

**EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA EL CAMBIO DE LOS MEDIDORES DE  
FLUJO TIPO DESPLAZAMIENTO POSITIVO DEL LLENADERO PRINCIPAL DE  
BARRANCABERMEJA DE ECOPETROL S.A**

**DIANA CATALINA BELTRÁN SABOGAL  
CÉSAR JOSE ORTIZ SABOGAL  
HUGO ANDRÉS VARGAS SALAMANCA**

**Monografía de Grado para optar al título de Especialista en Gerencia de  
Recursos Energéticos**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE RECURSOS ENERGÉTICOS  
BUCARAMANGA  
2013**



**EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA EL CAMBIO DE LOS MEDIDORES DE  
FLUJO TIPO DESPLAZAMIENTO POSITIVO DEL LLENADERO PRINCIPAL DE  
BARRANCABERMEJA DE ECOPETROL S.A**

**DIANA CATALINA BELTRÁN SABOGAL  
CÉSAR JOSE ORTIZ SABOGAL  
HUGO ANDRÉS VARGAS SALAMANCA**

**Trabajo de Monografía para optar por el Título de Especialistas en Gerencia  
de Recursos Energéticos**

**Carlos Alirio Díaz  
M.Sc Ingeniero Mecánico  
Director de Proyecto**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS  
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE RECURSOS ENERGETICOS  
BUCARAMANGA  
2013**



**Nota de aceptación:**

Aprobado por el Comité Curricular del Programa de Ingeniería en Energía en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Bucaramanga para optar al Título de Especialista en Gerencia de Recursos Energéticos.

---

JURADO CALIFICADOR 1

---

JURADO CALIFICADOR 2

Bucaramanga, Noviembre de 2013



## TABLA DE CONTENIDO

LISTADO DE TABLAS .....	6
LISTADO DE FIGURAS .....	6
1. INTRODUCCIÓN .....	7
1.1 Problema actual .....	8
2. ASPECTOS TÉCNICOS DEL PROYECTO .....	9
2.1 Medidores de Desplazamiento Positivo .....	10
2.1.1 Descripción Medidores de desplazamiento positivo.....	11
2.2 Medidores máxicos tipo Coriolis.....	12
2.3 Descripción del sistema actual.....	14
2.4 Tecnología actual.....	19
2.4.1 Especificaciones técnicas de medidores actuales .....	20
2.4.2 Máximo error permitido .....	20
2.5 Evaluación de las alternativas.....	21
2.5.1 Alternativa 1 .....	21
2.5.2 Alternativa 2 .....	22
2.6 Descripción del sistema de estudio.....	23
2.7 Alineación con la Estrategia de Negocio de Ecopetrol .....	23
3 EVALUACIÓN DEL PROYECTO .....	24
3.1 FACTIBILIDAD COMERCIAL .....	24
3.1.1 Producto.....	24
- Tecnología a usar .....	24
- Especificaciones técnicas del medidor Coriolis.....	25
3.1.2 Mercado .....	27
3.2 FACTIBILIDAD AMBIENTAL .....	27
3.3 FACTIBILIDAD FINANCIERA Y ECONÓMICA.....	29
3.1 Hipótesis .....	30
3.2 Beneficios intangibles del proyecto.....	30
3.3 Costos asociados al proceso .....	30
3.3.1 Costos sin proyecto.....	31



---

3.3.2 Costos con proyecto .....	33
3.3.3 Inversión .....	34
3.4 Flujo de caja sin proyecto .....	37
3.5 Flujo de caja con proyecto .....	38
3.6 Flujo de caja incremental .....	39
3.7 Indicadores de rentabilidad .....	40
3.8 Análisis de sensibilidades .....	40
4 CONCLUSIONES .....	44
5 BIBLIOGRAFIA .....	45

## LISTADO DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Productos entregados en el Llenadero Principal.....	15
<b>Tabla 2.</b> Productos entregados en el Llenadero de Aromáticos.....	16
<b>Tabla 3.</b> Productos petroquímicos e industriales que no se entregan actualmente con su respectivo medidor de flujo.....	17
<b>Tabla 4.</b> Productos petroquímicos e industriales a los cuales se les va a cambiar el medidor de flujo.....	17
<b>Tabla 5.</b> Especificaciones técnicas de los medidores de desplazamiento positivo.....	20
<b>Tabla 6.</b> Características de operación del medidor modelo LE3.....	20
<b>Tabla 7.</b> Máximo error permitido según la viscosidad.....	21
<b>Tabla 8.</b> Costos de medidores de flujo en el mercado.....	24
<b>Tabla 9.</b> Rangos de medición de flujo másico para líquidos.....	26
<b>Tabla 10.</b> Máximos errores permitidos medidor Coriolis.....	26
<b>Tabla 11.</b> Máximos valores de repetibilidad del medidor Coriolis.....	27
<b>Tabla 12.</b> Cálculo de pérdida por diferencia entre el error máximo de los medidores actuales y los nuevos.....	32
<b>Tabla 13.</b> Herramientas para mantenimiento.....	33
<b>Tabla 14.</b> Presupuesto total del proyecto.....	34
<b>Tabla 15.</b> Especificación de materiales empleados en el proyecto.....	35
<b>Tabla 16.</b> Costos de montaje de los nuevos medidores de flujo.....	36
<b>Tabla 17.</b> Costos de interventoría del proyecto.....	36
<b>Tabla 18.</b> Flujo de caja sin proyecto.....	37
<b>Tabla 19.</b> Flujo de caja con proyecto.....	38
<b>Tabla 20.</b> Flujo de caja incremental.....	39

## LISTADO DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Llenadero de Ecopetrol en Barrancabermeja (Fuente: Ecopetrol).....	7
<b>Figura 2.</b> Clasificación de los Medidores para Transferencia de Custodia (Fuente: Ecopetrol).....	10
<b>Figura 3.</b> Medidor de Desplazamiento Positivo (Fuente: Ecopetrol).....	11
<b>Figura 4.</b> Unidad interna de Medición de un Medidor de Desplazamiento (Fuente: Ecopetrol).....	12
<b>Figura 5.</b> Medidor Coriolis (Fuente: Ecopetrol).....	13
<b>Figura 6.</b> Instalación de un medidor de Coriolis (Fuente: Ecopetrol).....	14
<b>Figura 7.</b> Llenadero de Aromáticos de Ecopetrol S.A en Barrancabermeja.....	16
<b>Figura 8.</b> Ejemplo de tren de medición actual en Llenadero de Ecopetrol en Barrancabermeja.....	19
<b>Figura 9.</b> Medidor de Desplazamiento Positivo (Fuente: Smith meter).....	19
<b>Figura 10.</b> Proline Promass 84F (Endress Hauser).....	25
<b>Figura 11.</b> Análisis de sensibilidades.....	41

## 1. INTRODUCCIÓN

El Llenadero de carrotanques de la Vicepresidencia de Suministro y Mercadeo de Ecopetrol en Barrancabermeja, es el área encargada de entregar los productos petroquímicos, industriales y refinados elaborados por la Gerencia Refinería de Barrancabermeja. Estos productos se entregan en carro tanques a los diferentes clientes nacionales, cumpliendo con las especificaciones de cantidad y calidad establecidas en el Catálogo de Productos de Ecopetrol S.A.



**Figura 1.** Llenadero de Ecopetrol en Barrancabermeja (Fuente: Ecopetrol)

Actualmente en el Llenadero de carrotanques se están entregando 18 productos a la industria nacional, entre los cuales están:

- **Bases lubricantes:** Base Parafínica liviana, Base Parafínica media, Base Parafínica Bright Stock, Base Nafténica media, Base Nafténica pesada.
- **Disolventes alifáticos:** Disolvente 1, Disolvente 2, Disolvente 3, Disolvente 4 y Hexano.
- Aceite liviano de ciclo (ALC)
- **Parafinas:** Parafina liviana , Parafina media y Parafina micro cristalina
- Asfaltos 60/70 -80/100, Combustóleo (fuel oil), Jet A-1 y Gasolina de aviación grado 100.

Para la entrega de estos productos se utilizan diferentes líneas que contienen un tren de medición, el cual se compone de: válvulas, medidores de flujo, transmisor de presión y temperatura, brazo de llenado y el respectivo sistema de control. Los medidores de flujo pueden ser máxicos o volumétricos.



El objetivo de este proyecto es evaluar económicamente el cambio de los medidores de flujo de desplazamiento positivo actuales por medidores Coriolis, que permitan tener medidas más precisas, reducir la incertidumbre en la medición de los volúmenes entregados, poder entregar a los clientes el producto en términos máscicos y no volumétricos, reducir los costos de mantenimiento correctivo y así generar ahorros sobre el sistema actual.

Se evidencia la necesidad de ejecutar este proyecto por:

- Vida útil cumplida: los medidores actuales (tipo desplazamiento positivo) fueron instalados hace más de 20 años.
- Incremento de fallas mecánicas: fallas por desgaste de los internos del medidor.
- Altos costos de mantenimiento (repuestos y mano de obra): compra de repuestos y mano de obra para la reparación.
- Mantenimiento preventivo frecuente.
- Mercado de productos en masa: la mayoría de los productos se comercializan en masa actualmente y no en volumen (como se tienen la mayoría de medidores en el Llenadero).
- Mayor exactitud en la entrega del producto: los medidores actuales tienen una linealidad de 0,25% (error máximo), y en el mercado ya se encuentran equipos más precisos (error máximo 0,15%)

La línea base es entonces la situación actual del Llenadero, con el promedio de mantenimientos preventivos y correctivos que se realizan actualmente, y los recursos que involucran (personal, kits, herramientas y tiempo).

Esta monografía presenta una evaluación económica del cambio de medidores de flujo de desplazamiento positivo del Llenadero principal de Barrancabermeja de Ecopetrol S.A., incluyendo la evaluación técnica, comercial, ambiental y financiera. Se incluye análisis de sensibilidad de las variables críticas y se realizan algunas recomendaciones al respecto.

### **1.1 Problema actual**

El Llenadero de carrotanques de Ecopetrol S.A cuenta con una solución informática para la gestión del mantenimiento, todos los equipos instalados en el tren de medición se encuentran creados allí y cuentan con una rutina de mantenimiento preventivo.

La frecuencia de mantenimiento de los medidores de flujo tipo desplazamiento positivo es de dos meses, para un total de 6 mantenimientos al año por medidor; y para los medidores Coriolis el mantenimiento preventivo es de una vez al año.





La rutina de mantenimiento preventivo incluye: apertura del medidor, limpieza de internos, revisión de la electrónica, engrase del engranaje y cierre del equipo.

La duración de la rutina de mantenimiento por cada medidor de desplazamiento positivo es de 8 horas.

Para realizar el mantenimiento preventivo de los medidores de flujo de desplazamiento positivo y Coriolis, se emplea un técnico electromecánico y un ayudante (personal contratado), actualmente el Llenadero de carrotanques tiene un contrato de operación y mantenimiento con la compañía Consorcio OGS la cual suministra el personal, equipos y herramientas necesarias para la operación y el mantenimiento de los equipos.

En los últimos tres años, se han realizado tres mantenimientos correctivos a los medidores de flujo tipo desplazamiento positivo por año debido a fallas en las piezas móviles, para un total de 9 correctivos en los tres años.

Los medidores de flujo de desplazamiento positivo cuenta con un kit de repuesto, debido al incremento de fallas en los medidores de desplazamiento positivo en los últimos tres años, la empresa ha destinado un inventario de tres kits de repuesto por año.

De acuerdo a lo anterior, Ecopetrol S.A ha decidido iniciar un proyecto que tiene como objeto reemplazar los medidores de flujo tipo desplazamiento positivo a tipo Coriolis, con el objetivo de reducir los costos de mantenimiento preventivo y correctivo, reducir la incertidumbre en la medición de los volúmenes y obtener beneficios económicos asociados.

## **2. ASPECTOS TÉCNICOS DEL PROYECTO**

A continuación se presentan algunos aspectos técnicos que confirman la viabilidad técnica de este proyecto.

La Medición Dinámica se utiliza para certificar los volúmenes de producto que se recibe o se entrega en custodia, ya sea para ser procesado y/o transportado utilizando medidores instalados en línea. Dichos medidores se clasifican según su principio de operación en dos grupos: Volumétricos y Másicos (ver Figura 2).

Es importante tener en cuenta que no todos los principios de operación y sus tecnologías son utilizados y aprobados para Transferencia de Custodia<sup>1</sup>, por lo tanto se desarrollarán sólo los de Transferencia de Custodia, aunque en figuras o diagramas aparezcan tecnologías para control operativo.

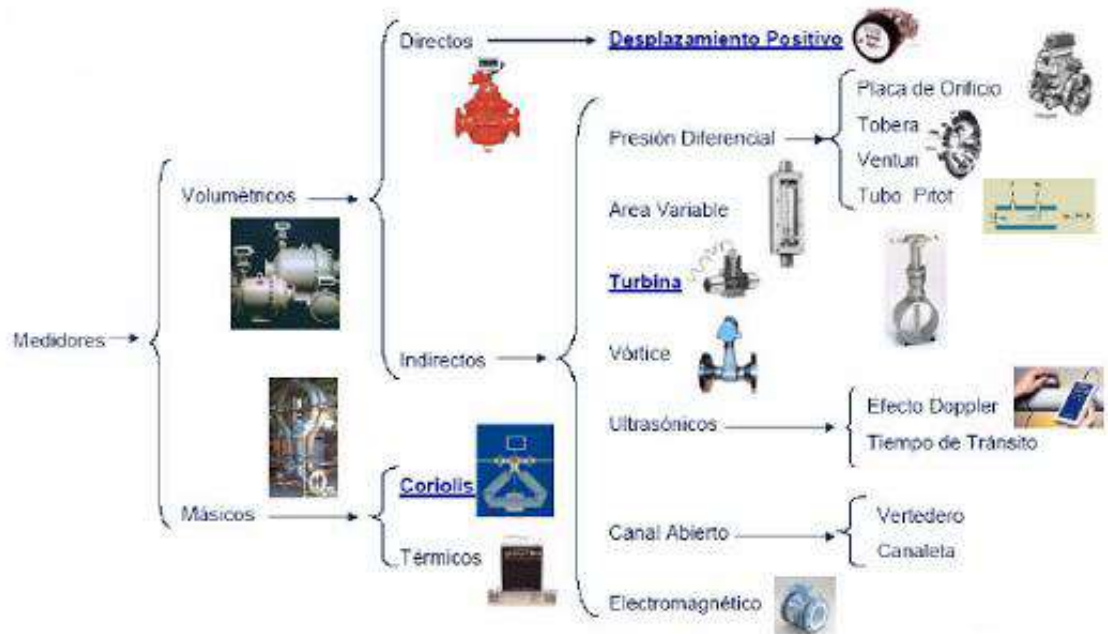


Figura 2. Clasificación de los Medidores para Transferencia de Custodia (Fuente: Ecopetrol)

## 2.1 Medidores de Desplazamiento Positivo

Estos medidores son giratorios y de desplazamiento positivo, la carcasa es labrada a precisión y contiene un rotor que gira sobre rodamientos de bolas, e incluye álabes distribuidos en forma pareja. Al fluir el líquido a través del medidor, el rotor y los álabes (paletas) giran alrededor de una leva<sup>2</sup> fija, haciendo que estos se desplacen hacia fuera (Ver Figura 3).

<sup>1</sup> **Transferencia en custodia:** es el hecho a través del cual se traslada a otra área o a un tercero el deber del cuidado y la conservación del hidrocarburo, derivada de la entrega y recibos de terceros ya sea a título de tenencia o a título de propiedad.

<sup>2</sup> **Leva:** elemento mecánico que está sujeto a un eje por un punto que no es su centro geométrico.



**Figura 3.** Medidor de Desplazamiento Positivo (Fuente: Ecopetrol)

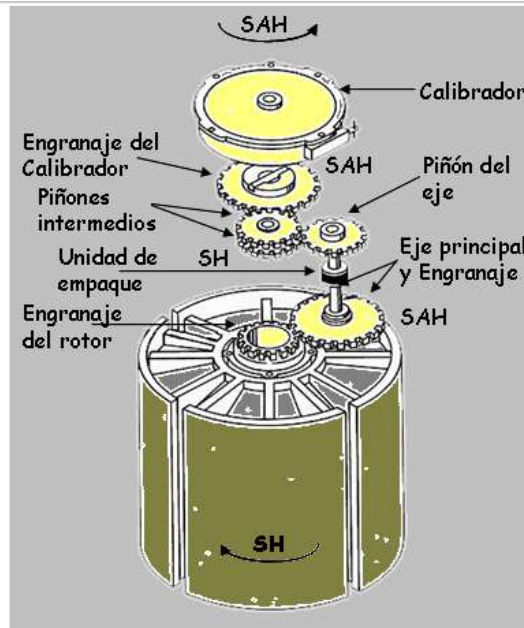
El movimiento sucesivo de los álabes forma una cámara de medición de volumen exacto entre dos de los álabes, el rotor, la carcasa, y las tapas inferior y superior. Cada rotación del rotor produce una serie continua de estas cámaras cerradas.

Ni los álabes, ni el rotor, hacen contacto con las paredes estacionarias de la cámara de medición. Una de las características sobresalientes del medidor es el hecho de que el flujo pasa sin perturbaciones durante la medición. No se desperdicia energía agitando innecesariamente el líquido.

### **2.1.1 Descripción Medidores de desplazamiento positivo**

El Medidor de Desplazamiento consta de las siguientes partes:

**Unidad Interna de Medición:** La unidad de medición también sirve como motor hidráulico, que absorbe la energía que origina el flujo, para producir el torque necesario para vencer la fricción interna, y opera el contador y demás accesorios que requieren fuerza (Ver Figura 4).



**Figura 4.** Unidad interna de Medición de un Medidor de Desplazamiento (Fuente: Ecopetrol)

**Tren de Engranajes:** Consta de tres elementos:

- ✓ Engranaje.
- ✓ Eje principal y unidad de empaque.
- ✓ Calibrador.

**Dispositivos de Protección y Accesorios:**

Consta de Desairadores, Válvulas de control de flujo y Filtros.

## 2.2 Medidores máxicos tipo Coriolis

En este tipo de medidores el fluido pasa a través de un tubo en forma de “U”; existen también otras formas, dependiendo del fabricante (Ver Figura 6). Este tubo vibra a su frecuencia natural, excitado por un campo magnético; la vibración es similar a la de un diapasón, con una amplitud de menos que 1 mm. Los medidores Coriolis miden la rata de flujo máxico y la densidad. El flujo que pasa por unos tubos especialmente diseñados genera una fuerza, igual pero de sentido opuesto en cada mitad, haciéndolos vibrar, y cuya magnitud es proporcional a la rata de flujo máxico. Esta fuerza y las vibraciones son detectadas por unos sensores y convertidas a rata de flujo máxico mediante un transmisor.



**Figura 5.** Medidor Coriolis (Fuente: Ecopetrol)

Si se hace circular un fluido por su interior, durante la mitad del ciclo de vibración del tubo (es decir, cuando se mueve hacia arriba), el fluido entrante empuja el tubo hacia abajo resistiéndose a la vibración, en cambio que el fluido saliente lo hace hacia arriba.

Esta combinación de fuerzas causa que el tubo experimente una torsión. Durante la segunda mitad del ciclo, cuando el tubo se mueve hacia abajo, la torsión resultante tendrá la dirección opuesta. Por consiguiente, en cada codo del tubo se produce una oscilación de igual frecuencia (la frecuencia natural) pero desplazadas en fase. Este desplazamiento de fase es directamente proporcional a la razón de flujo másico del fluido que circula por el interior. Si se colocan sensores electromagnéticos (“pickups”) en cada codo, éstos generan una señal senoidal cuya diferencia de fase ( $\Delta T$ ) es medida por la unidad electrónica del transmisor para transformarla finalmente en una señal 4-20 mA.

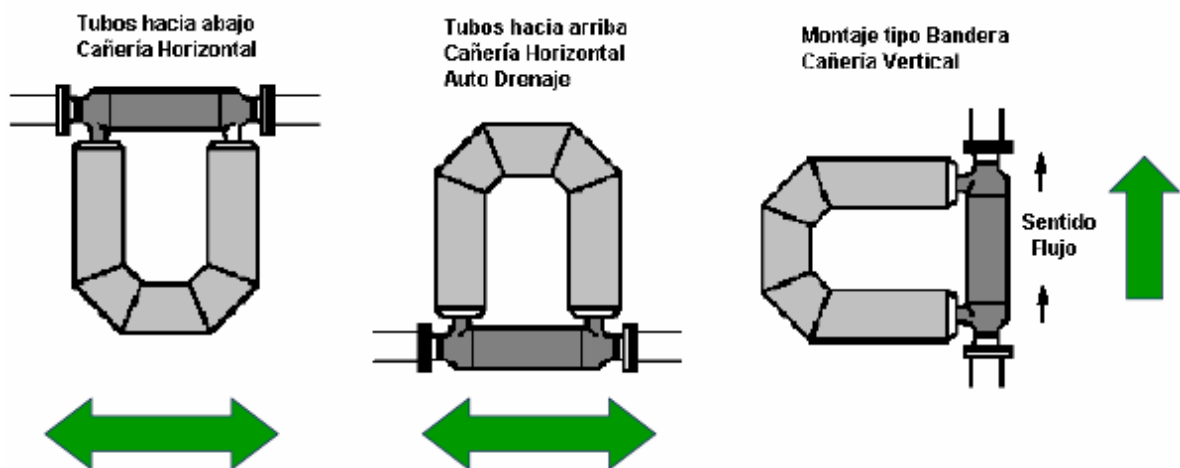


Figura 6. Instalación de un medidor de Coriolis (Fuente: Ecopetrol)

### 2.3 Descripción del sistema actual

Para la entrega de los productos petroquímicos, industriales y refinados a la industria nacional e internacional, Ecopetrol S.A cuenta con (2) dos Llenaderos, el Llenadero principal y el Llenadero de aromáticos.

El Llenadero principal cuenta con 8 islas de llenado<sup>3</sup>, compuestas por 16 bahías<sup>4</sup> y cada una de estas puede tener entre dos y cinco sistemas de medición dinámica<sup>5</sup>, para un total de 31 puntos de transferencia y custodia.

TAG	PRODUCTO	TIPO MEDIDOR	DIAMETRO MEDIDOR (in)
FY 31101	Disolvente No. 1	Coriolis	3
FY 31102	Diésel marino	DP <sup>6</sup>	3

<sup>3</sup> **Isla de Llenado:** Plataforma en la cual se encuentran distribuidos los sistemas de entrega de productos petroquímicos e industriales.

<sup>4</sup> **Bahía:** Vías de acceso de carro tanques que están ubicadas a lado y lado de las islas de llenado.

<sup>5</sup> **Medición dinámica.** Se utiliza para certificar los volúmenes de producto que se recibe o se entrega en custodia ya sea para ser procesado y/o transportado utilizando medidores instalados en línea.

<sup>6</sup> **DP:** Desplazamiento positivo



Evaluación económica para el cambio de los medidores de flujo tipo desplazamiento positivo del Llenadero principal de Barrancabermeja de Ecopetrol S.A

FY 31103	Biodiesel B2	DP	3
FY 31104	Turbo combustible Jet a1	DP	3
FY 31105	Avigas	Coriolis	3
FY 31106	Hexano	DP	3
FY 31107	Disolvente No. 2	DP	3
FY 31108	Gasolina motor	DP	3
FY 31109	Base Nafténica Media	Coriolis	3
FY 31110	Disolvente No. 4	Coriolis	3
FY 31111	Disolvente No. 3	DP	3
FY 31112	Aceite liv. Ciclo	DP	3
FY 31113	Base Nafténica Pesada	Coriolis	3
FY 31114	Destilado Nafténico Pesado	DP	3
FY 31115	Base Parafínica Liviana	Coriolis	3
FY 31116	Base Parafínica Media	DP	3
FY 31117	Combustóleo Pesado	DP	3
FY 31118	Combustóleo Pesado	DP	3
FY 31119	Combustóleo Pesado	DP	6
FY 31120	Cera Blanda Liviana	DP	3
FY 31121	Aceite industrial Naftenico	DP	3
FY 31122	Base Parafínica Bright Stock	DP	3
FY 31123	Cera Blanda Media	DP	3
FY 31124	Cera Blanda Micro	DP	3
FY 31125	Parafina Dura Liviana	Coriolis	3
FY 31126	Parafina Dura Media	Coriolis	3
FY 31127	Parafina micro cristalina	Coriolis	3
FY 31128	Asfalto	Coriolis	3
FY 31129	Asfalto	Coriolis	3
FY 31130	Asfalto	Coriolis	3
FY 31131	Asfalto	Coriolis	3

**Tabla 1.** Productos entregados en el Llenadero Principal

El Llenadero de Aromáticos cuenta con 4 islas de llenado, compuestas por 6 bahías, para un total de 6 puntos de transferencia y custodia.



Figura 7. Llenadero de Aromáticos de Ecopetrol S.A en Barrancabermeja

TAG	PRODUCTO	TIPO MEDIDOR	DIAMETRO MEDIDOR (in)
FY 36001	Xileno	Coriolis	3
FY 36002	Tolueno	Coriolis	3
FY 36003	Ciclohexano	DP	3
FY 36004	Cumeno	DP	3
FY-36007	Benceno	DP	3
FY 36008	Orthoxileno	DP	3

Tabla 2. Productos entregados en el Llenadero de Aromáticos

**Nota:** Actualmente se tienen instalados 22 medidores de flujo tipo desplazamiento positivo y 15 medidores de flujo tipo coriolis.

Sin embargo algunos puntos de transferencia no se usan debido a que el producto es entregado por otro sistema de transporte o no se volvió a comercializar, entre los medidores que no se están utilizando están:

TAGS	PRODUCTO	TIPO MEDIDOR	DIAMETRO MEDIDOR (in)
FY 31102	Diésel marino	DP	3
FY 31108	Gasolina motor	DP	3
FY 31120	Cera Blanda Liviana	DP	3
FY 31121	Aceite Industrial Nafténico	DP	3





FY 31123	Cera Blanda Media	DP	3
FY 31124	Cera Blanda Micro	DP	3

**Tabla 3.** Productos petroquímicos e industriales que no se entregan actualmente con su respectivo medidor de flujo

El proyecto tiene como objeto reemplazar los siguientes medidores de flujo tipo desplazamiento positivo a tipo Coriolis, en total son 13:

TAG	PRODUCTO	TIPO MEDIDOR	DIAMETRO MEDIDOR (in)
FY 31104	Turbo combustible Jet a1	DP	3
FY 31106	Hexano	DP	3
FY 31107	Disolvente No. 2	DP	3
FY 31111	Disolvente No. 3	DP	3
FY 31114	Destilado Naftenico Pesado	DP	3
FY 31116	Base Parafínica Media	DP	3
FY 31117	Combustóleo Pesado	DP	3
FY 31118	Combustóleo Pesado	DP	3
FY 31119	Combustóleo Pesado	DP	6
FY 31122	Base Parafínica Bright Stock	DP	3
FY 36003	Ciclohexano	DP	3
FY 36004	Cumeno	DP	3
FY 36008	Orthoxileno	DP	3

**Tabla 4.** Productos petroquímicos e industriales a los cuales se les va a cambiar el medidor de flujo

Cada punto de transferencia o tren de medición está compuesto por varios equipos encargados de la medición de cantidad y control del cargue.

Entre los equipos que componen el tren de medición instalados en el Llenadero principal están:

- **Válvula de control de flujo:** dispositivo mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos, mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial o total el cargue del producto.

- **Medidor rotatorio (desplazamiento positivo):** Dispositivo que produce una salida de pulsos a partir de rotación mecánica producida por la corriente del fluido. La velocidad de rotación es proporcional a la velocidad del fluido.
- **Transmisor de presión y de temperatura:** Estos equipos son los encargados de medir la temperatura que tiene el producto y la presión con la que está siendo entregado al carrotanque.
- **Brazo de llenado:** Es un conjunto de válvulas y tubería móvil, el cual es colocado dentro del manhole del carrotanque para hacer la entrega del producto dentro de la cisterna.
- **Indicador de presión y de temperatura:** Son manómetros de presión y temperatura los cuales dan una medida de presión y temperatura puntual, y ayudan al operador a realizar el control del cargue.
- **Filtro:** Equipo destinado a remover las impurezas del producto mediante una fina barrera física (malla).
- **Desairador:** Dispositivo encargado de retirar los gases presentes en la línea de transferencia.
- **Válvula de doble sello y purga:** Esta válvula se utiliza cuando se va a realizar la calibración al medidor de flujo, su función es no permitir el paso de fluido hacia el brazo de llenado si no que lo direcciona hacia el probador compacto<sup>7</sup>.
- **Computador de flujo:** Es una unidad de procesamiento aritmético con memoria asociada que acepta señales convertidas eléctricamente, que representan las señales de entrada de los sistemas de medición de líquido o gases y desarrolla cálculos con el propósito de proveer la tasa de flujo e información de la cantidad total transferida.
- **Sensor de sobrellenado:** Dispositivo que detecta máximo nivel de fluido que debe tener el carrotanque, este dispositivo está conectado al computador de flujo y detiene el cargue cuando el vehículo alcanza el máximo nivel.

---

<sup>7</sup> **Probador Compacto:** Equipo de calibración que permite calcular un factor de medición correspondiente a un medidor, para las condiciones de operación establecidas en el momento de la prueba.



**Figura 8.** Ejemplo de tren de medición actual en Llenadero de Ecopetrol en Barrancabermeja

## 2.4 Tecnología actual

Actualmente el Llenadero de carrotanques tiene instalados 22 medidores de flujo de desplazamiento positivo, Modelo LE3-S1 de Marca FMC Technologies Smith Meter. ANSI 150 por 3" y ANSI 150 por 6.



**Figura 9.** Medidor de Desplazamiento Positivo (Fuente: Smith meter)

### 2.4.1 Especificaciones técnicas de medidores actuales

A continuación se describen las especificaciones técnicas de los medidores de desplazamiento positivo que están instalados en el Llenadero principal y de aromáticos, modelo LE3 de marca Smith meter.

Meter Model	Gas Eliminator Model	Maximum Flow Rate Qmax (L/min)	Minimum Flow Rate Qmin (L/min)	Mínimum Delivery
LE3	S3-1-ST-40-R2	1900	190	500

**Tabla 5.** Especificaciones técnicas de los medidores de desplazamiento positivo

El campo de la operación del medidor modelo LE3 del sistema de medición se determina por las siguientes características<sup>8</sup>:

Variable	Rango
Minimum measured quantity	Vmin 500 L/min
Maximum flow rate	Qmax 1900 L/min
Minimum flow rate	Qmin 190 L/min
Maximum pressure of the liquid	Pmax 1034 kPa
Minimum pressure of the liquid	Pmin 50 kPa
Nature of liquids to be measured e.g	petrol, distillate
Kinematic viscosity range	at 20°C 0.4 to 20 mPa.s
Maximum temperature of the liquid	Tmax 50°C
Minimum temperature of the liquid	Tmin -10°C
Maximum ambient temperature	55°C
Mínimum ambient temperature	-25°C
Accuracy class	0.5

**Tabla 6.** Características de operación del medidor modelo LE3

### 2.4.2 Máximo error permitido

Linealidad	Unidades	Viscosidad (mPa.s)					
		0.5	1	5	20	100	400
+/-0.15%	USGPM	80	50	20	5	1	0.25

<sup>8</sup> Tomado de:

<http://www.measurement.gov.au/Publications/CertificateOfApproval/Flowmeters/BulkFlowmeters/Documents/5-6B-55B.pdf>



	L/min	303	190	75	19	4	1
+/-0.25%	USGPM	50	35	15	4	0.8	0.2
	L/min	190	132	57	15	3	0.8
+/-0.50%	USGPM	40	25	10	2.4	0.5	0.13
	L/min	150	95	38	10	2	0.5

**USGPM:** United States gallon per minute

**Tabla 7.** Máximo error permitido según la viscosidad

## 2.5 Evaluación de las alternativas

Se evaluaron dos (2) alternativas con el fin de analizar el logro de los objetivos propuestos y cumplir 100% con la entrega de los productos que están siendo entregados por los sistemas de medición, que tienen medidores de desplazamiento positivo, en los volúmenes requeridos por los clientes. A continuación se describe cada alternativa.

### 2.5.1 Alternativa 1

*Sistema de medición actual con medidores de flujo tipo desplazamiento positivo*

Esta alternativa se basa en no hacer ningún cambio, presentando la siguiente situación:

- ✓ Incremento de fallas mecánicas en los medidores de desplazamiento positivo por desgaste de sus internos, debido a que estos equipos llevan en funcionamiento más de 20 años.
- ✓ Fugas o escapes de producto por fallas en la integridad mecánica del medidor de flujo, afectando la seguridad de las personas y el medio ambiente, debido a que estos equipos llevan en funcionamiento más de 20 años y no han sido protegidos contra la corrosión interna.
- ✓ Incremento en los costos de mantenimiento debido a la compra de kits de repuestos y mano de obra para realizar los mantenimientos preventivos y correctivos, además del costo del inventario de repuestos para la reparación oportuna del medidor.
- ✓ El mercado de los disolventes y aromáticos se encuentra en masa y actualmente se está entregando en volumen, los clientes tiene que hacer la conversión de unidades.

- ✓ Los medidores de desplazamiento positivo instalados actualmente tienen una linealidad de 0.25% (error máximo) y los medidores máscos a instalar tienen una linealidad de 0.10% en masa y 0.15% en volumen ocasionando una mayor incertidumbre en la medición.

### 2.5.2 Alternativa 2

*Sistema de medición cambiando los medidores de flujo de desplazamiento positivo por medidores de flujo máscos.*

Esta alternativa se seleccionó pues permitirá obtener los objetivos propuestos y subsanar las falencias existentes.

Entre los objetivos propuestos están:

- ✓ Aumentar la confiabilidad y la seguridad en el proceso de medición y entregas de productos.
- ✓ Tener un Llenadero que cumpla con las normas de seguridad industrial para cumplir con el despacho de los productos con la cantidad solicitada.
- ✓ Entrega de los productos disolventes aromáticos y alifáticos en masa con el fin de cubrir las necesidades del mercado.
- ✓ Disminuir los costos de mantenimiento preventivo y correctivo.
- ✓ Disminuir los costos de inventario de repuestos para la reparación oportuna del punto de transferencias con desplazamiento positivo.
- ✓ Mejorar la exactitud en la medición de cantidad en las entregas de los productos petroquímicos, industriales y refinados.

El alcance en forma general es:

1. Desinstalación y retiro de (13) medidores de desplazamiento positivo marca FMC Technologies Smith meter modelo LE3-S1.
2. Suministro e instalación de (13) medidores tipo coriolis marca Endress Hausser modelo Promass F84 con su respectiva electrónica.
3. Configuración e integración de los medidores de flujo tipo coriolis a los computadores de flujo DL 8000.
4. Capacitación del personal de operaciones y mantenimiento, por parte de la compañía que suministrara los medidores coriolis.
5. Pruebas y puesta en marcha de los nuevos medidores de flujo tipo coriolis.

## 2.6 Descripción del sistema de estudio

Con el cambio de los medidores de flujo tipo desplazamiento positivo a medidor Coriolis se reducirían los mantenimientos preventivos a uno por año, ya que estos medidores no tienen partes móviles.

No se tendría inventario de repuestos, ya que los medidores de flujo Coriolis no tienen partes móviles.

En los últimos tres años se ha tenido un mantenimiento correctivo cada dos años por falla en los medidores Coriolis, estos han presentado fallas en la electrónica y en la RTD<sup>9</sup> interna.

## 2.7 Alineación con la Estrategia de Negocio de Ecopetrol

- **Maximizar de manera sostenida el valor para los accionistas:** Con la ejecución del proyecto se permite realizar ahorros por reducción de los mantenimientos preventivos y correctivos de los medidores de flujo de desplazamiento positivo instalados en el Llenadero de carrotanques. Además de compra de repuestos e inventarios.
- **Ser la mejor opción de suministro de nuestros productos y servicios:** Mejoramiento del índice de cumplimiento de entregas a cliente externo en su componente de Llenadero por Carrotanque reduciendo las interrupciones por fallas en los medidores de flujo de desplazamiento positivo.
- **Asegurar el conocimiento, la información y la tecnología requerida:** Contar con medidores de flujo de última tecnología para lograr mayor exactitud en la medición, confiabilidad y oportunidad en cada una de las entregas de productos.

---

<sup>9</sup> **RTD (Resistance Temperature Detector):** dispositivo detector de temperatura que utiliza el principio de la resistencia. Esta varía su valor dependiendo de la temperatura.

### 3 EVALUACIÓN DEL PROYECTO

#### 3.1 FACTIBILIDAD COMERCIAL

##### 3.1.1 Producto

Algunos costos del medidor de flujo requerido son:

Marca	Costo
Endress Hauser	\$70.576.534
Micromotion	\$ 59.284.288,9
Invensys (Foxboro)	\$ 53.072.712

**Tabla 8.** Costos de medidores de flujo en el mercado

Para el cambio de los medidores de flujo, se escogió la marca Endress+Hauser, pues es la que se ha venido utilizando en el Llenadero, se conoce el buen desempeño de sus equipos, su calidad y se tiene conocimiento sobre dónde se pueden adquirir los repuestos. Además hace parte de las marcas que Ecopetrol tiene aceptadas como proveedores de equipos.

El precio cotizado por el momento de los medidores de flujo Coriolis de 3'', Proline Promass 84F, es de COP \$70.576.534.

##### - Tecnología a usar

Ecopetrol S.A a través del ECP-VIN-G-GEN-MT-002 **Manual de marcas aceptadas** establece las reglas, procedimientos y las condiciones, para el uso de marcas aceptadas, dirigidos a la adquisición de bienes a través de los proyectos de infraestructura, de acuerdo a las normas y estándares definidos por el gobierno técnico corporativo.

Por tal razón los medidores de flujo tipo Coriolis se deben adquirir a las empresas de las marcas aceptadas por Ecopetrol S.A, entre las cuales se tienen:

- ✓ Endress Hauser
- ✓ Danfoss
- ✓ Micro motion (Emerson Process)
- ✓ Invensys (Foxboro)
- ✓ Krohne
- ✓ Yokogawa



El Llenadero de carrotanques de la Vicepresidencia de Suministro y Mercadeo de Ecopetrol S.A, toma como marca los medidores de flujo **Endress Hauser**, debido a que los demás medidores instalados tipo Coriolis son de esta marca y el negocio decidió seguir con esta marca por el buen desempeño que ha tenido. El modelo a instalar es el Proline Promass 84F de marca Endress Hauser.



**Figura 10.** Proline Promass 84F (Endress Hauser)

Actualmente el Llenadero tiene instalados 37 computadores de flujo de marca Emerson modelo DL-8000, para el control de cargue y liquidación de los productos entregados por carrotanque. Este computador también conocido como preseteador, acepta entradas volumétricas y máscas de medidores tipo desplazamiento positivo, turbina, Coriolis, ultrasonidos, u otros dispositivos de medición de flujo.

- **Especificaciones técnicas del medidor Coriolis**

A continuación se describen las especificaciones técnicas de los medidores tipo Coriolis modelo Promass 84F de marca Endress Hauser, que se instalarán en reemplazo de los medidores de flujo tipo desplazamiento positivo instalados en el Llenadero principal y de aromáticos.

- Rangos de medición de flujo másico para líquidos (Promass F, M)

DN	Range for mass flow (liquids) Qmin [kg/min]...Qmax [kg/min]	Smallest measured quantity [Kg]
----	--	---------------------------------



8	8	0.5
15	5...100	2
25	15...300	5
40	35...700	20
50	50...1000	50
<b>80</b>	<b>150...3000</b>	<b>100</b>
100 (only Promass F)	200...4500	200
150 (only Promass F)	350...12000	500
250 (only Promass F)	1500...35000	1000

**Tabla 9.** Rangos de medición de flujo másico para líquidos

- Máximo error permitido medidor Coriolis

Los medidores Coriolis tienen los siguientes valores máximos de error permitido:

Mass flow (liquid)	Mass flow (gas)	Volume flow (liquid)	Density (liquid)	Temperature
$\pm 0.10\% \pm$ [(zero point stability / measured value) x 100] % o.r.	Promass F: $\pm 0.35\% \pm$ [(zero point stability / measured value) x 100] % o.r. Promass M: $\pm 0.50\% \pm$ [(zero point stability / measured value) x 100] % o.r.	Promass F: $\pm 0.15\% \pm$ [(zero point stability / measured value) x 100] % o.r. Promass M: $\pm 0.25\% \pm$ [(zero point stability / measured value) x 100] % o.r.	Standard calibration (1g/cc = 1 kg/l): Promass F $\pm 0.01$ g/cc Promass M $\pm 0.02$ g/cc	Promass F, M: $\pm 0.5$ °C $\pm 0.005 \times T$ (T = fluid temperature in °C)

**Tabla 10.** Máximos errores permitidos medidor Coriolis

- Repetibilidad medidor Coriolis

Mass flow (liquid)	Mass flow (gas)	Volume flow (liquid)	Density measurement (liquid)	Temperature measurement
$\pm 0.05\% \pm$ [1/2 x (Zero point	$\pm 0.25\% \pm$ [1/2 x (Zero point	Promass F: $\pm 0.05\% \pm$ [1/2 x (Zero	Promass F: $\pm 0.00025$ g/cc (1	$\pm 0.25$ °C $\pm 0.0025 \times T$ (T =



stability / measured value) x 100] % o.r.	stability / measured value) x 100] % o.r.	point stability / measured value) x 100] % o.r. Promass M: ±0.10% ± [1/2 x (Zero point stability / measured value) x 100] % o.r.	g/cc = 1 kg/l) Promass M: ±0.0005 g/cc	fluid temperature in °C)
--	--	---	--	--------------------------------

**Tabla 11.** Máximos valores de repetibilidad del medidor Coriolis

### 3.1.2 Mercado

En Colombia hay una empresa que está autorizada para distribuir productos Endress+Hauser<sup>10</sup>:

Colsein Ltda.  
Parque Industrial Gran Sabana  
Unidad 32  
Vereda Tibito Lote M Tocancipá  
Cundinamarca

A través de esta empresa suiza, Ecopetrol realiza la compra de los medidores de flujo que son productos importados.

### 3.2 FACTIBILIDAD AMBIENTAL

El proyecto no afecta los componentes ambientales suelo, aire, agua de la ciudad, así como tampoco tiene impacto negativo en los ecosistemas que rodean el área donde se ejecutará el proyecto, ya que las actividades de cambio propuesto se ejecutarán dentro de las islas de Llenado en cada una de las bahías del Llenadero de carrotanques ubicado en la zona urbana de Barrancabermeja. Además no existen ningún tipo de zona verde, humedal o bosque cerca o en el área de ejecución del proyecto que pudiera ser afectado por las labores de desmantelamiento e instalación de los nuevos medidores de flujo tipo Coriolis.

<sup>10</sup> Tomado de: "Endress Hauser in Colombia". Disponible en:  
<http://www.ii.endress.com/eh/sc/europe/io/en/home.nsf/#page/~About-us-locations-south-america-colombia>

En vista de lo anterior se puede proceder a analizar la ejecución del proyecto por sé la cual tiene dos etapas con diferentes características, instalación y operación.

### 3.2.1 *Instalación*

La labor de cambio de estos equipos no tiene un impacto negativo por emisiones atmosféricas, vertimientos a cuerpos de agua, ruido, olores ofensivos, pues durante la ejecución no hay riesgos de derrames de producto, las líneas de entrega estarán limpias.

El impacto al ambiente se da entonces en cuanto a producción de residuos sólidos. Los medidores de flujo por haber cumplido su vida útil se dispondrán como chatarra, así como la tubería y otros accesorios que resulten del cambio de equipo. En Ecopetrol existen programas de recolección de este tipo de materiales y se entregan a empresas que disponen adecuadamente la chatarra.

### 3.2.2 *Puesta en funcionamiento*

Una vez los medidores se hayan cambiado, y se proceda a realizar los mantenimientos preventivos de rutina, se ha identificado que se producen residuos sólidos (tela con hidrocarburo) y líquidos (kerosene). Se debe emplear kerosene para la limpieza del medidor y se utilizan trapos (tela) que quedarán con hidrocarburo y con kerosene; además queda aproximadamente un galón de kerosene “sucio”.

La disposición que se da de la tela impregnada de hidrocarburo, es recolectarla toda en canecas y luego una empresa de servicios ambientales, la recibe y la dispone correctamente. Se registra el peso de los residuos entregados.

En cuanto al kerosene residual, se almacena en canecas y cuando se completa un volumen significativo, se transporta en camiones de vacío a las piscinas de tratamiento que dispone la refinería para aguas con hidrocarburo. Allí se separa el agua del hidrocarburo y se hace el tratamiento respectivo.

En cuanto a Gestión de permisos ambientales, no se requerirá de documentación adicional, pues es una labor de mantenimiento necesaria, para garantizar la entrega oportuna de los productos de la refinería. No se debe solicitar una licencia ambiental, plantearse un Plan de Manejo Ambiental, solicitar permisos de emisiones atmosféricas ni vertimientos, ni tampoco solicitar concesión de aguas superficiales ni subterráneas.



Lo que se espera es que los residuos sólidos que se generen por el proyecto (los medidores de flujo), se dispongan adecuadamente como chatarra.

En cuanto a los residuos que se producen por el mantenimiento de los equipos, son el mismo tipo de residuos que ya se vienen produciendo en el Llenadero de carrotanques. Entonces se debe continuar con la adecuada disposición de los mismos como ya se tiene establecido. Una ventaja será que el mantenimiento preventivo que se debe realizar posterior a la instalación de los nuevos medidores, no requerirá tela para la limpieza de piezas mecánicas, pues estos medidores no las tienen. Solo se requerirá el uso de kerosene.

Respecto a beneficios tributarios y por tratarse sólo del cambio de equipos menores, no se identifica ninguno que aplique. Con la ejecución del proyecto, no se invertirá en el medio ambiente, ni se generarán mayores beneficios ambientales medibles y verificables, por lo que no se podrá acceder a dichos beneficios, ya que se sale del alcance del proyecto.

### **3.3 FACTIBILIDAD FINANCIERA Y ECONÓMICA**

La evaluación financiera del proyecto está basada en la teoría de la evaluación financiera de proyectos de inversión, teniendo en cuenta el valor del dinero en el tiempo, calculando el VPN con, sin proyecto e incremental, y realizando el análisis de sensibilidades correspondiente; con los resultados de estas herramientas se tomó la decisión sobre la viabilidad del proyecto.

La metodología que se siguió fue:

- Identificar los costos actuales asociados al proceso en estudio.
- Determinar la inversión que involucra el desarrollo del proyecto.
- Realizar los flujos de caja para los casos con, sin proyecto e incremental.
- Verificar el valor de VPN y TIR.
- Realizar el análisis de sensibilidades.
- Concluir sobre la viabilidad del proyecto.

Se debe tener en cuenta que todas las cifras presentadas están en pesos colombianos (COP).

La línea base sin proyecto no es estática; se presentan incrementos en la cantidad de medidores que presentan fallas a medida que pasa el tiempo. Pues si no se hiciera el proyecto, se espera que cada vez fallen más equipos pues ya cumplieron su vida útil. Es decir, se tiene en cuenta que si por ejemplo en el año



2013 se realizan tres mantenimientos correctivos, en el año 2016 serán cuatro, en el año 2019 cinco y así sucesivamente teniendo incremento en un medidor más que falla cada tres años.

### **3.1 Hipótesis**

Las hipótesis consideradas para el análisis financiero del proyecto son:

- La instalación de los nuevos medidores de flujo se realizará durante 1,5 meses.
- El tiempo de evaluación del proyecto es de 10 años (2014-2024).
- La tasa con que se evaluará el proyecto es 11%, que es la dispuesta para evaluación de proyectos en Ecopetrol.
- Los medidores de flujo se depreciarán a diez años en línea recta.

### **3.2 Beneficios intangibles del proyecto**

- Los clientes estarán más satisfechos con el producto que reciben, porque tendrán certeza de la cantidad que compran en términos másicos. A diferencia de la situación actual, donde reciben la cantidad de producto en términos volumétricos, y para su distribución a minoristas, deben usar tablas de conversión que aproximan la medición volumétrica a másica, con el respectivo error asociado.
- Al instalar medidores de flujo con un error de precisión menor (se pasará de 0,25% actual a 0,15%), la empresa tendrá mayor certeza sobre la cantidad de producto entregando al cliente, reduciendo la probabilidad de entregar producto extra y no facturarlos.
- Se calculan las posibles pérdidas en producto de acuerdo a los datos del año 2012, por efecto del error del 0,25% a comparación del 0,15% de error máximo que ofrece la tecnología actual. Este aspecto se consideró intangible porque es un rubro que no se contabilizó como pérdida en los años anteriores al proyecto.

### **3.3 Costos asociados al proceso**

Los costos del proceso de entrega de producto en el Llenadero de Ecopetrol en Barrancabermeja, asociados a los diferentes trenes de medición son: costo de mantenimiento preventivo y correctivo, herramientas y costos de repuestos. A continuación se presentan estos costos para los casos con y sin proyecto.



### 3.3.1 Costos sin proyecto

- Costos de mantenimiento preventivo
  - Técnico electromecánico
  - Ayudante electromecánico

Se realizan 6 mantenimientos preventivos por año en cada medidor de flujo y cada mantenimiento toma 8 horas.
  
- Costo de mantenimiento correctivo
  - Técnico electromecánico
  - Ayudante electromecánico

Se debe realizar tres veces al año (es decir de los 16 medidores, 3 presentan problemas que no se predijeron), cada uno de 8 horas.
  
- Herramientas  
Requeridas en las labores de mantenimiento. Estas actividades se subcontratan, pero las herramientas no se alquilan sino que son propias del grupo de mantenimiento de la empresa.
  
- Costo de repuestos
  - Kit de repuestos: se usan 3 por año
  
- Pérdidas por medición  
A partir de los datos de los volúmenes de productos vendidos en el año 2012, se calculó el producto extra que se pudo haber entregado (y no facturado), teniendo en cuenta la diferencia de 0,1% entre los errores de los medidores actuales y los que se esperan instalar (0,25% y 0,15% respectivamente).

FQ	PRODUCTO	VALOR GALÓN (COP\$)	VOLUMEN DE VENTA TOTAL AÑO (Galones)	VOLUMEN DE VENTA TOTAL AÑO (Barriles)	ERROR EN LA MEDIDA (%)	POSIBLE ERROR EN EL VOLUMEN AÑO (Galones)	VALOR DEL POSIBLE ERROR EN LA MEDIDA (COP\$)
FQ-31104	TURBO JET A1	\$ 6.800,00	3.242.966,59	77.213,49	0,10%	3.242,97	\$ 22.052.172,78
FQ-31106	Hexano	\$ 5.553,66	609.439,01	14.510,45	0,10%	609,44	\$ 3.384.617,05
FQ-31107	Disolvente No. 2	\$ 5.584,00	387.763,79	9.232,47	0,10%	387,76	\$ 2.165.273,02
FQ-31111	Disolvente No. 3	\$ 5.663,05	906.093,61	21.573,66	0,10%	906,09	\$ 5.131.253,44
FQ-31114	Dest. Naft. Pesado	\$ 6.999,15	519.920,47	12.379,06	0,10%	519,92	\$ 3.639.001,33
FQ-31115	Base Paraf. Liviana	\$ 6.665,59	4.404.837,27	104.877,08	0,10%	4.404,84	\$ 29.360.839,27
FQ-31117	Combustóleo Pesado	\$ 1.768,98	14.179.229	337.600,69	0,10%	14.179,23	\$ 25.082.786,34
FQ-31118	Combustóleo Pesado	\$ 1.768,98	14.179.229	337.600,69	0,10%	14.179,23	\$ 25.082.786,34
FQ-31119	Combustóleo Pesado	\$ 1.768,98	14.179.229	337.600,69	0,10%	14.179,23	\$ 25.082.786,34
FQ-31122	Base Paraf. B. Stock	\$ 7.205,17	1.346.892,64	32.068,87	0,10%	1.346,89	\$ 9.704.590,44
FY 36003	Ciclohexano	\$ 6.726,74	2.942.898,07	70.069,00	0,10%	2.942,90	\$ 19.796.110,18
FY 36004	Cumeno	\$ 6.974,25	2.657.435,75	63.272,28	0,10%	2.657,44	\$ 18.533.621,30
FY 36008	Orthoxileno	\$ 8.431,30	2.062.252,83	49.101,26	0,10%	2.062,25	\$ 17.387.472,30
<b>TOTAL AÑO 2012</b>			<b>61.618.188</b>	<b>1.467.100</b>		<b>61.618</b>	<b>\$ 206.403.310</b>

**Tabla 12.** Cálculo de pérdida por diferencia entre el error máximo de los medidores actuales y los nuevos



### 3.3.2 Costos con proyecto

- Costos de mantenimiento preventivo
  - o Técnico electromecánico
  - o Ayudante electromecánico

Se realizan un mantenimiento preventivo por año en cada medidor de flujo y cada mantenimiento toma 8 horas.
- Costo de mantenimiento correctivo
  - o Técnico electromecánico
  - o Ayudante electromecánico

Se debe realizar una vez cada dos años, es decir que un medidor de los 13, presenta falla no esperada cada dos años; ese mantenimiento toma 8 horas.
- Herramientas
 

Requeridas en las labores de mantenimiento. Estas actividades se subcontratan, pero las herramientas no se alquilan sino que son propias del grupo de mantenimiento de la empresa.
- Costo de repuestos
 

No se tendría este costo porque los medidores nuevos no tienen partes mecánicas que se deban cambiar.

Las herramientas requeridas para el mantenimiento de los medidores de flujo que se instalen (tanto preventivo como correctivo) son:

CANT.	HERRAMIENTA	VIDA ÚTIL (AÑOS)	V. UNITARIO	V. TOTAL
2	Llave mixta de 7/8''	3	\$ 26.650	\$ 53.300
1	Llaves Allen de 5/16''	3	\$ 7.000	\$ 7.000
1	Destornillador de pala	3	\$ 13.400	\$ 13.400
1	Multímetro digital Kioritsu Ref. 2000	3	\$ 340.517	\$ 340.517
			<b>TOTAL</b>	<b>\$414.217</b>

**Tabla 13.** Herramientas para mantenimiento

### 3.3.3 Inversión

La inversión principal son los medidores de flujo, pero además se tiene en cuenta:

- Materiales: medidores de flujo, cable de comunicaciones, pruebas SAT (configuración), accesorios para montaje de instrumentación, eléctrico y mecánico.
- Montaje:
  - o Mecánico: desmantelamiento de los medidores actuales, instalación de nuevos medidores, ensayos y radiografías.
  - o Eléctrico
  - o Instrumentación: montaje de equipos de control.
  - o Programación.
- Interventoría
- AIU
  - o Administrativo: 10%
  - o Imprevistos: 6%
  - o Utilidad: 5%
- IVA

A continuación se presentan los costos presupuestados:

<b>Total materiales</b>		\$ 960.453.303
<b>Total montaje</b>		\$ 26.439.885
<b>Interventoria</b>		\$ 25.193.633
<b>Costo total propuesta</b>		<b>\$ 1.012.086.821</b>
<b>Total costo administrativo</b>	<b>10%</b>	\$ 101.208.682
<b>Valor de imprevistos (%)</b>	<b>6%</b>	\$ 60.725.209
<b>Utilidad</b>	<b>5%</b>	\$ 50.604.341
<b>VALOR OFERTA</b>		<b>\$ 1.224.625.053</b>
<b>TOTAL IVA</b>		<b>\$ 195.940.008</b>
<b>VALOR OFERTA + IVA</b>		<b>\$ 1.420.565.061</b>

**Tabla 14.** Presupuesto total del proyecto

Los costos específicos de los materiales presentados en la Tabla 14, con un total de \$960.453.303 son:



Evaluación económica para el cambio de los medidores de flujo tipo desplazamiento positivo del Llenadero principal de Barrancabermeja de Ecopetrol S.A

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
1	Medidor masico CORIOLIS 3"	13	un	\$ 70.576.534	\$ 917.494.942
2	Cable de comunicaciones	400	m	\$ 17.250	\$ 6.900.000
3	Pruebas SAT	13	un	\$ 1.500.000	\$ 19.500.000
4	Accesorios montaje instrumentación	1	gl	\$ 6.917.958	\$ 6.917.958
5	Accesorios montaje Eléctrico	1	gl	\$ 5.640.403	\$ 5.640.403
6	Accesorios montaje Mecanico	1	gl	\$ 4.000.000	\$ 4.000.000
<b>VALOR TOTAL MATERIALES</b>					<b>\$960.453.303</b>

**Tabla 15.** Especificación de materiales empleados en el proyecto

Los costos de montaje que suman \$26.439.885 como se presentó en la Tabla 14, específicamente se refieren a:

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	RENDIMIENTO HORAS/UNIDAD	TOTAL HORAS	HORAS HERRAM.	COSTO UNITARIO						COSTO TOTAL		V. TOTAL
							MANO DE OBRA			HERRAMIENTAS			MANO DE OBRA	HERRAMIENTAS	
							REF.	CODIGO	COSTO	REF.	CODIGO	COSTO			
<b>MONTAJE DE MECÁNICA</b>															
1.1	Desmantelamiento de medidor existente	und	13	4	52	52	1	1T+1A	\$ 40.146	A	HM+D+P+K	\$ 30.517	\$ 2.087.603	\$ 1.586.907	\$ 3.674.510
	Instalación de Medidor tipo CORIOLIS 3"	und	13	4	52	52	2	1SO+1T+1A	\$ 62.876	B	HM+D+M	\$ 31.105	\$ 3.269.552	\$ 1.617.449	\$ 4.887.001
	Ensayos y Radiografías	Gl	13	1	13	13									\$ 7.125.000
	<b>Subtotal Montaje Mecánico</b>														<b>\$ 15.686.510</b>
<b>MONTAJE ELÉCTRICO</b>															
1.2	Subtotal Montaje Eléctrico	und	13	5	65	65	4	1E+A	\$ 41.228	C	HE	\$ 11.747	\$ 2.679.842	763.549	\$ 3.443.391
<b>MONTAJE INSTRUMENTACION</b>															
1.3	Subtotal Montaje de equipos de control	und	13	8	104	104	3	1I+1A	\$ 41.228	D	HE+C	\$ 12.400	\$ 4.287.748	\$ 1.289.549	\$ 5.577.296,33
<b>PROGRAMACIÓN</b>															
1.4	Subtotal programación	und	13	5	65	65	5	IC	\$ 26.004	E	C	\$ 653	\$ 1.690.268	\$ 42.419	\$ 1.732.687,49
	<b>Total horas</b>				<b>351</b>										
	<b>Total días</b>				<b>44</b>										
	<b>Total meses</b>				<b>1,5</b>										
												<b>TOTAL MONTAJE SISTEMA MEDICION</b>		<b>\$ 26.439.885</b>	

**Tabla 16.** Costos de montaje de los nuevos medidores de flujo

Los costos de interventoría, \$25.193.633 como se presentó en la Tabla 14, específicamente se refieren a:

	COSTO/MES	COSTO/DÍA	FACTOR PRESTACIONAL	SUBTOTAL	COSTO/HORA	HORA PROYECTO	CANT.	TOTAL 1,5 MESES
Interventor administrativo	\$ 4.692.480	\$ 156.416	1,75	\$ 8.211.840	\$ 34.216	351	1,00	\$ 12.382.120
Ing. Residente de obra	\$ 4.692.480	\$ 156.416	1,75	\$ 8.211.840	\$ 34.216	351	1,00	\$ 12.382.120
Computador para interv. Admon					\$ 593	351	1,00	\$ 214.696
Computador para ing. Residente de obra					\$ 593	351	1,00	\$ 214.696
Subtotal interventoría								\$ 25.193.633

**Tabla 17.** Costos de interventoría del proyecto

### 3.4 Flujo de caja sin proyecto

El flujo de caja actual del Llenadero de Ecopetrol en Barrancabermeja es:

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costos de mantenimiento preventivo	\$ (56.927.787)	\$ (58.125.372)	\$ (59.811.008)	\$ (62.055.280)	\$ (63.330.347)	\$ (65.166.928)	\$ (67.581.304)	\$ (69.001.415)	\$ (71.002.456)	\$ (73.601.275)	\$ (75.180.311)
Costos de mantenimiento correctivo	\$ (2.170.477)	\$ (2.235.591)	\$ (2.594.270)	\$ (2.669.504)	\$ (2.746.920)	\$ (3.127.835)	\$ (3.218.542)	\$ (3.311.880)	\$ (3.716.440)	\$ (3.824.217)	\$ (3.935.119)
Herramientas	\$ (427.058)	\$ -	\$ -	\$ (439.442)	\$ -	\$ -	\$ (452.186)	\$ -	\$ -	\$ (465.300)	\$ -
Costo de repuestos	\$ (89.697.000)	\$ (92.387.910)	\$ (123.183.880)	\$ (126.756.213)	\$ (130.432.143)	\$ (163.040.178)	\$ (167.768.344)	\$ (172.633.625)	\$ (207.160.351)	\$ (213.168.001)	\$ (219.349.873)
Pérdidas por medición	\$ (206.403.310)	\$ (206.403.310)	\$ (206.403.310)	\$ (206.403.310)	\$ (206.403.310)	\$ (206.403.310)	\$ (206.403.310)	\$ (206.403.310)	\$ (206.403.310)	\$ (206.403.310)	\$ (206.403.310)
<b>Flujo de caja</b>	\$ (355.625.632)	\$ (359.152.184)	\$ (391.992.468)	\$ (398.323.750)	\$ (402.912.720)	\$ (437.738.251)	\$ (445.423.686)	\$ (451.350.230)	\$ (488.282.557)	\$ (497.462.102)	\$ (504.868.613)
<b>VPN Caso sin proyecto</b>	<b>\$ (2.842.364.045)</b>										

**Tabla 18.** Flujo de caja sin proyecto

Esta misma tabla se presenta como archivo anexo a la monografía en Excel, en la hoja de cálculo “FLUJOS DE CAJA”. Los cálculos de los costos de mantenimiento preventivo, correctivo y de repuestos se pueden consultar en la hoja de cálculo del mismo archivo de Excel “CÁLCULOS”.



### 3.5 Flujo de caja con proyecto

El flujo de caja con proyecto del cambio de 13 medidores de flujo de desplazamiento positivo a Coriolis en el Llenadero de Ecopetrol en Barrancabermeja es:

#### CASO CON PROYECTO

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión (medidores Coriolis)	\$ (1.064.294.133)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Depreciación	\$ -	\$ (106.429.413)	\$ (106.429.413)	\$ (106.429.413)	\$ (106.429.413)	\$ (106.429.413)	\$ (106.429.413)	\$ (106.429.413)	\$ (106.429.413)	\$ (106.429.413)	\$ (106.429.413)
Compras accesorios	\$ (49.831.699)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Montaje (Global para la actividad)	\$ (26.439.885)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Intinventoría	\$ (25.193.633)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
AIU	\$ (212.538.232)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
IVA	\$ (195.940.008)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos de mantenimiento preventivo	\$ (9.900.787)	\$ (9.687.562)	\$ (9.968.501)	\$ (10.767.341)	\$ (10.555.058)	\$ (10.861.155)	\$ (11.700.664)	\$ (11.500.236)	\$ (11.833.743)	\$ (12.716.669)	\$ (12.530.052)
Costos de mantenimiento correctivo	\$ (361.746)	\$ (372.599)	\$ (383.404)	\$ (394.523)	\$ (405.964)	\$ (417.737)	\$ (429.851)	\$ (442.317)	\$ (455.144)	\$ (468.343)	\$ (481.925)
Herramientas	\$ (427.058)	\$ -	\$ -	\$ (439.442)	\$ -	\$ -	\$ (452.186)	\$ -	\$ -	\$ (465.300)	\$ -
Costo de repuestos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Pérdidas por medición	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Flujo de caja</b>	<b>\$ (1.584.927.181)</b>	<b>\$ (116.489.574)</b>	<b>\$ (116.781.318)</b>	<b>\$ (118.030.719)</b>	<b>\$ (117.390.435)</b>	<b>\$ (117.708.305)</b>	<b>\$ (119.012.115)</b>	<b>\$ (118.371.966)</b>	<b>\$ (118.718.300)</b>	<b>\$ (120.079.725)</b>	<b>\$ (119.441.390)</b>
<b>VPN Caso con proyecto</b>	<b>\$ (2.276.390.556)</b>										

Tabla 19. Flujo de caja con proyecto

Esta misma tabla se presenta como archivo anexo a la monografía en Excel, en la hoja de cálculo “CON PROYECTO”.

Se evidencia que el VPN es positivo, por lo que el proyecto es viable y se recomienda desarrollarlo tanto por cuestiones de seguridad, satisfacción de cliente, como por la rentabilidad del mismo.



### 3.6 Flujo de caja incremental

#### INCREMENTAL

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costos de mantenimiento preventivo	\$ 47.027.000	\$ 48.437.810	\$ 49.842.507	\$ 51.287.939	\$ 52.775.290	\$ 54.305.773	\$ 55.880.640	\$ 57.501.179	\$ 59.168.713	\$ 60.884.606	\$ 62.650.259
Costos de mantenimiento correctivo	\$ 1.808.731	\$ 1.862.993	\$ 2.210.866	\$ 2.274.981	\$ 2.340.956	\$ 2.710.098	\$ 2.788.691	\$ 2.869.563	\$ 3.261.296	\$ 3.355.874	\$ 3.453.194
Costo de repuestos	\$ 89.697.000	\$ 92.387.910	\$ 123.183.880	\$ 126.756.213	\$ 130.432.143	\$ 163.040.178	\$ 167.768.344	\$ 172.633.625	\$ 207.160.351	\$ 213.168.001	\$ 219.349.873
Pérdidas por medición	\$ 206.403.310	\$ 206.403.310	\$ 206.403.310	\$ 206.403.310	\$ 206.403.310	\$ 206.403.310	\$ 206.403.310	\$ 206.403.310	\$ 206.403.310	\$ 206.403.310	\$ 206.403.310
Inversión (medidores Coriolis)	\$ (1.064.294.133)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Depreciación	\$ -	\$ (106.429.413)	\$ (106.429.413)	\$ (106.429.413)	\$ (106.429.413)	\$ (106.429.413)	\$ (106.429.413)	\$ (106.429.413)	\$ (106.429.413)	\$ (106.429.413)	\$ (106.429.413)
Compras accesorios	\$ (49.831.699)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Montaje (Global para la actividad)	\$ (26.439.885)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Interventoría	\$ (25.193.633)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
AIU	\$ (212.538.232)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
IVA	\$ (195.940.008)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Flujo de caja</b>	<b>\$ (1.229.301.549)</b>	<b>\$ 242.662.610</b>	<b>\$ 275.211.150</b>	<b>\$ 280.293.030</b>	<b>\$ 285.522.285</b>	<b>\$ 320.029.946</b>	<b>\$ 326.411.572</b>	<b>\$ 332.978.264</b>	<b>\$ 369.564.257</b>	<b>\$ 377.382.377</b>	<b>\$ 385.427.223</b>
<b>VPN Caso Incremental</b>	<b>\$565.973.488,85</b>										
<b>TIR Caso Incremental</b>	<b>20,4%</b>										
<b>TIR Modificada</b>	<b>15,4%</b>										

Tabla 20. Flujo de caja incremental

### 3.7 Indicadores de rentabilidad

Se observa que el **VPN** del flujo de caja incremental es positivo, con un valor superior a 565 millones de pesos. Esto indica que el proyecto es rentable y al cabo de 10 años tiene ganancias para los inversores de aproximadamente 566 millones de pesos.

Se evidencia que a partir del año 2015, el flujo de efectivo es positivo.

En cuanto a la **TIR** tiene un valor de 20,4%, el cual es superior a la tasa con que evalúa los datos Ecopetrol, que es una tasa de retorno del 11,1%, confirmando la rentabilidad del proyecto.

Se evaluó así mismo la **TIR modificada** (TIRm) pues es posible que las ganancias que se obtengan en el proyecto, no se inviertan en la misma área de proceso, sino que Ecopetrol decida reinvertirlas en otros proyectos. Se tomó una tasa de financiamiento del 12,5%, y una tasa de reinversión de por lo menos 11,1% que es lo mínimo que esperan los socios de la compañía. El valor de la TIRm fue 15,4%, lo que evidencia que el proyecto seguiría siendo atractivo para la compañía, por obtener una TIR mayor a la tasa de retorno mínima esperada que en Ecopetrol es del 11,1%.

### 3.8 Análisis de sensibilidades

Se encontraron las siguientes variables críticas para el análisis de las sensibilidades:

- Pérdidas por medición
- Costo del mantenimiento preventivo
- Costo de los repuestos
- Precio del medidor de flujo tipo Coriolis
- AIU

La fluctuación de las anteriores variables se representa en la siguiente gráfica:



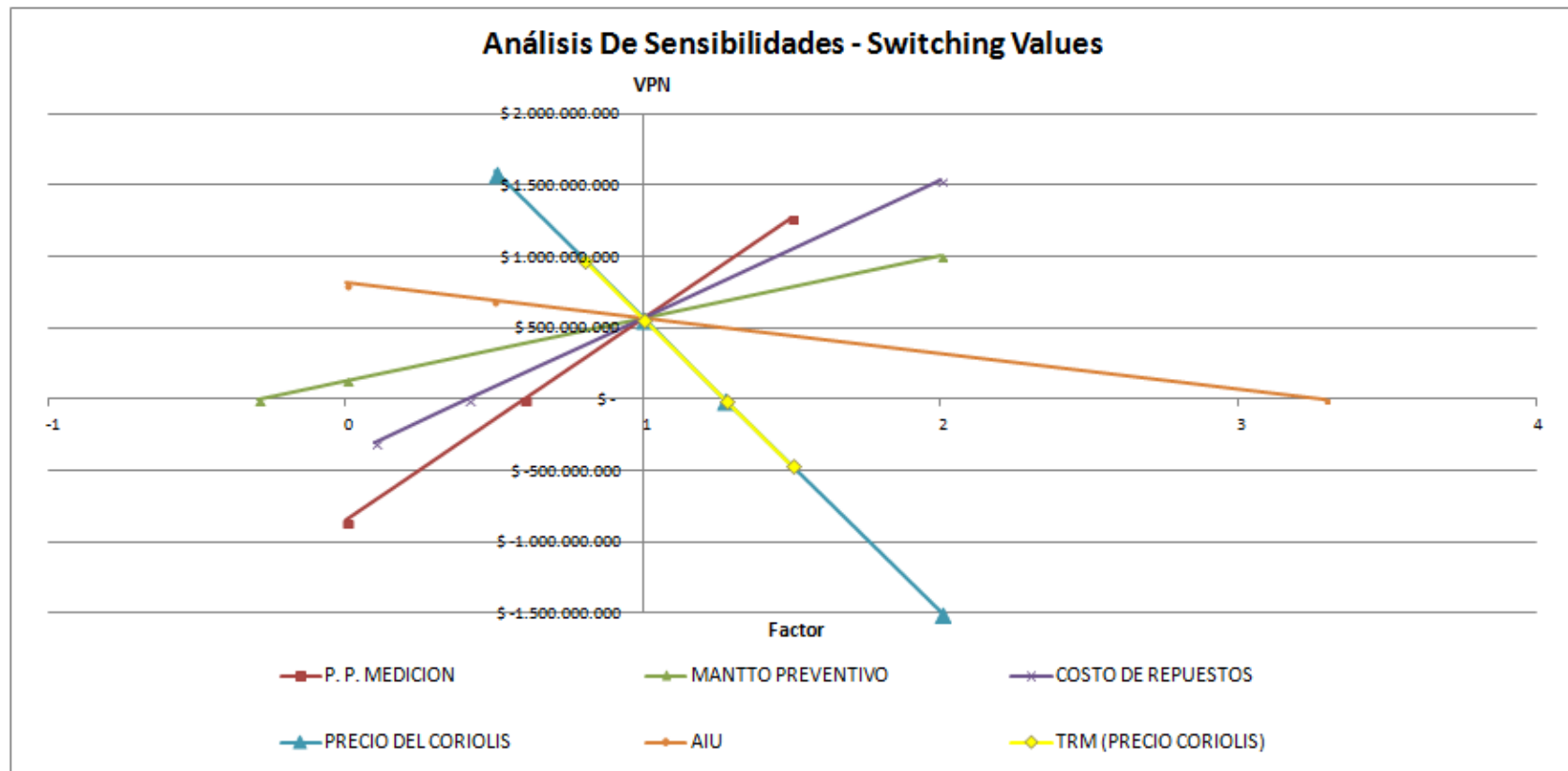


Figura 11. Análisis de sensibilidades

Se observa de la anterior gráfica que las líneas con mayor pendiente son las que puede modificar a mayor escala el Valor Presente Neto del proyecto, las mismas son el precio del medidor tipo Coriolis y las pérdidas por medición.

Los valores con los que se obtuvo la gráfica y los switching values son los siguientes:

<b>PÉRDIDAS POR MEDICIÓN (m= 1.416.880.048)</b>			
<b>VR. REFINADOS</b>	<b>FACTOR</b>	<b>VPN</b>	<b>TIR</b>
*VARIOS PRECIOS	0	\$ -850.906.560	-3,46%
*VARIOS PRECIOS	0,6	\$ -	11,10%
*VARIOS PRECIOS	1	\$ 565.973.489	20,35%
*VARIOS PRECIOS	1,5	\$ 1.274.413.513	32,58%

<b>MANTOS PREVENTIVOS (m= 435.998.630)</b>			
<b>FREC. MANTTO ANUAL</b>	<b>FACTOR</b>	<b>VPN</b>	<b>TIR</b>
-1,8	-0,3	\$ -	11,10%
0	0	\$ 129.974.859	13,25%
6	1	\$ 565.973.489	20,35%
12	2	\$ 1.001.972.119	27,49%

<b>COSTO DE REPUESTOS (m= 967.325.519)</b>			
<b>VR. KIT REPUESTOS</b>	<b>FACTOR</b>	<b>VPN</b>	<b>TIR</b>
\$ 2.500.000	0,1	\$ -304.619.479	5,4%
\$ 10.372.724	0,4	\$ -	11,1%
\$ 25.000.000	1	\$ 565.973.489	20,4%
\$ 50.000.000	2	\$ 1.533.299.008	34,7%

<b>COSTO DEL CORIOLIS (m= -2.044.917.182)</b>			
<b>VR. DEL CORIOLIS</b>	<b>FACTOR</b>	<b>VPN</b>	<b>TIR</b>
\$ 35.288.267	0,5	\$ 1.595.355.005	63,1%
\$ 70.576.534	1	\$ 565.973.489	20,4%
\$ 89.978.693	1,3	\$ -	11,1%
\$ 141.153.068	2	\$ -1.492.789.543	-3,5%



AIU (m= -246.585.960)			
VR- AIU	FACTOR	VPN	TIR
0,0%	0	\$ 812.517.838	26,9%
10,5%	0,5	\$ 689.245.664	23,3%
21,0%	1	\$ 565.973.489	20,4%
69,2%	3,3	\$ -	11,1%

TRM (PRECIO CORIOLIS) (m= -2.044.917.182)			
TRM	FACTOR	VPN	TIR
\$ 1.520,00	0,8	\$ 977.726.091	30,6%
\$ 1.900,00	1	\$ 565.973.489	20,4%
\$ 2.422,33	1,3	\$ -	11,1%
\$ 2.850,00	1,5	\$ -463.408.031	5,6%

Para mayor claridad y poder diferenciar más detalladamente las variables que son más críticas, es decir las cuales con pequeñas variaciones pueden modificar considerablemente el resultado del análisis económico del proyecto, se presenta también en las anteriores tablas los valores de las pendientes (m).

Comparando los valores de la pendiente de cada gráfica (m) se puede observar que el mayor impacto económico presentado por variables en el proyecto lo genera el precio del medidor tipo Coriolis, la TRM y las pérdidas por medición; seguido del costo de repuestos, el mantenimiento preventivo y los costos de AIU.

Del primero se puede mencionar que con un aumento mayor del 30% del precio del medidor, el proyecto puede arrojar rentabilidades inferiores a la tasa interna de retorno de Ecopetrol, resultando poco atractivo para la gerencia a cargo de la ejecución del cambio de los medidores, sin embargo este hecho se considera poco probable debido a que el proveedor de los medidores "Endress Hauser" tiene un solo representante comercial en Colombia (Colsein), por lo que no se esperan cambios significativos en el precio de los medidores en el corto plazo. Así mismo se evaluó la incidencia del cambio en el precio del dólar (TRM), pues se trata de un producto importado. Esta variable tiene el mismo comportamiento que el precio de medidor, y tampoco se considera probable que ocurran cambios significativos en la TRM, pues se ha mantenido cerca de \$1.900 en el último año.

En las pérdidas por medición se consideró una variación en los precios de los refinados, sin embargo debido a las características del mercado esta situación también es poco probable.

Finalmente para el caso del costo de los repuestos se consideró una variación en el precio del Kit de repuestos, pero esta variación no tiene altas probabilidades de llegar a materializarse.

## 4 CONCLUSIONES

- Desde los puntos de vista técnico, comercial, ambiental y financiero el proyecto es factible y conveniente para Ecopetrol S.A. bajo las pautas establecidas y los escenarios analizados.
- Los indicadores financieros obtenidos ratifican la conveniencia financiera del proyecto y la oportunidad de negocio con la que cuenta actualmente Ecopetrol S.A. en el mejoramiento del sistema de medición del Llenadero de carrotanques de Barrancabermeja con el cambio de los medidores de flujo tipo desplazamiento positivo a tipo Coriolis.
- El proyecto que se analiza en esta monografía, indica a través de unos resultados financieros y de unos análisis de factibilidades que Ecopetrol S.A. debe implementar un proyecto que le permita disminuir la linealidad de los medidores de flujo instalados en el Llenadero de carrotanques y los costos asociados al mantenimiento preventivo y correctivo. La viabilidad de este proyecto está suficientemente sustentada en este estudio, a través del cual se puede observar su viabilidad debido a la elevada rentabilidad.
- La inversión inicial total del proyecto se recupera en el año siguiente de implementado el cambio de medidores
- El proyecto planteado de cambio de medidores de flujo en el Llenadero de Barrancabermeja de Ecopetrol, es rentable, tomando como base las suposiciones y condiciones planteadas y evaluando el proyecto a 10 años.
- Se confirma la rentabilidad del proyecto, al observar que en el flujo de efectivo incremental el valor del VPN es positivo y mucho mayor a cero.
- El valor de la TIR para el flujo de efectivo incremental es de 20,4%, lo cual demuestra que se supera casi en dos veces, la tasa de retorno esperada por la empresa que es 11%. Demostrando que sería un proyecto atractivo para la compañía, tanto por sus ventajas técnicas como financieras.
- Mediante el uso de las “Switching Values” se analizaron los posibles riesgos que puedan afectar la rentabilidad del proyecto, sin embargo y como se menciona en el numeral 3.8 la probabilidad de que estos riesgos se materialicen es muy baja, haciendo de este un proyecto de inversión bastante seguro donde se correrán pocos riesgos.

## 5 BIBLIOGRAFIA

- Australian Government. National Measurement Institute. Agosto, 2010. *Certificate of approval*. Tomado de:  
<http://www.measurement.gov.au/Publications/CertificateOfApproval/Flowmeters/BulkFlowmeters/Documents/5-6B-55B.pdf>
- Ecopetrol S.A. *Manual de medición de hidrocarburos*. Capítulo 5: Medición dinámica.
- Endress+Hauser in Colombia. Tomado de:  
<http://www.endress.com/eh/home.nsf/#page/colombia>
- FMC Technologies. *Double Case Positive Displacement Meters*. Tomado de:  
<http://www.fmctechnologies.com/en/MeasurementSolutions/Technologies/LiquidProducts/PDMeters/DCPDMeters/DC2to8.aspx>