

**ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA VIABILIDAD EN LA CREACIÓN  
DE UN GRUPO DE MANTENIMIENTO ESPECIALIZADO PARA EL SISTEMA  
DE ANALIZADORES EN LÍNEA EN LA REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA**

**ALDEMAR FIGUEROA LOZA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA EN MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA**

**2017**

**ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA VIABILIDAD EN LA CREACIÓN  
DE UN GRUPO DE MANTENIMIENTO ESPECIALIZADO PARA EL SISTEMA  
DE ANALIZADORES EN LÍNEA EN LA REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA**

**ALDEMAR FIGUEROA LOZA**

**Monografía de grado para optar al título de Especialista en Gerencia de  
Mantenimiento**

**Director:**

**GABRIEL ENRIQUE QUINTERO ESPINOSA**

**Ingeniero Electrónico Especialista en Automatización Industrial**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA EN MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA**

**2017**

## **AGRADECIMIENTOS**

Doy gracias a Dios por darme esta gran oportunidad y la salud para estudiar.

A mis nonitos Saúl, Romelia, Rosa. También a mi ángel guardián Brayan que desde el cielo nos ayuda y nos cuidan.

A mi mami Luz Marina Loza Carrillo y mi papi Gabriel Figueroa Palomino por darme la vida, y por enseñarme que con esfuerzo y disciplina se cumplen las metas.

A mis hijo Aldemar Figueroa Forero y Gabriel Figueroa Forero porque son mi motor y mi fortaleza.

A la mujer que amo mi esposa Zuly Yizeth Forero Guarín. Por su paciencia, apoyo y amor incondicional. Por darme una linda familia.

A mis hermanos Gabriel y Edwin por su gran ejemplo.

A Ecopetrol y a la USO por darme la Beca de estudio y así cumplir mi meta.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	22
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	23
2. OBJETIVOS.....	26
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	26
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	26
3. JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO .....	27
4. MARCO DE REFERENCIA.....	28
4.1 MARCO TEÓRICO .....	28
4.1.1 Procesos de refinación de crudos implementados en la refinería de Ecopetrol S.A. Barrancabermeja.....	28
4.1.2 Principales combustibles producidos en la refinería de Ecopetrol S.A., Barrancabermeja. ....	29
4.1.3 Analizadores .....	32
4.1.4 Sistema de Validación de Datos. ....	35
4.2 ANTECEDENTES.....	37
4.3 MARCO LEGAL .....	39
4.3.1 Normas de calidad de combustibles en Colombia .....	39
4.3.2 Estándares ASTM (American Society for Testing and Materials) .....	41
4.4 MARCO CONCEPTUAL .....	42
4.5 MARCO ECONÓMICO .....	45
4.5.1 Margen de refinación .....	45
4.5.2 Incumplimiento a clientes.....	47
4.5.3 Potenciales Económicos .....	47
5. METODOLOGÍA .....	52

6. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	54
7. RESULTADOS.....	55
7.1 ANALIZAR TÉCNICAMENTE EL ESTADO ACTUAL DE LOS ANALIZADORES Y SUB SISTEMA. TENIENDO EN CUENTA SU CRITICIDAD .....	55
7.1.1 Identificación, análisis de riesgo y definición de impacto de los analizadores en línea de gasolina.....	58
7.1.2 Identificación, análisis de riesgo y definición de impacto de los analizadores en línea de diésel.....	62
7.1.3 Identificación, análisis de riesgo y definición de impacto de los analizadores en línea de Combustóleo .....	67
7.1.4 Realizar estudio de criticidad de los analizadores y sub sistemas.....	70
7.2 REALIZAR DIFERENTES ANÁLISIS ECONÓMICOS COMO SOPORTE DE LA PROMESA DE VALOR PARA IMPLEMENTACIÓN DE UN GRUPO DE MANTENIMIENTO ESPECIALIZADO DE ANALIZADORES EN LÍNEA.....	75
7.2.1 Cálculo de ingresos de productos dentro de especificaciones vendidos por oleoductos durante meses de Abril, Mayo y Junio.....	77
7.2.2 Análisis de las preparaciones realizadas gasolina de enero a junio de 2016.....	79
7.2.3 Análisis de las preparaciones realizadas de Diésel B2E de enero a junio de 2016.....	86
7.2.4 Análisis de las preparaciones realizadas de Combustóleo liviano de enero a junio de 2016 .....	88
7.2.5 Análisis de las preparaciones realizadas de Combustóleo pesado de enero a junio de 2016. ....	91
7.2.6 Cálculos de regalos de calidad del producto entregado, teniendo en cuenta el potencial económico. ....	93
7.2.7 Análisis de reprocesos del primer semestre del 2016.....	100
7.2.8 Análisis económico de pares de línea de Abril a Junio del 2016. ....	105
7.2.9 Analizar los costos de contratar el mantenimiento de analizadores.....	108
7.3 REALIZAR PROPUESTA PARA GERENCIAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE ANALIZADORES DE BLENDING .....	110

7.3.1 Beneficio económico.....	111
7.3.2 Cálculo de personal necesario para realizar mantenimiento de los equipos .....	112
7.3.3 Estructura de control de gestión. ....	115
7.3.4 Aseguramiento a corto plazo .....	120
7.3.5 Indicadores de gestión de desempeño. ....	121
7.3.6 Plan de entrenamiento para certificación en el mantenimiento directamente en fábrica de los analizadores para el personal a cargo .....	123
8. CONCLUSIONES .....	124
BIBLIOGRAFÍA.....	125

## LISTA DE IMAGEN

	<b>Pág.</b>
Imagen 1. Analizador en línea .....	33
Imagen 2. Sistema de acondicionamiento de muestra (SAM). .....	34
Imagen 3. Analizador fuera de línea. ....	34
Imagen 4. Ejemplo plano de instrumentos (P&ID). ....	43
Imagen 5. Margen de refinación .....	46
Imagen 6. Diagrama esquemático de los diferentes analizadores que se encuentran instalados en refinería. ....	55
Imagen 7. Sistema de información operacional .....	77
Imagen 8. Diagrama de flujo para cobro del reproceso .....	101
Imagen 9. Tendencia típica de confiabilidad analizadores en línea vs años de servicio.....	113
Imagen 10. Grupo de soporte de analizadores.....	116

## LISTA DE GRÁFICOS

	<b>Pág.</b>
Gráfica 1. Potencial económico RVP en gasolina.....	48
Gráfica 2. Potencial económico T95 en Diésel .....	49
Gráfica 3. Potencial económico Azufre en Diésel .....	49
Gráfica 4. Potencial económico Viscosidad en combustóleo Pesado.....	50
Gráfica 5. Potencial económico viscosidad combustóleo Liviano .....	51
Gráfica 6. Análisis de Pareto para equipos de Gasolina .....	72
Gráfica 7. Análisis de Pareto de analizadores del Sistema de diésel .....	73
Gráfica 8. Ampliación de la Zona A y Zona B del análisis de Pareto de los equipos de diésel .....	74
Gráfica 9. Análisis de Pareto para equipos de Combustóleo .....	75
Gráfica 10. Volumen vendido de combustible en los meses de abril a junio 2016	78
Gráfica 11. Ingreso de ventas Programados Vs ingreso Real .....	79
Gráfica 12. Datos de calidad de azufre de todos los tanques preparados.....	80
Gráfica 13. Datos de Calidad de RVP de todos los tanques preparados en el primer semestre.....	81
Gráfica 14. Datos de Calidad de índice antidetonante (IA) de todos los tanques preparados en el primer semestre .....	83
Gráfica 15. Datos de Calidad de Benceno de todos los tanques preparados en el primer semestre .....	85
Gráfica 16. Datos de Calidad de punto final de ebullición de todos los tanques preparados en el primer semestre .....	86
Gráfica 17. Datos de Calidad de temperatura del 95% de recobrado de diésel de todos los tanques preparados en el primer semestre .....	87

Gráfica 18. Datos de Calidad de azufre de todos los tanques preparados en el primer semestre .....	88
Gráfica 19. Datos de Calidad de viscosidad de todos los tanques preparados en el primer semestre .....	89
Gráfica 20. Datos de Calidad de punto de inflamación de todos los tanques preparados en el primer semestre .....	90
Gráfica 21. Datos de Calidad de viscosidad de todos los tanques preparados en el primer semestre .....	92
Gráfica 22. Datos de Calidad de punto de inflamación de todos los tanques preparados en el primer semestre .....	93
Gráfica 23. Datos de Calidad de RVP de los tanques entregados a clientes para los meses de abril, mayo y junio 2016 .....	95
Gráfica 24. Regalo de calidad de RVP calculados en dólares según potenciales económicos, entregados a clientes para los meses de abril, mayo y junio 2016 ...	96
Gráfica 25. Datos de Calidad de T95 de diésel de los tanques entregados a clientes para los meses de abril, mayo y junio 2016.....	97
Gráfica 26. Regalo de calidad de T95 de diésel calculados en dólares según potenciales económicos, del producto entregado a clientes durante los meses de abril, mayo y junio 2016 .....	98
Gráfica 27. Datos de Calidad de viscosidad de combustóleo liviano de los tanques entregados a clientes durante los meses de abril, mayo y junio 2016 .....	99
Gráfica 28. Regalo de calidad de viscosidad de combustóleo liviano calculados en dólares según potenciales económicos, ese producto fue entregado a clientes para los meses de abril, mayo y junio 2016. ....	100
Gráfica 29. Análisis de Pareto para producto fuera de especificaciones .....	103

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Analizadores y subsistemas de Blending.....	24
Tabla 2. Procesos de Refinación de Crudos en la Refinería de Ecopetrol S.A Barrancabermeja. ....	28
Tabla 3. Sistemas implementados para mitigación de reprocesos y/o regalos de calidad en la Refinería de Ecopetrol Barrancabermeja.....	37
Tabla 4. Resoluciones que regulan los criterios de calidad de los combustibles en Colombia.....	40
Tabla 5. Estándares internacionales para medidas y materiales.....	41
Tabla 6. Metodología .....	52
Tabla 7. Cronograma de actividades .....	54
Tabla 8. Matriz de Severidad .....	56
Tabla 9. Tabla de severidad.....	57
Tabla 10. Matriz de valoración.....	58
Tabla 11. Analizadores del sistema de gasolina.....	58
Tabla 12. Analizadores del sistema de Diésel .....	62
Tabla 13. Analizadores del sistema de Combustóleo .....	67
Tabla 14. Rango de definición de prioridad .....	70
Tabla 15. Equipos críticos del sistema de analizadores de gasolina .....	71
Tabla 16. Equipos críticos del sistema de analizadores de Diésel.....	73
Tabla 17. Equipos críticos del sistema de analizadores de Combustóleo .....	74
Tabla 18. Tanques y volúmenes de almacenamiento de gasolina.....	79
Tabla 19. Tanques y volúmenes de almacenamiento de Diésel.....	86
Tabla 20. Tanque y volumen de almacenamiento de Combustóleo liviano .....	89
Tabla 21. Tanques y volúmenes de almacenamiento de combustóleo pesado.....	91

Tabla 22. Volumen (barriles entregados) de productos entregado a clientes para los meses de abril, mayo y junio 2016 .....	94
Tabla 23. Volumen de producto fuera de especificaciones.....	102
Tabla 24. Volumen de producto fuera de especificaciones de combustóleo liviano .....	104
Tabla 25. Volumen de producto fuera de especificaciones de combustóleo pesado .....	104
Tabla 26. Volumen de producto fuera de especificaciones de diésel .....	105
Tabla 27. Sistema de poliductos .....	105
Tabla 28. Horas de pare de línea por problemas de calidad de los diferentes combustibles .....	106
Tabla 29. Volumen no entregado por estar fuera de especificaciones .....	107
Tabla 30. Costos ocasionados por pare de líneas. ....	107
Tabla 31. Contratos pagados entre 2005 al 2016 en mano de obra .....	108
Tabla 32. Beneficio económico .....	111
Tabla 33. Cálculo de personal necesario para intervención de los analizadores. ....	114

## GLOSARIO, SIGLAS Y ABREVIATURAS

**ABB. Asea Brown Boveri:** es una corporación multinacional, cuyos mayores negocios son los de tecnologías en generación de energía eléctrica, analizadores en línea y en automatización industrial.

**AMADAS. Analyzer Management & Data Acquisition System:** es un software de gestión y adquisición de datos para supervisar, evaluar y validar el rendimiento de analizadores en línea.

**ANALIZADOR EN LÍNEA:** equipo electrónico automatizado conectado a la línea de proceso que realiza el análisis de propiedades fisicoquímicas de un producto específico mediante diferentes técnicas analíticas.

**ANÁLISIS DE CRITICIDAD:** Cálculos que se realiza para definir qué tan crítico es cada equipo en la operación. Dependen del riesgo

**AROMÁTICOS:** son compuestos orgánicos cíclicos de olor característico, poseen buenas propiedades como solventes, entre ellos se encuentran el benceno, tolueno y xileno.

**ASTM. American Society for Testing and Materials:** es una organización internacional de desarrollo de normas donde se reúnen productores, usuarios y consumidores, entre otros, de todo el mundo, para crear normas de consenso voluntarias.

**AZUFRE:** es un no metal de color amarillo fuerte y arde con llama azul despidiendo dióxido de azufre, que es un gas altamente contaminante. El azufre es un parámetro de control en los combustibles, su concentración se mide en parte por millón (PPM)

**BENCENO:** es un compuesto líquido inflamable, toxico e incoloro, hace parte de los hidrocarburos aromáticos, utilizado en la producción de poliéster, adhesivos y detergentes.

**BLENDING:** es el proceso de mezclado de diferentes componentes que forman un producto.

**CENIT:** Transporte y Logística de Hidrocarburos (Cenit) es una empresa colombiana que brinda servicios portuarios, logísticos y de transporte y almacenamiento a la industria de petróleo y gas. La compañía es filial de propiedad exclusiva de la petrolera estatal colombiana,

**COMBUSTÓLEO:** es un combustible utilizado generación de energía térmica, este combustible se obtiene mediante la mezcla de residuos del proceso de refinación

**CROMATOGRAFÍA DE GASES:** es una técnica analítica ampliamente utilizada, la cual permite separar físicamente los distintos componentes de una solución por la adsorción selectiva de los constituyentes de una mezcla.

**DCS. Distributed Control System:** es un sistema de control que se aplica en procesos industriales, para controlar, supervisar y adquirir información.

**DESTILACIÓN:** es el proceso de separación de distintas sustancias por medio de la variación de temperaturas.

**FBP. Punto Final de Ebullición:** es la temperatura máxima observada en el proceso de destilación de un producto.

**F&G FIRE AND GAS:** sistema de protección de fuego y llama instalado dentro de las casetas de los analizadores para proteger al personal en caso de emergencia

**GRAVEDAD API. American Petroleum Institute:** es una escala de gravedad específica utilizada para medir la densidad relativa del petróleo y sus derivados.

**GASOLINA:** es un combustible compuesto por una mezcla alifática de hidrocarburos obtenida del proceso de destilación del crudo.

**HIDROCARBUROS:** son compuestos de carbono o hidrogeno de origen natural que puede ser alifáticos o aromáticos.

**IAD. Índice Antidetonante:** es el promedio aritmético del MON y el RON.

**IBP. Punto Inicial de Ebullición:** es la temperatura a la que la primera gota de vapor condensado aparece en la destilación de un producto.

**INVENSYS:** es una empresa multinacional de ingeniería y tecnología con sede en Londres y Reino Unido, adquirida por Schneider Electric en 2014.

**MON. Motor Octane Number:** es la escala en que se mide la es el índice de octano del combustible, calculado para un motor a altas revoluciones y altas temperaturas.

**MTTR:** tiempo medio entre reparaciones por sus siglas en ingles.

**MTTF:** tiempo medio entre fallas por sus siglas en ingles

**NIR. Near-infrared:** el infrarrojo cercano es la región de longitud de onda más corta del espectro infrarrojo, situada entre la luz visible y el infrarrojo medio, aproximadamente entre 800 y 2.500 nanómetros.

**Número de Octano:** denominado octanaje, es una escala que mide la capacidad antidetonante de la gasolina cuando se comprime dentro del cilindro de un motor. El número de octano se mide mediante dos Pruebas en el laboratorio llamadas RON y MON.

**OLEFINAS:** son compuestos químicos con dos o más enlaces de carbono, las olefinas más importantes son el etileno y propileno.

**POTENCIALES ECONÓMICOS:** son curvas económicas que dependen de la calidad del cada producto. Los potenciales económicos dependen del regalo de calidad en la preparación de combustible.

**PROTOFUEL:** es el método de validación de datos que consta de llenar un tanque con producto de propiedades conocidas, que luego es pasado para ser analizado por los analizadores y posteriormente se comparan sus resultados para determinar sus estados de calibración.

**RAM:** Risk assement Matri al traducir al español se llama matriz de valoración de riesgo de Ecopetrol. Se utiliza guía de GHS-G-035 DE Ecopetrol para realizar valoración del riesgo.

**RAYOS X:** es una radiación electromagnética, invisible para el ojo humano, capaz de atravesar cuerpos y permite visualizar la imagen radiográfica en un ordenador. La longitud de onda está entre 10 a 0,01 nanómetros, correspondiendo a frecuencias en el rango de 30 a 30000 PHz (de 50 a 5000 veces la frecuencia de la luz visible).

**REFINACIÓN:** es un proceso industrial mediante el cual se hace más pura una sustancia o producto.

**REGALO DE CALIDAD:** el regalo de calidad es un término utilizado en la refinación cuando un producto por ejemplo se debe entregar con calidad de 6 y se entrega al cliente con mejor calidad ejemplo de 10, el producto está dentro de las especificaciones pero se están regalando 4 puntos de calidad.

**REPROCESO:** es un evento generado sobre un combustible preparado por el blending de productos cuyo resultado final no cumple alguna especificación de calidad generando un producto sin visto bueno para entrega a clientes.

**RON. Research Octane Number:** es el índice de octano del combustible, calculado para un motor a bajas revoluciones y bajas temperaturas.

**RVP. Presión de vapor Reid:** es la presión de vapor absoluta de un material a 37,8°C, que difiere de la presión de vapor verdadera, debido a una pequeña vaporización de la muestra y a la presencia de vapor de agua y de aire en el espacio confinado de la cámara en la que se realiza la determinación.

**SAM: Sistema de Acondicionamiento de Muestra:** es un sistema que se encarga de adecuar las corrientes de producto, este sistema está compuesto por válvulas reguladoras de presión, indicadores de presión, intercambiadores de calor para enfriar la muestra a condiciones de análisis, calentadores de zona para calentar la muestra según el requerimiento para las condiciones de análisis, filtros de partículas, y filtros de humedad llamados coalescedores. Cada analizador tiene requerimientos independientes.

**SAMC:** Sistema de Acondicionamiento de Muestra para analizadores de cromatografía de gases y líquidos.

**SHELTER:** contenedor presurizado con ambiente interno controlado, en el cual se instalan equipos o sistemas que requieren de ambientes específicos para su correcto funcionamiento.

**SIMDIS. Destilación simulada:** es un método reproducible para analizar un corte de petróleo, es aplicable a fracciones con punto final inferior a 500 °C y donde el intervalo de ebullición es superior a 50 °C.

**SLOP:** el slop es un aceite recuperado del sistema de aguas aceitosas, como este aceite contienen gran cantidad de productos livianos el punto de inflamación es muy bajo.

**SPOT –SAMPLE:** es el método de validación de datos por muestra puntual que consta realizar la captura de datos del analizador en el mismo instante en que se toma una muestra del producto analizado.

**SSF:** es una unidad de medida de viscosidad, esta abreviación traduce a segundos saybol Furor.

**TAG:** es una etiqueta o nombre que se le asigna a un equipo para que este pueda ser identificado.

**VISCOSIDAD:** es la propiedad de un líquido en movimiento que se define como la relación existente entre el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad.

## RESUMEN

**TÍTULO:** Estudio técnico económico para la viabilidad en la creación de un grupo de mantenimiento especializado para el sistema de analizadores en línea en la refinería de Barrancabermeja

**AUTOR:** Aldemar Figueroa Izoa \*\*

**PALABRAS CLAVES:** Analizadores en línea, Regalo de calidad, Disponibilidad Confiabilidad

**DESCRIPCIÓN:** Se realiza el estudio técnico y económico para justificar la creación de un grupo de mantenimiento especializado para el sistema de analizadores en línea en la refinería de Barrancabermeja. En el estudio se tienen en cuenta los equipos y productos en caso de falla pueden ocasionar el mayor impacto económico en el margen de refinación.

Se inició revisando el estado actual de los equipos, y se realiza análisis de criticidad teniendo en cuenta los incidentes, regalos de calidad, pares de línea, e incumplimiento a clientes. Los datos fueron obtenidos en las diferentes herramientas informáticas que posee la refinería de Barrancabermeja, de la programación del mantenimiento de los analizadores en línea y la experiencia del autor en la operación.

Con toda la información recopilada se realiza el cálculo del beneficio económico y se realiza la propuesta para el gerenciamiento de los activos.

La propuesta está enfocada para que el grupo de mantenimiento especializado este conformado por personal con altas competencias en diferentes disciplinas para así poder garantizar la disponibilidad mecánica de los sistemas de acondicionamiento de muestras, compresores, secadores, sistemas de bombeo, sistema de recuperación de líquidos y analizadores. También aseguran la confiabilidad de las lecturas de los analizadores estén de acuerdo con la repetitividad y reproducibilidad de las normas ASTM de los diferentes métodos primarios.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización de Gerencia en Mantenimiento. Director: Gabriel Enrique Quintero Espinosa, Ingeniero Electrónico Especialista en Automatización Industrial; Ingeniero electrónico Ecopetrol Refinería Barrancabermeja

## ABSTRACT

**TITLE:** Economic technical study for feasibility in the creation of a specialized maintenance group for the online analyzer system at the Barrancabermeja refinery

**AUTHOR:** Aldemar Figueroa Loza \*\*

**KEYWORDS:** Online Analyzers, Gift Away, Availability, Reliability

### DESCRIPTION:

The technical and economic study is carried out to justify the creation of a specialized maintenance group for the online analyzer system at the Barrancabermeja refinery. The study takes into account the equipment and products in case of failure can cause the greatest economic impact on the refining margin

It began by reviewing the current state of the equipment, and criticality analysis is performed taking into account incidents, quality gifts, line pairs, and non-compliance to customers. The data were obtained in the different computer tools that the Barrancabermeja refinery possesses, the programming of maintenance of the online analyzers and the experience of the author in the operation.

With all the information gathered, the calculation of the economic benefit is carried out and the proposal for the management of the assets is carried out.

The proposal is focused so that the specialized maintenance group is made up of personnel with high skills in different disciplines in order to guarantee the mechanical availability of the systems of conditioning of samples, compressors, dryers, pumping systems, liquid recovery system and Analyzers. They also ensure the reliability of the analyzer readings are consistent with the repeatability and reproducibility of the ASTM standards of the different primary methods.

---

\* Degree work

\*\* Faculty of Mechanical Physical Engineering. School of Mechanical Engineering. Specialization of Management in Maintenance. Director: Gabriel Enrique Quintero Espinosa, Electronic Engineer Specialist in Industrial Automation; Electronic Engineer Ecopetrol Refinery Barrancabermeja

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo consiste en realizar un estudio técnico económico con el fin de justificar la creación de un grupo de mantenimiento especializado para el sistema de analizadores en línea para la refinería de Barrancabermeja.

Un sistema de analizadores en línea lo conforman varios subsistemas que son necesarios para que el equipo realice el análisis de la calidad del producto que se está preparando. Una vez se realice el análisis, los datos de los resultados son enviados hacia el cuarto de control de optimización de la refinería para ser utilizados en los sistemas de control avanzado.

La refinería de Barrancabermeja tiene implementado control avanzado para la preparación de los combustibles que tiene mayor demanda hacia el país. Por consiguiente se necesita garantizar la disponibilidad y la confiabilidad de la medición de los analizadores en línea para cumplir con la entrega a clientes con calidad y oportunidad.

Basado en la experiencia operacional, técnica y aprovechando las competencias gerenciales adquiridas durante la especialización de gerencia en mantenimiento, se realiza esta investigación y recopilación de datos utilizando las diferentes herramientas informáticas, archivos, y plataformas de información que tienen disponible la refinería de Ecopetrol. Con los datos adquiridos se realiza el cálculo de los beneficios económicos y se plantea una propuesta para el gerenciamiento de los analizadores en línea.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Ecopetrol en Colombia tienen dos refinerías, una de las principales es la Gerencia de Refinación de Barrancabermeja que es la encargada de procesar 256000 barriles por día (BPD) de crudo.

Entre los productos más importantes tiene una producción diaria de 80000 BPD de Diésel, 60000 BPD de gasolina motor, 4000 BPD de gasolina Extra, 50000 BPD de combustóleo pesado/liviano, 4500BPD de propileno grado refinería (PGR) y 2000BPD gas licuado de petróleo (GLP).

Para el proceso de preparación de combustibles posee 4 sistemas de Blending (Mezclado), con sus respectivos sistemas de control avanzado para hacer ajustes a la preparación. Blending existentes:

- Blending de diésel
- Blending de gasolina
- Blending de combustóleo
- Blending de PGR

En los diferentes Blending existen 35 analizadores en línea. Para que los 35 analizadores en línea operen correctamente necesitan 133 sub equipos. En la tabla 1 se muestran los equipos instalados:

**Tabla 1. Analizadores y subsistemas de Blending**

<b>Equipos</b>	<b>Existente</b>
Acondicionamiento de muestra	28
Analizador	35
Toma muestra Tipo goteo	3
Cilindro patrón	2
Comunicación	2
Equipo Estático	5
Equipo Rotativo	22
Sistema de protección de fuego y llama	30
Servicio	19
Suiche de presión	3
Vaporizadores de Muestra	3
Válvula de 3 VÍAS	3
<b>Total equipos</b>	<b>155</b>

Para que el sistema de control avanzado pueda ponerse en servicio para hacer ajustes automáticos de la preparación de combustibles requiere que los analizadores en línea este confiables y disponibles. Con la correcta operación, disponibilidad y confiabilidad de los datos se garantiza entrega de producto a clientes y disminuye los regalos de calidad.

El mantenimiento preventivo de los equipos fue realizado desde el 2005 al 2016 por contratistas donde se pagaron \$5'307 millones de pesos solo en mano de obra, sin contar repuestos, ni transferencia de conocimiento.

Teniendo estos equipos disponibles y confiables según el programa de producción los potenciales económicos por disminución de regalo de calidad la empresa puede recuperar hasta \$500 millones de pesos en el primer año y el ahorro en contratación anual de personal externo. Con ellos aseguraríamos la transferencia

de conocimiento del personal propio, garantizando la operación continua de los analizadores y sistema de control avanzado.

Por los motivos antes expuestos se realiza un estudio técnico y económico para la viabilidad en la creación de un grupo de mantenimiento especializado para el sistema de analizadores en línea

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Estudio técnico económico para la viabilidad en la creación de un grupo de mantenimiento especializado para el sistema de analizadores en línea.

### **2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO**

- Analizar técnicamente el estado actual de los analizadores y sub sistema, teniendo en cuenta su criticidad.
- Realizar diferentes análisis económicos como soporte de la promesa de valor para implementación de un grupo de mantenimiento especializado de analizadores en línea.
- Realizar propuesta para gerenciamiento de los sistemas de analizadores.

### **3. JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO**

Estudio técnico económico para la viabilidad en la creación de un grupo de mantenimiento especializado para el sistema de analizadores en línea es de gran importancia porque se aseguraría la calidad de la preparación de la gasolina, Diésel, Combustóleo, GLP y PGR, estos productos son para suministrar al país.

Ecopetrol se ve beneficiado porque disminuiría los regalos de calidad, aseguraría el conocimiento del personal directo que realiza mantenimiento a los equipos. Por tal motivo se aseguraría la disponibilidad, y confiabilidad de los equipos.

Teniendo los equipos disponibles y confiables el software de control avanzado y AMADAS operarían continuamente por lo cual garantizaríamos el monitoreo en tiempo real de la calidad de los combustibles.

## 4. MARCO DE REFERENCIA

### 4.1 MARCO TEÓRICO

**4.1.1 Procesos de refinación de crudos implementados en la refinería de Ecopetrol S.A. Barrancabermeja.** El petróleo crudo no tiene ningún uso por lo que debe someterse a una serie de procesos de los cuales se obtienen sus diferentes derivados comerciales. En la tabla 2 se describen los principales procesos de la refinería.

**Tabla 2. Procesos de Refinación de Crudos en la Refinería de Ecopetrol S.A Barrancabermeja.**

PROCESO	DESCRIPCIÓN
Destilación atmosférica	Proceso en el cual se realiza la separación del crudo en componentes más específicos, basado en la transferencia de masa en las fases líquido-gas, aprovechando los diferentes puntos de ebullición de cada componente.
Destilación al vacío	Proceso en el cual se genera un vacío parcial en el sistema para destilar el crudo residual de la unidad de destilación atmosférica que está por debajo de su punto de ebullición normal.
Desintegración catalítica (cracking)	Proceso en el cual se descomponen las moléculas más pesadas de los hidrocarburos, en moléculas más livianas y simples, con el fin de obtener gasolina, olefínicos y destilados de mejor calidad.
Visco-reducción	Proceso de craqueo empleado para reducir la viscosidad del residuo de la destilación al vacío, el objetivo es obtener componentes de bajo peso molecular como los gases, gasóleos y gasolina.
Hidro tratamiento (HDT)	Proceso al que son sometidos los petrolíferos con el fin de estabilizarlos catalíticamente y eliminar los agentes contaminantes que contienen, para ello se hacen reaccionar con hidrogeno a altas presiones y temperaturas en presencia de diversos catalizadores.
Alquilación	Este proceso consiste en la reacción química de hidrocarburos saturados con olefinas

PROCESO	DESCRIPCIÓN
	ligeras, generando hidrocarburos saturados con alto índice de octano, es decir es un proceso de síntesis química catalítico que requiere de un catalizador ácido.
Isomerización	Proceso en el que reorganizan químicamente los átomos de una molécula, sin agregar o quitar ningún elemento de la molécula original. Generalmente usado para obtener isoparafinas.

#### **4.1.2 Principales combustibles producidos en la refinería de Ecopetrol S.A., Barrancabermeja.**

**4.1.2.1 Gasolina regular y extra:** Son una mezcla volátil de hidrocarburos líquidos alifáticos, obtenida a una temperatura de destilación del crudo entre los 40°C y los 210°C, la gasolina regular está diseñada para utilizarse en motores con una relación de compresión igual o inferior a 9:1 y la gasolina extra para motores con una relación de compresión superior.<sup>1</sup>

Las propiedades que se analizan para determinar la calidad de las gasolinas son:

- Azufre
- RVP (Presión de vapor Reid)
- IBP (punto inicial de ebullición)
- FBP (punto final de ebullición)
- Gravedad API (American Petroleum Institute)
- Aromáticos
- Olefinas
- Benceno
- MON (Motor Octane Number)
- RON (Research Octane Number)

<sup>1</sup> ECOPETROL S.A. Documentación teórica – Gasolinas regular y extra. Intranet empresarial IRIS.

- IAD (Índice Antidetonante)

## **Diésel**

Combustible líquido, insoluble en agua, obtenido a una temperatura de destilación del crudo entre los 230°C a 390°C, compuesto principalmente por olefinas, naftas, parafinas y aromáticos, comúnmente utilizado como combustible para calefactores y motores diésel.<sup>2</sup>

Las propiedades que se analizan para determinar la calidad del diésel son:

- Azufre
- Aromáticos
- IBP (punto inicial de ebullición)
- T95: Temperatura al 95% recobrado de destilación las unidades son Grados Celsius
- FBP (punto final de ebullición)
- Viscosidad a 40°C
- Reflectancia
- Punto de nube
- Índice de cetano
- Punto de fluidez
- Punto de inflamación

## **Combustóleo liviano y pesado**

Son líquidos viscosos, de color oscuro, obtenidos como residuo de las diferentes destilaciones, los componentes para la preparación se utiliza fondo de las unidades DEMEX, Visco reductora, Fondos de vacío, Slurry y como diluyente se utiliza aceite liviano de ciclo.

---

<sup>2</sup> ECOPETROL S.A. Documentación teórica – Diésel. Intranet empresarial IRIS.

En la refinería se prepara:

Combustóleo pesado: punto de control de viscosidad es 300 a 320 SSF. Este producto es entregado a remolcadores para ser transportado por el río Magdalena hacia Cartagena como componente para exportación. También es vendido a clientes nacionales por carro tanques en el llenadero de Barrancabermeja.

Combustóleo liviano: punto de control de viscosidad es 50 a 55 SSF. Este producto es entregado a oleoductos de CENIT a la línea de 18". Este producto es transportado hasta Cartagena. En Cartagena es utilizado como componente y se mezcla con el combustóleo pesado, diluyente y fondos de REFICAR para ser exportado.

El combustóleo es utilizado para la combustión de flama abierta en equipos de generación de vapor, como hornos verticales o rotatorios, y el combustóleo pesado es utilizado para procesos industriales como quemadores, calentadores, calderas, plantas termoeléctricas y en grandes embarcaciones<sup>3</sup>

Las propiedades que se analizan para determinar la calidad del combustóleo son:

- Azufre
- Viscosidad
- Gravedad API (American Petroleum Institute)
- Punto de inflamación

---

<sup>3</sup> ECOPETROL S.A. Documentación teórica – Corrientes de combustóleo. Intranet empresarial IRIS.

**4.1.3 Analizadores.** Los analizadores en línea son equipos especializados para medir la calidad de los combustibles. La medición puede ser por forma directa o indirecta, La medición directa son los equipos que transforman la muestra (analizadores por cromatografía) o por medición indirecta que son equipos que trabaja por inferencia o curvas de calibración analizador de rayos X, equipos de infrarrojo cercano, densitómetros y viscosímetros entre otros.

Según su modo de funcionamiento se pueden clasificar en:

**Analizadores en línea o de proceso.**

Sistema analizador de diseño, instalación, operación y mantenimiento encajan como un rompecabezas. Todas las piezas están íntimamente interconectadas. Si falta una pieza, el conjunto es incompleto y es probable que el sistema genere problemas de fiabilidad y rendimiento. Cada parte del sistema analizador debe considerarse durante el diseño, de manera que el total del sistema proporcionará una alta fiabilidad y rendimiento, que es necesario para un control avanzado. Si los sistemas del analizador de procesos en línea pueden ser diseñados, instalados y mantenidos correctamente, puede dar un rendimiento sin problemas y ofrecer datos fiables que pueden ser utilizados en sistemas de control de proceso.<sup>4</sup>

En los analizadores en línea tienen los siguientes subsistemas interconectados:

- Sonda toma muestra
- Bomba para transporte de muestra,
- Sistema acondicionamiento de muestra (SAM): es una placa que se encarga del retiro de partículas y agua para que la muestra entre limpia hacia los analizadores

---

<sup>4</sup> CLEVETT, K. Improve process analyzer performance. Hydrocarbon Processing, 1996. Pág. 77-88. Disponible en: [http://www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?query\\_id=0&page=0&osti\\_id=231170](http://www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?query_id=0&page=0&osti_id=231170)

- Drum recuperador de líquidos: este Drum recibe el producto que pasa por los analizadores después de ser analizado. Y con una bomba es retornado al proceso.

**Imagen 1. Analizador en línea**



Fuente: Shelter de gasolina de la Refinería de Ecopetrol S.A. Barrancabermeja.

## Imagen 2. Sistema de acondicionamiento de muestra (SAM).



Fuente: Shelter de diésel de la Refinería de Ecopetrol S.A. Barrancabermeja.

## Analizadores fuera de línea o de laboratorio.

Las muestras de producto se deben extraer manualmente de la línea de proceso para ser analizadas.

## Imagen 3. Analizador fuera de línea.



Fuente: Laboratorio de la Refinería de Ecopetrol S.A Barrancabermeja.

## Ventajas de los Analizadores en Línea Vs Analizadores de Laboratorio.

- Realizan un análisis continuo de la muestra. Analítica continua

- Permiten cambios rápidos en las condiciones operacionales de la línea de proceso.
- Las muestras analizadas son más uniformes.
- Se detectan con más rapidez los cambios en los productos.
- Se elimina el error humano en la toma de muestras y etiquetado.
- Es más sencillo el análisis de sustancias peligrosas.
- Se reducen costos en personal.

#### **Características Ideales de un Analizador en Línea.**

- Funcionamiento de manera ininterrumpida.
- Genera resultados precisos o con un margen de error mínimo, que permite confiabilidad en la medida.
- Realiza la medición de propiedades de forma rápida, permitiendo realizar correcciones en la línea de proceso.
- Realiza la medición de propiedades cumpliendo los estándares Internacionales ASTM (American Society for Testing and Materials).
- Es de fácil operación para el usuario.
- Cumple con estándares de seguridad que le permiten trabajar en ambientes industriales.
- No requiere mantenimiento por largos periodos.
- Permite su mantenimiento sin interferir con la línea de proceso.
- Es de fácil calibración.
- Cuenta con una amplia gama de protocolos de comunicación.

**4.1.4 Sistema de Validación de Datos.** Un sistema de validación de datos se encarga de comprobar la exactitud de la información obtenida de un sistema o equipo con el fin de garantizar la calidad de la misma, aplicando diferentes métodos y/o reglas que permitan determinar si los datos son o no confiables.

### **Métodos de validación de datos para analizadores en línea.**

La validación de un analizador en línea es un proceso mediante el que se verifican las lecturas de salida del analizador mediante la comparación. El término comparación implica una relación o similitud entre un mínimo de dos objetos. Para efecto de las validaciones del analizador, la comparación se hace entre las lecturas del mismo y un valor de referencia. A la lógica implementada para comparar los valores y determinar el resultado de la comparación, de paso o falla, se le conoce como el método de validación<sup>5</sup>.

Los principales métodos utilizados en la industria del petróleo para validar un analizador en línea son, la muestra puntual y el tanque de validación.

**Muestra puntual:** (Spot-Sample) este método consiste en tomar una muestra del producto analizado en el mismo instante en que se capturan los datos reportados por el analizador en línea, la muestra puntual es analizada en laboratorio quien entrega sus especificaciones para ser comparadas con las reportadas por el analizador en línea, se halla la desviación entre los datos de laboratorio y los del analizador, y se determina si analizador está o no calibrado y por ende si es o no confiable.<sup>6</sup>

**Tanque de validación:** (Validación tank o ProtoFuel) este método consiste en el llenado de un tanque con un producto de referencia certificado como carta de control del cual se conocen sus especificaciones, el tanque de validación está conectado a al analizador en línea de forma tal que cuando se requiera hacer una validación se pueda pasar el producto del tanque para ser analizado, posteriormente se halla la desviación de las medidas comparando los datos reportados por el analizador con los datos de referencia del producto, de esta

---

<sup>5</sup> J.F, T., & FIGUEROA, A. Implementación del sistema de validación de datos para los analizadores en línea de gasolina, combustóleo pesado y combustóleo liviano de la refinería de Ecopetrol S.A Barrancabermeja. Bucaramanga: Universidad de Santander, Facultad de Ingeniería Electrónica. 2015.

<sup>6</sup> *Ibíd.*

forma se determina si el analizador está o no calibrado y por ende si es o no confiable.

#### 4.2 ANTECEDENTES

La Refinería de Ecopetrol S.A., Barrancabermeja con el fin de minimizar los reprocesos y los regalos de calidad en sus productos, ha invertido en los siguientes sistemas:

**Tabla 3. Sistemas implementados para mitigación de reprocesos y/o regalos de calidad en la Refinería de Ecopetrol Barrancabermeja.**

AÑO	PROCESOS	SISTEMAS IMPLEMENTADOS
2004	Blending de Gasolina	Segregación de componentes.
		Construcción de los tanques K950/954/956.
		Construcción de Casa de Bombas 9.
		Instalación de Sistemas de Analizadores en línea de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• RVP</li> <li>• SimDis (Destilación Simulada)</li> <li>• Azufre por Rayos X</li> <li>• Inferencia NIR para medir:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Gravedad API</li> <li>○ RON</li> <li>○ MON</li> <li>○ IBP</li> <li>○ FBP</li> <li>○ Aromáticos</li> <li>○ Olefinas</li> <li>○ Benceno</li> <li>○ Oxigeno</li> </ul> </li> </ul>

AÑO	PROCESOS	SISTEMAS IMPLEMENTADOS
		Instalación del sistema RBC.
		Instalación del sistema APC - ABC de ABB.
2004	Blending de Combustóleo	Segregación de componentes.
		Instalación de Sistemas de Analizadores en línea para combustóleo pesado y liviano de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Densidad</li> <li>• Viscosidad</li> <li>• Azufre</li> </ul>
		Instalación del sistema RBC
		Instalación del sistema APC - ABC de la empresa ABB
2006	Nueva Estación de GLP	Segregación, construcción y puesta en servicio de la nueva estación de GLP de la refinería de Barrancabermeja Instalación y puesta en servicio de compresor para el funcionamiento del analizador en línea Instalación y puesta en servicio de analizador en línea para calidad del GLP producido
2007	Blending de Diésel	Segregación de componentes
		Construcción de cuatro matrices de mezcla: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diésel Regular</li> <li>• Diésel Extra</li> <li>• Diésel de Ajuste</li> <li>• Diluyente especial</li> </ul>
		Implementación de Blending manual con válvulas globo
		Instalación de Analizadores en línea de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inferencia NIR</li> <li>• Azufre por X-Ray</li> </ul>
2009	Blending de Diésel	Instalación del sistema RBC
2010	Blending de Diésel	Debido a cambio de especificaciones de azufre (cambio de 500ppm a 50ppm), entrada en funcionamiento de la nueva planta de HDT y el inicio de dosificación de Biodiesel para la preparación de B2 Y B2E (Diésel regular y Diésel Extra con 2% de Biodiesel), se realizó la compra, instalación y puesta en marcha de dos analizadores de azufre por cromatografía de líquidos. PGC2007

AÑO	PROCESOS	SISTEMAS IMPLEMENTADOS
2013	Blending de Diésel	Compra, configuración y puesta en servicio del sistema APC-BOSS de la empresa Invensys.
		Compra, configuración y puesta en servicio del sistema de validación de datos para los analizadores de diésel.
2013	Blending de PGR	Segregación y construcción de facilidades para desviar PGR para la nueva estación de GLP Construcción de Balas de 20000 barriles para el almacenamiento de PGR Construcción e instalación de facilidades y de Caseta para la operación de 6 analizadores en línea. Las plantas de Orthoflow, UOP I, Y UOP II quedan instalados 2 analizadores por planta para revisar la calidad del PGR producido. Construcción e instalación de caseta y facilidades para el correcto funcionamiento de 4 analizadores en línea para revisar la calidad de la producción y la venta por carro tanques y botes Configuración y puesta en marcha del control avanzado y venta en línea de PGR
2014/ 2015	Actualización de modelos NIR diésel, Gasolina y crudos	Puesta en servicio de nuevo analizador MB3000 (marca ABB) para el laboratorio Actualización de modelos Diésel, Gasolina y Crudos

Fuente: Ecopetrol S.A

## 4.3 MARCO LEGAL

**4.3.1 Normas de calidad de combustibles en Colombia.** En la tabla 4 encontramos las diferentes resoluciones que regulan los criterios de calidad de los combustibles.

**Tabla 4. Resoluciones que regulan los criterios de calidad de los combustibles en Colombia**

<b>Año</b>	<b>Resolución</b>	<b>Descripción</b>
1995	Resolución 898	Por la cual se regulan los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y caldera de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna de vehículos automotores.
1998	Resolución 623	Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 898 de 1995 que regula los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna.
2001	Resolución 0068	Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 898 de 1995, adicionada por la Resolución número 125 de 1996 y modificada por la Resolución número 623 de 1998, que regula los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna de vehículos automotores.
2004	Resolución 1565	Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 898 del 23 de agosto de 1995, que regula los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna.
2005	Resolución 1289	Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 898 del 23 de agosto de 1995, en el sentido de regular los criterios de calidad de los biocombustibles para su uso en motores diésel como componente de la mezcla con el combustible diésel de origen fósil en procesos de combustión.
2005	Resolución 2200	Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 1565 del 27 de diciembre de 2004.
2006	Resolución 1180	Por la cual se modifican parcialmente las Resoluciones 1565 y 1289 del 27 de diciembre de 2004 y 7 de septiembre de 2005, respectivamente.
2007	Resolución 180782	Por la cual se modifican los criterios de calidad de los biocombustibles para su uso en motores diésel como componente de la mezcla con el combustible diésel de origen fósil en procesos de combustión.

Fuente: Ministerio de Minas y Energía & Ministerio del Medio Ambiente.

### 4.3.2 Estándares ASTM (American Society for Testing and Materials)

**Tabla 5. Estándares internacionales para medidas y materiales.**

Estándar	Descripción
ASTM D6839	Método de prueba estándar para hidrocarburos, compuestos oxigenados y benceno en los combustibles para motores de encendido por chispa; este método de ensayo cubre la determinación cuantitativa de ácidos grasos saturados, olefinas, aromáticos y compuestos oxigenados de combustibles para motores de encendido por chispa por cromatografía de gases multidimensional. Cada tipo de hidrocarburo se puede informar ya sea por número de carbono o como un total.
ASTM D4953	Método de prueba estándar para la presión de vapor de gasolina (RVP) y mezclas de gasolina oxigenada; la presión de vapor es una importante propiedad física de los combustibles para los motores de encendido por chispa, este da una indicación de cómo se comporta un combustible en diferentes condiciones de operación, Por ejemplo, la presión de vapor es un factor para determinar si un combustible provocará el bloqueo de vapor a alta temperatura ambiente o en la altura, o le proporcionará fácil arranque a temperatura ambiente baja.
ASTM D4420	Método de prueba estándar para la determinación de compuestos aromáticos en la gasolina terminada por cromatografía de gases; este método de prueba prevé la determinación de benceno, tolueno, C8, C9 y aromáticos pesados y compuestos aromáticos totales en gasolina de motor. También es aplicable a los componentes de mezcla de gasolina.
ASTM D4294	Método de prueba estándar para azufre en petróleo y sus derivados por energía dispersiva de rayos X - espectrometría de fluorescencia; este método de ensayo proporciona una medición rápida y precisa de azufre total en petróleo y sus derivados con un mínimo de preparación de la muestra. Un tiempo de análisis típico es de 1 a 5 min por muestra.
ASTM D3710	Método de prueba estándar por la distribución del rango de ebullición de las fracciones de gasolina por cromatografía de gases; este método de ensayo cubre la determinación de la distribución de intervalo de ebullición de componentes de la gasolina. Este método de ensayo es aplicable a los productos petrolíferos y fracciones con un punto de ebullición final de (260°C) 500°F o menor medida por este método. Este método de ensayo está diseñado para medir toda la gama de ebullición de la gasolina y de los componentes de la gasolina con alta o baja presión de RVP y se conoce comúnmente como la cromatografía de gases (GC) de destilación (GCD).

Estándar	Descripción
ASTM D2700	Método de prueba estándar para “Motor Octane Number (MON)” en los combustibles para motores de encendido por chispa.
ASTM D2699	Método de prueba estándar para “Research Octane Number (RON)” en los combustibles para motores de encendido por chispa.
ASTM D1319	Método de prueba estándar para los tipos de hidrocarburos líquidos en productos derivados del petróleo por Indicador de adsorción fluorescente; este método de ensayo cubre la determinación de tipos de hidrocarburos en los intervalos de concentración de 5 a 99% de volumen de aromáticos, 0,3 a 55% volumen de olefinas, y de 1 a 95% volumen de saturados en fracciones de petróleo que destilan por debajo de 315 °C.
ASTM D1298	Método de prueba estándar para la densidad, densidad relativa o gravedad API de petróleo crudo y líquidos derivados del petróleo por el método de Hidrometría.
ASTM D445	Método de prueba estándar para la viscosidad de los líquidos transparentes y opacos.

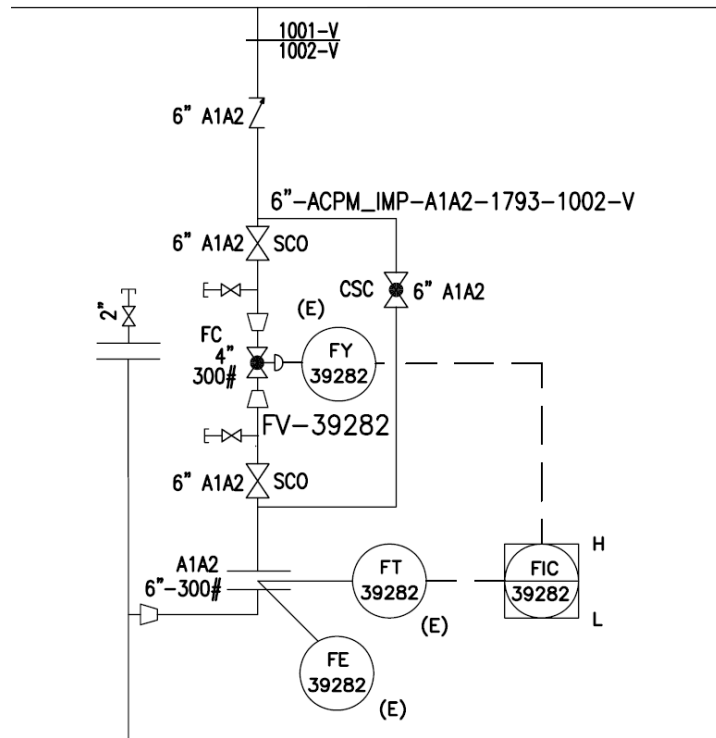
Fuente: Standards & Publications. Disponible en: <http://www.astm.org/Standard/standards-and-publications.html>

#### 4.4 MARCO CONCEPTUAL

Un esquema de Blending de productos tiene los siguientes componentes:

- Válvulas de control
- Medidores de flujo
- Medidores de presión
- Medidores de temperatura
- Analizadores en línea de componentes
- Analizadores en línea de Producto Final
- Sistema de control regulatorio de mezcla (RBC)
- Sistema de control avanzado

**Imagen 4. Ejemplo plano de instrumentos (P&ID).**



Fuente: Ecopetrol S.A.

Las señales de campo de los medidores primarios (ver imagen 4) como son los medidores de flujo, temperaturas, presión, señales de estado de válvulas de control, válvulas motorizadas, señales de los analizadores, son llevadas al cuarto de control por medio de comunicación por fibra óptica, en 4 a 20 ma o vía MODBUS. Estas señales son llevadas a unos gabinetes de conexionado donde las señales son transformadas de análogas a digitales para poderlas configurar hacia un DCS (Distributed Control System).

En pantalla del DCS el operador puede ver las señales, operar las válvula en remoto, arrancar y apagar las bombas en remoto, también se puede configurar guías de control y ventanas operativas cada una con sus respectivas alarmas.

Después de configurar todas las señales en el DCS se utiliza otro software que se llama RBC (Regulatory Blend Control: control regulatorio de mezcla). El control regulatorio de mezclas es un software donde el operador selecciona las válvulas, tanques y bombas para que el RBC las pueda manipular. Cuando el operador da inicio a la receta de preparación con el RBC se inicia una secuencia de comprobación de alineamientos y volúmenes, después hace una secuencia manipulación de válvulas, y encendido de bomba, después inicia a realizar rampas de medición de flujos hasta alcanzar la rata objetivo.

Con las estrategias de control anteriores el sistema realiza manipulaciones puntuales de mezcla y los cambios son realizados dependiendo del porcentaje del componente en la mezcla y el flujo total de la mezcla sin importar la calidad de los componentes y producto final.

Para que el control de la preparación de combustibles se realice sin errores humanos se implementó el control avanzado de procesos. El APC (Advance Process Control) es una amplia gama de técnicas y tecnologías implementadas en los sistemas de control de procesos industriales. En nuestra aplicación de esta tecnología utiliza uno algoritmos complejos de mezclas en línea para garantizar la calidad de los productos y disminuyendo los regalos de calidad. El control avanzado de mezcla necesita la información de calidad de componentes, remanente de la calidad del volumen del tanque a preparar y la calidad del remanente para calcular la calidad del producto final.

El operador introduce los datos de calidad de componente y remanente del tanque en el control avanzado para hacer la receta inicial; También al programa le activa para bombas, válvulas, tanques y válvulas de control disponibles para operar. Una vez el operador da inicio a la mezcla desde el control avanzado, el control avanzado se comunica con el RBC para subirle el programa de mezcla según los porcentajes que el control avanzado cálculo para una receta óptima. El RBC

realiza arranque de la mezcla en automático hasta ajustar los flujos de cada componente de la receta. El control avanzado revisa la información de los analizadores en línea (según el analizador hay datos de calidad en línea de 3 a 10 minutos dependiendo de la tecnología del equipo y del cambio de calidad de los componentes) de las calidades de los componentes y producto final. Según los datos recibidos de los analizadores el control avanzado continúa haciendo ajustes al RBC para conseguir la calidad del producto final.

Para su el correcto funcionamiento del control avanzado y garantizar la disminución de regalo de calidad el control avanzado necesita que los analizadores en línea para la preparación de combustibles estén disponibles y los datos sean confiables. Se necesita garantizar la disponibilidad de los analizadores en un 95 % estable en el segundo año de implementación del equipo de analizadores.

Experiencia en las industrias de refinación y petroquímica ha demostrado que cada aplicación puede generar ahorros de cientos de miles de dólares por año, algunos en más de un millón de dólares por año.<sup>7</sup>

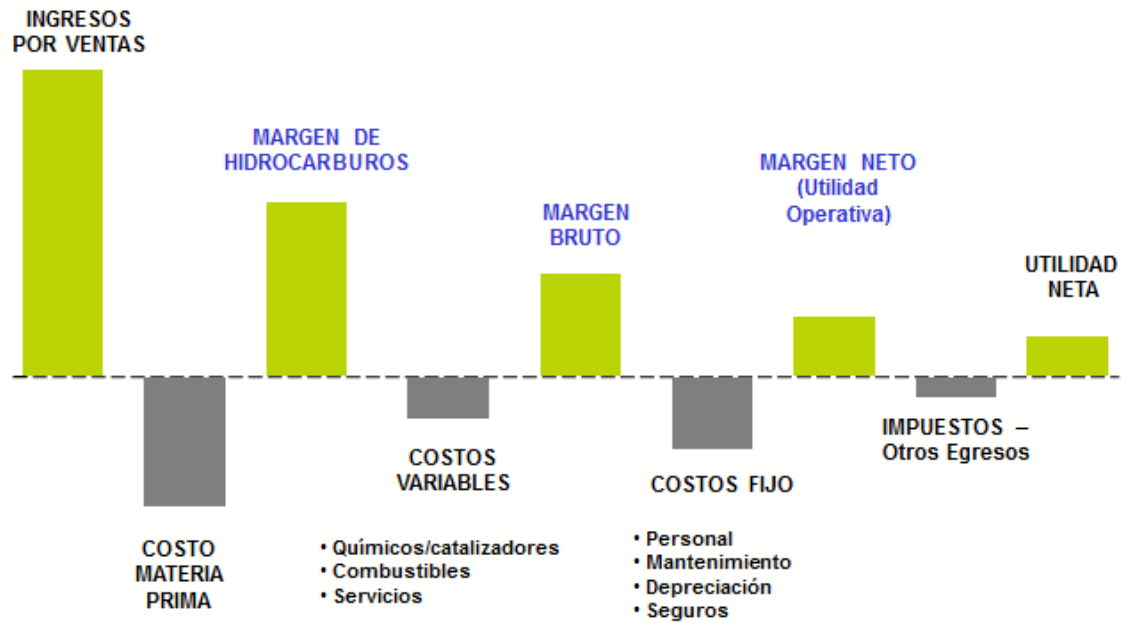
## **4.5 MARCO ECONÓMICO**

**4.5.1 Margen de refinación.** La economía de la refinería de Barrancabermeja es basada en los márgenes de refinación. Margen de refinación (ver imagen 5) es la diferencia entre el valor mayorista de los derivados del petróleo producidos por la refinería y el valor del petróleo crudo del cual fueron refinado.

---

<sup>7</sup> CLEVETT, K.J. Improve process analyzer performance. Hydrocarbon Processing, 1996. Pág. 75.

## Imagen 5. Margen de refinación



Fuente: Ecopetrol S.A.

Para Ecopetrol el precio del crudo depende del crudo de referencia que es el crudo Brent. La calidad del crudo Brent es comparada con la calidad el crudo de Ecopetrol

Si el crudo es de igual calidad el precio es igual al crudo Brent,  
Si la calidad es por debajo del crudo Brent el precio también baja

En el proceso de preparación de combustibles la refinería tiene que lograr el máximo margen de hidrocarburos. Un mayor margen de hidrocarburos se logra cuando se prepararan combustibles dentro de especificaciones, sin regalo de calidad, sin degradaciones, y sin reprocesos.

**4.5.2 Incumplimiento a clientes.** La refinería de Barrancabermeja vende sus productos a cliente interno que se llama CENIT y clientes externos por botes y carro tanques.

CENIT es la empresa encargada de administrar es sistema de oleoducto de Ecopetrol. LA refinería tiene compromiso de entrega de productos dentro de especificaciones, el volumen requerido y oportunamente según programa semanal de producción.

La economía de la empresa se afectada por el no cumplimiento de las venta de combustibles a los clientes. Los clientes cobran multas por pares de líneas de entrega por el oleoducto y por el no despacho de producto por carro tanques.

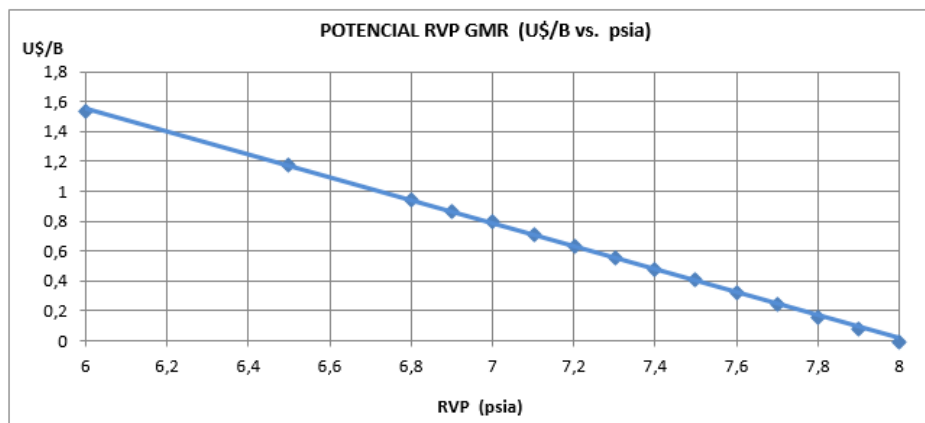
**4.5.3 Potenciales Económicos.** Los potenciales económicos dependen del regalo de calidad en la preparación de combustible. El regalo de calidad es un término utilizado en la refinación cuando un producto por ejemplo se debe entregar con calidad de 6 y se entrega al cliente con mejor calidad ejemplo de 10, el producto está dentro de las especificaciones pero se están regalando 4 puntos de calidad. Lo anterior se llama regalo de calidad porque para subir esos 4 puntos fue necesario utilizar mayor volumen de producto de mayor valor o mejor calidad. Todo depende del precio de los componentes con los cuales se está realizando la preparación.

La Gerencia de Refinación de Barrancabermeja que es la encargada de Procesar 256000 barriles por día (BPD); Entre los Productos más importantes tiene una producción diaria de 80000 BPD de Diésel, 77000 BPD de Gasolina motor, 4000 BPD de gasolina Extra, 50000 BPD de combustóleo pesado/liviano, 4500BPD de Propileno Grado Refinería (PGR) y 2000BPD Gas licuado de Petróleo (GLP).

**4.5.3.1 Potenciales económicos para la preparación de Gasolina motor regular y Gasolina motor Extra:** En la preparación de la gasolina motor regular y extra se tienen en cuenta los potenciales económicos:

- Presión de Vapor Reid (psia): Si la preparación de gasolina en tanques da un regalo de calidad de RVP en 7.6 vs 8 (ver gráfica 1). Estamos dejando de ganar 0,3 dólares por barril.

**Gráfica 1. Potencial económico RVP en gasolina**

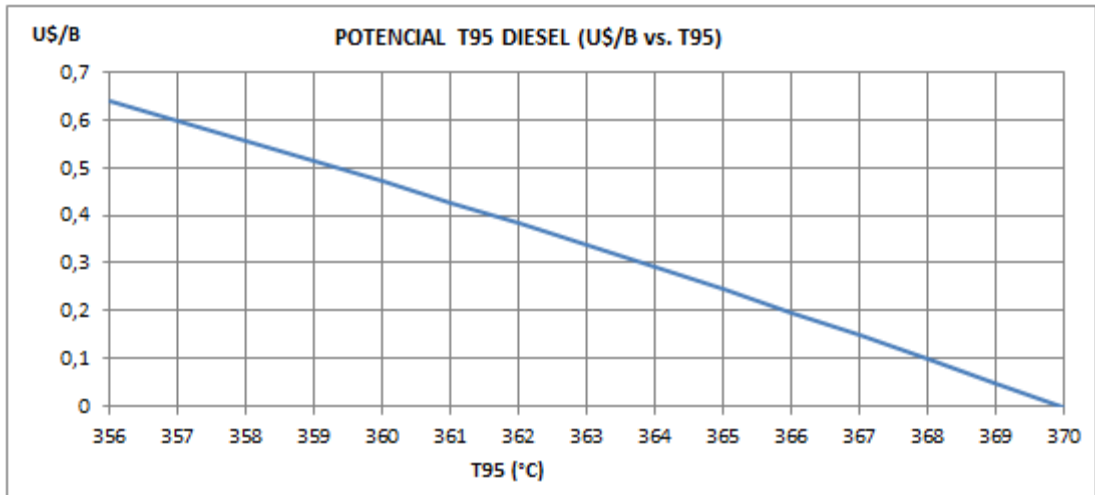


Fuente: Ecopetrol programa semanal de producción del 1 al 14 de julio de 2016

**4.5.3.2 Potenciales económicos para la preparación de Diésel:** En la preparación de la diésel se tienen en cuenta los potenciales económicos:

- Temperatura de recobrado del 95% o T95: Si la preparación de diésel en tanques da un regalo de calidad de T95 en 366 vs 370C se está dejando de ganar 0.2 dólares por barril preparado (Ver gráfica 2)

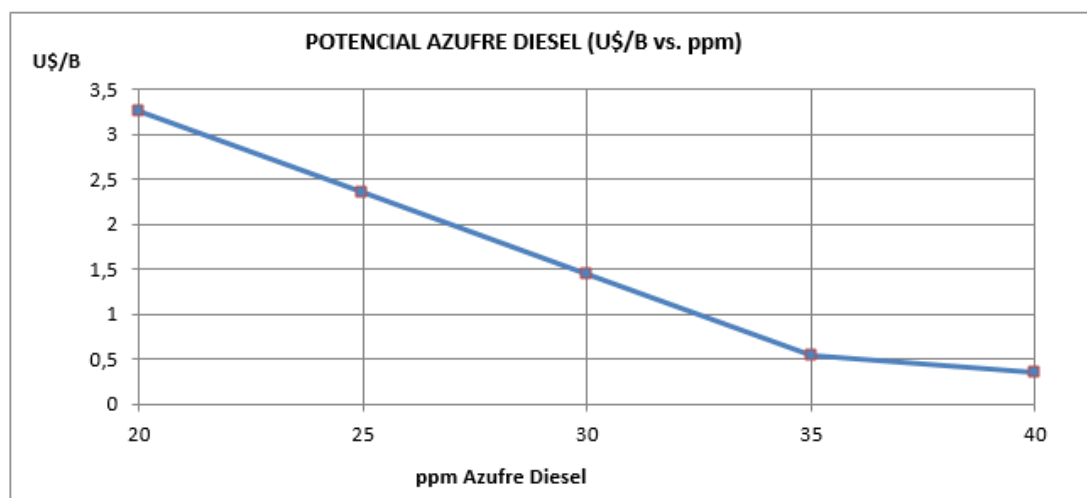
**Gráfica 2. Potencial económico T95 en Diésel**



Fuente: Ecopetrol programa semanal de producción del 1 al 14 de julio de 2016

- Contenido de azufre en el diésel: Si la misma preparación de diésel tienen un regalo de calidad en azufre 30 ppm vs 38 ppm (ver gráfica 3). Estaríamos dejando de ganar 1 dólar por barril

**Gráfica 3. Potencial económico Azufre en Diésel**

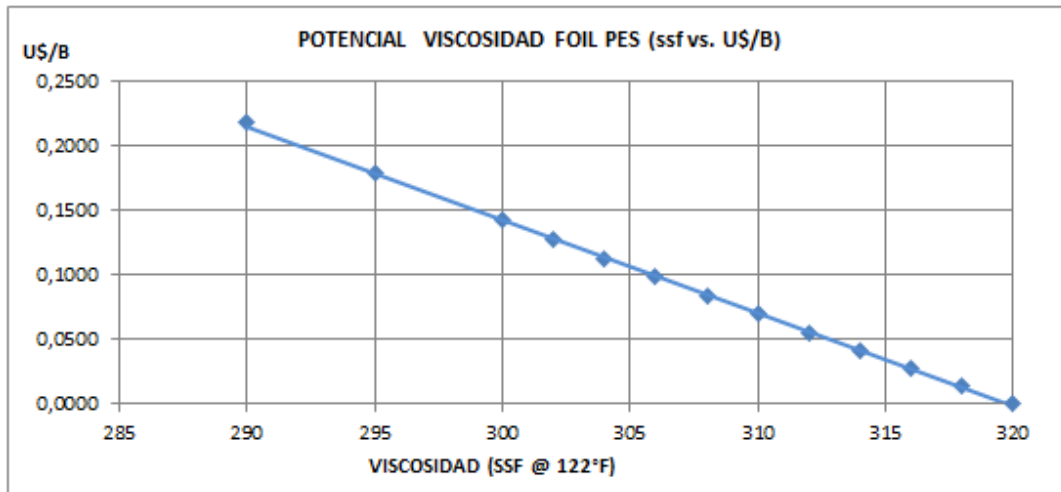


Fuente: Ecopetrol programa semanal de producción del 1 al 14 de julio de 2016

**4.5.3.3 Potenciales económicos para la preparación de Combustóleo liviano y combustóleo pesado.** Para la preparación de combustóleo se utiliza aceite liviano de ciclo (como diluyente), fondos de viscoreductora, slurry, y fondo de las unidades de vacío. Para una preparación económicamente viable, el control de viscosidad debe estar en el punto alto de control; para combustóleo pesado 320SSF y combustóleo liviano 55 SSF. El aceite liviano de ciclo es utilizado como diluyente para la preparación de combustóleo, entre más sea baja la viscosidad hay mayor consumo de diluyente.

- Viscosidad del combustóleo pesado: en la preparación de Combustóleo pesado tiene un regalo de calidad de viscosidad en 300 vs 320 ssf son 0,13 dólares por barril según la gráfica 4.

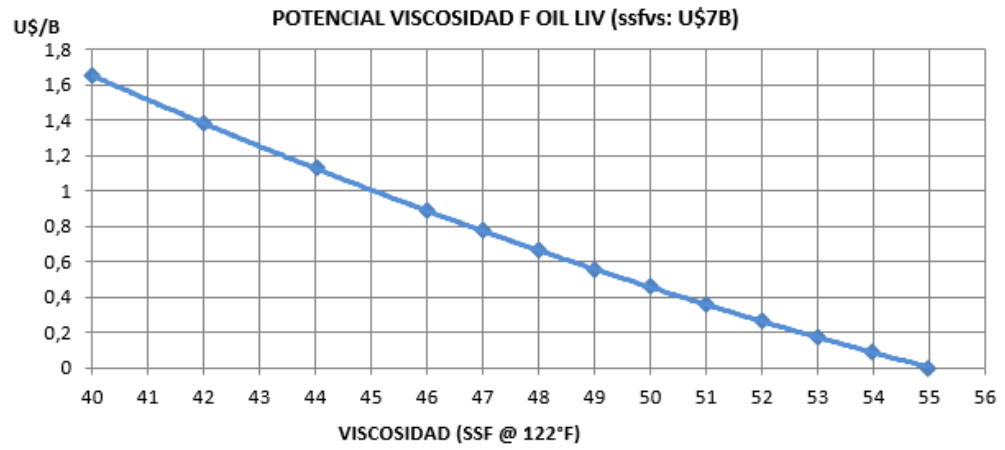
**Gráfica 4. Potencial económico Viscosidad en combustóleo Pesado**



Fuente: Ecopetrol programa semanal de producción del 1 al 14 de julio de 2016

- Viscosidad de combustóleo liviano: en la gráfica 5 se puede observar si Combustóleo liviano 50 ssf vs 55 ssf de regalo de calidad son 0,41 dólares por barril.

**Gráfica 5. Potencial económico viscosidad combustóleo Liviano**



Fuente: Ecopetrol programa semanal de producción del 1 al 14 de julio de 2016

## 5. METODOLOGÍA

Propuesta metodológica necesaria para el desarrollo de este proyecto.

**Tabla 6. Metodología**

Objetivos Específicos	Objetivos Metodológicos
<p>Analizar técnicamente el estado actual de los analizadores y sub sistema. Teniendo en cuenta su criticidad</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación, análisis de riesgo y definición de impacto de los analizadores en línea de gasolina,</li> <li>• Identificación, análisis de riesgo y definición de impacto de los analizadores en línea de diésel.</li> <li>• Identificación, análisis de riesgo y definición de impacto de los analizadores en línea de Combustóleo</li> <li>• Realizar estudio de criticidad de los analizadores y sub sistemas</li> </ul>
<p>Realizar diferentes análisis económicos como soporte de la promesa de valor para implementación de un grupo de mantenimiento especializado de analizadores en línea</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cálculo de ingresos de productos dentro de especificaciones vendidos por oleoductos durante meses de Abril, Mayo y Junio</li> <li>• Análisis de las preparaciones realizadas gasolina de enero a junio de 2016</li> <li>• Análisis de las preparaciones realizadas de Diésel B2E de enero a junio de 2016</li> <li>• Análisis de las preparaciones realizadas de Combustóleo liviano gasolina de enero a junio de 2016</li> <li>• Análisis de las preparaciones realizadas de Combustóleo pesado de enero a junio de 2016.</li> <li>• Cálculos de regalos de calidad del producto entregado, teniendo en cuenta el potencial económico.</li> <li>• Análisis de reproceso del primer semestre del 2016</li> <li>• Análisis económico de pares de línea de Abril a Junio del 2016</li> <li>• Analizar los costos de contratar el mantenimiento de analizadores</li> </ul>
<p>Realizar Propuesta para gerenciamiento de los sistema de analizadores</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beneficio económico</li> <li>• Cálculo de personal necesario para realizar mantenimiento de los equipos</li> <li>• Estructura de control de gestión</li> <li>• Aseguramiento a corto plazo</li> <li>• Indicadores de gestión de desempeño</li> </ul>

Objetivos Específicos	Objetivos Metodológicos
	<ul style="list-style-type: none"><li data-bbox="597 279 1453 350">• Plan de entrenamiento para certificación en el mantenimiento directamente en fábrica de los analizadores para el personal a cargo.</li></ul>

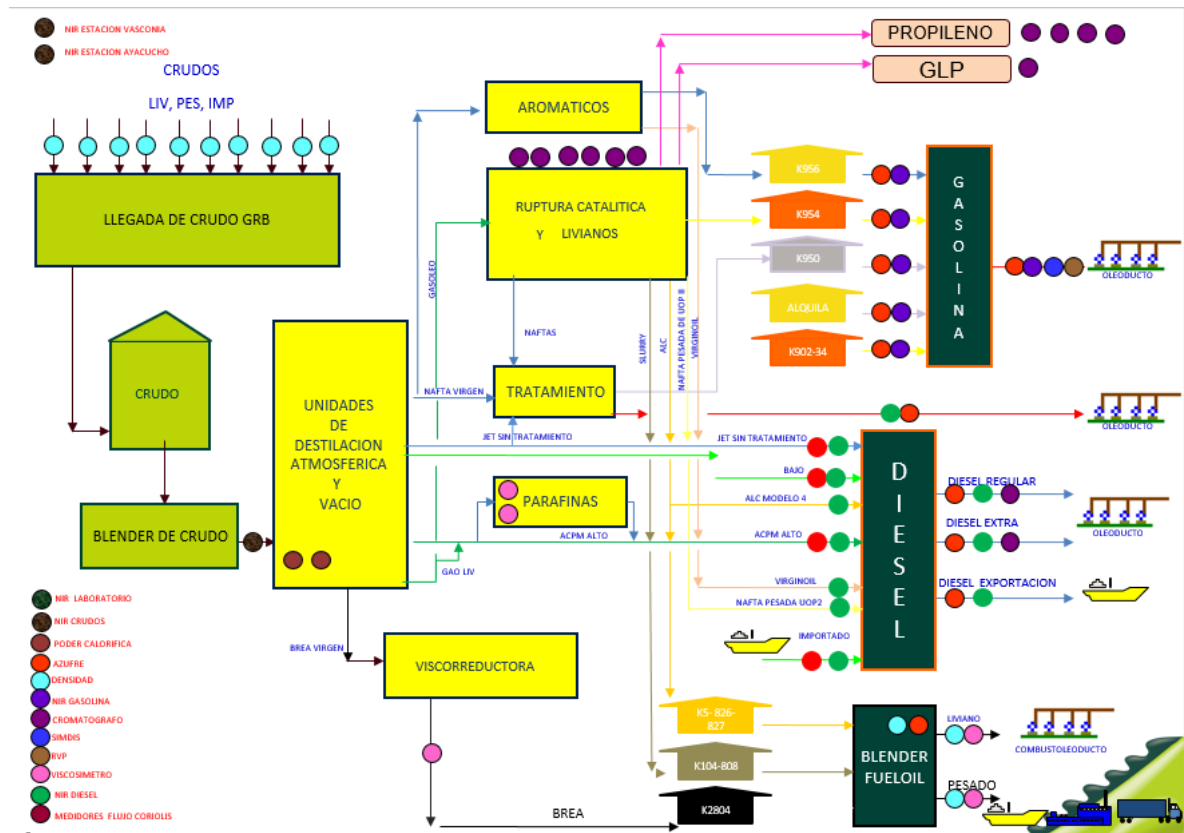


## 7. RESULTADOS

### 7.1 ANALIZAR TÉCNICAMENTE EL ESTADO ACTUAL DE LOS ANALIZADORES Y SUB SISTEMA. TENIENDO EN CUENTA SU CRITICIDAD

En las diferentes unidades de la refinería de Barrancabermeja existen analizadores en línea para revisar la calidad de productos. En la Imagen 6 se evidencia los analizadores indicados por puntos de diferentes colores.

Imagen 6. Diagrama esquemático de los diferentes analizadores que se encuentran instalados en refinería.



Debido al gran impacto económico en el margen de refinación se realiza el estudio técnico económico para la creación del grupo para mantenimiento de analizadores para el área Blending de diésel, Gasolina, y combustóleo.

En los diferentes blending existen 35 analizadores en línea, para que los 35 analizadores en línea operen correctamente necesitan 133 sub equipos.

Debido a la cantidad de analizadores y subsistema se realiza análisis de riesgo según matriz RAM acorde con el procedimiento de Ecopetrol GHS-G-035 Guía matriz de valoración de riesgos. En la valoración de riesgo (ver tabla 8) se tienen en cuenta las siguientes consecuencias

- Personas
- Económicas/instalaciones: se tienen en cuenta el impacto operacional, costo de mantenimiento, incidentes anteriores
- Ambiental
- Clientes
- Reputación

**Tabla 8. Matriz de Severidad**

SEVERIDAD POR IMPACTO A:					
PERSONAS	INSTALACIONES	AMBIENTE	CLIENTES	IMAGEN	
1 o más fatalidades	Catastrófica > 10MM USD	Contaminación Irreparable	Veto como Proveedor	A nivel Internacional	5
Incapacidad Permanente (Parcial o Total)	Grave \$1MM a \$10 MM USD	Contaminación Mayor	Pérdida de participación en el mercado	A nivel Nacional	4
Incapacidad Parcial (> 1 día)	Severo \$100 M a \$1 MM USD	Contaminación Localizada	Pérdida de clientes y/o desabasto	A nivel Regional	3
Lesión Menor (Sin	Importante	Efecto Menor	Quejas y/o reclamos	A nivel Local	2

SEVERIDAD POR IMPACTO A:					
PERSONAS	INSTALACIONES	AMBIENTE	CLIENTES	IMAGEN	
incapacidad)	\$10M a 100M USD				
Lesión Leve (Primeros Auxilios)	Marginal < \$10M USD	Efecto Leve	Incumplimiento de especificaciones	A nivel Interno	1
Ninguna Lesión	Ninguna Pérdida	Ningún Efecto	Ningún Impacto	Ningún Impacto	0

Fuente: Ecopetrol Guía matriz de valoración de riesgos GHS-G-035

Una vez tenido en cuenta se revisa la probabilidad (ver tabla 9) de que el evento ocurra.

**Tabla 9. Tabla de severidad**

PROBABILIDAD	
5	Ha sucedido varias veces en la unidad, superintendencia o departamento.
4	Sucede varias veces al año en la empresa. Puede ocurrir al menos una vez en la vida de la instalación
3	Ha ocurrido en la empresa. Improbable pero puede ocurrir en una instalación similar.
2	Ha ocurrido en la industria. Difícil pero no es imposible que ocurra.
1	No ha ocurrido en la industria: No es realista la expectativa que ocurra.
0	

Fuente: Ecopetrol Guía matriz de valoración de riesgos GHS-G-035

En el procedimiento de Ecopetrol el riesgo es igual a la severidad por la probabilidad ocurra un incidente o que haya ocurrido en la industria. (Ver tabla 10)

Riesgo: probabilidad x severidad.

**Tabla 10. Matriz de valoración**

CATEGORÍA DEL RIESGO	
VH	Muy alto
H	Alto
M	Medio
L	Bajo
N	Ningún

Fuente: Ecopetrol Guía matriz de valoración de riesgos GHS-G-035

**7.1.1 Identificación, análisis de riesgo y definición de impacto de los analizadores en línea de gasolina.** En la tabla 11 se realiza identificación de los analizadores y sub equipos localizados en la casa bombas nueve de la refinería de Barrancabermeja, en la tabla los equipos están organizados según el riesgo RAM, e impacto. Estos equipos son necesarios para análisis de calidad durante la preparación de Gasolina Motor.

**Tabla 11. Analizadores del sistema de gasolina**

TAG	NOMBRE	EQUIPO	RAM	Impacto Económico / producción / Operación/seguridad	Costo total en Dólares
AI39557	Analizador de RVP	Analizador	H	Tanque fuera de especificaciones - Regalo de calidad - Desabastimiento de combustible al país **potencial de Ganancia en el RVP. Si un tanque se prepara y el RVP da 8,0 vs 9,6. Estamos dejando de ganar 0,5 dólares por barril. Potencial US\$50000	\$2.705.640
SAA3955 1	Sistema aire acondicionado y ventilación	Servicio	H	La no disponibilidad ocasiona pare del sistema de analizadores de Blending de gasolina	\$5.200

TAG	NOMBRE	EQUIPO	RAM	Impacto Económico / producción / Operación/seguridad	Costo total en Dólares
AI39555	Analizador Azufre Productos	Analizador	M	Tanque fuera de especificaciones Regalo de calidad Desabastimiento de combustible al país (imagen nacional). Mayor consumo de alquiler para corregir la calidad de un tanque se tienen en cuenta de utilizar 5000 bls al mes de para corregir el azufre de los tanques. La diferencia entre gasolina motor y plaformado/alquiler son US\$8,71 por barril.	\$528.800
AI39556	Analizador FTIR	Analizador	M	Tanque fuera de especificaciones Regalo de calidad Desabastimiento de combustible al país Mayor consumo de alquiler para corregir la calidad de un tanque se tienen en cuenta de utilizar 5000 bls al mes de para corregir el azufre de los tanques. la diferencia entre gasolina motor y plaformado/alquiler son US\$8,71 por barril	\$540.480
AI39558	Analizador SimDis	Analizador	M	Tanque fuera de especificaciones Regalo de calidad des abastimiento de combustible al país (imagen nacional) Mayor consumo de alquiler para corregir la calidad de un tanque se tienen en cuenta de utilizar 5000 bls al mes de para corregir el azufre de los tanques. la diferencia entre gasolina motor y plaformado/alquiler son US\$8,71 por barril	\$95.790
SD3957	Sistema de recuperación de líquidos	Servicio	M	La no disponibilidad ocasiona pare del sistema de analizadores de Blending de gasolina	\$81.590
GDT3955 1A	Detector de H2S	sistema de protección de fuego y llama	M	Seguridad del personal	\$1.533

<b>TAG</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>RAM</b>	<b>Impacto Económico / producción / Operación/seguridad</b>	<b>Costo total en Dólares</b>
GDT3955 1B	Detector 1 de hidrocarburos pesados	sistema de protección de fuego y llama	M	Seguridad del personal	\$1.533
GDT3955 1C	Detector 2 de hidrocarburos livianos	sistema de protección de fuego y llama	M	Seguridad del personal	\$1.533
GDT3955 1D	Detector de humo	sistema de protección de fuego y llama	M	Seguridad del personal	\$1.533
GDT3955 1F	Detector de llama	sistema de protección de fuego y llama	M	Seguridad del personal	\$1.533
DV39550	Sistema de diluvio	sistema de protección de fuego y llama	M	Seguridad del personal	\$1.533
SP3955A	Bomba booster A de producto	Equipo Rotativo	M	Muestra no confiable , posible daño de calidad	\$86.257
SP3955B	Bomba booster B de producto	Equipo Rotativo	M	Muestra no confiable , posible daño de calidad	\$86.257
SP3957A	Bomba Drum recuperador de líquidos	Equipo Rotativo	M	La no disponibilidad ocasiona pare del sistema de analizadores de Blending de gasolina	\$82.923
SP3957B	Bomba Drum recuperador de líquidos	Equipo Rotativo	M	La no disponibilidad ocasiona pare del sistema de analizadores de Blending de gasolina	\$82.923
XA39546	Sistema Acondicionamiento de	Acondicionamiento de muestra	M	La no disponibilidad ocasiona pare del sistema de analizadores de Blending de gasolina	\$80.923

TAG	NOMBRE	EQUIPO	RAM	Impacto Económico / producción / Operación/seguridad	Costo total en Dólares
	Muestra espectro componentes				
XA39545	Sistema Acondicionamiento Muestra espectro Producto	Acondicionamiento de muestra	M	La no disponibilidad ocasiona pare del sistema de analizadores de Blending de gasolina	\$80.923
AI39554	Analizador Azufre Componentes	Analizador	N	Tanque fuera de especificaciones Regalo de calidad des abastimiente de combustible al país (imagen nacional )	\$7.400
SC3951	Sistema Aire Comprimido	Servicio	N	El sistema está conectado por aire refinería	\$7.867
UPS3950 E	Sistema interrumpido de potencia UPS	Servicio	N	La no disponibilidad ocasiona pare del sistema de analizadores de Blending de gasolina	\$3.200
CAC-39551	Controlador de analizadores Continuo CAC	Comunicación	N	La comunicación es redundante	\$1.200
SD39551 A	Tanque de validación 1	Equipo Rotativo	N	Equipos no calibrados	\$1.200
SD39551 B	Tanque de validación 2	Equipo Rotativo	N	El tanque de validación es utilizado para hacer comparativos entre los analizadores y laboratorio. El tanque se debe llenar y enviar muestra para vobo del contenido del tanque. Mínimo una vez por semana se debe realizar comparativos entre el analizador y laboratorio utilizando el sistema AMADAS	\$1.200

**7.1.2 Identificación, análisis de riesgo y definición de impacto de los analizadores en línea de diésel.** En la tabla 12 se realiza identificación de los analizadores y sub equipos localizados en la casa bombas nueve de la refinería de Barrancabermeja, en la tabla los equipos están organizados según el riesgo RAM, e impacto. Estos equipos son necesarios para análisis de calidad durante la preparación de Diésel.

**Tabla 12. Analizadores del sistema de Diésel**

TAG	NOMBRE	EQUIPO	RAM	Impacto Económico / producción / Operación/seguridad	Costo total en Dólares
AI32901	Colorímetro	Analizador	M	Para el cálculo de criticidad se tienen en cuenta - Contaminación de un tanque 30000 bls con producción mala por color. - Estos 30000 bls desviados a gasóleo son US\$13 por barril. - Lavado del tanque 45000000.	\$406.200
AI39283	Analizador NIR Blending de Diésel	Analizador	M	Se tienen en cuenta - Regalo de calidad por T95. Para el cálculo solo se toma un 15% del valor total del regalo de calidad, Porque hay sistema de control avanzado y personal capacidad Potencial económico por desviación de la T95% Refinería produce 75000 bpd: ENTREGAR UN TANQUE CON 366 VS 370 SE PIERDEN 0,2 DÓLARES POR BARRIL. Para un total de 15000 dólares diarios	\$871.280

<b>TAG</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>RAM</b>	<b>Impacto Económico / producción / Operación/seguridad</b>	<b>Costo total en Dólares</b>
SAA39201	Sistema aire acondicionado	Servicio	M	El impacto es que hay que parar todos los analizadores por falta de aire acondicionado	\$1.210.453
SD39200	Sistema de Recuperación de Líquidos	Servicio	M	Parar analizadores por falta del sistema de recuperación de líquidos	\$1.213.787
GDT39302	Detector de hidrocarburos pesados-NIR	sistema de protección de fuego y llama	M	Seguridad del personal	\$1.640
GDT39303	Detector de hidrocarburos livianos-NIR	sistema de protección de fuego y llama	M	Seguridad del personal	\$1.640
GCI39301	Módulo de señales caseta de cilindros	sistema de protección de fuego y llama	M	Seguridad del personal	\$1.640
GDT39305	Medidor caseta de aire y nitrógeno	sistema de protección de fuego y llama	M	Seguridad del personal	\$1.640
GDT39306	Medidor caseta de tolueno	sistema de protección de fuego y llama	M	Seguridad del personal	\$1.640
GDT39307	Medidor caseta Hidrogeno	sistema de protección de fuego y llama	M	Seguridad del personal	\$1.640
SP39203	Bomba diésel regular	Equipo Rotativo	M	No hay análisis de calidad del producto, regalos de calidad	\$543.973
SP39202	Bomba diésel extra	Equipo Rotativo	M	No hay análisis de calidad del producto, regalos de calidad	\$273.973
AI39285	Cromatografía de Productos	Analizador	L	75000 BPD de Diésel sale con azufre de 20 ppm vs 38 ppm. Estaríamos dejando de ganar 756 dólares diarios	\$60.291
AI39286	Cromatografía de componentes	Analizador	L	Datos de calidad son utilizados para el control avanzado	\$19.467

TAG	NOMBRE	EQUIPO	RAM	Impacto Económico / producción / Operación/seguridad	Costo total en Dólares
SE39200	Chiller agua de enfriamiento	Servicio	L	Tiene el equipo SAA39201 como respaldo. Si no funcionan hay que parar todos los analizadores	\$7.307
SX39300	Tratamiento de aire Atlas	Servicio	L	El impacto es hay que parar todos los analizadores pro falta de aire acondicionado	\$3.973
GDT39301	Detector de H2S-NIR	sistema de protección de fuego y llama	L	Seguridad del personal	\$1.640
XA39203A	Diésel Regular-NIR	Acondicionamiento de muestra	L	muestra no confiable, posible daño de calidad	\$541.623
XA39202A	Diésel Extra-NIR	Acondicionamiento de muestra	L	muestra no confiable, posible daño de calidad	\$271.623
XA39300	SAMC Regular EXTRA	Acondicionamiento de muestra	L	muestra no confiable, posible daño de calidad	\$43.624
sd39201	Isotank de tolueno	Equipo Rotativo	L	muestra no confiable, posible daño de calidad	\$817.120
SD39202	Isotank de Alquilato liviano	Equipo Rotativo	L		\$817.120
AI39281	Analizador Azufre Blending de Diésel	Analizador	N	Fuera de servicio	\$5.000
DI39601	Densitómetro Regular	Densitómetro	N	Equipo es requerido para que el analizador de azufre el dato sea confiable	\$640
DI39602	Densitómetro Extra	Densitómetro	N	Equipo es requerido para que el analizador de azufre el dato sea confiable	\$640
DI39670	Densitómetro jet	Densitómetro	N	Equipo es requerido para que el analizador de azufre el dato sea confiable	\$7.307
DI39640	Densitómetro botes y ACPM	Densitómetro	N	Equipo es requerido para que el analizador de azufre el dato sea	\$640

TAG	NOMBRE	EQUIPO	RAM	Impacto Económico / producción / Operación/seguridad	Costo total en Dólares
	pesado HDT			confiable	
SC39200	Sistema Aire Comprimido	Servicio	N	No hay impacto por que el equipo tiene back up con el aire industrial de refinería	\$7.307
PS39301A	Swich de presión aire cero	Swich de presión	N	Indica baja presión de gas	\$1.640
PS39301B	Swich de presión hidrogeno	Swich de presión	N	Indica baja presión de gas	\$1.640
PS39301C	Swich de presión nitrógeno	Swich de presión	N	Indica baja presión de gas	\$1.640
SP39210	Bomba ACPM de bajo azufre (ABA)	Equipo Rotativo	N		\$7.307
SP39200	Bomba Jet sin tratamiento (JST)	Equipo Rotativo	N		\$7.307
SP39240	Bomba de ACPM de HDT	Equipo Rotativo	N		\$640
SP39230	Bomba de Jet ULS	Equipo Rotativo	N		\$640
SP39250	Bomba Nafta Pesada (NP)	Equipo Rotativo	N	Producto no se utiliza para preparación por alto azufre	\$7.307
SP39260	Bomba Virginoil	Equipo Rotativo	N		\$7.307
SP39280	Bomba ACPM de botes	Equipo Rotativo	N		\$640
SP39220	Bomba ACPM HS línea de 3	Equipo Rotativo	N		\$640
SP39204	Bomba de Jet Tratado	Equipo Rotativo	N		\$7.307
SP39201	Bomba diésel de ajuste	Equipo Rotativo	N		\$640
XA39250A	Nafta Pesada-NIR	Acondicionamiento de muestra	N	Producto no se utiliza para preparación por alto azufre	\$640

<b>TAG</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>RAM</b>	<b>Impacto Económico / producción / Operación/seguridad</b>	<b>Costo total en Dólares</b>
XA39220A	ACPM HS línea de 3-NIR	Acondicionamiento de muestra	N	Muestra no confiable, posible daño de calidad	\$1.623
XA39230A	JET ULS-NIR	Acondicionamiento de muestra	N	Muestra no confiable, posible daño de calidad	\$1.623
XA39260A	Virginoil-NIR	Acondicionamiento de muestra	N		\$640
XA39204A	Jet Tratado	Acondicionamiento de muestra	N	Muestra no confiable, posible daño de calidad	\$1.623
XA39201A	Diésel de Ajuste	Acondicionamiento de muestra	N		\$640
XA39240A	ACPM ULSD	Acondicionamiento de muestra	N	Muestra no confiable, posible daño de calidad	\$1.623
XA39280A	ACPM IMPORTADO	Acondicionamiento de muestra	N	Muestra no confiable, posible daño de calidad	\$1.623
XA39210A	ACPM Bajo Azufre	Acondicionamiento de muestra	N	Muestra no confiable, posible daño de calidad	\$1.623
XA39200A	Jet sin tratamiento-RX	Acondicionamiento de muestra	N	No operan por cambio de especificaciones	\$640
XA39210A	ACPM Bajo Azufre-RX	Acondicionamiento de muestra	N	No operan por cambio de especificaciones	\$640
XA39200A	Jet sin tratamiento-RX	Acondicionamiento de muestra	N	No operan por cambio de especificaciones	\$640
XA39220A	ACPM HS línea de 3-RX	Acondicionamiento de muestra	N	No operan por cambio de especificaciones	\$640
XA39280A	IMPORTADO-RX	Acondicionamiento de muestra	N	No operan por cambio de especificaciones	\$640
XA39201A	Diésel de Ajuste-RX	Acondicionamiento de muestra	N	No operan por cambio de especificaciones	\$640
XA39204A	Jet A1-RX	Acondicionamiento de muestra	N	No operan por cambio de especificaciones	\$640
XA39203A	Diésel Regular-RX	Acondicionamiento de muestra	N	No operan por cambio de especificaciones	\$640
XADISPO	PLACA	Acondicionamiento	N	No operan por cambio de	\$640

TAG	NOMBRE	EQUIPO	RAM	Impacto Económico / producción / Operación/seguridad	Costo total en Dólares
NIBLE	DISPONIBLE-RX	de muestra		especificaciones	
XA39301	SAMC ULSD, JET ULS Y BOTES	Acondicionamiento de muestra	N	Muestra no confiable , posible daño de calidad	\$2.800
SV39301A	Selección de muestra entre importado y botes	Válvula de 3 vías	N		\$640
SV39301B	Selección de muestra de importado	Válvula de 3 vías	N		\$640
SV39301C	Selección de muestra de importado	Válvula de 3 vías	N		\$640

**7.1.3 Identificación, análisis de riesgo y definición de impacto de los analizadores en línea de Combustóleo.** En la tabla 13 se realiza identificación de los analizadores y sub equipos localizados en la casa bombas nueve de la refinería de Barrancabermeja, en la tabla los equipos están organizados según el riesgo RAM, e impacto. Estos equipos son necesarios para análisis de calidad durante la preparación de Combustóleo.

**Tabla 13. Analizadores del sistema de Combustóleo**

TAG	NOMBRE	EQUIPO	RAM	Impacto Económico / producción / Operación/seguridad	Costo total en Dólares
AI39540	Analizador Viscosidad LFO	Analizador	M	Tanque fuera de especificaciones Regalo de calidad	\$237.333

TAG	NOMBRE	EQUIPO	RAM	Impacto Económico / producción / Operación/seguridad	Costo total en Dólares
				combustóleo liviano 5 SSF de regalo de calidad son 0,35 dólares por barril, la refinería diariamente prepara 12000 bls de combustóleo liviano	
AI39541	Analizador Viscosidad HFO	Analizador	M	Tanque fuera de especificaciones Regalo de calidad Combustóleo pesado 20 SSF de regalo de calidad son 0,15 dólares por barril. La refinería prepara diariamente 19300 bls	\$166.863
GDT39552A	Detector de H2S	Sistema de protección de fuego y llama	M	Seguridad del personal	\$1.867
GDT39552B	Detector de hidrocarburos pesados	Sistema de protección de fuego y llama	M	Seguridad del personal	\$1.867
GDT39552C	Detector de hidrocarburos livianos	Sistema de protección de fuego y llama	M	Seguridad del personal	\$1.867
GDT39552D	Detector de humo	Sistema de protección de fuego y llama	M	Seguridad del personal	\$1.867
GDT39552F	Detector de fuego (llama)	Sistema de protección de fuego y llama	M	Seguridad del personal	\$1.867
UPS3950F	Sistema ininterrumpido de potencia UPS	Servicio	L	Ocasiona pare del sistema de analizadores de Combustóleo	\$228.333
AI39542	Analizador Densidad LFO	Analizador	N	No hay impacto	\$4.533

<b>TAG</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>RAM</b>	<b>Impacto Económico / producción / Operación/seguridad</b>	<b>Costo total en Dólares</b>
AI39543	Analizador Densidad HFO	Analizador	N	No hay impacto	\$4.533
AI39544	Analizador Densidad para Azufre	Analizador	N	No hay impacto	\$4.533
AI39545	Analizador de Azufre	Analizador	N	No hay impacto	\$4.533
SC3952	Sistema Aire comprimido	Servicio	N	El sistema está conectado por aire refinera	\$4.533
SAA39200	Sistema aire acondicionado y ventilación	Servicio	N	No hay impacto	\$2.533
MP3956A	Bomba booster ALC	Equipo Rotativo	N	No hay impacto, todas las bombas están conectadas	\$2.533
MP3956B	Bomba booster slurry	Equipo Rotativo	N	No hay impacto, todas las bombas están conectadas	\$2.533
MP3956C	Bomba booster Brea VRII	Equipo Rotativo	N	No hay impacto, todas las bombas están conectadas	\$2.533
MP3956D	Bomba booster LFO	Equipo Rotativo	N	No hay impacto, todas las bombas están conectadas	\$2.533
MP3956E	Bomba booster Producto HFO	Equipo Rotativo	N	No hay impacto, todas las bombas están conectadas	\$2.533
MP3956F	Bomba booster Spare	Equipo Rotativo	N	No hay impacto, todas las bombas están conectadas	\$2.533
XA39544	Sistema de selección de muestra	Acondicionamiento de muestra	N	No hay impacto,	\$2.533
CAC39541	Controlador de analizadores continuo CAC	Comunicación	N	La comunicación es redundante	\$2.533

#### 7.1.4 Realizar estudio de criticidad de los analizadores y sub sistemas.

Debido a cantidad de equipos se realiza análisis de criticidad de analizadores y subsistemas, después de realizar el análisis de criticidad se realiza gráficos de Pareto para definir los principales equipos críticos de cada sistema para priorizar los recursos.

En el sistema de analizadores se llaman sub equipos a bombas, compresores, sistema recuperación de líquidos y validación, los sub equipos son de vital importancia para la operación conjunta de los analizadores, si alguno de estos equipos falla ocasiona el paro de todo el sistema de análisis.

Para realizar el análisis de criticidad y poder realizar el análisis de Pareto tenemos en cuenta lo siguiente:

- Riesgo RAM: al realizar la valoración RAM en la matriz se realiza multiplicación entre probabilidad x severidad. Ver tabla 14

**Tabla 14. Rango de definición de prioridad**

RANGOS PARA DEFINICIÓN DE PRIORIDAD				
	MIN	MAX	CATEGORÍA	
1	20	25	VH	Muy alto
2	12	20	H	Alto
3	6	12	M	Medio
4	4	6	L	Bajo
5	0	4	N	Ningún

Fuente: Ecopetrol Guía matriz de valoración de riesgos GHS-G-035

- **Flexibilidad operacional:** la flexibilidad está definida en 4 valores
  - **0:** equipo no se utilizará más para la operación.
  - **1:** equipo disponible
  - **2:** repuesto disponible
  - **4:** repuesto no disponible
- **Número de días de no disponibilidad del analizador y/o subsistema:** el número de días en que el equipo no ha trabajado durante el año 2016.
- **Cálculo de la consecuencia operacional:** riesgo x flexibilidad
- **Cálculo de criticidad Total:** número de días no disponible x consecuencia operacional.

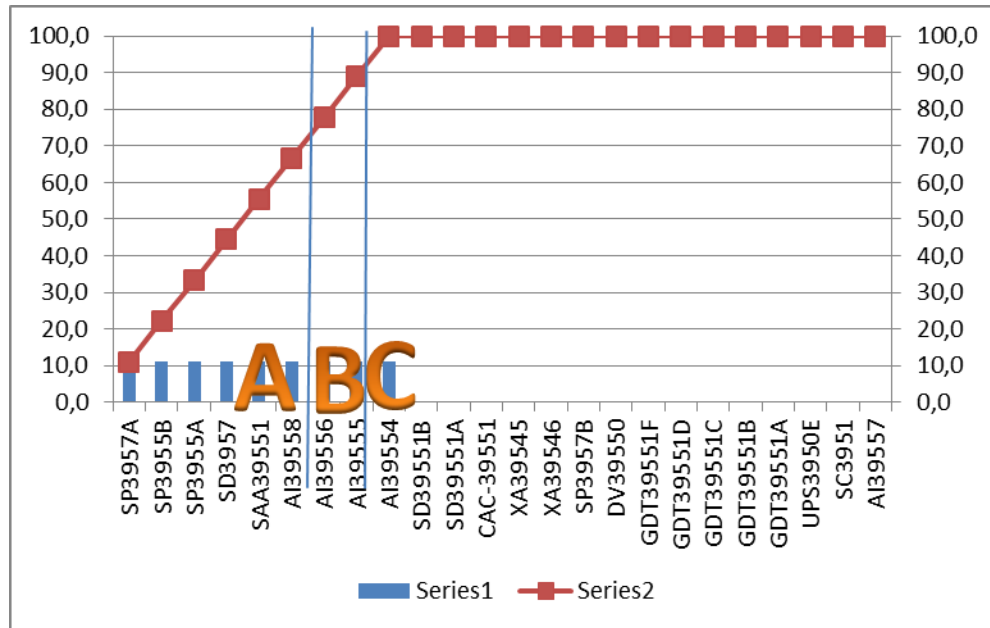
### Sistema de analizadores de Gasolina

El análisis de Pareto (gráfica 6 y tabla 15) se puede interpretar que de los 24 equipos en total que se encuentran instalados en el sistema de gasolina, hay 7 equipos que son los más críticos.

**Tabla 15. Equipos críticos del sistema de analizadores de gasolina**

	TOTAL	ACUMULADO	ZONA
SP3957A	11,1	11,1	A
SP3955B	11,1	22,2	A
SP3955A	11,1	33,3	A
SD3957	11,1	44,4	A
SAA39551	11,1	55,6	A
AI39558	11,1	66,7	A
AI39556	11,1	77,8	A
AI39555	11,1	88,9	B

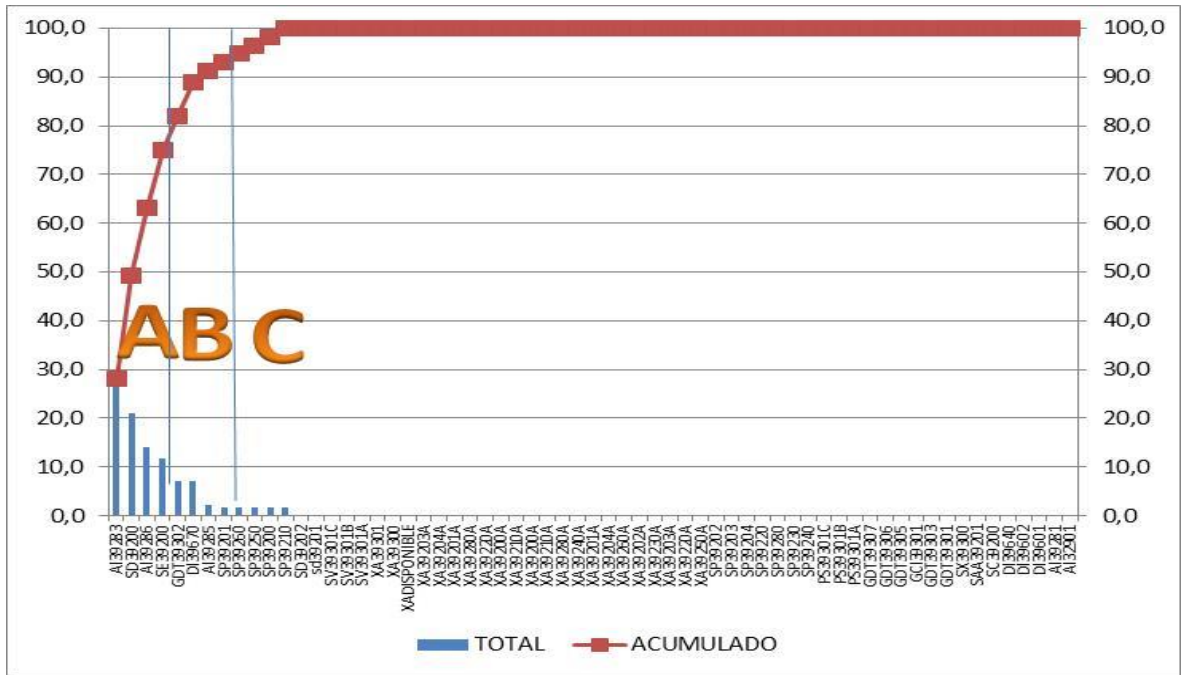
**Gráfica 6. Análisis de Pareto para equipos de Gasolina**



**Sistema de analizadores de Diésel**

El sistema de diésel tiene instalado tienen 63 equipos (analizadores y sub equipos), en el análisis de Pareto de la tabla 16, El grafico 7 encontramos todos los analizadores del sistema de diésel y el grafico 8 encontramos los equipos más críticos de la zona A y B. podemos concluir que hay 4 equipos críticos en la zona A y 5 que se encuentra en la Zona B.

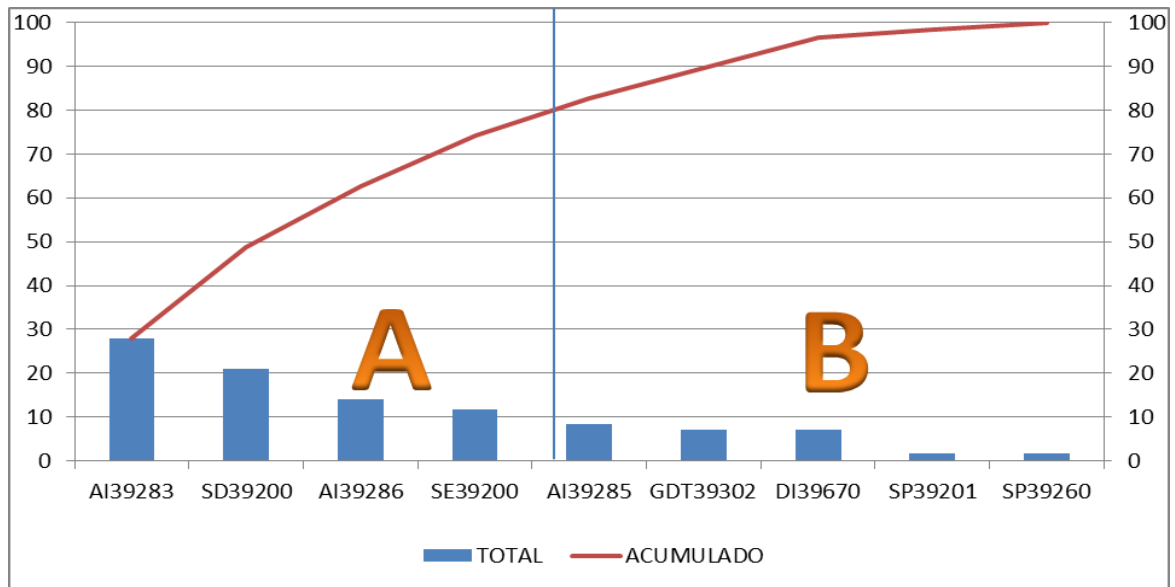
**Gráfica 7. Análisis de Pareto de analizadores del Sistema de diésel**



**Tabla 16. Equipos críticos del sistema de analizadores de Diésel**

	TOTAL	ACUMULADO	
AI39283	28,1	28,1	A
SD39200	21,1	49,2	A
AI39286	14,1	63,3	A
SE39200	11,7	75,0	A
GDT39302	7,0	82,0	B
DI39670	7,0	89,0	B
AI39285	2,2	91,2	B
SP39201	1,8	93,0	B
SP39260	1,8	94,7	B

**Gráfica 8. Ampliación de la Zona A y Zona B del análisis de Pareto de los equipos de diésel**



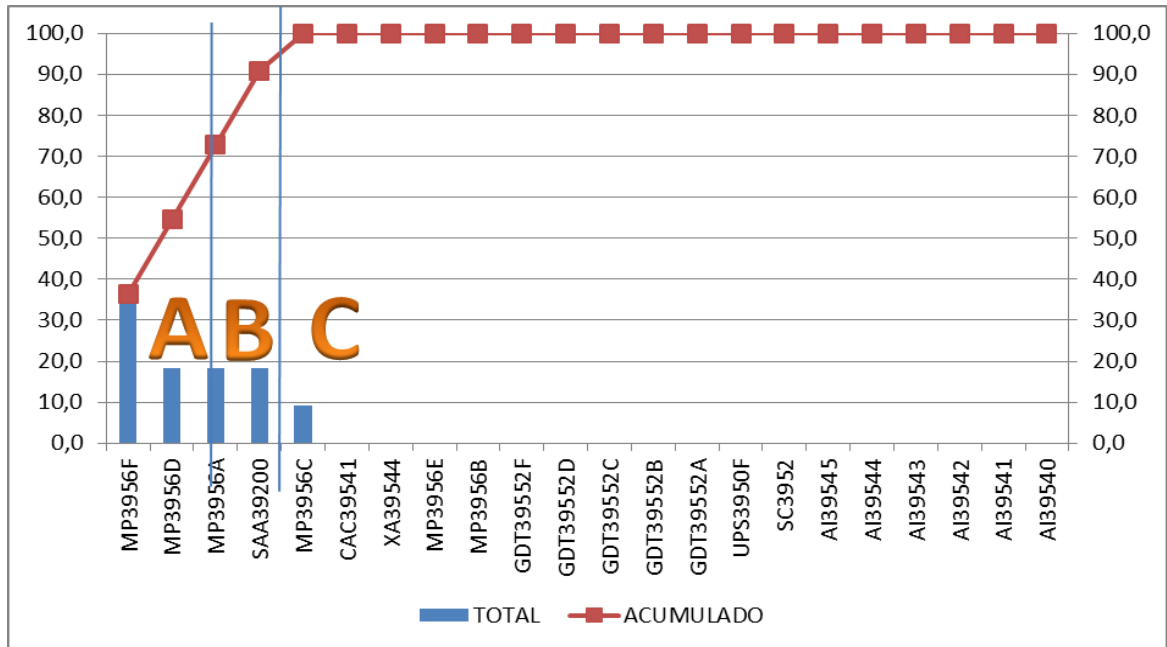
### Sistema de analizadores de Combustóleo

En el sistema de combustóleo se evidencia que los equipo utilizados para la preparación de combustóleo los equipos más críticos están en la bombas del sistema de analizadores.

**Tabla 17. Equipos críticos del sistema de analizadores de Combustóleo**

	TOTAL	ACUMULADO	
MP3956F	36,4	36,4	A
MP3956D	18,2	54,5	A
MP3956A	18,2	72,7	A
SAA39200	18,2	90,9	B

**Gráfica 9. Análisis de Pareto para equipos de Combustóleo**



## 7.2 REALIZAR DIFERENTES ANÁLISIS ECONÓMICOS COMO SOPORTE DE LA PROMESA DE VALOR PARA IMPLEMENTACIÓN DE UN GRUPO DE MANTENIMIENTO ESPECIALIZADO DE ANALIZADORES EN LÍNEA

Para realizar el análisis económico del proyecto se realizó recolección de información de las siguientes plataformas y herramientas de cálculos de diferentes que tienen la refinería para realizar cálculos de producción, ventas y datos de calidad como son:

- **Reinventar:** archivo que se llena diariamente donde se realiza la conciliación con CENIT del producto retirado por oleoductos y lo retirado por tanques. También en este archivo se consigna los pares de línea, reprocesos y los regalos de calidad de las ventas diarias.

- **Nuevo Dinactua:** este archivo actualiza diariamente teniendo en cuenta las cargas, producciones y ventas realizadas por la refinería y compara con las metas trazadas por planeación a la producción. En este archivo se consignan las ventas por carro tanques.
- **Bombeos diarios VIT:** archivo lo envía diariamente el personal de la VIT donde está el histórico de las compras y ventas que realiza CENIT a la refinería de Barrancabermeja. Este archivo realiza comparativos entre lo comprado/vendido versus el programa de producción
- **Indicador de reprocesos:** Informe quincenal de los reprocesos realizados por la refinería a los tanques de producto final para cumplir con las especificaciones de ventas a los clientes.
- **Programa Semanal:** Departamento de planeación a la producción realiza la planeación de la operación de la refinería para poder cumplir las ventas a los clientes. También ahí se consignan los precios de los productos y componentes para poder hacer los direccionamiento en las preparaciones de los diferentes productos
- **SILAB (sistema de información de laboratorio):** en este sistema se encuentran todos los análisis realizados en el laboratorio a los diferentes corrientes producidas en la refinería. En este sistema se utilizó para bajar los datos de calidad de los productos vendidos por la refinería a los clientes, con esos datos se conoce los regalos de calidad de los productos y los reprocesos por tanques que tuvieron calidad fuera de especificaciones
- **SIO (sistema de información de Operacional, ver imagen 7):** en este sistema se reportan todos los movimientos de transferencias internas de producción de plantas hacia tanques, transferencias entre tanques de componentes, ventas y compras externas realizadas de refinería. Este sistema todos los días después de las doce de la noche los operadores le realizan los movimientos de corte a los tanques.

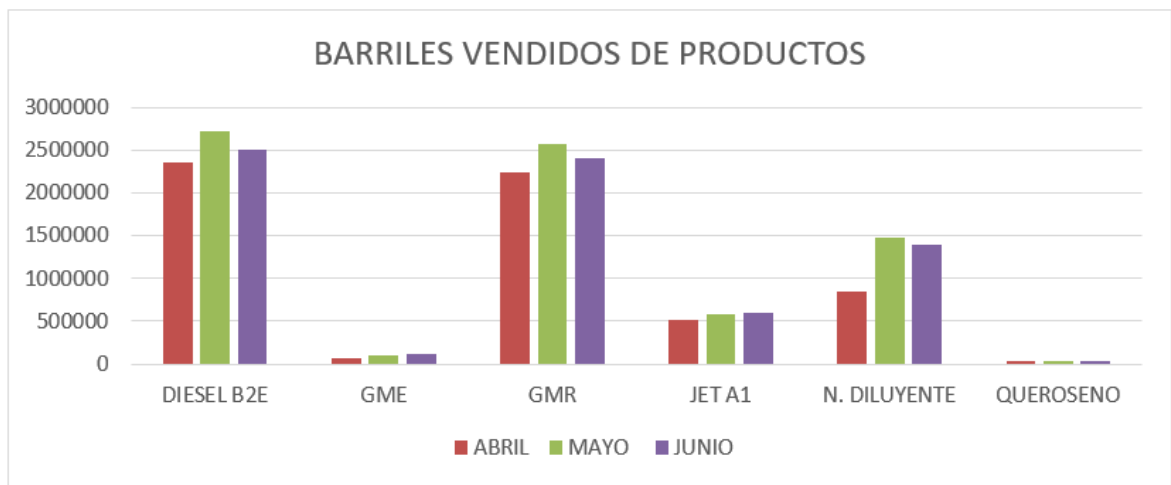
**Imagen 7. Sistema de información operacional**

Almacenam. K0940		GAS.MOTOR REGULA		Características del Producto										
Cls	Fecha	Prod	Tip	Mdl	Fuente	Tm	Codigo	Numero	Temp	CTL	API	BSW	Grave	
Tra			Tra	Ent	Destino	dt	Muestra	Certificado	oF				Espec	
2	24-07-2016 08:30	2022	3	6	K0954	U			92.4	0.97753	61.0		0.7351	
Descripciones		CIERRE (DESPUES)												
Sistemas de Medicion		NiVeles												
Comentarios		YXD#9QCR												
Liqui.Inventario	2	MEDICION A FONDO CON CINTA DE FO								Liqui.Bal.				
Operador Movim.	E0223377	HUMBERTO GOMEZ DELGADO						Fecha	24-07-2016 08:30					
Autorizado por								Fecha	01-01-1950 00:00					

Fuente: Ecopetrol Sistema información operacional (SIO).

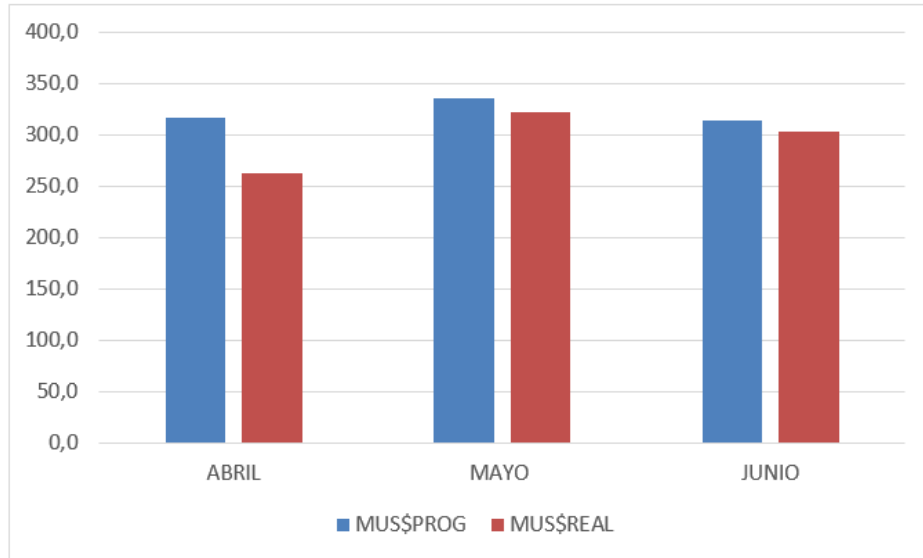
**7.2.1 Cálculo de ingresos de productos dentro de especificaciones vendidos por oleoductos durante meses de Abril, Mayo y Junio.** Los cálculos económicos de ventas se realizan de los productos que da mayor margen de refinación que es gasolina, Diésel, Jet A1 y Gasolina motor.

**Gráfica 10. Volumen vendido de combustible en los meses de abril a junio 2016**



En la gráfica 10 se observan el volumen de producto vendido por poliductos. Los ingresos obtenidos son 883 millones de dólares por la venta, en la gráfica 11 encontramos en la barra de color azul el valor programado para recibir por ingresos de ventas de productos mensuales. La barra roja indica el valor de Real de ingresos obtenidos por ventas de productos. La diferencia de los dos valores son 78 millones de dólares que se dejaron de recibir por incumplimiento del programa de entrega.

**Gráfica 11. Ingreso de ventas Programados Vs ingreso Real**



**7.2.2 Análisis de las preparaciones realizadas gasolina de enero a junio de 2016.** La refinería de Barrancabermeja para la preparación de gasolina Motor Regular tiene los siguientes tanques (ver tabla 18):

**Tabla 18. Tanques y volúmenes de almacenamiento de gasolina.**

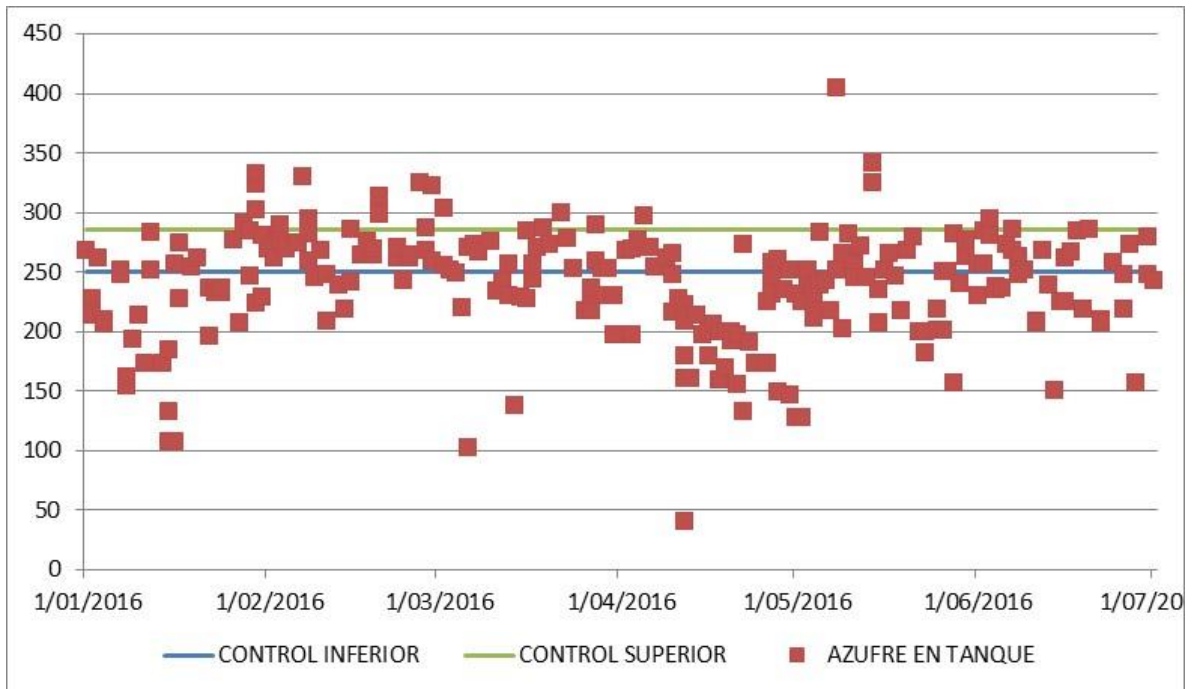
Tanque	Producto	Volumen total (barriles)	Volumen para venta (barriles)
K0902	Gasolina Extra	49480	40000
K0939	Gasolina Motor	192144	156000
K0940	Gasolina Motor	187432	150000
K0947	Gasolina Motor	37053	32000
TOTAL	Gasolina Motor	466109	378000

Fuente: Ecopetrol Sistema información operacional (SIO).

Durante los meses de enero a junio de 2016 se obtuvieron los siguientes resultados de calidad en los tanques.

- Azufre en gasolina:

**Gráfica 12. Datos de calidad de azufre de todos los tanques preparados**



En las gráfica 12 podemos observar los datos de calidad de los tanques preparados de enero a junio del 2016. Los tanques cuyo dato de calidad está por encima de 285 ppm se consideran fuera de especificaciones y hay que realizar reproceso para corregir el azufre.

Si la cantidad de azufre está por debajo de 250 ppm el tanque está dentro de especificaciones pero se considera regalo de calidad porque se utilizó componente con bajo azufre y mayor precio (ejemplo alquilato, plaformado o nafta virgen). Se considera regalo de calidad si el precio del componente es de mayor valor que el producto final.

Se puede observar que durante la preparación no hay una estabilidad de los puntos de control, se observa fluctuación del parámetro de calidad.

- RVP en Gasolina:

**Gráfica 13. Datos de Calidad de RVP de todos los tanques preparados en el primer semestre.**



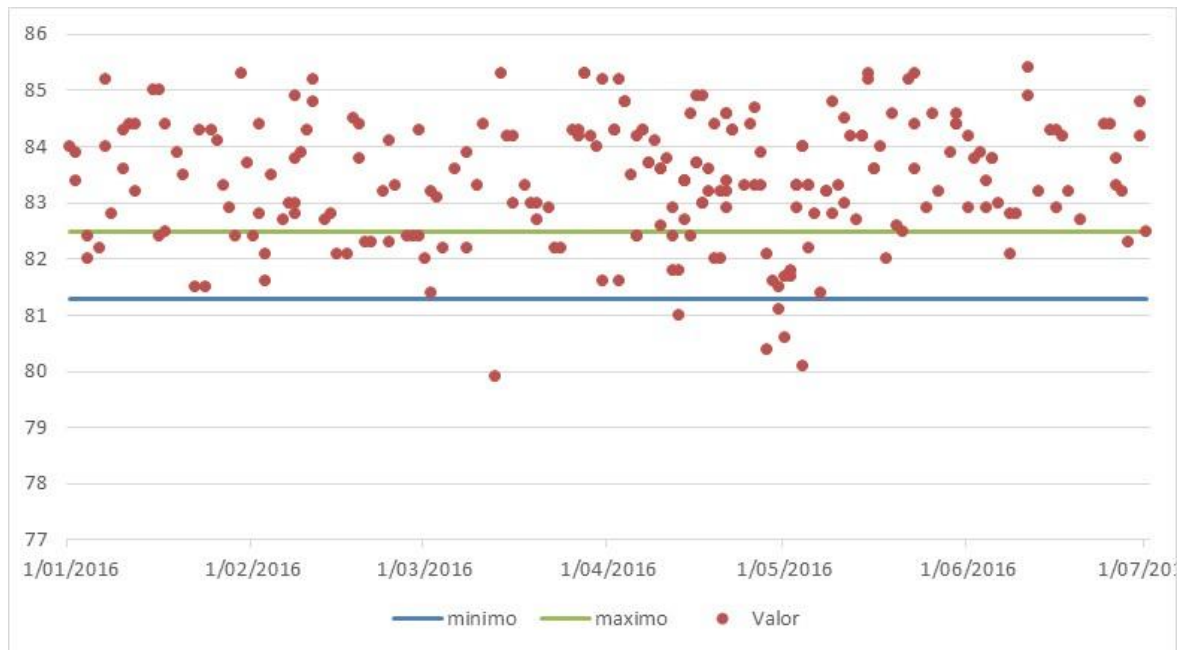
En las gráfica 13 podemos observar los datos de calidad de los tanques preparados de enero a junio del 2016. En la gráfica se observa que hay un cambio en el punto de control eso es debido a un acuerdo firmado entre Ecopetrol y los ministros de medio ambiente y minas por que debido a la gran demanda de consumo de gasolina se autorizó producir gasolina con RVP máximo 9,2 psia. A

partir del 15 de Marzo finalizó el permiso emitido por el gobierno y nuevamente se vuelve a producir gasolina con control de calidad de 8 psia.

Si los tanques preparados está por encima del dato de control el producto está por fuera de especificaciones; y si está por debajo de control el tanque está dentro de especificaciones sin embargo se está por debajo de 7.8 psia se considera regalo de calidad. Entre mayor sea el RVP de la gasolina las unidades de refinación pueden producir mayor volumen componentes para la preparación de gasolina. Ejemplo: en la preparación de gasolina motor se utilizan tres componentes nafta craqueada, nafta virgen y nafta de aromáticos. Al producir con mayor RVP las unidades de destilación primaria pueden dejar una mayor cantidad de butanos en la nafta virgen. La nafta virgen tienen mayor precio que el butano, y la gasolina motor regular tienen mayor precio que la nafta virgen. Al producir mayor nafta virgen tenemos mayor volumen de componentes para realizar preparación de gasolina motor por consiguiente los rendimientos son mayores y el margen de refinación incrementa.

- Índice antidetonante (IA) en Gasolina Motor:

**Gráfica 14. Datos de Calidad de índice antidetonante (IA) de todos los tanques preparados en el primer semestre**



Para realiza la preparación de gasolina motor regular se debe tener en cuenta:

- Los precios de los componentes:
  - Si la nafta virgen está más costosa que la gasolina motor el departamento de planeación direcciona que se dosifique solo lo necesario para cumplir con el parámetro de azufre(por que la nafta virgen corrige el azufre)
  - Si la nafta virgen el precio está por debajo de la gasolina motor, entonces se realiza la preparación con IA cerca 81.3. porque la nafta virgen tiene menor IA. Y ayuda hacer más volumen de gasolina motor para vender

- El volumen de venta: si el compromiso de venta o entrega al país está comprometido se debe dosificar todos los componentes sin importar el precio para cumplir las entregas y no desabastecer al país.

Si los tanques preparados están con IA por entre 81.3 y 82.5 (ver gráfica 14) el tanque está dentro de especificaciones. SE considera regalo de calidad cuando el tanque preparado esta con IA de 82.5, sin embargo se tienen en cuenta el direccionamiento de planeación.

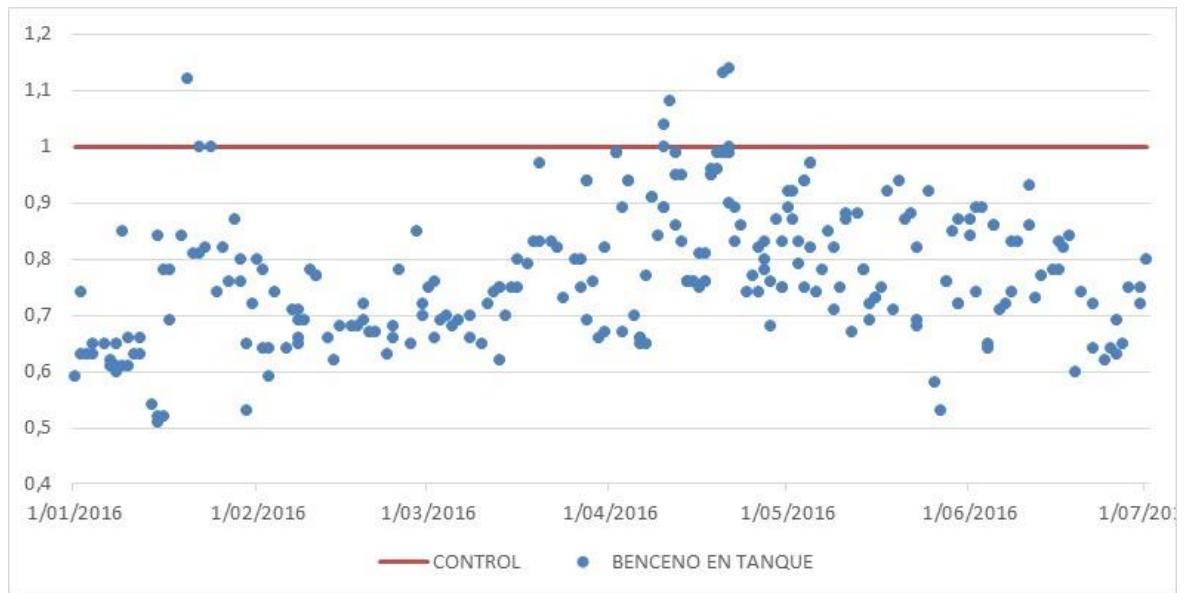
La preparación esta por fuera de especificaciones si el índice antidetonante reportado está por debajo del control mínimo 81.3.

- Benceno en Gasolina Motor

La cantidad de benceno en la preparación de combustible es controlada por que afecta el medio ambiente. Los componentes de gasolina tiene bajas concentraciones de aromáticos y bencenos. Se debe hacer control sobre la dosificación de esto componentes para cumplir con las regulaciones ambientales.

En la gráfica 15 se observan la calidad de todos los tanques preparados.

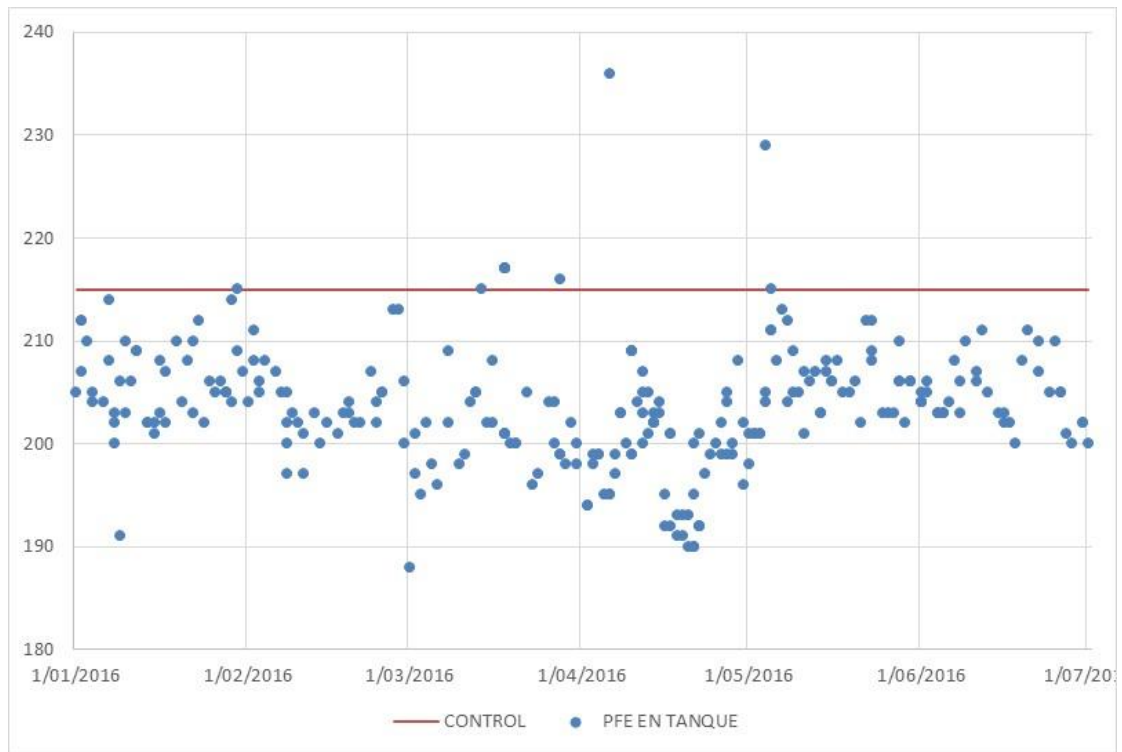
**Gráfica 15. Datos de Calidad de Benceno de todos los tanques preparados en el primer semestre**



- Punto final de Ebullición (PFE) en tanque de gasolina motor

Para la preparación de gasolina no se tienen encuentra regalo de calidad por punto final (ver gráfica 16) solo se debe controlar. Pero si se considera fuera de especificaciones si la preparación de gasolina el punto final está por encima de 215 grados Celsius.

**Gráfica 16. Datos de Calidad de punto final de ebullición de todos los tanques preparados en el primer semestre**



**7.2.3 Análisis de las preparaciones realizadas de Diésel B2E de enero a junio de 2016.** En la tabla 19 se encuentran los tanques con sus volúmenes de almacenamiento de la preparación de Diésel extra B2E.

**Tabla 19. Tanques y volúmenes de almacenamiento de Diésel**

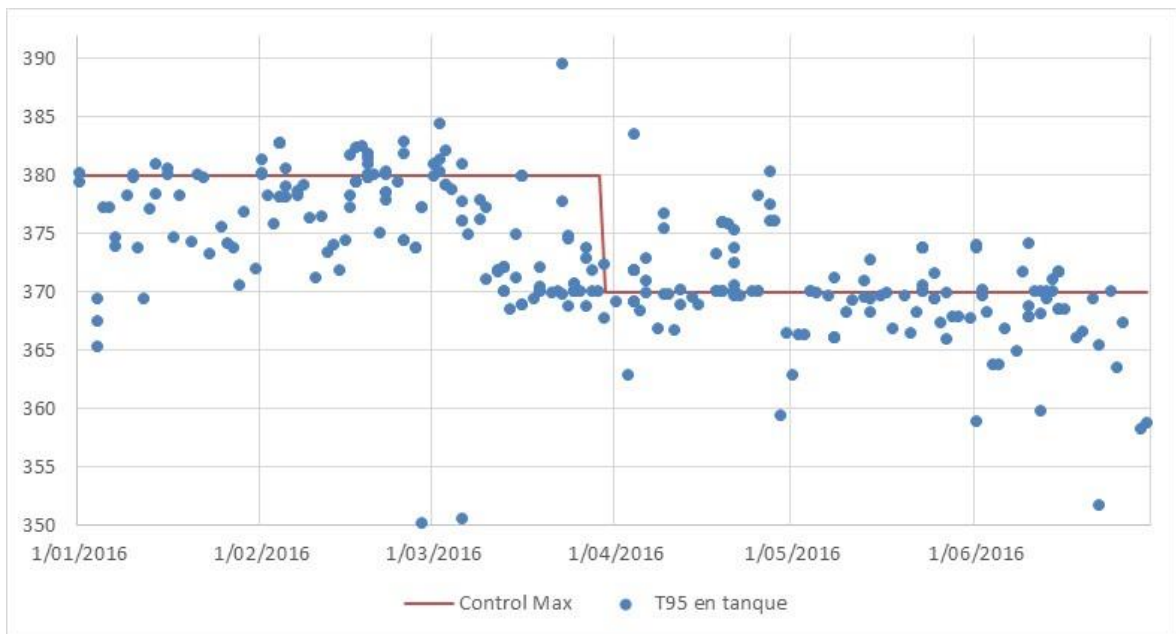
Tanque	Producto	Volumen (barriles)	Volumen para venta (barriles)
k0921	B2E	104257	94000
k0922	B2E	105495	95000
k0924	B2E	126943	116000
k0928	B2E	126117	116000
Volumen total		462812	421000

Fuente: Ecopetrol Sistema información operacional (SIO).

- Punto del 95% de destilación

En la gráfica 17 cada punto representa los valores de temperatura de 95% de recobrado de los tanques preparados de enero a junio del 2016. También para la preparación de diésel fue firmado un acuerdo entre Ecopetrol y los ministros de medio ambiente y minas para subir la T95 de 370 a 380 grados Celsius hasta abril de 2016.

**Gráfica 17. Datos de Calidad de temperatura del 95% de recobrado de diésel de todos los tanques preparados en el primer semestre**



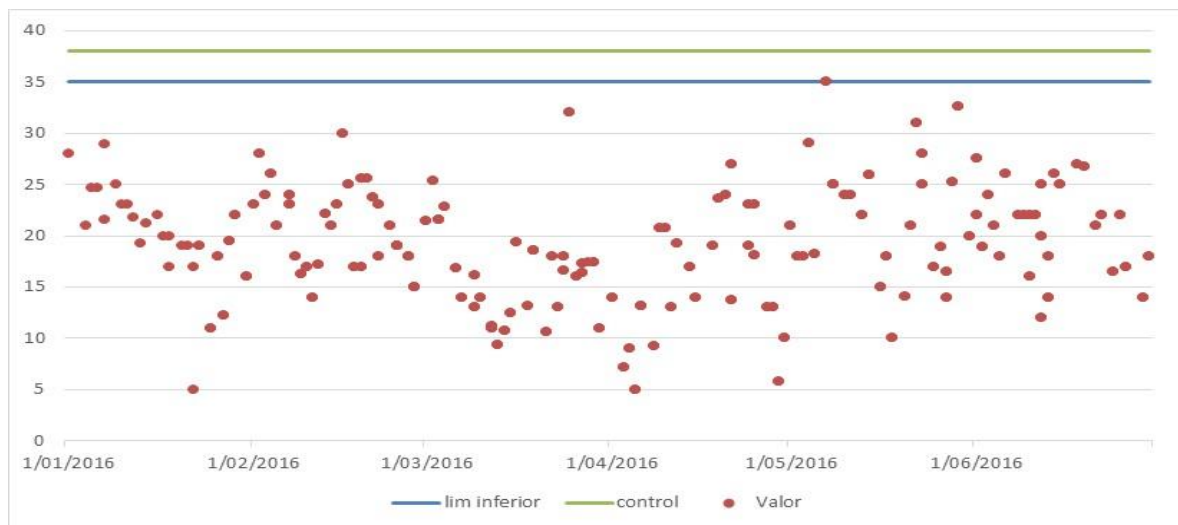
Debido a los crudos pesados que es la carga de las unidades de destilación, se producen ACPM con alta destilación, para poder preparar Diésel se debe utilizar como corrector un ACPM importado para bajar la destilación y así cumplir con la calidad requerida para venta. Si la preparación de diésel está por encima de punto de control de destilación se considera que el producto está fuera de especificaciones y se debe reprocesar. Si la destilación está por debajo del punto

de control se considera regalo de calidad porque se está utilizando mayor corrector para preparar el tanque.

- Azufre en el diésel

El punto de control de azufre para la preparación de azufre está en 35 partes por millón (ppm). Se considera producto fuera de especificaciones todo producto que esté por encima de las 35 ppm (ver grafica18). Si la preparación da por debajo de 35 ppm se considera regalo de calidad, esto es debido a que se utiliza mayor ACPM importado para la preparación.

**Gráfica 18. Datos de Calidad de azufre de todos los tanques preparados en el primer semestre**



**7.2.4 Análisis de las preparaciones realizadas de Combustóleo liviano de enero a junio de 2016.** La refinería de Barrancabermeja para la preparación de combustóleo liviano se tiene el tanque k0935 (ver tabla 20), la operación de este tanque es recibe entrega.

**Tabla 20. Tanque y volumen de almacenamiento de Combustóleo liviano**

Tanque	Tipo	Volumen total (barriles)	Volumen disponible (barriles)
k0935	Combustóleo Liviano	186794	170000

Fuente: Ecopetrol Sistema información operacional (SIO).

### Viscosidad de Combustóleo Liviano

El punto de control más importante es la viscosidad, toda la preparación que esté por encima de 55 SSF de viscosidad esta por fuera de especificaciones (ver gráfica 19), para poder retirarlo se necesita un permiso especial de calidad.

**Gráfica 19. Datos de Calidad de viscosidad de todos los tanques preparados en el primer semestre**

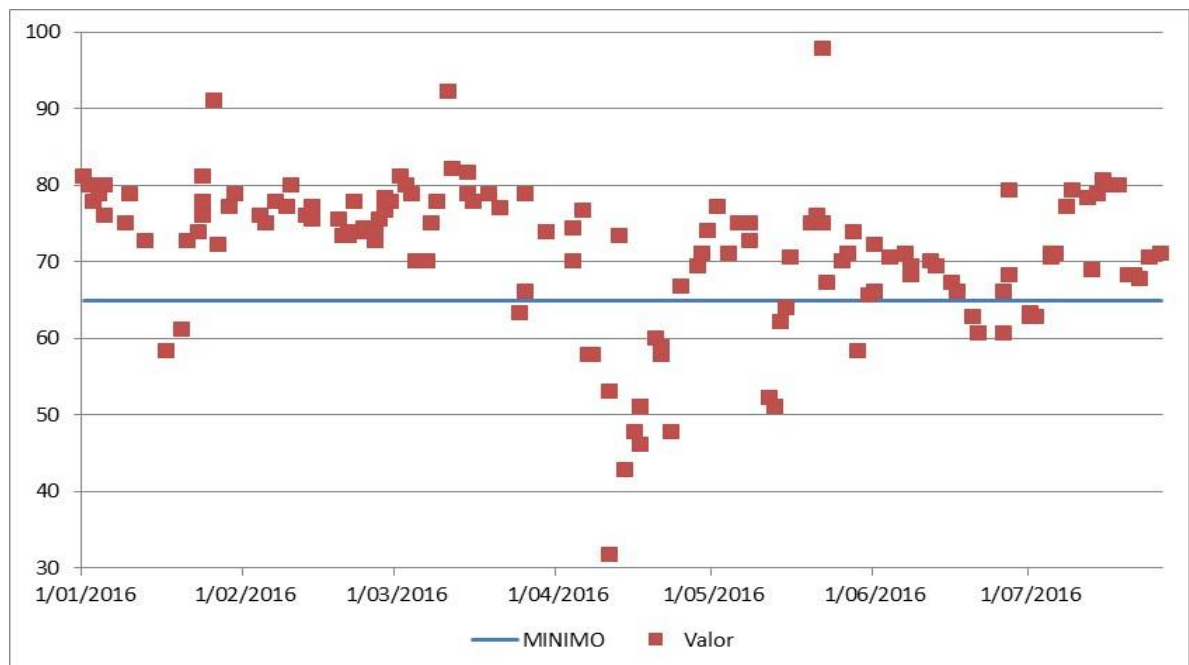


Si la viscosidad del tanque da por debajo de 50 SSF el tanque se puede entregar al cliente, sin embargo hay regalo de calidad. Debido a la gran cantidad de aceite liviano de ciclo que se requiere para preparar combustóleo liviano y los escasos de este componente, se requiere monitoreo constante a la preparación para que la viscosidad del tanque final sea 55 SSF.

- Punto de inflamación del combustóleo liviano

El control de punto de inflamación del combustóleo es mayor a 65 grados Celsius. En la preparación de combustóleo liviano o pesado se utiliza aceite liviano de ciclo como corrector de viscosidad, en la refinería este corrector es escaso. Como remplazo del corrector se utiliza slop. Sin embargo el slop tiene el punto de inflamación muy bajo, y al no tener control en la dosificación el producto preparado puede dar fuera especificaciones.

**Gráfica 20. Datos de Calidad de punto de inflamación de todos los tanques preparados en el primer semestre**



Al poder dosificar mayor cantidad de slop hacia combustóleo podríamos liberar aceite de ciclo para ser cargado en la planta de hidrogenación de ACPM y con ello tendríamos mayor rendimiento de medios y mayor margen de refinación porque estaríamos convirtiendo un desecho a producto valioso.

En la gráfica 20 se observa datos de Calidad de azufre de todos los tanques preparados en el primer semestre

**7.2.5 Análisis de las preparaciones realizadas de Combustóleo pesado de enero a junio de 2016.** En la tabla 21 se encuentran los tanques y los volúmenes de almacenamiento para entrega de combustóleo pesado por botes y carro tanques.

**Tabla 21. Tanques y volúmenes de almacenamiento de combustóleo pesado**

Tanque	Tipo	Volumen total (barriles)	Volumen disponible (barriles)
k0927	Combustóleo Pesado	93700	85000
k0929	Combustóleo Pesado	92359	85000
k0946	Combustóleo Pesado	209056	195000
TOTAL		395115	365000

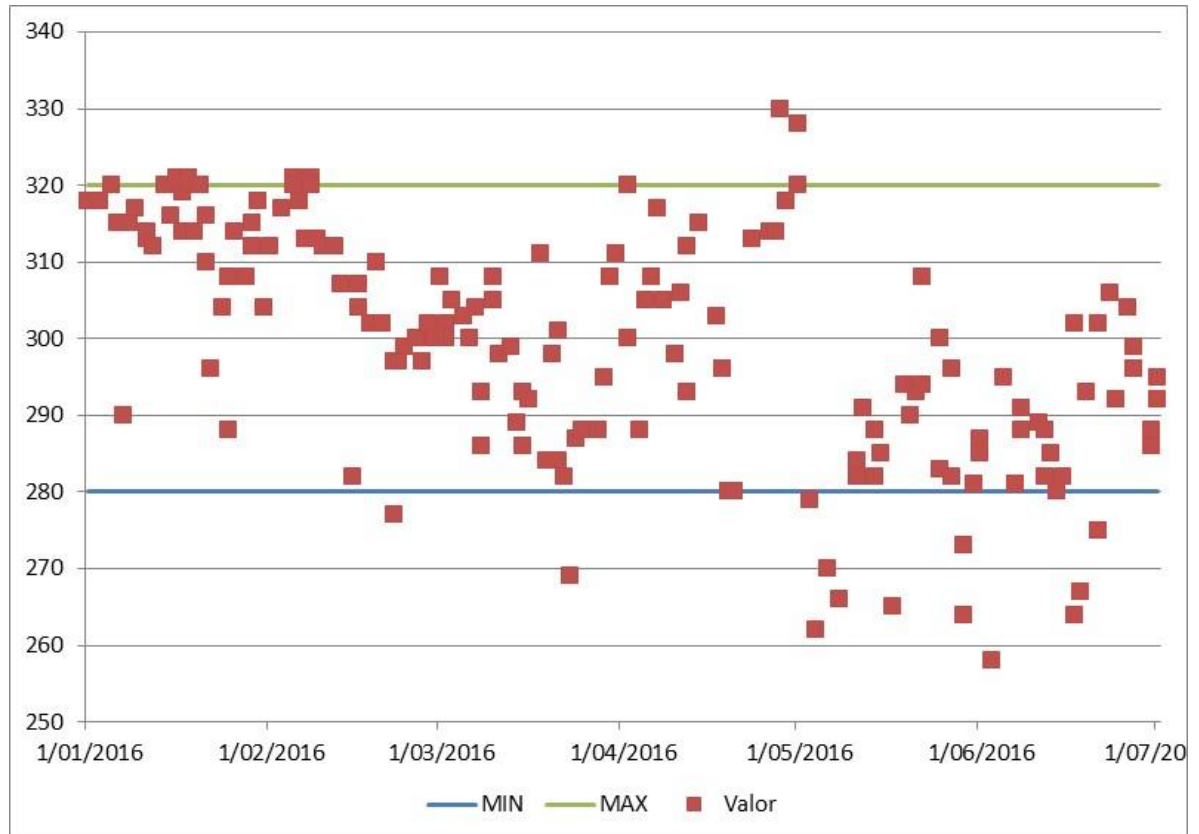
Fuente: Ecopetrol Sistema información operacional (SIO).

- Viscosidad de combustóleo pesado

El control de viscosidad para la preparación de combustóleo entre 280 a 320 SSF (ver gráfica 21). Sin embargo el control de la preparación se realiza lo más cerca de 320 SSF porque entre más baja sea la viscosidad el producto es más liviano y

necesita mayor dosificación aceite liviano de ciclo. Si el tanque está por encima de 320 SSF el tanque esta fuera especificaciones y hay reprocesos

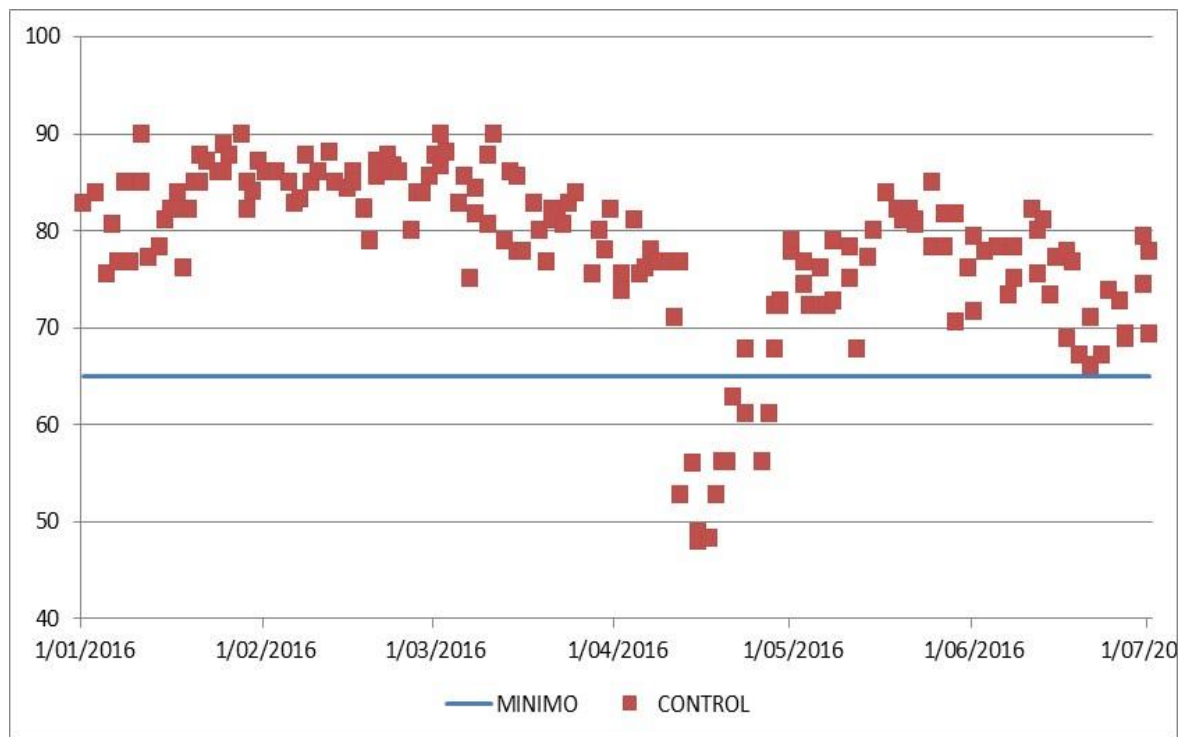
**Gráfica 21. Datos de Calidad de viscosidad de todos los tanques preparados en el primer semestre**



- Punto de inflamación

En la gráfica 22 se observa el parámetro de calidad de punto de inflamación de combustóleo pesado, todos los datos que están por debajo de 65 grados Celsius se considera que el producto está por fuera de especificaciones y hay que hacer reproceso y posibles incumplimientos a clientes.

**Gráfica 22. Datos de Calidad de punto de inflamación de todos los tanques preparados en el primer semestre**



**7.2.6 Cálculos de regalos de calidad del producto entregado, teniendo en cuenta el potencial económico.** Para realizar los cálculos económico de regalo de calidad se tienen en cuenta los productos de mayor volumen de preparación y parámetro de calidad de mayor impacto en la preparación. Estos parámetros son determinados por el departamento de planeación de la producción de la refinería de Barrancabermeja y son los puntos de control para la preparación de los siguientes combustibles.

- **Diésel regular:** el parámetro a control es la temperatura de destilación en el 95% de recobrado
- **Gasolina motor Regular:** El parámetro de control es Presión de Vapor Reid de la gasolina.

- **Combustóleo Liviano:** El parámetro de control es Viscosidad cinemática a 40 grados Celsius

En la casa bombas 9 es encargada de la preparación de productos se encuentran instalados analizadores en línea para revisar la calidad de los productos. Sin embargo, el único analizador que se encontraba en operación es el analizador de viscosidad de combustóleo liviano. Los analizadores de gasolina y diésel se encuentran fuera de servicio desde enero del 2015 por falta de repuestos. Por consiguiente el control avanzado para Blending diésel, gasolina y combustóleo se encuentra fuera de servicio por confiabilidad de los analizadores

Para poder hacer el cálculo se revisan en los balances diarios del mes de abril hasta el mes de junio del 2016 del volumen de producto vendido, y su parámetro de calidad.

Para el regalo de calidad se calcula el potencial económico por cada barril vendido por debajo del parámetro de control.

En la tabla 22 se observa el volumen de producto entregado durante los meses de abril, mayo y junio del 2016

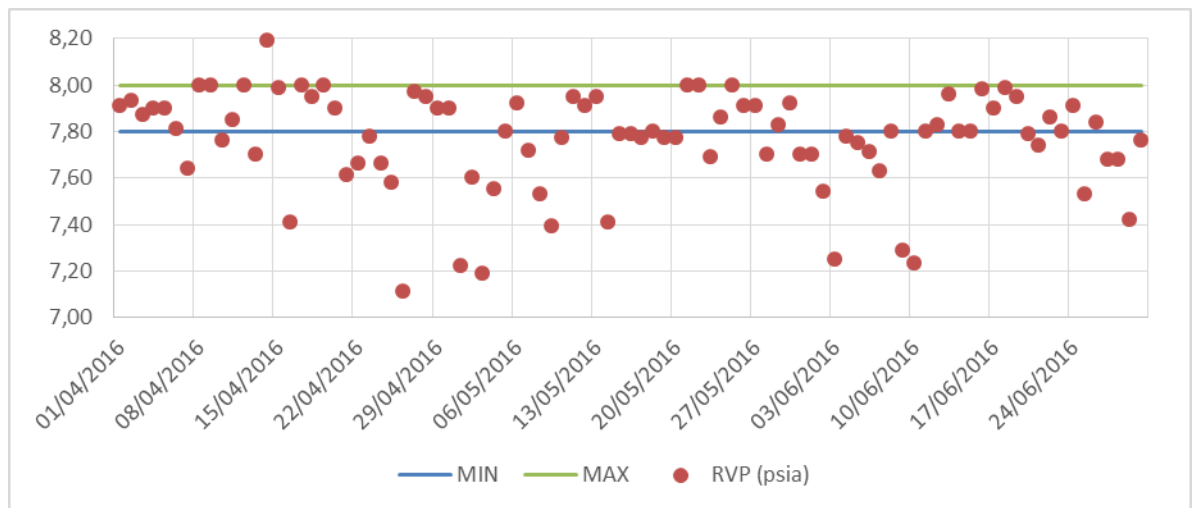
**Tabla 22. Volumen (barriles entregados) de productos entregado a clientes para los meses de abril, mayo y junio 2016**

	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Total por producto (barriles)</b>
Gasolina motor Regular (barriles)	2.233.462	2.574.939	2.402.303	7.210.704
Diésel (barriles)	2.571.673	2.711.777	114.103	5.397.553
Combustóleo liviano (barriles)	918.565	987.085	789.090	2.694.740
Total por mes (barriles)	5.794.328	6.273.801	3.305.496	

### Regalo de calidad de gasolina

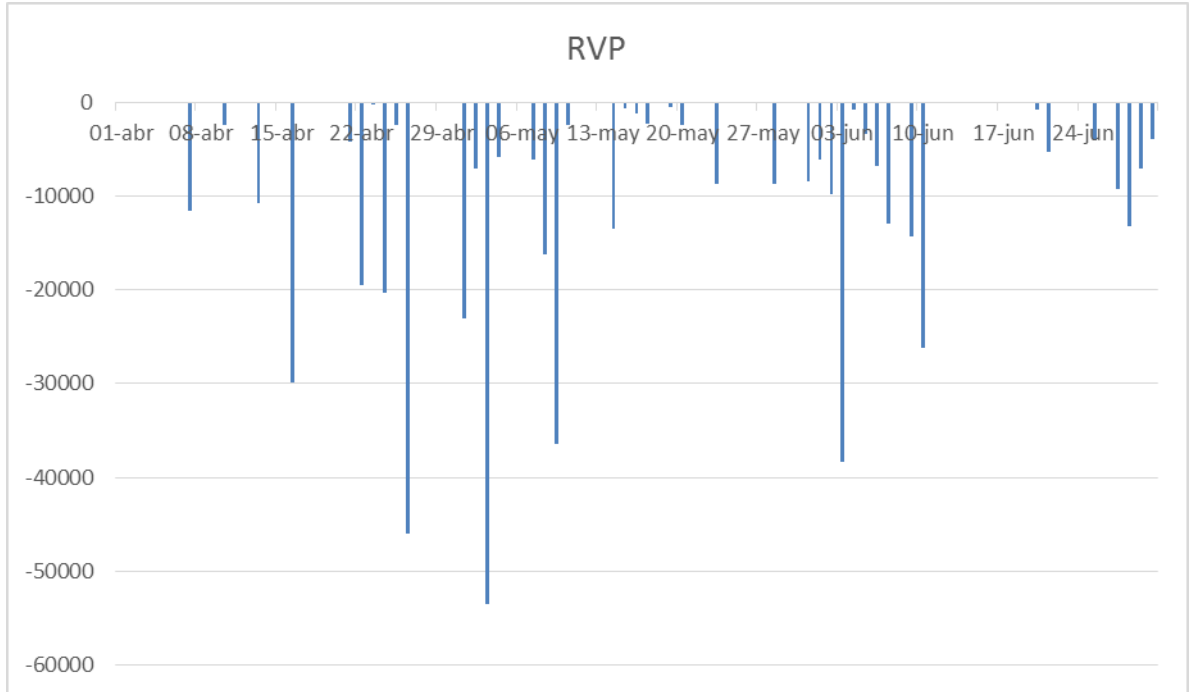
Como se puede observar en la gráfica 23 el dato de contenido de RVP (presión de vapor Reíd) que se encuentra por debajo de 7.8 se considera regalo de calidad.

**Gráfica 23. Datos de Calidad de RVP de los tanques entregados a clientes para los meses de abril, mayo y junio 2016**



En la gráfica 24 se observa que durante los meses de abril, mayo y junio del 2016 se dejó de recibir US\$505960 por entregar producto con mejor calidad de la requerida.

**Gráfica 24. Regalo de calidad de RVP calculados en dólares según potenciales económicos, entregados a clientes para los meses de abril, mayo y junio 2016**

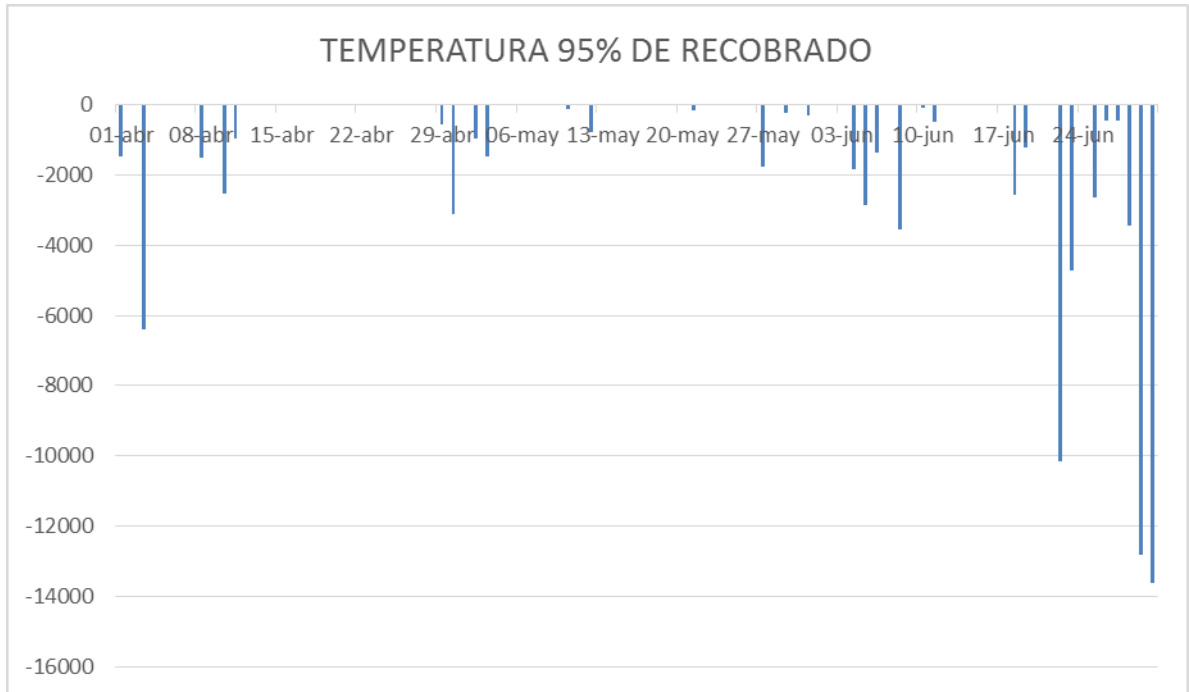


### **Regalo de calidad de diésel**

En la gráfica 25 se observa los tanques entregados durante el periodo de abril a junio del 2016. El producto que está por debajo de 368 grados Celsius de temperatura de recobrado del 95% de diésel se calcula como regalo de calidad.



**Gráfica 26. Regalo de calidad de T95 de diésel calculados en dólares según potenciales económicos, del producto entregado a clientes durante los meses de abril, mayo y junio 2016**

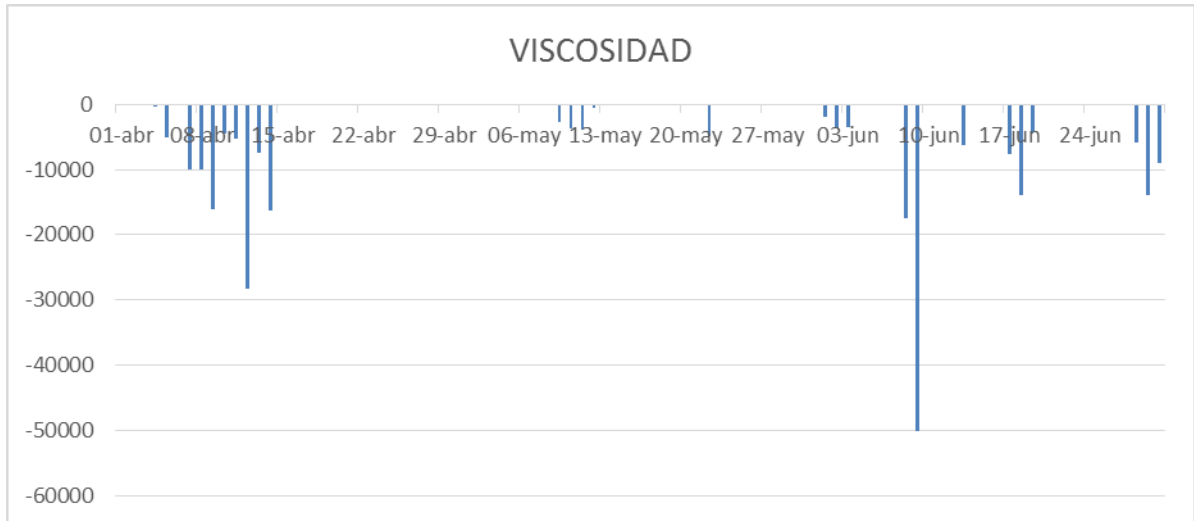


### **Regalo de calidad de combustóleo**

En la gráfica 27 se observa los tanques entregados durante el periodo de abril a junio del 2016. La viscosidad del producto vendido que este por debajo del 53 SSF se calcula como regalo de calidad.



**Gráfica 28. Regalo de calidad de viscosidad de combustóleo liviano calculados en dólares según potenciales económicos, ese producto fue entregado a clientes para los meses de abril, mayo y junio 2016.**

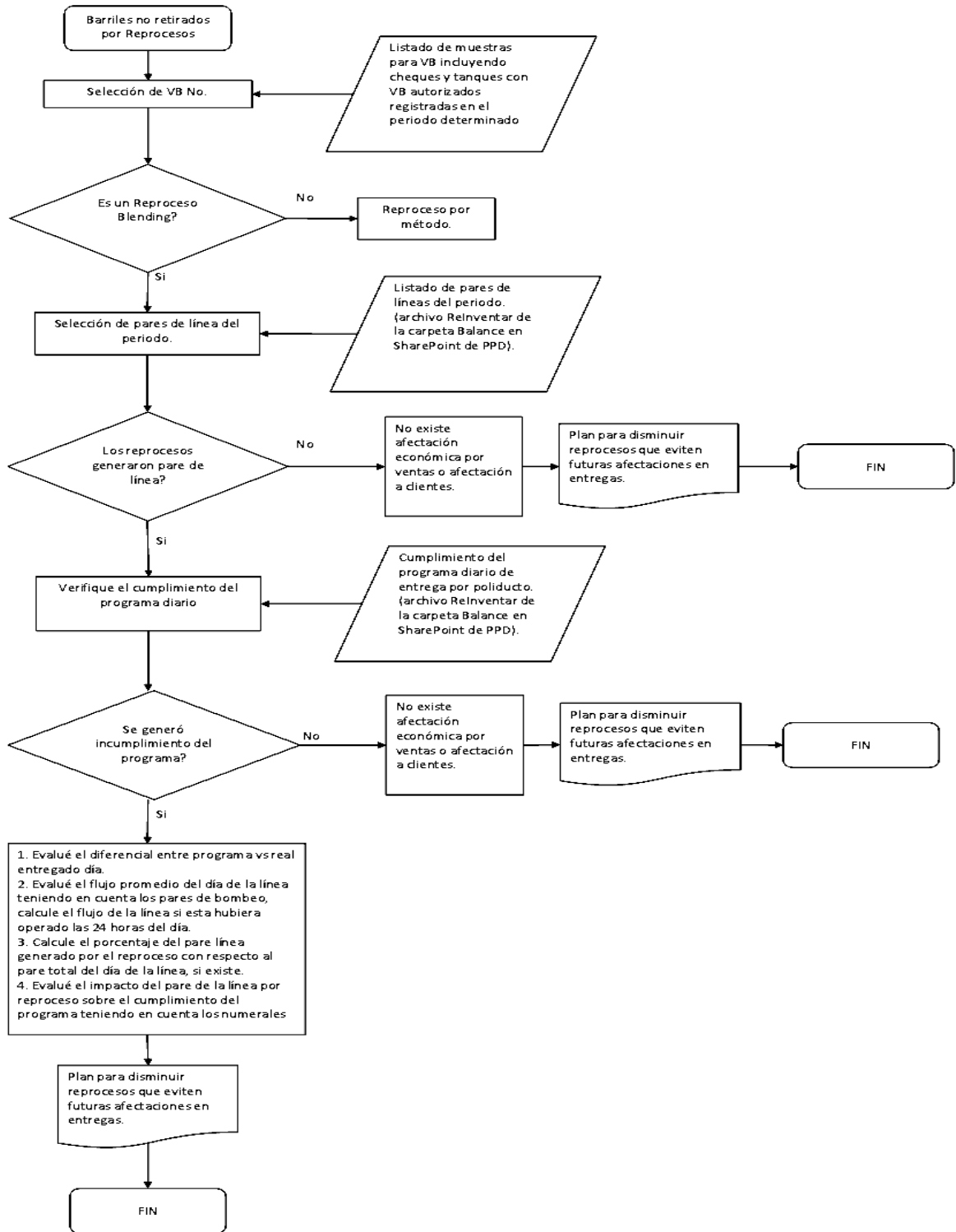


**7.2.7 Análisis de reprocesos del primer semestre del 2016.** Reproceso es un evento generado sobre un combustible preparado por el Blending de productos cuyo resultado final no cumple alguna especificación de calidad generando un producto sin visto bueno para entrega a clientes

Por lo que se hace necesario el inicio de un nuevo proceso de preparación, homogenización, muestreo y nueva analítica completa de laboratorio. Los costos ocasionados en estos reprocesos aumentan los costos operacionales lo cual disminuye el margen de refinación.

También afecta la economía de refinación si el producto en preparación está comprometido para la venta, y no se pudo vender ocasionando pares de líneas. En la Imagen 8 podemos ver el diagrama de flujo para decidir si el reproceso ocasiona costos por incumplimiento a clientes o pares de línea.

**Imagen 8. Diagrama de flujo para cobro del reproceso**



Fuente: Archivo reinventar Refinería de Barrancabermeja

## Gasolina

En el primer semestre del 2016 se preparó un millón ochocientos setenta y cinco mil barriles (1.875.000) fuera de especificaciones.

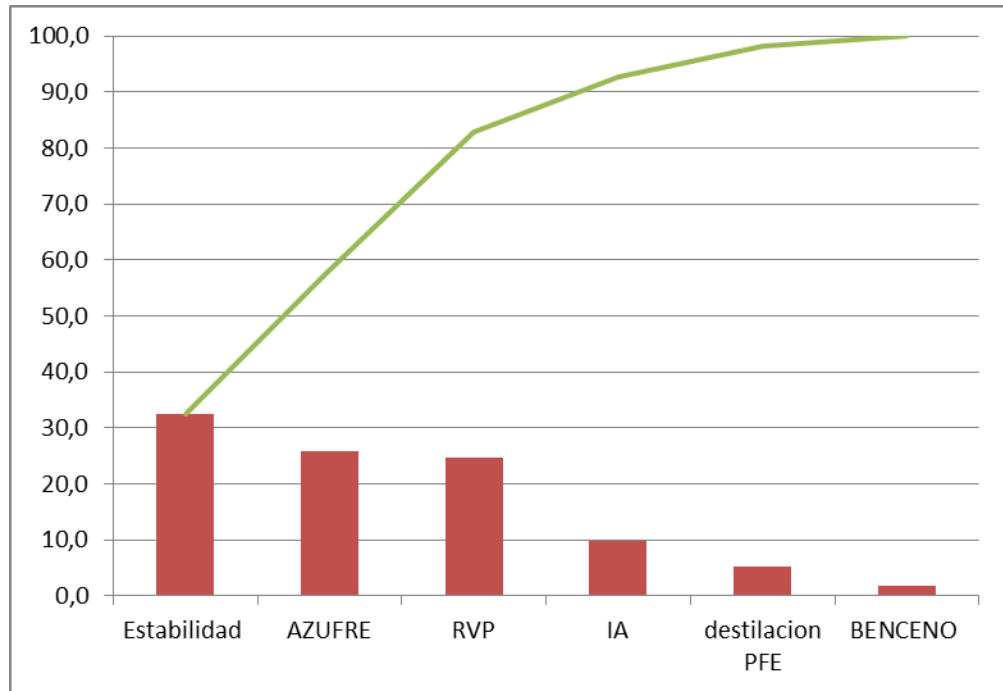
**Tabla 23. Volumen de producto fuera de especificaciones**

CALIDAD	CANTIDAD BARRILES
Estabilidad	609000
AZUFRE	483000
RVP	463000
IA	185000
Punto Final de Ebullición PFE	100000
BENCENO	35000
Total de Volumen	1875000

En la tabla 23 se evidencia la calidad afectada y la cantidad de barriles de producto fuera de especificaciones.

Teniendo en cuenta los datos de la tabla anterior en la gráfica 29 se realiza un análisis de Pareto, en el cual podemos evidenciar que los parámetros de estabilidad, azufre y RVP son los que se deben hacer control. Por consiguiente los analizadores en línea deben estar en servicio para disminuir los productos fuera de especificaciones.

**Gráfica 29. Análisis de Pareto para producto fuera de especificaciones**



El costo operacional se calcula en el análisis económico de pares de línea, porque se debe tener en cuenta varios parámetros

### **Combustóleo liviano y combustóleo pesado**

Del 1 de Enero al 30 Junio del 2016 se preparó ochocientos dos mil barriles (802.000) de combustóleo Liviano (ver tabla 24) y Combustóleo pesado fueron quinientos veinte y ocho (528000) (ver tabla 25) fuera de especificaciones, en la tabla 24 y 25 se evidencia que la mayoría del producto preparado estuvo fuera de especificaciones por inflamación. Esto es debido a que en el sistema de preparación de combustóleo no se tiene analizador para punto de inflamación.

- Combustóleo liviano

**Tabla 24. Volumen de producto fuera de especificaciones de combustóleo liviano**

CALIDAD	CANTIDAD BARRILES
INFLAMACIÓN	647000
VISCOSIDAD	155000
	802000

- Combustóleo Pesado

**Tabla 25. Volumen de producto fuera de especificaciones de combustóleo pesado**

CALIDAD	CANTIDAD BARRILES
INFLAMACIÓN	380000
VISCOSIDAD	148000
	528000

### **Diésel**

En el primer semestre del 2016 se preparó setecientos cincuenta y cuatro mil barriles (754.000) de diésel fuera de especificaciones, en la tabla 26 se evidencia que la mayoría del producto preparado estuvo fuera de especificaciones por temperatura de destilación de 95% de recobrado.

**Tabla 26. Volumen de producto fuera de especificaciones de diésel**

CALIDAD	CANTIDAD BARRILES
Destilación T95	719000
Contenido de Biodiesel (FAMME)	35000
	754000

El costo operacional se calcula en el análisis económico de pares de línea, porque se debe tener en cuenta varios parámetros

**7.2.8 Análisis económico de pares de línea de Abril a Junio del 2016.** Los productos producidos por la refinería de Barrancabermeja, son entregados a la filial CENIT quien se encarga de transportar y entregar el producto al cliente final. CENIT utiliza 3 poliductos principales (ver tabla 27 relación de poliductos) que salen de Barrancabermeja a las diferentes estaciones.

**Tabla 27. Sistema de poliductos**

	Transporta	Flujo de operación Barriles por hora	Tarifa de Transporte \$/BARRIL
LÍNEA 16. Galán Sebastopol	Gasolina Nafta Diluyente para crudo Diésel	8000 BPH	7220.12 pesos
LÍNEA 12. Galán Sebastopol	Gasolina Nafta Diluyente para crudo Diésel JET A1	4000 BPH	7220.12
LÍNEA 10 Galán Bucaramanga	Gasolina Diésel GLP	1000 BPH	6384.12 pesos

Fuente: Ecopetrol CENIT

Ecopetrol le transfiere a CENIT el costo por transporte de cada barril, en la tabla 28 están consignados los precios de transporte de cada barril, el precio varía dependiendo del sistema utilizado. Si una línea es parada por incumplimiento al plan de retiro, los costos de transporte por disponibilidad del sistema CENIT podrían cobrar a la refinería. Por un convenio CENIT no cobra estos costos si a fin de mes se cumple el plan de retiro programado

Se realiza análisis de las horas de pare durante los meses de marzo a junio del 2016. Se evidencia un total de 117 horas paradas por no disponibilidad de los diferentes productos.

**Tabla 28. Horas de pare de línea por problemas de calidad de los diferentes combustibles**

	ABRIL(horas)	MAYO (horas)	JUNIO(horas)
B2E	9,6	0	30,6
GMR	47,1	5,7	3,8
JET_A1	0,0	0	0
QUERO	0,0	11,1	5,0
VIRGINOIL	4,4	0	0
Horas totales parados (horas)	61,03	16,78	39,32

Fuente: Archivo Reinventar refinería de Ecopetrol

Debido al pare de línea por diferentes parámetros de calidad se dejaron de entregar los siguientes volúmenes de producto (ver tabla 29):

**Tabla 29. Volumen no entregado por estar fuera de especificaciones**

	ABRIL	MAYO	JUNIO	Total por línea(barriles)
Línea de 10	54253	26553	72418	153224
Línea de 12	232447	176862	230894	640203
Línea de 16	772689	595614	684897	2053200
Total de producto no entregado por mes(barriles)	1059389	799029	988209	

Fuente: Archivo Reinventar refinería de Ecopetrol

Debido al incumplimiento de entrega de producto la refinería de Barrancabermeja tendría que pagar seis y medio millones de dólares (ver tabla 30) por la disponibilidad de los sistemas de bombeo de los meses de abril, mayo y junio. Sin embargo ese costo no fue cancelado por que se cumplió con el programa de entrega.

**Tabla 30. Costos ocasionados por pare de líneas.**

Sistema		Tarifa \$/Bls	Volumen no entregados (barriles )	Total línea(\$)
Galán-Bucaramanga	10"	6384,12	153224	\$ 978.202.273,76
Galán-Sebastopol	12"	7220,12	640203	\$ 4.622.340.227,05
Galán-Sebastopol	16"	7220,12	2053200	\$ 14.824.352.256,85
			Pesos	\$ 20.424.894.757,66
			Dólares	\$ 6.409.298,08

En los meses de Abril, Mayo y Junio la refinería dejo de recibir 120 millones de dólares por producto no entregado por que no cumplía los parámetros de calidad.

**7.2.9 Analizar los costos de contratar el mantenimiento de analizadores.** El mantenimiento de los equipos de analizadores desde el año 2004 se ha realizado personal contratista, en estos contratos solo se paga mano de obra los repuestos son suministrados por Ecopetrol.

Estos contratos son realizados, para mantenimiento a doce (12) analizadores con sus respectivos sistemas de acondicionamiento de muestra y subsistemas de Blending diésel, gasolina, equipo de NIR laboratorio, crudos y combustóleo. En total durante los años 2005 al 2016 se han pagado en mano de obra 9515 SMLMV cuyo valor equivale \$5.307.776.727 de pesos. En la tabla 31 se desglosa los diferentes contratos realizados.

En promedio un contrato anual para los analizadores de Blending de gasolina, diésel, combustóleo tiene un valor de 600 millones de pesos anuales.

**Tabla 31. Contratos pagados entre 2005 al 2016 en mano de obra**

Contrato	Año	objeto	Valor
4036502	2005	Servicio de mantenimiento de los sistema de analizadores de Blending gasolina, combustóleo de la GCB, ubicada en Barrancabermeja	418.800.575
4038672	2006	Servicio de mantenimiento técnico de los sistema de Blending de gasolina y combustóleo de la gerencia complejo industrial Barrancabermeja. Ubicada en Barrancabermeja.	418.173.417
4012269	2006	Servicio de mantenimiento técnico de los sistema de analizadores de Blending de Gasolina, combustóleo, Diésel y crudos de Ecopetrol SA vigencia 2006	4.067.344
4012272	2007	Servicio de mantenimiento técnico de los sistema de analizadores de Blending de Gasolina, combustóleo, Diésel y crudos de Ecopetrol SA vigencia 2007	372.402.813
4012273	2008	Servicio de mantenimiento técnico de los sistema de analizadores de Blending de Gasolina, combustóleo, Diésel y crudos de Ecopetrol SA	610.053.816

<b>Contrato</b>	<b>Año</b>	<b>objeto</b>	<b>Valor</b>
4023501	2009	Servicio de mantenimiento técnico de los sistema de analizadores de Blending de Gasolina, combustóleo, Diésel de la gerencia de refinería Barrancabermeja y Blending de crudos ubicados en las estaciones de bombeo de vasconia y Ayacucho , de Ecopetrol S.A., durante las vigencias 2009-2010	370.580.676
4023503	2010	Servicio de mantenimiento técnico de los sistema de analizadores de Blending de Gasolina, combustóleo, Diésel de la gerencia de refinería Barrancabermeja y Blending de crudos ubicados en las estaciones de bombeo de Vasconia y Ayacucho , de Ecopetrol S.A., durante las vigencias 2009-2010	183.851.516
4029434	2010	Servicio de mantenimiento técnico de los sistema de analizadores de Blending de Gasolina, combustóleo, Diésel de la gerencia de refinería Barrancabermeja de Ecopetrol S.A., ubicada en Barrancabermeja, Santander, durante las vigencias 2010-2011	103.162.751
4029437	2011	Servicio de mantenimiento técnico de los sistema de analizadores de Blending de Gasolina, combustóleo, Diésel de la gerencia de refinería Barrancabermeja de Ecopetrol S.A., ubicada en Barrancabermeja, Santander, durante las vigencias 2010-2011	676.683.819
	2012	Servicio de mantenimiento técnico de los sistema de analizadores de Blending de Gasolina, combustóleo, Diésel de la gerencia de refinería Barrancabermeja de Ecopetrol S.A., ubicada en Barrancabermeja, Santander, durante las vigencias 2010-2011	350.000.000
	2014-2015	Mantenimiento de analizadores Blending de gasolina y diésel. Modelamiento gasolina, Diésel y crudos	1.300.000.000
<b>5226407</b>	2016	Servicios de mantenimiento preventivo, correctivo y mejorativo de instrumentación de campo de sistemas de fuego y gas, sistemas de protección de procesos, sistemas de analizadores, medidores de nivel, flujo, presión y temperatura en la gerencia refinería Barrancabermeja de Ecopetrol s.a. ubicada en Barrancabermeja, Santander.	500.000.000
Contratos pagados entre 2005 al 2016 en mano de obra			5.307.776.727

Fuente: Departamento de contratación refinería de Barrancabermeja

### **7.3 REALIZAR PROPUESTA PARA GERENCIAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE ANALIZADORES DE BLENDING**

Debido al impacto operacional y económico que fueron calculados en los regalos de calidad, pares de línea, y reprocesos se evidencia la gran importancia de tener los analizadores disponibles y confiables. Al tener los analizadores en servicio y teniendo confiabilidad en los análisis realizados se utilizaría constantemente del sistemas de control avanzado para la preparación de gasolina, diésel y combustóleo, utilizando el control avanzado en la preparación de los diferentes combustibles nos daría mayor estabilidad en la preparación de combustibles, disminuiríamos los regalo de calidad, y pares de línea ocasionados por reprocesos.

El mantenimiento de estos equipos es complejo y especializado. Por lo cual los miembros del equipo deben ser personal altamente competente, y sus habilidades deben ser reforzadas certificándolos en el mantenimiento directamente con la fábrica.

Actividad de mantenimiento del analizador de proceso en línea es probablemente la piedra angular para una exitosa implementación del analizador. El diseño del sistema tendrá un impacto significativo en el mantenimiento. Si el analizador está diseñado correctamente, pero no se mantienen correctamente, el esfuerzo está condenado al fracaso.<sup>8</sup>

A continuación presento la propuesta técnica y financiera que es el soporte para la creación de un grupo de mantenimiento especializado para analizadores en línea que impactan directamente el margen de refinación. En esta propuesta se tienen en cuenta los analizadores para preparación de diésel, Gasolina y Combustóleo. Además para asegurar la calidad de los productos se incluyen los analizadores en línea para la preparación de GLP, y PGR.

---

<sup>8</sup> CLEVETT, Op. Cit.

**7.3.1 Beneficio económico.** El grupo de mantenimiento de analizadores en línea tendría las siguientes metas durante la gestión.

- **Año de inicio:** reducción de regalo de calidad 3% y ahorro en la no contratación externa del mantenimiento de analizadores en línea
- **Segundo año:** reducción de regalo de calidad 5% y ahorro en la no contratación externa del mantenimiento de analizadores en línea
- **Tercer Año:** reducción de regalo de calidad 10% y ahorro en la no contratación externa del mantenimiento de analizadores en línea
- **Cuarto Año:** reducción de regalo de calidad 20% y ahorro en la no contratación externa del mantenimiento de analizadores en línea

Con la disponibilidad de los analizadores en línea y la operación continua del control avanzado tendríamos los siguientes beneficios.

- Reducción de un 20% en el primer año de pares de línea y reproceso por producto fuera de especificaciones.
- Cumplimiento del programa de entregas

**Tabla 32. Beneficio económico**

	MENSUAL (pesos)	Anual (pesos)	Primer año	Segundo año	Tercer año	Cuarto año
Contratación anual de personal externo	\$50.000.000	\$600.000.000				
Regalo de calidad RVP(promedio de abril, mayo y junio )	\$505.960.000	\$6.071.520.000	\$182.145.600	\$303.576.000	\$607.152.000	\$1.214.304.000
Regalo de Diésel T95(promedio de abril, mayo y junio )	\$84.955.000	\$1.019.460.000	\$30.583.800	\$50.973.000	\$101.946.000	\$203.892.000

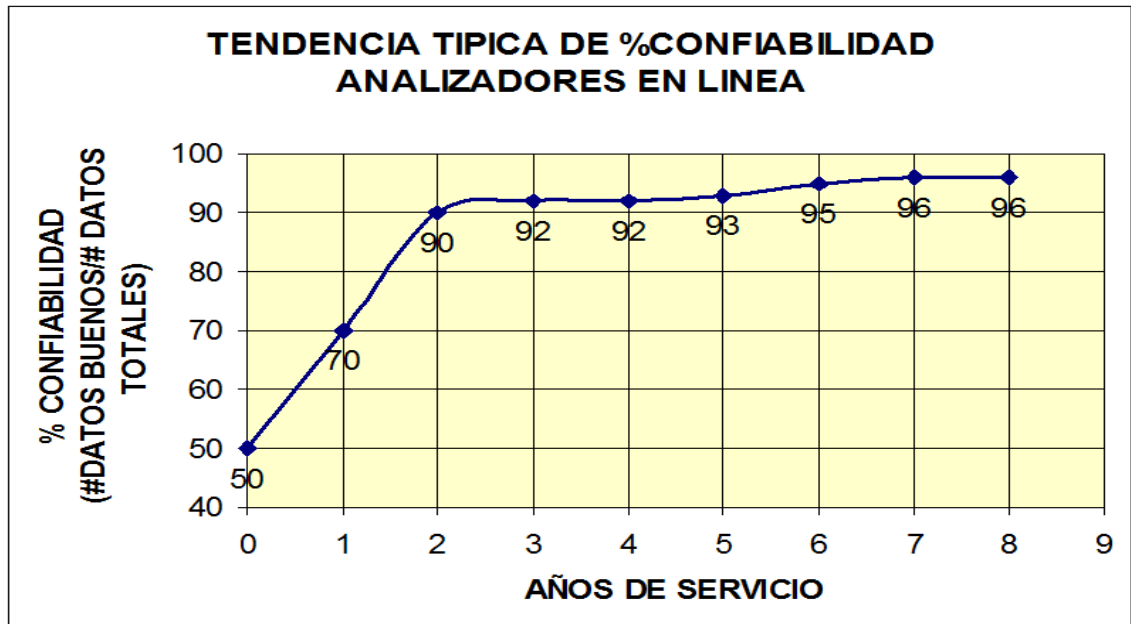
	MENSUAL (pesos)	Anual (pesos)	Primer año	Segundo año	Tercer año	Cuarto año
Regalo de combustóleo (promedio de abril, mayo y junio)	\$256.673.000	\$3.080.076.000	\$92.402.280	\$154.003.800	\$308.007.600	\$616.015.200
Ahorro en Contratación externa			\$600.000.000	\$600.000.000	\$600.000.000	\$600.000.000
<b>Ahorro Total</b>			<b>\$905.131.680</b>	<b>\$1.108.552.800</b>	<b>\$1.617.105.600</b>	<b>\$2.634.211.200</b>

**7.3.2 Cálculo de personal necesario para realizar mantenimiento de los equipos.** Por su complejidad electrónica y cantidad de componentes, sensibilidad analítica y operación continua los analizadores en línea requieren de un grupo dedicado a la gestión de chequeo diario, calibración periódica, mantenimiento preventivo, solución de problemas.

Se han identificado los siguientes factores críticos de éxito:

- El manejo de los analizadores (mantenimiento, mejoramiento, reemplazo) debe ser organizado y coordinado.
- El mantenimiento debe ser centralizado por técnicos dedicados
- El entrenamiento del personal (conocimiento y experiencia) es un proceso largo, no corto. Además es un proceso continuo y no eventual.
- La confiabilidad de los equipos ( $\frac{\# \text{ datos buenos}}{\# \text{ datos totales}} * 100$ ) solo se logra mediante un arduo trabajo en equipo. Lo típico es que la confiabilidad al inicio sea del 50%, transcurrido un año se alcance el 70% y al final del segundo año se logre 90%. El objetivo es mantener la confiabilidad por encima de 95%. Ver imagen 9

**Imagen 9. Tendencia típica de confiabilidad analizadores en línea vs años de servicio**



Para realizar el cálculo la metodología involucra la complejidad del analizador y su sistema de acondicionamiento de muestra y para ello se le asigna un valor de 1.0 a los analizadores de azufre. Los demás toman como referencia este, así por ejemplo: El NIR tiene una complejidad de 1.5 o 1.8, y los cromatógrafos de 1.2 o 1.8.

Número de analizadores por técnico. Este tema ha generado mucho debate. Una vieja regla empírica indica que "un técnico puede mantener hasta 15 sistemas de analizadores de proceso en línea". Sin embargo, esto debe tener en cuenta la complejidad del analizador y la experiencia del técnico. A menudo se utilizan factores de complejidad, que califican a los diversos tipos de analizador por un factor de complejidad de 1,00 (por ejemplo, un solo flujo analizador por cromatografía de Gases tiene un factor de 1,00; un analizador de pH tiene un factor de 0,5, un punto de ebullición analizador tiene un factor de 1,2). Un sistema que analiza múltiples corrientes de proceso por un analizador implica una mayor complejidad. Suponiendo que todos los técnicos son experimentados, entonces, este proceso permite estimar la mano de obra necesaria para el mantenimiento del

analizador en una planta específica. Si no todos los técnicos son experimentados y luego otro factor debe ser utilizado.<sup>9</sup>

Para la aplicación de la refinería y teniendo en cuenta que la mayoría de sistema analiza múltiples corrientes de proceso, para el cálculo se tienen en cuenta que un técnico bien entrenado está en capacidad de atender eficientemente un número de 12 analizadores de igual complejidad. En la tabla 33 se realiza el cálculo de personal necesario para realizar la intervención de 50 analizadores, y según el cálculo se necesitan 4.17 personas para la intervención de los equipos.

**Tabla 33. Cálculo de personal necesario para intervención de los analizadores**

Analizador	Nº	Factor de Complejidad (Fc)	Nº x Fc	(Nº x Fc)/12
NIR Diésel	1	1,8	1,8	0,15
NIR Gasolina	1	1,5	1,5	0,1
NIR Ayacucho	1	0,8	0,8	0,1
NIR Vasconia	1	0,8	0,8	0,1
NIR Gasolina Laboratorio	1	1,2	1,2	0,1
NIR Crudo y Diésel Laboratorio	1	1,2	1,2	0,1
Azufre diésel	1	1	1	0,1
Azufre Gasolina	2	1	2	0,2
Azufre combustóleo	1	0,8	0,8	0,1
Control Avanzado de PGR	10	1,2	12	1,0
Cromatógrafo GLP	1	1,2	1,2	0,1
Cromatógrafo Diésel	2	1,8	3,6	0,3
Densitómetro de Crudos	10	0,8	8	0,7
Densitómetro de combustóleo	3	0,8	2,4	0,2

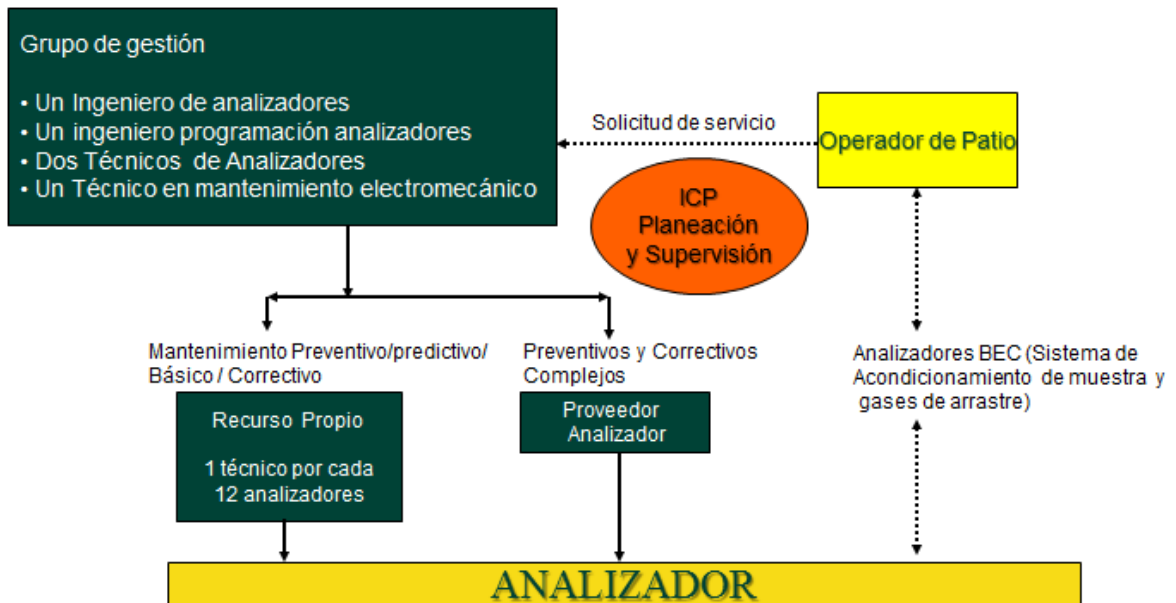
<sup>9</sup> CLEVETT, Op. Cit.

Analizador	N°	Factor de Complejidad (Fc)	N° x Fc	(N° x Fc)/12
Densitómetro de Diésel	4	0,8	3,2	0,3
Viscosidad combustóleo	2	0,6	1,2	0,1
Viscosidad planta parafinas	2	0,6	1,2	0,1
Viscosidad planta Demex	1	0,6	0,6	0,1
RVP	1	0,8	0,8	0,1
Cromatógrafos de planta HDT	2	1,2	2,4	0,2
Colorímetro Planta HDT	1	1	1	0,1
SIMDIS	1	1,3	1,3	0,1
<b>TOTAL</b>	<b>50</b>	<b>22,8</b>	<b>50</b>	<b>4,17</b>

**7.3.3 Estructura de control de gestión.** Dado al potencial impacto benéfico que tienen los analizadores en línea, sobre el monitoreo y control permanente en la calidad de las corrientes, se requiere de un grupo de trabajo asignado exclusivamente a la gestión, soporte y mantenimiento de los analizadores.

En consecuencia, a continuación en la Imagen 10 se presenta una propuesta de organización del grupo de soporte de los analizadores en línea, pensada como una estructura de trabajo permanente y con el único objetivo de asegurar la disponibilidad y confiabilidad de los analizadores en línea que impacta la entrega de producto hacia los clientes.

**Imagen 10. Grupo de soporte de analizadores**



De acuerdo a la experiencia en el mantenimiento de sistema de analizadores en línea, el autor propone la creación de los siguientes cargos y roles para hacerse cargo del sistema de analizadores de blending de la refinería de Barrancabermeja:

- **Un (1) ingeniero de analizadores:** Asignado por el departamento de materias Primas.
- **Un (1) ingeniero para programación y planeación del mantenimiento:** Asignado por el departamento de Metrología.
- **Un Técnico (1) para mantenimiento electromecánico:** Asignado por el departamento de materias Primas.
- **Dos (2) Técnicos de analítica:** Asignado por el departamento de Metrología.

Descripción de los Roles.

**Ingeniero de analizadores:**

Es un ingeniero Electromecánico, perteneciente al departamento de materias primas y productos terminados, debe tener conocimiento en:

- Economía de la refinación.
- Logística de operación de los diferentes Blending de productos.
- Habilidades en la operación del control avanzado de diésel, gasolina, combustóleo y PGR.
- Operación y configuración del sistema AMADAS.
- Operación y mantenimiento de los analizadores.

Dentro de las funciones claves responde ante la gerencia de la administración del grupo de analizadores, y es el puente entre mantenimiento y operaciones. Una de las funciones más importantes analizadores funciones todo el tiempo y la utilización del control avanzado para la preparación de producto.

Funciones:

- Brinda soporte de proceso al grupo de mantenimiento y analista.
- Coordina y maneja la información relacionada con los analizadores actuales y a futuro.
- Administra la información de la red de analizadores.
- Cuantifica y gestiona el factor de servicio en línea de los analizadores (% confiabilidad, % mantenibilidad, tiempo medio entre falla y % de disponibilidad).
- Coordina los recursos para los chequeos y las calibraciones.
- Realiza los reportes económicos diarios, y mensuales.
- Realiza las especificaciones técnicas de los contratos de asesoría técnica, compra de gases de calibración, columnas de cromatografía y repuestos.

- Realiza el presupuesto de consumo de gases de arrastre, calibración y columnas de cromatografía.
- Participa en la solución de problemas.
- Coordina la capacitación de los integrantes del grupo.
- Coordina actividades con el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) y con el laboratorio de refinería de Barrancabermeja.
- Realizar reparación y limpieza especializadas de las celdas de NIR.
- Realiza puesta a punto del sistema AMADAS y control avanzado de Blending.
- Encargado del modelamiento NIR, Realiza corrección de cajas espectrales, revisión y actualización de modelos.
- Capacita a los demás miembros del equipo.

**Ingeniero para programación y planeación del mantenimiento:**

Con experiencia en analizadores, habilidades en programación, planeación de mantenimiento. Es necesario que tenga habilidades en software y hardware de computadores. Eventualmente sea reemplazo del ingeniero de Analizadores, al menos en sus funciones básicas,

El rol es el siguiente:

- Realiza planeación y programación de mantenimiento
- Encargado de la creación de equipos en SAP
- Encargado de elaborar RCM de los subsistemas
- Encargado de Elaborar pruebas de funcionales a los analizadores
- Realiza mantenimiento preventivo y correctivo de los analizadores en línea
- Realiza calibración periódica de los equipos.
- Participa en la solución de problemas
- Recopila y administra la información técnica y la historia de las intervenciones realizadas a cada uno de los analizadores.
- Realiza recomendaciones de compra de partes de repuestos y software.

- Capacita a los demás miembros del equipo

### **Técnico para mantenimiento electromecánico**

Responsable de todos los subsistemas de analizadores como los son las bombas, sistema acondicionamiento de muestras, compresores, secadores, sistemas de recuperación de líquidos y aires acondicionados.

- Realiza ronda diaria a los analizadores y subsistemas
- Es el ordenador de gasto para la compra de repuestos y consumibles
- Realiza actividades de reparación, cambio y puesta en marcha de los diferentes subsistemas (Bombas, aires acondicionados, compresores, secadores, sistema de recuperación de líquidos entre otros) y analizadores
- Presupuesta y Gestiona la compra de repuestos
- Realiza catalogación de equipos
- Capacita a los demás miembros del equipo

### **Técnicos de analítica:**

Personal con altas competencias y conocimiento en el mantenimiento preventivo y correctivo de los analizadores en línea

- Encargados de realizar ronda diaria a los equipos
- Realiza mantenimiento preventivo y correctivo a los analizadores
- Realiza catalogación de repuestos
- Preparación de presupuesto de analizadores.
- Presupuesta y Gestiona la compra de columnas de cromatografía

**7.3.4 Aseguramiento a corto plazo.** Para garantizar el éxito se debe asegurar:

- Gestión del conocimiento:

En los primeros cuatros años se realizarán un plan de Certificación en el mantenimiento de los analizadores en fabrica, con el fin de tener personal calificado y competente.

También de acuerdo con los lineamientos del Mantenimiento con Excelencia y la Disciplina Operativa, se realizara una matriz de procedimientos de mantenimiento, calibración y operación de cada analizador. Cada integrante del grupo deberá realizar el entrenamiento en dichos procedimientos para garantizar que las intervenciones a estos equipos sean eficaces.

- Aseguramiento de la información técnica

Creación de biblioteca de planos y manuales de cada analizador

Revisión y creación de repuestos de cada analizador. Priorizando su compra dependiendo de la criticidad de cada equipo

Realizar matriz de complejidad de cada analizador para hallar las horas hombre de mantenimiento dependiendo el tipo de intervención

- Aseguramiento Metrológico

El aseguramiento metrológico debe darse en general para el sistema y debe permitir establecer claramente la exactitud de los parámetros inferidos o medidos indirectamente por los analizadores y su respectivo análisis de laboratorio.

Se debe realizar procedimiento de pruebas de validación de cada analizador. Con las pruebas de validación de los analizadores se determina si los equipos requieren calibración, cambio de modelos, cambio de curvas de calibración o mantenimiento correctivo.

El aseguramiento metodológico determina la confiabilidad de los análisis reportados, teniendo confianza en los análisis en “tiempo real” se puedan tomar decisiones en “tiempo real”,

**7.3.5 Indicadores de gestión de desempeño.** Para medir gestión y teniendo en cuenta la recomendación del autor Kenneth J. Clevett En el artículo “Improve process analyzer performance”.

Para los analizadores se deben definir los siguientes factores de servicio:

- De disponibilidad: El factor de servicio no se carga cuando el proceso no está funcionando, pero se cargará cuando el analizador se está calibrando

$$\text{Disponibilidad}(\%) = \frac{\# \text{ tiempo analizador esta operando y calibrado}}{\# \text{ tiempo sistema operando}} \times 100$$

- Factor de Utilización (%):

$$\begin{aligned} \text{Utilización (\%)} \\ = \frac{\# \text{ Tiempo los analisis del analizador son usados para control del proceso}}{\# \text{ tiempo de duracion del mezcla}} \times 100 \end{aligned}$$

La utilización es el término más importante, pero es más difícil de calcular. Para aplicaciones de control avanzado de proceso, el equipo de control de procesos, puede registrar el tiempo que el analizador está fuera de servicio. Para aplicaciones de vigilancia, el tiempo de inactividad puede ser obtenida de las operaciones de proceso. Por consiguiente, la disponibilidad se utiliza normalmente. La disponibilidad es una función de analizador de mantenimiento, mientras que la utilización es una función del proceso de operaciones.<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> CLEVETT, Op. Cit.

Estas metas industriales suelen fijarse para analizador de aplicaciones:

Aplicaciones de control de procesos > 98%

Supervisión únicamente aplicaciones > 95%

Las aplicaciones Seguridad y medio ambiente 100% (obligatorio).

Si la disponibilidad es inferior al 95%, el analizador deberá ser retirado del servicio, o renovado para mejorar el rendimiento<sup>11</sup> (clevett, 1996)

- De confiabilidad =

Se calcula el tiempo medio entre fallas conocido en inglés como MTBF (*Medium Time Between Failures*). Intente mantener MTBF tan alto como sea posible.

$$MTBF(dias) = \frac{\sum \text{tiempo funcionamiento}}{\sum \text{tiempo fuera de servicio}}$$

- De mantenibilidad

Tiempo medio de reparación (MTTR). Intente mantener este indicador tan baja como sea posible. MTTR es afectado principalmente por los conocimientos técnicos disponibles y la disponibilidad de piezas de repuesto.

$$\text{mantenibilidad} = \frac{\sum \text{tiempo fuera de servicio}}{\text{conteo total de } t \text{ fuera de servicio (todos los servicios)}}$$

---

<sup>11</sup> Ibid.

**7.3.6 Plan de entrenamiento para certificación en el mantenimiento directamente en fábrica de los analizadores para el personal a cargo.** Los analizadores en línea abarcan diversidad de aplicaciones y marcas, de tal manera que se requiere entrenar al grupo de soporte en cada uno de los equipos, haciendo énfasis en su operación, mantenimiento, calibración y solución de problemas.

- Capacitación y certificación en fabrica ABB teórico-práctico sobre analizadores NIR (Espectrofotómetro) con énfasis en operación, mantenimiento y solución de problemas,
- Capacitación y certificación en fábrica de Top NIR System teórico-práctico sobre creación, validación y actualización de modelos
- Capacitación y certificación en fabrica ABB teórico-práctico sobre Cromatografía con énfasis en operación, mantenimiento y solución de problemas,
- Programa de certificación en mantenimiento del cromatógrafo PGC5000 y el sistema software de monitoreo en línea VistaNET.
- Certificación en fábrica: FTPA2000–460 Operación y mantenimiento **(TRA-0007)**.
- Certificación en fábrica: FTIR/ FTNIR PLS – Calibración **(TRA-0004)**.

## 8. CONCLUSIONES

- Basado en la recopilación de datos y según la experiencia es necesario que Ecopetrol autorice la creación de un grupo centralizado para realizar mantenimiento especializado para los analizadores en línea, con la implementación del grupo de mantenimiento se garantiza la disponibilidad y confiabilidad de los analizadores en línea. También se logra fortalecer el conocimiento del personal en los equipos especializados.
- La experiencia y la investigación realizada ha demostrado que el mantenimiento de los analizadores debe ser continuo y si el equipo falla puede ocasionar grandes pérdidas económicas en regalos de calidad y reprocesos. También puede ocasionar pérdida de imagen de Ecopetrol por incumplimiento a clientes.
- La correcta operación de los analizadores en línea garantiza la operación continua de los sistemas de control avanzado ayudando a mantener una operación estable y garantizando la calidad de los productos.
- Para poder implementar el grupo de mantenimiento especializado de analizadores en línea, solo se debe asignar al personal exclusivamente para la gestión del mantenimiento de los equipo. La mayor parte del conocimiento ya está adquirido.

## BIBLIOGRAFÍA

CLEVETT, K. Improve process analyzer performance. Hydrocarbon Processing. 1996. Pág. 77-88. Disponible en: [http://www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?query\\_id=0&page=0&osti\\_id=231170](http://www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?query_id=0&page=0&osti_id=231170)

ECOPETROL S.A. Documentación teórica – Gasolinas regular y extra. Recuperado el 2015, de Intranet empresarial IRIS.

ECOPETROL S.A. Intranet empresarial IRIS. Obtenido de Documentación teórica – Corrientes de combustóleo.

ECOPETROL S.A.. Documentación teórica Diésel. Obtenido de Intranet empresarial IRIS.

ECOPETROL. Manual de la estructura de control de gestión de mantenimiento. Barrancabermeja. 2001.

J.F, T., & Figueroa , A. Implementación del sistema de validación de datos para los analizadores en línea de gasolina, combustóleo pesado y combustóleo liviano de la refinería de Ecopetrol S.A Barrancabermeja. Bucaramanga: Universidad de Santander, Facultad de Ingeniería Electrónica. 2015.