7	6.71082E+13	9.58689E+12	27.29	0.000
PNI_pM_VT	1	1.66434E+11	1.66434E+11	0.47	0.495
Sal_pM_VECP	1	9.86397E+11	9.86397E+11	2.81	0.102
Sal_pM_VT	1	387140172	387140172	0.00	0.974
Ent_pM_VECP	1	1.78926E+12	1.78926E+12	5.09	0.030
Ent_pM_VT	1	4149673601	4149673601	0.01	0.914
Ii_pM_VECP	1	2.95630E+13	2.95630E+13	84.17	0.000
If_pM_VT	1	6924036843	6924036843	0.02	0.889
Error	39	1.36988E+13	3.51250E+11		
Total	46	8.08070E+13			

Model Summary

S R-sq R-sq(adj) R-sq(pred)
 592664 83.05% 80.00% 73.62%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-130650	634348	-0.21	0.838	
PNI_pM_VT	81	117	0.69	0.495	1.71
Sal_pM_VECP	-0.921	0.550	-1.68	0.102	2.22
Sal_pM_VT	0.05	1.59	0.03	0.974	90.20
Ent_pM_VECP	0.890	0.394	2.26	0.030	1.83
Ent_pM_VT	-0.18	1.64	-0.11	0.914	95.54
Ii_pM_VECP	0.7868	0.0858	9.17	0.000	1.68
If_pM_VT	0.27	1.91	0.14	0.889	1.99

Regression Equation

$$\text{If_pM_VECP} = -130650 + 81 \text{ PNI_pM_VT} - 0.921 \text{ Sal_pM_VECP} + 0.05 \text{ Sal_pM_VT} + 0.890 \text{ Ent_pM_VECP} - 0.18 \text{ Ent_pM_VT} + 0.7868 \text{ Ii_pM_VECP} + 0.27 \text{ If_pM_VT}$$

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	If_pM_VECP	Fit	Resid	Std Resid	
11	-1534510	-1629852	95342	0.24	X
31	-2047446	-5182424	3134978	5.93	R

R Large residual
 X Unusual X

Se eliminan los puntos 11 y 31, y se realiza nuevamente un analisis de varianza.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	7	7.93076E+13	1.13297E+13	312.23	0.000
PNI_pM_VT	1	90845801077	90845801077	2.50	0.122
Sal_pM_VECP	1	6.70892E+11	6.70892E+11	18.49	0.000
Sal_pM_VT	1	30317723397	30317723397	0.84	0.367
Ent_pM_VECP	1	1.49990E+12	1.49990E+12	41.33	0.000
Ent_pM_VT	1	14138985967	14138985967	0.39	0.536
Ii_pM_VECP	1	3.68992E+13	3.68992E+13	1016.88	0.000
If_pM_VT	1	31025724453	31025724453	0.86	0.361
Error	37	1.34260E+12	36286552297		
Total	44	8.06502E+13			

Model Summary

S R-sq R-sq(adj) R-sq(pred)
 190490 98.34% 98.02% 97.29%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	415448	206442	2.01	0.051	
PNI_pM_VT	60.9	38.5	1.58	0.122	1.63
Sal_pM_VECP	-1.008	0.234	-4.30	0.000	2.13
Sal_pM_VT	-0.469	0.513	-0.91	0.367	78.16
Ent_pM_VECP	0.831	0.129	6.43	0.000	1.63
Ent_pM_VT	0.331	0.529	0.62	0.536	82.17
Ii_pM_VECP	0.9907	0.0311	31.89	0.000	1.75
If_pM_VT	-0.574	0.620	-0.92	0.361	1.98

Regression Equation

$$\begin{aligned} \text{If_pM_VECP} = & 415448 + 60.9 \text{ PNI_pM_VT} - 1.008 \text{ Sal_pM_VECP} - 0.469 \text{ Sal_pM_VT} \\ & + 0.831 \text{ Ent_pM_VECP} + 0.331 \text{ Ent_pM_VT} + 0.9907 \text{ Ii_pM_VECP} \\ & - 0.574 \text{ If_pM_VT} \end{aligned}$$

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	If_pM_VECP	Fit	Resid	Std Resid	
3	-798512	-1119344	320832	2.07	R
9	-1053747	-643245	-410502	-2.24	R
17	-2378279	-2781688	403409	2.24	R
31	-1019840	-1785105	765265	4.61	R

R Large residual

20. ANEXO F

BEST SUBSET PARA EL INVENTARIO FINAL DEL CRUDO CASTILLA EN VASCONIA

Response is If_pC_VECP

Vars	R-Sq	R-Sq (adj)	R-Sq (pred)	Mallows Cp	S	E S P I n a N % i E t S l P I P I _ n _ a _ N _ I R i p t p l p I p f O _ C _ C _ C _ C _ P p _ p _ p _ p _ p _ C V C V C V C V C V C _ E _ E _ E _ V C V C V C V C V T P T P T P T P T P T V															
						T	P	T	P	T	P	T	P	T	P	T	V				
1	93.2	93.0	92.7	182721.6	25639																X
1	12.2	10.3	3.7	2350615.1	91951				X												
2	93.5	93.2	92.4	174529.0	25341	X															X
2	93.4	93.1	92.4	175825.3	25435		X														X
3	93.6	93.2	92.3	170878.5	25364	X														X	X
3	93.6	93.2	92.4	171022.5	25375	X								X							X
4	95.4	94.9	73.7	123919.3	21856		X		X		X										X
4	95.2	94.8	90.3	127296.2	22152						X	X									X X
5	97.0	96.6	85.8	81267.0	17915			X	X	X	X										X
5	96.1	95.6	90.2	104586.5	20323		X				X	X									X X
6	97.7	97.3	68.1	62731.2	15936		X	X	X	X	X										X
6	97.1	96.7	85.5	77320.6	17692				X	X	X	X									X X
7	100.0	100.0	99.7	16.0	441.82		X	X	X	X	X	X									X
7	97.9	97.5	68.0	56794.1	15357		X	X	X	X	X										X X
8	100.0	100.0	0.0	13.0	422.94		X	X	X	X	X	X	X								X
8	100.0	100.0	89.4	14.3	429.25		X	X	X	X	X									X	X
9	100.0	100.0	0.0	12.0	413.26		X	X	X	X	X	X	X								X X
9	100.0	100.0	0.0	13.3	419.69		X	X	X	X	X	X									X X
10	100.0	100.0	0.0	11.0	402.32		X	X	X	X	X	X	X	X							X X

Análisis de Varianza

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	7	4.33522E+11	61931777849	317264.10	0.000
Ii_pC_VT	1	10151262285	10151262285	52002.89	0.000
Ii_pC_VECP	1	13111130414	13111130414	67165.70	0.000
Ent_pC_VT	1	19257737875	19257737875	98653.54	0.000
Ent_pC_VECP	1	27515013001	27515013001	140953.90	0.000
Sal_pC_VT	1	19520218068	19520218068	99998.17	0.000
Sal_pC_VECP	1	27632385926	27632385926	141555.18	0.000
If_pC_VT	1	72543892790	72543892790	371627.84	0.000
Error	39	7613024	195206		
Total	46	4.33530E+11			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
441.821	100.00%	100.00%	99.66%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-1013	675	-1.50	0.142	
Ii_pC_VT	-1.00151	0.00439	-228.04	0.000	35.73
Ii_pC_VECP	1.00195	0.00387	259.16	0.000	32.38
Ent_pC_VT	-0.99900	0.00318	-314.09	0.000	844.19
Ent_pC_VECP	0.99813	0.00266	375.44	0.000	241.69
Sal_pC_VT	0.99914	0.00316	316.22	0.000	848.64
Sal_pC_VECP	-0.99802	0.00265	-376.24	0.000	228.34
If_pC_VT	1.00023	0.00164	609.61	0.000	5.13

Regression Equation

$$\text{If_pC_VECP} = -1013 - 1.00151 \text{ Ii_pC_VT} + 1.00195 \text{ Ii_pC_VECP} - 0.99900 \text{ Ent_pC_VT} \\ + 0.99813 \text{ Ent_pC_VECP} + 0.99914 \text{ Sal_pC_VT} - 0.99802 \text{ Sal_pC_VECP} \\ + 1.00023 \text{ If_pC_VT}$$

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	If_pC_VECP	Fit	Resid	Std Resid		
19	139574	139596	-22	-2.04	R	X
26	234893	236954	-2061	-5.19	R	
31	519032	518855	177	2.91	R	X
32	195466	195444	22	0.36		X
33	93034	92110	924	2.30	R	

R Large residual
X Unusual X

Se procede a eliminar los datos inusuales, y se realiza nuevamente el análisis de varianza

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	7	3.49567E+11	49938127135	318642.46	0.000
Ii_pC_VT	1	27997174	27997174	178.64	0.000
Ii_pC_VECP	1	225800316	225800316	1440.77	0.000
Ent_pC_VT	1	35556886	35556886	226.88	0.000
Ent_pC_VECP	1	446139706	446139706	2846.70	0.000
Sal_pC_VT	1	35594936	35594936	227.12	0.000
Sal_pC_VECP	1	447050258	447050258	2852.51	0.000
If_pC_VT	1	34004678	34004678	216.98	0.000
Error	36	5641974	156722		

Total 43 3.49573E+11

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
395.881	100.00%	100.00%	*

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-1135	667	-1.70	0.097	
Ii_pC_VT	-0.8622	0.0645	-13.37	0.000	8998.26
Ii_pC_VECP	0.9406	0.0248	37.96	0.000	1360.75
Ent_pC_VT	-0.8762	0.0582	-15.06	0.000	332502.83
Ent_pC_VECP	0.9530	0.0179	53.35	0.000	12357.14
Sal_pC_VT	0.8763	0.0581	15.07	0.000	331981.82
Sal_pC_VECP	-0.9530	0.0178	-53.41	0.000	11693.47
If_pC_VT	0.9233	0.0627	14.73	0.000	8541.74

Regression Equation

$$\text{If_pC_VECP} = -1135 - 0.8622 \text{ Ii_pC_VT} + 0.9406 \text{ Ii_pC_VECP} - 0.8762 \text{ Ent_pC_VT} + 0.9530 \text{ Ent_pC_VECP} + 0.8763 \text{ Sal_pC_VT} - 0.9530 \text{ Sal_pC_VECP} + 0.9233 \text{ If_pC_VT}$$

Debido a que no se cuenta con las variables con propiedad, se eliminan del análisis mostrando lo siguiente:

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	4	3.49116E+11	87279025749	7457.64	0.000
Ii_pC_VT	1	75464294	75464294	6.45	0.015
Ent_pC_VT	1	75964849	75964849	6.49	0.015
Sal_pC_VT	1	75803501	75803501	6.48	0.015
If_pC_VT	1	251719774	251719774	21.51	0.000
Error	39	456428923	11703306		
Total	43	3.49573E+11			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
3421.01	99.87%	99.86%	99.78%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	5139	4376	1.17	0.247	
Ii_pC_VT	-1.230	0.484	-2.54	0.015	6790.41
Ent_pC_VT	-1.235	0.485	-2.55	0.015	309428.12
Sal_pC_VT	1.234	0.485	2.55	0.015	308951.21

If_pC_VT 2.243 0.484 4.64 0.000 6812.79

Regression Equation

If_pC_VECP = 5139 - 1.230 Ii_pC_VT - 1.235 Ent_pC_VT + 1.234 Sal_pC_VT + 2.243 If_pC_VT

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	If_pC_VECP	Fit	Resid	Std Resid
30	93034	111292	-18257	-6.24

R Large residual

Se realiza el análisis de varianza únicamente con el inventario final total

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	3.49011E+11	3.49011E+11	26119.89	0.000
If_pC_VT	1	3.49011E+11	3.49011E+11	26119.89	0.000
Error	42	561199677	13361897		
Total	43	3.49573E+11			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
3655.39	99.84%	99.84%	99.80%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-3976	1853	-2.15	0.038	
If_pC_VT	1.01206	0.00626	161.62	0.000	1.00

Regression Equation

If_pC_VECP = -3976 + 1.01206 If_pC_VT

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	If_pC_VECP	Fit	Resid	Std Resid
30	93034	115482	-22448	-6.48

R Large residual

Se obtiene relación con el inventario final total

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	3.13072E+11	3.13072E+11	*	*
If_pC_VT	1	3.13072E+11	3.13072E+11	*	*
Error	41	0	0		
Total	42	3.13072E+11			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0	100.00%	100.00%	100.00%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.000000	0.000000	*	*	
If_pC_VT	1.000	0.000	*	*	1.00

Regression Equation

$$\text{If_pC_VECP} = 0.000000 + 1.000 \text{ If_pC_VT}$$

21. ANEXO G
BEST SUBSET PARA EL INVENTARIO FINAL DEL CRUDO MEZCLA
EN VASCONIA ODC – COVEÑAS ODC

Response is If_pM_LECP

Vars	R-Sq	R-Sq (adj)	R-Sq (pred)	Mallows Cp	S	T
1	100.0	100.0	100.0	2.0	208.26	X

Análisis de varianzas

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	65106293233	65106293233	1501122.74	0.000
If_pM_LT	1	65106293233	65106293233	1501122.74	0.000
Error	45	1951728	43372		
Total	46	65108244961			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
208.259	100.00%	100.00%	100.00%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-144	125	-1.16	0.254	
If_pM_LT	0.438986	0.000358	1225.20	0.000	1.00

Regression Equation

$$\text{If_pM_LECP} = -144 + 0.438986 \text{ If_pM_LT}$$

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	If_pM_LECP	Fit	Resid	Std Resid	
35	86647	87083	-436	-2.18	R
36	140227	139703	524	2.54	R
37	85790	86242	-451	-2.26	R
42	165569	164591	978	4.76	R
46	258626	258768	-143	-0.77	X

Al llevar a cero el factor de intersección:

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	38408208282	38408208282	*	*
If_pM_LT	1	38408208282	38408208282	*	*
Error	35	0	0		
Total	36	38408208282			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0	100.00%	100.00%	100.00%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-0.000000	0.000000	*	*	
If_pM_LT	0.4385	0.0000	*	*	1.00

Regression Equation

$$\text{If_pM_LECP} = -0.000000 + 0.4385 \text{ If_pM_LT}$$

22. ANEXO H

BEST SUBSET PARA EL INVENTARIO FINAL DELCRUDO CASTILLA EN VASCONIA ODC – COVEÑAS ODC

Response is If_pC_LECP

Vars	R-Sq	R-Sq (adj)	R-Sq (pred)	Mallows Cp	S	T	P	T	P	T	P	T	P	T	P	T	L
1	23.3	21.6	15.9	13456.6	60439						X						
1	14.1	12.2	6.8	15073.8	63957												X
2	51.0	48.8	44.8	8580.5	48846	X											X
2	49.3	47.0	41.5	8885.3	49702			X	X								
3	98.5	98.4	98.4	225.1	8648.6			X	X				X				
3	75.6	73.9	69.6	4251.2	34856	X									X	X	
4	98.6	98.4	98.2	214.4	8537.8	X		X	X	X			X				
4	98.6	98.4	98.5	215.6	8557.5		X	X	X	X			X				
5	98.7	98.5	98.1	197.0	8301.1	X		X	X	X	X		X	X			
5	98.7	98.5	98.3	198.8	8333.8	X	X	X	X	X	X		X				
6	98.8	98.6	98.2	181.6	8083.4	X	X	X	X	X	X	X	X				
6	98.8	98.6	98.1	185.1	8149.1	X		X	X	X	X	X	X	X			
7	99.8	99.7	99.1	7.9	3485.2	X		X	X	X	X	X	X	X			
7	98.8	98.6	98.1	178.6	8089.3	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
8	99.8	99.7	99.1	7.5	3419.9	X		X	X	X	X	X	X	X	X		
8	99.8	99.7	98.2	9.8	3526.2	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
9	99.8	99.7	98.2	9.2	3451.6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
9	99.8	99.7	98.2	9.3	3455.5	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	
10	99.8	99.7	98.2	11.0	3489.5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

Análisis de varianza

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	81556125385	81556125385	249.14	0.000
If_pC_LT	1	81556125385	81556125385	249.14	0.000
Error	24	7856502555	327354273		
Total	25	89412627940			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
18092.9	91.21%	90.85%	88.95%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	29932	25626	1.17	0.254	
If_pC_LT	0.9061	0.0574	15.78	0.000	1.00

Regression Equation

$$\text{If_pC_LECP} = 29932 + 0.9061 \text{ If_pC_LT}$$

23. ANEXO I

ANALISIS DE VARIANZA PARA EL INVENTARIO FINAL PROPIEDAD DE ECOPETROL DE CRUDO CASTILLA EN COVEÑAS ODC

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	1.78361E+13	1.78361E+13	141.78	0.000
BALANC	1	1.78361E+13	1.78361E+13	141.78	0.000
Error	39	4.90611E+12	1.25798E+11		
Total	40	2.27422E+13			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
354680	78.43%	77.87%	75.99%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-108855	73863	-1.47	0.149	
BALANC	0.7439	0.0625	11.91	0.000	1.00

Regression Equation

$$\text{If_p_CECP} = -108855 + 0.7439 \text{ BALANC}$$

24. ANEXO J

ANALISIS DE VARIANZA PARA EL INVENTARIO FINAL PROPIEDAD DE ECOPETROL DE CRUDO MEZCLA EN COVEÑAS ODC

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	4.25845E+13	4.25845E+13	138.82	0.000
BALANC	1	4.25845E+13	4.25845E+13	138.82	0.000
Error	43	1.31907E+13	3.06761E+11		
Total	44	5.57752E+13			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
553860	76.35%	75.80%	74.34%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	624054	104628	5.96	0.000	
BALANC	0.8886	0.0754	11.78	0.000	1.00

Regression Equation

If_pM_CECP = 624054 + 0.8886 BALANC