

**EL TRANSPORTE DE COMBUSTIBLES LÍQUIDOS POR LOS POLIDUCTOS DE
ECOPETROL Y SU OPTIMIZACIÓN EN EL MANEJO DE BACHES**

ELVIA JOHANNA RAMÍREZ MURILLO

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2006**

**EL TRANSPORTE DE COMBUSTIBLES LIQUÍDOS POR LOS POLIDUCTOS DE
ECOPETROL Y SU OPTIMIZACION EN EL MANEJO DE BACHES**

Trabajo de grado

ELVIA JOHANNA RAMIREZ MURILLO

**Director
MANUEL FREDY MOLINA CABALLERO**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
Facultad de Ciencia y Tecnología
Departamento de Química
Bogotá, Febrero 2006**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del director

Bogota, 7 de Febrero de 2006

*Especialmente a Dios y a mi familia quienes me
Brindaron su apoyo e incondicional ayuda en
Los momentos alegres y difíciles
Durante todo este proceso.
Gracias
Johanna Ramirez Murillo*

AGRADECIMIENTOS

Gracias a todas las personas que de alguna u otra forma contribuyeron a que esto fuese una realidad. A continuación daré las gracias a las personas que me ayudaron a alcanzar este objetivo:

Profesor Manuel Fredy Molina Caballero, director de este trabajo de Grado, con su acertada dirección, y aportes logre realizar este trabajo de manera eficiente, sin los cuales no hubiera sido posible.

El Ingeniero Juan Carlos Quintero que con sus enseñanzas y profesionalismo me ayudaron a caer en la cuenta que con esfuerzo y dedicación se logra lo que uno quiere.

El ingeniero Oscar Neira, por su compañerismo y sus valiosos aportes para este trabajo.

Profesora Yolanda Ladino Ospina, Jurado del presente trabajo, que con sus calidades académicas y profesionales me oriento y me dio hizo comprender que con persistencia y estudio se adquiere lo que uno se propone.

A la Universidad Pedagógica Nacional por la oportunidad que me dieron de poderme formar profesionalmente como docente.

A ECOPETROL S:A por brindarme los espacios propicios para la ejecución de este Proyecto de Grado

A mi Padre Benjamín Ramírez Moreno, por su aporte y asesoría como académico y pedagogo en docencia, que con amor y aprecio lo hizo en todas las necesidades de mi carrera, de igual manera a mi madre y a mi hermana por su apoyo incondicional.

A mi familia principal motivación para seguir adelante.

A mis amigos, compañeros y profesores por sus consejos y regaños oportunos que me ayudaron a crecer como persona y como profesional.

RESUMEN ANALÍTICO

TIPO DE DOCUMENTO: Trabajo de Grado

ACCESO AL DOCUMENTO: UNIVERSIDAD PEDEGÓGICA NACIONAL

TITULO DEL DOCUMENTO: El transporte de combustibles líquidos por los poliductos de ECOPETROL y su optimización en el manejo de baches.

AUTOR: RAMÍREZ MURILLO ELVIA JOHANNA

PUBLICACIÓN: Bogotá 2006,

UNIDAD PATROCIANTE: ECOPETROL S.A y Universidad Pedagógica Nacional.

PALABRAS CLAVES: Transporte de combustibles y contaminaciones, Colombia.

DESCRIPCIÓN: Durante el primero y segundo semestre del año 2005 en la Empresa Colombiana de Petróleos, ECOPETROL, se diseñó y se aplicó un estudio sobre el transporte de combustibles líquidos por los poliductos de ECOPETROL ya que se producen contaminaciones generadas por el efecto de mezcla que tienen los productos cuando son transportados por un mismo poliducto y al mismo tiempo mostrar el proceso de transporte de los combustibles líquidos.

FUENTES

Se investigó acerca de los estudios hechos por ECOPETROL, estudios hechos alrededor del mundo, Shashi Menon, Shaker, Marzoco, Jones, Stchly, Bettoli, Meyers, Mackay, Bednorz, Hara, Baxter, Smith.

CONTENIDOS

De la refinería salen los productos por una tubería con unas especificaciones de calidad aún mejores que las exigidas por la Reglamentación Colombiana, no obstante en el momento de transporte en algunas interfases se presenta contaminaciones generadas por el contacto entre productos que se envían por este mismo poliducto debido al efecto de mezcla de los productos que se transportan.

Para concluir este estudio se tendrá en cuenta la metodología de transporte de poliductos, características de los productos, los factores que afectan el bacheo de productos, determinación de tamaños óptimos, manejo de interfases y productos no conformes,

cálculos de propiedades fisicoquímicas de mezcla, analizar los estudios hechos en el ICP sobre la calidad de los productos blancos por poliductos. Esto se hizo con base en la información que ECOPEPETROL y el instituto Colombiano del Petróleo me suministro para corroborar con la Normas Técnicas Colombianas y de Certificación (Icontec) como Organismo Nacional de Normalización. Este estudio se puede aplicar a cualquier poliducto que tenga las mismas condiciones hidráulicas.

METODOLOGIA

La metodología a utilizar en esta monografía busca mostrar la problemática de la contaminación que sufren los combustibles Gasolina Motor y Diesel en el proceso de transporte por poliductos, para lo cual descrito el problema e interpretado el mismo se recogió toda la información al respecto, se hizo una revisión bibliográfica, se uso un modelo característico de un poliducto real y descripción de modo como es su operacionalidad y trabajo de transporte. Posteriormente se hizo al análisis minucioso y detallado de las interfases durante su trayecto de una estación a otra que se presentan en el transporte de dichos productos. A continuación se hicieron los estudios de caracterización fisicoquímicas de muestras de las posibles mezclas de productos Gasolina Motor-Virgin Oil-Diesel, con base en lo anterior se sacaron las conclusiones del trabajo de investigación; después se recomienda algunos aspectos a tener en cuenta para un mejor manejo y por último en base a un programa guía de actividades se realiza una cartilla didáctica pedagógica sobre el proceso de transporte por poliductos.

CONCLUSIONES

- El Virgin Oil que se utiliza como cuña separadora en el proceso de transporte afecta en mayor grado a la Gasolina Motor
- El punto de corte de la interfase en la gráfica de neutralización nos muestra que el mejor punto óptimo es 0.79 g/cc ya que los volúmenes que se necesitan para que los productos no se salgan de especificaciones son los menores volúmenes que se necesitan para arreglar el producto.
- El tamaño de la contaminación aumenta con la distancia recorrida.
- La cantidad que puede ser mezclada entre productos adyacentes determina el orden de los baches.

- El volumen de la contaminación incrementa con la distancia recorrida.
- La capacidad de resistir la contaminación con otros productos depende de las características de cada combustible.

FECHA ELABORACIÓN RESUMEN 8 FEBRERO DE 2006

CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCION	
1. PROBLEMA	1
1.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.3 JUSTIFICACIÓN	2
1.4 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS	8
1.4.1 Objetivo General	
1.4.2 Objetivos específicos	
2. ANTECEDENTES	
3. MARCO TEÓRICO	10
3.1 PRESENTACIÓN	11
3.1.1 Historia del transporte por oleoductos y poliductos	40
3.1.2 Oleoductos	40
3.1.3 Poliductos	43
3.1.4 Características de las tuberías	43
3.1.5 El flujo de fluidos por tuberías	44
3.1.6 Aspectos del diseño	44
3.2 TRANSPORTE EN OLEODUCTOS Y POLIDUCTOS	47
3.2.1 Manejo de red de poliductos	48
3.2.2 Programación del CCMO usando un software	49
3.2.3 Funciones del Operador del Centro de Control Maestro Operacional	52
3.3 METODOLOGÍA OPERACIONAL DE TRANSPORTE POR POLIDUCTOS	54
3.3.1 Sistema Propolid	56
3.3.2 Funciones básicas del propolid	59
3.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS GASOLINA MOTOR, DIESEL Y VIRGIN OIL.	59
3.4.1 Gasolina	60
3.4.2 Clasificación	60
3.4.3 Condiciones generales	60
3.4.4 Gasolina corriente	61
3.4.5 Modalidad de venta	61
3.4.6 Características de la Gasolina	62
3.4.7 Diesel corriente	64
3.4.8 Usos	64
3.4.9 Modalidad de venta	65
3.4.10 Características del Diesel	66

3.4.11	Virgin oil	66
3.4.12	Características Virgin oil	67
3.5	FACTORES QUE AFECTAN EL TAMAÑO DE LA CONTAMINACIÓN	67
3.5.1	Contaminación	68
3.5.2	La velocidad	68
3.5.3	Diferencia en densidad	68
3.5.4	Viscosidad	69
3.5.5	Parada de bombas y mal funcionamiento de las mismas	69
3.5.6	Paso a través de las instalaciones	69
3.5.7	Efecto del número de Reynolds, diámetro de la tubería, viscosidad y densidad	70
3.5.8	Zona critica de transición	71
3.6	PREDICCIÓN DEL TAMAÑO DE LA CONTAMINACIÓN	71
3.6.1	Tamaño de la interfase	72
3.6.2	Shaker, N.O & Mansour	72
3.6.3	Hara, Atsushi	73
3.6.4	Control del tamaño de la interfase	74
3.7	DETERMINACIÓN TAMAÑO OPTIMOS DE BACHES	75
3.8	MANEJO DE INTERFASES Y PRODUCTOS NO CONFORMES	76
3.8.1	Métodos de Reprocesamiento de interfases	77
3.8.2	Metodología de la inyección de relevos	77
3.9	CÁLCULOS DE PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE MEZCLA	77
3.9.1	Definición de mezcla	77
3.9.2	Concepto de mezclado lineal	78
3.9.3	Concepto de mezcla no lineal	80
3.9.4	Concepto de calidad- volumen o calidad- barril	81
3.9.5	Concepto de corrector	82
3.9.6	Gravedad ° API	82
3.9.7	Viscosidad	82
3.9.8	Punto de fluidez	82
3.9.9	Chispa o punto de inflamación	83
3.9.10	Color ASTM	83
3.10	PROPIEDADES DE LOS LÍQUIDOS	83
3.10.1	Volumen	83
3.10.2	Densidad	84

3.10.3	Gravedad específica	84
		Pág.
3.10.4	Viscosidad	85
3.10.5	Difusión	85
3.10.6	Comprensión y expansión	86
3.10.7	Tensión superficial	86
4.	METODOLOGIA	86
4.1	DESCRIPCIÓN DEL MUESTREO	88
4.1.1	Delimitación del estudio	90
4.1.2	Diseño de los instrumentos para la recolección de datos	90
5.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	91
5.1	Resultados y análisis de las interfases a lo largo del poliducto	91
5.2	Resultados y análisis de la caracterización de mezclas	91
5.3	Cálculos para el corte de la interfase	
6.	ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	103
7.	CONCLUSIONES	109
8.	SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES	111
9.	ANEXOS	113
		116

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Especificaciones de bombeo de materiales por la tubería	25
Tabla 2.	Volúmenes contaminados de líquidos bombeados	26
Tabla 5.	Contiene La secuencia de productos a la cual se le hizo un muestreo a lo largo de los dos sistemas Sebastopol-Medellín y Medellín – Cartago –Yumbo	33
Tabla 6.	Requisitos de las Gasolinas para motor de combustión interna	63
Tabla 7.	Requisitos del ACPM	66
Tabla 8.	Características fisicoquímicas del Virgin Oil.	67
Tabla 9.	Especificaciones mínimas o máximas de los productos Gasolina Motor y Diesel.	102
Tabla 10.	Contenido máximo de contaminantes en la Gasolina Motor y el Diesel	107

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1.	Interfase 57-58-59 (GM-VO-DI) Sebastopol	92
Grafica 2.	Interfase 57-58-59(GM-VO-DI) Medellín	93
Grafica 3.	Interfase 57-58-59 (GM-VO-DI) Cartago	95
Gráfica 4.	Interfase 57-58-59 (GM-VO-DI) Yumbo	97
Gráfica 5.	Composición de la interfase DI-VO-GM en yumbo	98
Grafica 6	Variación del tamaño de la interfase en el trayecto Sebastopol – Yumbo	100
Gráfica 7.	Volúmenes necesarios para la neutralización de los productos que conforman la interfase	101
Gráfica 8.	Criterios de calidad para la gasolina motor – Índice antidetonante	103
Gráfica 9.	Criterios de calidad para la Gasolina Motor – PFE	104
Gráfica 10.	Criterios de calidad para el diesel Punto de Chispa	105
Gráfica 11.	Criterios de calidad para el Diesel Punto de Chispa	106

LISTA DE DIAGRAMAS

		pág
Diagrama 1.	Esquema actual del transporte de combustibles líquidos por los poliductos	
Diagrama 2.	Estudio cualitativo sobre la problemática actual del sistema de transporte en los poliductos de ECOPETROL	
Diagrama 3.	Funciones básicas de ECOPETROL.	
Diagrama 4.	A. flujo laminar B. flujo turbulento	
Diagrama 7.	Interfase entre SINOPER y PROPOLID	
Diagrama 8.	Representación de la metodología del trabajo sobre la problemática alrededor del transporte por poliductos.	
Diagrama 9.	Ciclo de bombeo característico del transporte Sebastopol – Yumbo.	

LISTA DE GRÁFICOS

		Pág
Grafico 1.	Equipo usado para detectar interfaces entre productos adyacentes	
Grafico 2.	Sistema polito para el estudio de la difusión.	
Grafico 3	Demostración de un fluido en una tubería	

ANEXOS

Anexo 1.	Mapa de oleoductos y poliductos de Colombia	129
Anexo 2.	Capacidad y rutas de poliductos en Colombia	130

1. PROBLEMA

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El paso inmediato al descubrimiento y explotación de un yacimiento es el traslado del petróleo hacia los centros de refinación o a los puertos de embarque con destino a la exportación.

Para ello se construye un oleoducto, trabajo que consiste en unir tubos de acero a lo largo de un trayecto determinado, desde el campo de producción hasta el punto de refinación y/o de embarque.

La capacidad de transporte de los oleoductos varía y depende del tamaño de la tubería. En Colombia hay oleoductos desde 6 hasta 36 pulgadas de diámetro.

Estas líneas de acero pueden ir sobre la superficie o bajo tierra y atraviesan la más variada topografía. En Colombia generalmente van enterradas a 1.50/2.0 metros de profundidad.

En la parte inicial del oleoducto hay una “estación de bombeo” que impulsa el petróleo y, dependiendo de la topografía por donde este pase, se colocan estratégicamente otras estaciones para que le permitan superar sitios de gran altura, como las cordilleras de Colombia.

Los oleoductos disponen también de válvulas que permiten controlar el paso del petróleo y atender oportunamente situaciones de emergencia, como las que periódicamente ocurren en Colombia por efecto de las voladuras.

Hay ductos similares que cumplen funciones específicas: poliductos para gasolinas, ACPM y otros derivados del petróleo. Estos salen desde las refinerías hacia los poliductos. En Colombia hay dos grandes refinerías: el complejo industrial de Barrancabermeja y la refinería de Cartagena.

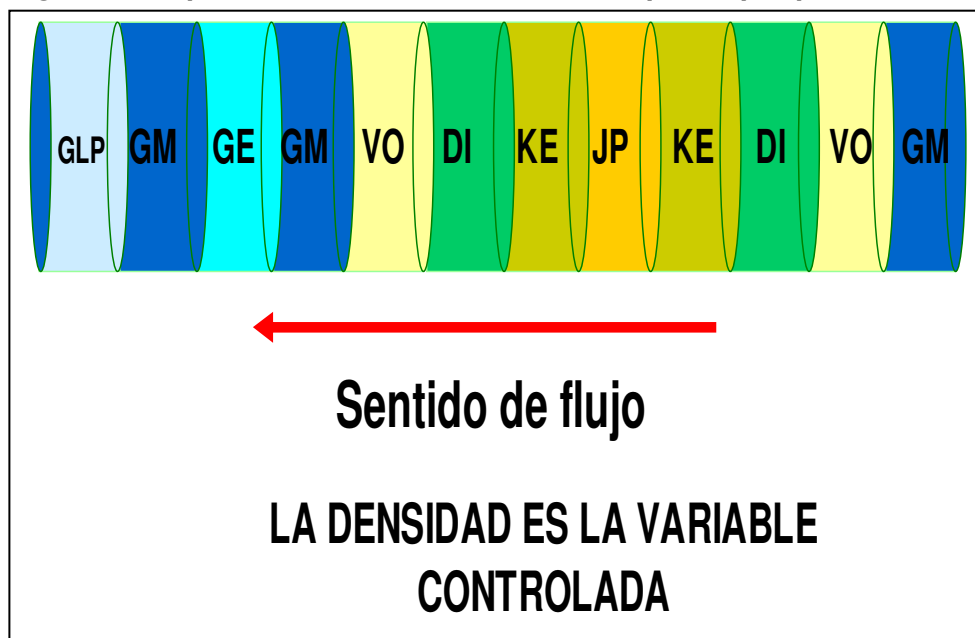
Para provisionar 2.500 estaciones de servicio en Colombia se cuentan con suficientes volúmenes de gasolinas al servicio del parque automotor y de aviación en Colombia, se requiere algo más que la inmensa red de poliductos diseñada hace más de 30 años.

Por un lado, se requieren decenas de equipos mecánicos e hidráulicos, tanques de almacenamiento, sistemas de control y presión e innumerables válvulas, bombas y motores con la potencia suficiente para empujar 165 mil barriles a lo largo de 4.000 kilómetros de tubería

Existe también un salón desde donde se puede controlar de manera automática y remota toda esa compleja maraña de tubos, se trata del Centro de Control Maestro, único en Colombia, donde se monitorea el funcionamiento de casi toda la parafernalia de equipos y tuberías que cubre el país para brindar la máxima confiabilidad de combustibles a los clientes y mayoristas.

Para transportar estos productos se envían en forma de baches, que son volúmenes sucesivos de productos, con el esquema actual que se presenta en la figura 1, de transporte de productos por poliducto: GLP -gasolina motor -gasolina Extra - Gasolina Motor-Virgin Oil – Diesel- Kerosene –Jet A1-Kerosene-Diesel Virgin Oil–

Figura 1. Esquema actual de combustibles líquidos por poliductos



De la refinería salen los productos por una tubería con unas especificaciones de calidad aún mejores que las exigidas por la Reglamentación Colombiana, no obstante en el momento de transporte en algunas interfases se presenta contaminaciones generadas por el contacto entre productos que se envían por este mismo poliducto debido al efecto de mezcla de los productos que se transportan.

Varios factores afectan el tamaño de la contaminación, tales como la velocidad superficial de flujo, diferencia de densidad y viscosidad de los productos, períodos de paradas, mal funcionamiento de las bombas, paso a través de las instalaciones, capacidad de almacenamiento, oferta y demanda de cada producto al final de la recepción.

A los clientes mayoristas se les debe entregar el producto con unas especificaciones de calidad mínimas o máximas de eficiencia para su buen funcionamiento.

Se ha encontrado en las terminales de recepción problemas en las propiedades físicas de los productos Gasolina Motor y Diesel debido a la mezcla entre productos, como el Punto de Ebullición Final, Gravedad Específica, Presión de vapor, Octanaje, en la Gasolina Motor y Punto de Chispa, Gravedad, Número de cetano en el Diesel.

El propósito de este estudio **cuantitativo** a partir de cierta información suministrada por ECOPEPETROL y el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) es mostrar los avances que se han hecho en esta investigación y sugerir el momento de separación de la Gasolina Motor, Virgin Oil, Diesel cuando son transportados por el poliducto ya que la Gasolina Motor y el Diesel son los combustibles más afectados en el proceso de transporte. Para que cuando sean entregados a los distribuidores Mayoristas se encuentren dentro de las especificaciones exigidas por la Reglamentación Colombiana y de esta manera evitar perdidas por baja calidad y altos costos de producción de los productos que se produzcan fuera de especificaciones de ECOPEPETROL.

El proceso de separación de los derivados del petróleo cuando viajan por la tubería se ejecuta de la siguiente manera: en determinados puntos del poliducto son ubicados unos densímetros que indican la densidad de los productos enviados; éstos emiten una señal al Centro de Control Maestro Operacional (CCMO), registrando la densidad por medio del

computador, la señal es vigilada y controlada por el operador que se encuentra en el Centro de Control Maestro Operacional.

El producto se va acercando a la estación donde es recibido, lo que hace el Jefe de Turno del Centro de Control Maestro Operacional es indicarle al operador de cada estación de recibo por vía telefónica o por radioteléfono que el producto está a punto de entrar en el tanque correspondiente y también le informa en que momento debe abrir o cerrar automáticamente la válvula para que sea introducido el producto. Entre abrir o cerrar la válvula en forma automática se demora tres minutos, más o menos; el operador de cada estación de recibo calcula en que instante debe cerrar la válvula para que el producto que viene a continuación no continúe entrando al tanque anterior y de esta manera evitar que sea contaminado y así sucesivamente con los otros productos.

Posteriormente, se toman las muestras de los productos de los tanques se realiza un análisis de propiedades fisicoquímicas en los laboratorios de control de calidad; si la muestra arroja resultados fuera de las especificaciones se debe mejorar la calidad del producto, para lo cual se envía de nuevo a la refinería y se mezcla con el crudo.

Para concluir este estudio se tendrá en cuenta la metodología de transporte de poliductos, características de los productos, los factores que afectan el bacheo de productos, determinación de tamaños óptimos, manejo de interfases y productos no conformes, cálculos de propiedades fisicoquímicas de mezcla, analizar los estudios hechos en el ICP sobre la calidad de los productos blancos por poliductos. Esto se hizo con base en la información suministrada por ECOPEPETROL y el instituto Colombiano del Petróleo para comparar con la Normas Técnicas Colombianas y de Certificación (ICONTEC) como organismo nacional de normalización. Este estudio se puede aplicar a cualquier poliducto que tenga las mismas condiciones hidráulicas.

Partiendo de anteriores planteamientos, todo parece indicar la metodología se presenta como una alternativa viable para este objetivo, si se tiene en cuenta que la mayoría de los casos reportados con productos fuera de especificación se debe a que no han encontrado el momento de separación de estos tres productos Gasolina Motor-Virgin Oil-Diesel

impidiendo de esta manera entregar productos de buena calidad y aceptación para los clientes.

1.2 delimitación del problema

El problema central de este trabajo de investigación es:

Contaminación de los combustibles Gasolina Motor y Diesel entre y con el producto Virgin Oil usado como separador de la densidad de los combustibles livianos Gasolina Motor y medios Diesel en el proceso de transporte en los poliductos de ECOPETROL.

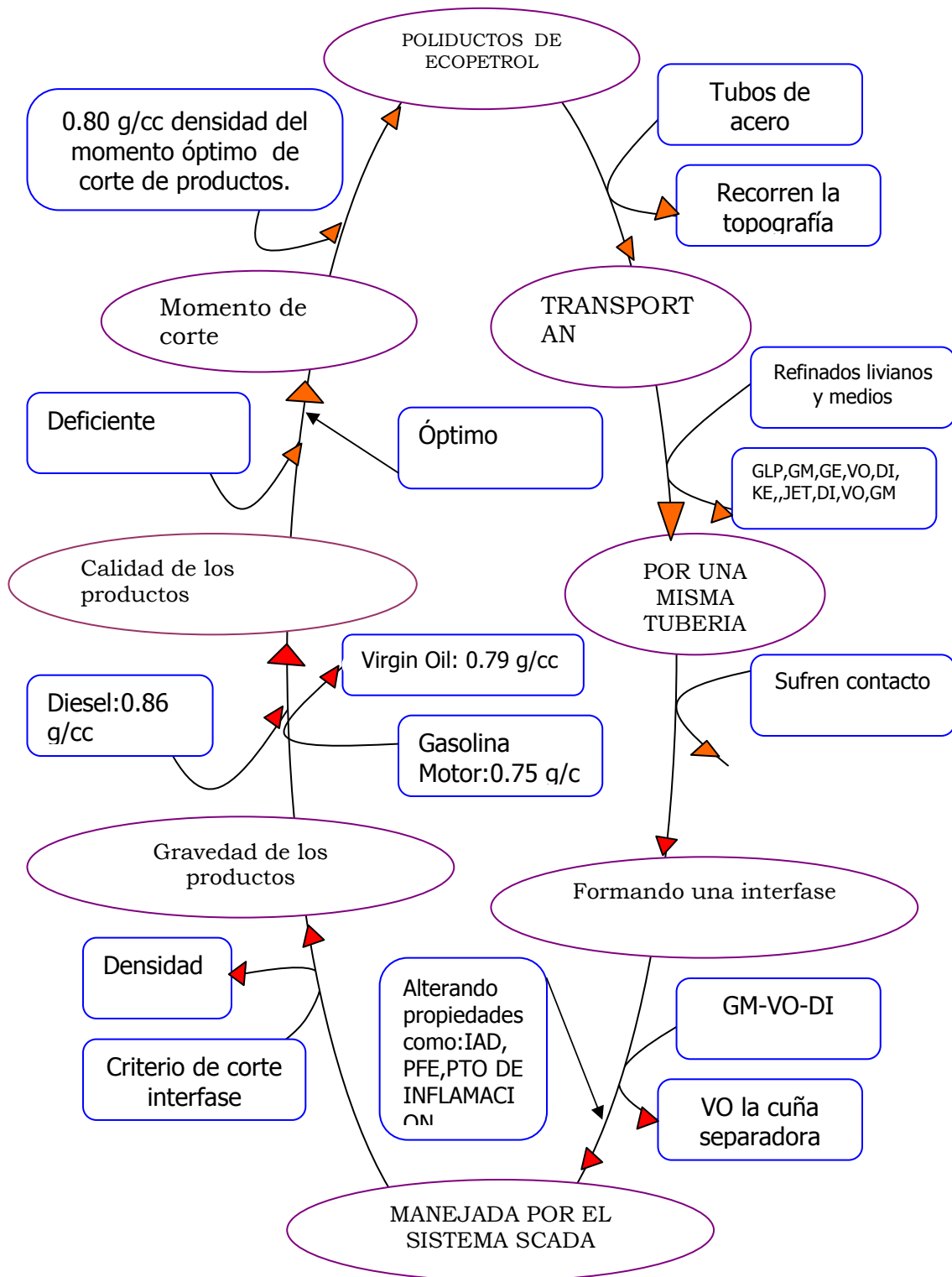
Teniendo en cuenta que la densidad es la propiedad fisicoquímica que permite el proceso de separación por densidad de los combustibles Gasolina Motor y Diesel es de vital importancia partir de las investigaciones hechas por ECOPETROL acerca de la contaminación de los productos en el proceso de transporte, por lo que esta investigación pretende identificar es ¿cómo encontrar el momento de separación de los productos Gasolina Motor-Virgin Oil –Diesel cuando viajan por un poliducto , sabiendo que la densidad es la variable controladora actual del sistema de poliductos, para evitar productos fuera de especificaciones ?

1.3. JUSTIFICACION

El problema de la contaminación de los combustibles Gasolina Motor y Diesel en el proceso actual de transporte por los poliductos de ECOPEPETROL usando como separador de densidades de combustibles el Virgin Oil, dejan en los combustibles contaminaciones considerables ya que en proporciones considerables de la mezcla de estos tres productos afectan las propiedades punto final de ebullición, gravedad específica, presión de vapor, octanaje, en la Gasolina Motor y Punto de Chispa, Gravedad específica, número de cetano en el Diesel exigidas por las Normas Técnicas Colombianas vs los consumidores; y por otro lado se aumentan los costos de producción de los combustibles ya que devolver el producto a la refinería para ser de nuevo reprocesado aumenta los costos de producción representados en mano de obra y tiempo.

En razón a lo anterior esta investigación en forma **cualitativa** busca encontrar el momento de separación de los productos Gasolina Motor, Virgin Oil, Diesel dado que la densidad es la variable que determina en que momento se debe hacer el corte de los combustibles en el paso de cada uno de ellos y de esta manera recomendar cual es el momento más adecuado en la densidad registrada del producto para obtener un combustible de mejor calidad.

Diagrama 3. Estudio cualitativo sobre la problemática actual del sistema de transporte en los poliductos de ECOPETROL



1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Realizar alrededor de la problemática actual de separación de combustibles líquidos Gasolina Motor-Virgin Oil-Diesel una monografía con resultados cualitativos sobre el tema del transporte de combustibles en los poliductos de ECOPETROL.

1.4.2 Objetivos específicos

- Identificar la problemática de los poliductos de ECOPETROL en el proceso de transporte y las causas que generan la mezcla de productos mediante la investigación.
- Realizar un análisis de los resultados obtenidos en el laboratorio en forma cualitativa sobre las propiedades más afectadas de la Gasolina Motor y Diesel en las investigaciones hechas por ECOPETROL y el ICP.
- Recomendar el momento de separación de Gasolina Motor, Virgin Oil, Diesel teniendo en cuenta los parámetros exigidos por las Normas Técnicas Colombianas (ICONTEC) y de esta manera mejorar la calidad de los productos.

2. ANTECEDENTES

Jeffares (1973) hace referencia a la implementación y forma de operación de dos sistemas de detección de interfases.

Un método fluorimétrico, que consiste en la inyección de un marcador en el producto que se transporta, al cual se le realiza un seguimiento a lo largo del poliducto, empleando para esto un sistema de medición de la fluorescencia del producto que pasa por un punto y reporta el resultado en una gráfica donde se puede estimar el tiempo de llegada del cambio de producto.

Otro mecanismo es la medición de densidad nuclear, el mecanismo no entra en contacto con el producto, sino que se instala por fuera del tubo. Consiste en una radiación gamma que se realiza a la línea, parte de la radiación es absorbida dependiendo de la densidad del producto que pasa. La radiación que pasa es medida, genera una señal eléctrica que es registrada en una gráfica.

E.M Smith (1975) describe en forma general los aspectos que se tuvieron en cuenta para el desarrollo de un programa empleado para el manejo eficiente de poliductos de gran longitud y que opera bajo condiciones de flujo turbulento.

El programa requiere datos específicos sobre el sistema de transporte: número de estaciones, su localización y altura, características de la tubería, presiones límites de operación de las bomba, número de bombas y sus especificaciones, fluidos que se transportan y su caracterización.

El programa realiza la rutina de calculo utilizando diferentes condiciones de operación y determina el costo de energía que implica determinados condiciones de trabajo.

Atsushi Hara (1975), presenta las ecuaciones para predecir el amaño de la contaminación entre dos productos, teniendo en cuenta que un flujo turbulento se ignora el efecto de la difusión por turbulencia y de la difusión molecular, y que el mezclado se debe principalmente al efecto de difusión por convección; por lo que se fundamenta en el teorema de Taylor.

J. Crosby, W. Baxter (1978), se presenta un algoritmo empleado básicamente para determinar los balances del movimiento de cada bache de producto en una línea con varios puntos terminales y un solo punto de despacho. La información que proporciona el algoritmo es el llenado de la línea en un momento dado y el tiempo de llegada de un bache a un Terminal.

Bednorz Michael (1986), se hace referencia a la implementación de un sistema de seguimiento en un tiempo real de los baches que se transportan por un poliducto; una herramienta que se basa en la simulación en computadores para proveer información sobre los baches de productos que se encuentran en la línea en un momento determinado, localización de los baches y el momento de llegada a los diferentes terminales.

Mediante un modelo pueden simular, condiciones de la línea en el momento de entrega de productos, mezclado que se produce en los loops, mezclado de productos por inyección de productos en puntos intermedios del trayecto, localización, volumen e identificación de un bache en la línea tiempo de llegada de una bache a un determinado punto en la línea y cortes que se deben realizar en los productos para la entrega a tanques.

J. Grifoll (1987), una correlación propuesta por van Driest permite calcular la longitud de la contaminación (en dirección radial) pero no tiene en cuenta los efectos cerca a la pared del tubo. En el artículo se realiza una modificación de las ecuaciones propuestas por van Driest para determinar el coeficiente de transferencia de masa teniendo en cuenta un alto régimen de flujo en las cercanías de la pared de flujo.

Mackay (1988), hace referencia al diseño e implementación de un modelo empleado por la BP para el manejo de Forties Pipeline System (U.K). el sistema en mención consiste) básicamente en una plataforma de recolección de crudos provenientes de diferentes formas y de diferente calidad. El programa realiza un cálculo aproximado de la composición de la mezcla resultante de la unión de dos productos en estos puntos de inyección.

Kurt Meyers (1990), se refiere al desarrollo del Sistema ATLAS (Automated Transportation Logistics Activity Sistem) que soporta la operación del transporte por poliductos: inventario, tiquetes de entrega de productos, seguimiento de los baches de producto, predicción, control de calidad, control de los clientes y configuración de línea).

Bettoli Roberto y Iacovoni Angela (1996), instalación del sistema de Supervisory Control and data Acquisition (scada) para el poliducto Kandla –Bathinda en la India. La filosofía de operación consiste básicamente en optimizar la eficiencia del transporte, bombeando la máxima capacidad permisible por las condiciones de presión y minimizando la formación de interfases.

Se presenta el tipo de información que provee el sistema relacionada con la programación y secuencia de bombeo, detección y llegada de baches, entrega y cambio de baches; las facilidades de la comunicación entre el Centro de Control Maestro y cada una de las terminales, la posibilidad del manejo del poliducto en forma remota en caso de fallas de comunicación entre el CCM y las terminales remotas.

Adicionalmente el sistema proporciona las herramientas para realizar un mejor tratamiento de los productos de los productos de interfase, ya que se carece de tanques para el manejo de este producto, de manera que se manipula mediante una secuencia de cambio de válvulas, basada en que los productos de la interfase deben ser adicionados a los productos adyacentes y que la capacidad de dilución de un producto depende de la calidad de los productos que se maneja y determina la secuencia del bombeo y los tamaños mínimos de los baches.

Stuchly Janusz (1997), se hace referencia al desarrollo de un modelo específico para el manejo de la WEST KENIA PIPE LINE, cuyo objetivo principal es establecer la capacidad máxima del poliducto en función del tiempo, con base en un ciclo de productos determinado.

Básicamente, el modelo desarrolla una serie de cálculos consecutivos en el tiempo, que permite predecir la ubicación de un bache de producto en el poliducto y que desarrolla los cálculos hidráulicos en un instante, para determinar las condiciones de flujo máximas de acuerdo con las restricciones de presión establecidas para el sistema.

Los datos de alimentación al modelo son:

- Descripción física del sistema.
- Máximas presiones permisibles en la línea.
- Mínimas presiones permisibles.
- Propiedades de los productos.
- Tamaño y secuencia de los baches.

Los datos de salida del modelo son:

- Perfil gradiente hidráulico a lo largo de la línea, obrepuesto on los gradientes hidráulicos máximos y mínimos permisibles.
- Perfil de presiones a lo largo de la línea, sobrepuesto con las condiciones de presión máximas y mínimas permisibles.
- Perfil de posición de los productos a lo largo de la línea.
- El balance de productos bombeando y entregado en cada Terminal.

Se presenta básicamente la filosofía de funcionamiento del sistema WKPL para el modelamiento de un poliducto en África, los beneficios que puede presentar durante la operación de un sistema, el tipo de información que puede ser obtenida y el alto grado de correlación que se presenta entre las predicciones del modelo WKPL y el sistema real de operación.

Jones Daniel(1998) , se hace referencia al uso del sistema CROSSCHECK, un sistema diseñado para la medición de la resistividad eléctrica de materiales de baja conductividad y utilizado exitosamente en la detección de interfases entre diferentes tipos de productos.

Dentro de los métodos existentes para la detección de interfases se tienen:

- Medidor de densidad nuclear, el cual emplea una fuente de rayos gamma y un detector que se instala en el lado opuesto de la fuente del rayo. Este método no implica el contacto entre el equipo y el producto transportado, pero requiere el uso de material radiactivo.
- Otro método determina el cambio en la velocidad del sonido del fluido en la medida que cambia la densidad la densidad. La velocidad del sonido cambia directamente con la variación de la densidad.
- Una corriente de fluido que pasa por el tubo se pasa a través de un tubo que vibra, la frecuencia de vibración del tubo varía inversamente con la densidad del fluido que pasa por el tubo.

- Existe una cuarta forma que consiste en la inyección de un compuesto con base en flúor para marcar el producto de la interfase y posteriormente la instalación de un detector del marcador.

El sistema CROSS CHECK, recientemente patentado para medir resistividades de baja conductividad de sustancias, con demostraciones para distinguir varios productos del petróleo. Con una medida de capacidad de 10^3 a 10^{13} ohm mas de 7 rangos y tres resoluciones digitales, este manual sistema puede medir largos y pequeños cambios.

Grafico 1. Equipo usado para detectar interfaces entre productos adyacentes

Experimento 1 .

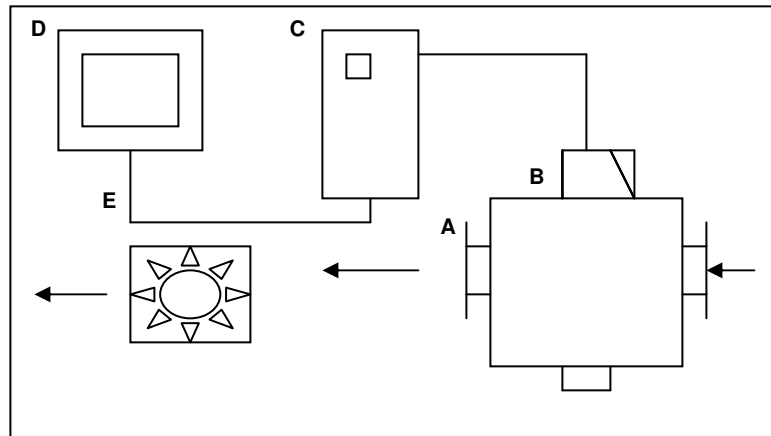


Grafico 1.l equipo usado para detectar interfaces entre productos adyacentes de fluidos refinados en una tubería: (A) sonda sensible-muestra, (B) detector tubo de acero (C) medidor CrossCheck (D) computador para plano de exhibición y datos, (E) bomba para atraer fracciones a través del cruce de acero y regresar los líquidos a la tubería.

Shaker (199), hace regencia a 5 pruebas transportando crudo- GLP que se realizan para constatar las ecuaciones disponibles para la predicción de los tamaños de contaminación entre dos productos adyacentes.

Se determina el volumen de las interfases y no se encuentra una diferencia considerable entre los valores medidos y los valores calculados. Por tanto se obtiene correlación entre la densidad y el tiempo que puede ser representada por un modelo exponencial, posteriormente se obtienen una segunda correlación composición – tiempo que permite conocer la composición de la interfase, con base exclusivamente en los valores de densidad de cada uno de los productos puros.

Las ecuaciones relacionadas en el artículo para determinar tamaños de contaminantes dependen básicamente del número de Reynolds, longitud recorrida y diámetro de la tubería.

Bastos Felipe (2002), se presenta un modelo para la predicción del volumen de mezclado por transporte entre dos productos, que tiene en cuenta la variación de la velocidad de flujo con el tiempo y de un coeficiente de dispersión que depende de la concentración de los componentes de la mezcla.

El modelo propuesto se resuelve mediante el método predictor-corrector y se obtiene una alta correlación entre los datos experimentales y los calculados con el modelo.

2.1 DESCRIPCION DEL ESTUDIO

Entre los días 23 de abril y 10 de mayo de 2001, se realizó el seguimiento y muestreo a un ciclo característico de transporte de productos a través del poliducto que parte de la estación Sebastopol, el cual esta compuesto por los sistemas Sebastopol-Medellin y Medellín- Cartago-Yumbo. La línea cuenta con una longitud total de 557.116 Km y la máxima altitud que sobrepasa es el Alto de la Romelia con 2380 metros sobre el nivel del mar en el Kilómetro 177.71 de su recorrido

2.1.1 Caracterización fisicoquímica de muestras

La caracterización de las muestras fisicoquímicas de productos se realizó por métodos estándar de análisis. El octanaje de la gasolina regular y extra se determinó por espectrofotometría IR haciendo confirmaciones puntuales por el método estándar ASTM:

Las interfases entre Gasolina y Diesel (interfase sencilla y doble) fueron caracterizadas mediante una combinación de la destilación simulada que permite determinar el rendimiento a 220°C y el análisis composicional detallado (ANALISIS PIANO) de la fracción hasta 220°C, con lo cual se puede determinar el contenido de Gasolina y Virgin Oil en una mezcla ternaria o cuaternaria (Gasolina Motor-Virgin oil-Diesel o Gasolina Motor – Virgin Oil-Keroseno-Diesel).

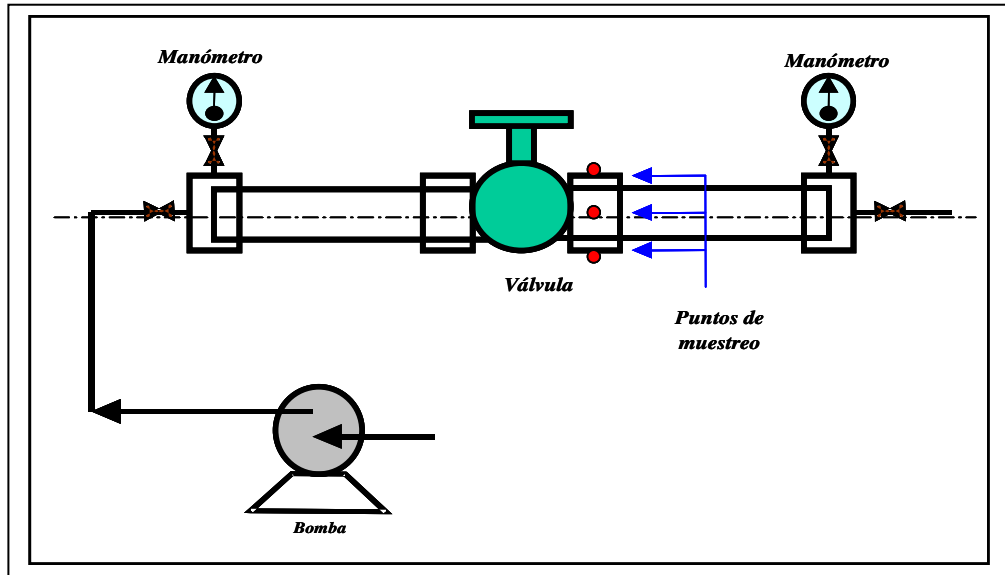
Para evaluar el efecto de mezcla que se presenta en las condiciones de transporte por el poliducto se realizó un análisis de variación de propiedades a lo largo de la línea.

2.1.2 Ensayos de difusión en condiciones estáticas

En el Laboratorio y las Plantas Piloto de la Coordinación de Fenómenos Interfaciales y Reología –FIR del Instituto Colombiano del Petróleo, se realizaron ensayos para estudiar la difusión molecular entre los refinados que se transportan por el poliducto. el diseño experimental se realizó teniendo en cuenta dos variables: ángulo de inclinación y presión del sistema.

Las pruebas fueron realizadas en un equipo diseñado y construido especialmente para el estudio que se presenta en el gráfico 3 el cual esta dotado de una bomba manual para operar a varias presiones. Se hicieron pruebas a tres ángulos de inclinación: 0, 30 y 60 grados, lo cual se obtenía levantando uno de los extremos de la tubería, mientras el otro extremo permanecía inmóvil. Las presiones fueron 20,100 y 900 psi

Gráfico 2. Sistema polito para el estudio de la difusión.



2.1.3 Caracterización de mezclas

Los resultados del estudio muestran el efecto que sobre la densidad y el índice antidetonante, tiene la adición de Virgin Oil a la Gasolina.

A partir del contenido de benceno o de olefinas en mezclas de gasolina Motor –Virgin Oil –Keroseno –Diesel, es posible determinar el contenido de gasolina en estas. el Virgin Oil reduce el punto de inflamación del Diesel y para que el producto cumpla con las especificaciones dadas en la Resolución

0068 de Ministerio de Medio Ambiente, la concentración máxima aceptada de Virgin Oil es de 11.3% V.

El kerosene puede adicionarse al Diesel en una alta proporción sin que el punto inflamación se reduzca por debajo del valor estipulado en la Resolución 0068 del Ministerio del Medio Ambiente.

2.1.4 Diesel

Los tanques localizados en la Terminal de Yumbo son los que presentan el menor punto de inflamación a lo largo del poliducto.

Al final de la línea de Yumbo se presentó una problemática que hizo que el producto almacenado en el tanque 136 de la Compañía Móvil estuviera por fuera de especificación de este parámetro lo cual afectó el promedio de la calidad del tender 59.

Para evaluar en detalle la situación presentada en este caso se analizaron según protocolo desarrollado para interfases, las muestras de remanente del tanque (Tender 54) y del producto en la superficie del tanque luego de su llenado con el tender 59. los datos indican que el remanente del tanque estaba contaminado con 1.3% en volumen de Gasolina y 7.8 de % V de Virgin oil que pudo provenir de la parte de la cuña mixta(tender 55/56) que se inyectó al tanque al reiniciarse el bombeo luego de la parada en Yumbo.

2.1.5 Gasolina Motor

Los datos demuestran que por el manejo de las interfases (Diesel-Virgin Oil-Gasolina Motor) en Yumbo, el Punto Final de Ebullición de la Gasolina Motor en los tanques de esta planta está por fuera de la especificación dada por la resolución 0068, lo cual indica que esta es una variable de alta criticidad por lo que debe ejercerse un estricto control de calidad en el producto de la Refinería y se deberá optimizar el manejo de interfases.

El análisis estadístico indica que esta variable se encuentra fuera de control y que el Índice Antidetonante de la Gasolina Motor en promedio estuvo por debajo del valor de la especificación dada en la resolución 0068. el análisis demuestra que el incumplimiento de la especificación de índice Antidetonante no se debió a contaminación del producto durante el transporte sino a la calidad del producto que salió de Galán y de Sebastopol en la fecha de la realización de este estudio.

Los datos de visto bueno de la Refinería indican que el índice antidetonante del producto de los días 21 y 22 de Abril eran 81.2 y 81.5 respectivamente. De acuerdo con estudios de repetibilidad y reproducibilidad internos en ECOPETROL la Refinería GCB está reportando datos con una diferencia cercana a un octano en RON por encima de los datos

de ICP lo cual concuerda con los datos reportados por ellos y explica la diferencia observada.

2.1.6 Estudios de difusividad en condiciones estáticas

Los constituyentes de cualquiera de los cuatro pares de productos que fueron objeto de estudio, DI-KE, VO-DI, VO-GM Y VO-KE, se diferencian entre sí por su valor característico de densidad. Cuando el tubo estaba en la posición horizontal y sometido a cualquier de las presiones estudiadas se observa que el producto pesado se desplazaba por debajo del liviano y de manera simultánea el menos denso se movía sobre el cuerpo más denso, ocurriendo una estratificación. Este efecto se observa claramente en las fotografías presentadas en los anexo 1 donde se presentan los resultados obtenidos a presiones de 20 y 100 psi en tubería transparente para el sistema binario Kerosene-Diesel

Cuando el tubo se inclina de una forma lenta hasta alcanzar uno cualquiera de los ángulos de estudio 30° o 60 la fuerza de gravedad actúa de nuevo y hace que el producto pesado pase a ocupar la parte inferior del sistema y el liviano pase a ocupar la parte el sector superior. En cada uno de los dos ángulos se observa el fenómeno de estratificación.

Cuando el tubo con la llave central apagada, se inclina a diferentes ángulos y se tiene el producto pesado a una cota más alta con respecto al liviano, al abrir la llave ya no se presenta la estratificación de ellos como si ocurre en todos los casos anteriores. en este experimento se observa como un fluido se introduce dentro del otro, el pesado desciende a través del cuerpo del liviano y este último hace lo mismo en sentido ascendente. Si el sistema se lleva de nuevo a la posición horizontal o a una de las inclinaciones positivas y de una forma lenta no se consigue la condición inicial de tener el pesado abajo y el liviano arriba lo que demuestra que el mezclado entre ellos es irreversible. La densidad de la interfase es intermedia entre los valores de densidad de los productos puros.

2.1.7 Efecto de la inclinación en la difusión

En este diseño experimental se pudo corroborar la información que se reporta en todos los estudios que se han realizado a escala mundial, en, los cuales se consigna que la difusión molecular es tan baja que se requieren tiempos de contacto muy grandes, en muchas ocasiones se habla de meses e inclusive de años para lograr una completa difusión molecular.

Se tomaron muestras, una a través de la mitad superior del tubo ocupada por producto liviano y otra a través de la mitad inferior por producto pesado observa que la difusión es muy baja aún a periodos de tiempos tan largos como 17 horas y que realmente el ángulo no tiene influencia sobre la mezcla de productos siempre y cuando el liviano este arriba y el pesado abajo.

Todo lo opuesto sucede cuando se tiene el caso de un producto pesado a una altura mayor que un producto liviano, entonces el proceso de mezcla ocurre de forma casi inmediata y además, es un proceso irreversible.

2.1.8 efecto de la presión en la difusión

En cualquier sistema binario líquido-líquido el efecto de la presión es el de reducir la velocidad de difusión. Se observa que la velocidad de difusión es baja y ello es una razón muy válida para poder despreocupar su efecto en el tamaño de las contaminaciones que se tienen en los poliductos del sistema Sebastopol –Medellin y Medellín –Cartago – Yumbo.

Se puede observar que la velocidad de difusión se relaciona de una manera inversa con la presión del sistema se incrementa se tiene como resultado una disminución en la velocidad de difusión a una presión de 20 psi es mayor que si se tiene el sistema a una presión de trabajo de 100 psi

2.1.9 Descripción del tamaño de las cuñas

El análisis de los datos obtenidos por el sistema SCADA permite observar un comportamiento que se repite para todas las cuñas tanto sencillas como doble sin importar si se tiene el producto liviano adelante o atrás. El volumen de la interfase de

separación crece aproximadamente en un 60 por ciento, aumenta desde un volumen inicial aproximado de 500 Barriles en Sebastopol y alcanza los 800 barriles, durante el transporte hasta Medellín.

De aquí en adelante su volumen presenta poco crecimiento, más del 50 por ciento de la contaminación de la contaminación se desarrolla en el primer 25 por ciento del poliducto, Medellín se encuentra a 163 Kilómetros sobre un total de 557 kilómetros. Las condiciones físicas y operacionales de la línea permite afirmar que hay varios aspectos que pueden influir en este incremento de la contaminación tales como la inclinación del terreno, variaciones en el caudal, cambios de diámetro en la línea y paradas del bombeo.

2.1.10 Balance volumétrico

El balance volumétrico que se realizó, con base en los datos que suministraron los departamentos de operaciones de cada una de las estaciones, permite sacar a flote el hecho de que las contaminaciones o cuñas de separación en lugar de aumentar por el contrario permanecen constantes y en algunos casos disminuyen. Este hecho se presenta como consecuencia del criterio de corte que se usa en primera instancia y que es de acuerdo con el tamaño de tender cuando debería ser la densidad⁵

3. MARCO TEÓRICO

3.1 PRESENTACIÓN

El petróleo se dice que es el energético más importante en la historia de la humanidad.

Dada la importancia, desde épocas milenarias, de la sustancia química del petróleo, como recurso natural no renovable, que genera el mayor porcentaje total de la energía que se consume en el mundo como elemento vital y de factor estratégico de desarrollo; su verdadera explotación y uso, es relativamente reciente no menos de 200 años.

En 1850 en Pensylvania, Samuel Kier un boticario de Pittsburg (EE:UU) lo comercializó por primera vez como aceite de roca o petróleo; posteriormente se iniciaron las perforaciones en serie y con ellas el inicio de la industria del petróleo con un verdadero aprovechamiento que indudablemente a contribuido a la formación del mundo técnico-científico del mundo actual.

Hoy el mundo tiene una alta dependencia del petróleo y de su inestabilidad en mercados nacionales y mundiales que deciden los términos de economía; no obstante se han venido haciendo investigaciones de energéticos alternativos sin encontrar uno similar que lo sustituye.

Los mayores depósitos de petróleo y los principales productores se encuentran en el Medio Oriente, América Latina (Venezuela y México) África, Europa Oriental, Norte América y el Lejano Oriente. El mayor cartel de petróleo es la Organización de Países Productores de petróleo OPEP.

Colombia hace parte de los países productores de petróleo denominados, independientes, con un gran historial de producción en varios sitios, en forma “marginal” tanto en reservas como en producción y volúmenes de exportación; sin embargo es importante su comercialización en crudo y en sus subproductos o materias primas incluidas en su producciónste hidrocarburo compuesto por Carbón 84 y 87 %, hidrógeno 11 y 14 % , azufre 0 y 2%, Nitrógeno 0.2% y este hidrocarburo se encuentra en estado gaseoso o

líquido. En el primer caso es un aceite que se denomina crudo y en el segundo caso se le conoce como Gas Natural; según la teoría más aceptada el origen del petróleo y el Gas Natural es de tipo orgánico y sedimentario; el petróleo es el resultado de un complejo proceso fisicoquímico en el interior de la tierra en el que debido a la presión y a altas temperaturas se produce la descomposición de enormes cantidades de materia orgánica que se convierten en aceite y gas.

En términos geológicos las capas subterráneas se llaman formaciones y están debidamente identificados por edad, nombre y tipo de material rocoso del cual se formaron.

Las cuencas sedimentarias son extensas zonas en que geológicamente se divide el territorio de un país, y donde se supone está las áreas sedimentarias que puede contener hidrocarburos. En Colombia hay más o menos 18 cuencas distribuidas en un área de 1.036.000 kilómetros cuadrados.

La ciencia de exploración consiste básicamente en identificar y localizar esos lugares, lo cual se basa en investigación de tipo geológico.

Uno de los primeros pasos en la búsqueda del petróleo es la obtención de fotografías o imágenes por satélite, avión o radar de una superficie determinada. Esto permite elaborar mapas geológicos en los que se identifican características de un área determinada tales como vegetación, topografía, corrientes de agua, tipo de roca, fallas geológicas y anomalías térmicas. En este trabajo de campo también se utilizan sistemas magnéticos, gravimétricos de superficie que permite medir la densidad de las rocas que están en el subsuelo.

En el área seleccionada se toman muestras de rocas de la superficie para su análisis, con este estudio se tiene una primera aproximación de capacidad de rocas almacenadotes que puede haber en un lugar.

La única manera de saber si hay petróleo en el sitio donde la investigación geológica propone que se podría localizar un depósito de hidrocarburos es mediante la perforación de un hueco o pozo.

El tiempo perforación depende de la profundidad programada y de las condiciones geológicas.

La perforación se realiza por etapas, de tal manera que el tamaño del pozo en la parte superior es ancho y en las partes inferiores es angosto.

La extracción, producción o explotación se hace de acuerdo con las características propias de cada yacimiento.

Para poner un pozo a producir se baja una especie de cañón y se perfora la tubería de revestimiento a la altura de las formaciones donde se encuentra el yacimiento. El petróleo fluye por esos orificios hacia el pozo y se extrae mediante una tubería de menor diámetro "tubería de producción".

Si el yacimiento tiene energía propia generada por la presión subterránea, este saldrá por si solo; si no existe esa presión se emplea otros métodos de extracción, el más común es el "balancing" o "machín" el cual mediante un permanente balanceo acciona una bomba en el fondo del pozo que succiona el petróleo hacia la superficie.

Agua y Gas Natural, por lo que se deben construirse previamente las facilidades de producción, separación y almacenamiento. Una vez separados estos elementos del petróleo se envía a los tanques de almacenamiento y a los oleoductos que transportan hacia las refinerías.

En el mundo del petróleo los oleoductos y los buques tanqueros son los medios por excelencia para el transporte del crudo.

El petróleo finalmente llega a las refinerías en su estado natural para su procesamiento. Aquí prácticamente lo que se hace es cocinarlo por tal razón es que al petróleo se le denomina "crudo".

Una refinería es un enorme complejo en donde ese petróleo crudo se somete a un proceso de destilación o separación física y luego a procesos químicos que permite extraerles buena parte de la gran variedad de componentes que tienen.

El petróleo tiene una gran variedad de compuestos a tal punto que de el se pueden obtener por encima de 2.000 productos.

Las refinerías son muy distintas unas de otras, según las tecnologías y los esquemas de proceso que se utilizan así como su capacidad. Las hay para procesar petróleos suaves, petróleo pesado o mezclas de ambos.

Los siguientes son los diferentes productos derivados del petróleo y su utilización:

- Gasolina Motor y extra para consumo en los vehículos automotores de combustión interna, entre otros usos.
- Turbocombustible o turbosina gasolina para aviones Jet, también como Jet-A.
- Gasolina de aviación para uso en aviones con motores de combustión interna.
- ACPM O Diesel de uso común en camiones y buses.
- Queroseno se utiliza en estufas domésticas y en equipos industriales. Es el que comúnmente se llama "petróleo".
- Cocinol especie de Gasolina para consumos domésticos. Su producción es mínima.
- Gas propano o GLP se utiliza como combustible doméstico e industrial.
- Bencina Industrial se usa como materia prima para la fabricación de disolventes alifáticos o como combustible doméstico.
- Combustóleo o Fuel Oil es un combustible pesado para hornos y calderas industriales.
- Disolventes alifáticos sirven para la extracción de aceites, pinturas, pegantes y adhesivos; para la producción de thinner, gas para quemadores industriales, elaboración de tintas, formulación y fabricación de productos agrícolas, de caucho, ceras, betunes, y para limpieza en general.
- Asfaltos se utilizan para la producción de asfalto y como material sellante en la industria de la construcción.

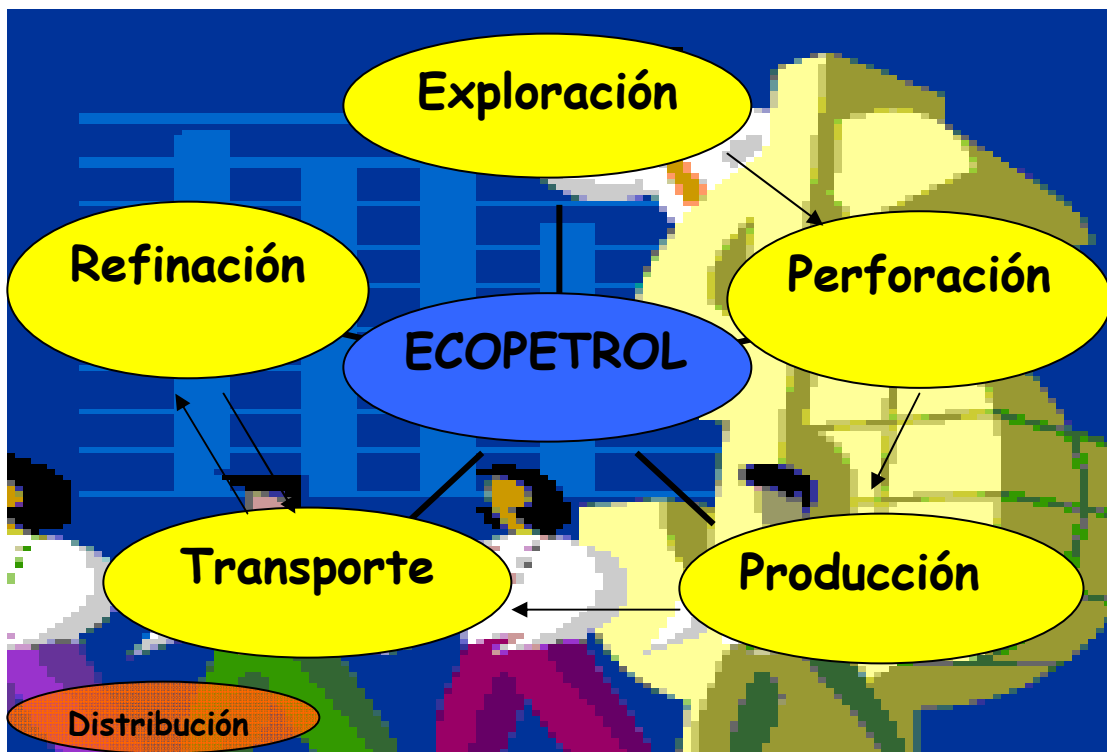
Los principales petroquímicos son:

- Bases Lubricantes es la materia prima para la producción de los aceites lubricantes.
- Ceras parafínicas es la materia para la producción de velas y similares, ceras para pisos, fósforos, papel parafinado, vaselinas.
- Polietileno materia prima para la industria del plástico en general

El destino del petróleo y sus derivados es el consumidor final.

En este proceso interviene distribuidores mayoristas y minoristas y se emplean todos los medios posibles para el transporte y venta: redes tubería, carrotanques, barcazas, barcos, estaciones (“bombas”) de servicio. etc.

funciones básicas de ecopetrol



3.1.1 Historia del transporte por oleoductos y poliductos

Al iniciarse la perforación del primer pozo petrolero (1859), en Pensylvania, nació también la rama de transporte.

Toda vez que era necesario llevar el crudo del pozo a los sitios de separación, tratamiento y almacenamiento en el propio campo. De allí transportarlo luego a lugares cercanos o lejanos de refinación o de exportación. Finalmente transportar grandes volúmenes de productos a los puntos de consumo.

Al comienzo la tarea no fue fácil, pero la falta de medios e instalaciones apropiadas estimuló la creatividad de los pioneros.

Inicialmente se valieron de troncos de árboles, que agujerearon longitudinalmente o del bambú, para construir ductos. Las secciones las unían con abrazaderas metálicas rudimentarias que sujetaban con remaches o pernos que la mayoría de las veces cedían y causaban filtraciones.

Poco a poco se las ingenieron para contrarrestar estas dificultades y optaron por el uso de tuberías de hierro de pequeños diámetros.

En pocos años (1859-1865), el almacenamiento y el transporte del petróleo ganaron la atención de las siderúrgicas y comenzó la fabricación de tubos, de recipientes metálicos, bombas y muchos otros equipos y herramientas requeridas por el sector.

Al principio, para el transporte de crudo de cortas distancias se hacía por vía terrestre y/o fluvial y se utilizaron barriles.

Pero en 1866 alguien optó por adoptar lo que se llamó la “regla de virginio occidental” que definía al barril para cargar petróleo como un recipiente hermético capaz de contener 40 galones y una ñapa de “dos galones más a favor del comprador”. Y así hasta hoy, el barril petrolero universalmente aceptado tiene 42 galones, equivalentes a 159 litros. Las dimensiones del barril son, altura 88 centímetros y diámetro 48 centímetros.

Con el tiempo se fabricaron de metal y a medida que fue evolucionando el transporte de crudo por otros medios, desapareció su uso para este menester. Sin embargo, a quedado el barril como símbolo y referencia de volumen de la industria, no obstante que también se utilizan otras unidades de peso y/o volumen en las transacciones petroleras; tonelada larga y corta, tonelada métrica; metro cúbico, galón y barril imperiales; pie cúbico y unidades volumétricas menores como el litro, el cuarto de galón imperial para sólidos o líquidos equivalente a 69.355 pulgadas cúbicas (1.136.5 cc) o el cuarto de galón Estadounidense para líquidos, equivalente a 67.20 pulgadas cúbicas (1.101 cc).

A medida que descubrieron nuevos yacimientos en las cercanías de las vías fluviales, la industria estadounidense comenzó a diversificar los medios de transporte de petróleo en la década de 1860.

De los campos petroleros comenzaron a tenderse oleoductos de corta longitud y pequeño diámetro a las orillas de los ríos, dando así origen a las primeras terminales.

Pero finalmente por razones obvias los oleoductos ganaron la opción para transportar petróleo por tierra.

El desarrollo y consecuente incremento de la producción de petróleo impulsó los medios de transporte. La iniciación y la competencia de la industria petrolera en Rusia en 1863 contribuyó al desarrollo del transporte petrolero terrestre, fluvial y marítimo.

Las experiencias y logros se multiplicaron en la medida en que la industria estableció operaciones en cada país.

La primera guerra mundial (1914- 1918) puso de manifiesto la importancia del petróleo como futura fuente de energía. Todas estas expectativas se transformaron en realidad años mas tarde e influyeron poderosamente en todos los aspectos de transporte de hidrocarburos en los años 1919-1939

Durante la segunda guerra mundial (1939-1945) surgieron nuevos retos en el transporte terrestre, fluvial y marítimo de crudo, combustibles y otros derivados del petróleo.

La ciencia, la investigación y las tecnologías petroleras y afines, respondieron con rapidez a las necesidades planteadas ; por ejemplo se acometió la fabricación de tuberías de gran diámetro (508 y 610 mm) para el tendido de oleoductos y poliductos de grandes longitudes (2.360 y 1.860 km) en Estados Unidos. La importancia de la mención de todos estos detalles se debe a que la tecnología que auspicia los adelantos logrados en el transporte de hidrocarburos se ha mantenido en constante evolución y nuevos equipos, materiales y herramientas son las respuestas a los tiempos, circunstancias y retos planeados. A continuación se analizan en detalle aspectos relevantes respecto a oleoductos y poliductos

3.1.2 Oleoductos

la experiencia y modalidades de transporte de crudos por tuberías (oleoductos) han dado respuestas satisfactorias a las necesidades de despachar y recibir diariamente grandes volúmenes de petróleo liviano, mediano, pesado y extrapesado desde los campos petroleros a las refinerías y/o a terminales a cortas, medianas y grandes distancias, en un mismo país o países vecinos.

El oleoducto se a hecho necesario porque transporta crudo ininterrumpidamente veinticuatro horas al día, salvo desperfectos o siniestros inesperados y a precios que difícilmente otros medios de transporte podrían ofrecer, en igualdad de condiciones. Además, no solo facilitan el transporte terrestre del petróleo, sino que también utilizan los oleoductos submarinos para llevar a tierra la producción de yacimientos ubicados costa afuera y a veces a grandes distancias.

3.1.3 Poliductos

Son redes de tuberías destinadas al transporte de hidrocarburos de productos terminados. A diferencia de los oleoductos convencionales, que transportan solo petróleo crudo, los poliductos transportan una gran variedad de combustibles procesados en la refinería kerosene, naftas, Gas Oil; el transporte se realiza en paquetes sucesivos llamados baches.

3.1.4 Características de las tuberías

Para cada oleoducto se requiere un determinado tipo o clase de tubería. Generalmente, las dos características más comunes de un oleoducto son el diámetro externo y la longitud, y para identificarlo geográficamente se dice que arranca de tal punto y llega a tal sitio.

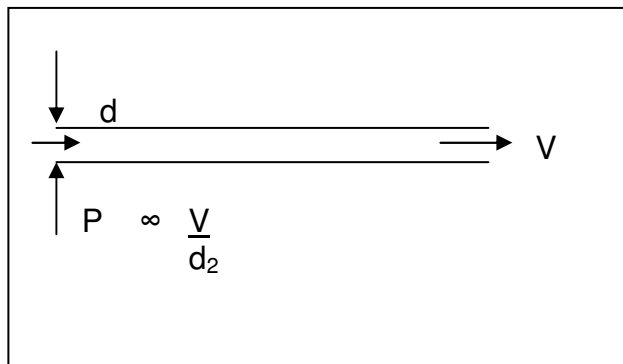
Sin embargo durante el diseño se toma en cuenta una variedad de factores que corresponden al eficaz y buen comportamiento físico del oleoducto es esencial el tipo calidad de acero de los tubos.

La competencia de la tubería es muy importante debido a que el flujo del petróleo por ella se logra por presión a lo largo del oleoducto. Por tanto la tubería debe resistir también presiones internas porque de lo contrario estallaría.

3.1.5 El flujo de fluidos por tuberías

El volumen de crudo transportado esta en función del diámetro de la tubería y de la presión que se le imponga al crudo para moverlo (velocidad) por la tubería. Como podrá apreciarse, la presión también esta en función de la densidad (peso) y de la viscosidad (fluidez) del crudo.

Gráfico 3. Demostración de un fluido en una tubería.



La tecnología de la transmisión de fluidos por tuberías arranca de los conceptos y apreciaciones formuladas a través de años por muchos investigadores. Originalmente, Poiseuille(1842) observó y propuso que la pérdida de presión debido al flujo de agua por

tubos de diámetros pequeños (capilares) era directamente proporcional a la velocidad e indirectamente proporcional al cuadrado del diámetro interno de la tubería.

Darcy (1857) experimento con tubos de mayor diámetro y observó que la pérdida de presión era, aproximadamente, directamente proporcional a la velocidad al cuadrado e indirectamente proporcional al diámetro interno de la tubería.

$$P \propto \frac{V^2}{d_1}$$

Esta significativa discrepancia requirió explicación. La cual fue dada en 1883 por Osborne Reynolds (1912). Físico inglés, quien demostró que así como un disco gira y muestra vibraciones a una cierta velocidad, pero que por encima o por debajo de esa velocidad gira imperturbablemente, de igual manera sucede con los líquidos que se bombean por tuberías. De allí que el tipo de flujo sereno (laminar) observado en tubos capilares por Poiseuille se tornarse turbulento a más altas velocidades, de acuerdo con los experimentos realizados por Darcy.

De estas observaciones y subsecuentes experimentos. Reynolds dedujo la relación existente entre el diámetro interno de la tubería (d), la velocidad promedio de flujo (v), la densidad de flujo (s) y la viscosidad absoluta de fluido (u), que expreso de la siguiente forma:

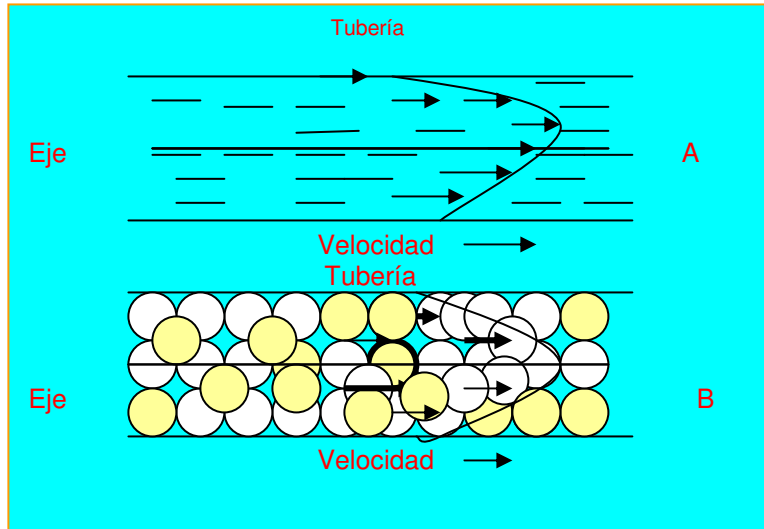
$$\frac{dvs}{u}$$

A esta relación abstracta se le dio en honor a su proponente, el nombre de número de Reynolds.

$$R = \frac{dvs}{u}$$

Esta relación se aplica en la resolución de problemas de hidráulica (transmisión de fluidos por tubería) y de aerodelismo en túneles de aerodinámica.

Grafico 4. A flujo laminar B flujo turbulento



Las dos figuras anteriores representan ideas sobre los experimentos de Reynolds.

Se valió Reynolds de la inyección de colorante al flujo y noto que en el caso del flujo sereno (laminar), el colorante se desplazó uniformemente sin difundirse pero en el caso de flujo turbulento, debido al incremento de velocidad, el colorante se dispersó por toda la corriente del líquido.

No obstante, todo lo antes dicho, todavía faltaba algo que debía considerarse para que las relaciones y ecuaciones formuladas por los investigadores nombrados fuesen expresiones matemáticas completas.

En 1914. T.E Staton y T:R Panell consideraron la confirmación del número de Reynolds e introdujeron el coeficiente "f" de fricción, demostrando la relación directa y la existencia de un valor único de fricción para cada número de Reynolds, de esta manera se deslindó la incertidumbre en los cálculos y se estableció que la velocidad crítica esta en el rango de número de Reynolds entre 2000 y 3000 .

Ósea que el flujo sereno (laminar) termina alrededor de 2000 y el flujo turbulento comienza alrededor de 3000.

El coeficiente de fricción tiene que ver con el flujo a todo lo largo de la tubería y su correspondiente valor cada número de Reynolds puede obtenerse de gráficos que traen los tratados, textos y artículos sobre la materia

Los conceptos y apreciaciones mencionadas sobre el flujo de fluidos son aplicables tanto el petróleo, al gas y todos otros fluidos que sean bombeados por tuberías.

El flujo a través de tuberías es clasificado dentro de tres régimen de flujo:

1. Flujo laminar: $R < 2000$
2. Flujo critico: $R > 2000$ y $R < 4000$
3. Flujo turbulento: $R > 4000$

3.1.6 Aspectos del diseño

La longitud del oleoducto o poliducto puede ser menos de una decena hasta varios miles de kilómetros

Es muy importante tener una apreciación real de la ruta del oleoducto. El perfil topográfico del terreno servirá para ubicar las ocurrencias naturales que están en la vía; depresiones, farallones, cerros, colinas, montañas, llanuras, pantanos, lagunas quebradas, riachuelos y ríos.

Las diferencias de altitud o desnivel entre puntos de la vía, referidos al nivel del mar y las distancias entre estos puntos, son datos importantes y necesarios para calcular la presión de bombeo requerida a todo lo largo del ducto, habida cuenta de otros factores, como son características del producto, volumen máximo del producto que podría bombearse diariamente y el diámetro y otras características de la tubería. En la práctica, en puntos de la ruta hay que incorporar al ducto estaciones adicionales de bombeo para garantizar el volumen del flujo deseado

Esto es muchísimo más importante en el caso de los ductos largos. La distancia entre estaciones debe ser desde 65 a 95 kilómetros o más, todo depende de la topografía del terreno y de los diferentes factores antes mencionados. En el caso de transporte de crudos pesados y extrapesados se utilizan hornos o plantas para calentar el tubo y reducir su viscosidad.

El desnivel entre dos puntos en la ruta de un ducto representa no solamente altura si no presión.

Si el desnivel o altura hidrostática entre dos puntos A y B de un oleoducto o poliducto es de 1000 metros y el oleoducto transporta crudo de 35 ° API, entonces la presión representada por la columna de crudo es $1000 \times 0.085 = 85 \text{ Kg/cm}^2$. Esto significa que para bombear este crudo de A a B y si esta a 1000 m más alto que A. entonces habrá que contrarrestar en A la presión de 85 Kg/cm^2 . Además, habrá que añadirse a esa presión la presión requerida para la distancia entre dos puntos, como también la pérdida de presión que por fricción ocasiona el flujo de crudo por la tubería, para lograr el bombeo diario de fluido deseado si el caso fuese al contrario, ósea de B a A, el flujo sería cuestaabajo y se requeriría menos presión (equivalente a 85 Kg/cm^2 y algo más) debido al flujo por gravedad⁷

2.4 TRANSPORTE EN OLEODUCTOS Y POLIDUCTOS (tema central de esta monografía)

El paso inmediato al descubrimiento y explotación de un yacimiento es el traslado del petróleo hacia los centros de refinación o a los puertos de embarque con destino a la exportación.

Para ello se construye un oleoducto, trabajo que consiste en unir tubos de acero a lo largo de un trayecto determinado, desde el campo productor hasta el punto de refinación o embarque.

La capacidad de transporte de los oleoductos varía y depende del tamaño de la tubería, es decir, entre más grande sea el diámetro, mayor es su capacidad. Estas líneas de acero pueden ir sobre la superficie o bajo tierra y atraviesan la más variada topografía.

En la parte inicial del oleoducto una “estación de bombeo” impulsa el petróleo y dependiendo, de la topografía por donde éste pase, se colocan estratégicamente otras estaciones para que le permitan superar sitios de gran altura.

Los oleoductos disponen también de válvulas que permitan controlar el paso del petróleo y atender oportunamente situaciones de emergencia.

El gas natural se transporta en idénticas circunstancias, pero en este caso la tubería se denomina “gasoducto “.

Hay ductos similares que cumplen funciones específicas: poliductos para gasolinas, acpm y otros derivados; propanoductos para gas propano, Combustóleo ductos para combustóleo, etc.

Los buques o tanques son a su vez enormes barcos dotados de compartimientos y sistemas especialmente diseñados para el transporte de petróleo crudo, gas, gasolina o cualquier otro derivado. Son el medio de transporte más utilizado para el comercio mundial del petróleo⁸

2.4.1 Manejo de red de poliductos

Para que los 2.500 estaciones de servicio en Colombia cuenten con suficientes volúmenes de gasolinas para abastecer al parque vehicular de Colombia o para que el combustible especial de los aviones llegue a su destino en los casi 100 aeropuertos en operación, se requiere algo mas que la inmensa red de poliductos diseñada algo mas de 30 años.

Por un lado se necesitan decenas de equipos mecánicos e hidráulicos, tanques de almacenamientos, sistemas de control y presión e innumerables válvulas, bombas y motores con la potencia suficiente para empujar 165 mil barriles diarios de combustibles a lo largo de 4.000 kilómetros de tubería.

Por el otro lado, se necesitan las estaciones de recibo y entrega donde empresas petroleras almacena y despacha productos a los distribuidores mayoristas, quienes los entregan a los carros tanques donde se transportan los refinados que demandan las grandes industrias y los combustibles que utilizan los usuarios finales en las estaciones de servicio.

Existe también un gran salón desde donde se puede controlar de manera automática y remota toda esa compleja maraña de tubos y tanques que permiten que los combustibles lleguen a la mayoría de ciudades y municipios del país.

Se trata del Centro de Control Maestro de Operaciones (CCMO), único en su género en Colombia y considerado el cerebro operacional del negocio de transporte.

El CCMO cuenta con estaciones de trabajo, computadores con programas de alta tecnología, equipos de comunicación vía microondas, intercomunicadores satelitales y sistemas de alerta. Desde allí un capacitado equipo de operadores monitorea el funcionamiento de casi toda esa parafernalia de equipos y tuberías que cubre el país para brindar la máxima confiabilidad de suministro de combustibles a los clientes y mayoristas.

Se presenta el tipo de información que provee el sistema relacionada con la programación y secuencia de bombeo, detección y llegada de baches; las facilidades de comunicación entre el Centro de Control Maestro y cada una de las estaciones terminales remotas que componen el sistema, la posibilidad del manejo del poliducto en forma remota en caso de fallas de comunicación entre el CCM y las terminales remotas.

Adicionalmente el sistema proporciona las herramientas para realizar un mejor tratamiento de los productos de interfase, ya que se carece de tanques para el manejo de este producto, de manera que se manipula mediante una secuencia de cambio de válvulas, basada en que los productos de la interfase deben ser adicionados a los productos adyacentes y que la capacidad de dilución de un producto en otro depende de la calidad de los productos que se maneja y determina la secuencia del bombeo y los tamaños mínimos de los baches.

Un voluminoso despacho de gasolina que sale de la refinería con destino al sur occidente del país puede ser supervisado y controlado a lo largo de su recorrido desde una pantalla de computador.

Para garantizar la mayor confiabilidad operacional y alcanzar los máximos estándares de cumplimiento y oportunidad en la entrega, los operadores del Centro de Control Maestro mantienen permanente comunicación con los operadores de cada una de las estaciones o terminales de transporte donde llegan o pasan los productos movilizados por las tuberías. Gracias a ésta constante coordinación, la tecnología de automatización remota desde Bogotá permite detectar potenciales fugas o contingencias que puedan alterar la

normalidad de operación (como consecuencia del hurto de combustibles, por ejemplo) y hace que se alerte rápidamente a los equipos de contingencia y prevención de emergencias para evitar derrames de hidrocarburos, pérdida de producto o contaminación de cuerpos de agua⁹.

2.4.2 Programación del CCMO usando un software

Es un software llamado Ifix software hecho en Colombia para hacer el seguimiento de baches en el proceso de transporte de combustibles utilizado por ECOPETROL siendo la principal herramienta para el manejo de la tubería, es un software confiable y disponible, permite el manejo de interfases de productos.

Las estaciones de red a lo largo de la tubería son conectadas a la red de datos o CCMO (Centro de Control Maestro Operacional) el cual maneja estaciones locales y estaciones terminales remotas, su función es supervisar todas las estaciones de tubería con un sistema de computador. Las terminales remotos manejan secuencias, también cumplen con el manejo de flujos especiales.

El programa requiere datos específicos sobre el sistema de transporte: número de estaciones, su localización y altura, características de la tubería, presiones límites de operación de las bombas y de la línea, número de bombas.

El programador de refinados puede definir la secuencia de baches de productos a ser despachados y entregados, el programador de refinados también tiene como función informar a los operadores que productos serán despachados por la línea, nombre del bache, volumen y cantidad a ser entregada a cada punto.

El software es manejado por el programador de refinados para mantener una programación organizada de todos los sistemas de poliductos. El programador requiere información de las existencias en línea, cupos y capacidades de los tanques, las ventas diarias de cada centro de entrega y de la programación de las refinerías.

El CCMO cuenta con unos gráficos de todo el sistema operativo característicos como tanques, bombas, válvulas, estaciones, tuberías, flujos, presiones, y densidades que le informan: el momento de llegada y salida de los productos, la capacidad de tanques de almacenamiento, el momento de abrir o cerrar una válvula. El operador del CCMO indica a las terminales remotas el momento de abrir las compuertas de la válvula para introducir el respectivo bache en cada tanque correspondiente; entre abrir y cerrar las compuertas tarda aproximadamente tres minutos, por lo cual el operador del CCMO informa al operador de las estaciones remotas cuando debe abrir o cerrar la compuertas, todo este proceso se ejecuta automáticamente.

A lo largo del poliducto en cada estación intermedia se va abriendo las válvulas para que entre el producto en volúmenes programadas anteriormente proporcionándole seguimiento al ciclo hasta las estaciones terminales. Las interfases son manejadas actualmente con las densidades. Cada producto mantiene su densidad característica y cuando hay un cambio de densidad le indica que viene el otro producto y de esta manera van introduciéndose en los respectivos tanques de almacenamiento.

Las presiones son controladas desde el CCMO, el operador ya está informado de las presiones que debe inyectarle al sistema teniendo en cuenta la topografía, la longitud y el diámetro de la tubería ya que cada sistema se comporta diferente, por ejemplo hay poliductos que tienen una topografía muy variada, en este caso se calcula el punto más alto de la cordillera por donde pasa el poliducto y se calcula la presión que debe sobrepasar al sitio de más altura para que el producto suba sin descolgarse. En dado caso que haya descuelgue los productos empiezan a segregarse uno con otro, aumentando la interfase. Cuando el producto ha superado el sitio de mayor altura y desciende, baja con presiones tan altas debido al efecto de la gravedad que necesita válvulas controladoras que hacen bajar la presión y de esta manera evitan que el sistema explote.

En los sistemas horizontales se mantiene una presión constante, lo importante de todo esto es que todos los sistemas estén presionados y siempre llenas las líneas de productos para que los baches sean empujados y no ocasionen productos de mala calidad.; puesto que si por algún motivo el sistema se para, lo que empieza ha

desarrollarse es segregación de productos alterando las propiedades físicas de cada uno sacando el producto de especificaciones.

Los productos que salen de las refinerías con visto bueno ósea, que cumplen con las condiciones para ser transportadas por el poliducto son de nuevo analizadas por la VIT para corroborar lo que las refinerías han enviado. Para todos los productos se aplica lo mismo, a diferencia del JET A1 tiene que ser analizado mínimo 3 veces ya que requiere de un tratamiento especial.

Existe otro software llamado Pmas que es utilizado como cazador de fugas, su principal función es detectar e informar al operador si hay caídas de presión, perdidas de líneas descuelgues, hurtos, fallas eléctricas o eventos ocasionales para tomar acciones preventivas o correctivas.

2.4.3 Funciones del Operador del Centro de Control Maestro Operacional

Coordinar, supervisar y planear la operación diaria de los sistemas de transporte de hidrocarburos de VIT de acuerdo con los procedimientos establecidos en el proceso de la gestión de la operación de transporte, los Estándares Internacionales y a los compromisos adquiridos con los clientes, de tal forma que se garantice la satisfacción de los mismos y una operación con criterios de calidad, oportunidad y rentabilidad

- Ejecutar, supervisar, coordinar y controlar remotamente la operación de los poliductos y oleoductos de la VIT.
- Ejecutar los sistemas óptimos de operación de los poliductos de la VIT, de tal forma que se logre la máxima rentabilidad y el cumplimiento de los compromisos con nuestros clientes.
- Ejecutar todas las labores de coordinación con las áreas operativas locales requeridas para el control de los parámetros operacionales involucrados en el manejo, transporte y almacenamiento de los diferentes productos.
- Entregar la información en tiempo real de los eventos que afecten la normal operación de nuestros sistemas para corregir o prevenir por medio del SCADA* (detección de fugas, seguimiento de baches, seguimientos de raspadores etc.)

- Coordina y minimiza el impacto de eventos imprevistos de tipo operativo y externos para cumplir con los programas de transporte
- Esta programación es analizada por el programador de refinados, quien lo ajusta de acuerdo con su mejor criterio e información de última hora, con la información del comité de suministros y con las apreciaciones del personal, en los diferentes centros operacionales ,corriendo nuevamente si es necesario
- Hacer seguimiento a las herramientas de apoyo y soporte del SCADA (Optimizador de energía, información Operacional diaria (SINOPER), perdidas líneas (PMAS)) para asegurar la optimización de las mismas
- Interpretar la información de las herramientas SCADA para la toma de decisiones y coordinar acciones en caso de fuga o pérdida, de producto, u otro tipo de evento emergente.

Una vez aprobada la programación para todos los poliductos, se envía a todos los supervisores de operaciones en las estaciones para su ejecución.

Si los cambios son significativos, puede ser necesario reprogramar, actualizando las existencias de línea

Es importante mantener el número de ciclos al mínimo posible para evitar mayor número de interfases de diferentes productos.

El producto de la interfase, por consiguiente podrá ser mezclado con la base del producto. La capacidad de un producto para mezclarse con productos sucesivos determina el orden de los baches, la cantidad que puede ser mezclada podrá determinar la longitud mínima del bache.

El manejo de las interfases de productos se hace crítico en los sistemas debido al tamaño reducido de algunos tanques de almacenamiento y el gran tamaño de las interfases, el tamaño de almacenamiento de Jet A1 es un criterio importante para determinar el número de ciclos de bombeo, tratando de transportar el menor numero posible de baches o parcelas del Jet A1, a fin de evitar una mayor numero posible de interfases.

3.3 METODOLOGÍA OPERACIONAL DE TRANSPORTE POR POLIDUCTOS

Para manejo y transporte de los productos refinados, los productos son vendidos por las refinerías de Barrancabermeja y Cartagena, a los distribuidores mayoristas.

Los productos son entregados por la VIT en cada uno de los sitios donde los distribuidores mayoristas tienen almacenamiento y distribución de combustibles.

Las entregas que realizan las refinerías a los distribuidores mayoristas se hacen con base en el % de participación de los 3 meses anteriores y lo proyectado, y el volumen se define con base en la demanda pronosticada por la Gerencia de Mercadeo y Ventas para los 6 meses siguientes, con ajustes mensuales.

Cada mes, con base en los informes volumétricos por productos y compañías (SINOPER), se realiza un balance de entregas de las refinerías contra entregas del Oleoducto y se ajusta a cero. Las pérdidas (hurtos y atentados) en el transporte las asumen los dueños del producto, y las pérdidas inherentes a la operación las asume Ecopetrol-VIT.

La programación de productos cumple con los pronósticos de la demanda y adicionalmente con las solicitudes o necesidades de los mayoristas. Cuando el mayorista requiere más de lo establecido en los % asignados, ellos solicitan a Ecopetrol-VIT, las cantidades adicionales requeridas y a través de la programación de los poliductos, que define que cantidad adicional se pueden entregar. Igual caso ocurre cuando solicitan menor cantidad de productos. De todas maneras los ajustes para el pronóstico de demanda se hacen trimestralmente con base en lo realmente vendido por cada mayorista en los tres meses anteriores, ya sea por encima o por debajo.

El sistema de distribución de productos a través de los poliductos tiene en cuenta para su operación:

- Las necesidades de los distribuidores mayoristas, definidas por los porcentajes de participación del mercado.
- Capacidad de almacenamiento para cada producto en cada centro
- Inventario inicial de productos (Sinoper).
- Pronostico de demanda (Gerencia de Mercadeo y Ventas).
- Demanda real.

Todo el lleno de las líneas de los poliductos es de propiedad de los distribuidores mayoristas, de acuerdo con los porcentajes de participación asignados. El balance se hace teniendo en cuenta el lleno de línea, el delta de inventarios, los despachos de refinerías y las entregas del poliducto.

Antes de la programación se analizan los deltas de inventarios el primer día de cada mes, y se determina la cantidad a ajustar al inventario objetivo, que del 85% para el almacenamiento operativo de ECOPETROL, con el fin de poder garantizar el abastecimiento por un periodo determinado, que puede ser de hasta 8 días por centros.

Una vez determinado el ajuste de inventarios y las necesidades de demanda pronosticada, se verifica la siguiente información:

- Llenos de línea con sus productos
- Tiempo en tránsito de los productos de una estación a otra
- Ratas de bombeo
- Inventario inicial
- Ventas diarias
- Capacidad de almacenamiento

Para determinar las parcelas a ser transportadas se debe tener en cuenta:

- Tiempo de duración del viaje del producto desde las refinerías hasta su entrega final (Centro de distribución).
- El producto de mayor demanda.
- En cada centro, el orden definido para cada producto, de acuerdo con el consumo, es: Gasolina motor, ACPM, Jet –A1, gasolina extra y Kero.
- La capacidad de almacenamiento de los distribuidores mayoristas, tanque por tanque.
- Los consumos por cada producto en los diferentes centros

Una vez definido los volúmenes que se van solicitar a las refinerías, las refinerías facturan diariamente a cada distribuidor mayorista de acuerdo al % de participación calculado para cada producto.

Para empezar la distribución de las parcelas, es prioritario los productos que tienen menor capacidad de almacenamiento y mayor consumo.

Se debe tener en cuenta también el manejo de las interfaces en cada uno de los baches a ser programadas. Dependiendo de los productos, las interfaces (kero y/o virginoil) se distribuyen al 50%, en el caso de la gasolina motor y el diesel. Para el Jet-A1, el corte de la interfaces se hace puro para el JET-A1.

Dependiendo de cada uno de los sistemas por donde desplazan los productos, los baches tienen unos mínimos y unos máximos: el mínimo lo determina el efecto calidad y las interfaces, las condiciones hidráulicas y los tiempos de llegada de los productos. El máximo lo determina el cupo de recibo en cada estación de acuerdo con la demanda real y la capacidad de almacenamiento.

2.5.1 Sistema Propolid

El Propolid es una herramienta de programación que basa su funcionamiento en unas tablas históricas de comportamiento hidráulico las cuales tienen unas cifras fijas dependiendo el llenado de la línea.

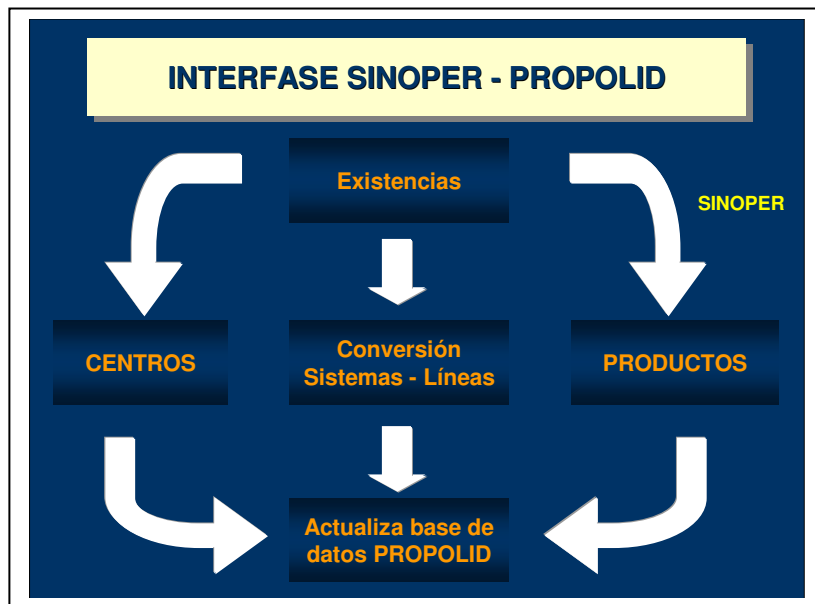
También realiza proyecciones de demandas las cuales son cargadas para todos los centros de consumo, con este dato el realiza proyecciones promedio de los inventarios futuros, dato que nos sirve para establecer las cantidades que se deberían programar para los días futuros; La secuencia de funcionamiento de el Propolid implica que los días domingos y festivos, no se realizan ventas por parte de las compañías, que aplica para todos los productos, con la excepción del Jet A1 del cual tenemos reportes que se venden también los domingos y festivos.

2.5.1.1 Funciones básicas del propolid

- Manejo de capacidades de los sistemas.
- Control de eficiencia del sistema.

- Control de flujos.
- Programación de paros de bombeo.
- Manejo de productos (despacho y recibo).
- Manejo de frentes de contaminación (productos fungibles y cuñas automáticas).
- Definición trazabilidad de un producto.
- Operaciones especiales.
- Balance de inventarios

Diagrama No 7. Interfase entre SINOPER Y PROPOLID



3.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS GASOLINA MOTOR, DIESEL Y VIRGIN OIL.

3.4.1 Gasolina

Mezcla de hidrocarburos, relativamente volátiles, adecuada para ser usada como combustible en motores de combustión interna de encendido por chispa.

3.4.2 Clasificación

La gasolina para motores de combustión interna se clasifica de acuerdo con el número de octano (RON) en los siguientes tipos:

- Gasolina Extra: corresponde a la gasolina con número de octano (RON) Mínimo de 94
- Gasolina corriente: corresponde a la gasolina con número de octano (RON) mínimo de 86.

3.4.3 Condiciones generales

La gasolina cuando se le examina en forma visual a temperatura ambiente, deberá presentar una apariencia clara y brillante y estar exenta de humedad y materiales en suspensión.

- La gasolina corriente debe presentar color naranja
- la gasolina extra no se le adicionará colorante.

3.4.4 Gasolina corriente

“La gasolina corriente es una mezcla compleja donde puede haber de 200 a 300 hidrocarburos distintos, formada por fracciones combustibles provenientes de diferentes procesos de refinación del petróleo, tales como destilación atmosférica, ruptura catalítica, ruptura térmica, alquilación, reformado catalítico y polimerización entre otros.

Las fracciones son tratadas químicamente con soda cáustica para eliminar compuestos de azufre tales como sulfuros y mercaptanos que tienen un comportamiento corrosivo y retirar gomas que pueden generar depósitos en los sistemas de admisión de combustibles de los motores. Luego se mezclan de tal forma que el producto final tenga un índice antidetonante IAD ($Ron+Mon/2$) de 81 octanos como mínimo. El índice es una medida de la capacidad antidetonante de la gasolina y la principal característica que identifica el

comportamiento de la combustión dentro del motor. Mayor octanaje indica mejor capacidad antidetonante.

Antes de ser distribuida a las estaciones de servicio al público, los mayoristas de la gasolina le adicionan aditivos detergentes dispersantes con el fin de prevenir la formación de depósitos en todo el sistema de admisión de combustibles de los motores (carburadores, inyectores de combustible, lumbreras o puertos de entrada y asientos de las válvulas de admisión).

En Colombia se le denomina comercialmente como "Gasolina Corriente". Otros nombres que se le da a este producto son gasolina regular o gasolina unleaded 81

Esta gasolina se halla diseñada para utilizarse en motores de combustión interna de encendido por chispa y de baja relación de compresión (menos de 9:1). Sin embargo, también puede mantener un comportamiento adecuado en motores de mayor relación pero en altitudes por encima de 2000 metros sobre el nivel del mar. Puede ser mezclada en cualquier proporción con gasolina de mayor o menor octanaje hasta conseguir una mezcla con el octanaje apropiado, según los requerimientos del motor y en cualquier altitud.

3.4.5 Modalidad de venta

Se despacha a distribuidores mayoristas por poliducto, bote o buquetanque.

3.4.6 Características de la Gasolina

- Contiene olefinas y un mayor porcentaje de aromáticos
- Presenta hidrocarburos entre 4 y 12 átomos de carbono

Tabla 6. Requisitos de las gasolinas para motor de combustión interna

características	unidades	limites de control	clasificación		Métodos de análisis
			Extra	Corriente	
Número de octano (RON)	Octanos	mínimo	94	86	ASTM D 2699-94 ASTM D 2700-94
Índice antidetonante (RON+MON)/2	1)	Mínimo	86	81	ASTM D 2700-94 ASTM D 2699-94
Presión de vapor reid a 37,8 °C Kps (psi)		De: 0-2000m + 2000m (sobre el nivel del mar)	55(7.5)	52(7.5) 60(8.5)	ASTM D 323-94
Índice de cierre de vapor, ICV ²⁾	Kpa	Máximo	98	98	2)
Contenido de plomo, como Pb	g/l	Máximo	0.013	0.013	ASTM D 3237 -90
Corrosión al cobre, 3 H a 50° C		Máximo	1	1	ASTM D130-94
Contenido de azufre, como S	% en peso	Máximo	0.10	0.10	ASTM D 4294-90
Contenido de benceno	% en volumen	Máximo	1.1	1.1	ASTM D 3606-92
Contenido de aromáticos	% en volumen	Máximo	28	28	ASTM D 1319 – 93
Estabilidad a la oxidación	minutos	Mínimo	240	240	ASTM D 525-94
10 % volumen evaporado	°C	máximo	65	65	ASTM D 86 -93
50 % de volumen evaporado	°C	mínimo	77	77	ASTM D 86-93
70 % del volumen evaporado	°C	Máximo	121	121	ASTM D 86-93
90 del volumen evaporado	°C	Máximo	190	190	ASTM 86-93
Punto final de ebullición	°C	Máximo	225	225	ASTM D 86-93

Goma	Mg/100 ml	máximo	5	5	ASTM D 86-94
-------------	-----------	--------	---	---	-----------------

Notas:

RON: número de octano determinado por el método "Research"

MON: número de octano determinado por el método "Motor"

- 1) el índice antidetonante (RON + MON) /2 empezará a regir a partir del 1 de enero de 1995
- 2) el índice de cierre de vapor se calcula según la siguiente expresión:

$$ICV = P + 1.13 * A$$

Donde

A = porcentaje evaporado a 70 °C

P= presión de vapor, Kpa

- 3) método alternativo: ASTM D 2622 – 94
- 4) Tipo: detergentes, controladores de formación de depósitos

Contenido: según resolución No 32787 de diciembre 28/92, del ministerio de minas y energía

3.4.7 Diesel corriente

"El diesel corriente, o el aceite combustible para motores (ACPM), es una mezcla de hidrocarburos entre 10 y 28 átomos de carbono formada por fracciones combustibles proveniente de diferentes procesos de refinación del petróleo tales como destilación atmosférica y ruptura catalítica.

Este producto puede contener pequeñas cantidades de aditivos que permitan mejorar las condiciones de su desempeño y una sustancia química, llamada "marcador", que permita obtener información sobre la procedencia del combustible sin que implique modificación en la calidad del producto.

Otro nombre utilizado para este producto es Fuel Oil grado N° 2D.

También puede ser usado en máquinas tipo diesels de trabajo medio y pesado que trabajan fuera de carretera, tales como las usadas en actividades de explotación minera, agricultura, construcción, entre otros.

3.4.8 Usos

Está diseñado para utilizarse como combustible en motores tipo diesel de automotores de trabajo medio y pesado que operan bajo condiciones de alta exigencia en vías y carreteras del país, o para generar energía mecánica y eléctrica, y en quemadores de hornos, secadores y calderas.

3.4.9 Modalidad de venta

Se despacha a distribuidores mayoristas por poliducto, bote, carrotanque y buquetanques

3.4.10 Características del Diesel

- Presenta hidrocarburos entre 12 y 26 átomos de carbono
- No contiene olefinas a menos que se le adicione alc.

Tabla 7. Requisitos del ACPM

REQUISITOS	VALOR
Índice de cetano, min	45
Punto de inflamación, en °C (pensky Martens), mín	51
Viscosidad cinemática a 40 °c en mm ² /s	2.0 a 5.8
Color ICONTEC, (ASTM), (máx)	3
Punto de fluidez, en °C , (máx) .	4
Residuo de carbon, en % masa (10% en fondos), (máx)	0.2
Ensayo de corrosión a 50° C, durante 3h, (máx)	2
Contenido de azufre, en % en masa, (máx)	0.6
Propiedades de destilación:	
10% de volumen recuperado, en °C (máx)	270
50% de volumen recuperado, en °C (máx)	305
90% de volumen recuperado, en °c (máx)	360
Punto final de ebullición, en °C (máx)	385
Agua y sedimento, % en volumen, (máx)	0.05
Cenizas, % en masa, (máx)	0.01
Gravedad API	Véase la nota

3.4.11 Virgin oil

Es una Nafta pesada de la planta aromática que se aproxima ampliamente a las características de refinado livianos y medios en los siguientes análisis: Punto Final de Ebullición cercano a la Gasolina Motor y Punto de Inflamación cercano al Keroseno o ACPM.

Tabla 8. Características fisicoquímicas del producto Virgin Oil.

CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL VIRGIN OIL	
Gravedad API	46
Calor Saybolt	+20
Punto de Inflamación °C	39
Rango destilación °C	157-221
RON	50

Estas características lo hacen el producto ideal para separar el ACPM o el Queroseno de la Gasolina Motor.

3.4.12 Características Virgin oil

- No contiene olefinas
- En su composición predominan hidrocarburos entre 10 y 12 átomos de carbono

3.5 FACTORES QUE AFECTAN EL BACHEO DE PRODUCTOS

Los poliductos son líneas que transportan productos derivados del petróleo desde las refinerías hasta los centros de almacenamiento o distribución. A través de una sola línea se envían varios productos, cuando estos productos se ponen en contacto entre sí se presenta una mezcla que se denomina **contaminación o interfase**.

La contaminación se debe principalmente al efecto de mezcla de los productos que se transportan. Varios factores afectan el tamaño de la contaminación, tales como la velocidad superficial de flujo, el tamaño de la línea, diámetro, la duración del ciclo total del bacheo, capacidad de almacenamiento, diferencia de densidad y viscosidad de los productos, periodos de paradas, mal funcionamiento de las bombas, paso a través de las instalaciones, manejo de las facilidades en los puntos terminales, capacidad de almacenamiento, oferta y demanda de cada producto al final de la recepción. La viabilidad y economía de cada producto depende de lo extenso de la mezcla colocada entre los diferentes baches de la línea.

3.5.1 Contaminación

La contaminación es entendida como el efecto producido por la mezcla de dos productos diferentes que entran en contacto cuando van por una misma tubería en el transporte por poliductos.

En algunos casos el producto de la contaminación debe ser retirado, porque las características de los dos son incompatibles Ej.: el punto final de ebullición y número de Octano son propiedades críticas en los combustibles por el efecto de la mezcla en cada caso debe ser retirada de la tubería y ser mezclada en baches de concentración baja

donde este es aceptado de lo contrario son devueltas para reciclado en las Refinería de Barrancabermeja.

3.5.2 La velocidad

Bajo las condiciones de flujo laminar, en el cual la distribución de velocidad dentro de la tubería no es uniforme, el arrastre de contaminación es muy grande, dado que la diferencia entre las velocidades de flujo cerca de las paredes y en el centro ayuda a los efectos de difusión. Sin embargo, en cuanto se logre un flujo totalmente turbulento, el efecto de la velocidad llega a ser mínimo.

3.5.3 Diferencia en densidad

Una diferencia en la densidad de dos líquidos en contacto genera una diferencia en la fuerza de inercia la cual tiende a incrementar el volumen de contaminación. El producto pesado tiende a situarse debajo del producto liviano, este efecto de la diferencia en densidad disminuye a medida que un fluido se mezcla en el otro mientras viajan en la tubería. Lo cual hace que la tasa de incremento de la contaminación disminuya a medida que los baches de productos se muevan en la línea.

3.5.4 Viscosidad

Se observa que a alta viscosidad se presenta una menor variación en el perfil de velocidad dentro del tubo, lo que reduce el volumen del contaminante.

El tamaño de la contaminación entre dos productos de viscosidad baja y gravedad específica similar, por ejemplo gasolina regular y gasolina extra, es mayor que aquella que se observa entre dos productos pesados como diesel y kerosene, los cuales tienen un valor de viscosidad más alto que los productos antes mencionados.

3.5.5 Parada de bombas y mal funcionamiento de las mismas

El volumen de la interfase de contaminación se incrementa como resultado de las paradas de bombas o como resultado del bombeo a velocidad a velocidad de flujo no constante.

Las paradas o irregularidades en el bombeo genera difusión axial, por inercias diferentes durante un cambio repentino en las condiciones de flujo o por difusión gravitacional, la cual ocurre cuando el bombeo se para sobre una pendiente con el producto liviano por debajo del pesado; con la consecuente migración de un volumen del producto pesado hacia el liviano que se encuentra en una posición inferior.

3.5.6 Paso a través de las instalaciones

El paso a través de equipos incrementa el volumen de la interfase de contaminación. Este es el resultado del paso a través de facilidades tales como “haytanks”, en los cuales la tasa de flujo disminuye y la superficie de contacto se hace más grande, o como consecuencia de los circuitos de los circuitos en paralelos o espacios muertos que no se pueden drenar de forma sistemática.

Los siguientes factores han sido reexaminados por trabajos previos en campo concerniendo su posible efecto en la longitud de la interfase formada por dos productos que fluyen sucesivamente por una tubería:

1. La distancia recorrida por la interfase
2. La pobre velocidad de flujo en la tubería
3. El diámetro interno de la tubería
4. El número de Reynolds
5. La viscosidad cinemática de el producto en la mezcla.
6. El coeficiente de fricción
7. La baja turbulencia en la tubería
8. Las curvas de la tubería
9. La intensa turbulencia en la corriente de flujo
10. La escala de turbulencia
11. La difusión molecular del producto en la mezcla.
12. Topografía de la tubería.

3.5.7 Efecto del número de Reynolds, diámetro de la tubería, viscosidad y densidad

Investigaciones previas tienen establecido que la longitud de la interfase es una función del número de Reynolds.

$$\frac{C}{dL}$$

En donde d es el diámetro del tubo.

La relación entre longitud de interfase y distancia recorrida, para una velocidad constante de flujo, es $C \propto L^{0.5}$ que es, $C^2/L = \text{constante}$.

Este efecto de reducción relacionada al extendido de la interfase causado por un lento cambio de válvula o un mal manejo.

3.5.7 Zona crítica de transición

Es una zona comprendida entre un régimen de flujo de 2000 y 4000 número de Reynolds. La longitud de interfase incrementa rápidamente con un pequeño decrecimiento en el número de Reynolds.

3.6 PREDICCIÓN DEL TAMAÑO DE LA CONTAMINACIÓN

Se observa que la contaminación ocurre por la mezcla de los productos en la interfase, allí es muy importante tener en cuenta los fenómenos de difusión: uno de ellos es la difusión molecular en la dirección axial que se origina por un gradiente de concentraciones, la cual se incrementa de manera rápida a medida que se desarrolla el gradiente de velocidad radial y otro es el transporte convectivo que se presenta por el movimiento de los fluidos.

Muchos investigadores emplean técnicas de trazadores para medir el coeficiente efectivo de difusión entre dos líquidos que se desplazan en un tubo en condiciones de flujo turbulento, por ser este régimen de flujo el más frecuente en poliductos; uno de los estudios más interesantes es el publicado por HULL Y KENT quienes introducen trazadores radiactivos dentro de un poliducto y usan estaciones con contadores Geiger a lo largo de la línea para medir la concentración de trazador que pasa por el lugar.

Muchos estudios de laboratorio y a escala industrial, coinciden en que se debe elegir el número de Reynolds de una mezcla 50/50 de los dos productos consecutivos como una variable de referencia para relacionar la longitud de tubería contaminada y la distancia recorrida.

Siempre se debe tener presente que estas fórmulas solo permiten obtener aproximaciones, en algunas ocasiones bastantes alejadas de la realidad. El efecto de factores que no se pueden expresar de forma cuantitativa, tales como la irregularidad en la tasa de flujo, tipo y número de estaciones de bombeo, instrumentos de medición y calibración, filtros, grado de la tubería y demás accesorios sobre la línea, puede ser el de aumentar de forma significativa el ancho de la contaminación.

3.6.1 Tamaño de la interfase

El tamaño de la interfase se hace grande o pequeña según:

- ❖ longitud y diámetro de la tubería
- ❖ topografía
- ❖ diferencia de gravedad específica entre productos en contacto
- ❖ condiciones de operación: presión, suspensiones del bombeo, descuelgues de línea.

Se presenta dos ejemplos de ecuaciones para calcular el tamaño de la contaminación que pueden ser aplicados a los estudios.

3.6.2 Shaker, N.O & Mansour

Calcule la velocidad superficial de flujo, m/s :

$$v = \frac{Q}{A}$$

Calcula el número de Reynolds, adimensional :

$$Re(B) = \frac{v^* Di}{\nu}$$

Calcule el mínimo número de Reynolds límite para la línea, adimensional:

$$Re(L) = 1 \cdot 10^4 \cdot e^{1.52\sqrt{D_i}}$$

Si $Re(B) > Re(L)$ entonces calcule la longitud de la contaminación, m:

$$TL = 11.75 \cdot [D_i \cdot L_i]^{0.5} \cdot [Re(B)]^{0.1}$$

En caso contrario calcule la longitud de la contaminación como, m:

$$TL = 18.42 \cdot [D_i \cdot L_i]^{0.5} \cdot e^{1.21\sqrt{D_i}} \cdot [Re(B)]^{-0.9}$$

Calcule el volumen de la contaminación, m^3

$$QL = A \cdot TL$$

Calcule el volumen de contaminación, Bbl:

$$QL = \frac{QL}{0.159}$$

Donde:

A	área transversal del tubo, m^2	
D_i	diámetro interior del tubo, m	
L	longitud de la tubería	
QL	volumen de contaminación, m^3	
Q	tasa de flujo, m^3/h	
Re (B)	Numero de Reynolds de la interfase contaminada,	adimensional
Re (L)	Número de reynolds límite, adimensional	
TL	longitud contaminada, m	
v	velocidad superficial de flujo, m/s	
ν	viscosidad cinemática de la mezcla 50/50, m^2/s	

3.6.3 Hara, Atsushi

Calcule la velocidad superficial de flujo, m/s

$$v = \frac{Q}{A}$$

Calcule el número de Reynolds, adimensional:

$$Re = \frac{v \cdot D_i}{\nu}$$

Calcular el coeficiente de dispersión longitudinal

$$D = v * Di * (0.53093 - 0.04468 * (Re * 10^{-4}) + 0.00145 * (Re * 10^{-4})^2)$$

Calcular la longitud de la contaminación, m:

$$S = 6.581 * \sqrt{Li} * \sqrt{D} / v$$

Calcular el volumen de contaminación, Bls:

Donde:

A	área transversal del tubo, m ²
Di	diámetro interior del tubo, m
Li	longitud de la tubería, m
QL	volumen de contaminación, bls
Q	tasa de flujo, m ³ /h
Re	número de Reynolds de la interfase contaminada, adimensional
S	Longitud contaminada, m
v	velocidad superficial de flujo, m/s
ν	viscosidad cinemática de la mezcla 50/50, m ² /s

3.6.4 Control del tamaño de la interfase

El tamaño del volumen de contaminante se puede reducir si se tiene en cuenta las siguientes recomendaciones de diseño:

Seleccionar el diámetro de tubo de tal manera que la condición de flujo turbulento se puede mantener durante todo el bombeo y para todos productos.

- Planear un sistema de tubo simple y en línea recta, muchas vueltas y codos aumentan el ancho de la contaminación.
- Diseñar líneas cerradas con las mínimas estaciones de bombeo para la operación y una de ellas dentro de succión, adyacente a los tanques donde se almacena el producto a transportar.

- Evitar los tanques de techo flotante, allí se presenta mayores pérdidas de producto por los fenómenos de evaporación y “overflow”.
Se debe tener un adecuado control automático para proteger los equipos contra excesivas presiones y desfavorables condiciones de flujo en la línea.
- Las líneas que cruzan bombas, trampas de raspadores, ayudas de tanques, deben ser lo más hidrodinámicas posibles y las cerraduras para futuras conexiones y puntos muertos deben ser mínimas.

3.7 DETERMINACIÓN TAMAÑO OPTIMOS DE BACHES

Dependiendo de cada uno de los sistemas por donde desplazan los productos, los baches tienen unos mínimos y unos máximos: el mínimo lo determina el efecto calidad y las interfaces, las condiciones hidráulicas y los tiempos de llegada de los productos. El máximo lo determina el cupo de recibo en cada estación de acuerdo con la demanda real y la capacidad de almacenamiento.

Entre más grande sea el tamaño de los baches de producto menor será la cantidad de producto a reprocesar, no debido a la reducción en el tamaño de las interfases, si no por el manejo de menor cantidad de interfases. Sin embargo la programación de los baches de productos depende de la demanda de estos productos y de la capacidad de almacenamiento en las estaciones de recibo

El tamaño norma, esta dada por tamaño máximo y tamaño mínimo. Las variables a tener en cuenta son:”

1. consumos del área
2. capacidad de almacenamiento
3. ciclo de bombeo

En ECOPETROL hay que tener un control sobre las variables como el monitoreo diario de las variables, las estadísticas del comportamiento de los productos en el transporte, y la proyección de entrega a los clientes y por último asegurar la calidad de entrega del producto en el punto inicial

Es importante mantener el número de ciclos al mínimo para evitar mayor número de interfases de diferentes productos.

La capacidad de un producto para mezclarse podrá determinar longitud mínima del bache. El manejo de las interfases de productos se hace crítico en los sistemas debido al tamaño reducido de algunos tanques de almacenamiento y el gran tamaño de las interfases

3.8 MANEJO DE INTERFASES Y PRODUCTOS NO CONFORMES

Los productos contaminados son llevados a los tanques estos no son disponibles para los consumidores, el producto de la interfase, por consiguiente será entregado para ser mezclado con la base del producto. La capacidad de un producto para mezclarse con productos sucesivos determina el orden de los baches; la cantidad que puede ser mezclada podrá determinar la longitud mínima del bache.

Los productos que se encuentran fuera de especificaciones requieren de un tratamiento especial, se hace el respectivo cálculo de mezclas para arreglar el tanque.

3.8.1 Métodos de Reprocesamiento de interfases

Si se encuentra que un producto se degrada por contaminación de productos adyacentes el producto debe ser reprocesado, lo que implica altos costos; sin embargo el operador tiene la oportunidad de mezclar el producto de la interfase con los productos adyacentes hasta los límites establecidos por las restricciones de calidad. Las interfases entre MTBE/ Diesel-Diesel/ Gasolina Y Jet/ Gasolina generalmente requieren de un reprocesamiento.

Además de la formación de las interfases entre productos adyacentes, el uso de líneas de crudo para transporte de destilados implica incremento en el contenido de azufre y el deterioro de color de los productos.

En caso de no haber correcta detección de interfases implica generalmente la degradación de un tanque. Las interfases de Gasolina-Gasolina y Diesel- Diesel son enviadas a los tanques de Gasolina y Diesel de baja calidad respectivamente, pero la interfase Diesel- Gasolina la envían a un tanque de relevo y el producto posteriormente es enviado a la refinería y es mezclado con el crudo para su destilación respectiva.

3.8.2 Metodología de la inyección de relevo.

Segregación de productos al tanque de relevo.

Homogenización del tanque de relevo

Programación y planeación

Criterio de dosificación

3.9 CÁLCULOS DE PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE MEZCLA

3.9.1 Definición de mezcla

La mezcla consiste en reunir dos o más productos en proporciones tales que la mezcla final tengan ciertas propiedades o calidades deseables que no poseen los productos componentes individualmente. Aunque la mezcla tiene mucho de arte y ciencia, los procedimientos matemáticos le permiten al refinador predecir en muchas ocasiones con exactitud aceptable las proporciones de los componentes que dan la calidad deseada en el producto terminado. Se evita así el procedimiento de prueba y error.

3.9.2 Concepto de mezclado lineal

Existen muchas propiedades de los hidrocarburos que mezclan linealmente por volumen o por fracción volumétrica. Hay otras que también mezclan linealmente usando fracciones por peso o molares.

Para clarificar estos conceptos tomemos un ejemplo:

Componente	volumen_Bls	densidad
A	Va	Qa
B	Vb	Qb

Volumen de la mezcla	$V_m = V_a + V_b$
----------------------	-------------------

Peso de la mezcla	$P_m = V_a Q_a + V_b Q_b$
Densidad de la mezcla	$Q_m = (V_a Q_a + V_b Q_b) / (v_a + v_b)$ $Q_m = \underline{V_a} Q_a + \underline{v_b} Q_b$; $Q_m = X_a Q_a + X_b Q_b$ con $X_a + X_b = 1$

Y siendo la X la fracción volumétrica o sea como participa cada componente en la mezcla.

Las ecuaciones generales que rigen el mezclado lineal se resumen así:

Con base en volumen:

$X_1 Q_1 + X_2 Q_2 + X_3 Q_3 + \dots + X_n Q_n = Q_m$
$V_1 Q_1 + V_2 Q_2 + V_3 Q_3 + \dots + V_n Q_n = V_m Q_m$
$X_1 (Q_1 - Q_m) + X_2 (Q_2 - Q_m) + X_3 (Q_3 - Q_m) + \dots + X_n (Q_n - Q_m) = 0$
$V_1 (Q_1 - Q_m) + V_2 (Q_2 - Q_m) + V_3 (Q_3 - Q_m) + \dots + V_n (Q_n - Q_m) = 0$

Con base en peso:

$(X_1 S_1) Q_1 + V_2 (X_2 - S_2) + (X_3 S_3) Q_3 + \dots + V_n (Q_n - Q_m) = 0$

Con base Molar:

$\frac{X_1 S_1}{M_1} Q_1 + \frac{X_2 S_2}{M_2} Q_2 + \frac{X_3 S_3}{M_3} Q_3 + \dots + \frac{X_n S_n}{M_n} Q_n = \frac{S_m Q_m}{M_m}$

Ecuaciones auxiliares

$V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n = V_m$				
$X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n = 1$				
$\frac{X_1 S_1}{M_1} + \frac{X_2 S_2}{M_2} + \frac{X_3 S_3}{M_3} + \dots + \frac{X_n S_n}{M_n} Q_n = \frac{S_m Q_m}{M_n}$				
M_1	M_2	M_3	M_n	M_n

En donde:

M_i = peso molecular del componente i

M_n = peso molecular de la mezcla

Q_i = calidad del componente i

Q_m = calidad de mezcla

S_i = Gravedad específica de la mezcla

S_m = gravedad específica de la mezcla

V_i = volumen del componente i

V_m = volumen de la mezcla

X_i = fracción volumétrica del componente i.

3.9.3 Concepto de mezcla no lineal

Hay muchas calidades que no mezclan linealmente.

La calidad de cualquier mezcla de los dos componentes A y B esta sobre una línea que une Q_A y Q_B

Sobre una recta si la calidad mezcla linealmente ó sobre una curva si la calidad no mezcla linealmente. Para que este último caso, las calidades se convierten a una calidad

ajustada llamada "Número o índice de mezcla ", el cual puede mezclarse linealmente por volumen. Por ejemplo, la medida de gravedad en el laboratorio se expresa en ° API y estos no mezclan linealmente, pero si lo hace la gravedad específica. Por lo tanto buscamos las gravedades específicas correspondientes a las densidades y las utilizamos en nuestros cálculos como si se tratase de una mezcla lineal.

Las ecuaciones que rigen la mezcla no lineal son:

$$X_1 F_1 Q_1 + X_2 F_2 Q_2 + X_3 F_3 Q_3 + \dots + X_n F_n Q_n = F_m Q_m$$

Con F_1 : factor de mezcla del componente i

F_m = factor de mezcla de la mezcla total

X_1 = fracción volumétrica del componente i

3.9.4 Concepto de calidad- volumen o calidad- barril

La calidad de una mezcla, Q_m , es una función de las calidades de los componentes y de sus volúmenes o fracciones volumétricas. En realidad, la relación de mezcla no es otra cosa que un balance de calidad – volumen o de calidad – barril. Veamos la ecuación:

$$V_m Q_m = V_a Q_a + V_b Q_b$$

En ella se observa que calidad – barril de la mezcla ($V_m Q_m$) es igual a la suma de calidad- barril de los componentes A y B ($V_a Q_a + V_b Q_b$).

De la misma manera como se manejan los principios de conservación de masa y los volúmenes aditivos para mezclas de hidrocarburos, la conservación de calidad-barriles es igualmente valedera para calidades que mezclan linealmente.

3.9.5 Concepto de corrector

Un corrector es un componente, que posee un exceso de calidad con relación a un nivel objetivo de calidad. Tal componente puede adicionarse a otros componentes o mezclas que tengan deficiencia en calidad para producir una nueva mezcla que cumpla con la calidad objetivo. En general, cualquier componente cuya calidad sea mejor que el objetivo, se denomina corrector

3.9.6 Gravedad ° API

Aplicamos la ecuación:

$Q_m = X_1 Q_1 + X_2 Q_2$, con Q como G.S y X fracción volumétrica.

3.9.7 Viscosidad

La viscosidad reportada en CST a 100 ° F debe ser convertida a S °SU a 100° F a fin de poder asignar los respectivos "VBN".

Planteando las siguientes ecuaciones:

$$X_1 F_1 Q_1 + X_2 F_2 Q_2 = F_m Q_m$$

$$X_1 F_1 + X_2 F_2 = F_m$$

3.9.8 Punto de fluidez

Se calcula con ayuda de la tabla anexo No 5 (columna destilados)

Se calcula la ecuación:

$$X_1 F_1 + X_2 F_2 = F_m$$

Y luego la ecuación:

$$X_1 F_1 Q_1 + X_2 F_2 Q_2 = F_m Q_m$$

3.9.9 Color ASTM

El color mezcla aproximadamente de manera lineal. En consecuencia se puede plantear la siguiente ecuación:

$$X_1 Q_1 + X_2 Q_2 = Q_m, \text{ con } Q = \text{color}$$

3.9.10 Chispa o punto de inflamación

Este parámetro no mezcla linealmente por lo que se hace necesario utilizar los factores de linealización en base molar.

3.10 PROPIEDADES DE LOS LÍQUIDOS

Un líquido está formado por moléculas que están en movimiento constante y desordenado, y cada una de ellas choca miles de millones de veces en un lapso muy pequeño. Pero, las intensas fuerzas de atracción entre cada molécula, o enlaces de hidrogeno llamados dipolo-dipolo, eluden el movimiento libre, además de producir una cercanía menor que en la que existe en un gas entre sus moléculas. Además de esto, los líquidos presentan características que los colocan entre el estado gaseoso completamente caótico y desordenado, y por otra parte al estado sólido de un liquido (congelado) se le llama ordenado. Por lo tanto podemos mencionar los tres estados del agua (liquido universal), sólido, gaseoso y liquido.

3.10.1 Volumen

En un liquido, las fuerzas de atracción son suficientemente agudas para limitar a las moléculas en su movimiento dentro de un volumen definido, a pesar de esto las moléculas no pueden guardar un estado fijo, es decir que las moléculas del líquido no permanecen en una sola posición. De tal forma que las moléculas, dentro de los límites del volumen del líquido, tienen la libertad de moverse unas alrededor de otras, a causa de esto, permiten que fluyan los líquidos. Aún cuando, los líquidos poseen un volumen definido,

pero, debido a su capacidad para fluir, su forma depende del contorno del recipiente que los contiene.

El volumen es definido como el espacio ocupado por unidad de masa. En la Industria petrolera es acostumbrado a medir el volumen en galones o barriles. Un barril equivale a 42 galones. el volumen de un líquido contenido entre dos válvulas en una tubería puede ser calculado conociendo el diámetro interno del tubo y la longitud entre los dos puntos.

Para calcular el volumen total en una tubería se utiliza la siguiente ecuación:

Donde:

$$\text{Volumen de llenado: } 5.129 L (D)^2$$

D= diámetro interno del tubo, pulgadas (in)

L= longitud del tubo, millas

3.10.2 Densidad

La densidad de un líquido es definida como la masa por unidad de volumen. Cuando incrementa la temperatura de un líquido su densidad decrece similarmente ocurre con una reducción de temperatura, el volumen del líquido decrece y la densidad incrementa.

3.10.3 Gravedad específica

La gravedad específica de un líquido es la relación de la densidad con la densidad del agua a la misma temperatura. Siendo que la gravedad del agua es 1.00.

$$\text{Gravedad específica: } 141.5/(131.5+API)$$

En la industria Petrolera es acostumbrado a usar la unidad API para gravedad. La Gravedad API es una scala de laboratorio que compara la densidad de un líquido con la densidad del agua a 60° F.

3.10.4 Viscosidad

Algunos líquidos, literalmente fluyen lentamente, mientras que otros fluyen con facilidad, la resistencia a fluir se conoce con el nombre de viscosidad. Si existe una mayor viscosidad, el líquido fluye más lentamente. Los líquidos como la maleza y el aceite de los motores son relativamente viscosos; el agua y los líquidos orgánicos.

La viscosidad cinemática es definida como la velocidad absoluta de un líquido dividida por la densidad a una misma temperatura.

$$V = \mu / \rho$$

Donde:

V = viscosidad cinemática

μ = viscosidad absoluta

ρ = densidad

3.10.5 Presión de vapor

La presión de vapor de un líquido es definida como la presión a una temperatura dada el cual el líquido y vapor existe un equilibrio. El punto de ebullición normal de un líquido puede ser definido como la temperatura al cual el vapor de presión es igual a la presión de la atmósfera. La presión de vapor de un líquido incrementa con la temperatura.

3.10.6 Difusión

Al realizar la mezcla de dos líquidos, las moléculas de uno de ellos se difunde en todas las moléculas del otro líquido a mucho menor velocidad, cosa que en los gases no sucede. Sí deseamos ver la difusión de dos líquidos, se puede observar dejando caer una pequeña cantidad de tinta (china) en un poco de agua. Debido a que las moléculas en ambos líquidos están muy cerca, cada molécula conlleva una inmensidad de choques antes de alejarse, puede decirse que millones de choques. La distancia promedio que se

genera en los choques se le llama trayectoria libre media y, en los gases es más grande que en los líquidos, cabe señalar que esto sucede cuando las moléculas están bastante separadas. A pesar de lo que se menciona anteriormente hay constantes interrupciones en sus trayectorias moleculares, por lo que los líquidos se difunden mucho más lentamente que los gases.

3.10.7 Comprensión y expansión

A los líquidos se les considera incomprensibles debido que dentro de ellos existen fuerzas extremas que entre sus moléculas las cuales se atraen, por otra parte cuando a un líquido se le aplica una presión su volumen no se ve afectado en gran cantidad, ya que sus moléculas tienen poco espacio entre sí; por otra parte si aplicamos un cambio de temperatura a un líquido su volumen no sufrirá cambios considerables. Cabe señalar que cuando las moléculas de un líquido están en continuo aumento de movimiento es por causa del aumento de alguna temperatura que esté experimentando el mismo lo cual inclina al líquido a aumentar la distancia de sus moléculas, a pesar de esto las fuerzas de atracción que existen en el líquido se oponen a ese distanciamiento de sus moléculas.

3.10.8 Tensión superficial

En un líquido, cada molécula se desplaza siempre bajo influencia de sus moléculas vecinas. Una molécula cerca del centro del líquido, experimenta el efecto de que sus vecinas la atraen casi en la misma magnitud en todas direcciones. Sin embargo, una molécula en la superficie del líquido no está completamente rodeado por otras y, como resultado, solo experimenta la atracción de aquellas moléculas que están por abajo y a los lados. Por lo tanto la tensión superficial actúa en un líquido perpendicular a cualquier línea de 1cm de longitud en la superficie del mismo. Para la tensión superficial tenemos lo siguiente:

$$\gamma = \frac{(r)(h)(g)(\rho)}{2 \cos \theta}$$

Donde:

- r = Radio del tubo capilar.

- **h** = Altura medida desde el nivel del líquido en el tubo de ensaye, hasta el nivel del líquido en el tubo capilar.
- **g** = Aceleración de la gravedad.
- **θ** = Angulo de contacto en el liquido con las paredes del tubo capilar.
- **γ** = Tensión superficial.

Para los líquidos que mojan el vidrio, su ángulo de contacto se supone a 0°, y sacando el (cos 0°) es 1, por lo que la ecuación anterior se reduce a:

$$\gamma = \frac{1}{2}(r)(h)(\Delta\rho)(g)$$

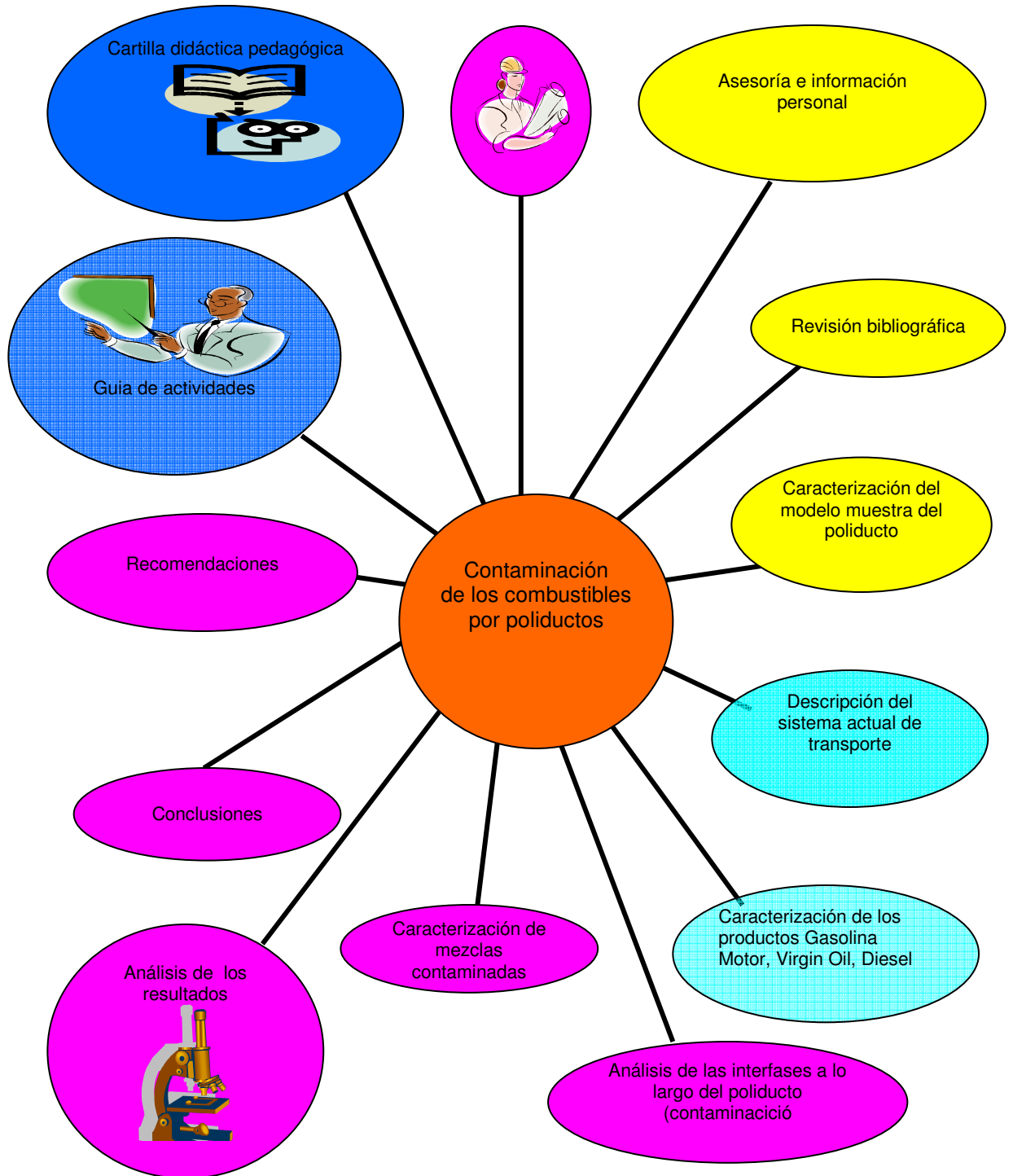
Donde:

Δ ρ = Es la diferencia de densidades que existe en el líquido y su vapor.

4. METODOLOGIA

La metodología a utilizar en esta monografía busca mostrar la problemática de la contaminación que sufren los combustibles Gasolina Motor y Diesel en el proceso de transporte por poliductos, para lo cual descrito el problema e interpretado el mismo se recogió toda la información al respecto, se hizo una revisión bibliográfica, se uso un modelo característico de un poliducto real y descripción de modo como es su operacionalidad y trabajo de transporte. Posteriormente se hizo al análisis minucioso y detallado de las interfases durante su trayecto de una estación a otra que se presentan en el transporte de dichos productos. A continuación se hicieron los estudios de caracterización fisicoquímicas de muestras de las posibles mezclas de productos Gasolina Motor-Virgin Oil-Diesel, con base en lo anterior se sacaron las conclusiones del trabajo de investigación; después se recomienda algunos aspectos a tener en cuenta para un mejor manejo.

Diagrama 8. Representación de la Metodología del trabajo sobre la problemática alrededor del transporte por poliductos



4.1 DESCRIPCIÓN DEL MUESTREO

Se realizó el seguimiento a un ciclo característico de transporte de productos a través del poliducto que parte de la estación de Sebastopol a Yumbo, la línea cuenta con las siguientes características: dentro de su trayecto están ubicadas las estaciones Sebstopol – Medellín – y Medellín – Cartago- Yumbo. Tiene una longitud total de 557.116 Kilómetros y la máxima altitud que sobrepasa es el alto de la Romelia con 2380 metros sobre el nivel del mar en el kilómetro 177.71.

4.1.1 Delimitación del estudio

El estudio monográfico se llevará a cabo en la empresa Colombiana de Petróleos ECOPETROL situada en la Cra 7 No 39, en la Vicepresidencia de Transporte cuyo objetivo principal cumplimiento del pronóstico de las demandas para mantener un buen nivel de inventarios de todos los productos en todos los centros de consumo, consiguiendo un equilibrio y la satisfacción de nuestro clientes.

Este estudio cualitativo es de carácter monográfico ya que pretende mostrar la problemática actual que tienen los productos Gasolina Motor y Diesel en el proceso de transporte.

4.1.2 Diseño de los instrumentos para la recolección de datos

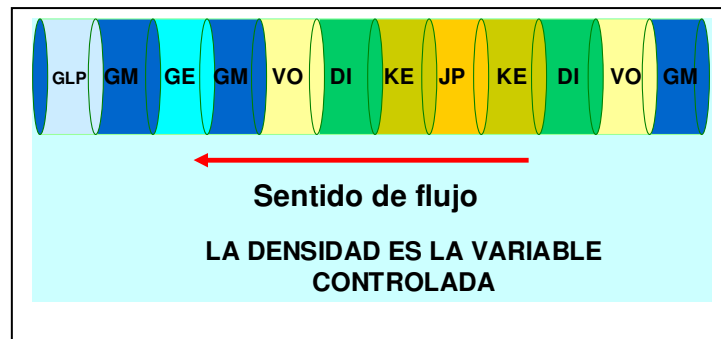
- Utilización del sistema SCADA como herramienta para observar los cambios en la interfase a lo largo del poliducto y para predecir el momento de corte en la densidad de la interfase.
- Estudios hechos en el Instituto Colombiano del Petróleo sobre la caracterización de propiedades de las posibles mezclas de los productos en el proceso de transporte por poliducto.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación se presentan los resultados y análisis acerca de la monografía obtenidos con los instrumentos descritos anteriormente.

Ciclo de bombeo característico del poliducto sebastopol Yumbo

Gráfica 1. Bombeo de transporte por los poliductos



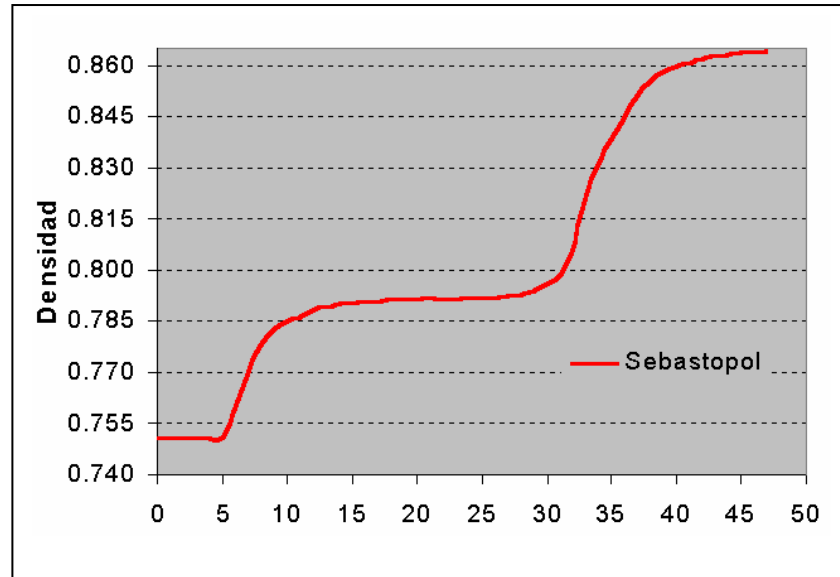
- Productos livianos
- Productos medios
- Producto de separación de livianos y medios

El gráfico 1. Muestra la descripción general del esquema actual de transporte de productos por poliductos.

El orden de estos volúmenes se debe a que los baches deben ser enviados por la tubería conformando una mezcla mínima entre productos adyacentes, ya que esta mezcla es inevitable. La teoría nos indica que el bacheo de productos debe ser de forma turbulenta, con velocidades suficientemente altas para asegurar el número de Reynolds mayor a 4000, si en flujo laminar es menor de 2000, los productos bacheados experimentan mezcla, por lo tanto hay contaminación o degradación de producto los baches deben ser enviados en condiciones de empaquetados para evitar contaminación o mezcla de baches en tubería

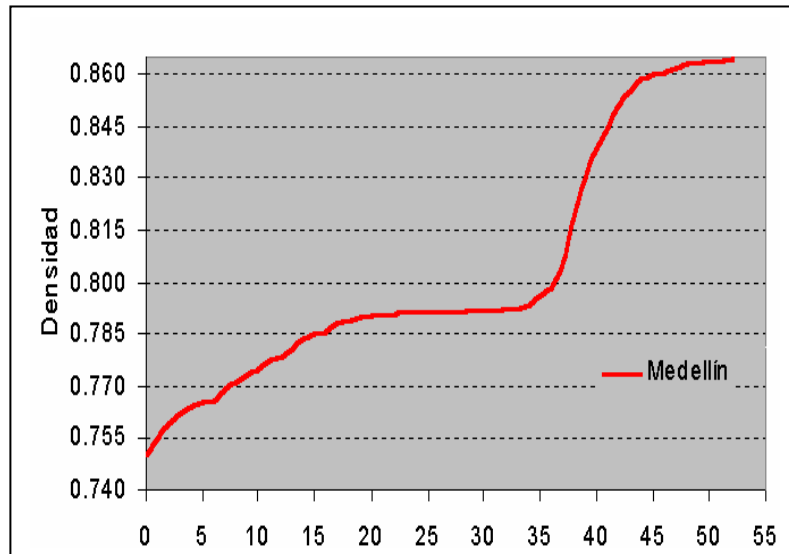
4.1 resultados y análisis de las interfases a lo largo del poliducto

Gráfica 1.densidad vs tiempo
Interfase
57-58-59 (GM-VO-DI)
Sebastopol



En la grafica 1 se observa el inicio de la contaminación de los productos Gasolina Motor, Virgin Oil, Diesel cuando son transportados por el poliducto de Sebastopol. También se puede apreciar el comportamiento de los productos según sus densidades, empieza con una densidad constante hasta los primeros cinco minutos, después empieza a aparecer la cuña separadora con una duración aproximada de 40 minutos en el recorrido y ya en el minuto cuarenta y cinco ya empieza a haber Diesel. Según la teoría el inicio de la interfase no es tan significativa como lo será al final, ya que el hasta ahora los productos están sufriendo el contacto y por esta razón en esta primera gráfica se puede observar los tres productos presentando continuidad en la densidad.

**Gráfica 2. Densidad vs tiempo
Interfase
57-58-59 (GM-VO-DI)
Medellín**



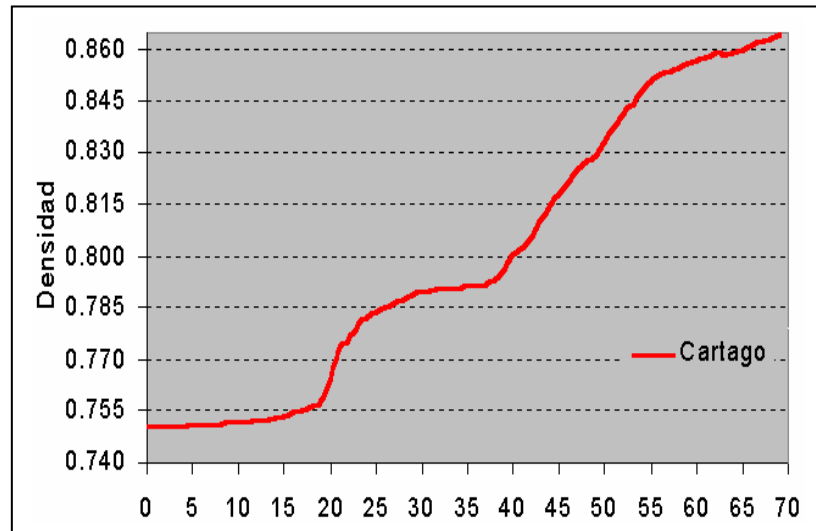
En la gráfica 2 se puede observar la mezcla de productos especialmente la Gasolina Motor con el Virgin Oil ya casi perdiéndose continuidad de la densidad inicial, cosa que no ocurrió en la grafica 1 en donde se puede observar la densidad de cada uno especificando el producto en la interfase; en cambio en esta gráfica ya se empieza a ver el efecto de contacto que sufren los productos a ser transportados por una misma tubería debido a que han recorrido más distancia y a mayor distancia mayor longitud de interfase. Teóricamente la mezcla de dos productos adyacentes es considerado como un fenómeno de difusión en donde se tiene en cuenta las condiciones operacionales de la zona. Esto se puede vivenciar en la realidad puesto que este recorrido se caracteriza por ser el más largo y con mayores cambios de topografía, esta estación se encuentra a 163 kilómetros sobre el total de 557 kilómetros de longitud; según los antecedentes se puede corroborar en hecho los aspectos que pueden influir en este incremento de la contaminación tales como inclinación del terreno, variaciones en el caudal cambios de diámetro en la tubería y paradas de bombeo.

Si observamos el mapa del anexo 1, esta estación se encuentra en la parte occidental del macizo colombiano y muy probablemente estas condiciones operacionales del terreno influirán en el crecimiento de la contaminación.

Otro factor a tener en cuenta es la duración en la interfase, según la gráfica tiene una duración de 50 minutos, es obvio ya que a aumentado en distancia de la estación inicial a esta, además teóricamente esta considerado como un factor que afecta la longitud de la interfase.

Según los antecedentes en donde se habla del efecto de la inclinación se dice que la difusión molecular es tan baja que se requieren tiempos de contacto muy grandes para lograr una completa difusión molecular, comparado con lo experimental solo una parte del producto es el que se mezcla ya que se siguen viendo los cambios de composición a lo largo de la tubería.

Gráfica 3. Densidad vs tiempo
Interfase
57-58-59 (GM-VO-DI)
Cartago



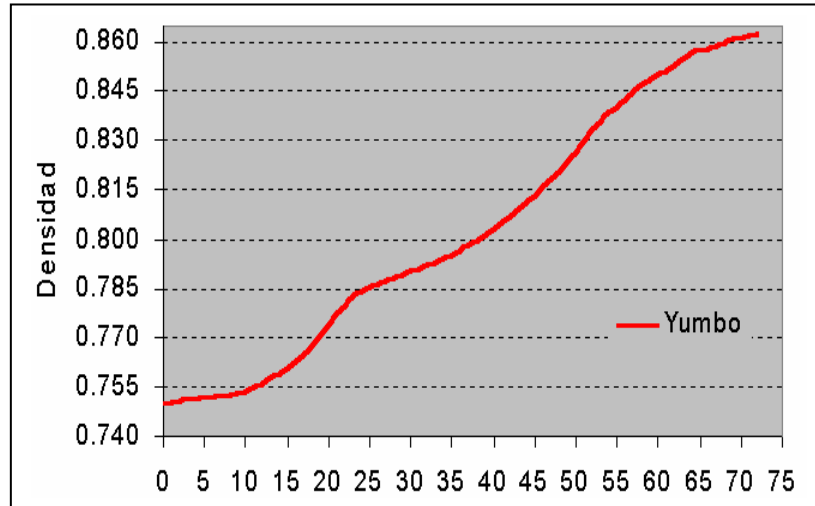
En la grafica 3 se observa que aún cuando el tiempo ha sido mayor que las anteriores se siguen observando los cambios de densidad, aunque en esta instancia de la interfase se puede vivenciar que los productos tratan de volver a su estado inicial visto en la gráfica 1 en donde se ven las densidades de los productos más caracterizadas, esto se debe a que las estaciones de Cartago y Yumbo no se presenta un incremento sustancial en el ancho de la contaminación como consecuencia del manejo operacional; la información reportada en la literatura que en condiciones de flujo turbulento, los diámetros de flujos menores de 10 “ (pulgadas) no tienen efecto aparente sobre el tamaño del contaminante, en los datos experimentales el diámetro de esta tubería al comienzo es de 8.625 in hay cambio en el diámetro en el kilómetro 167 del total de recorrido a un diámetro de 6.625 in.

En esta interfase los productos van siempre en subida lo que significa que el tamaño de la contaminación se va a incrementar a medida que avanza por el tender ya que va a tener efectos por la altura como lo son el efecto de la inclinación en la difusión en donde se dice que cuando hay una inclinación, la fuerza de gravedad actúa y hace que el producto pesado pase a ocupar la parte inferior del sistema y el liviano pase a ocupar el sector superior llamado fenómeno de estratificación, esto ocurre solo cuando el producto liviano

se tiene arriba del producto pesado, por esta razón se recomienda que es muy importante mantener el sistema presionado y así aplicar lo que se dice en la teoría entre mayor flujo turbulento menor posibilidad de contacto entre productos.

En este trayecto la interfase tiene que sobrepasar sitios de gran altura sobrepasando los 3000 m sobre el nivel del mar en el kilómetro 120 de todo el recorrido, o sea que en este trayecto es donde se va a incrementar la mayor parte de la contaminación debidos a los efectos dichos anteriormente sumado el paso a través de las instalaciones ya que muchas vueltas y codos aumentan el tamaño de la contaminación; después hay un descenso hasta los 920 m de altura en donde se puede comparar con los estudios que se presentan en los antecedentes de este trabajo que cuando un fluido se introduce dentro del otro, el pesado desciende a través del cuerpo liviano y este último hace lo mismo en sentido ascendente; si el sistema se lleva a la posición horizontal de una **forma lenta** no se consigue la condición inicial de tener el pesado abajo y el liviano arriba lo que demuestra que el mezclado entre ellos es irreversible, si lo comparamos con nuestro sistema como lo dice en negrilla, pero en nuestro caso se da en forma rápida y se da por el efecto de la gravedad esto hace que el efecto sobre el tamaño va a ser mínimo, esto pasaría muy probablemente si hay paradas en el sistema.

**Grafica 4.Densidad vs tiempo
Interfase
57-58-59 (GM-VO-DI)
Yumbo**



En la gráfica 4, se observa discontinuidad en las densidades de los productos, comparada con las gráficas anteriores esta es la que presenta mayor discontinuidad en razón a que es la última estación de todo el recorrido, la teoría nos dice que la interfase se incrementa con la distancia recorrida.

A pesar que en este tramo la tubería no pasa por lugares de gran altura, la contaminación que se da es debido al trayecto que ha recorrido.

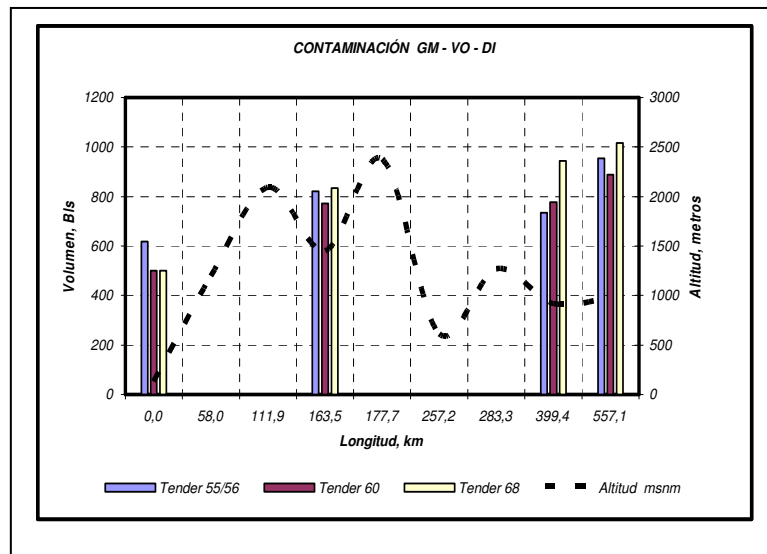
En este recorrido se espera que el volumen de la contaminación no incremente ya que en este trayecto no hay muchas variaciones en la topografía y si el sistema se mantiene bajo las condiciones operacionales óptimas, teóricamente cuando el tubo esta en posición horizontal y sometido a presiones se observa que el producto pesado se desplaza por debajo del liviano y de manera simultanea el menos denso se mueve sobre e cuerpo del más denso, ocurriendo una estratificación

Esta gráfica también nos permite apreciar el comportamiento de los productos cuando están llegando a su destino final, primero se observa que se han mezclado completamente los tres productos, segundo la interfase se aumento en tiempo. En teoría la composición de la interfase aumenta a medida que aumenta la distancia recorrida,

aunque aquí no se muestra la distancia recorrida se supone que son estaciones que aparecen lo largo del poliducto.

Teniendo en cuenta las condiciones hidráulicas por donde pasaron los productos, para este poliducto existió variabilidad en cada una de las estaciones debido a que este poliducto pasa por cordilleras de nuestro país, incrementándose más la interfase y por esta razón se ve un aumento en la composición de la interfase, no es lo mismo tener un poliducto en línea recta que un poliducto donde hayan bajadas y subidas durante todo el recorrido, además en la teoría nos dice que el resultado de la mezcla puede ser formado en considerables cantidades, dependiendo del flujo de rata (volumen por unidad de tiempo) y la longitud de la tubería.

Gráfica 5. Variación del tamaño de la interfase en el trayecto Sebastopol – Yumbo

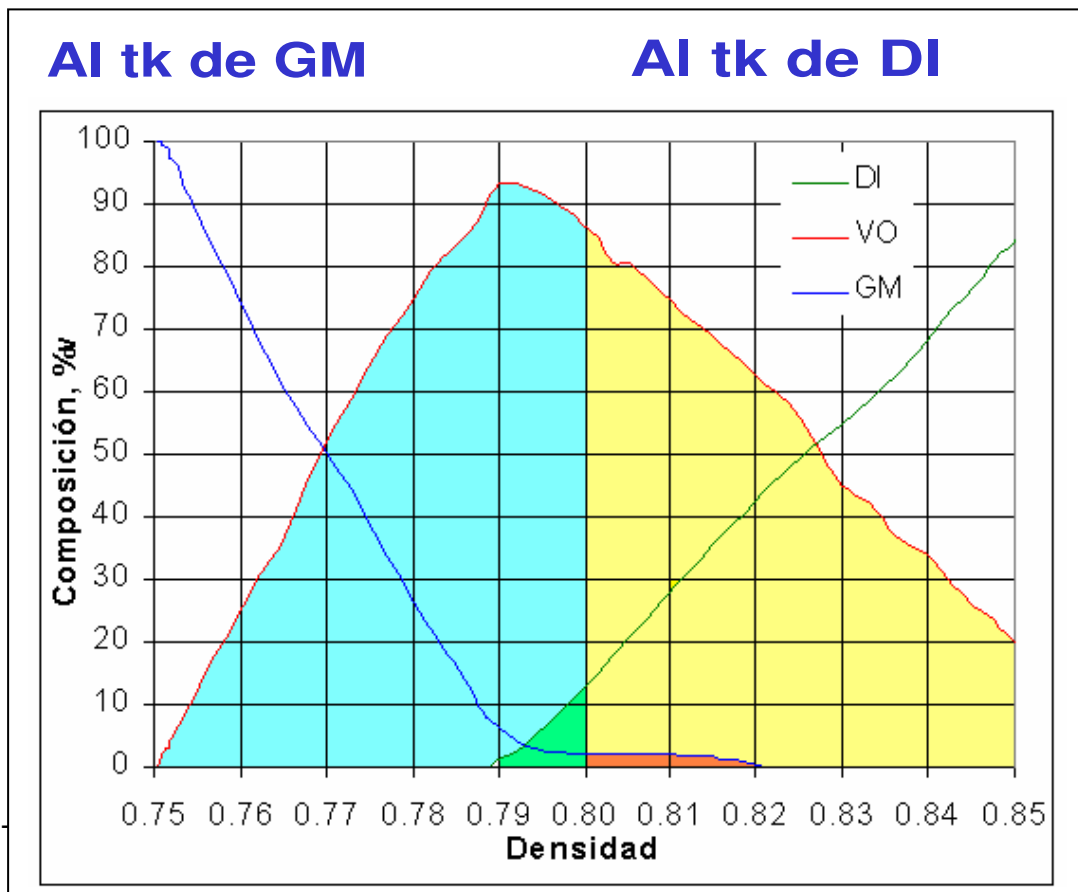


La gráfica. 5 nos muestra un resumen estadístico de los volúmenes a lo largo del poliducto vs la distancia recorrida. Observamos que el 50% de la interfase se presenta en la primera cuarta parte del recorrido.

El volumen de la interfase llega a los 1230 Bls (incremento del 142%)

Al final del recorrido es que se ve que el volumen de la contaminación a aumentado sustancialmente. también se observa que este gráfico muestra tres variables que son el tamaño de la contaminación Vs las distancia recorrida Vs la altitud sobre el nivel del mar, claramente se ve que la GM es el producto más contaminado.

Gráfica 6 Volúmenes necesarios para la neutralización de los productos que conforman la interfase



La gráfica 6, nos muestra la composición vs la densidad del producto, la densidad de la Gasolina Motor es de 0.75 g/cc y la del Diesel es de 0.85 g/cc en estos puntos vamos a obtener el mayor porcentaje de composición de los productos. A medida que el producto se aleja de su densidad característica, su composición cambia.

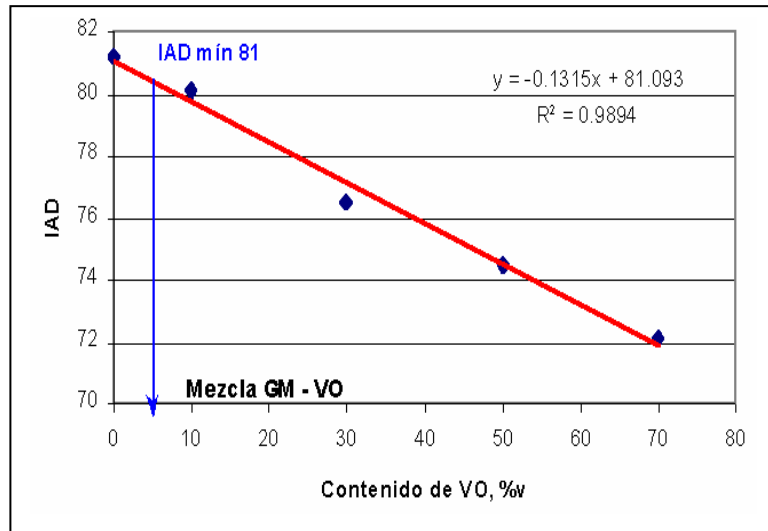
Tabla 9. Especificaciones de calidad de los productos Gasolina Motor y Diesel

Especificaciones de calidad de los productos Gasolina Motor y Diesel		
PROPIEDAD	GM	DIESEL
IAD	81 mínimo	
PFE	225 máximo	
Presión de Vapor	52	
Gravedad		
Punto de inflamación		51 mínimo
Índice de cetano		45 mínimo
Gravedad		

4.2 Resultados y Análisis de la Caracterización de Mezclas

Para la caracterización de mezclas se utilizaron los siguientes muestreos y análisis de laboratorio.

Grafica 8. Criterios de calidad para la Gasolina motor e índice antidetonante



La gráfica No 8. Muestra la adición de Virgin Oil en la mezcla Vs el Índice Antidetonante de de la Gasolina Motor.

Se observa que a medida que el contenido de Virgin Oil aumenta en la mezcla su índice antidetonante disminuye.

Según las Normas Técnicas Colombianas (ICONTEC) la especificación mínima de la Gasolina Motor en el Índice Antidetonante es de 81 ° C , extrapolarlo la gráfica el contenido máximo de Virgin Oil en la mezcla reduce en 0.7 unidades el IAD de la Gasolina Motor, y por consiguiente obtiene un producto fuera de la especificación Colombiana.

Gráfica 9. Criterios de calidad para la Gasolina motor – pfe pfe de mezclas gasolina motor y diesel

		PUNTO FINAL DE EBULLICION ESPERADO, °C																								
		201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225
PUNTO FINAL DE EBULLICION INICIAL, °C	200	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25
	201	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20
	202		0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	1.05	1.10	1.15
	203			0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	1.05	1.10
	204				0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	1.05
	205					0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
	206						0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95
	207							0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90
	208								0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85
	209									0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80
	210										0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
	211											0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70
	212												0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65
	213													0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
	214														0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55
	215															0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
	216																0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45
	217																	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40
	218																		0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35
	219																			0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
	220																				0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
	221																					0.00	0.05	0.10	0.15	0.20
	222																						0.00	0.05	0.10	0.15
	223																							0.00	0.05	0.10
	224																								0.00	0.05
225																									0.00	

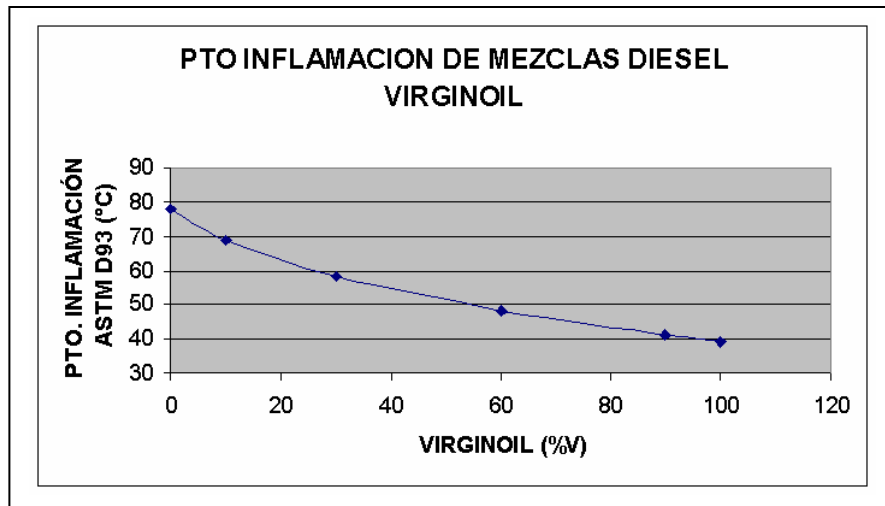
En la grafica No 9 vemos la incidencia que tiene la adición de Diesel a una mezcla de GM-DI.

En esta prueba el PFE inicial de la GM fue de 215 el Punto final de Ebullición esperado de la mezcla es de 225° C relacionando estos dos puntos Punto Inicial y Punto Final nos indica que el contenido máximo de Diesel en la Gasolina Motor es de 0.5% para obtener una Gasolina Motor con punto Final de Ebullición de 215° C.

Los datos representados en la grafica demuestran que el manejo de interfases Diesel Virgin Oil Gasolina Motor, el Punto Final de Ebullición de la Gasolina Motor esta por fuera de especificación lo que indica que esta es una variable de alta regulación por lo que debe ejercerse un estricto control de calidad en la refinería y se deberá optimizar el manejo de las interfases.

Este contenido se hace crítico a la hora de determinar el momento de corte de la interfase puesto que solo un 0.5 % de Diesel es aceptado, para volúmenes mayores a 0.5 % el producto esta por fuera de la especificación mínima de Calidad

Gráfica 10. Criterios de calidad para el diesel
Punto de chispa

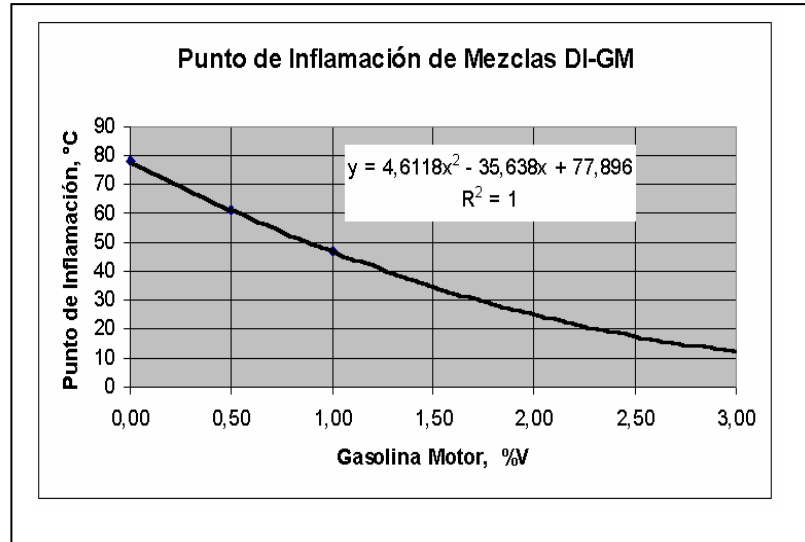


La gráfica 10. Muestra el contenido de Virgin Oil en la mezcla Vs el Punto de Inflamación del Diesel.

En las especificaciones de calidad del Diesel indica que el Punto de Inflamación mínimo es de 51° C interpolando la gráfica el contenido máximo de Virgin Oil en la mezcla es de 45%. De aquí en adelante el producto esta fuera de especificación.

En la teoría el Virgin Oil tiene un punto de inflamación cercano al Diesel, por esta razón el Diesel acepta en más proporción al Virgin Oil

**Gráfica 11. CRITERIOS DE CALIDAD PARA EL DIESEL
PUNTO DE CHISPA**



La gráfica 11. Comprueba que la adición de Diesel en la Gasolina Motor hace disminuir el punto de inflamación. Se observa que a medida que aumenta el volumen de Gasolina Motor en la mezcla su índice de Inflamación disminuye en 10 unidades.

Interpolando la gráfica en la especificación mínima de calidad del Diesel en Punto de Inflamación 51°C nos arroja que el contenido máximo de Gasolina Motor en el Diesel 0.7% en la mezcla.

Este dato es un Punto crítico a la hora de hacer el corte debido a la incidencia que tiene en el Diesel.

En mezclas que tengan más del 0.7 % de Gasolina Motor están por fuera de especificaciones.

Tabla 10. Contenido máximo de contaminantes en la Gasolina motor y el Diesel

	GM	DI
GM máx, %v		0,7
VO máx, %v	5	45
DI máx, %v	0,5	

La tabla No 11 Muestra en resumen los volúmenes máximos en los productos Gasolina Motor y Diesel que pueden contener las mezclas posibles. Las mezclas posibles que pueden darse son: Gasolina Motor y Virgin Oil, Gasolina Motor y Diesel; Diesel y Virgin Oil, Diesel y Gasolina Motor.

Entre la mezcla gasolina Motor y Virgin oil solo el 5 % de Virgin es aceptado por la GM, de aquí para adelante el producto esta fuera de especificaciones, por eso se hace el cálculo correspondiente para determinar como se pueden absorber esta cantidad de contaminante en la GM.el Virgin Oil en la GM afecta la propiedad de **Octanaje**.

Entre la mezcla GM y Di el volumen máximo de Di es del 0.5.% en la mezcla, como en el análisis anterior de aquí en adelante el producto esta por fuera de la especificación, las propiedades que altera en la GM es el **Punto de Ebullición Final y octanaje**.

En la mezcla de Diesel y Virgin Oil el volumen máximo de virgin Oil es el 45%, esto se debe a que el virgin Oil tiene un Punto de Inflamación muy cercano al Diesel, entre más se parezcan en propiedades, mejor va a ser su comportamiento. Sin embargo, la propiedad que afecta principalmente es el **Punto de Inflamación**.

En la mezcla Diesel y Gasolina Motor el volumen máximo aceptado por el diesel es el 0.7 %, la propiedad que afecta en el Diesel es el **Punto de Inflamación**, siendo crítico para la mezcla.

La caracterización de estas mezclas se hicieron debido a que las propiedades más representativas en la calidad de estos productos son las que fueron tomadas.

**VOLUMEN REQUERIDO
PARA NEUTRALIZAR**

	GM	DI
0,8573	45241	0
0,8442	31436	91
0,8203	19537	1168
0,7939	10546	6312
0,7461	1690	33222
0,7362	20	73779
0,7350	0	79319

Estos resultados se obtienen a partir de las gráficas 8 hasta la gráfica 11, donde los volúmenes máximos de contaminantes se pasan a fracción volumétrica y con las ecuaciones de índices de mezcla da como resultado el punto de corte para que los productos no se salgan de especificaciones es 0.79 g/cc ya que el volumen para neutralizar la cuña es el más óptimo de todos los demás puntos de corte.

MANSILLA IF2

Flujo, BPH 3100
 Flujo, BPM 51,7 100%
 Bls/(M1%) 0,52 1%

PORCENTAJE MÁXIMO
 VO en GM en
 GM 0,0120 DI 0,005
 VO en DI 0,1266 DI en GM 0,007

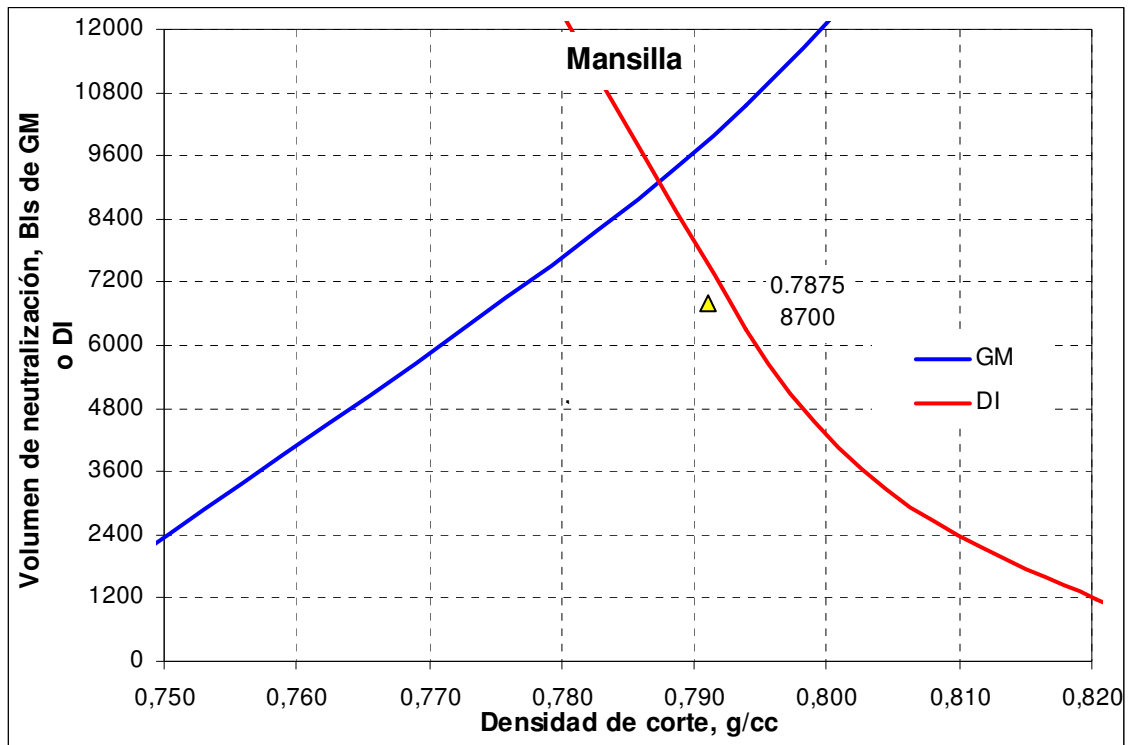
ACUMULADOS

Tiempo	%DI	Volumen	%VO	Volumen	%GM	Volumen	DI	VO	GM	CUÑA	DENSIDAD	API
0	100,0		0,0		0,0		0,0	0,0	0,0	0	0,8573	33,6
2	77,7	91,8	22,3	11,5	0,0	0,0	91,8	11,5	0,0	103	0,8442	36,1
4	44,8	63,3	48,1	36,4	7,1	3,6	155,1	47,9	3,6	207	0,8203	41,0
6	31,2	39,3	32,8	41,8	36,0	22,2	194,4	89,7	25,9	310	0,7939	46,7
10	0,0	32,2	17,5	52,0	82,5	122,5	226,6	141,7	148,4	517	0,7461	58,2
14	0,0	0,0	1,8	20,0	98,2	186,7	226,6	161,6	335,1	723	0,7362	60,7
14,5	0,0	0,0	0,0	0,2	100,0	25,6	226,6	161,9	360,7	749	0,7350	61,0

226,6
DI
161,9
VO
360,7
GM

TOTAL VOL IF 749,2

Gráfica 12. Volumen necesario para neutralizar la interfase



La gráfica 12, Muestra los volúmenes necesarios que se necesitan para neutralizar la cuña, observamos según los resultados que el mejor comportamiento de la gráfica es el punto cercano a 0,79 g/cc ya que se busca que los volúmenes menores de los cálculos para neutralizar la cuña.

5. ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación acerca de la contaminación de productos adyacentes en el proceso de transporte se llevo a cabo, gracias a que fue un estudio que estuvo siempre monitoreado por el personal que trabaja en esta área. Pese a que no fue posible hacer los experimentos en el laboratorio como el estudio lo requiere, no fue un impedimento para alcanzar el objetivo que se quería, que era principalmente recomendar la densidad en el momento de corte de la interfase y también por medio de esta problemática conocer el proceso de transporte de combustibles líquidos por poliductos.

Como el estudio lo muestra es un tema que todavía esta por mejorarse, ya que a pesar de los estudios que se han hecho al respecto, se siguen obteniendo productos fuera de especificaciones y esto sigue generando para ECOPETROL pérdidas, recomiendo para estudios posteriores tener en cuenta que la parte experimental va de la mano con la parte teórica para que de esta manera sea más exacto los resultados y se pueda comparar.

Una de las limitaciones que tuvo este trabajo es que la parte experimental no estuvo presente para corroborar con lo que se veía y dar mejores recomendaciones. Básicamente para la caracterización de mezclas los resultados arrojados en la investigación fueron hechos en laboratorios especializados en Petróleos y comparados con los resultados cualitativos que nos proporcionaba el poliducto característico (muestra) de mi investigación.

La cartilla es un método de aprendizaje de más aceptación por los estudiantes puesto que es un texto bien elaborado, y fácil de comprender, además lleva gráficos que los relaciona con lo que está leyendo, por esto es bien importante que se sigan elaborando cartillas acerca de procesos industriales donde los profesores no tienen en cuenta que pueden ser aplicables a los temas de química

6. CONCLUSIONES

- ◆ La cantidad que puede ser mezclada entre productos adyacentes determina el orden de los baches.
- ◆ El volumen de la contaminación incrementa con la distancia recorrida.
- ◆ A mayor flujo turbulento menor posibilidad de incrementarse la longitud de la contaminación de productos.
- ◆ El contenido máximo de Virgin Oil en un Diesel de un punto de inflamación de 78°C para mantener en especificaciones el producto es de 45% Volumen.
- ◆ El contenido máximo de Gasolina Motor en un Diesel de un Punto de Inflamación de 78 °C para mantener en especificaciones es del 0.7% en volumen.
- ◆ El contenido máximo de virgin oil en una Gasolina Motor para mantener en especificaciones el producto es del 5% en volumen.
- ◆ El contenido máximo de Diesel en la Gasolina Motor para una GM con PFE de 215°C es del 0.5% en volumen.
- ◆ La capacidad de resistir la contaminación con otros productos depende de las características de cada combustible.
- ◆ El Virgin Oil que se utiliza como cuña separadora en el proceso de transporte afecta en mayor grado a la Gasolina Motor que al Diesel.
- ◆ La densidad que es la variable utilizada en el control del proceso, no permite predecir la calidad del producto.
- ◆ El 50% del crecimiento de la contaminación se presenta en la primera cuarta parte del recorrido.
- ◆ El Virgin Oil que se utiliza como cuña separadora en el proceso de transporte afecta en mayor grado a la Gasolina Motor

- ◆ El punto de corte de la interfase en la gráfica de neutralización nos muestra que el mejor punto óptimo es 0.79 g/cc ya que los volúmenes que se necesitan para que los productos no se salgan de especificaciones son los menores volúmenes que se necesitan para arreglar el producto.

- ✓ El estudio demuestra que al poner en contacto dos productos de diferente densidad cuando no existe pendiente en la interfase o contaminación, se presenta estratificación por efecto de la fuerza de gravedad. En los sitios donde hay inclinación y el producto menos denso se encuentra en la parte superior se presenta igualmente segregación por densidad, pero si el producto pesado se encuentra en la parte superior se forma una mezcla casi instantáneamente siendo este proceso irreversible. esto debe ocurrir en la tubería cuando se presenta paradas lo cual causa contaminación de productos.

7. SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES

- ◆ Dado que el efecto de segregación de productos es menor a medida que se incrementa la presión, para reducir la contaminación durante las paradas de línea es conveniente mantener el sistema presionado.
- ◆ En los próximos diseños de ductos se recomiendan que sean de diámetros menores a 10" para evitar contaminaciones mayores.
- ◆ Tratar de proteger más la GM ya que esta presenta mayores problemas en el proceso de transporte.
- ◆ Si se quiere proteger más la GM, es mejor hacer el corte antes de 0.80 g/cc.
- ◆ Se recomienda seguir esta estrategia pedagógica en el aula de clases, ya que a los estudiantes les motiva mucho conocer los procesos industriales enfocados hacia la química.
- ◆ Mantener un flujo turbulento mayor a 4000 número de Reynolds para evitar posibles contaminaciones.

9. BIBLIOGRAFÍA

ASOCIACIONES SANTIAGO DE LAS ATALAYAS, Tauramena y río chitamena. El petróleo y su mundo. ECOPETROL s.a

BALDRICH, Carlos. División de procesos y productos Evaluación de la calidad de productos blancos transportados por la red de Poliductos sistema Sebastopol yumbo. Piedecuesta, Diciembre de 2001

BARBERII, Efraín. El Pozo Ilustrado. Venezuela: FONCIED, 1998 p.352-392

BERDUGO, Libardo. Manual para autores de texto escolares. Bogotá, 1993 p. 14-16.

BERNARDO GARCIA Compendio de términos comunes utilizados en estudios ambientales de la industria petrolera. Publicación de la coordinación ambiental corporativa de ECOPETROL.

BETOLLI, Roberto, IACOVONI, Angela y HOLDEN, David. Indian Products Pipeline Gets Scada System. En: Oil & Gas Journal. Houston.30 de sept; p 45-49.

BOTROS, kamal. Petrotech lavalin Inc. Calgary, Alta. "Contamination between batches in products lines"

CARDENAS, Diego. Por el tubo de la eficiencia. En: carta petrolera. Bogota.No 109. julio-agosto. pág 31-33.

COMPIANO B, GIARRIZZO, A,. Investiguemos para aprender. Una estrategia no convencional en matemática. Serie Temas y Problemas, Cuaderno Nº 2. A-Z Editora, Buenos Aires, Argentina. 1995

ECOPETROL. Glosario de la industria hidrocarborífera.

GIL D.: Contribución de la historia y de la filosofía de las Ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. Enseñanza de las Ciencias, 11 (2), 197-212. 1993 a

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. NTC 1380. Petróleo y sus derivados. Gasolina para motores de combustión interna. Tercera actualización

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS.NTC, 1438 petróleo y sus derivados. Combustibles para motores diesel (ACPM). Tercera actualización.

Jeffares G.M. interface detection systems tested. Oil and Gas Journal.

JONES L. Jones. New technique used to detect liquid product interface in line. Pipe Line & Gas Industry . September 1998. 39p-43p.

MARIN, Rodolfo. El petróleo y su mundo. Textos edición y coordinación general comunicaciones corporativas- ECOPETROL, santa fe de Bogotá D.C. octubre de 1998.

MEJIA, William. Ponencia sobre: Evaluación de la calidad de los textos escolares. p 6-21

MELEAR CT,GOODLAXSON JD, WARNE TR, HICKOK LG,. Teaching preservice science teachers how to do science: responses to the research experience. Journal of Science Teacher Education 11:77-90.2000

MENON, Shashi. Liquid Pipeline. Hydraulics.Arizona,USA. Marcel Dekke, Inc.

MOHITPOUR, M ; GOLSHAN, H. y MURRAY, A. pipeline Design E. construction. Asme Press.

N.O. SHAKER, R. MANSOUR, Pilot line verifies calculations for interface length mixing. Oil & journal . Mayo 1999. 66p-69p

Roberto Bettoli, Angela Lacovini, David Holden Indian Products Pipeline Gets Scada System. Oil & Gas Journal. Septiembre 30 de 1996. pag 45-49.

SABINO Carlos, El proceso de investigación Ed. Panamericana, Bogotá, y Ed. Lumen, Buenos Aires.1992.

SÁNCHEZ PUENTES, Ricardo, Enseñar a investigar. Una didáctica nueva de la investigación científica en Ciencias Sociales y Humanas, cesu-anuies, México, 1995.

SPEIGHT, James. The Chemistry and Technology of Petroleum. New York.Bassel.1994

STUCHLY, Janusz y KEDGE, Chris. Computer model designs African multiproducts line extension. En: Oil & Gas Journal. Calgary .julio 14 de 1997;p 47-54

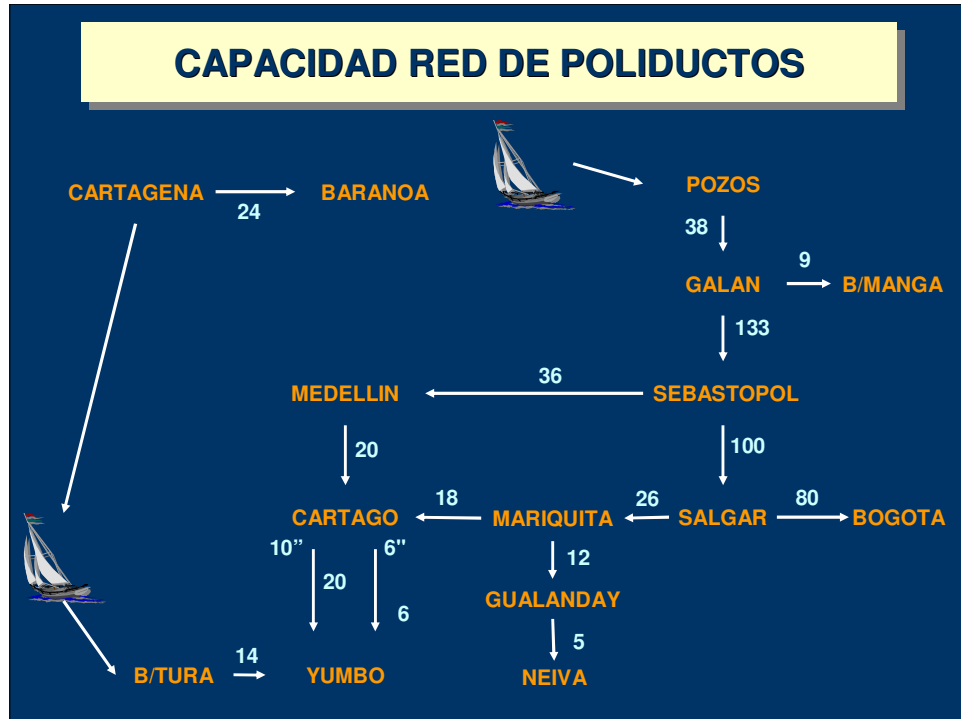
SHAKER N.O Y MANSOUR. Pilot Lines Verifies Calculations for interface Length, mixing. En: Oil & Gas Journal. Egiptian Petroleum Research Institute Cairo; Mayo 24,1999.pág 66-69..

9. ANEXOS

ANEXO 1.



ANEXO 2



ANEXOS 3.

