

**ESTUDIO TÉCNICO Y FINANCIERO PARA EL REEMPLAZO DEL SISTEMA DE
SELLADO CONVENCIONAL POR TECNOLOGÍA DE SELLOS SECOS EN EL
COMPRESOR CENTRÍFUGO C-4251 DEL DEPARTAMENTO DE CRAQUEO
CATALÍTICO II DE LA REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA**

JHON MANUEL VARGAS LAVADO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
ESPECIALIZACIÓN EN EVALUACIÓN Y GERENCIA DE PROYECTOS
BUCARAMANGA**

2014

**ESTUDIO TÉCNICO Y FINANCIERO PARA EL REEMPLAZO DEL SISTEMA DE
SELLADO CONVENCIONAL POR TECNOLOGÍA DE SELLOS SECOS EN EL
COMPRESOR CENTRÍFUGO C-4251 DEL DEPARTAMENTO DE CRAQUEO
CATALÍTICO II DE LA REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA**

JHON MANUEL VARGAS LAVADO

**Monografía como requisito para optar el título de
Especialista en Evaluación y Gerencia de Proyectos**

Director:

DR. GUILLERMO BUSTAMANTE
Ingeniero Civil Magister en Administración

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
ESPECIALIZACIÓN EN EVALUACIÓN Y GERENCIA DE PROYECTOS
BUCARAMANGA**

2014

DEDICATORIA

En primera instancia a Dios por darme la vida y permitirme seguir creciendo personal y profesionalmente, dándome fuerza y sabiduría con su presencia en todos los instantes de la vida.

A mi Madre y a mi Padre por brindarme su apoyo, sus mejores consejos y sus mejores deseos ante mis propósitos.

A Mariana Vélez por estar siempre presente y manifestarme su incondicional amor.

A mi profesión porque gracias a ella he logrado emplearme y obtener logros personales y profesionales.

Jhon Manuel Vargas

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Industrial de Santander por hacer uso de toda su experiencia como institución educativa del país e implementar esta especialización en la ciudad de Barrancabermeja.

Al Ingeniero Guillermo Bustamante Alzate, director de esta monografía por su valiosa orientación y excelente disposición para lograr este objetivo, siempre compartiendo su experiencia y conocimiento con su metodología de enseñanza.

A todo el equipo de personas que involucró y motivó el desarrollo de esta monografía compuesto por los profesores de la Universidad Industrial de Santander, al Departamento de Cracking II de la Refinería de Barrancabermeja, a mis compañeros y jefes de trabajo.

A mis familiares, seres queridos, amigos y demás personas que me rodearon durante esta etapa y que vivieron de cerca el inicio y culminación del logro de este objetivo.

Jhon Manuel Vargas

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	20
1. GENERALIDADES	21
1.1 ENTORNO GENERAL O MACROENTORNO	21
1.1.1 Dimensión social y demográfica	24
1.1.2 Dimensión del entorno físico y medio ambiente	25
1.1.3 Dimensión cultural y social	25
1.2 JUSTIFICACIÓN	25
1.3 OBJETIVOS	26
1.3.1 Objetivo General	26
1.3.2 Objetivos específicos.	26
1.4 ALCANCE O DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	27
1.5 FLUJO DEL PROCESO PLANTA UOPII	27
1.6 DESCRIPCIÓN DE LA NECESIDAD ACTUAL	29
1.7 ANÁLISIS DE MERCADOS	33
1.8 ENTORNO ESPECÍFICO O MICROENTORNO	33
2. DESCRIPCIÓN DE LA VIABILIDAD LEGAL Y AMBIENTAL DEL PROYECTO	35
2.1 MARCO JURÍDICO	35
2.1.1 Resolución 909 de 2008	36
2.1.2 Exención Tributaria	37
2.2 CONTRATACIÓN	37
2.3 LOCALIZACIÓN	38
2.4 LICENCIA AMBIENTAL	38
2.5 USO DEL SUELO	38

2.6 ORGANIZACIÓN	39
3. ESTUDIO TÉCNICO	40
3.1 TECNOLOGÍA SELLOS SECOS	40
3.2 TIPOS DE SELLOS SECOS	41
3.2.1 Sello seco sencillo	41
3.2.2 Sello seco doble <i>Face to Face</i>	42
3.2.3 Sello doble <i>Tándem</i>	43
3.2.4 Sello doble tándem con laberinto	44
3.3 SISTEMAS AUXILIARES	45
3.3.1 Sistema de filtrado.	46
3.3.2 Calentador/Enfriador.	47
3.3.3 Booster	47
3.4 TIPO DE SELLO Y SISTEMA AUXILIAR RECOMENDADO	48
3.5 LOCALIZACIÓN	51
4. ESTUDIO FINANCIERO	52
4.1 ANÁLISIS ACTUAL SIN EL PROYECTO (SISTEMA CONVENCIONAL)	52
4.1.1 Costos y gastos de operación asociados al aceite barrera	52
4.1.2 Costos del gas quemado, venteado o contaminado	52
4.1.3 Costos y gastos de operación por consumo de potencia de sistemas auxiliares	53
4.1.4 Costos de mano de obra	53
4.1.5 Costo de repuestos completos para los sellos	54
4.1.6 Resumen costos y gastos sin proyecto	55
4.2 ANÁLISIS CON PROYECTO “SELLOS SECOS”	56
4.2.1 Valor de la inversión inicial	56
4.2.2 Costos del gas venteado	56
4.2.3 Costos y gastos de operación por consumo de potencia de sistemas auxiliares	57

4.2.4 Costos de mano de obra sellos secos en operación	57
4.2.5 Costo de kit de repuestos para los sellos	58
4.2.6 Resumen costos y gastos con proyecto “sellos secos”.	58
4.3 EVALUACIÓN FINANCIERA	59
4.4 EVALUACIÓN FINANCIERA CON PROYECTO	60
4.5 EVALUACIÓN FINANCIERA SIN PROYECTO	64
4.6 ANÁLISIS FLUJO INCREMENTAL (CON – SIN)	68
4.6.1 Análisis con-sin proyecto.	70
4.6.2 Análisis vertical	72
4.6.3 Análisis horizontal	75
4.6.4 Indicadores – Margen operacional de utilidad.	77
4.6.5 Indicadores – Margen neto de utilidad.	77
4.7 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD VARIABLES CON Y SIN PROYECTO	78
4.8 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD RENTABILIDAD DEL PROYECTO.	82
5. ANÁLISIS DE RIESGOS	87
5.1 ESCALA DE PROBABILIDAD IMPACTO	87
5.2 TOLERANCIA	88
5.3 IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS	90
5.4 SEVERIDAD COSTO – TIEMPO.	92
5.4.1 Ponderación de riesgos	93
5.5 ANÁLISIS CUANTITATIVO DE RIESGOS.	93
5.5.1 Poca disponibilidad de personal extranjero para el proyecto.	93
5.5.2 Errores de diseño.	94
5.5.3 Modificación al compresor.	95
5.5.4 Daños a las líneas de proceso.	96
5.5.5 Terminación anticipada del contrato en tiempo.	96
5.5.6 Mayor tiempo de entrega de los sellos secos y su panel.	97
5.5.7 Terminación anticipada del contrato en costo.	98

6. CONCLUSIONES	100
7. RECOMENDACIONES	101
BIBLIOGRAFIA	102
ANEXOS	103

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Equipo de trabajo	24
Tabla 2. Artículos Resolución 0909 de 2008.	36
Tabla 3. Costos y gastos de operación asociados al aceite barrera.	52
Tabla 4. Costos del gas quemado, venteado o contaminado.	53
Tabla 5. Costos y gastos de operación por consumo de potencia de sistemas auxiliares.	53
Tabla 6. Costos manos de obra personal involucrado.	54
Tabla 7. Costos totales mano de obra.	54
Tabla 8. Costo de sellos de aceite.	54
Tabla 9. Resumen costos y gastos sin proyecto.	55
Tabla 10. Valor de la inversión inicial sellos secos.	56
Tabla 11. Costos del gas venteado sellos secos.	57
Tabla 12. Costos y gastos de operación por consumo de potencia de sistemas auxiliares sellos secos.	57
Tabla 13. Costos manos de obra personal involucrado sellos secos.	57
Tabla 14. Costos kit de repuestos sellos secos al final de los 5 años.	58
Tabla 15. Resumen costos totales anuales con proyecto.	59
Tabla 16. Indicadores para evaluación financiera.	60
Tabla 17. Flujo de caja con sellos secos.	62
Tabla 18. Indicadores para evaluación financiera.	64
Tabla 19. Flujo de caja de la situación actual Sin el proyecto.	66
Tabla 20. Flujo de caja incremental.	68
Tabla 21. Flujo de caja incremental.	70
Tabla 22. Flujo de caja incremental acumulado.	71
Tabla 23. Análisis vertical para los periodos 2015 y 2017.	72

Tabla 24. Análisis horizontal entre los periodos 2016 y 2017.	75
Tabla 25. Escala de Probabilidad.	87
Tabla 26. Escala de Impacto.	87
Tabla 27. Tolerancia Costo.	88
Tabla 28. Tolerancia Tiempo.	88
Tabla 29. Definición grados de tolerancia.	89
Tabla 30. Ponderación de tolerancia.	89
Tabla 31. Identificación de Riesgos.	90
Tabla 32. Severidad costo - tiempo.	92
Tabla 33. Riesgos que requieren análisis – Costo.	93
Tabla 34. Riesgos que requieren análisis – Tiempo.	93
Tabla 35 . Riesgos que requieren análisis Costo.	99
Tabla 36. Riesgos que requieren análisis Tiempo.	99

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructura Ecopetrol S.A.	22
Figura 2. Refinería de Barrancabermeja.	23
Figura 3. Esquema simplificado de operaciones.	28
Figura 4. Flujo de proceso	29
Figura 5. Rotor compresor centrífugo	31
Figura 6. Sello de aceite.	32
Figura 7. Estructura Gerencia Refinería Ecopetrol	34
Figura 8. Tecnología de sellos secos.	40
Figura 9. Flujos de Gas a través de las caras del sello seco	41
Figura 10. Sello seco sencillo	42
Figura 11. Sello seco doble <i>Face to Face</i> .	43
Figura 12. Sello doble Tándem	44
Figura 13. Sello doble <i>tándem</i> con laberinto	45
Figura 14. Esquema sistemas auxiliares.	47
Figura 15. Condiciones de operación C-4251	48
Figura 16. Cromatografía gas proceso C-4251	49
Figura 17. Sello seco doble <i>Face to Face</i>	50
Figura 18. Flujos de Gas a través de las caras del sello seco.	50

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. VPN Con - Sin.	71
Gráfica 2. <i>Pay Back</i> estático.	72
Gráfica 3. Análisis probabilidad valor sellos Aceite (sin proyecto)	79
Gráfica 4. Análisis probabilidad Costos y Gasto Operacionales	80
Gráfica 5. Análisis probabilidad Valor de la inversión inicial.	81
Gráfica 6. Probabilidad costos y gastos operacionales con proyecto.	82
Gráfica 7. Análisis probabilidad Valor Presente Neto	83
Gráfica 8. Análisis probabilidad Valor de la inversión inicial.	84
Gráfica 9. Análisis probabilidad Valor de la inversión inicial.	85
Gráfica 10. Análisis probabilidad Valor de la inversión inicial.	86
Gráfica 11. Evaluación del riesgo por poca disponibilidad de personal extranjero para el proyecto.	94
Gráfica 12 . Análisis probabilidad errores de diseño.	95
Gráfica 13. Análisis modificación al compresor.	95
Gráfica 14 . Análisis daño a las líneas de proceso.	96
Gráfica 15. Análisis terminación anticipada del contrato.	97
Gráfica 16. Análisis mayor tiempo de entrega de los sellos y panel.	97
Gráfica 17. Análisis terminación anticipada del contrato en costo	98

GLOSARIO

BARRERA. Frontera líquida de presión causada por un sistema auxiliar para evitar la fuga de gas en un sello de aceite.

BOOSTER. Dispositivo de pre-carga de presión o volumen para un Sistema principal.

CRACKING. Formación de una fractura o fractura parcial en un material sólido.

CROMATOGRAFÍA. Método físico de separación para la caracterización de mezclas complejas en gases.

DGS.¹ *Dry Gas Seal*, Sello Seco de Gas. Mecanismo de no contacto usado para evitar la fuga de fluidos gaseosos en un compresor centrífugo a través de un gas inerte.

DOWNSTREAM.² Es un sector de la industria petrolera y se refiere comúnmente a las tareas de refinamiento del petróleo crudo y al procesamiento y purificación del gas natural, así como también la comercialización y distribución de productos derivados del petróleo crudo y gas natural.

ECOPETROL. Empresa Colombiana de Petróleos.

¹ FLOWSERVE CORPORATION. Turbo machinery. United States Kalamazoo, FSD113eng REV 09-10.

² Tomado de www.ecopetrol.com.co

FACE TO FACE. Cara contra cara. Tipo de arreglo o disposición en diseños de sellos dobles.

GASPAC. Nombre comercial de la familia de productos en sellos secos de la marca Flowserve.

KNOW HOW. Saber-cómo o conocimiento fundamental. Es una expresión anglosajona utilizada en el comercio internacional para denominar los conocimientos preexistentes no siempre académicos, que incluyen: técnicas, información secreta, teorías e incluso datos privados (clientes o proveedores).

NORMA. Un documento que proporciona, para uso común y repetido reglas, pautas o características para actividades o sus resultados, orientado a lograr el óptimo grado de orden en un contexto determinado (PMI).

O-RING. Junta tórica o anillo “O” en elastómero usado para evitar la fuga de fluidos en diferentes equipos.

PROYECTO. Un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único (PMI).

RIESGO. Un evento o condición incierta que, si se produce, tiene un efecto positivo o negativo en los objetivos de un proyecto (PMI).

SCFM. Standard Cubic Feet per Minute. Unidad de medida no incluida en el Sistema Internacional de Unidades que mide el flujo de un gas o líquido que indica cuánto volumen, en pies cúbicos estándar, pasa a través de un punto fijo en un minuto.

SELLO DE ACEITE. Mecanismo de contacto húmedo usado para evitar la fuga de fluidos gaseosos en un compresor centrífugo a través de aceite presurizado.

SELLO SECO. Mecanismo de no contacto usado para evitar la fuga de fluidos gaseosos en un compresor centrífugo a través de un gas inerte.

SISTEMA AUXILIAR. Conjunto de dispositivos que se relacionan entre sí para mejorar el ambiente de operación y las condiciones a las cuales trabaja un sello seco o sello de aceite.

TANDEM.³ Cara contra espalda. Tipo de arreglo o disposición en el diseño de sellos dobles.

TOPPING.⁴ Unidad de Destilación compuesta por dos secciones; una atmosférica (unidad de fraccionamiento) y una sección de vacío.

UOPII. Planta de unidad de craqueo catalítico.

³ FLOWSERVE CORPORATION. Turbo machinery. United States Kalamazoo, FSD113eng REV 09-10.

⁴ Tomado de www.ecopetrol.com.co

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO TÉCNICO Y FINANCIERO PARA EL REEMPLAZO DEL SISTEMA DE SELLADO CONVENCIONAL POR TECNOLOGÍA DE SELLOS SECOS EN EL COMPRESOR CENTRÍFUGO C-4251 DEL DEPARTAMENTO DE CRAQUEO CATALÍTICO II DE LA REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA

AUTOR: JHON MANUEL VARGAS LAVADO**

PALABRAS CLAVES: Sello Seco, Compresor Centrífugo, Refinería, Barrancabermeja, Ecopetrol, Sello Húmedo.

DESCRIPCIÓN:

El propósito de este proyecto es realizar un estudio técnico y financiero que aporte la información necesaria para evaluar el reemplazo del sistema de sellado convencional por tecnología de sellos secos en el compresor centrífugo C-4251 del departamento de craqueo catalítico II de la refinería de Barrancabermeja.

Se busca identificar la viabilidad de la actualización de la tecnología considerando como variables principales la inversión inicial y la reducción en los costos y gastos de operación en un escenario sin financiación de terceros.

Para realizar el estudio se presentan dos escenarios relacionados con la condición actual, es decir sin proyecto y haciendo la consideración con proyecto. La evaluación financiera se realiza por flujos incrementales entre con proyecto menos sin proyecto, por medio del cálculo del VPN, la TIR y algunos otros indicadores.

Este proyecto busca obtener al interior de Ecopetrol el respaldo necesario para una producción más económica, rentable y limpia, que no afecte la salud de las personas, el medio ambiente que los rodea y a su vez que ofrezca confiabilidad al proceso de producción en su fase inicial, intermedia o final de algún producto. Este proyecto busca obtener al interior de Ecopetrol el respaldo necesario para una producción más económica, rentable y limpia, que no afecte la salud de las personas, el medio ambiente que los rodea y a su vez que ofrezca confiabilidad al proceso de producción en su fase inicial, intermedia o final de algún producto.

* Monografía

** Facultad de ingenierías físico-mecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Especialización en Evaluación y Gerencia de Proyectos. Director: Guillermo León Bustamante Alzate

SUMMARY

TITLE: TECHNICAL AND FINANCIAL STUDY FOR REPLACEMENT OF CONVENTIONAL SYSTEM SEALING BY DRY GAS SEAL TECHNOLOGY IN CENTRIFUGAL COMPRESSOR C-4251 OF THE CATALYTIC CRACKING DEPARTMENT II IN BARRANCABERMEJA REFINERY*

AUTHOR: JHON MANUEL VARGAS LAVADO**

KEYWORDS: Dry Gas Seal, Compressor Centrifugal, Refinery, Barrancabermeja, Ecopetrol, Wet Seal.

DESCRIPTION:

The purpose of this project is to conduct a technical and financial study to provide the necessary information to evaluate the replacement of the conventional system sealing by dry gas seal technology in centrifugal compressor C-4251 of the of Catalytic Cracking Department II in Barrancabermeja refinery.

It seeks to identify the feasibility of upgrading the technology considering as key variables the initial investment, the reduction in costs and the operating expenses without third party funding.

To perform the study two scenarios are described which are related to the current conditions, ie without doing the project and considering that the project has been done. The financial evaluation is done by incremental flows between the project running minus without project, through the calculation of NPV, IRR and some other indicators.

This project seeks within Ecopetrol management the necessary support for a more economical, cost effective and cleaner production, which does not affect the people health, the environment around them as well as offering production process reliability in its early stages, middle or end of a product. This project seeks within Ecopetrol management the necessary support for a more economical, cost effective and cleaner production, which does not affect the people health, the environment around them as well as offering production process reliability in its early stages, middle or end of a product.

* Monograph

** Faculty of Engineering Physical Mechanical. School of Industrial and Business Studies. Specializing in Evaluation and Project Management. Directed by Guillermo Leon Bustamante Alzate.

INTRODUCCIÓN

Los compresores centrífugos son ampliamente usados en la producción y transmisión de gas natural, así como en procesos intermedios donde se requiere gas a alta presión para la producción de un producto donde podemos encontrar una amplia variedad de aplicaciones pasando por el manejo de amonio, polipropileno, propileno, hidrogeno, gas ácido, nitrógeno, dióxido de carbono, etc., a altas presiones y velocidades, muchos de estos gases son volátiles, peligrosos para las personas en caso de fugas y contaminantes para el medio ambiente. Los sellos se ubican sobre los ejes rotativos de los compresores y evitan que el gas a alta presión fugue de la carcasa del compresor.

Tradicionalmente, los sellos “húmedos o de aceite” usan aceite a alta presión como barrera contra el escape del gas, lo que representa requerimientos de sistemas auxiliares necesarios para mantener condiciones de presión en el aceite y naturalmente se asocian a consumos de potencia, altos costos de operación y mantenimiento, fugas y emisiones de gas al medio ambiente por baja confiabilidad.

Se ha identificado que reemplazar este tipo de sellos “húmedos” por sellos secos reduce importantemente los costos de operación y las emisiones de gas, adicionalmente tienen requisitos más bajos de energía, mejoran la eficiencia operativa, el rendimiento del compresor, mejoran la confiabilidad del compresor y necesitan mucho menos mantenimiento.

1. GENERALIDADES

1.1 ENTORNO GENERAL O MACROENTORNO

El proyecto se desarrolla en Ecopetrol S.A., Refinería Barrancabermeja, Departamento de craqueo catalítico II.

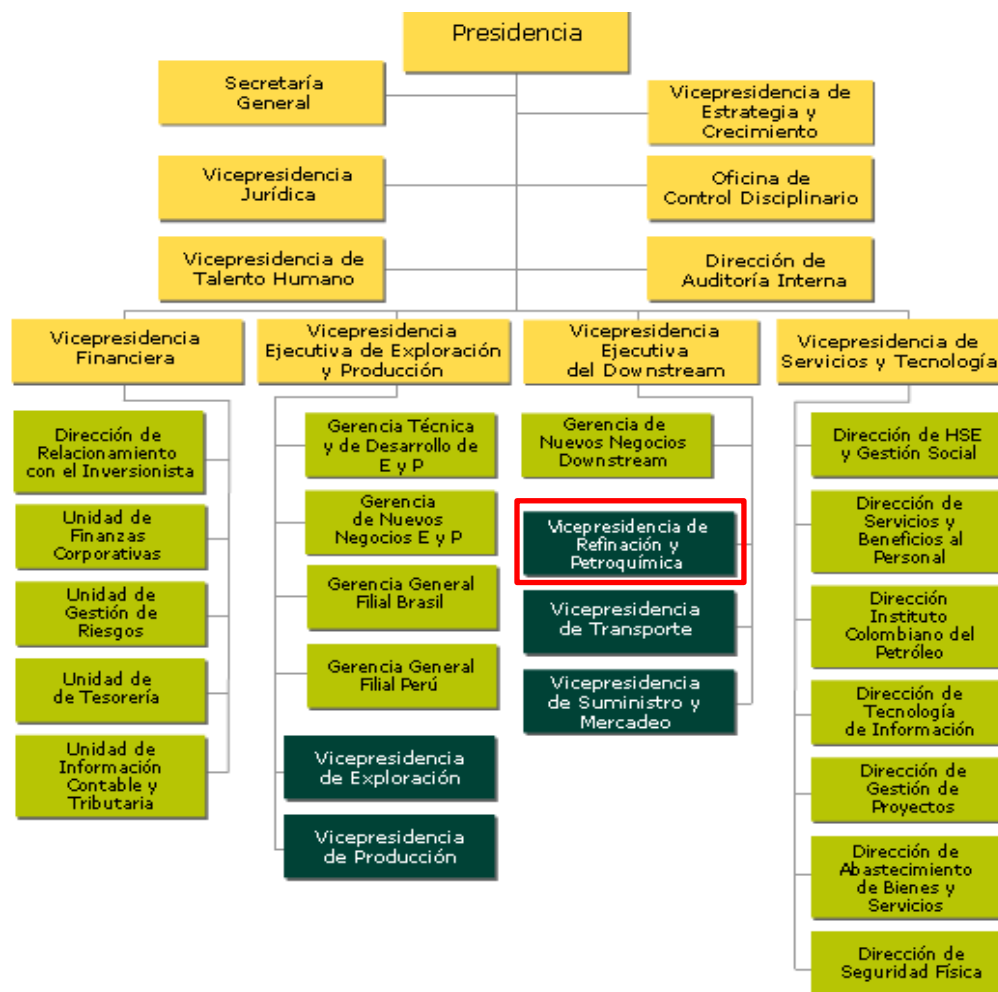
Ecopetrol S.A. es la empresa más grande del país y la principal compañía petrolera en Colombia. Por su tamaño, Ecopetrol S.A. pertenece al grupo de las 35 petroleras más grandes del mundo y es una de las cuatro principales de Latinoamérica.

Cuenta con campos de extracción de hidrocarburos en el centro, el sur, el oriente y el norte de Colombia, dos refinerías, puertos para exportación e importación de combustibles y crudos en ambas costas y una red de transporte de 8.124 kilómetros de oleoductos y poliductos a lo largo de toda la geografía nacional, que intercomunican los sistemas de producción con los grandes centros de consumo y los terminales marítimos.

En 2003 el gobierno colombiano reestructuró la Empresa Colombiana de Petróleos, con el objetivo de internacionalizarla y hacerla más competitiva en el marco de la industria mundial de hidrocarburos. Con la expedición del Decreto 1760 del 26 de Junio de 2003 modificó la estructura orgánica de la Empresa Colombiana de Petróleos y la convirtió en Ecopetrol S.A., una sociedad pública por acciones.

En 2007, Ecopetrol consolidó grandes transformaciones, tales como el proceso de capitalización más grande de Colombia, con el que vinculó a cerca de 450 mil colombianos de todos los niveles y regiones del país; por esta razón Ecopetrol S.A. es una Sociedad de Economía Mixta, de carácter comercial, organizada bajo la forma de sociedad anónima, del orden nacional, vinculada al Ministerio de Minas y Energía.⁵

Figura 1. Estructura Ecopetrol S.A.



Fuente: <http://iris> - Intranet Ecopetrol S.A.

⁵ www.ecopetrol.com.co

El proyecto se desarrolla en la Refinería de Barrancabermeja, la cual hace parte de la Vicepresidencia Refinación y Petroquímica. A partir de una capacidad instalada inicial de 1.500 barriles por día se inició la construcción de la inmensa infraestructura conocida hoy como la Gerencia Complejo Barrancabermeja de Ecopetrol.

Figura 2. Refinería de Barrancabermeja.



Fuente: <http://iris> - Intranet Ecopetrol S.A.

El Complejo se extiende en un área de 254 hectáreas, en las que se distribuyen más de cincuenta modernas plantas y unidades de proceso, tratamiento, servicios y control ambiental. Entre ellas están cinco unidades topping, cuatro unidades de ruptura catalítica, dos plantas de polietileno y plantas de alquilación, ácido sulfúrico, parafinas, aromáticos y plantas para el procesamiento de residuos.

Cuenta además con facilidades auxiliares que son equipos y procedimientos no directamente involucrados con la refinación pero que adelantan funciones vitales para su operación. Tal es el caso de las calderas, la planta de hidrógeno, los sistemas de enfriamiento, los sistemas de recuperación de azufre y los sistemas de tratamiento de residuos o de control de la contaminación.

1.1.1 Dimensión social y demográfica. El proyecto se desarrolla en Ecopetrol S.A., Refinería de Barrancabermeja. El equipo de personas que participa en todas las actividades relacionadas con la realización del proyecto su implementación, ejecución, seguimiento y control, está conformado como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Equipo de trabajo

CARGO	PERFIL	CANTIDAD	RESPONSABLE
Ingeniero confiabilidad rotativo	Profesional	1	Ecopetrol
Ingeniero confiabilidad eléctrico	Profesional	1	Ecopetrol
Ingeniero confiabilidad instrumentación y control	Profesional	1	Ecopetrol
Ingeniero de procesos	Profesional	1	Ecopetrol
Supervisor de operaciones	Tecnólogo y/o Técnico	1	Ecopetrol
Jefe de Planta	Profesional	1	Ecopetrol
Planeador del área	Profesional	1	Ecopetrol
Director de Proyecto	Profesional	1	Contratista
Especialista en instrumentación y control	Profesional	1	Contratista
Especialista en sellos secos y sistemas auxiliares	Profesional	1	Contratista
Técnicos de montaje e interconexión	Tecnólogo y/o Técnico	5	Contratista

El personal encargado de la operación y mantenimiento del proyecto una vez desarrollado con la nueva tecnología son el operador de planta y la cuadrilla de mantenimiento la cual está conformada por: Un líder de cuadrilla, cuatro mecánicos, cuatro metalistas, dos electricistas, dos instrumentistas y un soldador.

1.1.2 Dimensión del entorno físico y medio ambiente. Este proyecto pretende mejorar la confiabilidad y disponibilidad operativa del compresor C-4251 a través de la implementación de la tecnología de sellos secos en el sistema de sellado del compresor, este cambio es amigable con el medio ambiente ya que reduce la emisión de fugas de gas al medio ambiente y evita la contaminación de aceite y su posterior disposición final. Así mismo, el medio ambiente social se mantendrá estable, puesto que en este proyecto están involucradas las personas que día a día se desarrollan profesionalmente en el área.

1.1.3 Dimensión cultural y social. Las personas que día a día están relacionadas con este equipo y con la UOPII desde el operador hasta el jefe de plata, pasando por su equipo de confiabilidad serán beneficiados al reducir sus labores diarias de seguimiento, control y operación del sistema de sellado debido a la confiabilidad y autonomía del sistema de sellos secos.

Cuando el sistema de sellado convencional opera, los trabajadores deben trabajar jornadas diarias adicionales y fines de semana para atender fugas, cambios de aceite, rondas de seguimiento en patio y atender mantenimientos no programados, afectando así la disponibilidad de sus espacios no laborales y afectando también el tiempo con sus familias, periodos de vacaciones, etc.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Ante la creciente demanda de nuevas tecnologías que se preocupan por reducir las emisiones de gas al medio ambiente y las nuevas leyes gubernamentales que respaldan estas necesidades para proteger la salud y el medio ambiente de las personas, se generan nuevos requerimientos relacionados con la seguridad de procesos que hace necesario actualizar sistemas que actualmente no ofrecen la seguridad, ni el respaldo necesario para una producción limpia que no afecte la

salud de las personas, el medio ambiente que los rodea y a su vez que ofrezca confiabilidad al proceso de producción en su fase inicial, intermedia o final de algún producto.

Una producción más costosa, con menos márgenes y en la cual se deben pagar altas cuotas a re-aseguradoras por procesos inseguros hacen cada vez más difícil obtener una producción limpia y rentable en procesos industriales, por tal razón se hace la consideración de evaluar técnica y financieramente la actualización del sistema de sellado convencional “húmedos” a sellos secos y lograr determinar si ofrece las garantías necesarias para que proyectada en un horizonte de tiempo brinde un resultado sostenible, con ahorros significativos que permita un retorno de la inversión en poco tiempo. De esta manera se llega a la conclusión de realizar este estudio para demostrar la viabilidad de la actualización.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General. Realizar un estudio técnico y financiero que aporte la información necesaria para reemplazar el sistema de sellado convencional por tecnología de sellos secos en el compresor centrífugo C-4251 del departamento de craqueo catalítico II de la refinería de Barrancabermeja.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Identificar todos los costos asociados al compresor C-4251 en el escenario actual, es decir “sin proyecto”.
- Determinar la inversión inicial del proyecto.
- Establecer la estructura de costos del proyecto.
- Evaluar financieramente el uso de sellos secos en el C-4251.

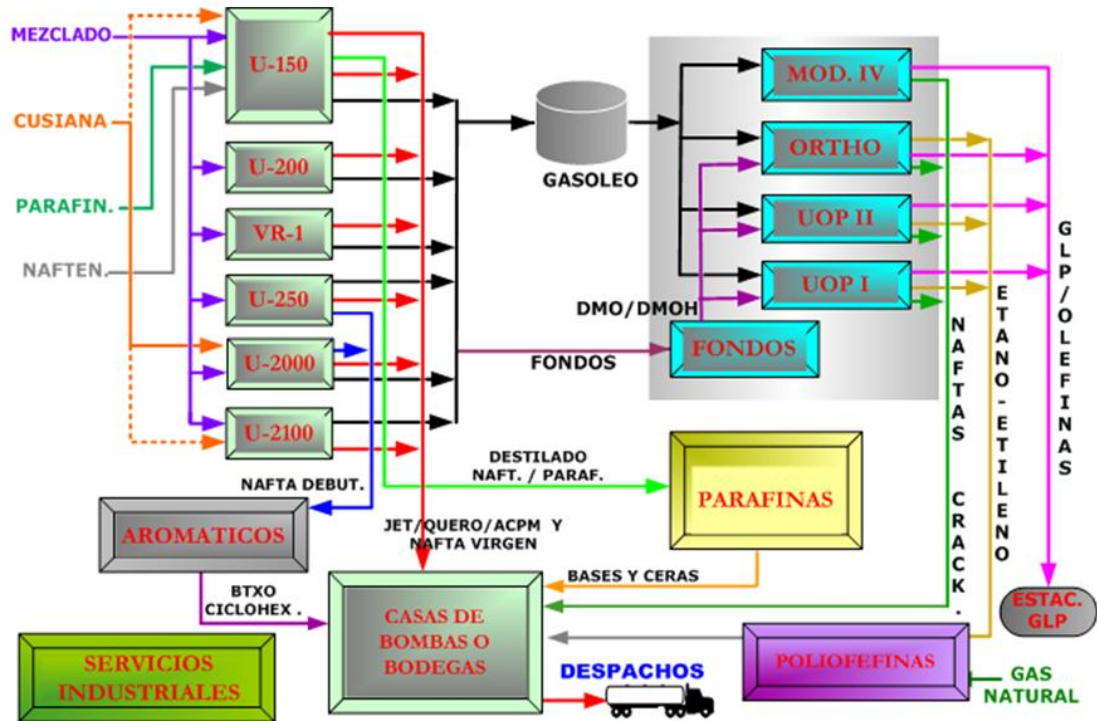
1.4 ALCANCE O DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Realizar el estudio técnico y financiero para reemplazar los sellos húmedos del compresor C-4251 considera la condición actual de operación del equipo respecto al funcionamiento, mantenimiento, confiabilidad, emisiones del sistema y sus respectivos costos asociados (sin proyecto) para analizarlos en un horizonte de trabajo respecto a la tecnología de sellos secos (con proyecto) y determinar de forma concreta la viabilidad del proyecto en un escenario sin financiación de terceros puesto que Ecopetrol dispone de una bolsa de recursos altos para el desarrollo de proyectos a nivel nacional que supera ampliamente el monto máximo que requiere este caso.

1.5 FLUJO DEL PROCESO PLANTA UOPII

La planta de UOPII es el lugar donde se va a llevar a cabo el proyecto, dentro del esquema general de la refinería se identifica como una de las cuatro unidades de ruptura catalítica donde las salidas del proceso son productos intermedios y productos finales dentro de los cuales están las naftas de *cracking*, etano, etileno, GLP y oleofinas, para continuar con los demás procesos compuestos por el sistemas de plantas de la refinería.

Figura 3. Esquema simplificado de operaciones.



Fuente: Ecopetrol GCB⁶

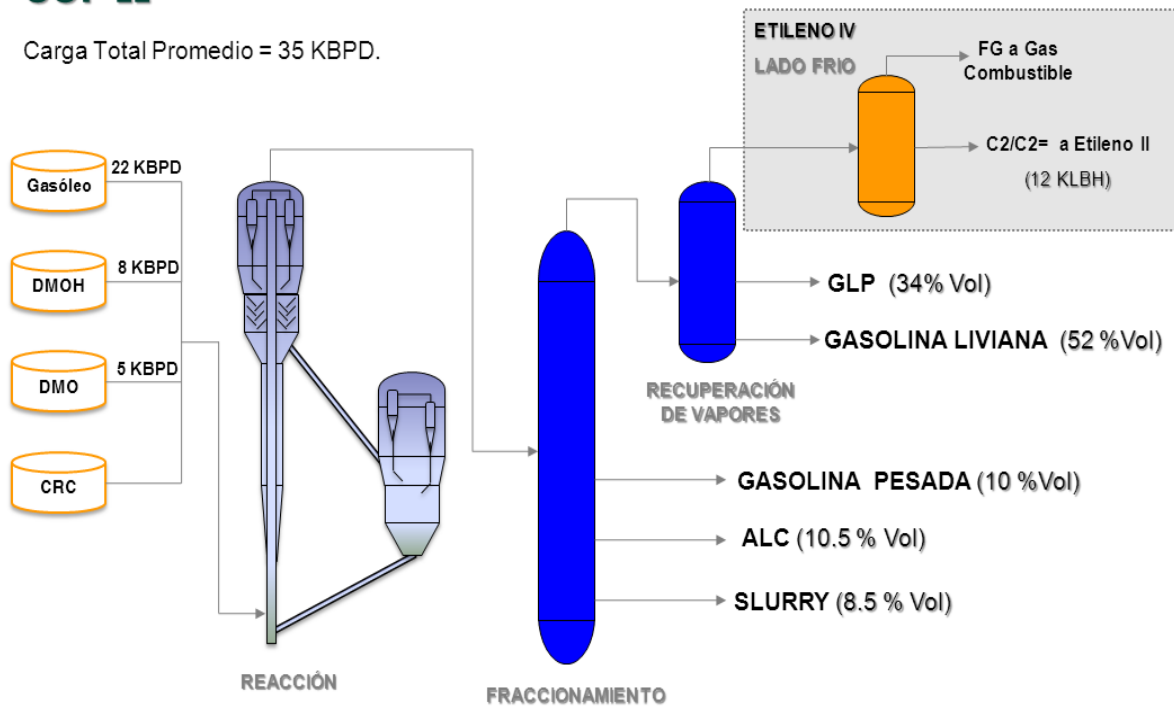
El *Cracking* Catalítico es un proceso de ruptura catalítica para conversión de fracciones pesadas de hidrocarburos en productos más livianos y de mayor valor económico. Durante este proceso se presenta un fenómeno de expansión volumétrica superior al 5%. GRB cuenta con 4 Unidades de Ruptura Catalítica (URC): Modelo IV, *Orthoflow*, UOP I y UOP II.

⁶ <http://iris> - Intranet Ecopetrol S.A. – Departamento de programación GRB.

Figura 4. Flujo de proceso

UOP II

Carga Total Promedio = 35 KBPD.



Fuente: <http://iris> - Intranet Ecopetrol S.A. – Departamento de programación GRB.

El compresor centrífugo C-4251 es uno de los equipos más importantes de la planta de UOP II, trabaja continuamente las 24Hrs al día y una salida no programada en la operación de este compresor ocasiona parada de planta, es decir que es un equipo crítico y se considera de vital importancia la confiabilidad mecánica y operativa que pueda brindar este compresor centrífugo para la producción de la planta y su subsistema dentro de las demás plantas de la refinería.

1.6 DESCRIPCIÓN DE LA NECESIDAD ACTUAL

La condición actual de operación y mantenimiento del compresor C-4251 ofrece una baja confiabilidad mecánica, ocasionada por el sistema de sellado de los

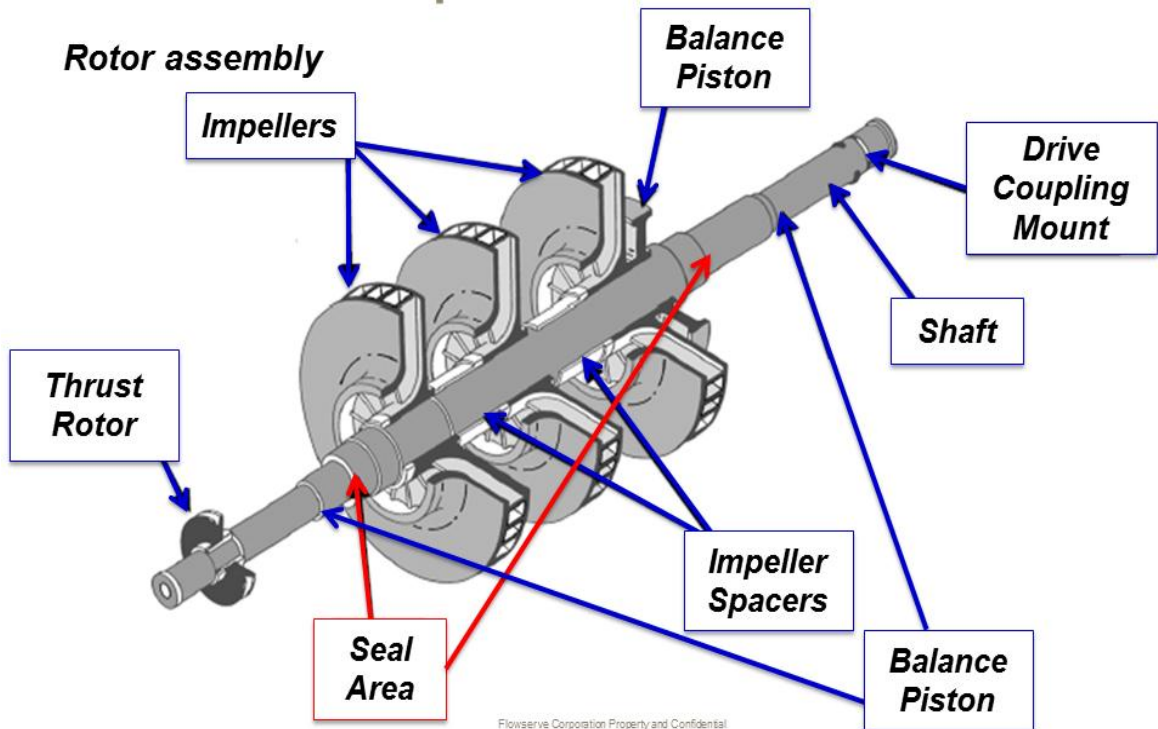
sellos de aceite o contacto húmedo debido a que garantizar su funcionamiento requiere de altos costos de operación, mantenimiento, asignación de recursos en personal, equipos y herramienta, dentro de los que cabe mencionar:

- Consumo y reposición de aceite limpio diario por contaminación.
- MSCFM (millones de pies cúbicos estándar) de gas del proceso quemado en la tea y mezclado con el aceite barrera.
- Reposición de sellos completos antes de tiempo.
- Consumos de potencia (Kw*hr) continua (24hrs) por bombas y ventiladores del sistema de lubricación del aceite barrera.
- Subcontratación para dar uso final al aceite contaminado.
- Mano de obra calificada en las especialidades de mecánica, operaciones, confiabilidad, eléctrica e instrumentista.
- Mano de obra con la cuadrilla de mantenimiento.

El compresor centrífugo C-4251 fue fabricado en 1993 y desde que fue instalado en la planta ha operado con sellos de aceite o contacto húmedo, estos sellos usan aceite a alta presión como barrera contra el escape del gas.

Los compresores centrífugos requieren sellos alrededor del eje rotativo para evitar que los gases se escapen en la zona donde el eje sale de la envoltura, tapa o carcasa del compresor.

Figura 5. Rotor compresor centrífugo



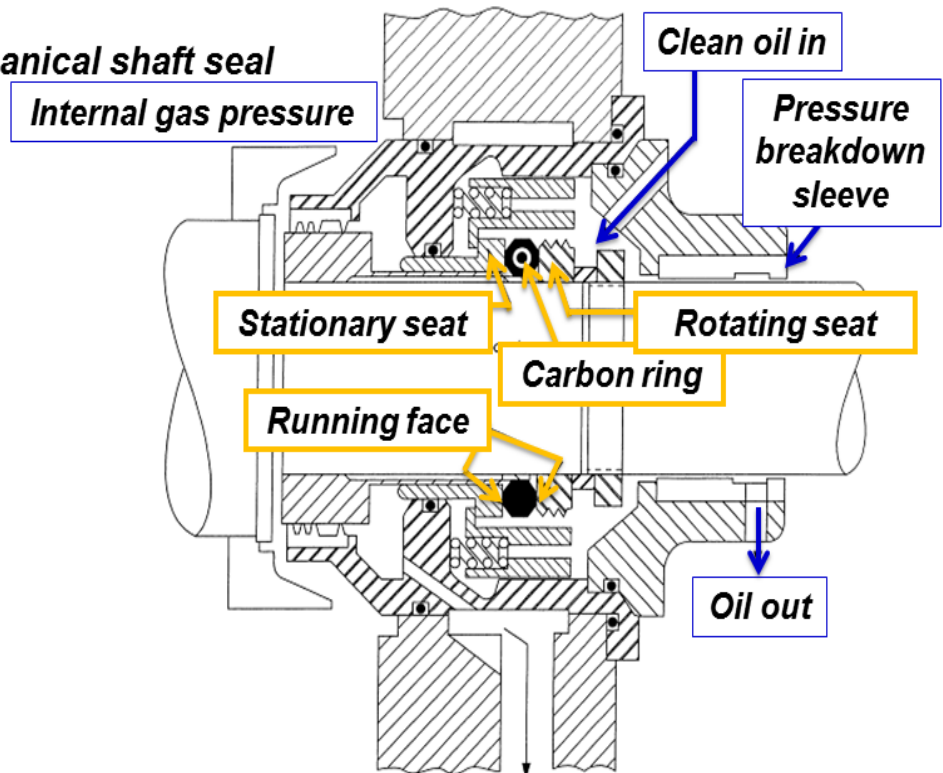
Fuente: Gaspac Dry Gas Seal Flowserve Corporation.

El compresor C-4251 tiene dos sellos, uno en cada extremo del compresor, mientras que los compresores “en voladizo” tienen sólo un sello “hacia dentro” en el lado (motor). Como se muestra en el Figura 6, estos sellos usan aceite, el cual circula a alta presión entre tres anillos alrededor del eje del compresor, formando una barrera contra las fugas de gas comprimido.

El anillo central está sujeto al eje rotativo, mientras que los dos anillos en cada extremo son estacionarios en la envoltura del sello, colocados contra una película fina de aceite entre los anillos para lubricar y actuar como barrera contra fugas. Los O-rings en elastómero evitan las fugas alrededor de los anillos estacionarios.

Figura 6. Sello de aceite.

Wet (oil) mechanical shaft seal



Fuente: Gaspac Dry Gas Seal Flowserve Corporation.

Muy poco gas escapa a través de la barrera de aceite; se absorbe mucho más gas en el aceite sometido a alta presión en la interfaz de aceite/gas del sello del lado proceso, por lo que contamina el aceite del sello. El aceite del sello se purga del gas absorbido usando calentadores, tanques de evaporación y técnicas de desgasificación y se recircula. El gas recuperado comúnmente se ventila a la atmósfera.

“Se ha descubierto que reemplazar sellos húmedos o aceite por sellos secos reduce importantemente los costos de Operación y las emisiones de gas. Las emisiones de gas de los sellos húmedos fluctúan generalmente de 40 a 200 pies cúbicos estándar por minuto scfm. La mayoría de esas emisiones ocurren cuando al aceite circulante se le quita el gas que absorbe en la cara del sello de alta presión.

Los sellos secos, los cuales usan gas a alta presión para sellar el compresor, emiten menos gas (hasta 6 scfm), tienen requisitos más bajos de energía, mejoran la eficiencia operativa y el rendimiento del compresor y la tubería, mejoran la confiabilidad del compresor y necesitan mucho menos mantenimiento”⁷.

1.7 ANÁLISIS DE MERCADOS

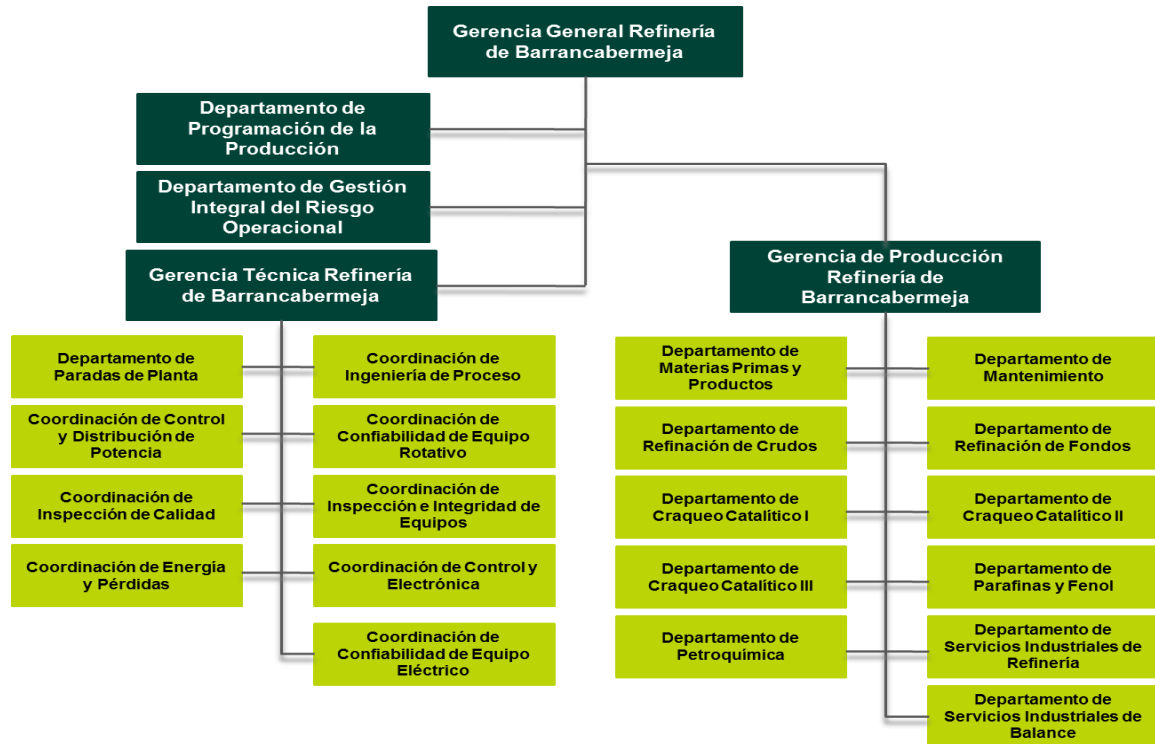
Para el desarrollo de este proyecto no se hace necesario la realización de un estudio de mercados, debido a que no se producen cambios, la producción sigue siendo la misma en consecuencia los mercados no se afectan y aunque el compresor puede tener condiciones de operación similares a otras aplicaciones su comportamiento y análisis financiero es completamente diferente según cada servicio o uso del compresor centrífugo.

1.8 ENTORNO ESPECÍFICO O MICROENTORNO

La Refinería de Barrancabermeja hace parte de la Vicepresidencia Ejecutiva del Downstream. El compresor centrífugo identificado con el Tag C-4251 Marca Elliott Modelo 38M6I está ubicado en la planta UOPII del departamento de Craqueo Catalítico II, perteneciente a la Gerencia de Producción de la Refinería de Barrancabermeja.

⁷ NATURAL GAS STAR PARTNERS, Replacing Wet Seals with Dry Seals in Centrifugal Compressors, United States Environmental Protection Agency Air and Radiation.

Figura 7. Estructura Gerencia Refinería Ecopetrol



Fuente: Ecopetrol S.A. Departamento de programación

2. DESCRIPCIÓN DE LA VIABILIDAD LEGAL Y AMBIENTAL DEL PROYECTO

De acuerdo a la constitución política de Colombia se identifica este proyecto dentro del sistema de derechos colectivos y medio ambiente:

- Derecho al ambiente sano.
- Deber estatal de planificar el manejo y aprovechamiento de recursos naturales para garantizar el desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.

Estos derechos constitucionales impactan positivamente la ejecución del proyecto y ayudan a soportar las mejoras y adecuaciones que son necesarias realizar para controlar las diferentes fuentes de contaminación relacionadas con esta actividad.

2.1 MARCO JURÍDICO

Aplica para el territorio Colombiano dentro del área de la Refinería de Barrancabermeja propiedad de Ecopetrol S.A. donde se encuentra ubicado el compresor centrífugo C-4251 objeto de este proyecto.

La condición actual “sin proyecto” del sistema de sellado del compresor centrífugo C-4251 estima un rango de emisiones a la atmosfera entre 40 y 200 scfm que afecta el medio ambiente por la quema de estos gases que ayudan con el efecto invernadero, adicionalmente se debe tener en cuenta que tenemos otro ingrediente como lo es el aceite contaminado con gas que tiene una disposición final por la cual Ecopetrol está subcontratando su tratamiento y disposición final, pero que sigue generando un impacto negativo por contaminación.

El escenario relacionado “con proyecto” genera una disminución en las emisiones de gas de proceso, se estima hasta 6scfm y adicionalmente no usa el aceite como barrera lo que evita el impacto negativo en la contaminación del aceite y evitaría a Ecopetrol la subcontratación por la disposición final de aceite contaminado.

Siguiendo con el marco jurídico que se relaciona con el proyecto a continuación nos permitimos mencionar algunos artículos de la resolución 0909 de 2008 en la cual se establecen algunas regulaciones que caben mencionar en este capítulo de la monografía.

2.1.1 Resolución 909 de 2008.⁸ Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.

Dentro de las cuales se aplican los siguientes artículos que competen con el objeto de este proyecto, ver la siguiente tabla:

Tabla 2. Artículos Resolución 0909 de 2008.

Artículo	Título
4	Estándares de emisión admisibles para actividades industriales.
5	Factores de equivalencia para dioxinas y furanos.
6	Actividades industriales y contaminantes a monitorear por actividad industrial.
22	Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las actividades existentes de fabricación de productos de la refinación del petróleo.
72	Métodos de medición de referencia para fuentes fijas.
73	Métodos alternativos para realizar la medición en ductos y chimeneas.
74	Realización de mediciones directas.

⁸ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 0909/1998

Artículo	Título
75	Medición continúa de las emisiones.
76	Cumplimiento de estándares.
77	Realización de estudios mediante medición de emisiones.
83	Plan de Reconversión a Tecnología Limpia.

Los anteriores artículos y sus tablas relacionadas se encuentran en el Anexo 1.

2.1.2 Exención Tributaria⁹. El proyecto podría ser objeto de una exención tributaria que corresponde a la implementación de un equipo importado para el sistema de sellado con tecnología de sellos secos lo cual garantiza una reducción de emisiones y una menor demanda de potencia que se refleja en ahorros energéticos para la operación de estos equipos, para cumplir con la exención se necesitarían algunos instrumentos adicionales que no están contemplados en este estudio pero que se podrían tener en cuenta en la siguiente fase de factibilidad de este proyecto.

Ley 223 de 1995. Deducción de hasta el 20% en la Renta Líquida por inversiones en mejoramiento y control ambiental. Artículo 158-2, Estatuto Tributario. Exclusión del IVA en equipos y elementos nacionales o importados, destinados a sistemas de control y monitoreo ambiental y 428, literal Estatuto Tributario.

2.2 CONTRATACIÓN

El tipo de contratación requerida para este proyecto es del tipo llave en mano ya que demanda personal calificado y experto con herramientas especiales y el uso

⁹ BENEFICIOS FISCALES E INCENTIVOS TRIBUTARIOS PARA LA INVERSIÓN AMBIENTAL. Ley 223/1995

de equipos específicos del fabricante con el *know how* y la experticia que demanda.

Las personas que realizan este trabajo son expertos con más de 20 años de recorrido en la aplicación de esta tecnología de sellos secos lo que garantiza que el riesgo que pueda generar el uso de esta tecnología sea mitigado por el *know how* de este equipo de trabajo.

2.3 LOCALIZACIÓN

El proyecto se desarrollara dentro del área de la Refinería de Barrancabermeja propiedad de Ecopetrol S.A. donde se encuentra ubicado el compresor centrífugo objeto de este proyecto. Las normas que rige el desarrollo de las actividades del proyecto están constituidas en el reglamento interno vigente de Ecopetrol S.A. Gerencia Refinería de Barrancabermeja para la ejecución de trabajos.

2.4 LICENCIA AMBIENTAL

No se requiere ningún tipo de licencia ambiental por tanto los equipos actualmente están en funcionamiento y el cambio o mejora con la tecnología propuesta se debe regir en mantenerse en el mínimo de los límites permisibles de emisión de acuerdo a los artículos mencionados anteriormente de la resolución 909 de 2008.

2.5 USO DEL SUELO

Son terrenos dentro de la refinería de Ecopetrol que no requieren ser modificados a su condición actual para los equipos del proyecto por lo tanto no aplica.

2.6 ORGANIZACIÓN

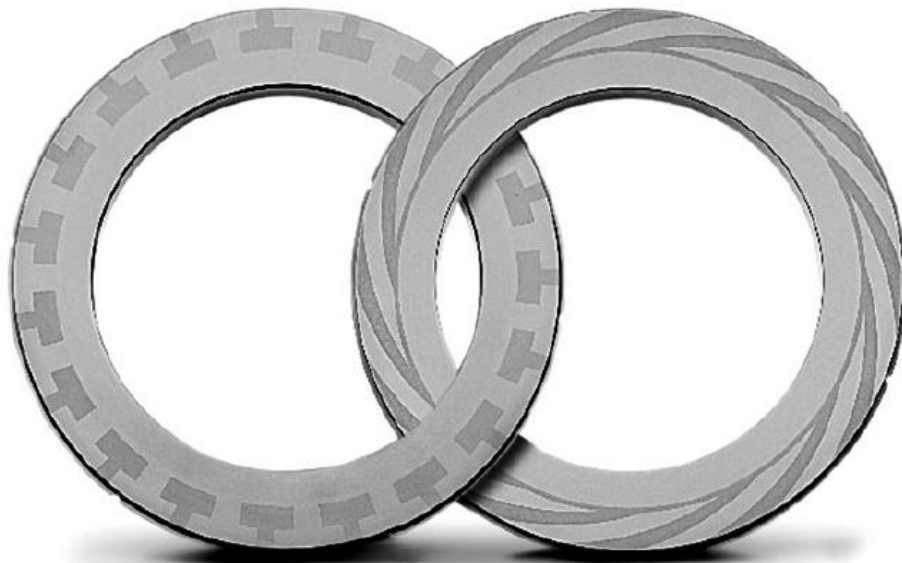
El proyecto deberá ser realizado por una firma especialista en la tecnología de sellos secos para la cual y por las características del proyecto se requiere que sea del tipo organización por proyecto.

3. ESTUDIO TÉCNICO

3.1 TECNOLOGÍA SELLOS SECOS

Una alternativa al sistema tradicional de sellos húmedos (aceite) es el sistema de sellos secos. Este sistema de sello no usa ningún aceite circulante de sellado. Los sellos secos operan mecánicamente bajo la fuerza opuesta creada por las ranuras hidrodinámicas y la presión estática.

Figura 8. Tecnología de sellos secos.

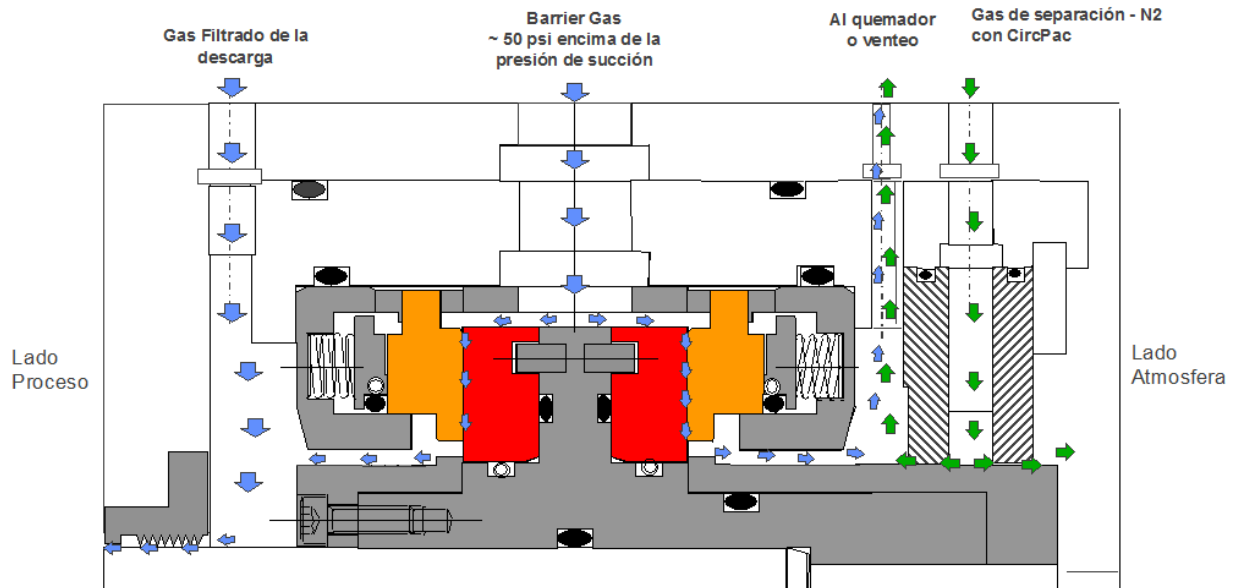


Fuente: Gaspac Dry Gas Seal Flowserve Corporation.

Las ranuras hidrodinámicas están grabadas en la superficie de las caras giratorias sujetas al eje del compresor. Cuando el compresor no está girando, la cara estacionaria en la brida del sello está presionada contra la cara rotatoria por medio de resortes. Cuando el eje del compresor gira a alta velocidad, el gas comprimido tiene solo un camino para fugarse por el eje y eso es entre las caras giratorias y

las estacionarias. Este gas se bombea entre las caras mediante ranuras en la cara giratoria.

Figura 9. Flujos de Gas a través de las caras del sello seco



Fuente: Gaspac Dry Gas Seal Flowserve Corporation.

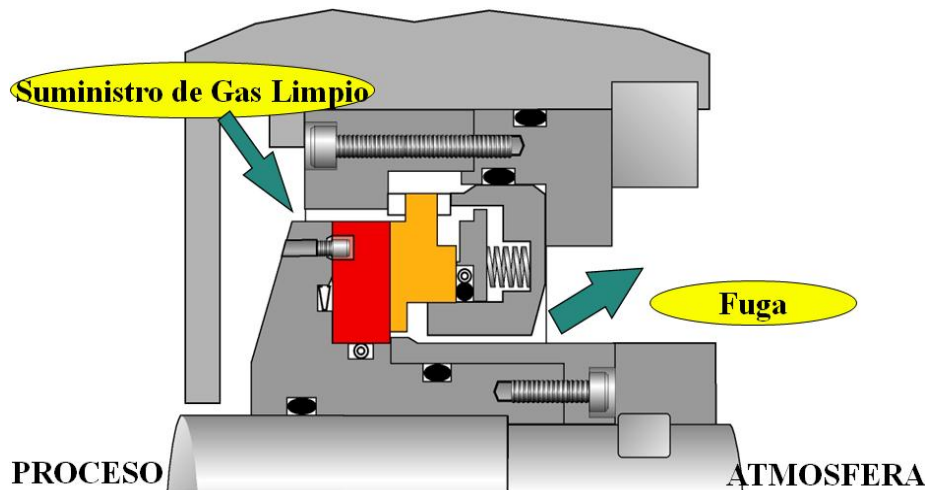
La fuerza opuesta de gas a alta presión que se bombea entre las caras y los resortes tratando de empujar las caras entre sí, crea un espacio demasiado delgado entre las caras a través del cual puede fugarse un poco de gas. Mientras el compresor está funcionando, las caras no están en contacto entre si y por lo tanto, no se desgastan ni necesitan lubricación. Los O-rings sellan las caras estacionarios en la caja del sello.

3.2 TIPOS DE SELLOS SECOS

3.2.1 Sello seco sencillo. Un diseño de sello sencillo es apropiado para aplicaciones en las que el gas sellado, tal como aire, nitrógeno o dióxido de carbono no es inflamable ni nocivo para el medio ambiente y la fuga del sello va a

la atmósfera. Un sello *Circpac* o laberinto puede integrarse para reducir la cantidad de fuga en el caso de una falla.

Figura 10. Sello seco sencillo



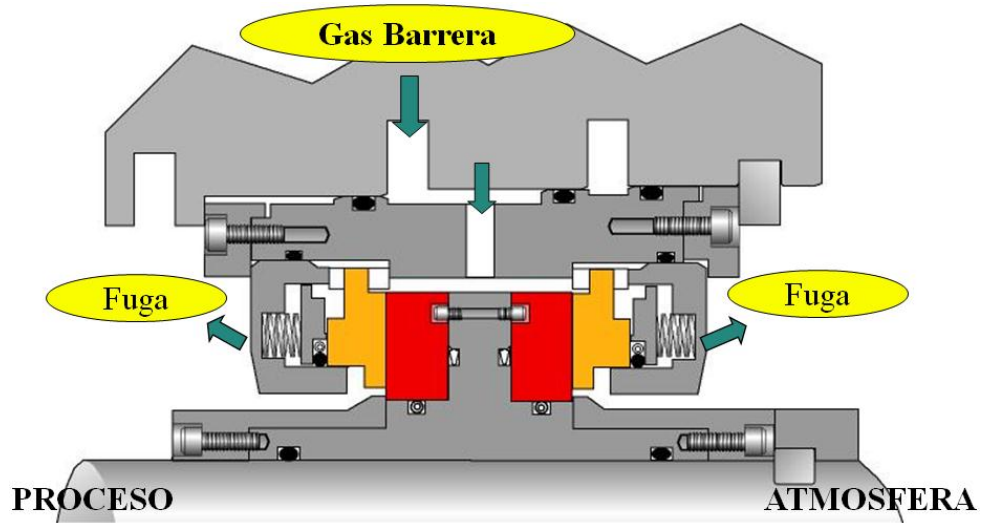
Fuente: Gaspac Dry Gas Seal Flowserve Corporation.

Los límites de funcionamiento estándar de este arreglo de sello son:

Presión: 0 @ 3600psi
Temperatura: -150°F@450°F
Velocidad: 180fpm@49200fpm
Tamaño de eje: 1,500"@14,125"

3.2.2 Sello seco doble *Face to Face*. La configuración de sello doble opuesto o *Face to Face* requiere una presión del gas barrera mayor a la presión del gas de proceso que está siendo sellado. Dicha configuración puede ser usada cuando no se permite una fuga en el gas de proceso, cuando el consumo de gas filtrado de separación necesita ser disminuido o en aplicaciones de gas sucio o de baja presión cuando la presión de la Tea podría exceder la presión de sellado.

Figura 11. Sello seco doble *Face to Face*.



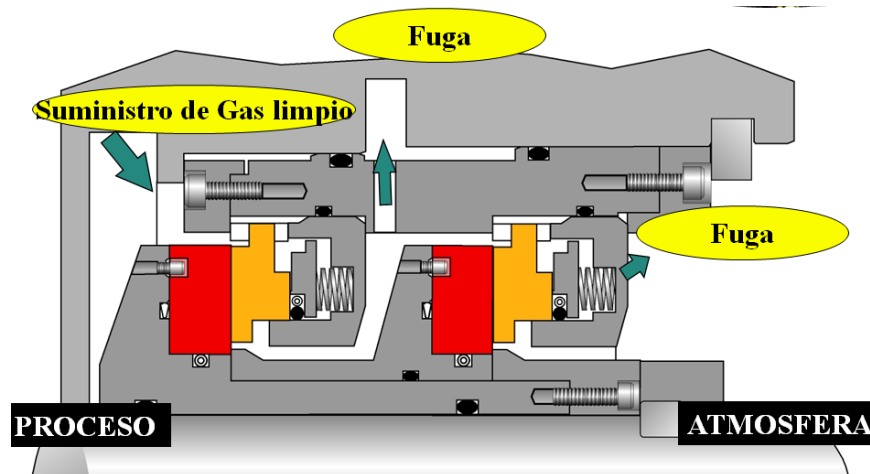
Fuente: Gaspac Dry Gas Seal Flowserve Corporation.

Los límites de funcionamiento estándar de este arreglo de sello son:

Presión: 0 @ 870psi
Temperatura: -150°F@400°F
Velocidad: 180fpm@27600fpm
Tamaño de eje: 1,500"@14,125"

3.2.3 Sello doble *Tándem*. El sello tándem brinda un soporte completo de la presión del gas sellado a través de las caras del sello primario. Las caras del sello secundario normalmente funcionan a baja presión. En el caso de una falla en el sello primario, el sello secundario actúa como un sello de respaldo. El gas de proceso tiene una fuga controlada a través de ambos juegos de caras del sello. Dicho sello tándem se ha convertido en un estándar de la industria para hidrocarburo o para aplicaciones críticas.

Figura 12. Sello doble Tándem



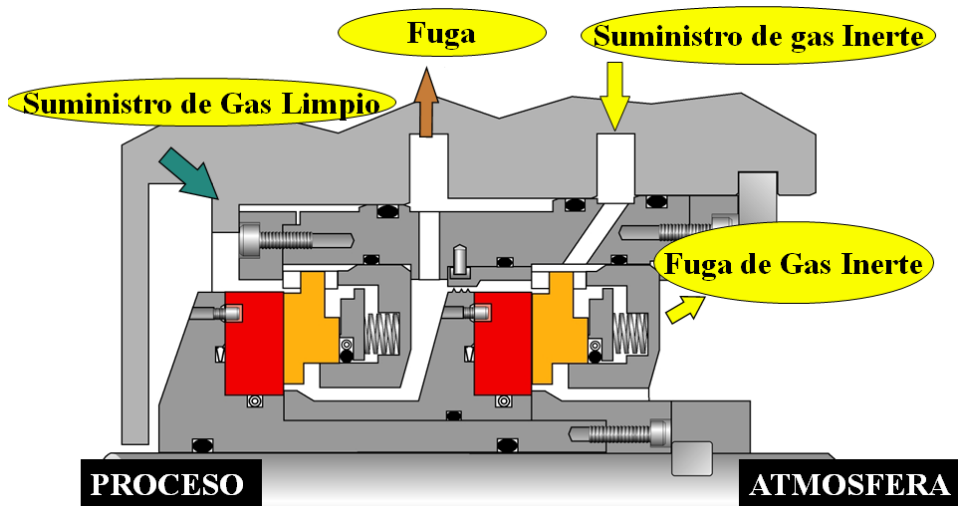
Fuente: Gaspac Dry Gas Seal Flowserve Corporation.

Los límites de funcionamiento estándar de este arreglo de sello son:

Presión: 0 @ 3600psi
Temperatura: -150°F@450°F
Velocidad: 180fpm@49200fpm
Tamaño de eje: 1,500"@14,125"

3.2.4 Sello doble tándem con laberinto. El sello *tándem* con laberinto de inter-etapa es utilizado para eliminar las fugas del gas de proceso a la atmósfera. Esto se logra mediante la introducción de un gas inerte en el sello secundario y con la presión de gas inerte levemente superior, el laberinto de inter-etapa evitará que el gas de proceso migre hacia las caras del sello secundario. El laberinto de inter-etapa brinda una solución a baja presión para controlar las emisiones a través de un sello de gas.

Figura 13. Sello doble *tándem* con laberinto



Fuente: Gaspac Dry Gas Seal Flowserve Corporation.

Los límites de funcionamiento estándar de este arreglo de sello son:

Presión: 0 @ 3600psi
Temperatura: -150°F@450°F
Velocidad: 180fpm@49200fpm
Tamaño de eje: 1,500"@14,125"

3.3 SISTEMAS AUXILIARES

El principio de operación de los sellos secos se basa en la compresión entre caras del gas, a través de sus ranuras, por lo que los siguientes puntos afectan a este principio, perdiéndose así la estabilidad de la película de gas entre caras.

- Presencia de Aceite en el gas de sellos proveniente de (compresor recíprocante *make up*).

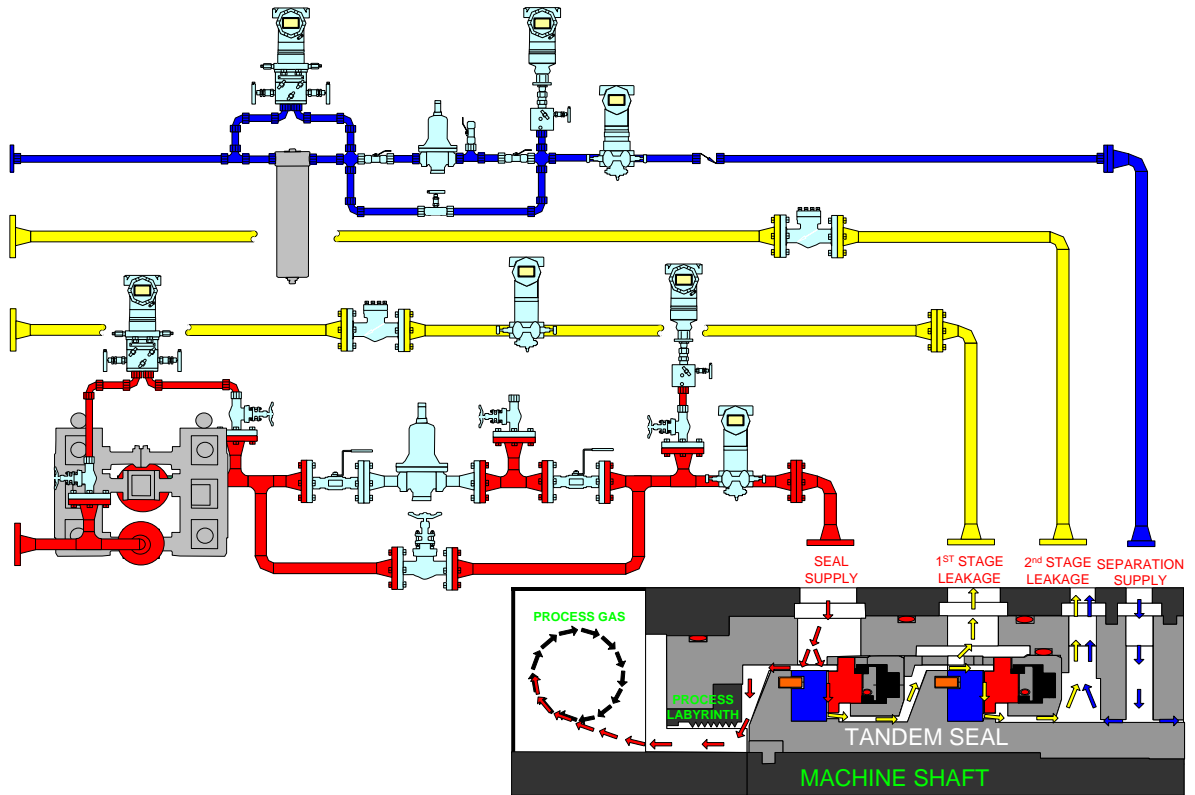
- Presencia de residuos en el gas de sellos proveniente de composición del gas y/o carbonización del mismo.
- Presencia de Condensados en el gas de sellos debido a problemas con la temperatura “Punto de Rocío”
- Para que los sellos secos operen correctamente se requieren las siguientes condiciones:
 - Gas seco por lo menos 20°C por encima del punto de rocío del Gas proceso.
 - Gas Limpio y filtrado a 1 micra.
 - La velocidad del gas a través del laberinto interior debe ser de 9 a 24 ft/sec (50 scfm a 100 scfm).
 - El adecuado flujo durante todos los modos de operación.

Para lograr esas condiciones deseadas existen equipos auxiliares que se han diseñado para lograr ese propósito los cuales se relacionan a continuación.

3.3.1 Sistema de filtrado.

- Remueve grandes volúmenes de líquidos (por encima del 10%).
- Ayuda a eliminar la contaminación antes de llegar a los filtros del panel.
- Retira los líquidos para prevenir disoluciones.

Figura 14. Esquema sistemas auxiliares.



Fuente: Dry Gas Seal Specialist

3.3.2 Calentador/Enfriador.

- Se requiere para aumentar la temperatura del gas por encima de 20°C en el punto del rocío.
- En algunos casos se requiere el uso de un enfriador, este caso ocurre cuando la temperatura de succión está por debajo del punto de rocío del gas o cuando el punto de rocío del gas es alrededor de 120 Deg F (50 Deg C)

3.3.3 Booster. Es un sistema de precarga que fue desarrollado para ayudar a eliminar la contaminación del proceso, que es la causa número uno de fallas en los sellos secos de gas, evitando el flujo reverso en sello.

Utilizado para suministrar un volumen suficiente de flujo de gas limpio y filtrado al sistema de alimentación para el sello seco durante los momentos de baja presión diferencial del compresor.

Puede configurarse como una unidad portátil, como un panel independiente o integrado a un panel de control de sello seco de gas o como un panel acondicionador de gas filtrado.

3.4 TIPO DE SELLO Y SISTEMA AUXILIAR RECOMENDADO

Las condiciones de operación del compresor son las que se describen a continuación:

Figura 15. Condiciones de operación C-4251

OPERATING CONDITIONS								
(ALL DATA ON PER UNIT BASIS)	NORMAL		RATED		LMW		TURNDOWN	
STAGE	1	2	1	2	1	2	1	2
<input type="radio"/> GAS HANDLED (ALSO SEE PAGE 2)	HC		→		→		→	
<input type="radio"/> MMSCFD (14.7 PSIA & 60 F DRY)	39.4	40.1	43.3	44.1	42.22	42.88	30.56 (1)	26.45 (2)
<input type="radio"/> WEIGHT FLOW, #/MIN (WET) (DRY)	2831	2718	3114	2990	2910	2790	2198 (1)	2018 (2)
INLET CONDITIONS:								
<input type="radio"/> PRESSURE (PSIA)	27.7	78.2	25.2	74.8	25.2	73.9	28.2	78.8
<input type="radio"/> TEMPERATURE (F)	100	100	100	100	100	100	100	100
<input type="radio"/> RELATIVE HUMIDITY (%)								
<input type="radio"/> MOLECULAR WEIGHT (M)	39.3	37.05	39.3	37.05	37.7	35.6	39.3	37.05
<input type="checkbox"/> C _w C _v (K _v) OR (K _{v,w})	1.154	1.187	1.153	1.185	1.156	1.185	1.154	1.187
<input type="checkbox"/> COMPRESSIBILITY (Z ₁) OR (Z _{1,w})	0.979	0.949	0.981	0.952	0.983	0.952	0.979	0.949
<input type="checkbox"/> INLET VOLUME, (CFM-WET)	15294	5389	18528	6210	18093	6115	11659 (1)	3977 (2)
DISCHARGE CONDITIONS:								
<input type="radio"/> PRESSURE (PSIA)	89.0	232.0	87.7	233.8	86.8	233.8	83.1	226.5
<input type="checkbox"/> TEMPERATURE (F)	205	212	212	218	213	219	199	210
<input type="checkbox"/> C _w C _v (K _v) OR (K _{v,w})	1.145	1.188	1.143	1.185	1.144	1.185	1.145	1.187
<input type="checkbox"/> COMPRESSIBILITY (Z ₂) OR (Z _{2,w})	0.963	0.921	0.965	0.924	0.969	0.925	0.965	0.922
<input type="checkbox"/> BHP REQUIRED (ALL LOSSES INCL)	5802		6841		6658		4264	
<input type="checkbox"/> SPEED (RPM)	7115		7516		7605		6715	
<input type="checkbox"/> ESTIMATED SURGE, ICFM	11265	4075	12160	4730	12240	4720	10400	3500
<input type="checkbox"/> POLYTROPIC HEAD (FT)	27300	26124	29394	27608	30526	29078	25171	25335
<input type="checkbox"/> POLYTROPIC EFFICIENCY (%)	80.5	76.1	80.7	75.1	80.7	75.6	78.7	74.7
<input type="radio"/> GUARANTEE POINT	Yes	Yes	No	No	No	No	No	No
<input type="checkbox"/> PERFORMANCE CURVE NO.	W401/02	W403/04	W405/06	W407/08	W409/10	W411/12	W413/14	W415/16

Fuente: Tomado de la hoja de datos del C-4251

La selección del tipo de sello adecuado se realiza de acuerdo a la cromatografía del gas proceso la cual se puede identificar en la siguiente tabla.

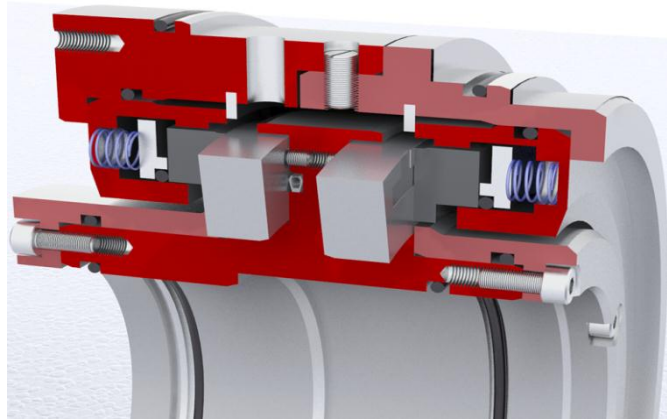
Figura 16. Cromatografía gas proceso C-4251

GAS ANALYSIS: ☒ MOL % ○ _____		OPERATING CONDITIONS, CONT'D								
		NORMAL RATED # TURNDOWN		OTHER CONDITIONS						
		1 ST STAGE	2 ND STAGE	L	M	W	C	D		
	MW			1 ST STAGE	2 ND STAGE					
AIR	28.966									
OXYGEN	32.000									
NITROGEN	28.016	4.10	4.03	3.80	3.74					
WATER VAPOR	18.016	3.43	1.25	3.43	1.25					
CARBON MONOXIDE	28.010	0.28	0.41	0.26	0.38					
CARBON DIOXIDE	44.010	0.85	1.06	0.78	0.99					
HYDROGEN SULFIDE	34.076	1.88	2.27	1.78	2.15					
HYDROGEN	2.016	9.07	9.34	13.83	14.03					
METHANE	16.042	15.74	17.47	14.56	16.23					
ETHYLENE	28.052	7.36	7.67	6.82	7.13					
ETHANE	30.068	7.36	8.40	6.82	7.82					
PROPYLENE	42.078	12.00	12.15	11.38	11.57					
PROPANE	44.094	3.90	6.60	3.72	6.26					
i-BUTANE	58.120	5.47	6.62	5.16	8.77					
n-BUTANE	58.120	1.74	2.13	1.66	6.28					
i-PENTANE	72.146	4.25	3.93	4.16	2.03					
n-PENTANE	72.146	0.74	0.52	0.73	4.31					
HEXANE PLUS		5.94	2.62	5.90	3.87					
BUTYLENE		10.03	9.17	9.51	0.53					
PENTYLENE		5.86	4.36	5.70	2.66					
TOTAL		100.00	100.00	100.00	100.00					
AVG. MOL. WT.		39.3	37.05	37.67	35.56					

Fuente: Tomado de la hoja de datos del C-4251

El diseño tipo doble *Face to Face* es el modelo que más se ajusta a las necesidades de la aplicación fundamentalmente por:

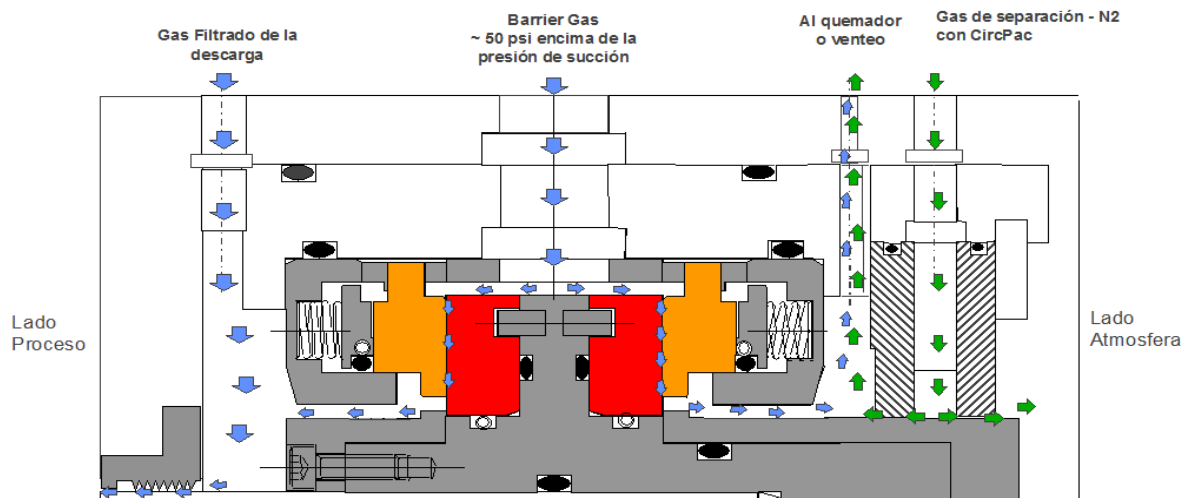
Figura 17. Sello seco doble *Face to Face*



Fuente: Gaspac Dry Gas Seal Flowserve Corporation.

- No es permisible ninguna fuga del gas proceso.
- Su rango de presión es bajo (por debajo de 500psi)
- Su gas proceso es sucio (humedad, partículas, etc.)
- El consumo del gas de separación debe ser mínimo.

Figura 18. Flujos de Gas a través de las caras del sello seco.



Fuente: Gaspac Dry Gas Seal Flowserve Corporation.

Basado en el gas del proceso o de alimentación del sello se identifican líquidos condensables, para ello se recomienda que el panel del sistema auxiliar incluya acondicionamiento del sistema de filtrado, calentador y *booster*, para asegurar que el proceso a base de gas de sellado sea de suficiente calidad para permitir el correcto funcionamiento de los sellos secos de gas.

Uso de un *Booster* operado por aire para suministrar un flujo de gas filtrado durante los arranques, paros o cuando se tienen problemas con la diferencial de presión.

Sistema de Pre-filtrado con capacidad de remover grandes cantidades de líquidos o aerosoles, presentes en el Gas de suministro a sellos.

Aislar o trazar las tuberías de suministro de gas garantizando que el gas suministrado tenga una temperatura de por lo menos 20° C por encima del punto de rocío del gas de proceso.

3.5 LOCALIZACIÓN

Planta de craqueo catalítico II UOPII de la refinería de Barrancabermeja.

4. ESTUDIO FINANCIERO

En esta sección se relacionaran los dos escenarios planteados para realizar el análisis financiero y posteriormente realizar la evaluación financiera los valores mostrados son el dólares americanos.

4.1 ANÁLISIS ACTUAL SIN EL PROYECTO (SISTEMA CONVENCIONAL)

A continuación se mencionan los costos asociados a la condición operativa actual del compresor C-4251 con su sistema de sellado convencional dentro de los que se relacionan las diferentes variables que afectan el costo del operación y mantenimiento de los sellos húmedos en el compresor centrífugo C-4251.

4.1.1 Costos y gastos de operación asociados al aceite barrera. La operación de los sellos de aceite tiene un consumo asociado al uso del aceite barrera, en la siguiente tabla se muestra el consumo actual de aceite y el valor del aceite.

Tabla 3. Costos y gastos de operación asociados al aceite barrera.

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Consumo actual de aceite en los sellos	137,5	galón /día
Costo de aceite	\$6,32	\$ / galón
Manejo de aceite contaminado	\$15.000	\$ / año

4.1.2 Costos del gas quemado, venteado o contaminado. Los sellos de aceite generan emisiones en un rango de 40 a 200scfm por cada sello de aceite, para este caso vamos a realizar la consideración del menor de los consumos para nuestro análisis, es decir una fuga conservadora estimada de 40 scfm por cada

sello, el valor comercial del gas está en \$0,002/ ft³ aproximadamente, este valor fue suministrado por la planta UOPII de la refinería.

Tabla 4. Costos del gas quemado, venteado o contaminado.

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Fuga estimada del proceso a Tea	80,0	scfm / 2 sello
Costo de pérdidas de Gas	\$0,002	\$ / cubic ft

4.1.3 Costos y gastos de operación por consumo de potencia de sistemas auxiliares. Lograr que el sistema de lubricación de los sellos de aceite opere y tenga su circulación y recuperación asocia ciertos equipos que continuamente están operando junto con el compresor principal C-4251 las 24hrs del día durante todo el año, lo cual demanda un consumo de energía eléctrica, los consumos de energía se relacionan en la siguiente tabla, el valor de KWhr fue suministrado por por la planta UOPII de la refinería.

Tabla 5. Costos y gastos de operación por consumo de potencia de sistemas auxiliares.

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Consumo de potencia Bombas de aceite	18,6	KW
Consumo de potencia bombas de vacío/ventilador	11,2	KW
Costo de KWhr en la planta	\$0,100	\$ / KW*hr

4.1.4 Costos de mano de obra. El personal involucrado en la operación y mantenimiento se describe a continuación, también cabe aclarar que la parada no programada del compresor genera una perdida a la producción de la planta de U\$500.000 dólares día.

Tabla 6. Costos manos de obra personal involucrado.

MANO DE OBRA HH	CANTIDAD	HORAS	VALOR HH	TOTAL	FRECUENCIA
ELECTRICO (parada no prog.)	2	2	\$6,50	\$26,00	1 VEZ EN 5 AÑOS
MECANICO (parada no prog.)	2	12	\$6,50	\$156,00	1 VEZ EN 5 AÑOS
INSTRUMENTISTA (parada no prog.)	2	4	\$6,50	\$52,00	1 VEZ EN 5 AÑOS
MANTENEDOR (parada no prog.)	2	4	\$7,91	\$63,28	1 VEZ EN 5 AÑOS
OPERADOR (operación normal)	2	2	\$6,25	\$9.000,00	AÑO

Se asume que la parada que se da cada 5 años se presenta en el tercer año para efectos de cálculos y proyecciones. En la siguiente tabla se totalizan los valores de la tabla anterior.

Tabla 7. Costos totales mano de obra.

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Costos de mano de obra en parada no programada	\$297	\$ / 3 año
Costos de mano de obra en operación	\$9.000	\$ / año
Valor parada no programada	\$500.000	\$ / día
# De paradas en 5 años	1	n/a

4.1.5 Costo de repuestos completos para los sellos. El valor de los sellos completos de aceite se presenta en la próxima tabla, estos sellos tienen una vida útil de máximo 3 años debido a su confiabilidad.

Tabla 8. Costo de sellos de aceite.

DESCRIPCIÓN	VALOR	VALOR T.
Costo por unidad sello de aceite	\$18.000	\$36.000

4.1.6 Resumen costos y gastos sin proyecto. A continuación se totalizan en valores anuales los costos descritos en las tablas anteriores.

Tabla 9. Resumen costos y gastos sin proyecto.

<i>Hoja de costos sellos de aceite "sin proyecto"</i>			
<i>Número de Sellos en Compresor</i>	2		VALOR ANUAL
Valor de los repuestos actuales			
<i>Costo por unidad sello de aceite</i>	\$18.000		\$36.000
Costos y Gastos Operacionales			
<i>Consumo actual de aceite en los sellos</i>	137,5	galón / día	
<i>Costo de aceite</i>	\$6,32	\$ / galón	\$312.840
<i>Manejo de aceite contaminado</i>	\$15.000	\$ / año	\$15.000
<i>Fuga estimada del proceso a Tea</i>	80,0	scfm / 2sellos	
<i>Costo de pérdidas de Gas</i>	\$0,002	\$ / ft ³	\$82.944
<i>Consumo de potencia Bombas de aceite</i>	18,6	KW	\$16.105
<i>Consumo de potencia bombas de vacío/ventilador</i>	11,2	KW	\$9.660
<i>Costo de KWhr en la planta</i>	\$0,100	\$ / KW*hr	
<i>Costos de mano de obra en parada no programada</i>	\$297	\$ / 3 año	\$297
<i>Costos de mano de obra en operación</i>	\$9.000	\$ / año	\$9.000
<i>Parada no programada</i>	\$500.000	\$ / día	\$500.000
<i># De paradas en 5 años</i>	1		
		TOTAL	\$445.846

4.2 ANÁLISIS CON PROYECTO “SELLOS SECOS”

A continuación se relacionan los costos y valores relacionados con el uso de la tecnología de los sellos secos considerando las diferentes variables que afectan su análisis y valoración.

4.2.1 Valor de la inversión inicial. Contempla la compra de los sellos secos, su sistema auxiliar, instalación, comisionamiento y arranque.

Las personas que realizan este trabajo son expertos con más de 20 años de recorrido en la aplicación de esta tecnología de sellos secos lo que garantiza que el riesgo que pueda generar el uso de esta tecnología sea mitigado por el *know how* de este equipo de trabajo, esto explica porque el valor de la instalación, comisionamiento y arranque tiene un valor de \$500.000 dólares.

Tabla 10. Valor de la inversión inicial sellos secos.

DESCRIPCIÓN	VALOR	VALOR T.
Costo de cada sello seco	\$60.000	\$120.000
Costo del panel de control	\$345.000	\$345.000
Instalación y comisionamiento	\$500.000	\$500.000
	TOTAL	\$965.000

4.2.2 Costos del gas venteado. Los sellos secos tienen emisiones en un rango de 2 a 6 scfm, para las consideraciones del análisis se considerará el valor más alto, es decir el de 6 scfm por cada sello.

Tabla 11. Costos del gas venteado sellos secos.

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Fuga estimada del proceso a Tea	12,0	scfm / 2 sello
Costo de pérdidas de gas	\$0,002	\$ / cubic ft

4.2.3 Costos y gastos de operación por consumo de potencia de sistemas auxiliares. Están presentes en el arranque y parada del compresor o cuando hay diferenciales de presión que requieren la activación del booster del sistema auxiliar.

Tabla 12. Costos y gastos de operación por consumo de potencia de sistemas auxiliares sellos secos.

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Perdidas de potencia por fricción	1,5	KW
Costo de KWhr en la planta	\$0,100	\$ / KW*hr

4.2.4 Costos de mano de obra sellos secos en operación. Una vez el compresor ya está operando con el nuevo sistema de sellos secos su operación se simplifica y se considera que el operador debe disponer de 1 hr., diaria para revisar sus condiciones de operación sin ejecutar ninguna labor de desmontaje o intervención solo monitoreo de los instrumentos y condiciones de operación.

Tabla 13. Costos manos de obra personal involucrado sellos secos.

MANO DE OBRA HH	CANTIDA D	HORA S	VALOR HH	TOTAL	FRECUENCI A
OPERADOR (operación normal)	1	1	\$6,25	\$2.250,00	AÑO

4.2.5 Costo de kit de repuestos para los sellos. Los kits de reparación para los sellos secos son requeridos al inicio del año 6 debido a que la vida útil de los sellos secos son 5 años, luego de usar los kits de sellos secos, se acondicionan nuevamente y quedan listos para operar por otros 5 años adicionales.

Tabla 14. Costos kit de repuestos sellos secos al final de los 5 años.

DESCRIPCIÓN	VALOR	VALOR T.
Kits de reparación para 1 sellos seco	\$15.000	\$30.000

4.2.6 Resumen costos y gastos con proyecto “sellos secos”. A continuación se totalizan en valores anuales los costos descritos en las tablas anteriores.

Como se dijo anteriormente las personas que realizan este trabajo son expertos con más de 20 años de recorrido en la aplicación de esta tecnología de sellos secos lo que garantiza que el riesgo que pueda generar el uso de esta tecnología sea mitigado por el *know how* de este equipo de trabajo, esto explica porque no se considera en el siguiente resumen la variable de para no programada a causa de falla en el sistema de sellos secos.

Tabla 15. Resumen costos totales anuales con proyecto.

<i>Hoja de costos sellos secos "con proyecto"</i>			
<i>Número de Sellos en Compresor</i>	2		VALOR ANUAL
Valor de la inversión inicial			
<i>Costo de cada sello seco</i>	\$60.000		\$120.000
<i>Costo del panel de control</i>	\$345.000		\$345.000
<i>Instalación y comisionamiento</i>	\$500.000		\$500.000
		TOTAL	\$965.000
Costos y Gastos de Operacionales			
<i>Modificaciones al compresor</i>	\$0		
<i>Fuga estimada del proceso a Tea</i>	12,0	scfm / 2 seal	\$12.442
<i>Costo de pérdidas de gas</i>	\$0,002	\$ / ft3	
<i>Perdidas de potencia por fricción</i>	1,5	KW	
<i>Costo de KWhr en la planta</i>	\$0,100	\$ / KW*hr	\$1.296
<i>Costo de operación y mantenimiento</i>	\$2.250	\$ / año	\$2.250
		TOTAL	\$15.988

4.3 EVALUACIÓN FINANCIERA

A continuación se realiza la evaluación financiera para los dos escenarios, analizados en el capítulo anterior con el fin de obtener resultados concretos y criterios de decisión sobre la viabilidad del proyecto.

El modelo financiero establecido por Ecopetrol considera un costo de capital para proyectos de inversión de 11,1%¹⁰, para los valores mostrados en dólares

¹⁰ Tomado de <http://iris> - Intranet Ecopetrol S.A. – Departamento de programación GRB.

americanos USD, se considera un horizonte de 5 años donde el periodo 0 es el año actual 2014.

4.4 EVALUACIÓN FINANCIERA CON PROYECTO

Esta evaluación financiera está hecha considerando términos corrientes sin financiación de terceros. En la siguiente tabla se presentan los indicadores para el horizonte del proyecto. Basado en los últimos datos estadísticos del banco de la república se considera un valor del 3% en la inflación. El porcentaje de tasa de interés de 30% es un supuesto cercano a la tasa de usura actual.

Tabla 16. Indicadores para evaluación financiera.

PERIODO	2014	2015	2016	2017	2018	2019
INDICADORES						
INFLACIÓN		3%	3%	3%	3%	3%
IMPUESTOS		34%	33%	33%	33%	33%
DEPRECIACIÓN TIPO I (3 Años)		33%	33%	33%	33%	33%
DEPRECIACIÓN TIPO II (5 Años)		20%	20%	20%	20%	20%
AMORTIZACIÓN (5 Años)		0%	0%	0%	0%	0%
INDICE DE PRECIOS	1,00	1,03	1,06	1,09	1,13	1,16

Fuente: Hoja de cálculo modelo Ing. Guillermo Bustamante modificada por el autor

La estimación de los ingresos se calcula de acuerdo a la producción de la planta igual a \$500.000 dólares diarios lo que corresponde a \$180.000.000 de dólares.

La estimación de la depreciación se realiza en línea recta:

- = Valor inversión/ # años vida útil
- U\$965.000/5 años= U\$193.000 (con proyecto)

La estimación de otros ingresos no operacionales (con proyecto) se logra obtener considerando que al final de los 5 años las bridas y partes metálicas de los sellos pueden tener un valor comercial de U\$10.000 (dato suministrado por el fabricante de los sellos)

Tabla 17. Flujo de caja con sellos secos.

FLUJO DE CAJA DE LA SITUACION ACTUAL (CON EL PROYECTO) PRECIOS EN USD						
PERIODO>>>	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Ingresos		180.000.000	185.400.000	190.962.000	196.690.860	202.591.586
-Costos y G. de operación (tabla 15)		15.988	16.467	16.961	17.470	17.994
-Depreciaciones/Amort		193.000	193.000	193.000	193.000	193.000
+ Otros Ingresos no operacionales	0					10.000
- Otros Gastos no operacionales						
=UAll	0	179.791.012	185.190.533	190.752.039	196.480.390	202.390.592
-Intereses						
=UAI	0	179.791.012	185.190.533	190.752.039	196.480.390	202.390.592
-Impuestos	0	61.128.944	61.112.876	62.948.173	64.838.529	66.788.895
=U.Neta	0	118.662.068	124.077.657	127.803.866	131.641.861	135.601.696
+Depreciaciones/Amort		193.000	193.000	193.000	193.000	193.000
-Inversiones activos no corrientes (tabla 10)	965.000					
-Capital de trabajo						
+ Valor Terminal	0					0
+Prestamos						
-Abonos a capital						
=Flujo de caja Neto (con financiación)	-965.000	118.855.068	124.270.657	127.996.866	131.834.861	135.794.696
VALOR PRESENTE NETO	11%	467.993.946				

FLUJO DE CAJA DE LA SITUACION ACTUAL (CON EL PROYECTO) PRECIOS EN USD						
PERIODO>>>	2014	2015	2016	2017	2018	2019
-Prestamos	0	0	0	0	0	0
+ Abonos a capital	0	0	0	0	0	0
+ Intereses	0	0	0	0	0	0
- Impacto Tributario	0	0	0	0	0	0
= Flujo de caja Neto (Sin financiación)	-965.000	118.855.068	124.270.657	127.996.866	131.834.861	135.794.696
VALOR PRESENTE NETO	11%	467.993.946				

Fuente: Hoja de cálculo modelo Ing. Guillermo Bustamante modificada por el autor

4.5 EVALUACIÓN FINANCIERA SIN PROYECTO

En esta evaluación financiera se obtienen los datos reales que nos permite analizar la condición actual de operar el compresor con sellos de aceite y nos permitirá evaluar frente a la evaluación con proyecto desde el aspecto incremental.

Se consideran términos corrientes sin financiación de terceros, en la siguiente tabla se presentan los indicadores para el horizonte del proyecto. Basado en los últimos datos estadísticos del banco de la república se considera un valor del 3% en la inflación. El porcentaje de tasa de interés de 30% es un supuesto cercano a la tasa de usura actual.

Tabla 18. Indicadores para evaluación financiera.

PERIODO	2014	2015	2016	2017	2018	2019
INDICADORES						
INFLACIÓN		3%	3%	3%	3%	3%
IMPUESTOS		34%	33%	33%	33%	33%
DEPRECIACIÓN TIPO I (3 Años)		33%	33%	33%	33%	33%
DEPRECIACIÓN TIPO II (5 Años)		20%	20%	20%	20%	20%
AMORTIZACIÓN (5 Años)		0%	0%	0%	0%	0%
INDICE DE PRECIOS	1,00	1,03	1,06	1,09	1,13	1,16

Fuente: Hoja de cálculo modelo Ing. Guillermo Bustamante modificada por el autor

La estimación de los ingresos se calcula de acuerdo a la producción de la planta igual a \$500.000 dólares diarios lo que corresponde a \$180.000.000 de dólares.

La estimación de la depreciación se realiza en línea recta:

- = Valor inversión/ # años vida útil
- US36.000/3 años= U\$12.000 (sin proyecto)

La estimación del valor terminal (sin proyecto) para el periodo 2019 los sellos húmedos tienen un valor en libros de U\$12.000

Tabla 19. Flujo de caja de la situación actual Sin el proyecto.

FLUJO DE CAJA DE LA SITUACION ACTUAL (SIN EL PROYECTO) PRECIOS EN USD						
PERIODO>>>	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Ingresos		180.000.000	185.400.000	190.962.000	196.690.860	202.591.586
-Costos y gastos de operación (tabla 9)		445.846	459.221	1.008.998	487.188	501.803
-Depreciaciones/Amort		12.000	12.000	12.000	12.000	12.000
+Otros Ingresos no operacionales						0
- Otros Gastos no operacionales						
=UAll	0	179.542.154	184.928.779	189.941.002	196.191.672	202.077.782
-Intereses						
=UAI	0	179.542.154	184.928.779	189.941.002	196.191.672	202.077.782
-Impuestos		61.044.332	61.026.497	62.680.531	64.743.252	66.685.668
=U.Neta	0	118.497.822	123.902.282	127.260.471	131.448.420	135.392.114
+Depreciaciones/Amort		12.000	12.000	12.000	12.000	12.000
-Inversiones activos no corrientes (tabla 8)	36.000			36.000		
-Capital de trabajo						
+ Valor Terminal						12.000
+Prestamos						
-Abonos a capital						
=Flujo de caja Neto (con financiación)	-36.000	118.509.822	123.914.282	127.236.471	131.460.420	135.416.114
VALOR PRESENTE NETO	11%	467.295.351				

FLUJO DE CAJA DE LA SITUACION ACTUAL (SIN EL PROYECTO) PRECIOS EN USD						
PERIODO>>>	2014	2015	2016	2017	2018	2019
-Prestamos	0	0	0	0	0	0
+ Abonos a capital	0	0	0	0	0	0
+ Intereses	0	0	0	0	0	0
- Impacto Tributario	0	0	0	0	0	0
= Flujo de caja Neto (Sin financiación)	-36.000	118.509.822	123.914.282	127.236.471	131.460.420	135.416.114
VALOR PRESENTE NETO	11%	467.295.351				

Fuente: Hoja de cálculo modelo Ing. Guillermo Bustamante modificada por el autor

4.6 ANÁLISIS FLUJO INCREMENTAL (CON – SIN)

Tabla 20. Flujo de caja incremental.

FLUJO DE CAJA INCREMENTAL PRECIOS EN USD						
PERIODO>>>	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Ingresos	0	0	0	0	0	0
		-	-	-	-	-
-Costos y gastos de operación	0	429.858	442.754	992.037	469.718	483.809
-Depreciaciones/Amort	0	181.000	181.000	181.000	181.000	181.000
+ Otros Ingresos no operacionales	0	0	0	0	0	10.000
- Otros Gastos no operacionales	0	0	0	0	0	0
=UAll	0	248.858	261.754	811.037	288.718	312.809
-Intereses	0	0	0	0	0	0
=UAI	0	248.858	261.754	811.037	288.718	312.809
-Impuestos	0	84.612	86.379	267.642	95.277	103.227
=U.Neta	0	164.246	175.375	543.394	193.441	209.582
+Depreciaciones/Amort	0	181.000	181.000	181.000	181.000	181.000
-Inversiones activos no corrientes	929.000	0	0	-36.000	0	0
-Capital de trabajo	0	0	0	0	0	0
+ Valor Terminal	0	0	0	0	0	-12.000
+Prestamos	0	0	0	0	0	0
-Abonos a capital	0	0	0	0	0	0
=Flujo de caja Neto (con financiación)	-929.000	345.246	356.375	760.394	374.441	378.582
VALOR PRESENTE NETO	11%	698.595	=> ACEPTABLE EL PROYECTO CON ESTA FINANCIACION			

FLUJO DE CAJA INCREMENTAL PRECIOS EN USD								
PERIODO>>>		2014	2015	2016	2017	2018	2019	
-Prestamos		0	0	0	0	0	0	
+ Abonos a capital		0	0	0	0	0	0	
+ Intereses		0	0	0	0	0	0	
- Impacto Tributario		0	0	0	0	0	0	
= Flujo de caja Neto (Sin financiación)		-929.000	345.246	356.375	760.394	374.441	378.582	
VALOR PRESENTE NETO	11%	698.595	=> ACEPTABLE EL PROYECTO SIN FINANCIACION					
TIR INCREMENTAL	37%							

Fuente: Hoja de cálculo modelo Ing. Guillermo Bustamante modificada por el autor

Por ser un proyecto de ampliación se realiza análisis financiero a través del valor incremental de los flujos. En las dos secciones anteriores se calcularon los flujos de caja para los dos escenarios con proyecto y sin proyecto, la diferencia entre los dos escenarios (con-sin) será el aporte del proyecto que se pretende evaluar. Los resultados de dicha diferencia se encuentran en la tabla 20.

4.6.1 Análisis con-sin proyecto.

Tabla 21. Flujo de caja incremental.

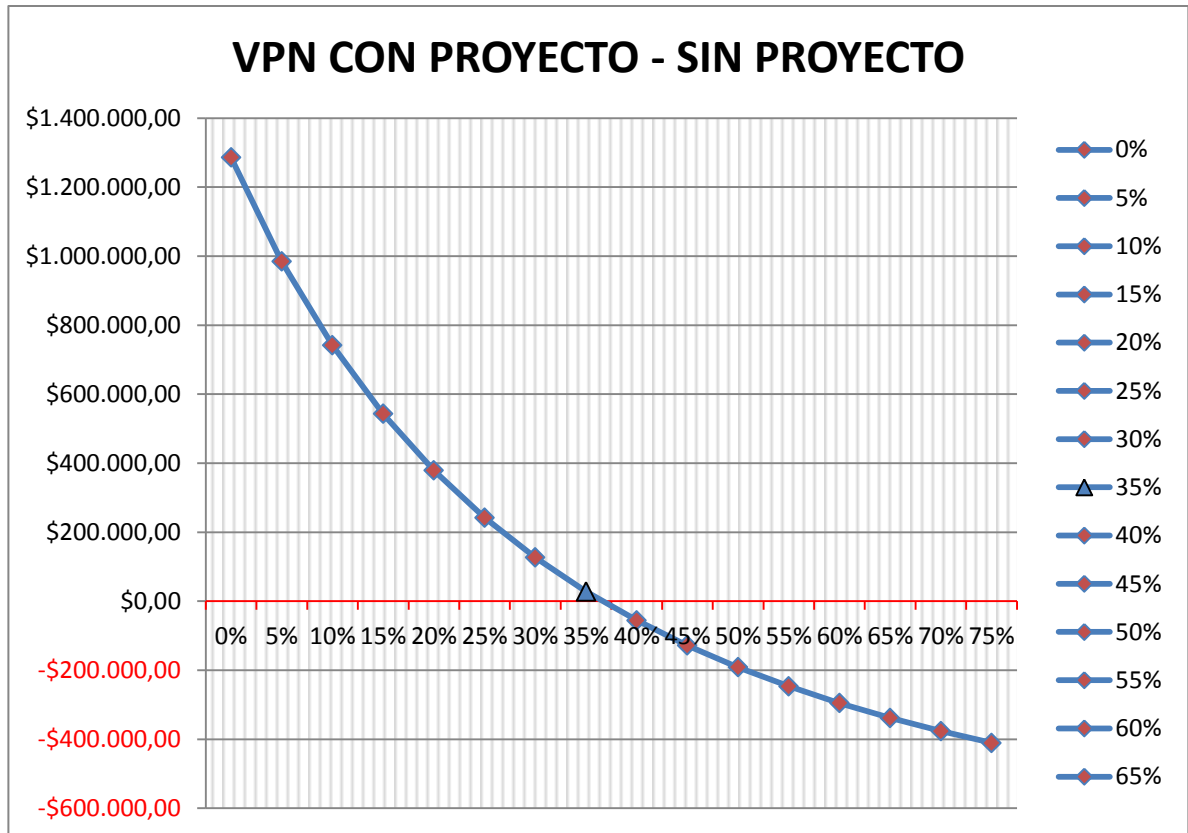
PERIODO>>>		2014	2015	2016	2017	2018	2019	
CON PROYECTO		-965.000	118.855.068	124.270.657	127.996.866	131.834.861	135.794.696	
SIN PROYECTO		-36.000	118.509.822	123.914.282	127.236.471	131.460.420	135.416.114	
"CON-SIN"		-929.000	345.246	356.375	760.394	374.441	378.582	
VALOR PRESENTE NETO	11%	698.595	=> ACEPTABLE EL PROYECTO CON ESTA FINANCIACION					

Fuente: Hoja de cálculo modelo Ing. Guillermo Bustamante modificada por el autor

Se identifica un VPN positivo de U\$ 698.595 para el horizonte del proyecto con un costo de capital del 11%.

La Gráfica 1 muestra el comportamiento del valor presente neto – VPN del proyecto a diferentes tasas de descuento. El VPN es positivo entre 0 y el 37% lo cual es un resultado positivo para el análisis de la viabilidad del proyecto.

Gráfica 1. VPN Con - Sin.

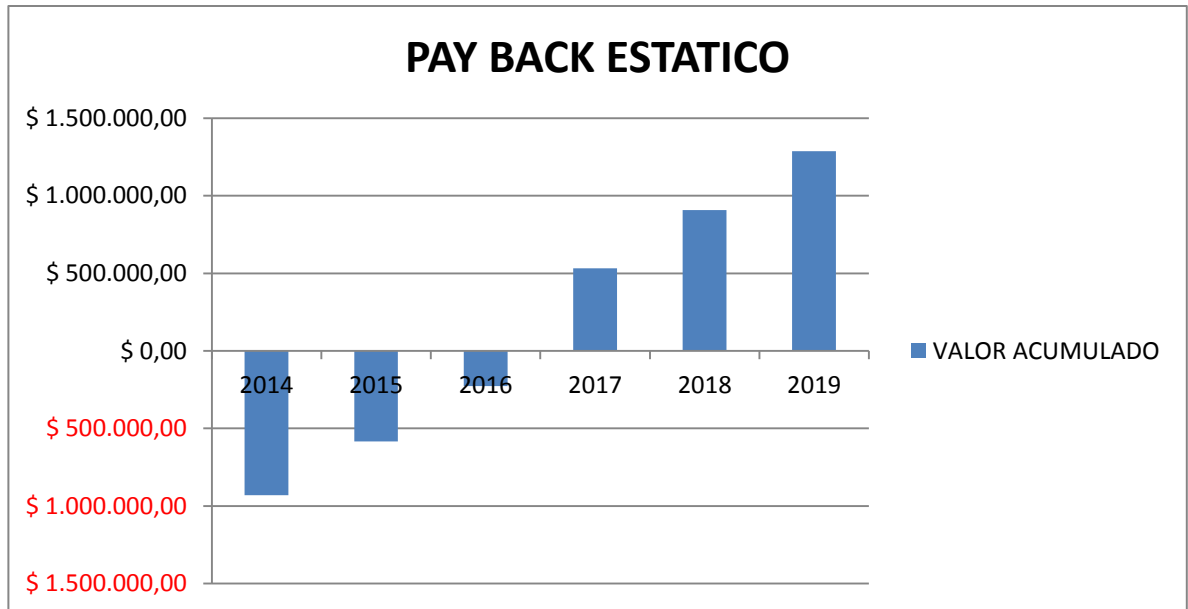


La tasa interna de retorno incremental es $TIR = 37\%$ y es mayor que el costo de capital requerido para el proyecto del 11% . Lo que es un buen indicador de la viabilidad del proyecto así como el VPN obtenido en la sección anterior.

Tabla 22. Flujo de caja incremental acumulado.

	2014	2015	2016	2017	2018	2019
FLUJO DE CAJA INCR.	\$ -929.000,00	\$ 345.246,39	\$ 356.375,12	\$ 760.394,47	\$ 374.440,80	\$ 378.582,13
FLUJO DE CAJA INCR. ACUM.	\$ -929.000,00	\$ -583.753,61	\$ -227.378,50	\$ 533.015,97	\$ 907.456,78	\$ 1.286.038,90

Gráfica 2. Pay Back estático.



La recuperación de la inversión se logra obtener en el tercer periodo, es decir en el año 2017. Posterior a este periodo los flujos son positivos en el horizonte de 5 periodos, además considerando que la inversión inicial hecha no se repite al sexto año los flujos seguirán siendo positivos en un horizonte de más de 5 periodos.

4.6.2 Análisis vertical

Tabla 23. Análisis vertical para los periodos 2015 y 2017.

PERIODO>>>	ANÁLISIS VERTICAL (SIN EL PROYECTO) PRECIOS USD			
	2015	% del Total	2017	% del Total
Ingresos	180.000.000	100,00%	190.962.000	100,00%
-Costos y gastos de operación	445.846	0,25%	1.008.998	0,53%
-Depreciaciones/Amort	12.000	0,01%	12.000	0,01%
+Otros Ingresos no operacionales				
- Otros Gastos no				

ANÁLISIS VERTICAL (SIN EL PROYECTO)				
PRECIOS USD				
PERIODO>>>	2015	% del Total	2017	% del Total
operacionales				
=UAll	179.542.154	99,75%	189.941.002	99,47%
-Intereses				
=UAI	179.542.154	99,75%	189.941.002	99,47%
-Impuestos	61.044.332	33,91%	62.680.531	32,82%
=U.Neta	118.497.822	65,83%	127.260.471	66,64%
+Depreciaciones/Amort	12.000	0,01%	12.000	0,01%
-Inversiones activos no corrientes			36.000	0,02%
-Capital de trabajo				
+ Valor Terminal				
+Prestamos				
-Abonos a capital				
=Flujo de caja Neto (con financiación)	118.509.822	65,84%	127.236.471	66,63%
Ingresos	180.000.000	100,00%	190.962.000	100,00%
-Costos y gastos de operación	15.988	0,01%	16.961	0,01%
-Depreciaciones/Amort	193.000	0,11%	193.000	0,10%
+ Otros Ingresos no operacionales				
- Otros Gastos no operacionales				
=UAll	179.791.012	99,88%	190.752.039	99,89%
-Intereses				
=UAI	179.791.012	99,88%	190.752.039	99,89%
-Impuestos	61.128.944	33,96%	62.948.173	32,96%
=U.Neta	118.662.068	65,92%	127.803.866	66,93%
+Depreciaciones/Amort	193.000	0,11%	193.000	0,10%
-Inversiones activos no corrientes				
-Capital de trabajo				
+ Valor Terminal				
+Prestamos				

ANÁLISIS VERTICAL (SIN EL PROYECTO)				
PRECIOS USD				
PERIODO>>>	2015	% del Total	2017	% del Total
-Abonos a capital				
=Flujo de caja Neto (con financiación)	118.855.068	66,03%	127.996.866	67,03%

El análisis vertical para el periodo 2015 refleja que los costos y gastos operativos pasan del 0,25% (sin proyecto) de la cifra base (ingresos) al 0,01% (con proyecto), mostrando una reducción importante en unidades monetarias.

Así mismo el flujo de caja neto representa el 65,84% (sin proyecto) de los ingresos versus un 66,03% (con proyecto).

Se decidió realizar este análisis para el periodo 2017 debido a que en este periodo se contempla una parada no programada, en él se identifica que los costos y gastos de operación tienen un aumento representado en un 0,53% (sin proyecto) de la cifra base (ingresos) versus un 0,01% (con proyecto).

Esta diferencia se mantiene en el flujo de caja neto que representa el 66,63% (sin proyecto) versus un 67,03% (con proyecto).

En unidades monetarias un incremento del 0,40% = 66,63% - 67,03% en el flujo de caja neto para este proyecto representa U\$760.394.00 dólares, una cifra muy respetable en la operación de la planta, pues corresponde casi al valor total de la inversión inicial de la actualización a sellos secos.

4.6.3 Análisis horizontal

Tabla 24. Análisis horizontal entre los periodos 2016 y 2017.

PERIODO>>>	ANÁLISIS HORIZONTAL (SIN EL PROYECTO)			
	2016	2017	Variación Absoluta	Variación Relativa
Ingresos	185.400.000	190.962.000	5.562.000	3,00%
-Costos y gastos de operación	459.221	1.008.998	549.777	119,72%
- Depreciaciones/Amort	12.000	12.000	0	0,00%
+Otros Ingresos no operacionales				
- Otros Gastos no operacionales				
=UAll	184.928.779	189.941.002	5.012.223	2,71%
-Intereses				
=UAI	184.928.779	189.941.002	5.012.223	2,71%
-Impuestos	33 % 61.026.497	62.680.531	1.654.034	2,71%
=U.Neta	123.902.282	127.260.471	3.358.190	2,71%
+Depreciaciones/Amort	12.000	12.000	0	0,00%
-Inversiones activos no corrientes	0	36.000	36.000	#DIV/0!
-Capital de trabajo				
+ Valor Terminal				
+Prestamos				
-Abonos a capital				
=Flujo de caja Neto (con financiación)	123.914.282	127.236.471	3.322.190	2,68%

ANÁLISIS HORIZONTAL (CON EL PROYECTO)				
PERIODO>>>	2016	2017	Variación Absoluta	Variación Relativa
Ingresos	185.400.000	190.962.000	5.562.000	3,00%
-Costos y gastos de operación	16.467	16.961	494	3,00%
- Depreciaciones/Amort	193.000	193.000	0	0,00%
+ Otros Ingresos no operacionales				
- Otros Gastos no operacionales				
=UAI	185.190.533	190.752.039	5.561.506	3,00%
-Intereses				
=UAI	185.190.533	190.752.039	5.561.506	3,00%
-Impuestos	61.112.876	62.948.173	1.835.297	3,00%
=U.Neta	124.077.657	127.803.866	3.726.209	3,00%
+Depreciaciones/Amort	193.000	193.000	0	0,00%
-Inversiones activos no corrientes				
-Capital de trabajo				
+ Valor Terminal				
+Prestamos				
-Abonos a capital				
=Flujo de caja Neto (con financiación)	124.270.657	127.996.866	3.726.209	3,00%

El análisis horizontal muestra para los periodos 2017 versus 2016 una variación relativa del 119,72% en los gastos operativos del escenario sin proyecto versus un 3% para el mismo periodo en el escenario con proyecto, lo que demuestra

claramente el impacto positivo en la reducción de los gastos operativos con proyecto.

La diferencia porcentual entre el uno (119,72%) y el otro (3 %) es bastante alta y representa lo que se ha demostrado en esta evaluación financiera relacionado con los costos y gastos de operación y su reducción realizando la actualización tecnológica, adicionalmente en el escenario con proyecto se mantienen estables las variables del estado de pérdidas y ganancias según la variación de la inflación, pues como se puede ver en la anterior tabla su variación relativa esta por el orden del 3%.

4.6.4 Indicadores – Margen operacional de utilidad. Para el periodo del 2015 con proyecto se calcula el siguiente indicador.

$$\text{Margen operacional de utilidad} = \frac{\text{Utilidad operacional}}{\text{Ventas Netas}}$$

$$\text{Margen operacional de utilidad} = \frac{179.791.012}{180.000.000}$$

$$\text{Margen operacional de utilidad} = 99,88\%$$

Este porcentaje indica que la utilidad operacional corresponde a un 99,88% de las ventas netas en el año 2015, según este porcentaje podríamos decir que el negocio en la planta es lucrativo.

4.6.5 Indicadores – Margen neto de utilidad. Para el periodo del 2015 con proyecto se calcula el siguiente indicador.

$$\text{Margen neto de utilidad} = \frac{\text{Utilidad neta}}{\text{Ventas Netas}}$$

$$\text{Margen neto de utilidad} = \frac{118.855.068}{180.000.000}$$

$$\text{Margen neto de utilidad} = 65,92\%$$

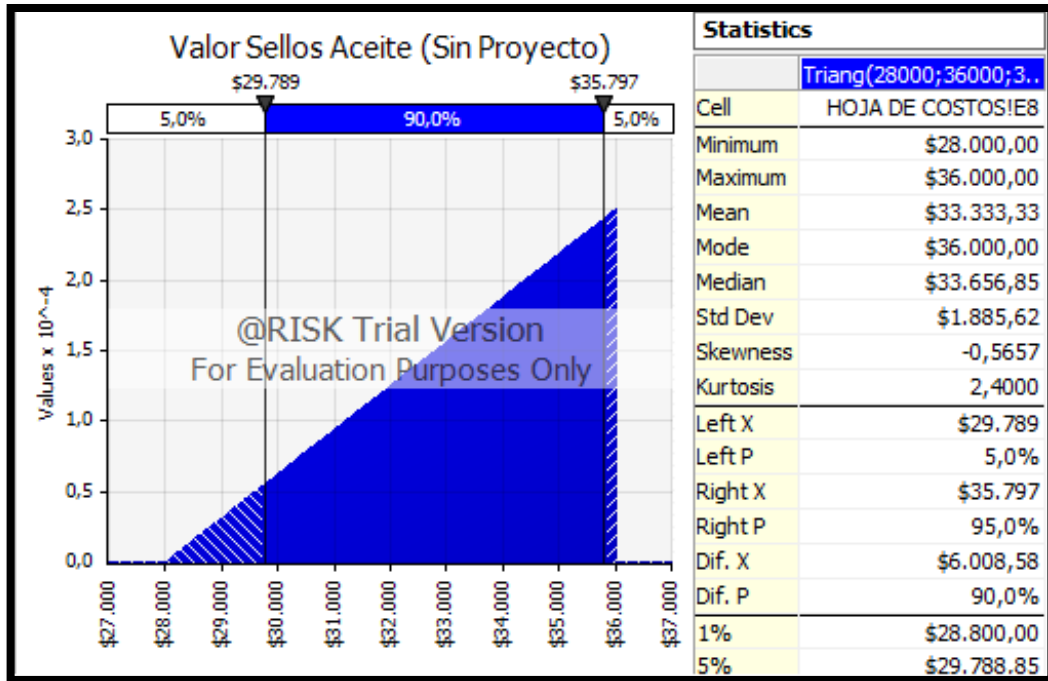
Este porcentaje indica que la utilidad neta corresponde a un 65,92% de las ventas netas en el año 2015, por cada dólar vendido 66,9 centavos son de utilidad neta.

4.7 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD VARIABLES CON Y SIN PROYECTO

Dentro del análisis de sensibilidad para las variables sin proyecto se consideraron el valor de los sellos de aceite y los costos y gastos operativos. Para el caso con proyecto las variables sensibles correspondientes con el valor de la inversión inicial y los costos y gastos de operación fueron analizadas para posteriormente obtener las salidas en el VPN y TIR del flujo incremental.

Con un 90% de probabilidad el valor de los sellos sin proyecto estaría entre U\$29.789 y U\$35.797 dólares.

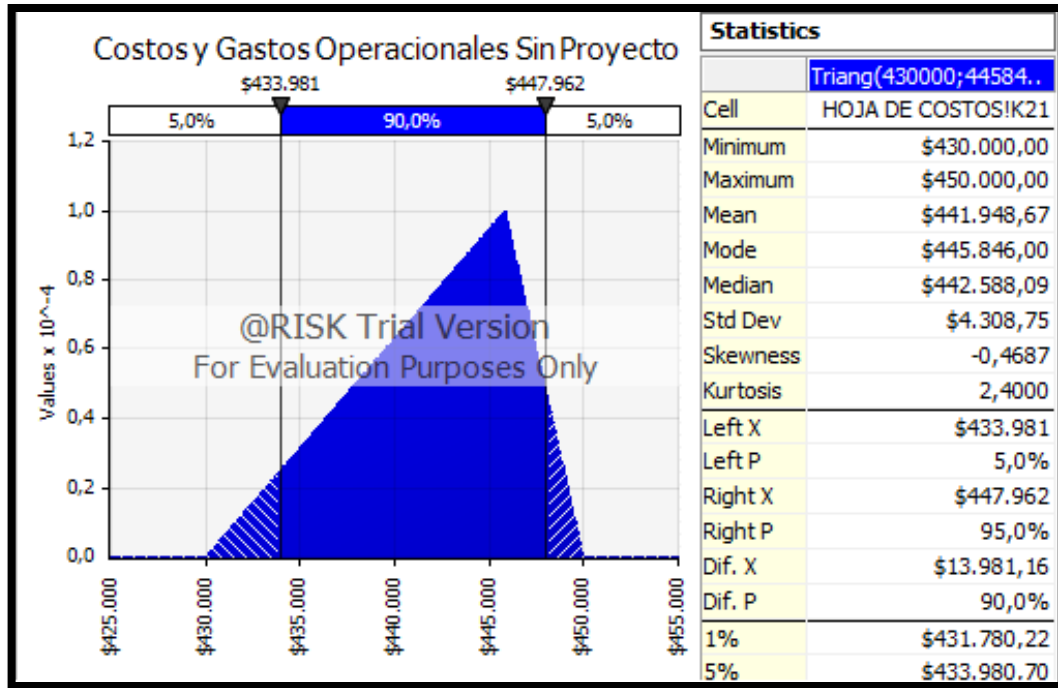
Gráfica 3. Análisis probabilidad valor sellos Aceite (sin proyecto)



Fuente: @Risk – licencia de prueba

Por otro lado los costos y gastos operativos generan un gran impacto en el flujo de caja y con una probabilidad del 90% estaría entre U\$433.981 y U\$447.962 dólares.

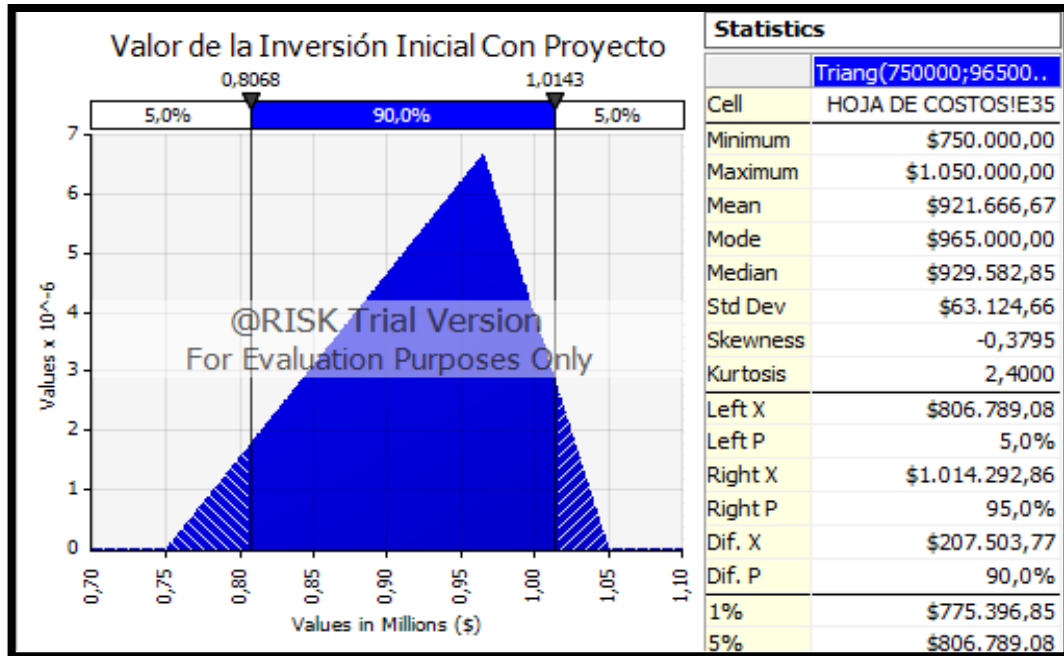
Gráfica 4. Análisis probabilidad Costos y Gasto Operacionales



Fuente: @Risk – licencia de prueba

Las estimaciones de la inversión inicial con proyecto registran un porcentaje de probabilidad del 90% y un valor de U\$806.000 a U\$1,014 millón de dólares.

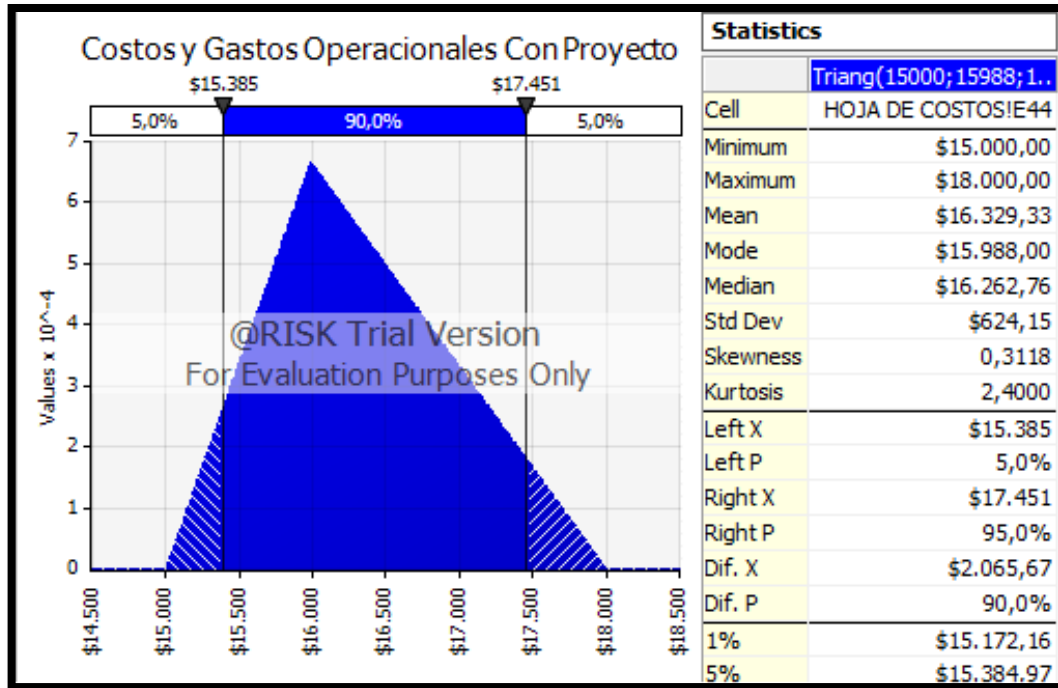
Gráfica 5. Análisis probabilidad Valor de la inversión inicial.



Fuente: @Risk – licencia de prueba

Por otro lado el valor de los costos y gastos de operación a un 90% de probabilidad registra U\$17.451 con un valor mínimo de U\$15.385 dólares.

Gráfica 6. Probabilidad costos y gastos operacionales con proyecto.

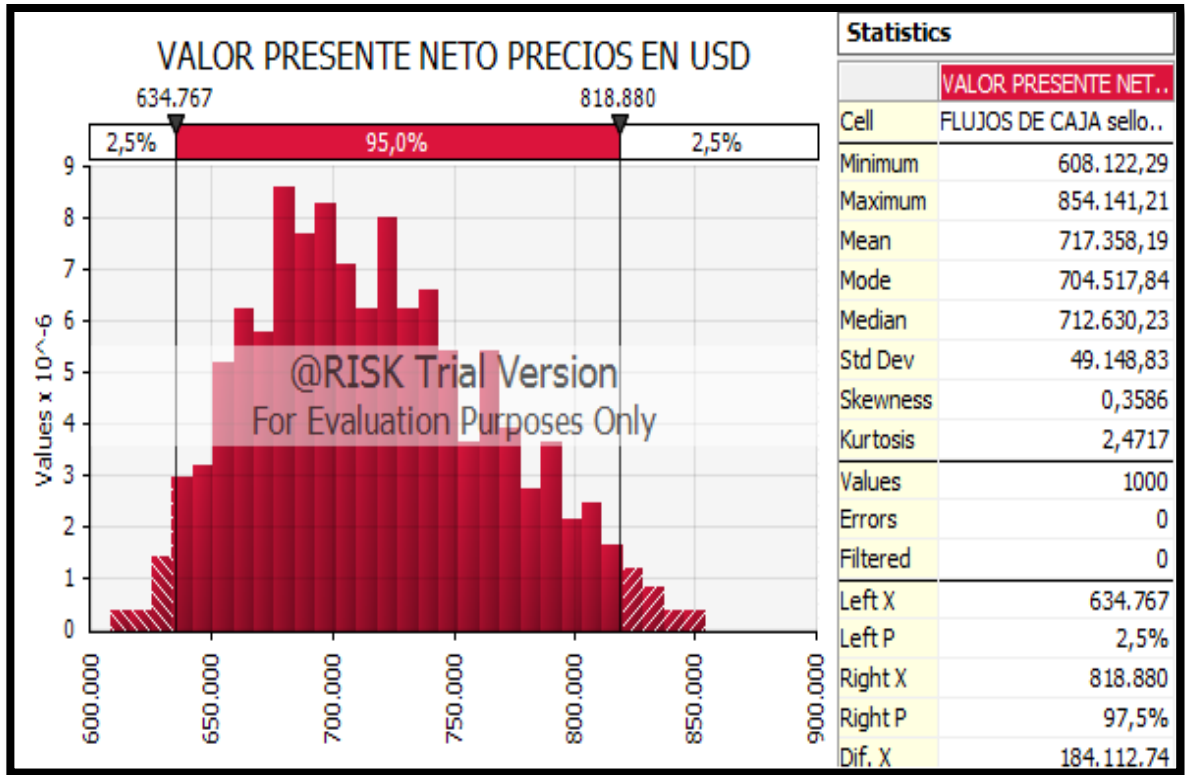


Fuente: @Risk – licencia de prueba

4.8 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD RENTABILIDAD DEL PROYECTO.

Las estimaciones del valor presente neto VPN del proyecto son positivas y permiten determinar que la inversión generaría incrementos. La imagen de la densidad de probabilidad registra un valor positivo del VPN entre U\$634.767 dólares y U\$818.880 con un 95% de probabilidad. Este valor dependerá de la inversión inicial, los costos y gastos de la operación, los flujos netos de efectivo, la tasa de capital y el número de periodos que dure el proyecto.

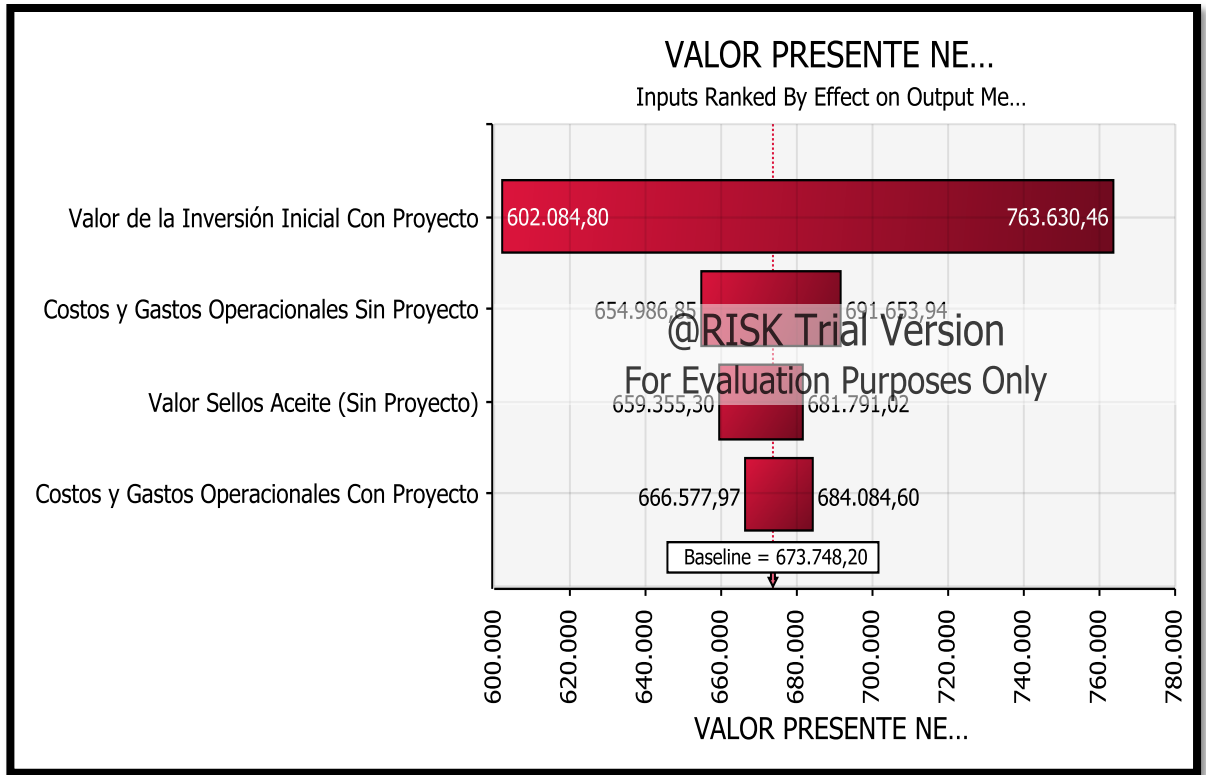
Gráfica 7. Análisis probabilidad Valor Presente Neto



Fuente: @Risk – licencia de prueba

El análisis tornado muestra que la variable que más impacta el VPN es la inversión inicial seguida por los costos y gastos operacionales sin proyecto.

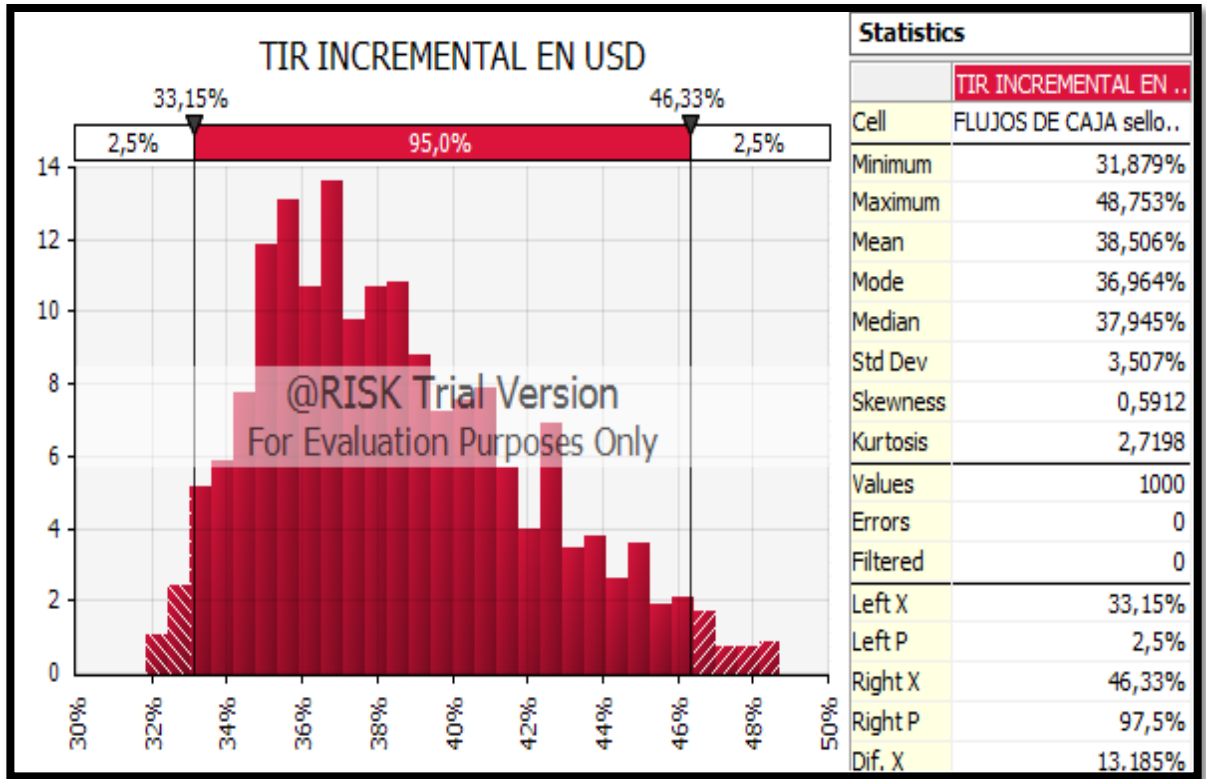
Gráfica 8. Análisis probabilidad Valor de la inversión inicial.



Fuente: @Risk – licencia de prueba

Las apreciaciones de la tasa interna de retorno incremental TIR del proyecto estimadas con una probabilidad del 95% están entre 33,15% y 46,33%, los cuales son valores mayores al costo de capital requerido para el proyecto del 11%.

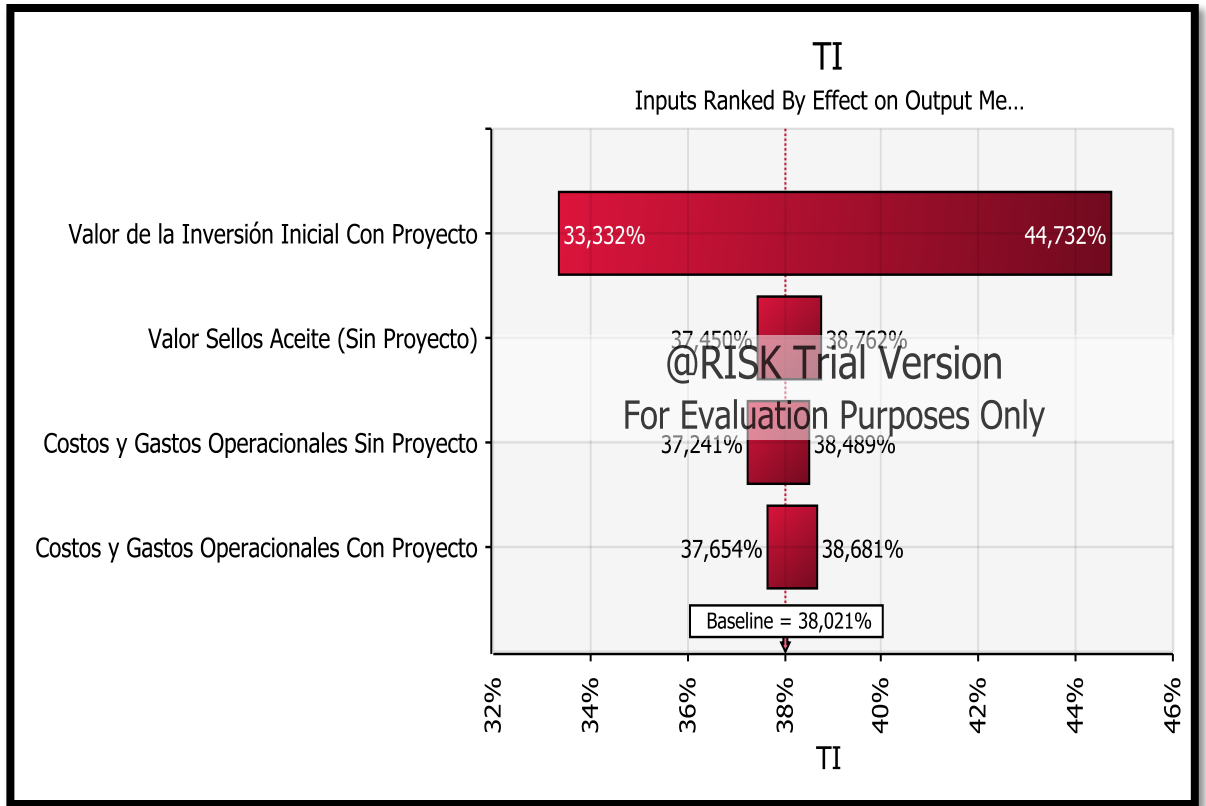
Gráfica 9. Análisis probabilidad Valor de la inversión inicial.



Fuente: @Risk – licencia de prueba

El análisis tornado de la TIR del proyecto estima que el valor de la inversión inicial es la variable que más impacta el cumplimiento de las proyecciones

Gráfica 10. Análisis probabilidad Valor de la inversión inicial.



Fuente: @Risk – licencia de prueba

5. ANÁLISIS DE RIESGOS

El análisis de riesgos planteado para este proyecto contempla la ejecución del mismo y los factores críticos que se pueden convertir en riesgos de gran peso e impacto dentro de la evaluación financiera del proyecto, por tal razón se realiza la escala de probabilidad e impacto, tolerancia, identificación de riesgos, la calificación y sensibilidad.

5.1 ESCALA DE PROBABILIDAD IMPACTO

Tabla 25. Escala de Probabilidad.

Descripción	Rango			Peso
Insignificante	1%	a	10%	1
Baja	11%	a	20%	2
Media	21%	a	50%	3
Alta	51%	a	70%	4
Importante	71%	a	100%	5

Tabla 26. Escala de Impacto.

Descripción	Insignificante	Baja	Media	Alta	Importante
Peso	1	2	3	4	5
COSTO (Miles de U\$)	< 10	10 a 20	20 a 50	50 a 70	> 70
CRONOGRAMA (retraso en días)	<1	1 a 2	2 a 3	3 a 4	> 4

5.2 TOLERANCIA

Tabla 27. Tolerancia Costo.

		IMPACTO COSTO				
		Insignificante 1	Baja 2	Media 3	Alta 4	Importante 5
PROBABILIDAD	Importante 5	MODERADO	ALTO	ALTO	GRAVE	GRAVE
	Alta 4	MODERADO	MODERADO	ALTO	ALTO	GRAVE
	Media 3	BAJO	MODERADO	MODERADO	ALTO	ALTO
	Baja 2	BAJO	BAJO	MODERADO	MODERADO	ALTO
	Insignificante 1	IRRELEVANTE	BAJO	BAJO	MODERADO	MODERADO

Tabla 28. Tolerancia Tiempo.

		IMPACTO TIEMPO				
		Insignificante 1	Baja 2	Media 3	Alta 4	Importante 5
PROBABILIDAD	Importante 5	MODERADO	ALTO	ALTO	GRAVE	GRAVE
	Alta 4	MODERADO	MODERADO	ALTO	GRAVE	GRAVE
	Media 3	BAJO	MODERADO	MODERADO	ALTO	ALTO
	Baja 2	BAJO	BAJO	MODERADO	MODERADO	ALTO
	Insignificante 1	IRRELEVANTE	BAJO	BAJO	MODERADO	MODERADO

Fuente: Autor.

Tabla 29. Definición grados de tolerancia.

GRAVE	Se informa al comité de proyectos para la toma de decisiones. Requiere inversión de recursos y acciones adicionales inmediatamente. Riesgo inadmisible pues afecta la estabilidad del proyecto.
ALTO	Se informa al comité de proyectos para la toma de decisiones. Requiere inversión de recursos y acciones adicionales prioritarias. Riesgo inaceptable pues afecta el cumplimiento de los objetivos del proyecto.
MODERADO	Lo maneja el gerente del proyecto, revisión mensual. Requiere inversión de recursos y acciones adicionales a corto plazo. Se tolera el riesgo.
BAJO	Lo maneja el gerente del proyecto, revisión mensual. Puede requerir inversión de recursos y acciones adicionales a largo plazo. Se acepta el riesgo.
IRRELEVANTE	Lo maneja el gerente del proyecto, revisión mensual. No requiere inversión de recurso y no requiere acciones adicionales. Se acepta el riesgo.

La tolerancia para el análisis de riesgos y supervisión tiene límite > 12 como valor en severidad.

Tabla 30. Ponderación de tolerancia.

			IMPACTO				
			Insignificante	Baja	Media	Alta	Importante
			1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	Importante	5	5	10	15	20	25
	Alta	4	4	8	12	16	20
	Media	3	3	6	9	12	15
	Baja	2	2	4	6	8	10
	Insignificante	1	1	2	3	4	5

5.3 IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

Tabla 31. Identificación de Riesgos.

ID	RIESGO	CATEGORIA	POS / NEG	CAUSAS
1	Equipo, herramienta y/o materiales no disponibles	Técnico	NEG	No hay proveedores en la zona, tiempo de entrega largos, elementos difíciles de conseguir
2	Errores de diseño	Técnico	NEG	Fallas en la ingeniería de detalle, desconocimiento de normas, planos incompletos
3	Error en la especificación de materiales	Técnico	NEG	Personal sin conocimiento y/o experiencia, solicitudes de compra sin los requisitos de calidad
4	Reducción del tiempo de parada de planta	Técnico	NEG	Reducción en la ejecución de actividades programadas de otras áreas.
5	Modificación al compresor	Técnico	NEG	Errores de diseño de los sellos secos.
6	Problemas en la comunicación de la lógica de los instrumentos y equipos	Técnico	NEG	Protocolos de comunicación no compatibles, no universales.
7	Retrasos en el montaje e interconexión de los equipos.	Técnico	NEG	Deficiente programación de actividades y asignación de recursos.
8	Poca disponibilidad de presupuesto	Financiero	NEG	Limitaciones del presupuesto en la fecha que se requiere la iniciación del proyecto.
9	Incremento en Gastos operativos	Financiero	NEG	Error de cálculo en la estimación de costos y gastos de operación
10	Retorno de la inversión por encima de lo calculado	Financiero	NEG	Error de cálculo en la estimación de la inversión inicial, costos y gastos de operación.
11	Fluctuaciones en la TRM	Financiero	NEG	Economía inestable.
12	Problemas de orden publico	Externo	NEG	Situación social del país, huelgas, paros, inseguridad.
13	Daños a líneas de proceso	Externo	NEG	Intervención de otras especialidades y equipos en el área del compresor
14	Lluvias	Externo	NEG	Temporada de lluvias, obras suspendidas o retrasadas.
15	Dificultad para conseguir mano de obra calificada en la zona	Externo	NEG	El trabajo requerido es específico y se requiere personal altamente calificado
16	Conflictos con la USO	Externo	NEG	Tener diferencias con las políticas y filosofías de la unión sindical obrera
17	Poca disponibilidad de personal extranjero para el proyecto	Dirección del proyecto	NEG	No solicitar con anticipación la asesoría o apoyo de los expertos.
18	Incidentes o accidentes de trabajo	Dirección del proyecto	NEG	Condiciones inseguras, deficiente gestión HSE
19	Cambio del alcance	Dirección del proyecto	NEG	Modificación de los requerimientos y especificaciones técnicas.
20	Demora en el cierre del proyecto	Dirección del proyecto	NEG	Desinterés, traslado del equipo de dirección a otros proyectos, falta de personal
21	Incorrecta valoración de riesgos	Dirección del proyecto	NEG	Deficiente planeación de riesgos.
22	Baja satisfacción de los interesados	Dirección del proyecto	NEG	Disponibilidad del patrocinador, poca contextualización del patrocinador con el proyecto, el
23	Terminación anticipada del contrato	Dirección del proyecto	NEG	Por agotamiento o incumplimiento de los compromisos.
24	Mayor tiempo de entrega en los equipos	Dirección del proyecto	NEG	Retrasos en la fabricación o en el transporte y nacionalización de los equipos

ID	IMPACTO		DISPARADOR	RESPUESTA POTENCIAL
	COSTO	TIEMPO		
1		X	No se pueden obtener más de 3 ofertas por lo requerido. Tiempos de entrega mayores a 20 días.	Revisar las especificaciones y el proceso de compras
2	X	X	Se han encontrado 3 o más errores de diseño en las memorias de cálculo y/o planos	Revisión total de los diseños por un tercero
3	X	X	Se rechaza en obra un material por no cumplir con las especificaciones	Revalorar y revisar las especificaciones
4		X	Avances por arriba del 50% de los EDTs de los otros proyectos en la mitad del tiempo de parada	Asegurar el cumplimiento del EDT
5	X	X	Según el diseño tener una incertidumbre mayor al 5% de que esto pueda suceder.	Fabricar los sellos secos con la metrología hecha al compresor y no con medidas aproximadas.
6	X	X	Validar los certificados de los instrumentos e identificar cuales no cumplen.	Especificar los instrumentos y equipos de acuerdo al protocolo de la refinería y validar en planta del
7		X	Tener más de 1 día de retraso según el cronograma.	Asignar más personal para cubrir las actividades atrasadas
8	X		No disponer del presupuesto una vez realizada el acta de constitución del proyecto.	Comunicación por parte del director con los patrocinadores solicitando lo requerido
9	X		No conformidades con el comisionamiento del proyecto.	Validar respecto a las pruebas en sitio previas al arranque general de los equipos.
10	X		Baja disminución del consumo de potencia y de la quema de gas del sistema	Verificar los certificados de calidad y de pruebas de los equipos antes de su arranque.
11	X	X	Después del tercer día de variaciones por arriba o por debajo de 50 pesos en la TRM	Fijar el monto de la inversión en términos de una moneda fija sin considerar conversiones.
12	X	X	Índices de inseguridad, fechas próximas de elecciones, problemas con sindicatos, comunidad	Proteger los empleados, equipos y herramienta evitando realizar trabajos en exteriores.
13	X	X	Que en un perímetro de 10mts ² a la redonda haya líneas de proceso.	Valorar los daños, compararlos contra la valoración de riesgos y ajustar cronograma.
14		X	Una vez se completen 1 día seguido de lluvias parciales	Realizar labores en áreas que no estén expuestas a las lluvias
15	X	X	Menos del 70% del personal vinculado con el proyecto es de la zona	Capacitar personal y buscar personas de zonas cercanas con estudios y/o experiencia
16		X	Más de 2 no conformidades notificadas oficialmente por la USO	Evaluar el caso y realizar conciliación si aplica.
17	X	X	1 mes antes del inicio de actividades no se haya confirmado la presencia de los expertos	Generar el contrato con 3 meses de anticipación a la ejecución de las actividades del proyecto.
18	X	X	Más de 2 Reportes HSE por incidentes en una semana	Fortalecer el equipo HSE y capacitar al personal para evitar accidentes
19	X	X	Realizar un control de cambios que afecte directamente el objetivo y el alcance del proyecto.	Comparar la línea base inicial vs la nueva con las modificaciones e indicar al patrocinador el cambio
20	X		Retrasos con los entregables de la gerencia del proyecto.	Encaminar todos los esfuerzos para ejecutar el cierre del proyecto
21	X	X	Realizar control de cambios que afecte el Que, Como y Para Que del proyecto	Realizar una nueva planeación y ajustar los controles de cambios necesarios en busca de una
22	X		Indicadores negativos en la gestión de comunicaciones con el patrocinador.	Mejorar la gestión de comunicaciones con el patrocinador e identificar cual es la insatisfacción
23	X	X	Lograr obtener la totalidad de los entregables antes de lo propuesto en el cronograma	Revisar si el costo se incrementó por terminar antes. Reconocimiento por escrito al equipo.
24		X	1 mes antes del inicio de actividades no se tenga en las bodegas de Ecopetrol los equipos principales.	Adquirir los equipos principales del contrato 6 meses antes de su posterior montaje y

5.4 SEVERIDAD COSTO – TIEMPO.

Tabla 32. Severidad costo - tiempo.

ID	RIESGO	PROBABILIDAD	IMPACTO COSTO	SEVERIDAD COSTO	IMPACTO TIEMPO	SEVERIDAD TIEMPO
1	Equipo, herramienta y/o materiales no disponibles	2	3	6	4	8
2	Errores de diseño	3	4	12	5	15
3	Error en la especificación de materiales	2	3	6	4	8
4	Reducción del tiempo de parada de planta	2	2	4	5	10
5	Modificación al compresor	3	3	9	5	15
6	Problemas en la comunicación de la lógica de los instrumentos y equipos	2	2	4	2	4
7	Retrasos en el montaje e interconexión de los equipos.	4	1	4	3	12
8	Poca disponibilidad de presupuesto	3	3	9	1	3
9	Incremento en Gastos operativos	2	3	6	1	2
10	Retorno de la inversión por encima de lo calculado	2	4	8	1	2
11	Fluctuaciones en la TRM	3	3	9	2	6
12	Problemas de orden publico	2	1	2	3	6
13	Daños a líneas de proceso	3	2	6	5	15
14	Lluvias	3	1	3	3	9
15	Dificultad para conseguir mano de obra calificada en la zona	4	2	8	3	12
16	Conflictos con la USO	3	3	9	3	9
17	Poca disponibilidad de personal extranjero para el proyecto	4	2	8	4	16
18	Incidentes o accidentes de trabajo	3	3	9	3	9
19	Cambio del alcance	2	4	8	5	10
20	Demora en el cierre del proyecto	2	2	4	2	4
21	Incorrecta valoración de riesgos	3	3	9	3	9
22	Baja satisfacción de los interesados	2	2	4	1	2
23	Terminación anticipada del contrato	3	5	15	5	15
24	Mayor tiempo de entrega de los sellos secos y su panel de control	3	4	12	5	15

5.4.1 Ponderación de riesgos

Tabla 33. Riesgos que requieren análisis – Costo.

ID	RIESGO	RIESGO PURO		
		PROBABILIDAD	IMPACTO COSTO	SEVERIDAD COSTO
RIESGOS QUE REQUIEREN ANÁLISIS				
23	Terminación anticipada del contrato	3	5	15

Tabla 34. Riesgos que requieren análisis – Tiempo.

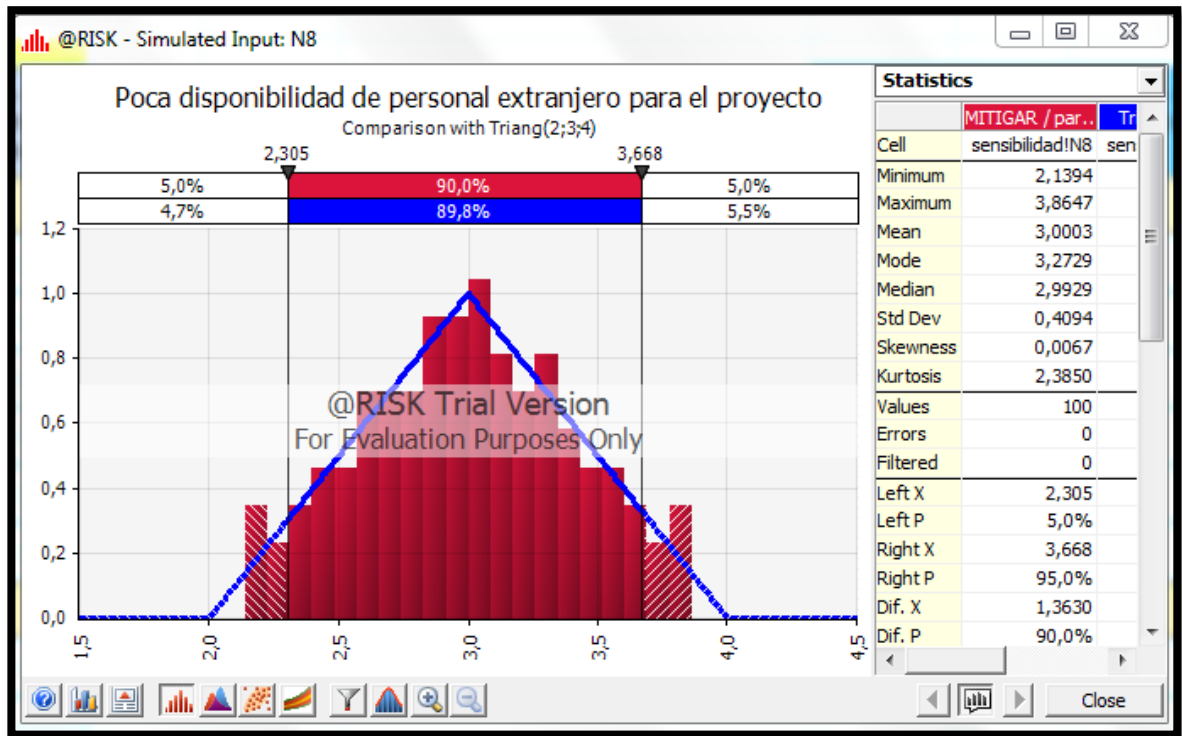
ID	RIESGO	RIESGO PURO		
		PROBABILIDAD	IMPACTO TIEMPO	SEVERIDAD TIEMPO
RIESGOS QUE REQUIEREN ANÁLISIS				
17	Poca disponibilidad de personal extranjero para el proyecto	4	4	16
2	Errores de diseño	3	5	15
5	Modificación al compresor	3	5	15
13	Daños a líneas de proceso	3	5	15
23	Terminación anticipada del contrato	3	5	15
24	Mayor tiempo de entrega de los sellos secos y su panel de control	3	5	15

5.5 ANÁLISIS CUANTITATIVO DE RIESGOS.

Los riesgos con mayor severidad >12 son evaluados por medio de la herramienta @Risk.

5.5.1 Poca disponibilidad de personal extranjero para el proyecto. La probabilidad de poca disponibilidad de personal extranjero para el proyecto representaría casi 4 días de retraso en el proyecto con un porcentaje de ocurrencia del 90%.

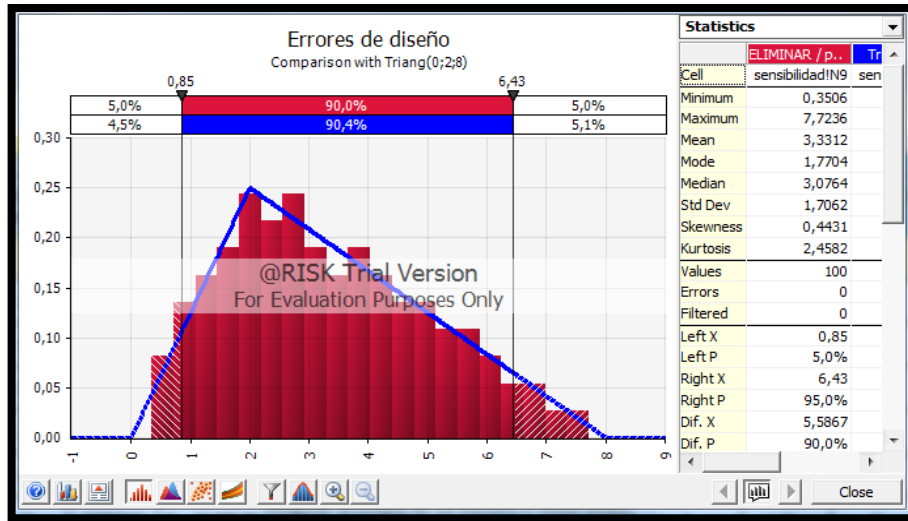
Gráfica 11. Evaluación del riesgo por poca disponibilidad de personal extranjero para el proyecto.



Fuente: @Risk – licencia de prueba

5.5.2 Errores de diseño. La probabilidad de errores en el diseño provocaría más de 6 días adicionales en el proyecto con un porcentaje de ocurrencia del 90%.

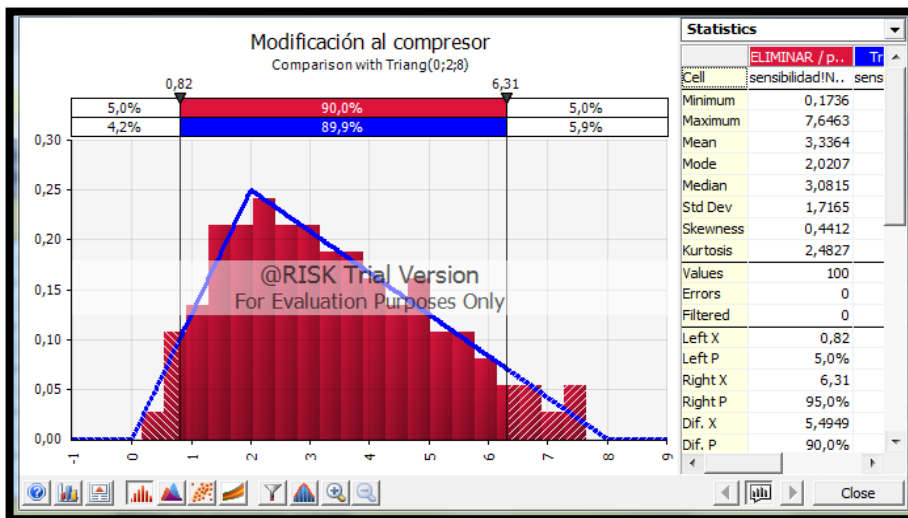
Gráfica 12 . Análisis probabilidad errores de diseño.



Fuente: @Risk – licencia de prueba

5.5.3 Modificación al compresor. La probabilidad de modificaciones al compresor provocaría más de 6 días adicionales en el proyecto con un porcentaje de ocurrencia del 90%.

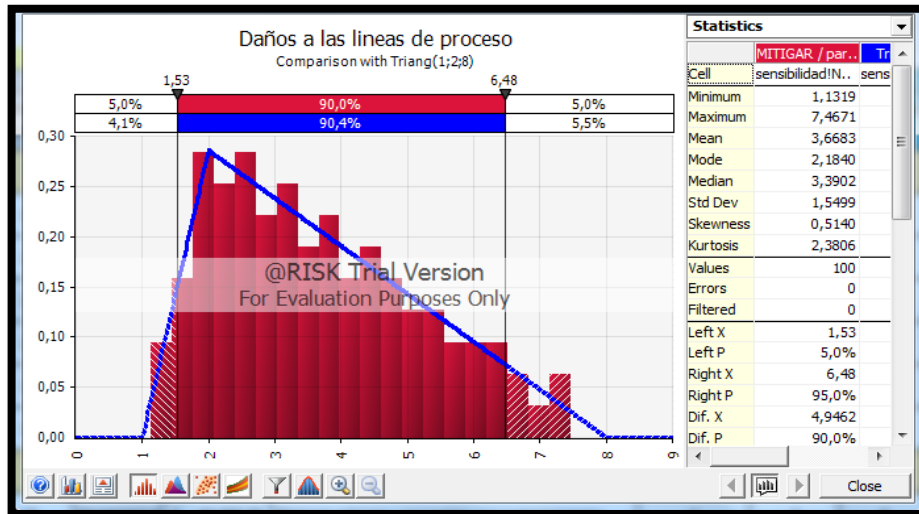
Gráfica 13. Análisis modificación al compresor.



Fuente: @Risk – licencia de prueba

5.5.4 Daños a las líneas de proceso. La probabilidad de daños a las líneas de proceso con un porcentaje de ocurrencia del 90% es de 6,48 días que impactarían el tiempo en el proyecto.

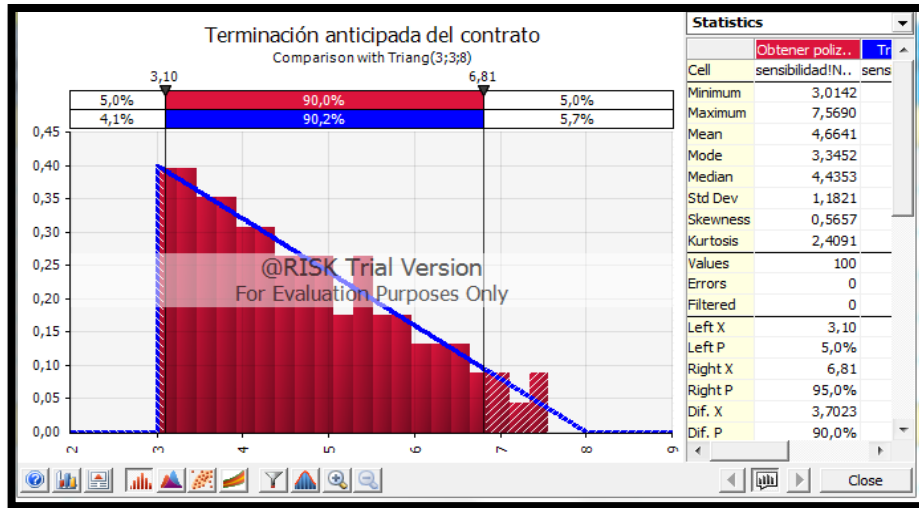
Gráfica 14 . Análisis daño a las líneas de proceso.



Fuente: @Risk – licencia de prueba

5.5.5 Terminación anticipada del contrato en tiempo. Con un porcentaje de ocurrencia del 90% el impacto en el tiempo para el proyecto sería de aproximadamente 7 días.

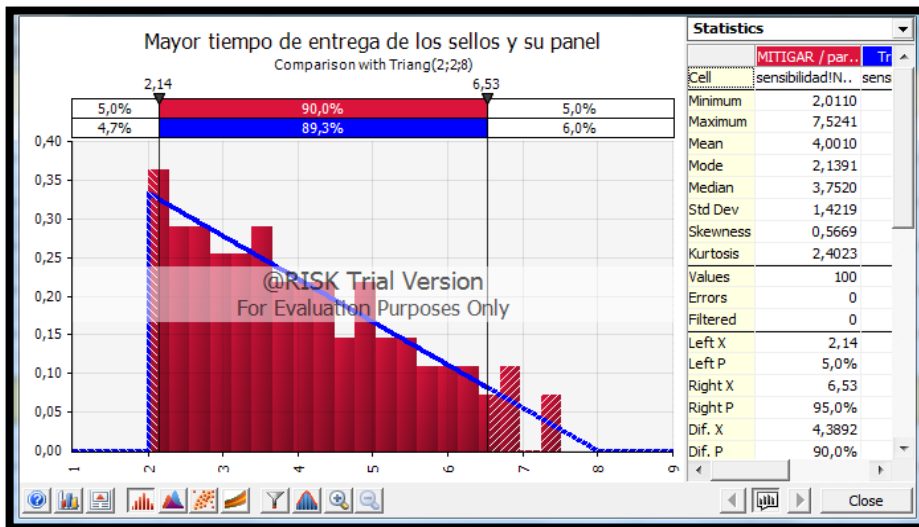
Gráfica 15. Análisis terminación anticipada del contrato.



Fuente: @Risk – licencia de prueba

5.5.6 Mayor tiempo de entrega de los sellos secos y su panel. La probabilidad de mayor tiempo de entrega de los sellos secos y su panel incrementaría más de 6 días el proyecto con un porcentaje de ocurrencia del 90%.

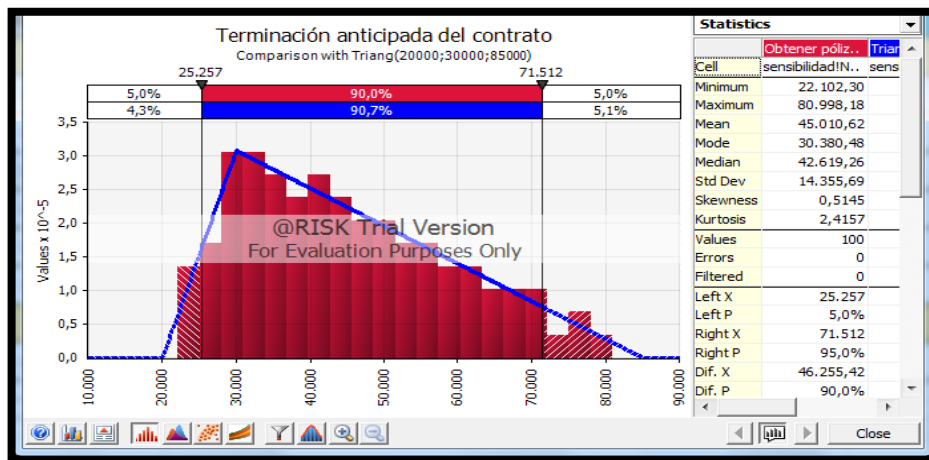
Gráfica 16. Análisis mayor tiempo de entrega de los sellos y panel.



Fuente: @Risk – licencia de prueba

5.5.7 Terminación anticipada del contrato en costo. La probabilidad de terminación anticipada del contrato impactaría aproximadamente en U\$71.500 adicionales el proyecto con un porcentaje de ocurrencia del 90%.

Gráfica 17. Análisis terminación anticipada del contrato en costo



Fuente: @Risk – licencia de prueba

Tabla 35 . Riesgos que requieren análisis Costo.

ID	RIESGO	RIESGO PURO			ESTRATEGIA DE RESPUESTA	PRESUPUESTO	ACTIVIDADES	RIESGO RESIDUAL			REDUCCION EN LA EXPOSICION
		PROBABILIDAD	IMPACTO COSTO	SEVERIDAD COSTO				PROBABILIDAD	IMPACTO COSTO	SEVERIDAD COSTO	
RIESGOS QUE REQUIEREN ANÁLISIS											
23	Terminación anticipada del contrato	3	5	15	TRANSFERIR	\$ 50.000,00	Obtener pólizas y garantías por cumplimiento.	2	3	6	60%
2	Errores de diseño	3	4	12	ELIMINAR	\$ 25.000,00	Gestión de campo en la etapa de Ingeniería de detalle para verificarla en sitio y comprobarla en	0	3	0	100%
24	Mayor tiempo de entrega de los sellos secos y su panel de control	3	4	12	MITIGAR	\$ 15.000,00	Asegurar la compra de los equipos 6 meses antes de la ejecución de las obras.	1	2	2	83%

Tabla 36. Riesgos que requieren análisis Tiempo.

ID	RIESGO	RIESGO PURO			ESTRATEGIA DE RESPUESTA	PRESUPUESTO	ACTIVIDADES	RIESGO RESIDUAL			REDUCCION EN LA EXPOSICION
		PROBABILIDAD	IMPACTO TIEMPO	SEVERIDAD TIEMPO				PROBABILIDAD	IMPACTO TIEMPO	SEVERIDAD TIEMPO	
RIESGOS QUE REQUIEREN ANÁLISIS											
17	Poca disponibilidad de personal extranjero para el proyecto	4	4	16	MITIGAR	\$ 15.000,00	Realizar contratación de bienes y servicios 3 meses antes de la fecha programada para la ejecución	2	2	4	75%
2	Errores de diseño	3	5	15	ELIMINAR	\$ 25.000,00	Gestión de campo en la etapa de Ingeniería de detalle para verificarla en sitio y comprobarla en	0	5	0	100%
5	Modificación al compresor	3	5	15	ELIMINAR	\$ 25.000,00	Realizar metrología al compresor en tiempo de una parada de planta programada previa al proyecto.	0	5	0	100%
13	Daños a líneas de proceso	3	5	15	MITIGAR	\$ 5.000,00	Delimitar el area de influencia y asignar personal para supervisionen campo.	1	5	5	67%
23	Terminación anticipada del contrato	3	5	15	TRANSFERIR	\$ 50.000,00	Obtener polizas y garantías por cumplimiento.	2	3	6	60%
24	Mayor tiempo de entrega de los sellos secos y su panel de control	3	5	15	MITIGAR	\$ 15.000,00	Asegurar la compra de los equipos 6 meses antes de la ejecución de las obras	1	2	2	87%
7	Retrasos en el montaje e interconexión de los equipos.	4	3	12	MITIGAR	\$ 15.000,00	Asignar una cuadrilla de personal adicional para apoyar estas tareas en doble turno	2	2	4	67%
15	Dificultad para conseguir mano de obra calificada en la zona	4	3	12	MITIGAR	\$ 20.000,00	Contratar personal calificado de zonas cercanas	2	2	4	67%

6. CONCLUSIONES

- La tasa interna de retorno incremental del proyecto $TIR = 37\%$ es mayor que el costo de capital requerido para el proyecto del 11%. Este valor demuestra la viabilidad del proyecto.
- El análisis de sensibilidad para la TIR demuestra que con una probabilidad del 95% estaría entre 33,15% y 46,33%, los cuales son valores mayores al costo de capital requerido para el proyecto del 11%.
- El cálculo del VPN en el flujo de caja incremental es positivo de U\$ 698.595 para el horizonte del proyecto con un costo de capital del 11%.
- El análisis de sensibilidad del VPN registra un valor positivo del VPN entre U\$634.767 y U\$818.880 dólares con un 95% de probabilidad, considerando variables críticas para el proyecto como lo son el valor de la inversión inicial y los costos y gastos de operación para el con y sin proyecto.
- El análisis vertical refleja que en unidades monetarias un incremento del 0,40% en el flujo de caja neto para este proyecto representa U\$760.394.00, una cifra muy respetable en la operación de la planta, pues corresponde casi al valor total de la inversión inicial de la actualización a sellos secos.
- El margen operacional de utilidad calculado del 99,88% indica que la utilidad operacional corresponde a un 99,88% de las ventas netas en el año 2015, lo que indica que el negocio en la planta es lucrativo.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la continuación del estudio a nivel de factibilidad, para obtener información de fuentes primarias que permitan hacer más sólida la estimación y sensibilidad de riesgos y se tome la decisión final.
- En el estudio de factibilidad se debe realizar la evaluación financiera con especialistas contadores que le den el refinamiento a la evaluación conforme a lo requerido por las normas internacionales de información financiera NIIF.
- Analizar de qué forma se puede incrementar la producción del equipo para generar no solo ahorros en los costos y gastos operativos si no resultados positivos adicionales en la producción y de esta manera reducir el retorno de la inversión.

BIBLIOGRAFIA

BUSTAMANTE, Guillermo. Serie de publicaciones, Gestión de proyectos PP, Marzo 2011. 132p.

EAGLE BURGMANN Germany GmbH & Co Kg, Enhanced Diamond Faces coating technology ensures maximum operational reliability of compressor seals. Journal Sealing Technology. ISSN 1350-4789 April 2011.

FLOWERVE CORPORATION. Turbo machinery. United States Kalamazoo, FSD113eng REV 09-10.

KOLOMOETSA A., Dotsenkob V., Experimental Investigation «Dry» Gas-Dynamic Seals Used for Gas-Compressor Unit. Science Direct Elsevier Procedia Engineering 39 (2012) 379 – 386.

NATURAL GAS STAR PARTNERS, Replacing Wet Seals with Dry Seals in Centrifugal Compressors, United States Environmental Protection Agency Air and Radiation (6202J) 1200 Pennsylvania Ave., NW Washington, DC 20460 October 2006.

S. MEUCCI and P. SUSINI, Low emission dry gas seal system for compressors. Journal Sealing Technology. Patent number: WO/2011/061142 November 2011.

ANEXOS

ANEXO A. RESOLUCION NÚMERO 0909 DE 2008

CAPÍTULO I DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1. Definiciones. Para los fines de la presente Resolución se adoptan las definiciones contenidas en el Anexo 1.

Artículo 2. Objeto. La presente resolución establece las normas y los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para fuentes fijas, adopta los procedimientos de medición de emisiones para fuentes fijas y reglamenta los convenios de reconversión a tecnologías limpias.

Artículo 3. Ámbito de aplicación. Las disposiciones de la presente resolución, se establecen para todas las actividades industriales, los equipos de combustión externa, instalaciones de incineración y hornos crematorios.

En lo relacionado con el control de emisiones molestas, aplica además a todos los establecimientos de comercio y de servicio.

CAPÍTULO II ESTÁNDARES DE EMISIÓN ADMISIBLES DE CONTAMINANTES AL AIRE PARA FUENTES FIJAS PUNTUALES DE ACTIVIDADES INDUSTRIALES

Artículo 4. Estándares de emisión admisibles para actividades industriales. En la Tabla 1 se establecen los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las actividades industriales definidas en el Artículo 6 de la presente resolución.

Tabla 1. Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para actividades industriales a condiciones de referencia (25 °C y 760 mm Hg) con oxígeno de referencia del 11%.

Contaminante	Flujo del contaminante (kg/h)	Estándares de emisión admisibles de contaminantes (mg/m ³)	
		Actividades industriales existentes	Actividades industriales nuevas
Material Particulado (MP)	≤ 0,5	250	150
	> 0,5	150	50
Dióxido de Azufre (SO ₂)	TODOS	550	500
Óxidos de Nitrógeno (NO _x)	TODOS	550	500
Compuestos de Fluor Inorgánico (HF)	TODOS	8	
Compuestos de Cloro Inorgánico (HCl)	TODOS	40	
Hidrocarburos Totales (HC _T)	TODOS	50	
Dioxinas y Furanos	TODOS	0,5*	
Neblina Ácida o Trióxido de Azufre expresados como H ₂ SO ₄	TODOS	150	

"Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones".

Contaminante	Flujo del contaminante (kg/h)	Estándares de emisión admisibles de contaminantes (mg/m ³)	
		Actividades industriales existentes	Actividades industriales nuevas
Plomo (Pb)	TODOS	1	
Cadmio (Cd) y sus compuestos	TODOS	1	
Cobre (Cu) y sus compuestos	TODOS	8	

* Las Dioxinas y Furanos se expresan en las siguientes unidades: (ng-EQT / m³), EQT: Equivalencia de Toxicidad.

Parágrafo Primero: Los procesos e instalaciones de producción de pigmentos inorgánicos a base de caolín, carbonato de sodio y azufre, tendrán un límite de emisión admisible de SO₂ de 2000 mg/m³ a condiciones de referencia y el oxígeno de referencia para estos procesos será del 18%.

Parágrafo Segundo: Los procesos e instalaciones de producción de ácido sulfúrico y de azufre tendrán un límite de emisión admisible de SO₂ de 1600 mg/m³ para las instalaciones existentes y de 900 mg/m³ para las instalaciones nuevas, a condiciones de referencia y con oxígeno de referencia del 11%.

Parágrafo Tercero: Los procesos e instalaciones de producción de caprolactama tendrán un límite de emisión admisible para SO₂ de 1600 mg/m³ y para NO_x de 1000 mg/m³ a condiciones de referencia y con oxígeno de referencia del 11%.

Parágrafo Cuarto: Los procesos e instalaciones de fabricación de vidrio tendrán un límite de emisión admisible para SO₂ de 700 mg/m³ y para NO_x de 1000 mg/m³ a condiciones de referencia y con oxígeno de referencia del 11%.

Parágrafo Quinto: Los equipos de generación eléctrica impulsados por motores de combustión interna con capacidad igual o superior a 1 MW deben cumplir un límite de emisión admisible para MP de 50 mg/m³, para SO₂ de 400 mg/m³ y para NO_x de 300 mg/m³ a condiciones de referencia y con oxígeno de referencia del 15%.

Parágrafo Sexto: La corrección por oxígeno de referencia aplica únicamente a los procesos en los cuales se realice combustión.

Artículo 5. Factores de equivalencia para dioxinas y furanos. Las actividades industriales a las cuales les corresponda realizar la medición de dioxinas y furanos, deben utilizar los factores de equivalencia (Tabla 2) y el procedimiento que a continuación se describe:

- A cada concentración de dioxinas y furanos determinada en el gas efluente, se le multiplica por el factor de equivalencia tóxica dado en la Tabla 2 como factor de riesgo.
- Cada uno de los valores modificados por el factor de equivalencia tóxica se suma y éste representa la concentración neta de emisión por muestra.
- El resultado de concentración encontrado se debe corregir a condiciones de referencia de presión y temperatura.
- Este resultado se compara con el establecido en la norma para dioxinas y furanos.

"Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones".

Tabla 2. Factores de equivalencia para el cálculo del factor de riesgo y comparación con los estándares de emisión admisibles de dioxinas y furanos.

Dioxinas y furanos	Factor de equivalencia Tóxica
Grupo 1	
2,3,7,8 Tetraclorodibenzodioxina (TCDD)	1,0
1,2,3,7,8 Pentaclorodibenzodioxina (PeCDD)	0,5
2,3,7,8 Tetraclorodibenzofurano (TCDF)	0,1
2,3,4,7,8 Pentaclorodibenzofurano (PeCDF)	0,5
Grupo 2	
1,2,3,4,7,8 Hexaclorodibenzodioxina (HxCDD)	0,1
1,2,3,7,8,9 Hexaclorodibenzodioxina (HxCDD)	0,1
1,2,3,6,7,8 Hexaclorodibenzodioxina (HxCDD)	0,1
1,2,3,7/4,8 Pentaclorodibenzofurano (PeCDF)	0,05
1,2,3,4,7,8/9 Hexaclorodibenzofurano (HxCDF)	0,1
1,2,3,7,8,9 Hexaclorodibenzofurano (HxCDF)	0,1
1,2,3,6,7,8 Hexaclorodibenzofurano (HxCDF)	0,1
2,3,4,6,7,8 Hexaclorodibenzofurano (HxCDF)	0,1
Grupo 3	
1,2,3,4,6,7,8 Heptaclorodibenzodioxina (HpCDD)	0,01
1,2,3,4,6,7,8,9 Octaclorodibenzodioxina (OCDD)	0,001
1,2,3,4,6,7,8 Heptaclorodibenzofurano (HpCDF)	0,01
1,2,3,4,7,8,9 Heptaclorodibenzofurano (HpCDF)	0,01
1,2,3,4,6,7,8,9 Octaclorodibenzofurano (OCDF)	0,001
Grupo 4	
2,3,7,8 Tetrabromodibenzodioxina (TBDD)	1,0
1,2,3,7,8 Pentabromodibenzodioxina (PeBDD)	0,5
2,3,7,8 Tetrabromodibenzofurano (TBDF)	0,1
2,3,4,7,8 Pentabromodibenzofurano (PeBDF)	0,5
Grupo 5	
1,2,3,4,7,8 Hexabromodibenzodioxina (HxBDD)	0,1
1,2,3,6,7,8 Hexabromodibenzodioxina (HxBDD)	0,1
1,2,3,7,8,9 Hexabromodibenzodioxina (HxBDD)	0,1
1,2,3,7,8 Pentabromodibenzofurano (PeBDF)	0,05

Artículo 6. Actividades industriales y contaminantes a monitorear por actividad industrial. En la

Tabla 3 se establecen las actividades industriales y los contaminantes que cada una de las actividades industriales debe monitorear.

Tabla 3. Actividades industriales y contaminantes a monitorear por actividad industrial.

Actividad industrial	Procesos e instalaciones	Contaminantes
----------------------	--------------------------	---------------

"Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones".

Actividad industrial	Procesos e instalaciones	Contaminantes
Producción de ácido nítrico	Cualquier instalación que produzca ácido nítrico débil por el proceso de presión o de presión atmosférica. (con excepción de los procesos en los que se obtenga ácido nítrico con concentración superior al 70%, por medio de destilación).	NOx
Producción de ácido sulfúrico	Cualquier instalación que produzca ácido sulfúrico por el proceso de contacto por medio del quemado de azufre elemental, ácido de alquilación, sulfuro de hidrógeno, sulfuros orgánicos y mercaptanos o residuos ácidos.	SO ₂ Nebolina ácida o trióxido de azufre
Producción de ácido clorhídrico	Cualquier instalación donde se produzca ácido clorhídrico, incluidos los sistemas de ventilación, tanques de almacenamiento, y transporte de ácido.	HCl
Producción de llantas y cámaras de caucho natural y sintético	Cualquier operación de cementado por debajo de la banda de rodamiento, por el costado, por la banda de rodamiento o en el sellante de la llanta y cada operación de rociado a llantas sin curar.	MP SO ₂ NOx HC _T
Producción de mezclas asfálticas	Cualquier instalación utilizada para la producción de mezclas asfálticas de mezcla caliente, calentando y secando agregado y mezclando con cementos de asfalto. Está compuesta por cualquier combinación de secadores, sistemas para tamizar, manejo, almacenamiento y pesado de agregado caliente, sistemas de carga, transferencia y almacenamiento de mineral de llenado, sistemas para mezclar asfalto de mezcla caliente y sistemas de carga, transferencia y almacenamiento asociados con sistemas de control de emisiones.	MP SO ₂ NOx
Procesamiento de asfalto y producción de productos de asfalto	Saturador e instalación de manejo y almacenamiento de mineral en plantas de productos de asfalto; tanque de almacenamiento de asfalto y soplador en plantas de procesamiento de asfalto, refinerías y plantas de producción de productos de asfalto.	MP
Fundición de acero	Cualquier horno con revestimiento refractario en el cual se produce acero fundido a partir de chatarra de metal, hierro fundido y materiales de flujo o adición de aleaciones cargado en un recipiente e introducido en un alto volumen de gas enriquecido con oxígeno.	MP SO ₂ NOx
	Cuando en el proceso de fundición de chatarra no es sometida a un proceso de limpieza (eliminación de pintura y grasa en seco, previo a su precalentamiento).	MP SO ₂ NOx Dioxinas y Furanos

"Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones".

Actividad industrial	Procesos e instalaciones	Contaminantes
	Cualquier proceso o instalación donde se realice el decapado del acero con ácido clorhídrico.	HCl
	Cualquier proceso o instalación donde se realice el decapado del acero con ácido sulfúrico.	Neblina acida o trióxido de azufre
Manufactura del acero para uso estructural	Cualquier proceso o instalación donde se realice el decapado del acero con ácido clorhídrico.	HCl
	Cualquier proceso o instalación donde se realice la reducción del espesor del acero.	MP
	Cualquier proceso o instalación donde se realice el proceso de recubrimiento del acero con aleaciones de zinc en un proceso en continuo.	
Fundición de cobre	Cualquier proceso intermedio o instalación relacionada con la producción de cobre a partir de concentrados de mineral de sulfuro de cobre mediante el uso de técnicas pirometalúrgicas. Aplica al secador, el tostador, el horno de fundición y el convertidor de cobre.	MP SO ₂ Cu
	Cualquier proceso o instalación de producción de cobre secundario, en el que se utilicen materias primas oxidadas o metálicas.	MP SO ₂ Cu Dioxinas y Furanos
Fundición de bronce y latón	Hornos de reverbero, eléctricos y hornos de cubilote (cúpula), entre otros.	MP
Fundición de plomo	Cualquier instalación utilizada para la obtención de plomo a partir de chatarra que contenga plomo. Aplica a hornos de crisol, hornos de cubilote (cúpula) y hornos de reverbero, entre otros.	MP Pb Cd Cu
	Cualquier proceso intermedio o instalación relacionada con la producción de plomo a partir de concentrados de mineral de sulfuro de plomo mediante el uso de técnicas pirometalúrgicas. Aplica a la máquina de sinterización, a la salida de la descarga de la máquina de sinterización, al horno de cubilote, al horno de reverbero de escoria, al horno de fundición eléctrico y al convertidor.	MP SO ₂ Pb Cd Cu
Fundición de zinc	Cualquier proceso intermedio o instalación relacionada con la producción de zinc u óxido de zinc a partir de concentrados de mineral de sulfuro de zinc mediante el uso de técnicas pirometalúrgicas. Aplica al tostador y a la máquina de sinterización.	MP SO ₂
	Hornos en los que se realice fundición de chatarra y que tenga sistema de control de material particulado.	MP SO ₂

"Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones".

Actividad industrial	Procesos e instalaciones	Contaminantes
	Hornos en los que se realice fundición de chatarra y que no tengan sistema de control de Material Particulado.	MP SO ₂ Dioxinas y Furanos
Procesos de galvanotecnia	Procesos de desengrasado, decapado, desmetalizados, recubrimiento con películas metálicas y orgánicas sobre sustratos metálicos y plásticos por medio de procesos químicos y electroquímicos.	SO ₂ NO _x HCl Pb Cd Cu
Producción de cal	Cada horno rotativo de cal usado en la producción de cal a través de la calcinación de piedra caliza.	MP
Fabricación de fibra de vidrio	Línea de producción de aislamiento en lana de fibra de vidrio a través del proceso en el que se fuerza el vidrio fundido a través de numerosos orificios pequeños en la pared de un cono para formar fibras de vidrio continuas (rotary spin).	MP
Fabricación de vidrio	Hornos manuales de fundición de vidrio, hornos de producción de vidrio y hornos fundidores eléctricos.	MP SO ₂ NO _x HF HCl
Producción de pulpa para papel a la soda	Sistema digestor, sistema lavador del licor negro, sistema evaporador de efecto múltiple, horno de recuperación, tanque de disolución, horno de cal, sistema separador de condensado.	MP SO ₂ NO _x
Producción de pulpa para papel al sulfato y a la soda		
Preparación de carbón	Cualquier instalación que prepare carbón por fraccionamiento, trituración, tamizaje, limpieza húmeda, seca o secado térmico. Aplica a secadores térmicos, equipos de limpieza de carbón neumáticos, procesamiento de carbón y equipos de transporte (incluyendo fraccionadores y trituradores), sistemas de almacenamiento de carbón y a sistemas de carga y transferencia de carbón.	MP
Producción de coque	Baterías de hornos de coque.	MP SO ₂ HC _T
	Procesos en los que no se cuente con un sistema de lavado de gases.	MP SO ₂ HC _T Dioxinas y Furanos

"Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones".

Actividad industrial	Procesos e instalaciones	Contaminantes
Fabricación de fertilizantes	<p>Cualquier planta que produzca ácido fosfórico por reacción de roca de fosfato y ácido. Aplica a cualquier combinación de reactores, filtros, evaporadores y pozos calientes.</p> <p>Cualquier planta que produzca ácido superfosfórico (ácido fosfórico con concentración de P₂O₅ superior al 66%). Aplica a cualquier combinación de evaporadores, pozos calientes, sumideros de ácido y tanques de enfriamiento.</p> <p>Cualquier planta que produzca fosfato diamónico granular por reacción de ácido fosfórico con amonio. Aplica a cualquier combinación de reactores, granuladores, secadores, enfriadores, tamices y molinos.</p> <p>Cualquier planta que produzca superfosfato triple por reacción de roca de fosfato y ácido. Aplica a cualquier combinación de mezcladores, bandas de curado, reactores, granuladores, secadores, hornos, tamices, molinos e instalaciones donde se almacene superfosfato triple que no se haya procesado en un granulador.</p> <p>Cualquier instalación en donde se cure o almacene superfosfato triple. Aplica a cualquier combinación de pilas de almacenamiento o curado, transportadores, elevadores, tamices y molinos.</p>	MP HF
	Cualquier actividad que produzca fertilizantes complejos tipo N, P, K. Aplica a cualquier combinación de enfriadores, digestores y secadores.	MP NOx HF
Producción de aleaciones ferrosas	Hornos de arco eléctrico sumergido que produzcan cualquier aleación de silicio, ferrosilicio, ferromanganeso, silicio de calcio, zirconio de silicomanganeso, silicio de ferrocromo, hierro plateado, ferrocromo de alto carbón, cromo de carga, ferromanganeso estándar, silicomanganeso, sílice de ferromanganeso o carburo de calcio y equipos para manejo de polvos.	MP
Plantas de acero	Hornos de arco eléctrico y sistemas de control de polvos en plantas de acero que produzcan aleaciones de carbón o aceros especiales.	MP SO ₂ NOx
Procesamiento de minerales	Cualquier planta de procesamiento de mineral metálico, aplica a cada triturador y tamizador en minas abiertas; cada triturador, tamizador, elevador de cangilones, banda transportadora, secador térmico, estación de empaque de producto, sitio de almacenamiento, área de	MP

"Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones".

Actividad industrial	Procesos e instalaciones	Contaminantes
	almacenamiento encerrada, estación de carga y descarga de camiones o vagones de ferrocarril en el molino o concentrador. Cualquier planta de procesamiento de mineral no metálico, aplica a cada triturador, molino de pulverización, operación de tamizaje, elevador de cangilones, banda transportadora, operación de empaque, sitio de almacenamiento, estación de carga de camiones o vagones de ferrocarril encerrado. Trituradoras y molinos utilizados para disminuir el tamaño de mineral no metálico para reciclarlo en mezclas asfálticas.	
Reducción primaria de aluminio	Grupos de cubas o crisoles y a las Instalaciones que producen ánodos de carbón	MP HF
Procesamiento de roca de fosfato	Cualquier planta que produzca, transforme o prepare producto de roca fosfórica (roca de fosfato) a través de minería, beneficio, trituración, tamizaje, limpieza, secado, calcinación o pulverización. Aplica a secadores, calcinadores, pulverizadores e instalaciones para manejo y almacenamiento de la roca.	MP
Manufactura de sulfato de amonio	Secadores de sulfato de amonio en las plantas que producen sulfato de amonio como subproducto de la producción de caprolactam, por la combinación directa de amonio y ácido sulfúrico o por la reacción de ácido sulfúrico con amonio recuperado de la manufactura del coke.	MP
Producción de caprolactama	Cualquier instalación industrial que produzca nitrito de amonio en solución como proceso intermedio, a través de una mezcla de carbonato/bicarbonato de amonio y gases NO + NO ₂ .	NOx
	Reactor vertical de lecho empacado para la producción de HADSA a partir de nitrito de amonio, agua amoniacal y SO ₂ .	SO ₂ NOx
Producción de Sulfato de sodio	Sistema de enfriamiento y secado de sulfato de sodio.	MP SO ₂
Producción de nitrato de potasio	Sistema de secado de nitrato de potasio.	MP
Calcinación y secado de industrias minerales	Calcinadores y secadores en plantas que procesen o produzcan cualquiera de los siguientes minerales, sus concentrados o cualquier mezcla en la que la mayor parte sea de uno de los siguientes minerales o una combinación de estos: alúmina, arcilla de bola, bentonita, diatomita, feldespato, arcilla de fuego, tierra de batán, yeso, arena industrial, caolín, agregados ligeros,	MP

"Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones".

Actividad industrial	Procesos e instalaciones	Contaminantes
	compuestos de magnesio, gránulos para techos, talco, dióxido de titanio y vermiculita. Para la industria del ladrillo y los productos relacionados con arcilla, sólo se incluyen los calcinadores y secadores de la materia prima antes de cocinar el ladrillo.	
Industria molinera	Cualquier planta o instalación en la que el grano es descargado, procesado, limpiado, secado, almacenado o cargado. Cualquier planta o instalación en la que el grano es descargado, manipulado, limpiado, secado, almacenado o cargado dentro de un molino de harina de trigo, molino de maíz húmedo, molino de maíz seco (consumo humano), molino de arroz, o planta de extracción de aceite. Estaciones de carga o descarga de camiones, de barcazas y barcos, de vagones de ferrocarril, a secadores de granos y a las operaciones de manipulación de granos.	MP
Hornos de tostado de cascarilla de grano o material vegetal	Cualquier planta o instalación que tueste cascarilla de grano o material vegetal como parte de un proceso industrial y no como combustible para la generación de calor.	MP NOx HC _T Dioxinas y Furanos
Puertos	Cualquier instalación en la que se realicen actividades de descargue, manipulación, almacenamiento o cargue de sólidos a granel.	MP
Fabricación de productos farmacéuticos	Cualquier planta o instalación en la que produzca o prepare medicamentos para consumo humano o animal en condición sólida, líquido o semisólido, que utilicen equipos para la mezcla de sólidos, marmitas o intercambiadores de calor y calderas para la generación de vapor de agua.	MP
Artes gráficas	Unidades de impresión por rotograbado.	COV
Procesamiento y transformación de caucho natural y sintético	Cualquier proceso e instalación donde se procese o transforme el caucho natural o sintético	COV
Recubrimiento de superficies	Cualquier operación de recubrimiento de muebles metálicos en la que se apliquen recubrimientos orgánicos. Operaciones de recubrimiento iniciales, intermedias y finales para vehículos automotores. Cualquier línea de recubrimiento usado en la manufactura de cinta sensible a la	COV

"Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones".

Actividad industrial	Procesos e instalaciones	Contaminantes
	<p>presión y materiales de etiquetado.</p> <p>Cualquier línea que aplique recubrimiento superficial a una tapa, puerta, cubierta, panel u otra parte de metal interior o exterior o accesorio que es ensamblado para formar una estufa, horno, horno microondas, refrigerador, congelador, lavadora, secadora, lavador de platos, calentador de agua o compactador de basura para uso residencial, comercial o recreacional.</p> <p>Cualquier sistema de aplicación usado para aplicar recubrimiento orgánico a la superficie de una tira continua de metal (rollos) y latas de bebidas.</p> <p>Cabina de rociado en la que se recubren las partes plásticas para máquinas que usan métodos electrónicos o mecánicos para procesar información, realizar cálculos, imprimir o copiar información o convertir sonidos en pulsos eléctricos para transmisión.</p>	
Producción de pigmentos inorgánicos a base de caolín, carbonato de sodio y azufre	Horno de calcinación.	MP SO ₂ NO _x
Otras actividades industriales	El proceso e instalaciones que generen emisiones contaminantes a la atmósfera.	MP, SO ₂ , NO _x , HF, HCl, HCl, Dioxinas y Furanos, Neblinas ácida o trióxido de azufre, COV, Pb, Cd, Cu, CO, Hg, Amoníaco (NH ₃), Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S) y mercaptanos, Carbono Orgánico Total (COT)

Parágrafo Primero: La autoridad ambiental competente solicitará el cumplimiento de todos los contaminantes a monitorear, a las actividades industriales que se encuentran en la categoría de "Otras actividades industriales" y que no se encuentren incluidas en los capítulos posteriores de la presente resolución, a menos que el industrial demuestre con información relativa al proceso que adelanta y por medio de medición directa, uso de factores de emisión o balance de masas que no genera alguno de los contaminantes allí señalados.

Parágrafo Segundo: Cuando una actividad industrial definida en la

"Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones".

Tabla 3, cuente adicionalmente con equipos de combustión externa con calentamiento indirecto, dichos equipos deben cumplir con los estándares de emisión admisibles establecidos en el Artículo 7 de la presente resolución, si se trata de actividades industriales existentes y con los estándares de emisión admisibles establecidos en el Artículo 8 cuando se trate de actividades industriales nuevas.

Parágrafo Tercero: Cuando una actividad industrial no definida en la

Tabla 3 o en los capítulos posteriores de la presente resolución, cuente con equipos de combustión externa con calentamiento directo, dichos equipos deben cumplir con los estándares de emisión admisibles establecidos en el Artículo 7 de la presente resolución, si se trata de actividades industriales existentes y con los estándares de emisión admisibles establecidos en el Artículo 8 cuando se trate de actividades industriales nuevas.

Parágrafo Cuarto: Las actividades industriales a las cuales les corresponda monitorear Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), deben realizar mediciones anuales durante los dos primeros años contados a partir de la entrada en vigencia de la presente resolución y posteriormente de acuerdo a lo establecido en el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas.

Parágrafo Quinto: Aquellas actividades a las cuales les corresponda monitorear Plomo (Pb), no deben realizar la corrección por oxígeno de referencia para este contaminante.

Parágrafo Sexto: Aquellos procesos e instalaciones industriales que cuenten con equipos de secado, enfriamiento, tostión, instantización o aglomerado, que utilicen gas natural como combustible y que tengan sistemas de control de emisiones operando de acuerdo a lo establecido en la presente resolución, o que utilicen gas natural como combustible y oxígeno criogénico en lugar de aire como comburente, no deben realizar la corrección por oxígeno de referencia.

CAPÍTULO III ESTÁNDARES DE EMISIÓN ADMISIBLES DE CONTAMINANTES AL AIRE PARA EQUIPOS DE COMBUSTIÓN EXTERNA

Artículo 7. Estándares de emisión admisibles para equipos de combustión externa existentes. En la Tabla 4 se establecen los estándares de emisión admisibles para equipos de combustión externa existentes a condiciones de referencia, de acuerdo al tipo de combustible y con oxígeno de referencia del 11%.

Tabla 4. Estándares de emisión admisibles para equipos de combustión externa existentes a condiciones de referencia (25 °C, 760 mm Hg) con oxígeno de referencia del 11%.

Combustible	Estándares de emisión admisibles (mg/m ³)		
	MP	SO ₂	NO _x
Sólido	200	500	350
Líquido	200	500	350
Gaseoso	NO APLICA	NO APLICA	350

Parágrafo: Las calderas existentes que tengan una producción de vapor superior a 25 toneladas por hora deben cumplir con los estándares de emisión admisibles establecidos en el Artículo 13.

"Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones".

Combustible	Producción de vapor (t/h)	Estándares de emisión admisibles (mg/m ³)	
		MP	NOx
Biomasa	TODOS	300	350

Artículo 19. Estándares de emisión admisibles para equipos de combustión externa nuevos que utilicen biomasa como combustible. En la Tabla 15 se establecen los estándares de emisión admisibles para equipos de combustión externa nuevos que utilicen biomasa como combustible a condiciones de referencia, con oxígeno de referencia del 13%.

Tabla 15. Estándares de emisión admisibles para equipos de combustión externa nuevos que utilicen biomasa como combustible a condiciones de referencia (25 °C, 760 mm Hg) con oxígeno de referencia del 13%.

Combustible	Producción de vapor (t/h)	Estándares de emisión admisibles (mg/m ³)	
		MP	NOx
Biomasa	TODOS	50	350

Artículo 20. Control de Variables. Aquellos procesos e instalaciones que utilicen biomasa como combustible en sus procesos de combustión deberán controlar las siguientes variables: porcentaje en peso de humedad de la biomasa, temperatura de los gases de chimenea y poder calorífico de la biomasa (en base seca).

Artículo 21. Mezcla de combustibles. Cuando un equipo de combustión externa que utilice biomasa como combustible, use adicionalmente otro combustible en proporción superior al 5%, deberá cumplir con lo establecido en el CAPITULO III de la presente resolución.

CAPÍTULO VIII ESTÁNDARES DE EMISIÓN ADMISIBLES DE CONTAMINANTES AL AIRE PARA LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DE LA REFINACIÓN DEL PETRÓLEO

Artículo 22. Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las actividades existentes de fabricación de productos de la refinación del petróleo. En la Tabla 16 se establecen los estándares de emisión admisibles para las actividades existentes de fabricación de productos de la refinación del petróleo, por tipo de combustible a condiciones de referencia y el oxígeno de referencia con base en el cual se debe realizar la corrección de oxígeno posterior a la medición. Dichos estándares deben cumplirse en cada uno de los puntos de descarga de las actividades de refinación.

Tabla 16. Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las actividades existentes de fabricación de productos de la refinación del petróleo por tipo de combustible, a condiciones de referencia (25 °C, 760 mm Hg).

Combustible	Estándares de emisión admisibles (mg/m ³)			Oxígeno de referencia
	MP	SO ₂	NOx	
Sólido	170	2800	760	6%
Líquido	170	2000	650	3%
Gaseoso	NO APLICA	NO APLICA	300	3%

"Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones".

dispositivos adecuados de control de acuerdo con lo establecido en el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas.

CAPÍTULO XVII DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE DESCARGA DE LA EMISIÓN POR FUENTES FIJAS

Artículo 69. Obligatoriedad de construcción de un ducto o chimenea. Toda actividad que realice descargas de contaminantes a la atmósfera debe contar con un ducto o chimenea cuya altura y ubicación favorezca la dispersión de éstos al aire, cumpliendo con los estándares de emisión que le son aplicables.

Artículo 70. Determinación de la altura del punto de descarga. La altura del punto de descarga (chimenea o ducto) se determinará con base en la altura o el ancho proyectado de las estructuras cercanas, entre otros criterios, siguiendo las Buenas Prácticas de Ingeniería tanto para instalaciones existentes como nuevas, establecidas en el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas. En todo caso la altura mínima debe garantizar la dispersión de los contaminantes.

Artículo 71. Localización del sitio de muestreo. Todas las actividades industriales, los equipos de combustión externa, las actividades de incineración de residuos y los hornos crematorios que realicen descargas de contaminantes a la atmósfera deben contar con un sistema de extracción localizada, chimenea, plataforma y puertos de muestreo que permitan realizar la medición directa y demostrar el cumplimiento normativo.

La altura de la chimenea, diámetro y localización de los puertos de muestreo deben construirse de acuerdo a los métodos y procedimientos adoptados en el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas. En todo caso, aquellas actividades, en las cuales la ubicación del punto de descarga, debido a las condiciones físicas de la fuente (inclinación, área superficial de la fuente, seguridad de acceso) imposibiliten la medición directa, podrán estimar sus emisiones a través de balance de masas o finalmente por medio de la utilización de factores de emisión de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), de acuerdo con lo establecido en el Artículo 110 del Decreto 948 de 1995.

CAPÍTULO XVIII MEDICIÓN DE EMISIONES PARA FUENTES FIJAS

Artículo 72. Métodos de medición de referencia para fuentes fijas. El Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial adoptará a nivel nacional el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas. Dicho protocolo contendrá los métodos de medición de referencia para fuentes fijas, los procedimientos de evaluación de emisiones, la realización de estudios de emisiones atmosféricas y vigilancia y control de la contaminación atmosférica por fuentes fijas.

Las mediciones de las emisiones atmosféricas deben estar de acuerdo con lo establecido en el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas.

“Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones”.

Artículo 73. Métodos alternativos para realizar la medición en ductos y chimeneas. Cuando no sea posible realizar el estudio de emisión por cualquiera de los métodos de referencia establecidos en el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, o cuando se facilite la aplicación de un método alternativo, la industria podrá solicitar a la autoridad ambiental competente la autorización para el empleo de un método alternativo de acuerdo a lo establecido en dicho protocolo.

Artículo 74. Realización de mediciones directas. Todo encargado de realizar la toma de muestras, análisis de laboratorio y medición directa en campo de emisiones para verificar el cumplimiento de los estándares admisibles de contaminantes al aire, debe estar acreditado de conformidad con lo establecido en el Decreto 1600 de 1994, modificado por el Decreto 2570 de 2006 y la Resolución 0292 de 2006 del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales o las normas que los modifiquen, adicionen o sustituyan. Se aceptarán los resultados de análisis que provengan de laboratorios extranjeros acreditados por otro organismo de acreditación.

Artículo 75. Medición continua de las emisiones. El Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, debe determinar las condiciones a partir de las cuales las autoridades ambientales competentes podrán exigir mediciones continuas de emisiones contaminantes. Las condiciones deben incluir por lo menos la carga de los contaminantes emitidos, la cercanía con el estándar de emisión admisible de los contaminantes y la distancia entre la fuente y las poblaciones cercanas.

Parágrafo: Para la definición de poblaciones cercanas, se debe aplicar lo establecido en el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas referente a estructuras cercanas.

Artículo 76. Cumplimiento de estándares. El cumplimiento de los estándares de emisión admisibles de contaminantes se debe determinar mediante medición directa en cada fuente individual, para lo cual la fuente fija debe contar con un punto de descarga, de acuerdo a lo establecido en el CAPÍTULO XVII de la presente resolución. De no contar con punto de medición directa, la verificación del cumplimiento se realizará teniendo en cuenta los resultados obtenidos por medio de balance de masas o factores de emisión.

Parágrafo Primero: Los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire que se establecen en la presente resolución no serán aplicables durante los periodos de arranque y parada de las instalaciones o equipos utilizados en la actividad.

Parágrafo Segundo: Los responsables de las actividades industriales, los equipos de combustión externa, las actividades de incineración de residuos y los hornos crematorios deben informar a la autoridad ambiental competente la duración de los periodos de arranque y parada de las instalaciones o equipos de los procesos.

Artículo 77. Realización de estudios mediante medición de emisiones. Los estudios de emisiones realizados para establecer el cumplimiento de los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire deben cumplir con lo establecido en el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas.

"Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones".

Parágrafo Segundo: Se debe presentar la siguiente información por escrito a la autoridad ambiental competente dentro del siguiente día hábil a la falla:

Nombre y localización de la fuente de emisión.

Las causas de la falla y su naturaleza.

Lapso aproximado durante el cual se suspenderá la operación del sistema de control por culpa de la falla.

CAPÍTULO XX CONVENIOS DE RECONVERSIÓN A TECNOLOGÍAS LIMPIAS

Artículo 82. Contenido, alcance y requisitos de los Convenios de Reconversión. Los Convenios de Reconversión a Tecnología Limpia de los que habla el Artículo 99 del Decreto 948 de 1995, deben contener cuando menos los siguientes aspectos:

- Actores involucrados
- Consideraciones legales
- Consideraciones técnicas y de mercado
- Consideraciones financieras
- Objetivos
- Alcances
- Plazo
- Plan de Reconversión a Tecnología Limpia
- Actividades de seguimiento

Artículo 83. Plan de Reconversión a Tecnología Limpia. Los planes de reconversión a tecnología limpia, deben incluir una definición precisa de los cambios parciales o totales en los procesos de producción, un estimativo de la reducción o minimización de las emisiones contaminantes a la atmósfera, tanto en su cantidad por unidad de producción, como en su toxicidad y peligrosidad, antes de ser tratados por los equipos de control; de la reducción o minimización en la utilización de recursos naturales y energía, por unidad de producción; una descripción técnica de los procesos de reutilización o reciclaje, así como de las cantidades de los subproductos o materias primas reciclados o reutilizados, por unidad de producción, y un presupuesto del costo total de la reconversión. Así mismo, una descripción de los procesos de combustión o del uso de combustibles más limpios, y demás requisitos establecidos en los Artículos 98 al 103 del Decreto 948 de 1995 modificado por el Decreto 2107 de 1995.

Artículo 84. Actividades en áreas fuente de contaminación alta. Todas las fuentes fijas que se encuentren localizadas dentro de áreas-fuente de contaminación alta, tendrán un plazo no superior a 12 meses adicional al plazo previsto en el numeral 1 del artículo 98 del decreto 948 de 1995, para cumplir con los estándares de emisión admisibles del contaminante que ocasionó la clasificación del área-fuente de contaminación, siempre y cuando hayan suscrito un convenio de reconversión a tecnologías limpias.

Parágrafo: En aquellos eventos en los cuales la declaración del área-fuente de contaminación alta se produzca con posterioridad al vencimiento del plazo a que