

**EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL RCM REALIZADO
A LA TORRE DE ENFRIAMIENTO STE-2945 DEL DEPARTAMENTO DE
SERVICIOS INDUSTRIALES DE LA REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA**

**MÓNICA YANNETH ORTIZ QUINTERO
DAVID FERNANDO RUEDA ACOSTA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD INGENIERAS FÍSICO-MÉCANICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
ESPECIALIZACIÓN EN EVALUACIÓN Y GERENCIA DE PROYECTOS
BUCARAMANGA**

2013

**EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL RCM REALIZADO
A LA TORRE DE ENFRIAMIENTO STE-2945 DEL DEPARTAMENTO DE
SERVICIOS INDUSTRIALES DE LA REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA**

**MÓNICA YANNETH ORTIZ QUINTERO
DAVID FERNANDO RUEDA ACOSTA**

**Monografía como requisito para optar al título de Especialista en Evaluación
y Gerencia de proyectos**

Director

**GUILLERMO BUSTAMANTE ALZATE
Ingeniero Civil Magister en Administración**

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

2013

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Industrial de Santander y especialmente a la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales, por su compromiso con la Especialización en Evaluación y Gerencia de Proyectos.

Al Ingeniero Guillermo Bustamante Alzate, Director de este trabajo de grado, por su importante orientación, dedicación y respaldo.

Al Ingeniero Jhon Jairo Forero, por su disposición, apoyo y oportunidad para realizar este trabajo de grado.

A todo el equipo de trabajo del Departamento de Servicios Industriales Balance de la Refinería de Barrancabermeja, por su importante aporte, indispensable para la realización de este trabajo de grado.

A nuestros familiares y amigos, que de alguna forma contribuyeron para obtener este gran logro.

A nuestro hijo Juan David Rueda Ortiz, por todo el tiempo que nos permitió dedicarle a esta valiosa especialización.

David y Mónica

DEDICATORIA

A Dios por ser luz, guía y compañero en todos los instantes de nuestras vidas.

A nuestros padres: José Manuel, Mercedes, Julian y Martha, por su apoyo incondicional e inmenso amor.

A nuestros hermanos: Laura y Julián Andrés, por estar siempre presente.

A nuestro hijo Juan David, fuente de este logro y principal motivación para seguir adelante.

David y Mónica

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. GENERALIDADES	19
1.1. ENTORNO GENERAL	19
1.1.1 Dimensión social y demográfica	22
1.1.2. Dimensión del entorno físico y medio ambiente	23
1.1.3. Dimensión cultural y social	23
1.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	23
1.3. OBJETIVOS	24
1.3.1. Objetivo general.	24
1.3.2. Objetivos específicos.	25
1.4. JUSTIFICACIÓN	25
1.4.1. Descripción del proyecto.	25
1.4.2. Situación actual.	26
1.5. MARCO REFERENCIAL	30
1.5.1. RCM.	30
2. ESTUDIO TÉCNICO	32
2.1. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO STE-2945	32
2.2. TAMAÑO DE LA PLANTA	35
2.3 LOCALIZACIÓN	35
2.4. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS Y ORGANIZACIONALES	36
2.6. ESTUDIO IMPACTO AMBIENTAL	38
3. ANÁLISIS DE RIESGOS	39
3.1 PLAN DE GESTIÓN DE RIESGOS	39
3.2. ESTRUCTURA DE DESGLOSE DEL RIESGO – RBS.	43

3.3. MATRIZ DE PROBABILIDAD E IMPACTO	44
3.4 REGISTRO Y PLAN DE GESTIÓN DE RESPUESTA A RIESGOS	45
4. ESTUDIO FINANCIERO	50
4.1. INVERSIONES	50
4.2. COSTOS	51
4.2.1. Materia Prima.	51
4.2.2 Producto.	52
4.2.3. Costos de mantenimiento.	52
4.2.4 Costos de los repuestos	52
4.2.5 Costos asociados a la operación.	53
4.2.6 Costos de los Equipos	54
5. EVALUACIÓN FINANCIERA	56
5.1. EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL RCM EN LA TORRE DE ENFRIAMIENTO STE-2945	56
5.2. EVALUACIÓN FINANCIERA SIN LA IMPLEMENTACIÓN DEL RCM EN LA TORRE DE ENFRIAMIENTO STE-2945 (Operando a Falla).	65
6. CONCLUSIONES	74
7. RECOMENDACIONES	75
BIBLIOGRAFÍA	76

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Equipo de trabajo que participa en actividades de STE-2945.	22
Tabla 2. Capacidad instalada de Servicios Industriales Balance.	26
Tabla 3. Sistemas del Departamento de Servicios Industriales Balance.	27
Tabla 4. Recomendaciones de mantenimiento para la Torre de Enfriamiento STE-2945, según RCM.	30
Tabla 5. Equipos que componen la Torre de Enfriamiento STE-2945.	35
Tabla 6. Plan de Gestion de Riesgos.	39
Tabla 7. Matriz de Probabilidad e Impacto.	44
Tabla 8. Registro de Riesgos y Plan de respuesta.	45
Tabla 9. Inversiones del proyecto.	51
Tabla 10. Costo de Materia Prima de la Torre de Enfriamiento STE-2945.	51
Tabla 11. Precio de venta del producto de la Torre de Enfriamiento STE-2945.	52
Tabla 12. Costos de Mantenimiento de la Torre de Enfriamiento STE-2945.	53
Tabla 13. Costos de repuestos por equipo de Torre de Enfriamiento STE-2945.	53
Tabla 14. Costos por mantenimiento correctivo de la Torre de Enfriamiento STE-2945.	54
Tabla 15. Ecuación de pérdida por incremento de temperatura en el producto de la Torre de Enfriamiento STE-2945.	55
Tabla 16. Costo de los equipos de la Torre de enfriamiento STE-2945.	55
Tabla 17. Indicadores constantes para Evaluación Financiera.	57
Tabla 18. Inversión total.	58
Tabla 19. Estado de resultados.	59
Tabla 20. Flujo de Fondos.	60
Tabla 21. Balance.	61
Tabla 22. Flujo de caja de la inversión total.	62
Tabla 23. Indicadores constantes para Evaluación Financiera sin la implementación del RCM.	66

Tabla 24. Inversión total sin la implementación del RCM.	67
Tabla 25. Estado de resultados sin la implementación del RCM.	68
Tabla 26. Flujo de Fondos sin la implementación del RCM.	69
Tabla 27. Balance sin la implementación del RCM.	70
Tabla 28. Flujo de caja de la inversión total sin la implementación del RCM.	71

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructura Ecopetrol S.A	20
Figura 2. Torres de Enfriamiento del Departamento de Servicios Industriales Balance de la Refinería de Barrancabermeja.	28
Figura 3. Proceso de producción STE-2945.	33
Figura 4. Flujo de proceso de Torre de enfriamiento STE-2945.	34
Figura 5. Estructura de la Refinería de Barrancabermeja.	37
Figura 6. Estructura de desglose del riesgo.	43
Figura 7. Análisis de sensibilidad.	48

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Grafica 1. VPN de la implementación del estudio RCM.	63
Grafica 2. Flujo de ingresos, costos y gastos con la implementación del estudio RCM.	64
Grafica 3. VPN sin la implementación del estudio RCM.	72
Grafica 4. Flujo de Ingresos, Costos y Gastos sin la implementación del estudio RCM.	73
Grafica 5. Flujos de caja con implementación de RCM y sin implementación.	74

GLOSARIO

ACTIVOS DE LOS PROCESOS DE LA ORGANIZACIÓN. Planes, procesos, políticas, procedimientos y bases de conocimiento que son específicos y utilizados por la organización ejecutante. (Project Management Institute - PMI).

ANÁLISIS DE SUPUESTOS. Técnica que analiza la veracidad de los supuestos e identifica los riesgos para el proyecto por inexactitud, inconsistencias o falta de supuestos (PMI).

ECOPETROL. Empresa Colombiana de Petróleos.

MATRIZ DE PROBABILIDAD E IMPACTO. Una manera común de determinar si un riesgo se considera bajo, moderado o alto mediante la combinación de las dos dimensiones de un riesgo: su probabilidad de ocurrencia y su impacto sobre los objetivos, en caso de ocurrir (PMI).

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).

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

RCM. Reliability Centered Maintenance, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Es un sistema metódico para diseñar programas de mantenimiento que aumenten la confiabilidad de los equipos con un mínimo costo y riesgo (Mantenimiento en la práctica – Pedro Silva).

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

STAKEHOLDERS: Un individuo, grupo u organización que pueda afectar, verse afectado, o percibirse afectado a si mismo por una decisión, actividad, o el resultado de un proyecto (PMI).

RESUMEN

TITULO: EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL RCM REALIZADO A LA TORRE DE ENFRIAMIENTO STE-2945 DEL DEPARTAMENTO DE SERVICIOS INDUSTRIALES DE LA REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA *

AUTOR: MÓNICA YANNETH ORTIZ QUINTERO
DAVID FERNANDO RUEDA ACOSTA **

PALABRAS CLAVES: Barrancabermeja, Refinería, Torre, Enfriamiento, RCM, clientes, Producción, Indicadores.

DESCRIPCION:

El propósito de este trabajo es realizar un análisis cuantitativo mediante una evaluación financiera, para determinar la mejor opción de la realización de los mantenimientos orientados a la Torre de Enfriamiento STE-2945 del Departamento de Servicios Industriales Balance de la Refinería de Barrancabermeja, teniendo en cuenta que si la temperatura del agua supera los 90° F (32.22° C), se incurren en pérdidas de producción cercanas a los USD13,000.00/Hora y que la intervención del equipo para recuperar la confiabilidad tarda aproximadamente 14 días. Las dos opciones de mantenimientos son:

- Implementación de un estudio RCM a la Torre de enfriamiento
- Operar y realizar mantenimiento a falla

Los reductores de velocidad de los ventiladores de la Torre de Enfriamiento STE-2945 se reemplazaron por nuevos en 2006 y 2007 mediante un proyecto de reposición de equipos, del cual surgió el estudio técnico RCM. Este estudio recomienda una serie de mantenimientos preventivos, sin embargo, debido al relevo generacional se hace necesario demostrar si realmente es necesario cumplir las recomendaciones de mantenimientos solicitadas por el RCM u operar los reductores de velocidad a falla.

Por esta razón, se plantea en este proyecto la Evaluación Financiera de la implementación del RCM (completo) de la Torre de Enfriamiento STE-2945 y su no implementación, lo cual permitirá asegurar la programación de dicho mantenimiento y mostrar resultados a la organización.

Garantizar la implementación estricta del RCM para la Torre de Enfriamiento STE-2945. Hacer los ajustes requeridos a través del tiempo, con el fin de hacer un proceso de mejora continua. Hacer revisión el 31 de Diciembre de 2013. Responsable: Equipo Núcleo del Departamento de Servicios Industriales Balance.

* 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: FINANCIAL EVALUATION OF THE IMPLEMENTATION OF THE RCM MADE A COOLING TOWER STE-2945 INDUSTRIAL SERVICES DEPARTMENT OF REFINERY OF BARRANCABERMEJA *

AUTHOR: MÓNICA YANNETH ORTIZ QUINTERO
DAVID FERNANDO RUEDA ACOSTA **

KEY WORDS: Barrancabermeja, Refinery, Tower, Cooling, RCM, Customers, Production, Indicators.

DESCRIPTION:

The purpose of this paper is to perform a quantitative analysis by a financial assessment to determine the best choice of the making of maintenance oriented cooling tower STE2945 Industrial Services Department Balance of the Barrancabermeja Refinery, considering that if the water temperature exceeds 90° F (32.22° C) causing production losses are near the USD13,000.00/Hour and that intervention team to recover the reliability takes about 14 days. The two maintenance options are:

- Implementation of an RCM study the cooling tower
- Operate and maintain a failure

Speed reducers fans STE2945 Cooling Tower were replaced by new ones in 2006 and 2007 by an equipment replacement project, from which arose the technical study RCM. This study recommends a number of preventive maintenance, however, due to generational change is necessary to prove whether you really need to implement the recommendations of maintenance requested by the RCM or operating speed reducers fails.

Therefore, in this project arises Financial Evaluation of the implementation of RCM (complete) Cooling Tower STE-2945 and its non-implementation, which will ensure that maintenance schedule and show results to the organization.

Ensure strict implementation of RCM for Cooling Tower STE-2945. Make the necessary adjustments over time, in order to make a continuous improvement process. Make revision on December 31, 2013. Responsible: Core Team Industrial Services Department Balance.

* Monograph

** Faculty of Engineering Physic Mechanical. School of Industrial and Business Studies. Specialization in Evaluation and Project Management. Director: Guillermo Leon Bustamante Alzate.

INTRODUCCIÓN

El Departamento de Servicios Industriales Balance de la Refinería de Barrancabermeja es el encargado de suministrar aire, agua, vapor y energía eléctrica a la Unidad de Balance. Para abastecer las necesidades de retiro de calor al agua que va a los procesos de las plantas que conforman la Unidad de Balance, el Departamento cuenta con dos Torres de enfriamiento: STE-2940 y STE-2945.

La Torre de Enfriamiento STE-2945 suministra el agua requerida al Departamento de Refinación de Fondos y Cracking I. Esta torre cuenta con 10 ventiladores que incluyen un componente reductor de velocidad, el cual presentó múltiples fallas en años anteriores, impactando la productividad de las plantas a las cuales suministra el agua para su operación.

Ecopetrol S.A. – Refinería de Barrancabermeja en pro de mejorar la confiabilidad de sus equipos, ha dispuesto un equipo de ingeniería, con el fin de establecer unos parámetros de operación y mantenimiento, que permitan la reducción de dichas fallas y así mismo, minimizar el impacto de éstas sobre las plantas clientes.

Este equipo de ingeniería, basado en los datos y hechos de los años 2002 a 2006, estableció un RCM (Reliability Centered Maintenance – Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), del cual surgieron recomendaciones de mantenimiento, para anticiparse a las fallas de los equipos y procurando su preservación y aumento de tiempo medio entre fallas y así su confiabilidad y disponibilidad, mediante la implementación de buenas prácticas.

Los equipos fueron reemplazados en 2006 y a partir de este momento se han realizado las recomendaciones de mantenimiento fruto del RCM. Sin embargo, ahora cuando se requiere hacer el mantenimiento preventivo, debido a su costo y al cambio de personas que en su momento vivieron dicha situación, es importante sensibilizar al personal encargado y demostrar el impacto financiero de la implementación o trabajo a falla – correctivo.

Por esta razón, se plantea en este proyecto la Evaluación Financiera de la implementación del RCM (completo) de la Torre de Enfriamiento STE-2945 y su no implementación, lo cual permitirá asegurar la programación de dicho mantenimiento y mostrar resultados a la organización.

1. GENERALIDADES

1.1. ENTORNO GENERAL

El proyecto se desarrolla en Ecopetrol S.A., Refinería Barrancabermeja, Departamento de Servicios Industriales Balance.

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. Posee la participación mayoritaria de la infraestructura de transporte y refinación del país.

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.

La compañía es reconocida por la gestión ambiental. Tiene a disposición el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), considerado el más completo centro de investigación y laboratorio científico de su género en el país, donde reposa el acervo geológico de un siglo de historia petrolera de Colombia.

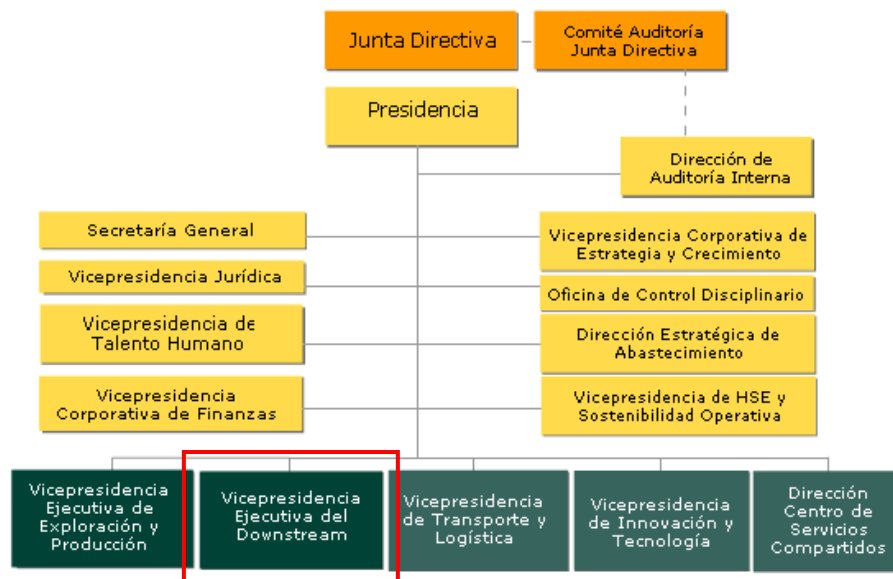
Desde 1997 ha obtenido las más altas utilidades de una compañía Colombiana en toda la historia. En 2003 se convirtió en una sociedad pública por acciones y se inició una transformación para garantizar mayor autonomía financiera y

competitividad dentro de la nueva organización del sector de hidrocarburos de Colombia, con la posibilidad de establecer alianzas comerciales fuera del país.

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.

El proyecto se desarrolla en la Refinería de Barrancabermeja, la cual hace parte de la Vicepresidencia Ejecutiva del Downstream. En la Figura 1 se muestra la Estructura general de Ecopetrol S.A.

Figura 1. Estructura Ecopetrol S.A.¹



Fuente: <http://iris>

Las tareas y responsabilidades de la Refinería de Barrancabermeja son²:

¹ Tomado de <http://iris> - Intranet Ecopetrol S.A., el día 2 de mayo de 2013 (Información confidencial, disponible sólo para funcionarios Ecopetrol S.A.)

1. Producir combustibles y derivados petroquímicos con criterios de rentabilidad y cumpliendo con los requerimientos ambientales y del mercado.
2. Revisar, ajustar y ejecutar la programación de cargas y producciones a las unidades de proceso de acuerdo con los planes acordados con las áreas de planeación de la empresa.
3. Manejar en forma eficiente y segura los inventarios de materia prima y productos para garantizar la operación de las plantas.
4. Formular, orientar y desarrollar programas operativos para producir combustibles y derivados petroquímicos de acuerdo con los requerimientos de los mercados.
5. Entregar productos competitivos en términos de Calidad y oportunidad.
6. Desarrollar, comunicar, evaluar y asegurar las políticas de Calidad, de Talento Humano, de Gerenciamiento de Activos, de Salud, Seguridad y Ambiente en todas las dependencias de la Refinería.
7. Dirigir programas de interiorización de la visión, la misión, los principios y los valores de la Empresa.
8. Realizar el seguimiento, evaluación y control de los proyectos, programas y actividades a cargo de la dependencia.

² Tomado de <http://iris/contenido/contenido.aspx?catID=971&conID=48798>, el 20 de Julio de 2013.

9. Asumir y desarrollar las funciones y responsabilidades específicas establecidas por el modelo normativo de seguridad informática en el rol de usuario informático y dueño de la información.

10. Administrar la información y el conocimiento generado en el desarrollo de su gestión de acuerdo con las políticas corporativas.

11. Las demás funciones que se le asignen o le correspondan de acuerdo con la naturaleza de la dependencia.

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 estudio RCM (Reliability Centered Maintenance), su implementación, ejecución, seguimiento y control, está conformado como se muestra en la Tabla 1.

El personal encargado de la ejecución de las prácticas de mantenimiento recomendadas en el estudio RCM son el operador de planta y la cuadrilla de mantenimiento. Dicha cuadrilla está formada por: Un líder de cuadrilla, cuatro mecánicos, cuatro Metalistas, dos Electricistas, dos Instrumentistas y un Soldador.

Tabla 1. Equipo de trabajo que participa en actividades de STE-2945.

CANT.	CARGO	PERFIL	GENERO	EDAD
1	Ingeniero de procesos	Profesional	Indiferente	Indiferente
1	Ingeniero de confiabilidad equipo rotativo	Profesional	Indiferente	Indiferente
1	Ingeniero de confiabilidad equipo estático	Profesional	Indiferente	Indiferente
1	Ingeniero de confiabilidad equipo eléctrico	Profesional	Indiferente	Indiferente
1	Ingeniero de instrumentación y control	Profesional	Indiferente	Indiferente
1	Supervisor de operaciones	Tecnólogo y/o Técnico	Indiferente	Indiferente

1	Supervisor de mantenimiento	Tecnólogo y/o Técnico	Indiferente	Indiferente
---	-----------------------------	-----------------------	-------------	-------------

Fuente: Elaboración propia.

1.1.2. Dimensión del entorno físico y medio ambiente. Este proyecto contempla el análisis de la implementación de nuevas prácticas de mantenimiento que permitan mejorar la disponibilidad y confiabilidad de la torre de enfriamiento STE- 2945, por lo cual no incluye la instalación de nuevos aditamentos que puedan afectar ni alterar el medio ambiente natural. 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. Los trabajadores que normalmente se encargan de operar y mantener la Torre de Enfriamiento STE-2945 serán beneficiados al estabilizar sus tareas diarias con la implementación del RCM, puesto que las actividades de mantenimiento y operación del equipo serán debidamente programadas.

Cuando los equipos funcionan a falla, los trabajadores deben trabajar jornadas diarias adicionales y fines de semana para atender mantenimientos no programados, afectando así la disponibilidad de tiempo para compartir con sus familias. Así mismo, en varias ocasiones se afectan los periodos programados de vacaciones, puesto que los emergentes pueden surgir de manera inesperada.

1.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Ecopetrol S.A., está permanentemente en la búsqueda de implementación de estrategias y prácticas que le permitan aumentar la producción de sus plantas operativas.

El estudio RCM (Reliability Centered Maintenance) realizado para la Torre de Enfriamiento STE-2945, contribuye al aumento de la confiabilidad y disponibilidad de la misma y por ende, permite el logro de las metas productivas del Departamento del cual hace parte y de sus clientes.

Este estudio, arrojó recomendaciones de mantenimiento con tareas ó actividades con frecuencias: diarias, anuales, a cinco años y a diez años.

Las tareas diarias y anuales se han venido realizando, ahora se debe realizar el mantenimiento preventivo a cinco años. No obstante, debido a su costo y principalmente, que se cuenta con personas diferentes a las que conformaban el equipo de trabajo cuando surgió el RCM, es importante sensibilizar al personal encargado y demostrar el impacto financiero de la implementación o trabajo a falla de los equipos, con el fin de asegurar su programación y ejecución, mostrando resultados cuantitativos a la organización; así mismo, fomentar las prácticas recomendadas en los próximos años y hacer los ajustes técnicos necesarios a través del tiempo.

La Evaluación Financiera de la implementación del RCM (completo) de la Torre de Enfriamiento STE-2945 y su no implementación, verificará con datos y hechos, cuál es la mejor opción para la organización, además permitirá contar con información importante para iniciar un proceso de mejora continua.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general. Realizar la evaluación financiera de la implementación de un estudio de ingeniería (RCM – Reliability centered maintenance) realizado para mejorar y garantizar la confiabilidad y disponibilidad de la Torre de

enfriamiento STE-2945 del Departamento de Servicios Industriales Balance de la Refinería de Barrancabermeja.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Calcular el Valor Presente Neto – VPN con la implementación del RCM en la Torre de Enfriamiento STE-2945
- Calcular el Valor Presente Neto – VPN sin la implementación del RCM en la Torre de Enfriamiento STE-2945, es decir, operando a falla.
- Hacer el Análisis incremental a la Torre de Enfriamiento STE-2945.

1.4. JUSTIFICACIÓN

1.4.1. Descripción del proyecto. En el Departamento de Servicios Industriales Balance de la Refinería de Barrancabermeja, existen dos torres de enfriamiento: STE-2940 y STE-2945. Debido a su criticidad en el proceso de suministro de agua a las plantas del complejo petrolero, en este proyecto fue seleccionada para estudio, la Torre de Enfriamiento STE-2945.

Este proyecto tiene como objetivo realizar la evaluación financiera de la implementación de un estudio de ingeniería RCM (Reliability Centered Maintenance - Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), realizado para mejorar y garantizar la confiabilidad y disponibilidad de la Torre de enfriamiento STE-2945 del Departamento de Servicios Industriales Balance de la Refinería de Barrancabermeja.

Adicionalmente se realizará la Evaluación Financiera para prácticas de mantenimiento a falla (sin la implementación del estudio RCM), con el fin de

cuantificar si la mejor opción es realizar mantenimientos según el estudio técnico o a falla de los equipos.

1.4.2. Situación actual. El proyecto se desarrolla en el Departamento de Servicios Industriales Balance de la Refinería de Barrancabermeja – Ecopetrol S.A., Torre de Enfriamiento STE-2945. Este departamento operativo tiene como objetivo generar energía eléctrica para la Refinería de Barrancabermeja, en conjunto con el Departamento de Servicios Industriales Refinería y en caso de un mantenimiento programado, se cuenta con el apoyo de Termobarranca.

Cuando los servicios industriales de la Refinería de Barrancabermeja no operan correctamente, Termobarranca brinda apoyo, lo cual no es favorable para la organización, debido a que se generan gastos significativos en compra de energía eléctrica.

Otros productos igualmente importantes de este departamento son: vapor, aire industrial, agua potable e industrial para las plantas de proceso ubicadas en la Unidad de Balance de la Refinería de Barrancabermeja, tales como: Cracking 1 y Refinación de fondos.

La capacidad instalada del Departamento de Servicios Industriales Balance se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Capacidad instalada de Servicios Industriales Balance.

Producto	Capacidad instalada
Energía eléctrica	84Mw
Vapor	1.650 Klb/hr
Aire Industrial	3600Kft ³ /dia

Agua potable	3400Kgal/min
Agua industrial	

Fuente: Elaboración propia.³

El Departamento de Servicios Industriales Balance cuenta con los sistemas que se muestran en la Tabla 3.

Para el Departamento de Servicios industriales Balance es de vital importancia mantener la disponibilidad operativa de todos sus equipos, ya que la pérdida de confiabilidad de sus plantas, impacta directamente el correcto funcionamiento del sistema eléctrico de la Refinería y la disponibilidad de las plantas de proceso de la Unidad de Balance. Por esta razón, se ha realizado estudio RCM (Reliability Centered Maintenance) a sus sistemas críticos con el fin de establecer las estrategias de mantenimiento en corto, mediano y largo plazo.

Tabla 3. Sistemas del Departamento de Servicios Industriales Balance.

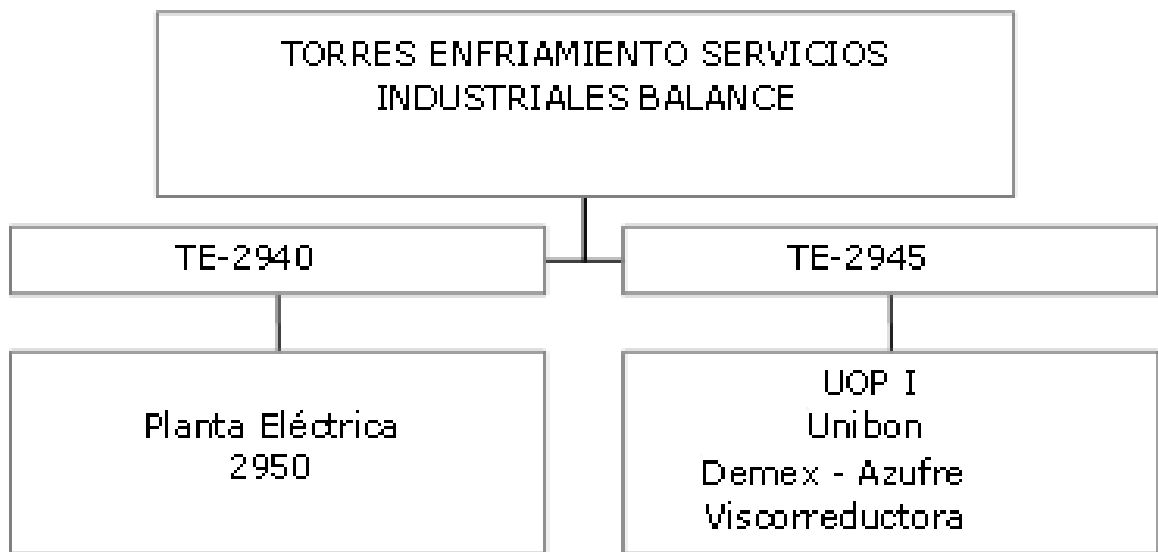
SISTEMA	DESCRIPCIÓN
Sistema de Aguas	Captación Bote Río y casa bombas San Silvestre U2901 Plantas de Tratamiento de Aguas U2900
Sistema de Generación de Vapor	Calderas U2950, B2951, B2952, B2953, B2954, B2955
Sistema de Generación Eléctrica	Generación Eléctrica U2950 - TG2951, TG2952, TG2953 Turbogas TG2960, URCR (unidad recuperadora de calor residual)
Generación de Aire Industrial e instrumentos:	U2980
Casa Bombas D	(Sistema de combustóleo a calderas)
Torres Enfriadoras	STE-2940, STE-2945
Sistema de Contraincendio	Casa bombas SP-3900 y SP-2903 A/E

Fuente: Elaboración propia.

³ Fuente (primaria): Líder de costos del Departamento de Servicios Industriales Balance.

El Departamento de Servicios Industriales Balance cuenta con dos torres de Enfriamiento: STE-2940 y STE-2945, como se muestra en la Figura 2. Para este análisis se seleccionó la Torre de Enfriamiento STE-2945, la cual se encarga de entregar el agua a las plantas de proceso de la Unidad de Balance a una Temperatura de 32.2°C.

Figura 2. Torres de Enfriamiento del Departamento de Servicios Industriales Balance de la Refinería de Barrancabermeja.



Fuente: Elaboración propia.

La Torre de Enfriamiento STE-2945 está formada por:

- 10 ventiladores de nueve aspas. Cada aspa tiene una inclinación de 12 grados.
- Un reductor de velocidad.
- Un motor eléctrico, el cual se encuentra acoplado a un reductor de velocidad.
- Accesorios y circuito independiente de lubricación para cada reductor.
- Cinco bombas centrífugas.

Entre los años 2002 y 2006, un equipo de ingeniería del Departamento de Servicios Industriales Balance, basado en los datos registrados en su sistema de información Ellipse, estableció un RCM (Reliability Centered Maintenance – Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), del cual surgieron recomendaciones de mantenimiento, para anticiparse a las fallas de los equipos y así aumentar su confiabilidad y disponibilidad.

Los objetivos de la implementación del RCM para la Torre de Enfriamiento STE-2945 son:

- Mantener de manera óptima y confiable el suministro de agua de enfriamiento a las plantas de proceso, con el fin de lograr el máximo de desempeño de las mismas.
- Recuperar la eficiencia en procesos de humidificación y enfriamiento.
- Ahorro de energía por requerimientos menores de consumo de energía eléctrica en ventiladores de las torres.
- Disminuir pérdidas por rocío debido al mal estado de los eliminadores de rocío de las torres enfriadoras.
- Disminuir los costos de mantenimiento y operación anual de la Torre de Enfriamiento.
- Garantizar una temperatura máxima del agua de enfriamiento a 90°F o 32.22°C.

Las recomendaciones de mantenimiento para cada equipo, se muestran en la Tabla 4.

Las actividades que realiza el Mantenedor, son programadas por el Planificador de mantenimiento y entregadas al líder de cuadrilla de mantenimiento, quien dirige su ejecución.

Las tareas diarias y anuales se han venido realizando según la recomendación, sin embargo, para realizar el mantenimiento preventivo a cinco años, es importante demostrar el impacto financiero de la implementación o trabajo a falla de los equipos, con el fin de asegurar su programación y ejecución, por esta razón se realizará un análisis incremental de la implementación de dicho estudio de Ingeniería o RCM.

Tabla 4. Recomendaciones de mantenimiento para la Torre de Enfriamiento STE-2945, según RCM.

ACTIVIDAD	FRECUENCIA	ALCANCE	EJECUTANTE
RONDA DE INSPECCION TOTAL	DIARIA	En cada turno (3 turnos/día): Revisar los niveles de lubricación Identificar ruidos anormales, Inspeccionar estado de aspas, Realizar las observaciones en el reporte individual.	OPERADOR
MANTENIMIENTO PREVENTIVO	ANUAL	Revisión de inclinación de aspas, Mantenimiento de vibra switch, Toma de muestra de aceite para análisis Verificación juego entre dientes del reductor y juego axial.	MANTENEDOR
MANTENIMIENTO PREVENTIVO	5 AÑOS	Retirar reductor y llevar al taller, Realizar cambio de rodamientos, sellos de aceite, Realizar las actividades que apliquen, de acuerdo al mantenimiento preventivo anual.	MANTENEDOR
REPARACIÓN GENERAL PROGRAMADA	10 AÑOS	Retirar reductor y llevar al taller, Realizar cambio de rodamientos, engranajes, sellos de aceite, Realizar las actividades que apliquen, de acuerdo al mantenimiento preventivo anual.	MANTENEDOR

Fuente: Elaboración propia.

1.5. MARCO REFERENCIAL

1.5.1. RCM. El RCM Reliability Centered Maintenance o Mantenimiento centrado en Confiabilidad, es una de las más populares metodologías utilizadas en el

momento para optimizar la estrategia de mantenimiento con excelentes resultados.

Es un sistema metódico para diseñar programas de mantenimiento que aumenten la confiabilidad de los equipos con un mínimo costo y riesgo; para ello combina aplicaciones de mantenimiento preventivo, predictivo, monitoreo de condiciones y a falla o mantenimiento correctivo.

El objetivo es conservar en funcionamiento el sistema antes que el equipo. Se basa en un trabajo de equipo que debe responder unas preguntas básicas a través de un árbol de decisión.

Los 7 pasos del proceso RCM clásico son:

- Identificar el equipo a ser analizado.
- Determinar sus funciones.
- Identificar las posibles fallas en sus funciones.
- Identificar el o los modos de falla que pueden producir esa falla funcional.
- Identificar el impacto o efecto por la ocurrencia de esas fallas.
- Usar el árbol lógico de RCM para seleccionar la táctica adecuada de mantenimiento.
- Documentar el programa final de mantenimiento y redefinirlo en la medida que se adquiera mayor experiencia.⁴

⁴ Tomado de "Mantenimiento en la práctica" - Pedro Eliseo Silva Ardila. 2009.

2. ESTUDIO TÉCNICO

2.1. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO STE-2945

El agua de retorno que ya ha cumplido su función como agua de enfriamiento en las plantas del Departamento de Cracking I y Fondos, llega a la Torre de Enfriamiento STE-2945 a 115°F o 46.11°C y es recibida por un cabezal de 36 pulgadas de diámetro, para ser distribuida a las celdas por retornos independientes de 20 pulgadas de diámetro.

Este es dividido en dos partes antes de entrar a un canal externo, para distribuir el agua dentro de la celda por medio de 12 tubos de asbesto-cemento perforados en la parte inferior, los cuales tienen toberas de acero inoxidable y platillos dispersadores del flujo.

La acción de los platillos causa un esparcimiento del agua en forma de lluvia fina, irrigando el área inmediatamente inferior que está constituida por un haz de parrillas de polipropileno denominado empaque o relleno. El relleno hace que haya un mayor contacto entre el agua y el aire. Finalmente el agua cae fría a la piscina.

El aire atmosférico viene del fondo y fluye hacia la parte superior de la celda, gracias al tiro inducido creado por la acción del ventilador. Una vez llega, entra en contacto con el agua siendo calentado y saturado con vapor de agua.

Finalmente se obtiene una disminución de temperatura en el agua, correspondiente al calor liberado para evaporar parte del agua que pasa a saturar

el aire, siendo aproximadamente 0.85% a 1% del agua total del sistema por cada 10°F o -12,22°C de disminución temperatura. Esta agua es descargada a la atmósfera a través del cono o chimenea.

El agua que se entrega a las plantas de los Departamentos Cracking I y Fondos está a una temperatura de 90°F o 32.22°C, como se muestra en la Figura 3.

Figura 3 Proceso de producción STE-2945.



Fuente: Elaboración propia.

El sistema de dispersión está constituido por parrillas de polipropileno en varias capas y soportadas por una estructura en alambre de acero inoxidable.

La distribución de las parrillas causa una perfecta dispersión del agua anteriormente direccionada por los platillos. La superficie de evaporación de agua está constituida por muchas gotas esparcidas durante el descenso de un nivel a otro.

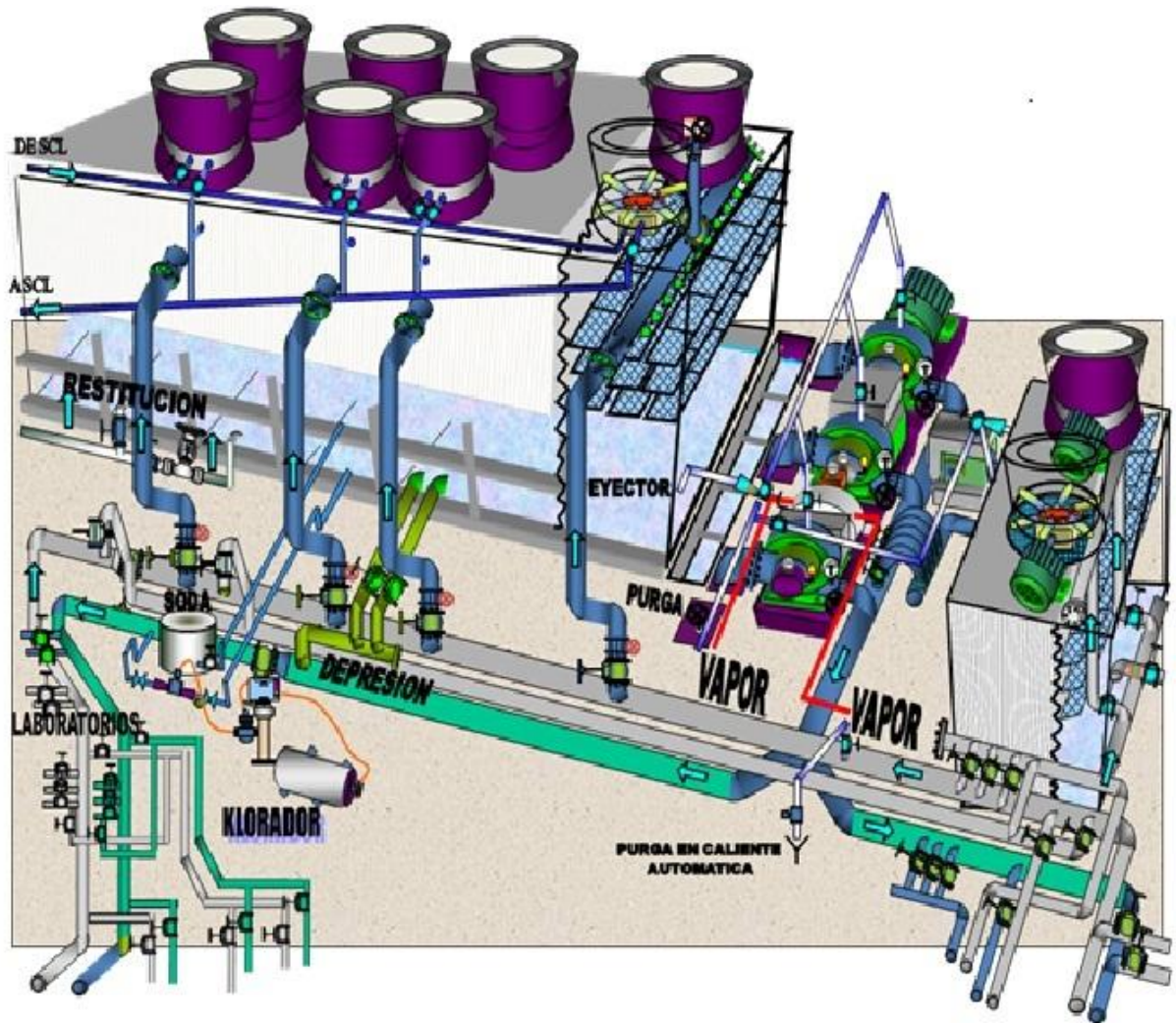
Arriba del sistema de dispersión, antes del ventilador, se encuentra el atrapanebllinas. El atrapanebllinas está formado por una lámina de PVC a prueba de fuego, de 16 cm de altura, el cual cubre totalmente el diámetro de la celda, con espaciadores de polipropileno entre lámina-lámina y ejes de varillas que atraviesan las láminas formando paquetes. Se encuentran colocados sobre las líneas distribuidoras y su función es disminuir las pérdidas de agua por arrastre a una cantidad menor de 0.2 % del agua total de recirculación.

El sistema de ventilación está en la parte superior de la celda, la cual junto con el cono crea el tiro inducido y da la velocidad relativa al aire.

El cono esta hecho de concreto y su forma es similar a un tubo Venturi en cuya vena contracta está ubicado el ventilador.

En la Figura 4 se muestra el Flujo de proceso de Torre de enfriamiento STE-2945.

Figura 4. Flujo de proceso de Torre de enfriamiento STE-2945.



Fuente: Elaboración propia.

2.2. TAMAÑO DE LA PLANTA

La Torre de Enfriamiento STE-2945, está conformada por los siguientes equipos:

Tabla 5. Equipos que componen la Torre de Enfriamiento STE-2945.

CANT.	EQUIPO	DESCRIPCIÓN	TAG
10	Ventilador	Ventilador de celda. Modelo APT28H-9-3. Formado por 9 aspas. Cada una de ellas con inclinación de 12 grados. FABRICANTE HUDSON.	SU-2945
10	Reductor de velocidad	Tipo QVRE2 CUN14. FABRICANTE HANSEN	MTRA-2945
10	Motor eléctrico	Acoplado al reductor de velocidad. P: 225HP V: 460V RPM: 1785 FABRICANTE SIEMENS	ME-2945

Fuente: Elaboración propia.

Este sistema debe operar a una temperatura máxima de 90°F o 32.22°C, la cual se consigue manteniendo en operación mínimo ocho ventiladores de los 10 instalados. El aumento de Temperatura impacta la carga de los Departamentos Cracking I (Planta UOPI) y Refinación de Fondos (Planta Demex).

2.3 LOCALIZACIÓN

La Torre de Enfriamiento STE-2945 se encuentra localizada en la Refinería de Barrancabermeja, en el Departamento de Servicios Industriales Balance.

La Refinería de Barrancabermeja está ubicada en ciudad de Barrancabermeja, en donde se encuentra disponible transporte público, taxis y busetas.

La empresa tiene disponible dos accesos para sus trabajadores, tales como:

- Puerta Principal, ubicada en la Avenida del Ferrocarril rumbo hacia el muelle de la ciudad,
- Puerta del 25 de agosto, donde se inicia la vía a Casabe.

No obstante, los trabajadores de Ecopetrol S.A., cuentan con transporte privado de la empresa, para traslado desde su casa hasta las instalaciones de ésta, ingresando por las dos puertas mencionadas anteriormente, lo cual facilita el acceso y la selección de la ruta más apropiada para sus trabajadores.

Debido a que la empresa se encuentra en la ciudad de Barrancabermeja, cuenta con facilidades para el suministro de materiales requeridos, sin embargo, estos son suministrados al interior de la Refinería de Barrancabermeja, por medio de su Coordinación de Inventarios y herramientas en la Bodega de Materiales.

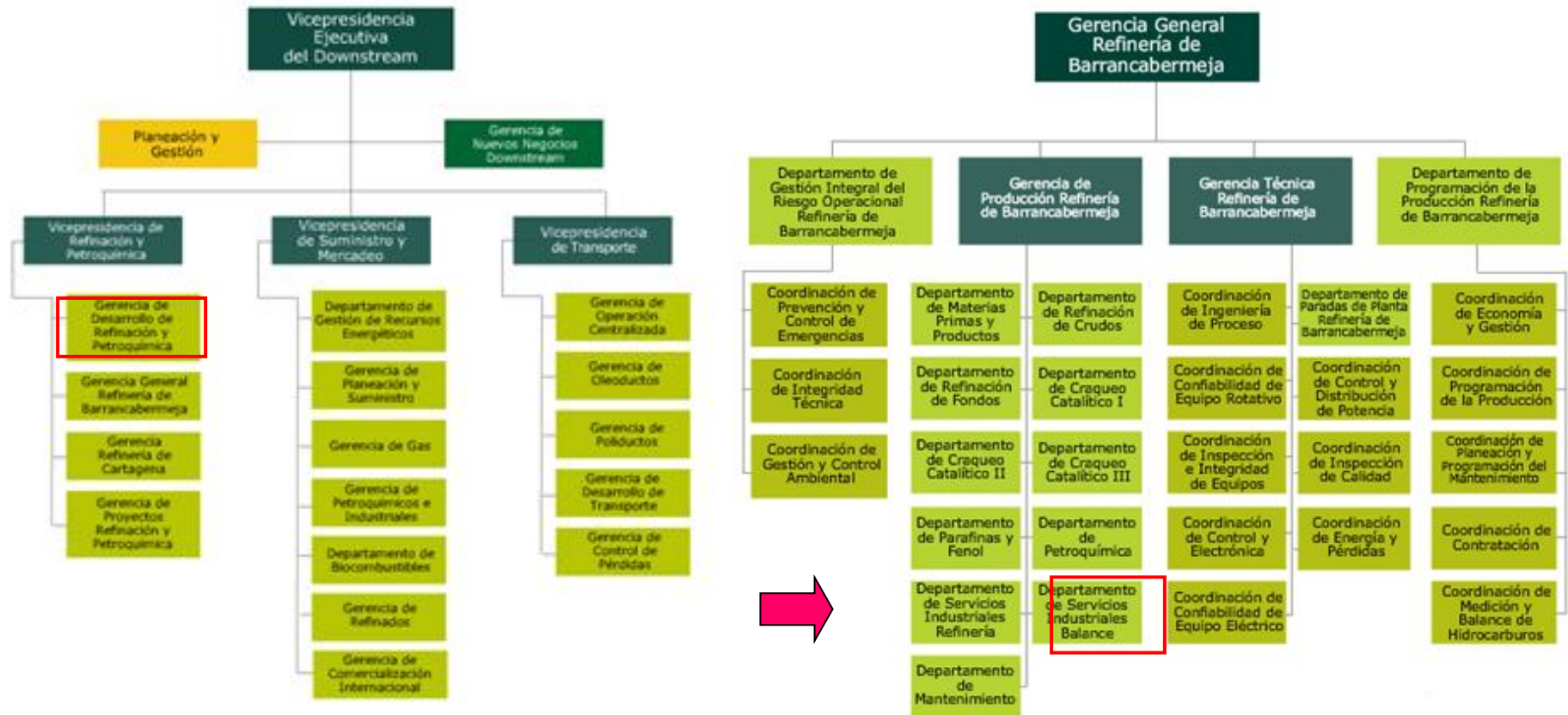
La Refinería de Barrancabermeja tiene diversas empresas a su alrededor, dada su localización y facilidades de accesos por la Puerta Principal y Puerta 25 de Agosto.

2.4. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS Y ORGANIZACIONALES

La Refinería de Barrancabermeja hace parte de la Vicepresidencia Ejecutiva del Downstream.

La Torre de enfriamiento STE-2945 pertenece al Departamento de Servicios Industriales Balance, el cual hace parte de la Gerencia de Producción de la Refinería de Barrancabermeja, tal como se muestra en la Figura 4.

Figura 5. Estructura de la Refinería de Barrancabermeja.



Fuente: <http://iris>

La empresa cuenta con el Departamento de Recurso Humano, el cual suministra y administra todo el personal requerido. Así mismo, se encarga de la programación de capacitaciones y requerimientos propios que exige la ley colombiana.

2.5. ESTUDIO DE MERCADOS

Para el desarrollo de este proyecto no aplica la realización de un estudio de mercados, puesto que no se ha identificado una variación. Se plantea la necesidad de evaluar financieramente la implementación de prácticas de mantenimiento que favorezcan los indicadores de confiabilidad y disponibilidad del Departamento de Servicios Industriales de la Refinería de Barrancabermeja.

2.6. ESTUDIO IMPACTO AMBIENTAL

Las aguas que se drenan del proceso realizado por la Torre de Enfriamiento STE-2945, van a la planta de tratamiento de agua de la Refinería de Barrancabermeja para ser procesadas y vertidas al río Magdalena. Este procedimiento se realiza cumpliendo con los requisitos de la ley 99 de 1993 y demás normatividad aplicable.

Para el desarrollo de este proyecto, no se hace necesario realizar un Estudio de Impacto Ambiental ya que no se generan variaciones del medio ambiente.

3. ANÁLISIS DE RIESGOS

3.1 PLAN DE GESTIÓN DE RIESGOS

Tabla 6. Plan de Gestion de Riesgos.

PLAN DE GESTIÓN DE RIESGOS						
DEFINICIÓN DE CONCEPTOS BÁSICOS						
Conceptos	Definición	Herramienta y técnicas usadas	Definido por	Aprobado por	Fecha de definición (día/mes/año)	Formato usado para documentación
Riesgo	Riesgo es la contingencia de un daño u oportunidad. Un suceso o circunstancia indeterminada que de llegarse a concretar, tiene una consecuencia positiva o negativa en los objetivos de un proyecto.	"@Risk"	Equipo de Trabajo	Director del Proyecto	06/06/2013	Indicado en el procedimiento de la organización: "Gestion de Riesgos"
Probabilidad	De que el evento del riesgo se presente. (¿Cuál es la probabilidad?) Puede ser expresada como Muy Alto, Medio, Muy Bajo ó como porcentaje (10%).	Software de Estadística				
Impacto	Consecuencia cuantificable	Matriz Probabilidad impacto				
Tolerancia al riesgo	Es el nivel, proporción o medida de una circunstancia indeterminada que puede soportar un individuo o una empresa.	Caracterizaciones				
Categorías de riesgos	Son listas de riesgos que la empresa ha experimentado en proyectos similares (información histórica).	RBS				

Fuente: Elaboración propia con base en tabla modelo.⁵

⁵ Autor de la tabla modelo, empleada para la realización del Plan de Gestión de Riesgos: Ing. Ramiro Paniagua.

Actividad	Descripción general	Recursos necesarios (Financieros, humanos, físicos)	Desarrollo del proceso				
			Herramientas y técnicas usadas	Descripción general de la herramienta o técnica	Responsable(s)	Fecha de realización	Frecuencia de aplicación
Identificación de riesgos	Determinar los riesgos que podrían afectar el proyecto y documentar sus características.	Equipo de trabajo, Honorarios de expertos.	Encuestas. Juicio de expertos	Un juicio que se brinda sobre la base de la experiencia en un área de aplicación, área de conocimiento, disciplina, industria, etc. Según resulte apropiado para la actividad que se está llevando a cabo.	Equipo de trabajo	05/06/2013	Una vez
			Lluvia, tormenta de ideas	Una técnica general de recolección de datos y creatividad que puede usarse para identificar los riesgos, ideas o soluciones a incidentes mediante el uso de un grupo de miembros del equipo o expertos en el tema.		05/06/2013	
			Método Delphi	Una técnica para recabar información que se utiliza como método para lograr el consenso de expertos en un tema.		06/06/2013	
			Mátriz Dofa	Esta técnica evalúa cada proyecto desde las perspectivas de sus fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas.		07/06/2013	
			Categorización de riesgos	Son listas de riesgos que la empresa ha experimentado en proyectos similares (información histórica).		07/06/2013	
Valoración cualitativa	Determinar los riesgos principales que se van a analizar más a fondo a través de los procesos de Cuantificación del Riesgo o Definir Planes de Respuesta a los Riesgos	Equipo de trabajo.	Matriz probabilidad impacto	Es una forma usual de establecer si un riesgo se califica bajo, intermedio o elevado a través de la mezcla de las dos dimensiones de un riesgo: su posibilidad de que suceda y su impacto en los objetivos, si el riesgo llegase a ocurrir.	Equipo de trabajo	08/06/2013	Una vez

Actividad	Descripción general	Recursos necesarios (Financieros, humanos, físicos)	Desarrollo del proceso				
			Herramientas y técnicas usadas	Descripción general de la herramienta o técnica	Responsable(s)	Fecha de realización	Frecuencia de aplicación
Valoración cuantitativa	Proceso de analizar numéricamente el efecto de riesgos identificados en los objetivos generales del proyecto.	Equipo de riesgos. Software especializado.	Simulaciones monte carlo. (gráficas)	Técnica que calcula el coste del proyecto o el cronograma del proyecto al iterar muchas veces utilizando valores de datos iniciales seleccionados al azar a partir de distribuciones de Costos o Duraciones posibles, para calcular la distribución de los Costos totales del proyecto o Fechas de conclusión posibles.	Analista de riesgos	15/06/2013	Una vez
			Análisis de sensibilidad.	Una técnica de análisis cuantitativo de riesgos y simulación utilizada para ayudar a determinar qué riesgos tienen el mayor impacto posible sobre el proyecto.			
			Árboles de decisión	Técnica que permite analizar decisiones secuenciales basada en el uso de resultados y probabilidades asociadas.			
Plan de respuesta	El proceso de desarrollar opciones y acciones para mejorar las oportunidades y reducir las amenazas a los objetivos del proyecto.	Equipo de riesgos	Juicio de expertos.	Un juicio que se brinda sobre la base de la experiencia en un área de aplicación, área de conocimiento, disciplina, industria, etc. Según resulte apropiado para la actividad que se está llevando a cabo.	Equipo de riesgos	18/05/2013	Una vez
Seguimiento y control	Monitorear nuevos riesgos, riesgos existentes y ejecución de respuestas.	Equipo de riesgos	Reevaluación de riesgos	Los miembros del equipo necesitan periódicamente evaluar los planes de riesgo y ajustarlos de acuerdo a lo que haya sucedido.	Equipo de riesgos.	20/06/2013	Permanentemente
			Análisis y varianzas de tendencias				Quincenal
			Reuniones de seguimiento				Mensual

Actividad	Documentación				Se informa a
	Formato que se usará	Responsable de			
		Crear	Aprobar	Diligenciar	
Identificación de riesgos	Indicado en el procedimiento de la organización: "Gestion de Riesgos"	Equipo de trabajo	Director del proyecto	Todos los consultados	Equipo de Trabajo
		Director del proyecto	Director del proyecto	Equipo de trabajo	
Valoración cualitativa	Indicado en el procedimiento de la organización: "Gestion de Riesgos"	Equipo de trabajo	Director del proyecto	Equipo de trabajo	Director del proyecto
Valoración cuantitativa	Indicado en el procedimiento de la organización: "Gestion de Riesgos"	Analista de riesgos	Director del proyecto	Analista de riesgos	Equipo de Trabajo
Plan de respuesta	Indicado en el procedimiento de la organización: "Gestion de Riesgos"	Expertos	Director del proyecto	Equipo de riesgos	Equipo de Trabajo
Seguimiento y control	Indicado en el procedimiento de la organización: "Gestion de Riesgos"	Equipo de trabajo	Director del proyecto	Equipo de trabajo	Equipo de trabajo

3.2. ESTRUCTURA DE DESGLOSE DEL RIESGO – RBS.

Figura 6. Estructura de desglose del riesgo.



Fuente: Elaboración propia

3.3. MATRIZ DE PROBABILIDAD E IMPACTO

Tabla 7. Matriz de Probabilidad e Impacto.

MATRIZ DE PROBABILIDAD E IMPACTO					
PROBABILIDAD	IMPACTO				
	INSIGNIFICANTE	MENOR	MODERADO	MAYOR	CATASTROFICO
CASI CERTEZA	MODERADO	ALTO	ALTO	EXTREMO	EXTREMO
MUY PROBABLE	BAJO	MODERADO	ALTO	ALTO	EXTREMO
POSIBLE	BAJO	MODERADO	MODERADO	ALTO	ALTO
IMPROBABLE	BAJO	BAJO	MODERADO	MODERADO	ALTO
RARA	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MODERADO

ESCALAS DE IMPACTO					
OBJETIVO DEL PROYECTO	INSIGNIFICANTE	MENOR	MODERADO	MAYOR	CATASTROFICO
COSTO	0<XUSD\$10.000	USD\$10.000<XUSD\$75.000	USD\$75.000<X<USD\$225.000	USD\$225.000 <X< \$300.000	MAYOR A USD\$300.000
VALORACION	1	2	3	4	5

ESCALAS DE PROBABILIDAD				
RARA	IMPROBABLE	POSIBLE	MUY PROBABLE	CASI CERTEZA
NO HA OCURRIDO EN LA INDUSTRIA	HA OCURRIDO EN LA INDUSTRIA	HA OCURRIDO EN LA COMPAÑIA	HA OCURRIDO EN LA PLANTA	SUCEDE VARIAS VECES POR AÑO EN LA PLANTA
1	2	3	4	5

Fuente: <http://negociosbajoincertidumbre.blogspot.com/matriz-de-riesgo-una-herramienta-rapida.html>, y elaboración propia.

3.4 REGISTRO Y PLAN DE GESTIÓN DE RESPUESTA A RIESGOS

Tabla 8. Registro de Riesgos y Plan de respuesta.

ID Riesgo	Amenaza	Oportunidad	Afectación		Causa	Riesgo	Efecto	Análisis Probabilidad x Impacto		
			Tiempo	Costo				Probabilidad (P)	Impacto (I)	P X I
1	Perdidas en la producción			X	Falta de competencia del equipo de ingeniería	Confiabilidad del RCM	Aumentan las fallas del equipo y por consiguiente los costos. Se afecta la disponibilidad de equipos.	RARA	MAYOR	BAJO
2		Mantenedores expertos	X	X	Plan de carrera y capacitación del personal	Competencias del personal	Calidad en las reparaciones y disminución en tiempo medio entre fallas	POSIBLE	INSIGNIFICANTE	BAJO
3	Accidentes en las intervenciones			X	Falta de control de los riesgos asociados a la intervención	Seguridad de las personas	Lesiones temporales o fatalidades	POSIBLE	MENOR	MODERADO
4		Cumplimiento de las metas de producción		X	Confiabilidad Operacional óptima	Disponibilidad mecánica de plantas	Aumento de los ingresos por efecto del cumplimiento de entregas perfectas	POSIBLE	CATASTRÓFICO	ALTO
5	Desabastecimiento de los repuestos críticos en bodega		X	X	Falta de gestión en la reposición	Tiempo de respuesta de proveedores para reposición de partes	Perdidas en la producción por la no disponibilidad de los equipos	MUY PROBABLE	CATASTRÓFICO	EXTREMO
6	Baja disponibilidad de los activos		X	X	Falta de competencias del personal operativo	Operación adecuada de los activos	Alta tasa de falla y altos costos de mantenimiento	MUY PROBABLE	MAYOR	ALTO
7	Perdidas en la producción			X	Baja confiabilidad de la Torre enfriadora	Cumplimiento de flujo y temperatura de agua para las plantas de proceso: Fondos y Cracking I	Perdidas en la producción por la no disponibilidad de los equipos	MUY PROBABLE	CATASTRÓFICO	EXTREMO
8	Retraso en los cronogramas de reparación		X	X	Recurso multitarea	Disponibilidad de recurso para la ejecución de las tareas	Perdidas en la producción y aumento en el tiempo medio para reparación	MUY PROBABLE	MENOR	MODERADO
9	Retraso en los cronogramas de reparación			X	Error de diagnóstico	Realización de mantenimiento de equipos confiables	Costos innecesarios en la ejecución de mantenimiento	POSIBLE	MENOR	MODERADO
10	Retraso en los cronogramas de reparación			X	No utilización de procedimientos y falta de competencias del personal ejecutor	Reprocesos de mantenimiento	Sobrecostos en el mantenimiento	POSIBLE	MODERADO	MODERADO
11	No cumplimiento de cronogramas y afectación de costos		X		Estimación inadecuada de los recursos	Planificación	Incumplimiento de las metas presupuestales	POSIBLE	MODERADO	MODERADO
12	No atención de las necesidades de operaciones en el tiempo requerido, propiciado de deterioro progresivo del equipo		X		Falta de espacios sistemáticos de los directamente interesados: operaciones, mantenimiento y planeación	Comunicación	Bajo nivel de servicio	MUY PROBABLE	MODERADO	ALTO
13	No cumplimiento de las metas			X	Ausencia de comparación entre el programa y el avance real	Control	No cumplimiento de los cronogramas	MUY PROBABLE	MODERADO	ALTO

ID Riesgo	Análisis Cuantitativo	Plan respuesta riesgos	Respuesta				Categoría	Paquete de trabajo
			Evitar/ Explorar	Transferir/ Compartir	Mitigar/ Mejorar	Aceptar		
1		Actualización de estudio RCM cada 2 años, para su ajuste y optimización.	X				Técnico	REALIZACION DEL ESTUDIO RCM
2		Realizar plan de desarrollo anual, teniendo en cuenta las destrezas requeridas para la operación de los equipos.	X				Técnico	IMPLEMENTACION
3		Uso de procedimientos y aplicación de buenas practicas para la realizacion de trabajos similares.			X		Técnico	IMPLEMENTACION
4		Reunion sistematica con todos los involucrados para diseñar una correcta programacion de actividades, bajo los requerimientos y necesidades reales, teniendo en cuenta el RCM	X				Técnico	IMPLEMENTACION
5	X	Busqueda de otro proveedor aliado para el suministro de repuestos y materiales criticos. Establecer parametros de reposicion de acuerdo a consumos historicos y a las partes no recuperables y criticidad de las mismas			X		Técnico	IMPLEMENTACION
6		Revisión de procedimientos existentes para operación de equipos, divulgación y promoción para su uso manteniendo la ronda diaria del operador			X		Técnico	RONDAS DIARIA OPERADOR
7	X	Garantizar la disponibilidad de los equipos de bombeo y ventiladores de la torre. Mínimo 8 ventiladores y 4 bombas.		X	R		Cientes Externos	IMPLEMENTACION
8		Garantizar la cuadrilla de mantenimiento para la planta (4 mecanicos, 4 metalistas, 2 electricistas, 2 instrumentistas y 1 soldador)			X		Cientes Externos	IMPLEMENTACION
9		Realizar un correcto analisis de desempeño de los equipos que se encuentran operando para realizar intervenciones a los equipos que realmente lo requiere. Verificación de indicadores (responsable ingeniero de confiabilidad)			X		Cientes Internos	REALIZACION DEL ESTUDIO RCM
10		Hacer control de calidad a las calibraciones y montajes durante las etapas de calibracion y armado			X		Cientes Internos	IMPLEMENTACION
11		Programar las tareas con las frecuencias emitidas en el estudio tecnico RCM verificando la existencia en bodega de los repuestos requeridos para cada intervencion	X				Dirección de proyectos	IMPLEMENTACION
12		Garantizar como punto focal de la operación, el supervisar que integra las necesidas con los procesos de apoyo a la organización.	X				Dirección de proyectos	IMPLEMENTACION
13		Realizar seguimiento y control diario con vistas a las proximas 24 y 48 horas durante la intervencion de los equipos.			X		Dirección de proyectos	IMPLEMENTACION

Fuente: Elaboración propia con base en tabla modelo.

En la Tabla 8⁶, se puede apreciar que los riesgos cinco (Tiempo de respuesta de proveedores para reposición de partes) y siete (Cumplimiento de flujo y temperatura de agua para las plantas de proceso: Fondos y Cracking I) son considerados extremos en el análisis cualitativo, según la Matriz de Probabilidad e Impacto (área gris oscuro).

A estos riesgos se les realizó un análisis cuantitativo, empleando como herramienta el Software @RISK⁷, con lo cual se obtuvo el análisis de sensibilidad que se muestra en la Figura 8.

En este análisis, se llamó Riesgos Primarios a los riesgos catalogados como extremos en la Matriz de Probabilidad e Impacto (Riesgos cinco y siete).

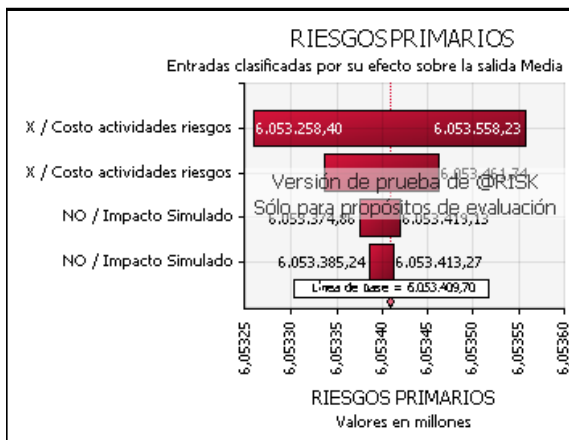
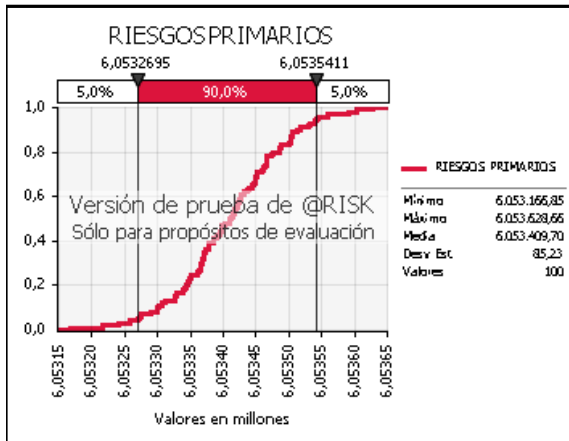
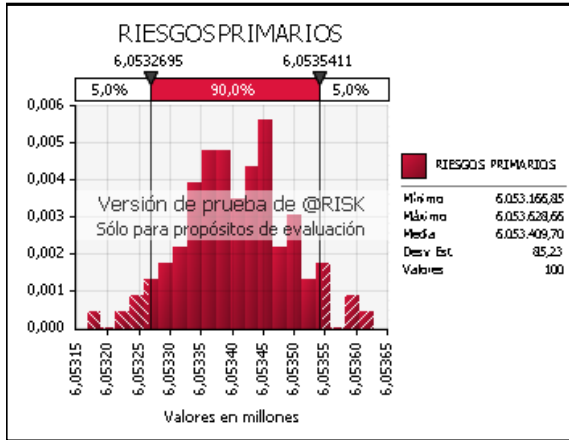
Según el informe de @RISK, se puede afirmar que:

- Hay una probabilidad del 90% de que los riesgos primarios se encuentren entre USD\$6.053.269 y USD\$6.053.411.
- Hay una probabilidad del 5 % de que los riesgos primarios estén por encima del rango: USD\$6.053.269 - USD\$6.053.411.
- En el Diagrama de Tornado, se puede ver que el riesgo para el cual este proyecto es más sensible, es el Cumplimiento de flujo y temperatura de agua para las plantas de proceso: Fondos y Cracking I.

⁶ Autor de la tabla modelo, empleada para la realización del Registro de Riesgos y Plan de respuesta: Ing. Ramiro Paniagua.

⁷ Se usa licencia de prueba.

Figura 7. Análisis de sensibilidad.



Información de resumen de simulación	
Nombre de libro de trabajo	@risk proyecto.xls
Número de simulaciones	1
Número de iteraciones	100
Número de entradas	8
Número de salidas	1
Tipo de muestreo	Latino Hipercúbico
Tiempo de inicio de simulación	12/08/2013 19:52
Duración de simulación	00:00:06
Generador de # aleatorio	Mersenne Twister
Semilla aleatoria	1114398183

Estadísticos resumen para RIESGOS PRIMARIOS			
Estadísticos	Percentil		
Mínimo	6053166,85	5%	6053269,51
Máximo	6053628,66	10%	6053299,59
Media	6053409,70	15%	6053327,09
Dev Est	85,23	20%	6053342,92
Varianza	7264,268483	25%	6053351,53
Indice de sesg	-0,045624166	30%	6053366,82
Curtosis	3,180329333	35%	6053371,48
Mediana	6053410,97	40%	6053384,54
Moda	6053465,92	45%	6053396,73
X izquierda	6053269,51	50%	6053410,97
P izquierda	5%	55%	6053420,82
X derecha	6053541,14	60%	6053426,48
P derecha	95%	65%	6053443,58
Diff X	271,62	70%	6053450,92
Diff P	90%	75%	6053465,23
#Errores	0	80%	6053476,22
Filtro mín	Ninguno	85%	6053502,35
Filtro máx	Ninguno	90%	6053512,76
#Filtrado	0	95%	6053541,14

Cambio en la estadística de salida de RIESGOS PRIMARIOS			
Jerarquía	Nombre	Inferior	Superior
1	X / Costo activida	6053258,40	6053558,23
2	X / Costo activida	6053336,43	6053461,74
3	NO / Impacto Sim	6053374,86	6053419,13
4	NO / Impacto Sim	6053385,24	6053413,27

Fuente: Software @RISK (Licencia de prueba)

Si se materializa el riesgo siete, genera la pérdida de confiabilidad de la Torre de Enfriamiento STE-2945, lo cual sucede cuando la temperatura de salida del agua de enfriamiento hacia las plantas de proceso supera los 90°F ó 32.22°C. Este riesgo causa el riesgo de pérdidas en la producción.

4. ESTUDIO FINANCIERO

A continuación se describen los datos y supuestos tomados para realizar la Evaluación Financiera de la implementación del RCM para la Torre de Enfriamiento STE-2945, así como la Evaluación Financiera de su no implementación, objetivo de este proyecto.

4.1. INVERSIONES

La inversión realizada en este proyecto es la compra de los reductores de velocidad en el año 2006 y 2007 (cinco unidades en cada año). Esta inversión es de tipo fija para un período de análisis de operación de los activos de 20 años.

Los reductores de velocidad son activos fijos tipo II. El patrocinador de la inversión realizó el pago de contado, con una asignación presupuestal autorizada según los Activos de los procesos de la organización.

Para las actividades de operación y mantenimiento de los equipos, la empresa cuenta con personal calificado, cuyo plan de carrera está orientado a la capacitación en aula y en planta para la correcta intervención en los mantenimientos de los reductores de velocidad. Los costos de capacitación del operador son cargados al Departamento de Servicios Industriales Balance y los costos generados por capacitación a los mantenedores se carga al Departamento de Mantenimiento.

En este proyecto la inversión total se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Inversiones del proyecto.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (USD)	VALOR TOTAL (USD)
Reductores de Velocidad Hansen QVR2-CUN-14	10	\$ 115,000.00	\$ 1,150,000.00

Fuente: Elaboración propia.

4.2. COSTOS

A continuación se mencionan los costos asociados a la Torre de Enfriamiento STE-2945⁸.

4.2.1. Materia Prima. La materia prima que utiliza la Torre de Enfriamiento STE-2945 es el agua cruda tratada en la planta de agua de la U-2900 del Departamento de Servicios Industriales Balance. Este costo es considerado fijo para este proyecto.

El costo de la materia prima se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Costo de Materia Prima de la Torre de Enfriamiento STE-2945.

DESCRIPCIÓN	VALOR
COSTO KGALON AGUA CRUDA	USD\$7,22
COSTO ANUAL AGUA CRUDA	USD\$5.309.453,52

Fuente: Elaboración propia.

⁸ Fuente primaria: Líder de Costos del Departamento de Servicios Industriales Balance y Software de Mantenimiento Ellipse.

4.2.2 Producto. En la Tabla 11 se observan los precios de venta del producto, el cual es agua fría que se suministra una vez sale de la Torre de Enfriamiento STE-2945, a las plantas de proceso de los Departamentos Cracking I y Fondos.

Tabla 11. Precio de venta del producto de la Torre de Enfriamiento STE-2945.

DESCRIPCIÓN	VALOR
PRECIO VENTA KGALON AGUA STE2945	USD\$ 10,32
PROMEDIO SUMINISTRO DIARIO A PLANTA	1,4 KGALON/MIN
FACTURACION ANUAL	USD\$7.590.557,52

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3. Costos de mantenimiento. En la Tabla 12 se muestran los costos de las actividades de mantenimiento, según las frecuencias establecidas en el RCM. Estos costos son fijos para el proyecto. Las horas hombre requeridas para cada intervención son asignadas en las planeaciones de los trabajos.

4.2.4 Costos de los repuestos. Los repuestos requeridos para la ejecución de las actividades del RCM y actividades correctivas, son suministrados por la Coordinación de Inventarios y Herramientas de la Refinería de Barrancabermeja, de acuerdo a la asignación presupuestal para la Torre de Enfriamiento STE-2945.

Los costos de los repuestos para las reparaciones son fijos. Estos valores fueron tomados del software de mantenimiento Ellipse, el cual es alimentado por los administradores de inventarios. Los precios encontrados en el sistema Ellipse, incluyen el costo generado por almacenamiento en bodega.

En la Tabla 13, se muestra el costo de repuestos por equipo:

Tabla 12. Costos de Mantenimiento de la Torre de Enfriamiento STE-2945.

ACTIVIDAD	FRECUENCIA	EJECUTANTE	HORAS HOMBRE	COSTO HORA HOMBRE (USD)	COSTO ANUAL (USD)
RONDA DE INSPECCION TOTAL	DIARIA	OPERADOR	0,5	7	1.277,5
MANTENIMIENTO PREVENTIVO	ANNUAL	MANTENEDOR	102	7,5	7.650,00
MANTENIMIENTO PREVENTIVO	5 AÑOS	MANTENEDOR	278	7,5	TOTAL CADA 5 AÑOS: 20.850,00
REPARACIÓN GENERAL PROGRAMADA	10 AÑOS	MANTENEDOR	278	7,5	TOTAL CADA 10 AÑOS 20.850,00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Costos de repuestos por equipo de Torre de Enfriamiento STE-2945.

COSTOS REPUESTOS MANTENIMIENTO	POR EQUIPO	PARA 10 EQUIPOS
MANTENIMIENTO ANUAL (DÓLAR)	379.9	3,799
MANTENIMIENTO 5 AÑOS (DÓLAR)	7,158.971	71,589.71
MANTENIMIENTO REPARACION 10 AÑOS (DÓLAR)	67,902.428	679,024.28

Fuente: Elaboración propia.

4.2.5 Costos asociados a la operación. Los costos asociados a la operación a falla de los reductores de velocidad y a las pérdidas de producción debidos a la disminución de la confiabilidad de la Torre de Enfriamiento STE-2945, son costos fijos en la Evaluación Financiera realizada sin la implementación del RCM. Se consideran así, debido a que la tasa de falla ocurre cada 5 años y la recuperación de un reductor de velocidad tarda 14 días, trabajando en su mantenimiento las 24 horas.

En la Tabla 14, se muestra los costos generados por mantenimiento correctivo de la Torre de Enfriamiento STE-2945.

Tabla 14. Costos por mantenimiento correctivo de la Torre de Enfriamiento STE-2945.

DESCRIPCIÓN	POR EQUIPO	PARA 10 EQUIPOS
COSTO HORA HOMBRE REPARACION CORRECTIVA (DOLAR)	2,085	20,850
COSTO REPUESTOS MANTENIMIENTO CORRECTIVO (DÓLAR)	81,482.9136	814,829.136

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 15, se muestra la ecuación de pérdida por el incremento de temperatura del producto, es decir, cuando la Torre de Enfriamiento STE-2945 entrega el agua a una temperatura superior a 90°F ó 32.2°C.

4.2.6 Costos de los Equipos. El valor de los equipos que componen la Torre de Enfriamiento STE-2945, se muestra en la Tabla 14.

Estos equipos fueron comprados de acuerdo con lineamientos de “GSJ-M-001 MANUAL DE CONTRATACION DE ECOPETROL S.A.⁹”. La reposición de los reductores de velocidad fue realizada en 2006 y 2007, cinco unidades cada año.

⁹ Versión 0, Elaborado el 15 de Enero de 2005.

Tabla 15. Ecuación de pérdida por incremento de temperatura en el producto de la Torre de Enfriamiento STE-2945.

CONSECUENCIA POR TEMPERATURA EN LA TORRE DE ENFRIAMIENTO STE2945 SUPERIOR A 90°F o 32.22°C	USD/HORA
Degradación de propano y butano hacia la red de gas combustible y a la TEA. En Refinación de fondos (Planta Demex).	5.000,00
Reducción de carga en Refinación de fondos (Planta Demex) - 10 Kbarriles.	6.775,00
Reducción de carga en Cracking I (planta UOPI) por pérdida de condensación - 3000 Barriles.	1.406,25
Total Perdida	13.181,25

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Costo de los equipos de la Torre de enfriamiento STE-2945.

CANT.	EQUIPO	TAG	VALOR UNITARIO COMPRA (USD)
10	Ventilador	SU-2945	40.000,00
10	Reductor de velocidad	MTRA-2945	60.000,00
10	Motor electric	ME-2945	15.000,00

Fuente: Elaboración propia.

5. EVALUACIÓN FINANCIERA

En este proyecto se plantea la necesidad de realizar la Evaluación Financiera de la implementación del RCM (completo) de la Torre de Enfriamiento STE-2945 y su no implementación, con el fin de demostrar con datos y hechos y de manera contundente, el impacto sobre las metas del Departamento de Servicios Industriales Balance.

La Evaluación Financiera de la implementación del RCM y su no implementación, está planteada a 20 años; tomando como cero el año 2006, año en el cual se inició la reposición de activos (cinco unidades). En el año 2007 fueron incorporados los equipos restantes (cinco unidades).

5.1. EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL RCM EN LA TORRE DE ENFRIAMIENTO STE-2945

Esta Evaluación Financiera fue realizada empleando un modelo en programa Excell, que contempla todas las variables requeridas y permite analizar con facilidad la información financiera del proyecto¹⁰, además, dicho modelo sigue la metodología de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, ONUDI¹¹, y el Banco Mundial, BM¹².

¹⁰ Autor de modelo en programa Excell para Evaluación Financiera de Proyectos: Ing. Guillermo Leon Bustamante Alzate.

¹¹ El mandato de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) es promover y acelerar el desarrollo industrial sostenible en países en desarrollo y economías en transición. En Inglés: United Nations Industrial Development Organization. Tomado de

Así mismo, esta Evaluación Financiera está hecha a Términos corrientes y sin Financiación de terceros. En la Tabla 17 se muestran los indicadores, los cuales se mantienen para todos los periodos, es decir, hasta 2026.

Tabla 17. Indicadores constantes para Evaluación Financiera.

PERIODO	2006	2007	2008	2009	2010
INDICADORES					
INFLACION		3%	3%	3%	3%
TASA DE INTERES		30%	30%	30%	30%
IMPUESTOS		33%	33%	33%	33%
DIVIDENDOS		0%	0%	0%	0%
DEPRECIACION TIPO I (20 Años)		5%	5%	5%	5%
DEPRECIACION TIPO II (10 Años)		10%	10%	10%	10%
AMORTIZACION (5 Años)		0%	0%	0%	0%
INDICE DE PRECIOS	1,00	1,03	1,06	1,09	1,13

Fuente: Hoja de cálculo según modelo usado en la Asignatura Evaluación Financiera de Proyectos.

El índice de precios para el año 2026 será de 1,81.

En la Tabla 18 se muestra el Flujo 1, el cual corresponde a la inversión total.

En las Tablas 19 a 22, se muestra toda la información financiera de la Evaluación, consignada en el modelo en programa Excell (Todas las cifras están dadas en dólares).

<http://www.unido.org/quienes-somos/la-onudi-en-breve.html>, Consulta realizada el día 20 de Julio de 2013.

¹² El Banco Mundial, BM, es una fuente fundamental de asistencia financiera y técnica para los países en desarrollo de todo el mundo. Tomado de <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/BANCOMUNDIAL/QUIENESSOMOS/0,,contentMDK:20191733~menuPK:60001939~pagePK:64057863~piPK:242674~theSitePK:263702,00.html>, consulta realizada el día 20 de Julio de 2013.

Tabla 18. Inversión total.

INVERSION TOTAL (FLUJO 1)	VALOR (DOLAR)
Terrenos	
Activos fijos Tipo I	
Activos fijos Tipo II	1.150.000,00
Preoperativos	
Total activos fijos acumulados >>>	1.150.000,00
Capital de trabajo inicial	0,00
Total Inversión	1.150.000,00

Fuente: Hoja de cálculo según modelo usado en la Asignatura Evaluación Financiera de Proyectos.

Tabla 19. Estado de resultados.

ESTADO DE RESULTADOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Ventas		\$ 7.590.557,52	\$ 7.818.274,25	\$ 8.052.822,47	\$ 8.294.407,15	\$ 8.543.239,36	\$ 8.799.536,54	\$ 9.063.522,64	\$ 9.335.428,32
Costo de la operación		5.854.398,02	6.030.029,96	6.210.930,86	6.397.258,79	6.689.447,88	6.890.131,32	6.990.457,40	7.200.171,13
Depreciación		115.000,00	115.000,00	115.000,00	115.000,00	115.000,00	115.000,00	115.000,00	115.000,00
RESULTADO OPERACIONAL (U.A.I.)		1.621.159,5	1.673.244,3	1.726.891,6	1.782.148,4	1.738.791,5	1.794.405,2	1.958.065,2	2.020.257,2
Gastos financieros									
RESULTADO ANTES DE IMPUESTOS		1.621.159,50	1.673.244,28	1.726.891,61	1.782.148,36	1.738.791,48	1.794.405,22	1.958.065,24	2.020.257,19
Impuesto a la renta		534.982,63	552.170,61	569.874,23	588.108,96	573.801,19	610.097,78	665.742,18	686.887,45
RESULTADO (Utilidad Neta)		1.086.176,86	1.121.073,67	1.157.017,38	1.194.039,40	1.164.990,29	1.184.307,45	1.292.323,06	1.333.369,75
Dividendos		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Utilidad Retenida		1.086.176,86	1.121.073,67	1.157.017,38	1.194.039,40	1.164.990,29	1.184.307,45	1.292.323,06	1.333.369,75

9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
\$ 9.615.491,17	\$ 9.903.955,90	\$ 10.201.074,58	\$ 10.507.106,82	\$ 10.822.320,02	\$ 11.146.989,62	\$ 11.481.399,31	\$ 11.825.841,29	\$ 12.180.616,53	\$ 12.546.035,02	\$ 12.922.416,08	\$ 13.310.088,56
7.416.176,26	8.626.724,28	8.885.526,00	8.103.856,03	8.346.971,72	8.597.380,87	9.889.064,44	10.185.736,37	9.394.590,20	9.676.427,91	9.966.720,75	10.265.722,37
115.000,00	115.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2.084.314,9	1.162.231,6	1.315.548,6	2.403.250,8	2.475.348,3	2.549.608,8	1.592.334,9	1.640.104,9	2.786.026,3	2.869.607,1	2.955.695,3	3.044.366,2
2.084.314,91	1.162.231,63	1.315.548,58	2.403.250,78	2.475.348,31	2.549.608,75	1.592.334,87	1.640.104,92	2.786.026,33	2.869.607,12	2.955.695,33	3.044.366,19
708.667,07	383.536,44	434.131,03	793.072,76	816.864,94	841.370,89	525.470,51	541.234,62	919.388,69	946.970,35	975.379,46	1.004.640,84
1.375.647,84	778.695,19	881.417,55	1.610.178,02	1.658.483,36	1.708.237,87	1.066.864,36	1.098.870,30	1.866.637,64	1.922.636,77	1.980.315,87	2.039.725,35
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1.375.647,84	778.695,19	881.417,55	1.610.178,02	1.658.483,36	1.708.237,87	1.066.864,36	1.098.870,30	1.866.637,64	1.922.636,77	1.980.315,87	2.039.725,35

Fuente: Hoja de cálculo según modelo usado en la Asignatura Evaluación Financiera de Proyectos.

Tabla 20. Flujo de Fondos.

FLUJO DE FONDOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8
FUENTES									
Utilidad Neta		1.086.176,86	1.121.073,67	1.157.017,38	1.194.039,40	1.164.990,29	1.184.307,45	1.292.323,06	1.333.369,75
Depreciacion		115.000,00	115.000,00	115.000,00	115.000,00	115.000,00	115.000,00	115.000,00	115.000,00
Incremento en prestamos									
Incremento en Capital Social	1.150.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Disminucion activos									
TOTAL FUENTES	1.150.000,00	1.201.176,86	1.236.073,67	1.272.017,38	1.309.039,40	1.279.990,29	1.299.307,45	1.407.323,06	1.448.369,75
USOS									
Incremento de activos	1.150.000,00								
Incremento en capital de trabajo in									
Amortizacion de pr'estamos									
Dividendos		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL USOS	1.150.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Exceso/Deficit	0,00	1.201.176,86	1.236.073,67	1.272.017,38	1.309.039,40	1.279.990,29	1.299.307,45	1.407.323,06	1.448.369,75
Acum Exceso/Deficit	0,00	1.201.176,86	2.437.250,53	3.709.267,91	5.018.307,31	6.298.297,60	7.597.605,05	9.004.928,11	10.453.297,85

9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1.375.647,84	778.695,19	881.417,55	1.610.178,02	1.658.483,36	1.708.237,87	1.066.864,36	1.098.870,30	1.866.637,64	1.922.636,77	1.980.315,87	2.039.725,35
115.000,00	115.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1.490.647,84	893.695,19	881.417,55	1.610.178,02	1.658.483,36	1.708.237,87	1.066.864,36	1.098.870,30	1.866.637,64	1.922.636,77	1.980.315,87	2.039.725,35
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1.490.647,84	893.695,19	881.417,55	1.610.178,02	1.658.483,36	1.708.237,87	1.066.864,36	1.098.870,30	1.866.637,64	1.922.636,77	1.980.315,87	2.039.725,35
11.943.945,69	12.837.640,88	13.719.058,43	15.329.236,45	16.987.719,82	18.695.957,68	19.762.822,05	20.861.692,34	22.728.329,98	24.650.966,75	26.631.282,62	28.671.007,96

Fuente: Hoja de cálculo según modelo usado en la Asignatura Evaluación Financiera de Proyectos.

Tabla 21. Balance.

BALANCE	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ACTIVOS									
Caja	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Excedente de caja	0,00	1.201.176,86	2.437.250,53	3.709.267,91	5.018.307,31	6.298.297,60	7.597.605,05	9.004.928,11	10.453.297,85
Inventarios	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Activo Fijo bruto	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00
Depreciacion acumulada	0,00	115.000,00	230.000,00	345.000,00	460.000,00	575.000,00	690.000,00	805.000,00	920.000,00
Activo fijo neto	1.150.000,00	1.035.000,00	920.000,00	805.000,00	690.000,00	575.000,00	460.000,00	345.000,00	230.000,00
TOTAL ACTIVOS	1.150.000,00	2.236.176,86	3.357.250,53	4.514.267,91	5.708.307,31	6.873.297,60	8.057.605,05	9.349.928,11	10.683.297,85
PASIVOS									
Pasivo corriente	0,00								
Deuda L.Plazo	0,00								
TOTAL PASIVOS	0,00								
Capital Social	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00
Resultado de ejercicios anteriores	0,00	0,00	1.086.176,86	2.207.250,53	3.364.267,91	4.558.307,31	5.723.297,60	6.907.605,05	8.199.928,11
Utilidades retenidas del ejercicio	0,00	1.086.176,86	1.121.073,67	1.157.017,38	1.194.039,40	1.164.990,29	1.184.307,45	1.292.323,06	1.333.369,75
PATRIMONIO	1.150.000,00	2.236.176,86	3.357.250,53	4.514.267,91	5.708.307,31	6.873.297,60	8.057.605,05	9.349.928,11	10.683.297,85
PASIVO+PATRIMONIO	1.150.000,00	2.236.176,86	3.357.250,53	4.514.267,91	5.708.307,31	6.873.297,60	8.057.605,05	9.349.928,11	10.683.297,85

9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11.943.945,69	12.837.640,88	13.719.058,43	15.329.236,45	16.987.719,82	18.695.957,68	19.762.822,05	20.861.692,34	22.728.329,98	24.650.966,75	26.631.282,62	28.671.007,96
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00
1.035.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00
115.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12.058.945,69	12.837.640,88	13.719.058,43	15.329.236,45	16.987.719,82	18.695.957,68	19.762.822,05	20.861.692,34	22.728.329,98	24.650.966,75	26.631.282,62	28.671.007,96
1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00
9.533.297,85	10.908.945,69	11.687.640,88	12.569.058,43	14.179.236,45	15.837.719,82	17.545.957,68	18.612.822,05	19.711.692,34	21.578.329,98	23.500.966,75	25.481.282,62
1.375.647,84	778.695,19	881.417,55	1.610.178,02	1.658.483,36	1.708.237,87	1.066.864,36	1.098.870,30	1.866.637,64	1.922.636,77	1.980.315,87	2.039.725,35
12.058.945,69	12.837.640,88	13.719.058,43	15.329.236,45	16.987.719,82	18.695.957,68	19.762.822,05	20.861.692,34	22.728.329,98	24.650.966,75	26.631.282,62	28.671.007,96
12.058.945,69	12.837.640,88	13.719.058,43	15.329.236,45	16.987.719,82	18.695.957,68	19.762.822,05	20.861.692,34	22.728.329,98	24.650.966,75	26.631.282,62	28.671.007,96

Fuente: Hoja de cálculo según modelo usado en la Asignatura Evaluación Financiera de Proyectos.

Tabla 22. Flujo de caja de la inversión total.

9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1.490.647,84	893.695,19	881.417,55	1.610.178,02	1.658.483,36	1.708.237,87	1.066.864,36	1.098.870,30	1.866.637,64	1.922.636,77	1.980.315,87	2.039.725,35
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00										
1.490.647,84	893.695,19	881.417,55	1.610.178,02	1.658.483,36	1.708.237,87	1.066.864,36	1.098.870,30	1.866.637,64	1.922.636,77	1.980.315,87	2.039.725,35

FLUJO DE CAJA DE LA INVERSION TOTAL		1	2	3	4	5	6	7	8
Exceso/Deficit	0,00	1.201.176,86	1.236.073,67	1.272.017,38	1.309.039,40	1.279.990,29	1.299.307,45	1.407.323,06	1.448.369,75
Dividendos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Socios	1.150.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FLUJO DE CAJA DE LA INV. TOTAL	-1.150.000,00	1.201.176,86	1.236.073,67	1.272.017,38	1.309.039,40	1.279.990,29	1.299.307,45	1.407.323,06	1.448.369,75
TIR>>>	107,01%								
VAN	\$10.304.957,62								

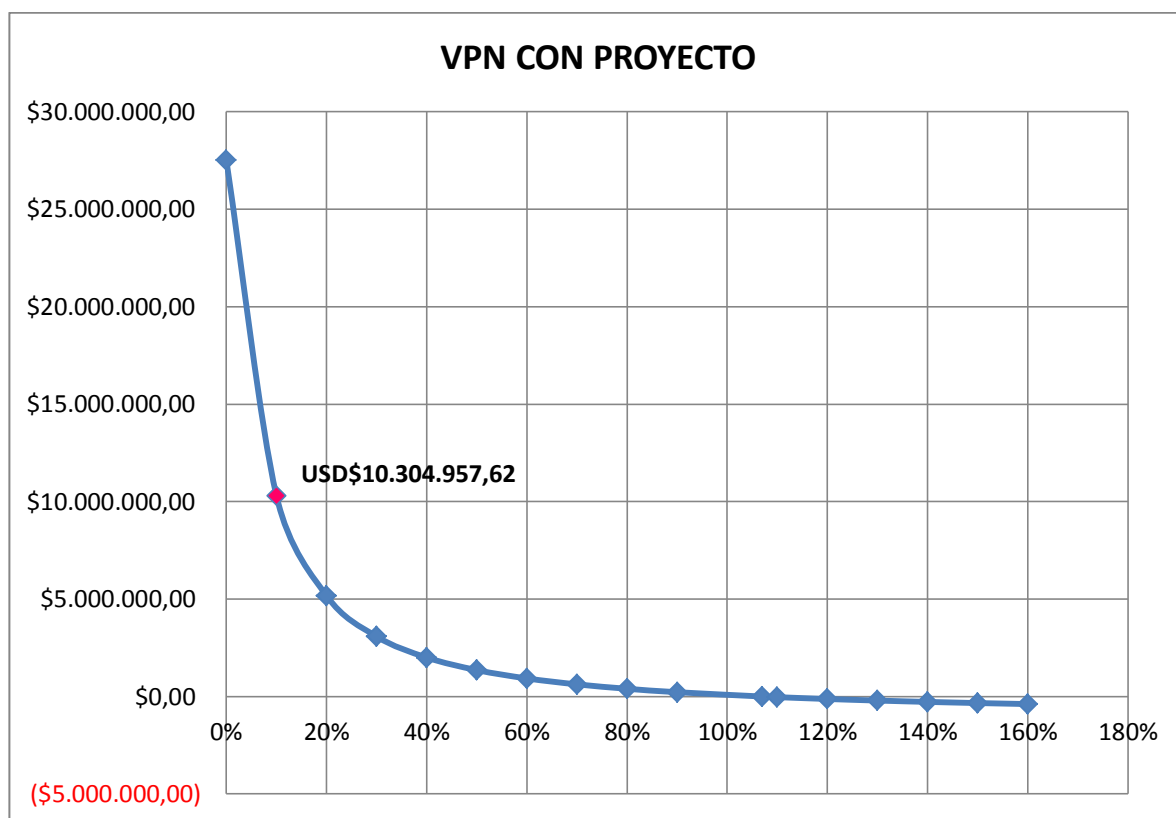
Fuente: Hoja de cálculo según modelo usado en la Asignatura Evaluación Financiera de Proyectos.

La grafica 1 muestra el comportamiento del Valor Presente Neto - VPN del proyecto a diferentes tasas de descuento. Esta Evaluación Financiera se realizó con una tasa de descuento del 10%.

El VPN obtenido en un período de 20 años de operación de los reductores de velocidad es **USD\$10,304,957.62**.

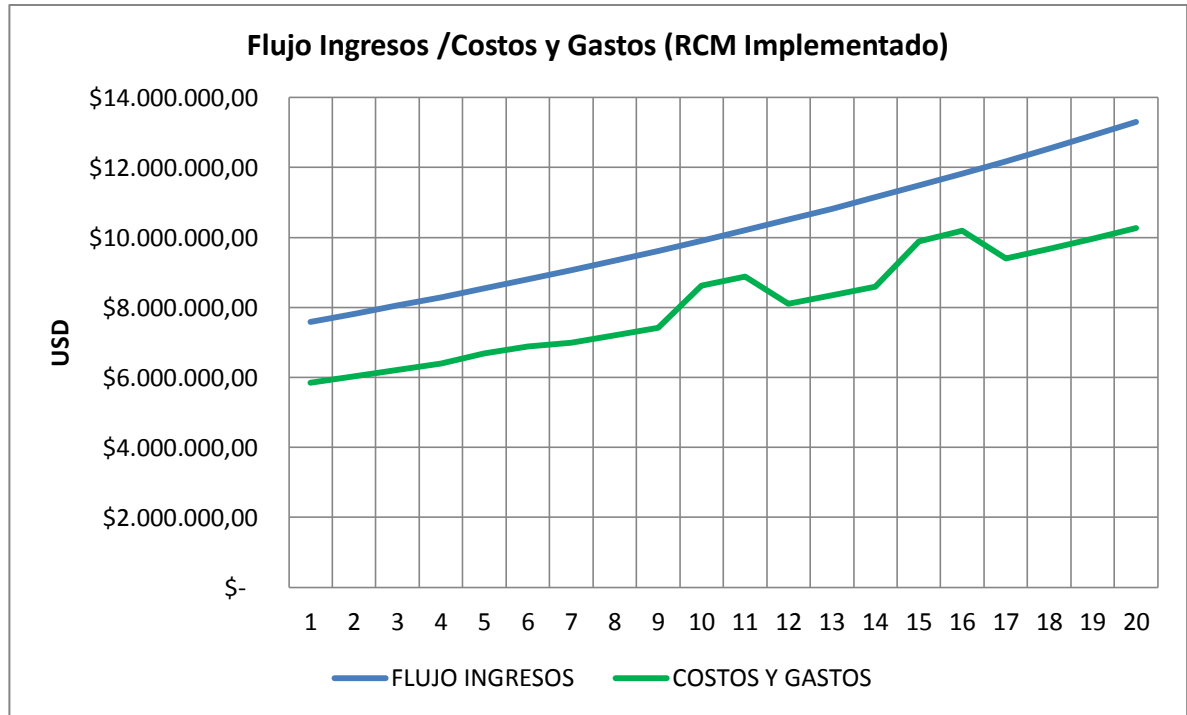
El VPN de los flujos de caja es positivo entre 0% y 107,0099%.

Grafica 1. VPN de la implementación del estudio RCM.



Fuente: Elaboración propia.

Grafica 2. Flujo de ingresos, costos y gastos con la implementación del estudio RCM.



Fuente: Elaboración propia

Con la implementación del RCM se obtiene un diferencial positivo entre los ingresos y costos y gastos, como se muestra en los flujos de la Grafica 2.

COSTO PROMEDIO PONDERADO DE CAPITAL (WACC: WEIGHTED AVERAGE COST OF CAPITAL).

El Costo Promedio Ponderado de Capital, se calcula teniendo en cuenta la siguiente fórmula:

$$WACC = Ke * \frac{E}{E + D} + Kd (1 - t) * \frac{D}{E + D}$$

Donde,

Ke = Rentabilidad probable de los dineros propios en el sistema financiero DTF = 15%

Kd = Costo del crédito realizado = 0% (Proyecto sin Financiación)

E = Monto de los recursos propios = 1.150.000.00 (Dólar)

D = Monto de los recursos del préstamo = 0

t = Tasa de impuesto = 33%

Este proyecto es realizado sin financiación de terceros, por lo cual, reemplazando los anteriores datos en la fórmula, el WACC obtenido es del 15%,

Teniendo en cuenta que TIR es 107,01%, entonces WACC es menor que la TIR, indicador que nos permite concluir que la implementación del RCM es un proyecto atractivo para el inversionista.

5.2. EVALUACIÓN FINANCIERA SIN LA IMPLEMENTACIÓN DEL RCM EN LA TORRE DE ENFRIAMIENTO STE-2945 (Operando a Falla).

Esta Evaluación Financiera fue realizada empleando un modelo en programa Excell, que contempla todas las variables requeridas y permite analizar con facilidad la información financiera del proyecto ¹³. Este modelo sigue la

¹³ Autor de modelo en programa Excell para Evaluación Financiera de Proyectos: Ing. Guillermo Leon Bustamante Alzate.

metodología de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, ONUDI¹⁴, y el Banco Mundial, BM¹⁵.

Así mismo, esta Evaluación Financiera está hecha a Términos corrientes y sin Financiación de terceros.

En la Tabla 23 se muestran los indicadores, los cuales se mantienen para todos los periodos, es decir, hasta 2026.

Tabla 23. Indicadores constantes para Evaluación Financiera sin la implementación del RCM.

PERIODO	2006	2007	2008	2009	2010
INDICADORES					
INFLACION		3%	3%	3%	3%
TASA DE INTERES		30%	30%	30%	30%
IMPUESTOS		33%	33%	33%	33%
DIVIDENDOS		0%	0%	0%	0%
DEPRECIACION TIPO I (20 Años)		5%	5%	5%	5%
DEPRECIACION TIPO II (10 Años)		10%	10%	10%	10%
AMORTIZACION (5 Años)		0%	0%	0%	0%
INDICE DE PRECIOS	1,00	1,03	1,06	1,09	1,13

Fuente: Hoja de cálculo según modelo usado en la Asignatura Evaluación Financiera de Proyectos.

¹⁴ El mandato de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) es promover y acelerar el desarrollo industrial sostenible en países en desarrollo y economías en transición. En Inglés: United Nations Industrial Development Organization. Tomado de <http://www.unido.org/quienes-somos/la-onudi-en-breve.html>, Consulta realizada el día 20 de Julio de 2013.

¹⁵ El Banco Mundial, BM, es una fuente fundamental de asistencia financiera y técnica para los países en desarrollo de todo el mundo. Tomado de <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/BANCOMUNDIAL/QUIENESSOMOS/0,,contentMDK:20191733~menuPK:60001939~pagePK:64057863~piPK:242674~theSitePK:263702,00.html>, consulta realizada el día 20 de Julio de 2013.

El índice de precios para el año 2026 será de 1,81.

En la Tabla 24 se muestra el Flujo 1, el cual corresponde a la inversión total.

Tabla 24. Inversión total sin la implementación del RCM.

INVERSION TOTAL (FLUJO 1)	VALOR (DOLAR)
Terrenos	
Activos fijos Tipo I	
Activos fijos Tipo II	1.150.000,00
Preoperativos	
Total activos fijos acumulados >>>	1.150.000,00
Capital de trabajo inicial	0,00
Total Inversión	1.150.000,00

Fuente: Hoja de cálculo según modelo usado en la Asignatura Evaluación Financiera de Proyectos.

En las Tablas 25 a 28, se muestra toda la información financiera de la Evaluación, consignada en el modelo en programa Excell (todas las cifras están dadas en dólares).

Tabla 25. Estado de resultados sin la implementación del RCM.

ESTADO DE RESULTADOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Ventas		\$ 7.590.557,52	\$ 7.818.274,25	\$ 8.052.822,47	\$ 8.294.407,15	\$ 8.543.239,36	\$ 8.799.536,54	\$ 9.063.522,64	\$ 9.335.428,32
Costo de la operación		5.309.453,52	5.468.737,13	5.632.799,24	11.334.303,25	11.674.332,35	6.155.111,81	6.339.765,17	6.529.958,12
Depreciación		115.000,00	115.000,00	115.000,00	115.000,00	115.000,00	115.000,00	115.000,00	115.000,00
RESULTADO OPERACIONAL (U.A.I.I)		2.166.104,0	2.234.537,1	2.305.023,2	-3.154.896,1	-3.246.093,0	2.529.424,7	2.608.757,5	2.690.470,2
Gastos financieros									
RESULTADO ANTES DE IMPUESTOS		2.166.104,00	2.234.537,12	2.305.023,23	-3.154.896,11	-3.246.092,99	2.529.424,73	2.608.757,47	2.690.470,19
Impuesto a la renta		714.814,32	737.397,25	760.657,67	0,00	0,00	860.004,41	886.977,54	914.759,87
RESULTADO (Utilidad Neta)		1.451.289,68	1.497.139,87	1.544.365,57	-3.154.896,11	-3.246.092,99	1.669.420,32	1.721.779,93	1.775.710,33
Dividendos		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Utilidad Retenida		1.451.289,68	1.497.139,87	1.544.365,57	-3.154.896,11	-3.246.092,99	1.669.420,32	1.721.779,93	1.775.710,33

9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
\$ 9.615.491,17	\$ 9.903.955,90	\$ 10.201.074,58	\$ 10.507.106,82	\$ 10.822.320,02	\$ 11.146.989,62	\$ 11.481.399,31	\$ 11.825.841,29	\$ 12.180.616,53	\$ 12.546.035,02	\$ 12.922.416,08	\$ 13.310.088,56
13.139.563,91	13.533.750,83	7.135.461,55	7.349.525,40	7.570.011,16	15.232.355,79	15.689.326,47	8.271.955,58	8.520.114,25	8.775.717,68	17.658.475,16	18.188.229,42
115.000,00	115.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-3.639.072,7	-3.744.794,9	3.065.613,0	3.157.581,4	3.252.308,9	-4.085.366,2	-4.207.927,2	3.553.885,7	3.660.502,3	3.770.317,3	-4.736.059,1	-4.878.140,9
-3.639.072,75	-3.744.794,93	3.065.613,03	3.157.581,42	3.252.308,86	-4.085.366,17	-4.207.927,16	3.553.885,71	3.660.502,28	3.770.317,35	-4.736.059,09	-4.878.140,86
0,00	0,00	1.011.652,30	1.042.001,87	1.073.261,92	0,00	0,00	1.172.782,28	1.207.965,75	1.244.204,72	0,00	0,00
-3.639.072,75	-3.744.794,93	2.053.960,73	2.115.579,55	2.179.046,94	-4.085.366,17	-4.207.927,16	2.381.103,42	2.452.536,53	2.526.112,62	-4.736.059,09	-4.878.140,86
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-3.639.072,75	-3.744.794,93	2.053.960,73	2.115.579,55	2.179.046,94	-4.085.366,17	-4.207.927,16	2.381.103,42	2.452.536,53	2.526.112,62	-4.736.059,09	-4.878.140,86

Fuente: Hoja de cálculo según modelo usado en la Asignatura Evaluación Financiera de Proyectos.

Tabla 26. Flujo de Fondos sin la implementación del RCM.

FLUJO DE FONDOS		0	1	2	3	4	5	6	7	8		
FUENTES												
Utilidad Neta			1.451.289,68	1.497.139,87	1.544.365,57	-3.154.896,11	-3.246.092,99	1.669.420,32	1.721.779,93	1.775.710,33		
Depreciación			115.000,00	115.000,00	115.000,00	115.000,00	115.000,00	115.000,00	115.000,00	115.000,00		
Incremento en préstamos												
Incremento en Capital Social		1.150.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Disminución activos												
TOTAL FUENTES		1.150.000,00	1.566.289,68	1.612.139,87	1.659.365,57	-3.039.896,11	-3.131.092,99	1.784.420,32	1.836.779,93	1.890.710,33		
USOS												
Incremento de activos		1.150.000,00										
Incremento en capital de trabajo in												
Amortización de préstamos												
Dividendos			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
TOTAL USOS		1.150.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Exceso/Deficit		0,00	1.566.289,68	1.612.139,87	1.659.365,57	-3.039.896,11	-3.131.092,99	1.784.420,32	1.836.779,93	1.890.710,33		
Acum Exceso/Deficit		0,00	1.566.289,68	3.178.429,55	4.837.795,12	1.797.899,01	-1.333.193,98	451.226,34	2.288.006,27	4.178.716,60		
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	-3.639.072,75	-3.744.794,93	2.053.960,73	2.115.579,55	2.179.046,94	-4.085.366,17	-4.207.927,16	2.381.103,42	2.452.536,53	2.526.112,62	-4.736.059,09	-4.878.140,86
	115.000,00	115.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	-3.524.072,75	-3.629.794,93	2.053.960,73	2.115.579,55	2.179.046,94	-4.085.366,17	-4.207.927,16	2.381.103,42	2.452.536,53	2.526.112,62	-4.736.059,09	-4.878.140,86
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	-3.524.072,75	-3.629.794,93	2.053.960,73	2.115.579,55	2.179.046,94	-4.085.366,17	-4.207.927,16	2.381.103,42	2.452.536,53	2.526.112,62	-4.736.059,09	-4.878.140,86
	654.643,85	-2.975.151,08	-921.190,35	1.194.389,20	3.373.436,14	-711.930,03	-4.919.857,18	-2.538.753,76	-86.217,24	2.439.895,39	-2.296.163,70	-7.174.304,56

Fuente: Hoja de cálculo según modelo usado en la Asignatura Evaluación Financiera de Proyectos.

Tabla 27. Balance sin la implementación del RCM.

BALANCE	0	1	2	3	4	5	6	7	8		
ACTIVOS											
Caja	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Excedente de caja	0,00	1.566.289,68	3.178.429,55	4.837.795,12	1.797.899,01	-1.333.193,98	451.226,34	2.288.006,27	4.178.716,60		
Inventarios	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Activo Fijo bruto	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00		
Depreciacion acumulada	0,00	115.000,00	230.000,00	345.000,00	460.000,00	575.000,00	690.000,00	805.000,00	920.000,00		
Activo fijo neto	1.150.000,00	1.035.000,00	920.000,00	805.000,00	690.000,00	575.000,00	460.000,00	345.000,00	230.000,00		
TOTAL ACTIVOS	1.150.000,00	2.601.289,68	4.098.429,55	5.642.795,12	2.487.899,01	-758.193,98	911.226,34	2.633.006,27	4.408.716,60		
PASIVOS											
Pasivo corriente	0,00										
Deuda L.Plazo	0,00										
TOTAL PASIVOS	0,00										
Capital Social	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00		
Resultado de ejercicios anteriores	0,00	0,00	1.451.289,68	2.948.429,55	4.492.795,12	1.337.899,01	-1.908.193,98	-238.773,66	1.483.006,27		
Utilidades retenidas del ejercicio	0,00	1.451.289,68	1.497.139,87	1.544.365,57	-3.154.896,11	-3.246.092,99	1.669.420,32	1.721.779,93	1.775.710,33		
PATRIMONIO	1.150.000,00	2.601.289,68	4.098.429,55	5.642.795,12	2.487.899,01	-758.193,98	911.226,34	2.633.006,27	4.408.716,60		
PASIVO+PATRIMONIO	1.150.000,00	2.601.289,68	4.098.429,55	5.642.795,12	2.487.899,01	-758.193,98	911.226,34	2.633.006,27	4.408.716,60		
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
654.643,85	-2.975.151,08	-921.190,35	1.194.389,20	3.373.436,14	-711.930,03	-4.919.857,18	-2.538.753,76	-86.217,24	2.439.895,39	-2.296.163,70	-7.174.304,56
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00
1.035.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00
115.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
769.643,85	-2.975.151,08	-921.190,35	1.194.389,20	3.373.436,14	-711.930,03	-4.919.857,18	-2.538.753,76	-86.217,24	2.439.895,39	-2.296.163,70	-7.174.304,56
1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00	1.150.000,00
3.258.716,60	-380.356,15	-4.125.151,08	-2.071.190,35	44.389,20	2.223.436,14	-1.861.930,03	-6.069.857,18	-3.688.753,76	-1.236.217,24	1.289.895,39	-3.446.163,70
-3.639.072,75	-3.744.794,93	2.053.960,73	2.115.579,55	2.179.046,94	-4.085.366,17	-4.207.927,16	2.381.103,42	2.452.536,53	2.526.112,62	-4.736.059,09	-4.878.140,86
769.643,85	-2.975.151,08	-921.190,35	1.194.389,20	3.373.436,14	-711.930,03	-4.919.857,18	-2.538.753,76	-86.217,24	2.439.895,39	-2.296.163,70	-7.174.304,56
769.643,85	-2.975.151,08	-921.190,35	1.194.389,20	3.373.436,14	-711.930,03	-4.919.857,18	-2.538.753,76	-86.217,24	2.439.895,39	-2.296.163,70	-7.174.304,56

Fuente: Hoja de cálculo según modelo usado en la Asignatura Evaluación Financiera de Proyectos.

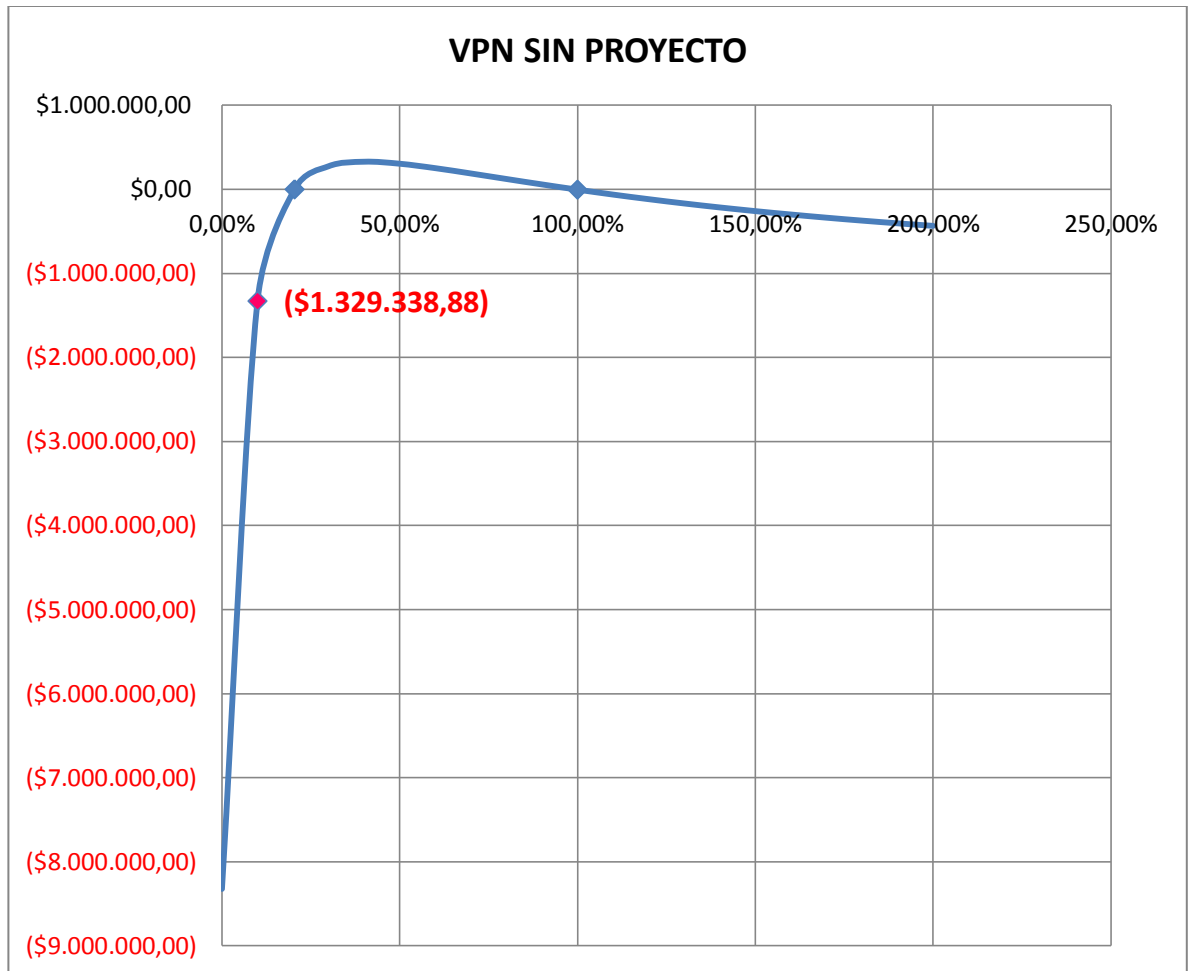
Tabla 28. Flujo de caja de la inversión total sin la implementación del RCM.

FLUJO DE CAJA DE LA INVERSION TOTAL		1	2	3	4	5	6	7	8
Exceso/Deficit	0,00	1.566.289,68	1.612.139,87	1.659.365,57	-3.039.896,11	-3.131.092,99	1.784.420,32	1.836.779,93	1.890.710,33
Dividendos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Socios	1.150.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FLUJO DE CAJA DE LA INVERSION TOTAL	-1.150.000,00	1.566.289,68	1.612.139,87	1.659.365,57	-3.039.896,11	-3.131.092,99	1.784.420,32	1.836.779,93	1.890.710,33
TIR>>>	20,433707%								
VAN	-\$1.329.338,88								

9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
-3.524.072,75	-3.629.794,93	2.053.960,73	2.115.579,55	2.179.046,94	-4.085.366,17	-4.207.927,16	2.381.103,42	2.452.536,53	2.526.112,62	-4.736.059,09	-4.878.140,86
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00										
-3.524.072,75	-3.629.794,93	2.053.960,73	2.115.579,55	2.179.046,94	-4.085.366,17	-4.207.927,16	2.381.103,42	2.452.536,53	2.526.112,62	-4.736.059,09	-4.878.140,86

Fuente: Hoja de cálculo según modelo usado en la Asignatura Evaluación Financiera de Proyectos.

Grafica 3. VPN sin la implementación del estudio RCM.

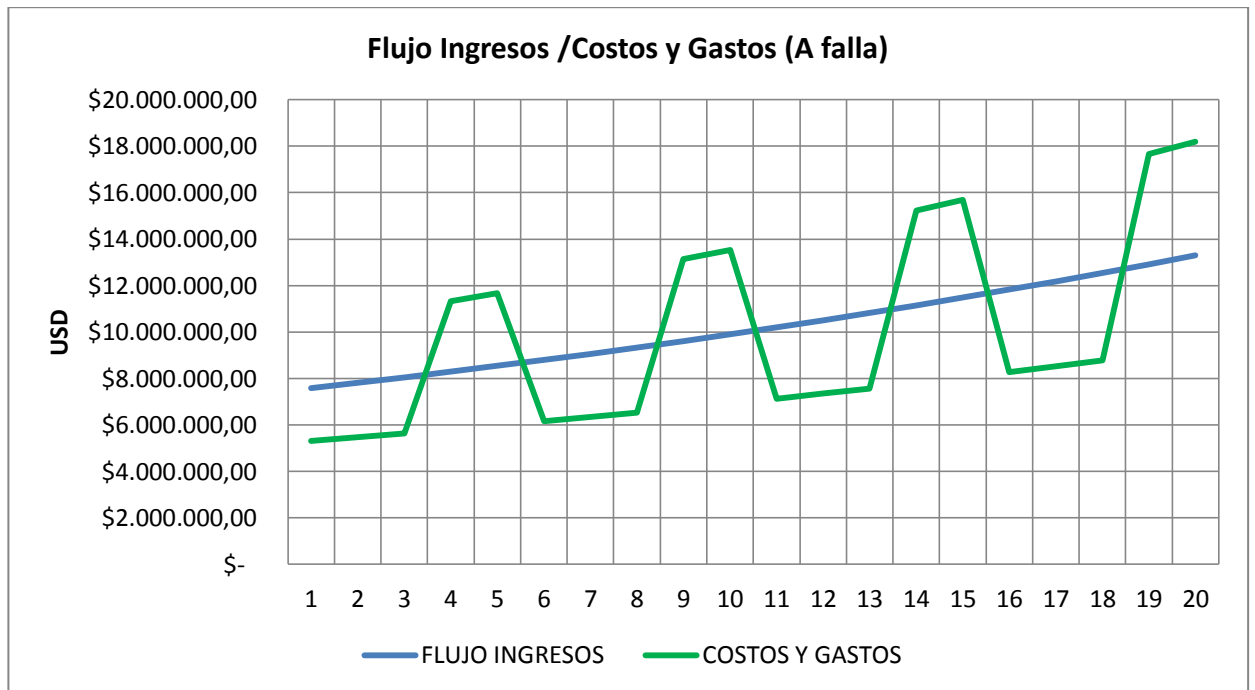


Fuente: Elaboración propia.

La Grafica 3 muestra el comportamiento del VPN del proyecto a diferentes tasas de descuento cuando no se implementa el estudio RCM.

Esta Evaluación Financiera se realizó con una tasa de descuento del 10%. El VPN obtenido en un período de 20 años de operación de los reductores de velocidad es **- USD\$1, 329,338.88.**

Grafica 4. Flujo de Ingresos, Costos y Gastos sin la implementación del estudio RCM.



Fuente: Elaboración propia.

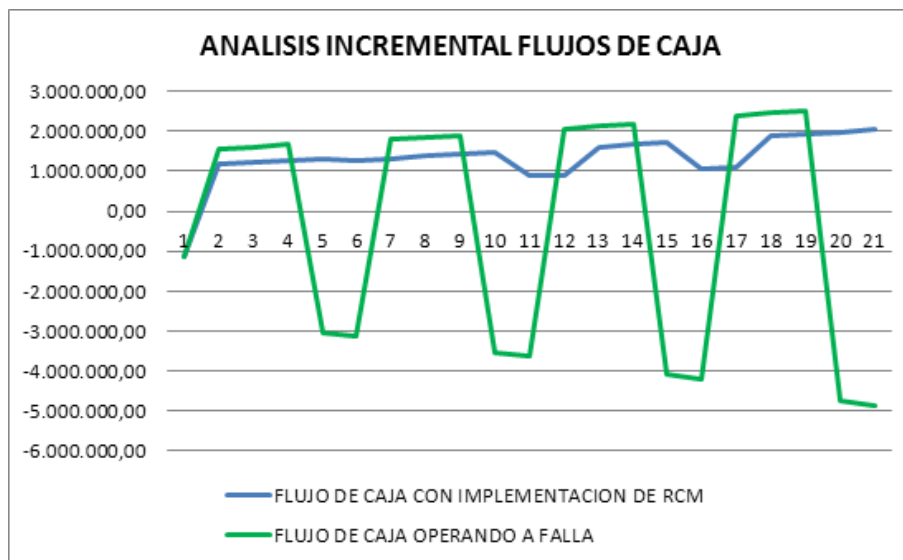
Sin la implementación del estudio RCM para la Torre de Enfriamiento STE-2945, se observa que en los períodos en los que fallan los reductores de velocidad y aumenta la temperatura del agua de enfriamiento a niveles superiores a 90°F ó 32,22°C, se incrementan los costos y los gastos por encima de los ingresos, generando pérdidas.

6. CONCLUSIONES

Realizadas las dos Evaluaciones Financieras, implementando el estudio RCM para la Torre de Enfriamiento STE-2945 y sin su implementación, se concluye que:

- La implementación del estudio técnico RCM es la mejor opción. El VPN es USD\$10, 304,957.62 comparado con un VPN de **-USD\$1, 329,338.88** que se obtiene sin la implementación del RCM.
- En los periodos en los que la confiabilidad de la Torre de Enfriamiento STE-2945 tiene ocho o más ventiladores disponibles, los flujos de caja son superiores sin la implementación del RCM, sin embargo, esta pequeña diferencia se afecta significativamente cuando la disponibilidad de la Torre de Enfriamiento disminuye producto de las fallas de los reductores, como se muestra en la Grafica 5.

Grafica 5. Flujos de caja con implementación de RCM y sin implementación.



Fuente: Elaboración propia.

7. RECOMENDACIONES

- Garantizar la implementación estricta del RCM para la Torre de Enfriamiento STE-2945. Hacer los ajustes requeridos a través del tiempo, con el fin de hacer un proceso de mejora continua. Hacer revisión el 31 de Diciembre de 2013. Responsable: Equipo Núcleo del Departamento de Servicios Industriales Balance.
- Garantizar el nivel mínimo de stock de repuestos recomendado por el Ingeniero de confiabilidad Rotativo. Hacer revisión semanal y generar reporte para socializar en Reunión de equipo núcleo. Responsable: Administrador de Inventarios.
- Actualizar el estudio RCM, analizando la posibilidad de instalar sensores de nivel y temperatura del lubricante en el reductor de velocidad. Esta opción puede ofrecer la alternativa de migrar a mantenimientos basados en condición, aumentando la frecuencia entre mantenimientos. Responsable: Equipo Núcleo del Departamento de Servicios Industriales Balance.

BIBLIOGRAFÍA

BUSTAMANTE ALZATE Guillermo, Pautas para la Iniciación y Planificación de Proyectos de Inversión en Bienes de Capital. Capítulos: 1, 2, 3, 5, 7, 8, 9 y 21. Material de las Asignaturas Evaluación Técnica del Proyecto y Evaluación Financiera del Proyecto. 2012.

BUSTAMANTE ALZATE Guillermo, Pautas para la Iniciación y Planificación de Proyectos de Inversión en Bienes de Capital. Manual para la presentación y sustentación del Proyecto: Primeras recomendaciones. 2012.

ECOPETROL [en línea] <http://www.ecopetrol.com.co>

ECOPETROL [en línea] <http://iris>

Project Management Institute, Inc (PMI). A Guide to the Project Management Body of Knowledge. PMBOK® GUIDE, Fifth Edition. 2013.

SILVA ARDILA Pedro, Mantenimiento en la práctica. 2009.