

Estrategia Optimización Activos Mansarovar Energy

Generación de Escenarios de Producción en la Empresa Mansarovar Energy Aplicando  
Simulación de Eventos Discretos

Jose Luis De La Rosa Palomino

000229391

Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga

Escuela de Ingeniería

Bucaramanga

2020

Estrategia Optimización Activos Mansarovar Energy

Generación de Escenarios de Producción en la Empresa Mansarovar Energy Aplicando  
Simulación de Eventos Discretos

Jose Luis De La Rosa Palomino

000229391

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

Director del Proyecto

Orlando Federico Gonzalez Casallas

Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga

Escuela de Ingeniería

Bucaramanga

2020

Copyright © 2019 por Jose Luis De La Rosa Palomino. Todos los derechos reservados.

## **Agradecimientos**

A la Universidad Pontificia Bolivariana por su excelente organización académica al servicio de sus estudiantes, y de los cuales logre alimentar este proceso de construcción mental como ingeniero.

A la empresa Mansarovar Energy por todas las colaboraciones en la recabación de información, su paciencia y disposición en la atención de requerimientos para el desarrollo del trabajo.

**Tabla de Contenidos**

	Pág.
Introducción.....	14
Capítulo 1 Generalidades de la Empresa.....	15
1.1. Reseña Histórica.....	15
1.2. Misión.....	16
1.3. Visión.....	16
1.4. Estructura de gobierno.....	16
1.5. Cadena de valor Mansarovar Energy.....	18
1.6. Valores.....	19
1.7. Políticas Internas.....	20
Capítulo 2 Delimitacion del problema.....	22
1.1 Formulación del problema de investigación.....	22
Capítulo 3 Antecedentes.....	23
Capítulo 4 Justificacion.....	27
Capítulo 5 Objetivos.....	28
5.1. Objetivo general.....	28
5.2. Objetivos específicos.....	28
Capítulo 6 Marco teorico.....	30
6.1. Gestión de activos.....	30
6.1.2. Sistema de gestión de activos.....	31
6.1.3. Gestión de la organización.....	31

6.1.4. Activo. ....	32
6.1.5. Vida del activo.....	33
6.1.6. Ciclo de vida.....	33
6.1.7. Sistema de activos .....	33
6.1.8. Tipo de activo.....	33
6.1.9. Activo crítico.....	34
6.1.10. Plan estratégico de gestión de activos.....	34
6.1.11. Plan de gestión de activos.....	34
6.1.12. Acción preventiva.....	34
6.1.13. Acción predictiva.....	35
6.1.14. Acción correctiva.....	35
6.1.15. Sistema de gestión.....	35
6.1.16. Arena .....	35
6.1.17. Estadística Descriptiva .....	36
6.1.18. Estadística Inferencial.....	36
6.2 Elementos de Simulación .....	37
6.2.1 Concepto de Simulación.....	37
6.2.2 Finalidad de la Simulación .....	38
6.2.3 La aplicación apropiada de la simulación.....	38
6.2.4 Sistema .....	39
6.2.5 Modelo.....	40
6.2.6 Entidades y atributos .....	41
7.2.7 Recursos .....	41

6.2.8 Eventos, actividades y procesos .....	42
6.3. Simulación de Eventos Discretos (SED).....	43
6.3.1 Componentes de una SED .....	44
6.4 Aplicaciones de la SED .....	48
6.4.1 Simulación de colas de espera.....	48
6.4.2 Diagnóstico de problemas de procesos.....	49
6.4.3 Aplicaciones hospitalarias .....	50
6.4.4 Ideas de mejora de rendimiento de pruebas de laboratorio .....	50
6.4.5 Evaluación de decisiones de inversión de capital.....	50
6.4.6 Simuladores de red .....	51
Capítulo 7 Metodología .....	52
Capítulo 8 Diagnostico del proceso de producción .....	53
8.1 Descripción del proceso.....	53
8.2 Análisis histórico de los barriles de fluido diarios asociados al sistema de producción	58
8.3 análisis histórico de los barriles de crudo asociado al sistema de producción .....	61
8.4 Análisis estadístico de las principales variables determinantes del sistema operativo...	64
8.5 Descripción del modelo de simulación del proceso .....	67
8.5.1 Entidades .....	68
8.5.2 Atributos .....	68
8.5.3 Operaciones de procesamiento .....	69
8.5.4 Asignación de atributos .....	71
8.5.5 Decisiones.....	72
8.5.6 Separaciones .....	73

8.5.7 Almacenamiento .....	74
8.5.8 Alimentación en Arena de las variables determinantes del modelo .....	75
Capítulo 9 Resultados y discusion.....	77
9.1 Cálculos de Capacidad de Procesamiento en Diferentes Escenarios a Partir del Modelo de Simulación de Eventos Discretos .....	77
9.1.1 Comparativo de Escenarios Posibles.....	77
9.1.2 Escenario Optimista.....	81
9.1.3 Escenario Moderado .....	81
9.1.4 Escenario Pesimista .....	82
9.2 Análisis de la PAS 55 y su Contribución a la Gestión de Activos Según la Capacidad de Procesamiento Requerido .....	82
9.3 Procedimiento Documentado Para la Gestión de Activos Del Sistema de Producción de Mansarovar Energy.....	85
9.3.1 Política de Gestión de Activos .....	85
9.3.2 Objetivos de Gestión de Activos .....	86
9.3.3 Estructura, Autoridad y Responsabilidades.....	86
9.3.4 Gestión de la información.....	87
9.3.5 Manejo de Activos.....	88
9.3.6 Monitoreo de Activos .....	89
9.3.7 Control de Activos.....	91
9.3.8 Gestión de riesgos.....	91
9.3.9 Actividades del Ciclo de Vida.....	93
9.3.10 Herramientas, instalaciones y equipos.....	96

9.3.11 Monitoreo de rendimiento y condición .....	96
9.3.11 Investigación de fallas, incidentes y no conformidades del activo productivo .....	97
9.4 Alternativas de Solución y Proacción según Escenarios de Requerimiento de Activos	97
9.4.1 Activos críticos .....	97
9.4.2 Alternativa para el escenario Optimista: Intercambiar el uso de los activos existentes .....	98
9.4.3 Alternativa para el escenario moderado: Alianzas estratégicas.....	99
9.4.4 Alternativa para el escenario pesimista: Desarrollar nuevos proveedores de fluido...	99
Capitulo 10 Socialización de la Propuesta en Mansarovar Energy .....	101
Capítulo 11 Conclusiones y recomendaciones .....	102
10.1 Conclusiones.....	102
10.2 Recomendaciones .....	104
Lista de Referencias .....	106

**Lista de tablas**

	Pág.
Tabla 1. Histórico de Promedio Anual Barriles De Fluido Diarios.....	59
Tabla 2. Producción promedio máxima y mínima del campo moriche:.....	60
Tabla 3. Pronóstico de producción .....	60
Tabla 4. Histórico de Promedio Anual Producción KBOPD .....	62
Tabla 5. Producción promedio máxima y mínima KBOPD del campo moriche: .....	63
Tabla 6. Pronostico de producción BOPD .....	63
Tabla 7. Resultados de Input Analyzer para la variable tiempo de procesamiento del tanque FWKO .....	65
Tabla 8. Prueba de chi cuadrado para tiempos de operación de FKWO .....	65
Tabla 9. Resultados de Input Analyzer para el análisis de datos de operación de EHT.....	66
Tabla 10. Prueba de chi cuadrado para los tiempos de operación de EHT .....	66
Tabla 11. Capacidades de producción en BOPD para los 15 escenarios de uso de activos principals de operación según el fluido generado .....	78
Tabla 12. Capacidades de producción en BOPD para los 15 escenarios de uso de activos principals de operación según producción de crudo.....	78
Tabla 13. Análisis de cada requerimiento de la norma ISO 55001 en el aprovechamiento de los activos para la capacidad de procesamiento requerido .....	83

**Lista de figuras**

	Pág.
Figura 1. Logo Mansarovar .....	16
Figura 2. Estructura de gobierno. ....	18
Figura 3. Activos fundamentales para la organización.....	31
Figura 4. Diagrama de fases de la metodología.....	52
Figura 5. Diseño esquemático de la planta de operación .....	54
Figura 6. Sistmeas FWKO`s.....	55
Figura 7. Sistemas EHT`s.....	56
Figura 8. Tanques de almacenamiento .....	57
Figura 9. Histórico de producción barriles de fluidos diarios anuales. ....	59
Figura 10. Pronóstico de producción de barriles de fluidos diarios anuales. ....	61
Figura 11. Histórico de promedio anual de producción KBOPD.....	62
Figura 12. Pronóstico de producción de barriles de fluidos diarios anuales. ....	64
Figura 13. Modelo del proceso en simulación con el software Arena v.15 .....	67
Figura 14. Configuración de las entidades en software Arena v.15 .....	68
Figura 15. Configuración de atributos en el modelo de simulación.....	69
Figura 16. Uso de “Process” para las operaciones de FWKO y EHT .....	70
Figura 17. Configuración de “Process” para FWKO2 y EHT`s 3.....	71
Figura 18. “Assign” utilizados en el modelo y configuración para el caso del Sistema EHT numeral 1 .....	72
Figura 19. Elementos “Decision” utilizados en la simulación .....	73

Figura 20. Elementos “Separate” utilizados en la simulación.....	74
Figura 21. Elementos “Hold” utilizados en la simulación.....	74
Figura 22. Configuración del tiempo de operación FWKO con la distribución teórica obtenida .....	76
Figura 23. Configuración del tiempo de operación EHT con la distribución teórica obtenida .....	76
Figura 24. Comparativo de procesamiento en BOPD de fluido .....	79
Figura 25. Comparativo de producción en BOPD de crudo.....	80
Figura 26. Diagrama de mantenimiento general hasta activar la orden de trabajo .....	94
Figura 27. Diagrama de mantenimiento desde la orden planeada.....	95

**RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO**

**TITULO:** GENERACION DE ESCENARIOS DE PRODUCCION EN LA EMPRESA MANSAROVAR ENERGY APLICANDO SIMULACION DE EVENTOS DISCRETOS

**AUTOR(ES):** Jose Luis De La Rosa Palomino

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Industrial

**DIRECTOR(A):** Orlando Federico González Casallas

**RESUMEN**

La industria del petróleo y gas a nivel global, ha venido sufriendo desde el año 2014 una inestabilidad e incertidumbre debido a las fluctuaciones drásticas en el precio internacional. Mansarovar Energy, empresa subsidiaria de una corporación multinacional en Colombia se ha visto afectada por el descenso en la producción de crudo en el país frente a la situación planteada internacionalmente. En este trabajo se analiza la utilización de los activos para el procesamiento de crudo según especificaciones de mercado como respuesta a este contexto. Para la intervención del problema, se realizó un estudio de alcance descriptivo utilizando herramientas de análisis como la entrevista no estructurada a funcionarios, la recolección de información en bases de datos, y el apoyo de procesamiento de información utilizando la herramienta de simulación Arena en la versión 15.0 con apoyo de su herramienta Input Analyzer. Los resultados llevaron a crear tres escenarios posibles, denominados pesimista, optimista y moderado, los cuales obedecen a diversos niveles proyectados de demanda de crudo, y para cada uno de ellos se propone diferentes alternativas para el aprovechamiento de los activos productivos. Como complemento, se entrega un procedimiento para mejorar la administración de activos

**PALABRAS CLAVE:**

Simulación, Eventos Discretos, Petróleo y gas

**V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** GENERATION OF PRODUCTION SCENARIOS IN THE MANSAROVAR ENERGY COMPANY APPLAYING SIMULATION OF DISCRETE EVENTS.

**AUTHOR(S):** Jose Luis De La Rosa Palomino

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Industrial

**DIRECTOR:** Orlando Federico González Casallas

## ABSTRACT

The oil and gas industry in the world, since 2014 has been suffering instability and uncertainty due to drastic fluctuations in the price and international demand-supply. Mansarovar Energy, which belongs to a multinational company, as a subsidiary in Colombia, has been affected by the decrease in crude oil production in the country, leading to different situations of internal concern. This work analyzes the concern of the assets used for the production of crude according to market specifications. For the intervention of the problem, a descriptive scope study was carried out using analysis tools such as the unstructured interview with officials, the collection of information in databases, and the support of information processing using the Arena simulation tool in the version 15.0 supported by its Input Analyzer sub tool. The results led to the creation of three possible scenarios, called pessimistic, optimistic and moderate, which obey various projected levels of oil demand, and each one of them proposes different alternatives for the use of productive assets. As a complement, an asset management procedure is delivered.

## KEYWORDS:

Simulation, Discrete Events, Oil and gas

**V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

## **Introducción**

El presente informe describe el análisis sobre la demanda de producción y la capacidad instalada de la empresa Mansarovar Energy frente a las condiciones del mercado de crudo en Colombia y el mundo, y cómo la gestión de activos puede ser un instrumento para la toma de decisiones en estos.

En los capítulos 1 a 5 se detallan las características de la empresa, la problemática que se vive alrededor de la demanda de producción y su exceso de capacidad instalada como producto de la problemática del petróleo en Colombia y el mundo, y se establecen objetivos sobre este trabajo.

En el capítulo 6 se recopilan conceptos, teorías y metodologías sobre la gestión de activos que brindan el contexto referencial para la construcción del informe y el planteamiento de sugerencias de solución para la empresa, las cuales siguen como metodología de solución, la descrita en el capítulo 7.

El diagnóstico y descripción más específico sobre el sistema productivo se realiza en el capítulo 8 y se indica qué elementos u objetos del software Arena permiten modelar esta realidad.

En el capítulo 9 se presentan los resultados del estudio, incluyendo los cálculos de capacidad de procesamiento de la empresa con base en un modelo simulado en Arena, el plantamiento de tres escenarios según la demanda proyectada, un procedimiento específico para la utilización de activos y las alternativas propuestas para enfrentar los escenarios descritos. Finalmente, un resumen de conclusiones y sugerencias se especifican en el capítulo 10.

## Capítulo 1

### Generalidades de la Empresa

#### 1.1. Reseña Histórica.

Mansarovar Energy fue constituida en 2006 por la unión de capitales de las estatales Sinopec Corp. (República Popular China) y ONGC Videsh (India), cuya casa matriz se ubica en Bermudas. Tenemos operaciones en la cuenca del Valle del Magdalena Medio, con los campos de Asociación Nare con una participación del 50% por parte de Ecopetrol y el Campo Velásquez con una participación del 100%, uno de los campos más antiguos de Colombia. Tenemos gran trayectoria desarrollando actividades de exploración, explotación y transporte de hidrocarburos en los departamentos de Boyacá, Santander, Antioquia y Cundinamarca.

Origen nombre Mansarovar; En China, al sur del Monte Kailash se encuentra el Lago Mansarovar, el cual es venerado en esa región; se ubica a una altitud de 14.950 pies sobre el nivel del mar, Mansarovar es el lago de agua dulce más alto del mundo. Es un sitio hermoso, con aguas de color azul claro en las orillas y verde esmeralda profundo en el centro. Los peregrinos se reúnen en este lago para hacer ofrendas a sus antepasados y las escrituras sagradas hindúes dicen que quienes se sumergen en las aguas del lago Mansarovar y termina el peregrinaje alrededor del monte Kailash quedan absueltos de todos sus pecados y liberados del ciclo del nacimiento y de la muerte, para unirse en última instancia con Shiva. Los hindúes creen que el lago fue creado por el Señor Brahma, el Dios de la creación. La leyenda indica que los hijos del Dios Brahma, que eran hombres santos, pasaron 12 años con grandes

austeridades en la tierra de Mansarovar, pero como carecieron de espacio suficiente para realizar sus ritos, rezaron a su padre divino para que los ayudara.

Actualmente Mansarovar cuenta con 630 empleados directos aproximadamente sirviendo en los principales campos y oficinas del territorio colombiano.



*Figura 1. Logo Mansarovar*  
Fuente: (Mansarovar Energy, 2006)

## **1.2. Misión**

Asegurar volúmenes con valor a nuestros accionistas por medio del reemplazo de reservas, apalancado en tecnologías de recobro mejorado, usando nuestros recursos de perforación y oleoductos para suministrar barriles limpios con excelencia operacional. (Mansarovar Energy, 2006)

## **1.3. Visión**

Ser reconocidos como un líder en Latinoamérica en la explotación de activos de hidrocarburos por medio de tecnología de vanguardia y de la contribución al desarrollo sostenible. (Mansarovar Energy, 2006)

## **1.4. Estructura de gobierno**

En Mansarovar Energy la máxima instancia de gobierno es la asamblea de accionistas la cual se reúne una vez al año, y está integrada por los accionistas ONGC Videsh, de India, y Sinopec, de China. Es la instancia aprobadora de las decisiones de alto nivel presentadas por la compañía relacionados con la estrategia, los valores o las declaraciones de la Misión, las políticas y los objetivos relativos a los impactos económicos, ambientales y sociales de la organización.

La segunda instancia de Gobierno es la Junta Directiva integrada por representantes de ONGC Videsh y Sinopec, la cual que se reúne cuatro veces al año y es responsable por la supervisión y control de las operaciones de la Compañía. Cuenta con dos comités consultivos que dan soporte y proveen recomendaciones a la Junta Directiva, el Comité de Auditoría el cual cuenta con independencia en desarrollo de su función al reportar directamente a la Junta Directiva; y el Comité Técnico y Financiero que analiza y recomienda sobre los asuntos operacionales, económicos, sociales y ambientales aplicables al desarrollo de las operaciones de la Compañía.

El nivel ejecutivo de la Compañía está compuesto por la Junta Directiva Local, la Vicepresidencia Ejecutiva de Asuntos Corporativos y Negocios, y la Vicepresidencia Ejecutiva de Operaciones, quienes tienen bajo su responsabilidad la implementación de la estrategia, así como la promoción de valores, tomando decisiones sobre la gestión del negocio en el marco de las aprobaciones de la Junta Directiva y Asamblea de Accionistas en los temas de operación, económico, social y ambiental. (Mansarovar Energy, 2006)



*Figura 2. Estructura de gobierno.*  
Fuente: (Mansarovar Energy, 2006)

## 1.5. Cadena de valor Mansarovar Energy

Como uno de los mayores productores de hidrocarburos en Colombia, centramos nuestra operación en la producción de crudo pesado, prestamos servicios de perforación a la Asociación Nare a través de nuestro equipo pesado propio, y terminamos con el transporte y almacenamiento de crudo. A continuación, presentamos nuestra cadena de valor y las áreas donde opera:

**Exploración:** Evaluamos los recursos y nuevas reservas para la explotación de campos nuevos o maduros que agreguen valor a Mansarovar Energy.

**Desarrollo:** Extraemos las reservas de crudo a través de la construcción de pozos y la utilización de herramientas y tecnologías de punta que incrementan la productividad.

**Producción:** Extraemos y procesamos el crudo en las condiciones de calidad requeridas por nuestros clientes.

**Transporte:** recibimos el crudo fiscalizado dentro de especificaciones de calidad y cantidad, ajustamos su viscosidad y gravedad API a condiciones estándar de transporte por oleoducto y entregamos el crudo ajustado al cliente final.

**Comercialización:** Identificamos y formulamos estrategias y alternativas de oferta del portafolio de productos y servicios de Mansarovar Energy, como la venta de crudo en el mercado nacional e internacional, creando un ambiente solido de vínculos comerciales sostenibles. (Mansarovar Energy, 2006)

## **1.6. Valores**

**Coraje:** Adaptación exitosa al cambio con actitud proactiva hacia el futuro

**Innovación:** Mantener una tendencia continua hacia nuevos desarrollos

**Compromiso:** Compromiso hacia el éxito, el logro y la satisfacción del cliente

**Confianza:** Establecimiento de relaciones de confianza

**Trabajo en Equipo:** El trabajo basado en la cooperación, diversidad y la interacción

**Gobierno Corporativo:** Buen manejo de nuestro negocio, de acuerdo con todos los requisitos legales y éticos.

**Cuidado:** Generación de valor para los accionistas y las partes interesadas a través de prácticas de HSE y gestión social de talla mundial. (Mansarovar Energy, 2006)

## 1.7. Políticas Internas

Política anticorrupción: el objetivo general de esta política es contribuir a establecer estándares de conducta para prevenir y prohibir expresamente actos de corrupción que impacten o puedan impactar las operaciones de Mansarovar Energy Colombia Ltd., (En adelante, Mansarovar) y permitir a las contrapartes distinguir entre una conducta que es generalmente aceptable de una que no lo es, respondiendo a la normatividad y mejores prácticas aplicables para Mansarovar. (Mansarovar Energy, 2016)

Política antifraude: Establecer las directrices y lineamientos generales que permitan prevenir, detectar e investigar posibles actos de fraude en Mansarovar, así como poner a disposición de todos los empleados las herramientas conceptuales y procedimentales para detectar, denunciar e investigar actos fraudulentos. (Mansarovar Energy, 2016)

Política de responsabilidad social : adoptar los principios y lineamientos de responsabilidad social corporativa bajo los cuales Mansarovar Energy orienta sus actividades para la creación y fortalecimiento de las relaciones cooperativas y de largo plazo con sus grupos de interés, que contribuyan al desarrollo social, económico, ambiental y sostenibles de las áreas de influencia donde opera y a su vez orienten el desarrollo corporativo en el marco del respeto de los derechos humanos, mejorando la imagen, reputación y valor de la compañía. (Mansarovar Energy, 2017)

Política prevención lavado de activos: establecer mecanismos y controles necesarios para proteger a Mansarovar Energy del riesgo de lavado de activos y financiación del terrorismo,

de conformidad con lo establecido en la normatividad vigente que es aplicable. (Mansarovar Energy, 2016)

Política de salud, seguridad y medio ambiente (HSE): establecer y regular una guía corporativa para las políticas de HSE con el fin de desarrollar procedimientos para garantizar las operaciones de la compañía. (Mansarova Energy, 2018)

## Capítulo 2 Delimitación del problema

### 1.1 Formulación del problema de investigación

La gestión de activos es la actividad coordinada con la que una organización debe contar para generar valor a través de sus activos, logrando un equilibrio entre los costos, riesgos, oportunidades y beneficios del rendimiento.

Un claro ejemplo lo presenta Agudelo (2013) en donde a partir de una propuesta del modelo de gestión de activos fijos con enfoque en procesos para una institución educativa refleja resultados alrededor de la identificación de los activos productivos y explica cómo esta acción se convierte en un factor clave de éxito y rentabilidad del negocio.

Y así como el caso enunciado de Agudelo (2013), ha emergido una tendencia por aplicar estos requisitos como estrategia complementaria para la toma de decisiones.

La empresa Mansarovar Energy, dispone de un sistema de gestión integrado que incluye los aspectos de calidad, ambiental, social y, seguridad y salud en el trabajo, con sus consecuentes beneficios. En esta ocasión se considera la necesidad de evaluar los beneficios de normas complementarias como las mencionadas alrededor de la gestión de activos. En esta ocasión, la aplicación de la gestión de activos busca satisfacer la necesidad de la empresa Mansarovar Energy para balancear sus niveles de capacidad de tal forma que se adapte a los requerimientos o circunstancias del mercado.

Lo anterior se reflexiona ante la situación particular de la empresa donde en los últimos años pasó de producir 70.000 barriles a producir 40.000 barriles, sin una evaluación de la afectación del ciclo de vida de los activos.

### Capítulo 3 Antecedentes

La simulación de procesos de producción o refinación de petróleo y gas tiene la particularidad de poder ser abordada como un proceso continuo o como un proceso discreto (Gómez *et al.*, 2017). Cuando se aborda como proceso continuo generalmente se está interesado en las diferentes modificaciones sobre el fluido del crudo como porcentajes de impurezas, eficiencia de producción química y otras variables de este tipo. Pero cuando se aborda como proceso discreto, el interés se concentra en tiempos de entrega, throughput de entrada y salida, y eficiencia global del proceso (Gómez *et al.*, 2017). Este último es el caso de este proyecto. Desde esta perspectiva, algunos proyectos previos que se pueden encontrar sobre simulación de eventos discretos para la industria del petróleo y gas son:

Machuca & Taquía (2009), preocupados por el alza del precio del petróleo y su influencia en la economía peruana y la complejidad de un sistema económico, deciden utilizar la simulación con complemento de la dinámica de sistemas para modelar este fenómeno. Entre sus conclusiones encuentran que su modelo permite “explicar y proyectar el comportamiento volumétrico de la balanza comercial de combustibles líquidos derivados de petróleo en miles de barriles por día. Los resultados numéricos del modelo dinámico propuesto mostraban que la balanza comercial de combustibles líquidos se guiría siendo negativa en volumen, y por tanto en valor expresado en moneda, mientras no se impulse la exploración de hidrocarburos y, de esta forma, se incrementa la explotación, cuya producción tiene una tendencia decreciente” (Machuca & Taquía, 2009:78). El impacto de este estudio esperado tiene que ver con la posibilidad para el estado peruano de analizar la conveniencia de “favorecer las actividades de exploración para incrementar la producción de crudo; de tal

manera que se equilibre la balanza comercial de combustibles líquidos y aumentar a factibilidad de proyectos de inversión” (Machucha & Taquíá, 2009:78).

Torres & Castro (2002) construyen un manual de simulación para la industria del petróleo y gas para convertirlo en un instructivo de aprendizaje para ingenieros que inician labores en la industria. El manual anexa una aplicación de software con simulación de los eventos discretos y continuos que se presentan en la industria.

Brea (2014) crea un compendio didáctico y complete sobre las aplicaciones de simulación en la industria petrolera. Destaca la simulación de eventos discretos y la importancia de los sistemas estáticos y su aplicación con el método de montecarlo. En su revisión sobre el asunto considera que ha sido aprovechado el método de simulación hasta la fecha de análisis en estudios sobre riesgo, planificación de cartera de proyectos, y optimización de mezcla de productos para planificar la producción. En cuanto al futuro de esta herramienta, estipula que falta profundizar en: a) Desarrollo de nuevos métodos de optimización a problemas enteros mixtos; b) Estudio de condiciones de optimalidad en problemas enteros mixtos; c) Desarrollo de un software para el modelado de sistemas para el análisis de riesgo.

En cuanto a modelos de simulación de eventos discretos para el sector de servicios se pueden encontrar múltiples antecedentes de los cuales se registran los siguientes:

Restrepo-Zea, Jaén-Posada, Piedrahita, & Flórez (2018) analizan los factores externos e internos en el servicio de urgencias en Medellín, el cual se refleja en la congestión, los largos tiempos de espera y la insatisfacción del usuario. Para abordar el problema identificaron y simularon estrategias para manejar emergencias médicas, tratando de reducir la saturación. Incluyeron una investigación exploratoria y analítica, con trabajo de campo en cuatro unidades de emergencia en Medellín y las simularon utilizando como estrategias la dinámica

de sistemas. Las estrategias utilizadas son: reorganizar el registro, orientar a los pacientes que no necesitan atención urgente, establecer una oficina acelerada y aumentar la transferencia a los apartamentos. Esta última fue la estrategia más efectiva en simulación. Informan además que, aunque las estrategias de flujo pueden ayudar a resolver la saturación de sus causas internas, como sugiere la literatura, su alcance es limitado. Las estrategias de entrada son necesarias, que están fuera del alcance del servicio, y las estrategias de salida del sistema hospitalario. Es posible reducir la saturación al concebir el departamento de emergencias y el hospital como dos elementos del mismo sistema, de modo que el flujo de pacientes se racionalice y haya un suministro adecuado de camas de hospital sin sobredimensionar capacidad instalada

Ramírez, Zepeda & Montoro (2018) trabajaron en el problema de el proceso de atención a pacientes que ingresan en un Hospital General en Veracruz, particularmente en el área de urgencias. Ellos evaluaron el comportamiento actual del sistema hospitalario para identificar las variables de resultado del sistema actual, y con base en ello determinaron que la mayor problemática eran las cosas de espera en la sala de urgencias. Como factores determinantes de esta espera encontraron la insuficiencia de servidores para su atención, es decir médicos y enfermeras. La demanda sobrepasaba la oferta. No se concentraron en los tiempos de servicio porque la gerencia colocó como política de solución que no se debía afectar la calidad de la atención al paciente. Aunque pareciera lógico y obvio, no hubo otra opción que aumentar la capacidad del personal médico y enfermeros. En la simulación, la incorporación de esta solución dio mejoras notorias pero mostró otros factores asociados a la desorganización de horarios, la cual mediante otro modelo permitió encontrar un óptimo de asignación laboral.

Chinchilla, Oliveros, & Forero (2017), presentan el desarrollo de un proyecto de investigación centrado en el análisis del flujo de pacientes para proponer estrategias para aumentar el nivel de atención y el uso de los recursos disponibles en la unidad de emergencias del Hospital Universitario de Samaritana, en la ciudad de Bogotá, Colombia. Para ello, implementaron un modelo de simulación discreta que representa el sistema y sus variables clave, tales como: llegada del paciente, duración de la estadía, demoras en la atención y el personal requerido. Como parte de ese proyecto, propusieron una metodología de segmentación de pacientes basada en los días de estadía y su patología. Además de eso, proponen escenarios y estrategias para reducir la duración de la estadía de los pacientes en la unidad. La nueva segmentación de la población de pacientes, por días de estadía y patología, permitió un mejor análisis causal de los días de estadía en el sistema. Los escenarios propuestos redujeron el tiempo que los pacientes permanecen en el sistema. Del mismo modo, sugieren que debió llevarse a cabo un estudio económico que tenga en cuenta la posibilidad de aumentar la capacidad y los recursos de los médicos para reducir la congestión en caso de emergencia. Como último aporte general, enfatizan que los hospitales deberían dar más importancia al proceso de análisis de los datos que llevan a cabo dentro de las zonas. Por esta razón, deben tener procesos que les permitan gestionar la información que obtienen de la base de datos, para garantizar la fiabilidad de las estadísticas obtenidas.

## Capítulo 4 Justificación

Actualmente Mansarovar Energy no cuenta con una estrategia de valor que permita determinar los activos disponibles y cuáles podrían ser prescindibles para el logro de las metas de producción; es de ahí donde surge la necesidad de proponer escenarios o alternativas de solución; para que los directivos de la compañía puedan evaluar la implementación de la solución orientada a operar con un nivel de capacidad aceptable con mínimo costo, traducido en la disminución de costos en energía y disminución de costos de mantenimiento tanto en mano de obra como en repuestos entre otros. (Castro 2018).

Dada la situación actual de declinamiento de la producción de los campos de producción de MANSAROVAR ENERGY en su área de influencia en el municipio de puerto Boyacá en Colombia, la propuesta de utilización de activos documentada permitirá la optimización de los activos disponibles en la operación.

Este tipo de estrategias ya se han implementado en plantas de procesamientos de hidrocarburos en Colombia y sus resultados han permitida generar valor al negocio en términos de costo de barril producido. La implementación de esta estrategia generara cambios operacionales que deberán ser validados por el grupo de ingeniería de operación para definir la forma de implementarlas sin poner en riesgo la seguridad de las personas y de la planta (Castro, 2018).

## Capítulo 5 Objetivos

### 5.1. Objetivo general

Diseñar alternativas de solución en la empresa MANSAROVAR ENERGY enfocadas a la mejora de la operación de los activos disponibles según la capacidad de procesamiento de hidrocarburos de la planta.

### 5.2. Objetivos específicos

Diagnosticar el sistema de producción de hidrocarburos de la empresa MANSAROVAR ENERGY, para identificar las variables y demanda de producción

Analizar las variables que hacen parte de la dinámica de producción de hidrocarburos de la empresa MANSAROVAR ENERGY, para conocer el comportamiento de las variables durante la dinámica de producción.

Diseñar un modelo de simulación de eventos discretos para calcular los escenarios factibles en la operación de hidrocarburos, de tal forma que se pueda establecer una política de gestión de activos en la empresa MANSAROVAR ENERGY.

Proponer un procedimiento documentado para la utilización de activos en del sistema de producción MANSAROVAR ENERGY, para dar trazabilidad en el manejo, monitoreo y control de los activos que hacen parte del proceso de producción de hidrocarburos.

Socializar una propuesta de mejoramiento para la utilización de activos en la empresa MANSAROVAR ENERGY, ante los jefes de producción y directivos de la empresa, para tener un concepto frente al manejo, monitoreo y control de los activos que hacen parte del proceso de producción de hidrocarburos

## Capítulo 6 Marco teorico

### 6.1. Gestión de activos

La gestión de activos se define como el conjunto de actividades y prácticas a través de las cuales una organización empresarial maneja de forma óptima y eficiente sus activos con el propósito de alcanzar un plan estratégico organizacional.

La implementación de un sistema de gestión de activos debe estar enmarcado dentro de los siguientes principios (Reetz, 2005):

- i) Holístico: ser multi-disciplinario y enfocado en todos los puntos de vista de los activos;
- ii) Sistemático: aplicarse de manera rigurosa en un sistema de gestión estructurado;
- iii) Sistémico: los activos deben cuidarse desde un punto de vista global, observando todos los elementos que agregan o restan valor y no con visiones particulares;
- iv) Basado en riesgo: la evaluación de riesgo debe estar presente en toda la toma de decisiones y planes sobre los activos;
- v) Óptimo: tener métodos claros para obtener el mejor beneficio de los activos para la organización;
- vi) Sustentable: la gestión debe cubrir el ciclo de vida total de los activos desde el diseño hasta la desincorporación, considerando la edad de los mismos, el deterioro con el tiempo, opciones de renovación, mejoramiento; y
- vii) Integrado: integrar los intereses y obligaciones de todas las partes que juegan un papel en la gestión de los activos, esto cubre desde accionistas, trabajadores, clientes, reguladores, etc. (Cerón, Orduña, Aponte, & Romero, 2015, págs. 99-110)



*Figura 3. Activos fundamentales para la organización*  
Fuente: (ISO/TC 251, s.f.)

### **6.1.2. Sistema de gestión de activos**

Conjunto de elementos interrelacionados y que interactúan, para el establecimiento de la política y los objetivos de la Gestión de Activos, y los procesos para alcanzar o lograr dichos objetivos. (Medina, La gestión de activos, su historia y definiciones, aspectos claves para entender su alcance., 2016)

### **6.1.3. Gestión de la organización**

Los Objetivos de la Organización no están contemplados dentro del alcance del modelo de Gestión de Activos, estos son la razón de ser del modelo de Gestión de Activos, en este sentido en toda actividad cuya función principal sea generar beneficios para los inversionistas, la gestión de rentabilidad tiene que convertirse en el centro de atención de toda la organización.

Por esta razón toda la organización debe estar alineada a los Objetivos del Negocio y no a la Gestión del Activo, en este sentido es fundamental que cada organización conozca su papel dentro del proceso de implementación y vean la Gestión de Activos como el medio para lograr los Objetivos del Negocio.

Cuando pensamos en mejorar la rentabilidad de nuestro negocio, procesos productivos definitivamente estamos pensando en Gestión de Activos, podemos decir que la Gestión de Activos y la Rentabilidad de un negocio son dos caras de una misma moneda, en este sentido ambos conceptos están íntimamente conectados según mi entender, ya que en la medida que impactamos positiva o negativamente la rentabilidad, definitivamente esto estará asociada a una fortaleza o debilidad en la Gestión del Activos. (Medina, 2016)

#### **6.1.4. Activo.**

Ítem, objeto o entidad que tiene valor real o potencial para una organización. El valor puede ser tangible o intangible, financiero o extra financiero incluyendo la consideración de riesgos y obligaciones. Los Activos físicos generalmente se refieren a equipamiento, inventario y los inmuebles de la organización. Los Activos intangibles son no físicos como

alquileres, marcas, activos digitales, derechos de uso, licencias, derechos de propiedad intelectual, reputación o acuerdos.

#### **6.1.5. Vida del activo.**

Período desde la creación del activo hasta el fin de la vida del activo.

#### **6.1.6. Ciclo de vida.**

Etapas de la gestión de un activo. El nombre y la cantidad de etapas y las actividades desarrolladas en cada una de ellas varían generalmente en diferentes sectores industriales y las determina la organización.

#### **6.1.7. Sistema de activos**

Conjunto de activos que interactúan o que están interrelacionados.

#### **6.1.8. Tipo de activo.**

Grupo de activos que tienen características comunes que los distinguen como un grupo o una clase. Ejemplos: Activos físicos, activos de información, activos intangibles, activos críticos, activos de tecnología de la información y comunicaciones (TIC), activos de infraestructura, activos móviles, etc.

#### **6.1.9. Activo crítico.**

Activo que tiene potencial para impactar significativamente en el logro de los objetivos de la organización. Los activos pueden ser críticos desde el punto de vista de la seguridad, del ambiente o del desempeño y pueden relacionarse a requisitos legales, regulatorios o estatutarios.

#### **6.1.10. Plan estratégico de gestión de activos.**

Información documentada que especifica de qué manera los objetivos organizacionales se convierten en objetivos de gestión de activos, cuál es el enfoque para desarrollar los planes de la gestión de activos y cuál es el rol del sistema de gestión de activos como apoyo para alcanzar los objetivos de la gestión de activos.

#### **6.1.11. Plan de gestión de activos.**

Información documentada que especifica las actividades, los recursos y los plazos de ejecución requeridos para que un activo individual o un agrupamiento de activos logren los objetivos de la gestión de activos de la organización.

#### **6.1.12. Acción preventiva.**

Acción para eliminar la causa de una no conformidad potencial u otra situación potencial indeseable.

#### **6.1.13. Acción predictiva.**

Acción para monitorear la condición de un activo y predecir la necesidad de una acción preventiva o de una acción correctiva.

#### **6.1.14. Acción correctiva.**

Acción para eliminar la causa de una no conformidad y prevenir su recurrencia.

#### **6.1.15. Sistema de gestión.**

Conjunto de elementos de una organización interrelacionados o que interactúan para establecer políticas, objetivos y procesos para alcanzar esos objetivos. Los elementos del sistema incluyen la estructura de la organización, los roles y las responsabilidades, la planificación, la operación, etc. (Gonzalez , 2015)

#### **6.1.16. Arena**

Es un software de simulación de eventos discretos para la optimización de procesos complejos. (Kelton, 2008)

### **6.1.17. Estadística Descriptiva**

Se dedica a la descripción, visualización y resumen de datos originados a partir de los fenómenos de estudio. Los datos pueden ser resumidos numérica o gráficamente. Su objetivo es organizar y describir las características sobre un conjunto de datos con el propósito de facilitar su aplicación, generalmente con el apoyo de gráficas, tablas o medidas numéricas. (Lorena lopez Moran, 2016)

### **6.1.18. Estadística Inferencial**

Se dedica a la generación de los modelos, inferencias y predicciones asociadas a los fenómenos en cuestión teniendo en cuenta la aleatoriedad de las observaciones. Se usa para modelar patrones en los datos y extraer inferencias acerca de la población bajo estudio. Estas inferencias pueden tomar la forma de respuestas a preguntas sí/no (prueba de hipótesis), estimaciones de unas características numéricas (estimación), pronósticos de futuras observaciones, descripciones de asociación (correlación) o modelamiento de relaciones entre variables (análisis de regresión). Otras técnicas de modelamiento incluyen análisis de varianza, series de tiempo y minería de datos. Su objetivo es obtener conclusiones útiles para lograr hacer deducciones acerca de la totalidad de todas las observaciones hechas, basándose en la información numérica. (Lorena lopez Moran, 2016),

## **6.2 Elementos de Simulación**

La simulación se utiliza en múltiples contextos de diferentes características (Vega, 2017). Prácticamente no tiene límites y se puede aplicar a cualquier sistema que se ajuste a los conceptos de modelado de simulación, como sistemas de fabricación (por ejemplo, optimización de líneas de producción y logística), sistemas públicos (por ejemplo, despacho de vehículos de emergencia y pronóstico del tiempo), sistemas militares (por ejemplo, escenarios de guerra y entrenamiento), sistemas de transporte (por ejemplo, transporte ferroviario y aéreo), sistemas de construcción (ej. edificios de prueba), sistemas informáticos (ej. redes de computadoras y juegos de computadora), son algunos ejemplos de aplicaciones. En las siguientes secciones se presentarán varios conceptos importantes de simulación y se discuten aspectos como por qué y cuándo utilizar la simulación para la resolución de problemas. Finalmente, se presentarán algunas observaciones finales sobre el estado actual de la simulación (Urrea et al., 2017).

### **6.2.1 Concepto de Simulación**

No existe una definición universal para la simulación. Sin embargo, todas las definiciones siguen el mismo concepto general: la simulación es una imitación de un sistema real. La imitación del sistema implica la construcción de una historia artificial, con las características del sistema real. Esto permite una mejor comprensión del sistema, incluido cómo funciona, se comporta y evoluciona con el tiempo (Urrea et al., 2017).

### **6.2.2 Finalidad de la Simulación**

"La simulación es una metodología indispensable para la resolución de problemas para la solución de muchos problemas del mundo real" (Vega, 2017:11). Diariamente nos beneficiamos del resultado de muchas simulaciones, como, por ejemplo, la simulación de un préstamo o el pronóstico del tiempo. Probablemente el producto de simulación más famoso y exitoso de la historia es el videojuego. ¿Quién nunca ha jugado videojuegos? En los videojuegos, los escenarios se crean a partir de sistemas reales o sistemas imaginarios, con muchas entidades (personas, automóviles, monstruos, etc.), donde los jugadores juegan el mismo juego muchas veces pero siempre con resultados diferentes (el jugador puede perder o ganar, ganar con una puntuación mejor o más baja, etc.). En cuestiones de mayor escala, como construir una línea de producción para un auto nuevo o construir rascacielos, la magnitud del problema aumenta, pero los conceptos de la simulación aún permanecen. En estos contextos, las técnicas de simulación permiten un estudio de costo-efecto antes del compromiso de los recursos (en el último ejemplo, antes de construir) (Vega, 2017). Una buena simulación puede aumentar el rendimiento de un proceso, racionalizar recursos, tiempo y costos. La simulación se vuelve aún más importante cuando las vidas humanas pueden estar en situaciones de peligro, como por ejemplo en el entrenamiento de bomberos (Urrea et al., 2017).

### **6.2.3 La aplicación apropiada de la simulación**

El uso de la simulación como herramienta para comprender la dinámica de un sistema no es el único enfoque disponible. Los analistas de simulación pueden experimentar el sistema cambiando el sistema real a pesar de la simulación. Pero estudiar el sistema real con este enfoque no siempre es posible, generalmente es más costoso y más perjudicial. Imagine, por ejemplo, optimizar el número de cajeros bancarios en una sucursal bancaria (Vega, 2017). Para analizar este caso sin simulación, el analista probablemente necesitaría probar diferentes números de cajeros bancarios en un cierto período de tiempo para analizar el desempeño en el servicio a los clientes. Imagine el costo que este enfoque de estudio tendría para el banco (por ejemplo, el costo de los cajeros bancarios, cuando hay más de lo necesario, y la imagen del banco para el cliente, cuando hay menos cajeros bancarios que los necesarios). Este tipo de enfoque puede funcionar en sistemas pequeños y simples donde los cambios no afectan la integridad y la función normal del sistema. Otro enfoque podría ser el estudio del sistema a través de métodos analíticos. En el último ejemplo, el analista podría resumir el problema a través de una simple expresión matemática. Pero si los objetivos del estudio fueran comprender las diez deficiencias para los próximos dos años, probablemente sería muy difícil resumir esto a través de una simple expresión matemática. En este caso, la simulación sería el mejor enfoque para comprender el comportamiento del sistema. La simulación es una herramienta adecuada para analizar sistemas, cuando son tan complejos que son imposibles de resolver mediante métodos analíticos (Vega, 2017).

#### **6.2.4 Sistema**

Un sistema es una colección de entidades interrelacionadas que trabajan juntas para lograr algún objetivo. El sistema objeto de estudio puede agregar muchos otros subsistemas, y uno de estos subsistemas puede agregar muchos otros subsistemas. Para evitar analizar un sistema sin fin, es necesario limitar el alcance del sistema, dependiendo de los objetivos del estudio. Los sistemas están influenciados por su entorno ya que reciben entradas que causan cambios en los sistemas y producen resultados (salidas). Estos cambios están representados por variables de estado, que juntas definen el estado del sistema. En otras palabras, las variables de estado del sistema contienen los datos necesarios para describir el estado del sistema en un momento particular de simulación. Una variable de sistema común utilizada en la simulación es CurrentTime (excepto en simulaciones donde el tiempo es irrelevante) (Urrea et al., 2017).

### **6.2.5 Modelo**

Los modelos de simulación pueden clasificarse en diferentes dimensiones: estática o dinámica; determinista o estocástico; continuo o discreto (Vega, 2017). La primera dimensión tiene que ver con el tiempo. Por ejemplo, imagine que alguien quiere encontrar cómo mejorar la potencia del motor. En dicho estudio, el sistema no está influenciado por el tiempo. Sin embargo, si el objetivo del estudio era aumentar la confiabilidad del motor, se debe considerar el tiempo para la simulación. Este caso es simulación dinámica. La segunda dimensión identifica si el sistema tiene características probabilísticas o no. En otras palabras, cuando el sistema se comporta de forma impredecible se utiliza el modelo estocástico. Por ejemplo, el estudio de la aceptación del mercado de un motor es un modelo de simulación

estocástica porque el mercado depende de muchas variables aleatorias (necesidades del cliente, estado del mercado, moda, etc.) (Urra et al., 2017). La tercera dimensión tiene que ver con la frecuencia con la que cambia el estado del sistema. En los modelos de simulación continua, el estado del sistema cambia continuamente con el tiempo, mientras que en un modelo de simulación discreta el estado del sistema solo cambia en algunos momentos particulares en el tiempo (Díaz, et al, 2018).

### **6.2.6 Entidades y atributos**

Las entidades son los principales objetos o componentes de un sistema que requieren una representación explícita en el modelo (por ejemplo, clientes, computadoras, etc.). Las entidades y sus relaciones definen el comportamiento del sistema, es decir, las entidades causan cambios en el estado del sistema. Sin ellos, nada sucedería en la simulación. Cada entidad tiene sus propios atributos, que son características (o cualidades) identificadas que son muy importantes para comprender el rol de la entidad en el sistema que ayuda a predecir el comportamiento del sistema (Vega, 2017). Las diferentes entidades pueden tener atributos similares, pero, de acuerdo con los objetivos del estudio, un atributo puede ser interesante para un estudio especial y poco interesante para otro. En un juego de fútbol, por ejemplo, las entidades serían los jugadores de fútbol, el entrenador y el árbitro. Los atributos serían velocidad de carrera, condición física, moral, etc. Cada entidad tiene velocidad de carrera, pero solo la velocidad del jugador es importante (Díaz, et al, 2018).

### **7.2.7 Recursos**

Un recurso es un objeto con capacidad limitada que existe para servir entidades y puede ser muchas cosas, como máquinas, computadoras, trabajadores o automóviles (Díaz, et al, 2018). Una entidad puede incluso ser un recurso, esto sucede cuando una entidad sirve a otra entidad. Los bancos definen este tipo de recursos como entidad estática y los otros como entidades dinámicas. Por ejemplo, en un caso de supermercado, cuando un cliente solicita información al vendedor del supermercado sobre un producto, la entidad dinámica es el cliente y la entidad estática es el vendedor, porque el vendedor atiende al cliente. Los recursos no siempre están disponibles para servir, es decir, tienen estados y límites. Un recurso puede tener muchos estados diferentes, como "inactivo", "ocupado" o "bloqueado". El estado es muy importante porque es necesario definir si el recurso puede servir o no. Normalmente un recurso sirve a una entidad a la vez, sin embargo, algunos recursos pueden servir a muchas entidades al mismo tiempo (de acuerdo con sus límites) que funcionan como un servidor paralelo. La capacidad limitada de los recursos aumenta la probabilidad de competencia de recursos entre entidades, es decir, dos o más entidades que intentan usar el mismo recurso al mismo tiempo (Urrea et al., 2017).

#### **6.2.8 Eventos, actividades y procesos**

Un evento es una ocurrencia que puede modificar el estado del sistema. Tomando el ejemplo de la tienda anterior, la llegada de un cliente es un evento, porque el estado del sistema cambia de "inactivo" a "ocupado". Podemos tener eventos internos (endógenos) o externos (exógenos). Un evento externo comienza fuera del sistema y un evento interno

comienza dentro del sistema. Una actividad es un período de tiempo previamente conocido entre dos eventos, que generalmente implica alguna acción, normalmente representa un tiempo de servicio. “Una entidad interactúa con actividades. Las entidades que interactúan con actividades crean eventos” (Díaz, et al, 2018:33). El tiempo de duración de la actividad puede ser determinista, estadístico o dependiente. En una actividad determinística, el tiempo de duración se conoce previamente, en la actividad estadística el tiempo de duración es impredecible y la duración del tiempo de una actividad dependiente está condicionada a otras variables. Los dos últimos tipos de actividades pueden originar una actividad de tiempo desconocida, en otras palabras, un retraso. Un retraso es un período de tiempo indefinido, causado por algunas condiciones del sistema. Un proceso es una secuencia de eventos o actividades que están conectados lógicamente. Para ilustrar todos estos conceptos, imagine un ejemplo de supermercado. El proceso de "compra" comienza con la llegada del cliente (evento externo) y termina con las salidas de la tienda (evento interno). La actividad de compra del cliente (agrega productos al carrito de compras) es una actividad estadística y cuando termina de comprar es un evento interno. Si espera en la línea de pago, esto es un retraso. Si paga con tarjeta de crédito, el tiempo necesario para finalizar la transacción es una actividad dependiente (Urrea et al., 2017).

### **6.3. Simulación de Eventos Discretos (SED)**

La Simulación de Eventos Discretos (SED) es un método para simular el comportamiento y el rendimiento de un proceso, instalación o sistema de la vida real. La SED se está utilizando cada vez más gracias a la velocidad y la memoria cada vez mayores de las

computadoras, la cual ha permitido que la técnica se aplique a problemas de tamaño y complejidad cada vez mayores. La SED modela el sistema como una serie de "eventos" [un nacimiento, una estadía en una unidad productiva, una transferencia de un producto persona en un Sistema de servicios] que ocurren con el tiempo.

Una simulación de eventos discretos (DES) modela la operación de un sistema como una secuencia (discreta) de eventos en el tiempo. Cada evento ocurre en un instante particular en el tiempo y marca un cambio de estado en el sistema. Entre eventos consecutivos, no se supone que ocurra ningún cambio en el sistema; por lo tanto, el tiempo de simulación puede saltar directamente al tiempo de ocurrencia del próximo evento, que se llama progresión de tiempo del siguiente evento. Además de la progresión de tiempo del próximo evento, también hay un enfoque alternativo, llamado progresión de tiempo de incremento fijo, donde el tiempo se divide en pequeños segmentos de tiempo y el estado del sistema se actualiza de acuerdo con el conjunto de eventos / actividades que ocurren en el tiempo rebanada. Debido a que no se debe simular cada segmento de tiempo, una simulación de tiempo del próximo evento generalmente puede ejecutarse mucho más rápido que una simulación de tiempo de incremento fijo correspondiente.

Ambas formas de SED contrastan con la simulación continua en la que el estado del sistema cambia continuamente con el tiempo sobre la base de un conjunto de ecuaciones diferenciales que definen las tasas de cambio de las variables de estado.

### **6.3.1 Componentes de una SED**

Los siguientes son los elementos que se manejan en una SED:

*Estado:* Un estado del sistema es un conjunto de variables que captura las propiedades sobresalientes del sistema a estudiar. La trayectoria del estado a lo largo del tiempo en un sistema,  $S(t)$ , puede representarse matemáticamente mediante una función escalonada cuyo valor puede cambiar cada vez que ocurre un evento.

*Reloj:* La simulación debe realizar un seguimiento del tiempo de simulación actual, en cualquier unidad de medida que sea adecuada para el sistema que se está modelando. En simulaciones de eventos discretos, a diferencia de las simulaciones continuas, el tiempo 'salta' porque los eventos son instantáneos: el reloj salta a la hora de inicio del siguiente evento a medida que avanza la simulación.

*Lista de eventos:* La simulación mantiene al menos una lista de eventos de simulación. Esto a veces se denomina conjunto de eventos pendientes porque enumera los eventos que están pendientes como resultado de un evento simulado previamente pero que aún no se han simulado. Un evento se describe por el momento en que ocurre y un tipo, que indica el código que se utilizará para simular ese evento. Es común que el código del evento se parametrize, en cuyo caso, la descripción del evento también contiene parámetros para el código del evento.

Cuando los eventos son instantáneos, las actividades que se extienden en el tiempo se modelan como secuencias de eventos. Algunos marcos de simulación permiten especificar el tiempo de un evento como un intervalo, dando la hora de inicio y la hora de finalización de cada evento.

Los motores de simulación de un solo subproceso basados en eventos instantáneos tienen solo un evento actual. Por el contrario, los motores de simulación de subprocesos múltiples y los motores de simulación que admiten un modelo de evento basado en intervalos pueden

tener múltiples eventos actuales. En ambos casos, existen problemas importantes con la sincronización entre eventos actuales.

El conjunto de eventos pendientes generalmente se organiza como una cola prioritaria, ordenada por hora del evento. Es decir, independientemente del orden en que se agregan los eventos al conjunto de eventos, se eliminan en orden estrictamente cronológico. Se han estudiado diversas implementaciones de colas prioritarias en el contexto de la simulación de eventos discretos; Las alternativas estudiadas han incluido árboles de despliegue, listas de salto, colas de calendario y colas de escalera.

*Generadores de números aleatorios:* La simulación necesita generar variables aleatorias de varios tipos, dependiendo del modelo del sistema. Esto se logra mediante uno o más generadores de números pseudoaleatorios. El uso de números pseudoaleatorios en lugar de números aleatorios verdaderos es un beneficio si una simulación necesita una repetición con exactamente el mismo comportamiento.

Uno de los problemas con las distribuciones de números aleatorios utilizados en la simulación de eventos discretos es que las distribuciones en estado estacionario de los tiempos de eventos pueden no conocerse de antemano. Como resultado, el conjunto inicial de eventos colocados en el conjunto de eventos pendientes no tendrá tiempos de llegada representativos de la distribución en estado estacionario. Este problema generalmente se resuelve iniciando el modelo de simulación. Solo se hace un esfuerzo limitado para asignar tiempos realistas al conjunto inicial de eventos pendientes. Sin embargo, estos eventos programan eventos adicionales y, con el tiempo, la distribución de los tiempos de eventos se acerca a su estado estacionario. Esto se llama bootstrapping del modelo de simulación. Al recopilar estadísticas del modelo en ejecución, es importante ignorar los eventos que ocurren

antes de alcanzar el estado estable o ejecutar la simulación durante el tiempo suficiente para que el comportamiento de arranque se vea abrumado por el comportamiento en estado estable. (Este uso del término bootstrapping puede contrastarse con su uso tanto en estadística como en informática).

*Estadísticas:* La simulación generalmente realiza un seguimiento de las estadísticas del sistema, que cuantifican los aspectos de interés. En el ejemplo del banco, es interesante rastrear los tiempos de espera medios. En un modelo de simulación, las métricas de rendimiento no se derivan analíticamente de las distribuciones de probabilidad, sino más bien como promedios sobre las repeticiones, es decir, diferentes ejecuciones del modelo. Los intervalos de confianza generalmente se construyen para ayudar a evaluar la calidad del resultado.

*Condición final:* Debido a que los eventos son bootstrap, teóricamente, una simulación de eventos discretos podría ejecutarse para siempre. Por lo tanto, el diseñador de la simulación debe decidir cuándo finalizará la simulación. Las opciones típicas son "en el tiempo  $t$ " o "después de procesar  $n$  número de eventos" o, más generalmente, "cuando la medida estadística  $X$  alcanza el valor  $x$ ".

*Entidades:* Los productos o personas en un servicio se modelan como entidades independientes, cada una de las cuales puede recibir información de atributos asociados.

*Atributos de las Entidades:* Las entidades puede incluir parámetros tales como referencia del producto, tamaño de un pedido, tiempo promedio de producción por referencia, ruta del proceso, y ubicación en inventario para dar un ejemplo. La información puede modificarse a medida que transcurre el tiempo en el modelo de simulación (por ejemplo, la ubicación cambiará según el estado de las unidades en la red, y el nivel de avance en la producción).

La simulación también tiene en cuenta los recursos requeridos para prestart el servicio o generar el agregado de valor sobre el producto.

## **6.4 Aplicaciones de la SED**

### **6.4.1 Simulación de colas de espera**

El estudio teórico de las líneas de espera, expresado en términos matemáticos, que incluye componentes como el número de líneas de espera, el número de servidores, el tiempo de espera promedio, el número de colas o líneas y las probabilidades de que los tiempos de cola aumenten o disminuyan. La teoría de colas es directamente aplicable a las redes de telecomunicaciones, colas de servidores, colas de computadoras mainframe de terminales de telecomunicaciones y sistemas avanzados de telecomunicaciones (Cano & Gómez, 2018).

Para analizar los sistemas que se simulan como una cola necesitamos información relacionada son (Cano & Gómez, 2018):

*Proceso de llegada:* cómo llegan los clientes, ya sea individualmente o en grupos (llegadas por lotes o a granel), cómo se distribuyen las llegadas en el tiempo (por ejemplo, cuál es la distribución de probabilidad del tiempo entre llegadas sucesivas (la distribución del tiempo entre llegadas), si hay una población finita de clientes o (efectivamente) un número infinito.

*Mecanismo de servicio:* Una descripción de los recursos necesarios para que el servicio comience.

*Cuánto tiempo llevará el servicio:* la distribución del tiempo de servicio.

*La cantidad de servidores disponibles:* si los servidores están en serie (cada servidor tiene una cola separada) o en paralelo (una cola para todos los servidores), si se permite la preferencia (un servidor puede detener el procesamiento de un cliente para tratar con otro cliente de "emergencia")

*Características de la cola:* cómo, del conjunto de clientes que esperan el servicio, elegimos el que se servirá a continuación (por ejemplo, FIFO (primero en entrar, primero en salir), también conocido como FCFS (primero en llegar, primero en llegar); LIFO (último en llegar primero) fuera); al azar) (esto a menudo se llama la disciplina de la cola)

#### **6.4.2 Diagnóstico de problemas de procesos**

Los enfoques de simulación están particularmente bien equipados para ayudar a los usuarios a diagnosticar problemas en entornos complejos. La teoría de restricciones ilustra la importancia de comprender los cuellos de botella en un sistema. Identificar y eliminar cuellos de botella permite mejorar los procesos y el sistema en general. Por ejemplo, en las empresas manufactureras pueden crearse cuellos de botella por exceso de inventario, sobreproducción, variabilidad en los procesos y variabilidad en el enrutamiento o la secuencia. Al documentar con precisión el sistema con la ayuda de un modelo de simulación, es posible obtener una vista panorámica de todo el Sistema (Cano & Gómez, 2018).

Un modelo de trabajo de un sistema permite a la gerencia comprender los controladores de rendimiento. Se puede construir una simulación para incluir cualquier número de indicadores de rendimiento, como la utilización de los trabajadores, la tasa de entrega a tiempo, la tasa de rechazo, los ciclos de efectivo, etc.

### **6.4.3 Aplicaciones hospitalarias**

Un quirófano generalmente se comparte entre varias disciplinas quirúrgicas. A través de una mejor comprensión de la naturaleza de estos procedimientos, es posible aumentar el rendimiento del paciente. Ejemplo: si una cirugía cardíaca dura un promedio de cuatro horas, cambiar el horario de una sala de operaciones de ocho horas disponibles a nueve no aumentará el rendimiento del paciente. Por otro lado, si un procedimiento de hernia demora un promedio de veinte minutos y proporciona una hora extra, también puede no producir un aumento en el rendimiento si no se considera la capacidad y el tiempo promedio en la sala de recuperación (Cano & Gómez, 2018).

### **6.4.4 Ideas de mejora de rendimiento de pruebas de laboratorio**

Muchas ideas de mejora de sistemas se basan en principios sólidos, metodologías comprobadas (Lean, Six Sigma, TQM, etc.) pero no logran mejorar el sistema en general. Un modelo de simulación permite al usuario comprender y probar una idea de mejora del rendimiento en el contexto del sistema general (Cano & Gómez, 2018).

### **6.4.5 Evaluación de decisiones de inversión de capital**

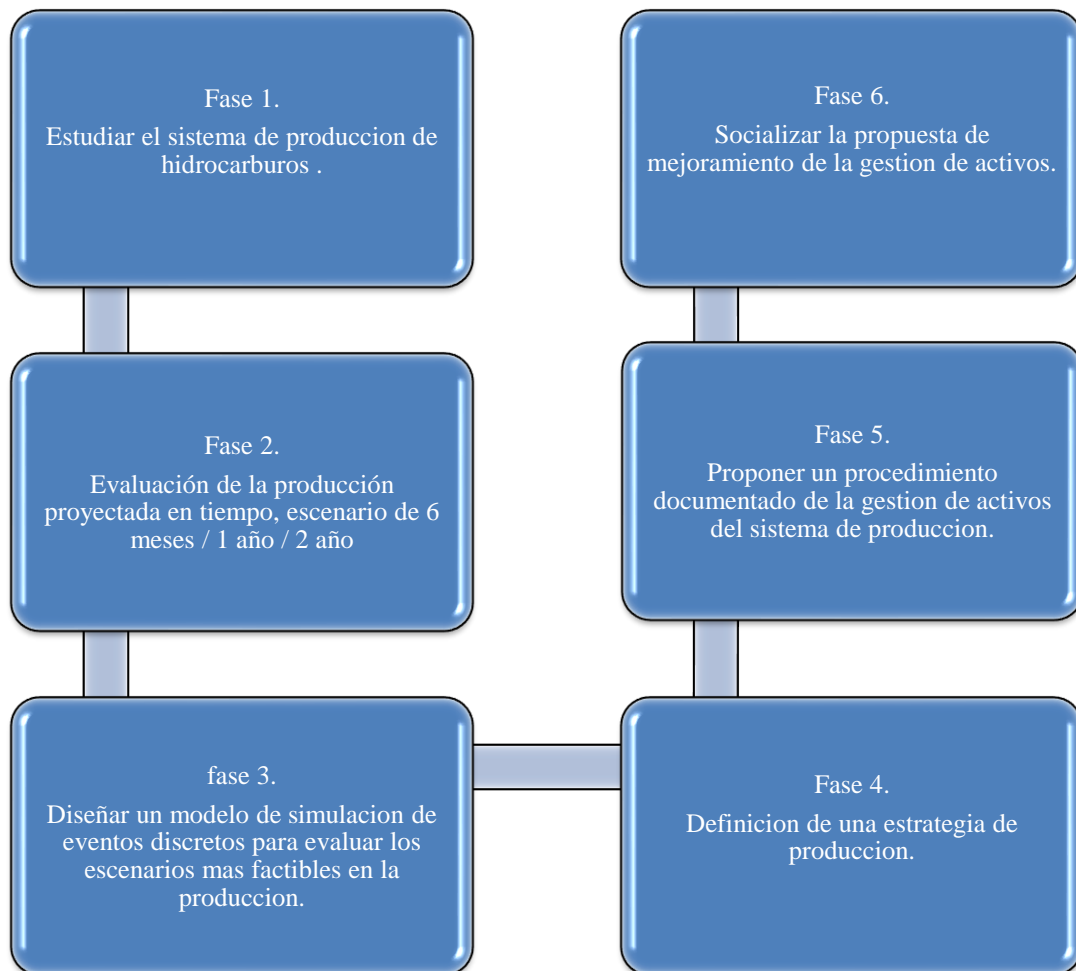
El modelado de simulación se usa comúnmente para modelar inversiones potenciales. A través del modelado de inversiones, los responsables de la toma de decisiones pueden tomar decisiones informadas y evaluar posibles alternativas (Cano & Gómez, 2018).

#### **6.4.6 Simuladores de red**

La simulación de eventos discretos se utiliza en la red informática para simular nuevos protocolos, diferentes arquitecturas de sistemas (distribuidos, jerárquicos, centralizados, P2P) antes de la implementación real. Es posible definir diferentes métricas de evaluación, como tiempo de servicio, ancho de banda, paquetes descartados, consumo de recursos, etc (Cano & Gómez, 2018).

## Capítulo 7 Metodología

El método de investigación es de tipo cualitativo y cuantitativo, esta se desarrollará mediante 6 fases progresivas, en las cuales se les dará dimensión a los objetivos específicos del proyecto.



*Figura 4. Diagrama de fases de la metodología*

Fuente: Elaboración propia

## Capítulo 8

### Diagnóstico del proceso de producción

#### 8.1 Descripción del proceso

A continuación se encuentra el plano de campo moriche donde se observa que el campo funciona en forma de serie, ya que cualquier sistema que falte o falle se va ver afectado el siguiente o anterior proceso, sin embargo cada sistema de producción es decir donde se realiza cada proceso si trabaja en paralelo.

Tiene una capacidad de producción de alrededor de 46 mil barriles de crudo, eso para una capacidad casi de 130.000 barriles de fluido, actualmente el campo lo provee tres fuentes de corriente, que en términos de hidrocarburos son llamadas zonas, las cuales están compuestas por una zona norte, una zona centro y una zona sur, conformadas por alrededor de 250 pozos el total de las 3 zonas.

Este proceso empieza cuando el fluido trifásico que proviene de los diferentes pozos termina en el módulo de tratamiento y bombeo de campo moriche, estas fuentes se recolectan en las 3 zonas anteriormente mencionadas, mediante manifold de producción entran directamente a un proceso de deshidratación o separación.

Inicialmente entra a través de 3 FWKO's donde 2 son de operación y 1 de respaldo. Básicamente son separadores que cuentan con señales de monitoreo tales como: la presión, temperatura, medición de flujo de crudo y medición de agua que sale, estas señales de monitoreo están bajo restricción por lo cual no se conoce su valor exacto.

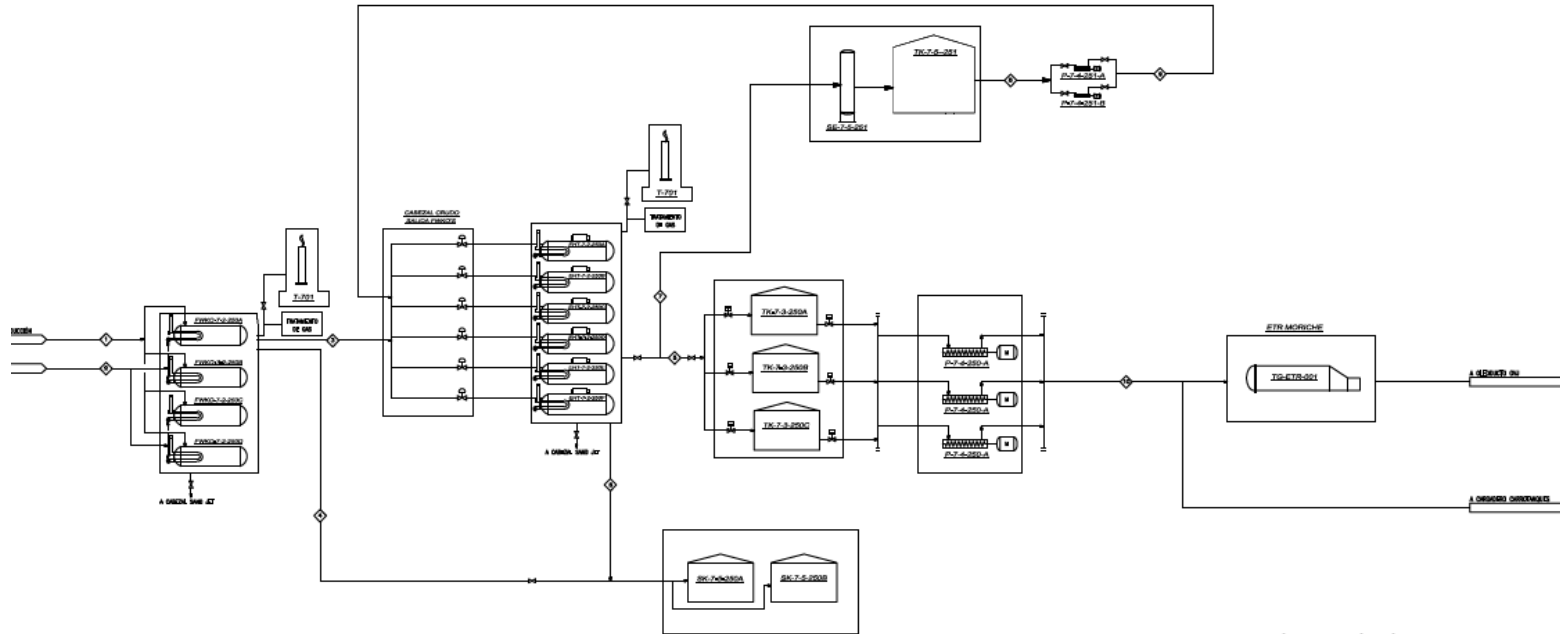


Figura 5. Diseño esquemático de la planta de operación  
Fuente: Mansarovar Enterprise

Internamente están equipados con un tubo en forma de U es calentado para generar una deshidratación del fluido, permitiendo que los líquidos (agua) se separe de las trazas de crudo haciendo una primera separación del fluido.



*Figura 6. Sistmeas FWKO`s*

Fuente: Tomado en el lugar de operación de la empresa

El fin de los FWKO`s es realizar una separación trifásica de gas, crudo y agua. Una vez realizada esta separación el gas va terminar una parte en la succión de un compresor de gas el cual eleva la presión, para nuevamente ser utilizado en el alimento de los quemadores de los tubos de fuego. El gas que no es utilizado para comprimir o alimentar los quemadores de los tubos de fuego va terminar en la tea.

El agua es separada en primera instancia y es enviada a un sistema de tratamiento de agua, el cual se separan dos corrientes de agua: la primera corriente es un agua de inyección es un cumplimiento legal para mantener parte de la formación y no desestabilizar la zona geográfica

de explotación y la segunda es el agua con el crudo que se envía a un tanque para que se haga su debido proceso de decantación, donde una vez realizado este proceso el crudo queda en una especie de caja donde por medio de una corriente vuelve al mismo proceso desde los FWKO`s para re establecer su proceso de producción.

Una vez realizada esta primera separación el fluido trifásico fluye nuevamente por una corriente para llegar a unos tratadores térmicos conocidos en el campo como EHT`s, la planta cuenta con 5 de ellos, donde 4 son de operación y 1 es de respaldo para cualquier emergencia.

Tienen una capacidad de 6.000 BFPD, cuentan con señales de monitoreo tales como: la presión, temperatura, medición de flujo de crudo y medición de agua que sale, estas señales de monitoreo están bajo restricción por lo cual no se conoce su valor exacto.



*Figura 7. Sistemas EHT`s*

Fuente: Tomado en el lugar de operación de la empresa

Su función a diferencia de los FWKO's es deshidratar el crudo pero se ayuda adicionalmente de los tubos de fuego con una separación electrostática que alimenta unas parrillas las cuales están energizadas, que al contacto con el crudo permiten una segunda separación de líquidos del fluido.

Siendo como objetivo final conseguir una cantidad de agua o de otras trazas no superior al 0.5% del total del 100 % del fluido; es decir un BSW por debajo al 0.05 % cuando esta en este rango se le llama fluido en especificaciones, donde el gas nuevamente juega su papel y es enviado al cabezal del compresor del gas y el exceso a la tea para ser quemado.



*Figura 8. Tanques de almacenamiento*  
Fuente: Tomado en el lugar de operación de la empresa

Este crudo en especificación pasa a un almacenamiento de fluido a los tanques 250 A / B y C estos tanques cuentan con un interlock que no permite enviar más flujo si se encuentra lleno, permiten un almacenamiento temporal de 5.000 barriles , para posteriormente enviarlos

a las bombas de exportación que se encargan de enviar el crudo a la línea principal de despacho, siendo un oleoducto de 16 pulgadas que lo transporta desde campo moriche en Puerto Boyacá hasta Barrancabermeja, donde se vende a Ecopetrol.

Por otro lado cuando el producto no conforme con las especificaciones del cliente, es decir cuando el BSW es mayor a 0.05% este proceso fluye por una nueva corriente donde llega a un SE-7-5-251 es decir una bota de gas que envía el fluido que no está en especificaciones a un TK-7-5-251 denominado tanque de crudo fuera de especificación, donde se almacena y posteriormente con ayuda de unas bombas de crudo, empiezan el proceso nuevamente desde los EHT's para volver a deshidratar el fluido hasta que cumpla con las especificaciones del cliente, para poder ser bombeado y despachado a Barrancabermeja.

Por último, se observa en el plano un TG-ETR-001 donde sus siglas ETR indican una estación de tratamiento residual, es llamada una trampa de despacho en la industria del petróleo que su función es limpiar las tuberías por donde fluye el crudo, ya que las tuberías con el tiempo se llenan de sedimentos y hay que limpiarlas, este proceso se hace cada año aproximadamente, sin necesidad de parar la producción.

## **8.2 Análisis histórico de los barriles de fluido diarios asociados al sistema de producción**

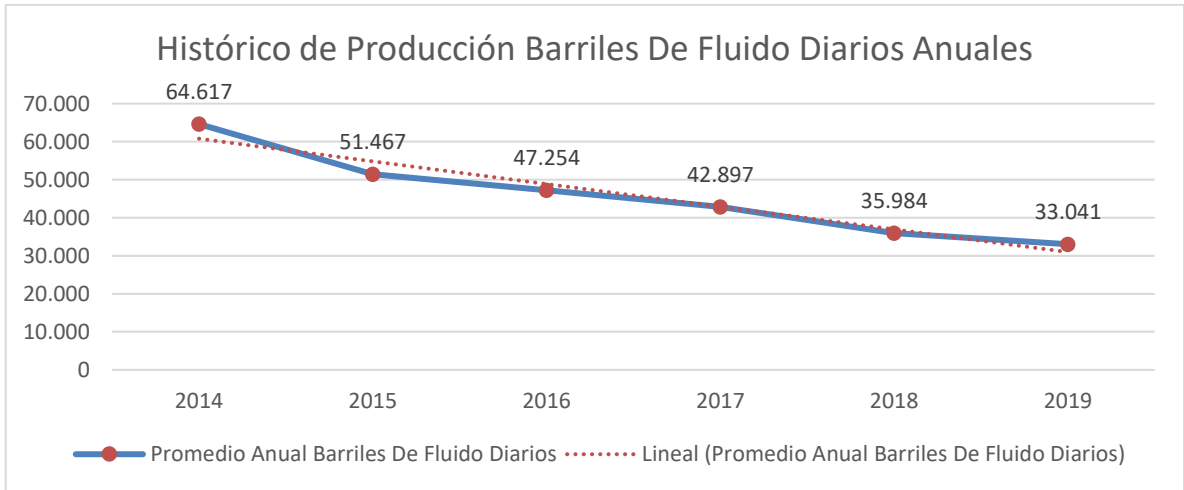
Según la información histórica recopilada se elaboró una gráfica de histórico de producción de barriles de fluidos anules del campo Moriche, con la finalidad de analizar la tendencia de producción de dicho campo respecto al tiempo, para tal fin fue necesario tabular

los promedios obtenidos año tras año “2014 – 2019” de los barriles de fluidos diarios del campo moriche, como se puede apreciar en el Figura 9, el campo está en declive ya que la producción promedio de dicho campo el cual inicialmente “año 2014” producía 64.617 Barriles de fluidos diarios , actualmente “año 2019” la producción de barriles de fluidos diarios descendió en un 48.87%, produciendo solamente 33041.

*Tabla 1.  
Histórico de Promedio Anual Barriles De Fluido Diarios*

2014 - 2019	
Año	Histórico de Promedio Anual Barriles De Fluido Diarios
2014	64.617
2015	51.467
2016	47.254
2017	42.897
2018	35.984
2019	33.041

Fuente: Elaborado a partir de datos suministrados por la empresa



*Figura 9. Histórico de producción barriles de fluidos diarios anuales.*

Fuente: Elaborado a partir de datos suministrados por la empresa

Del promedio de producción anual barriles de fluido diario obtenido año tras año en el campo Moriche “2014 – 2019” se puede concluir que la máxima producción del campo fue en el año 2014 con una producción promedio de 64.617 y que el año de menor producción a la fecha fue el 2019 con tan solo un promedio de 33.041.

*Tabla 2.  
Producción promedio máxima y mínima del campo moriche:*

Máxima Producción:	
2014	64.617
Mínima producción	
2019	33.041

Fuente: Elaborado a partir de datos suministrados por la empresa

Adicionalmente se puede concluir que la tendencia de la gráfica es del tipo lineal debido al declive constante en su producción, de seguir esta tendencia, se pronostica que para inicios del año 2024 la producción del campo será casi nula menos de 1000 barriles de fluidos diarios haciendo inviable la producción ya que para este año se sobrepasará el límite económico o relación costo beneficio, como se puede notar en la Figura 10 y como se evidencia en la tabla 3.

*Tabla 3.  
Pronóstico de producción*

Pronóstico de producción	
2020	25.008
2021	19.045

Fuente: Elaborado a partir de datos suministrados por la empresa

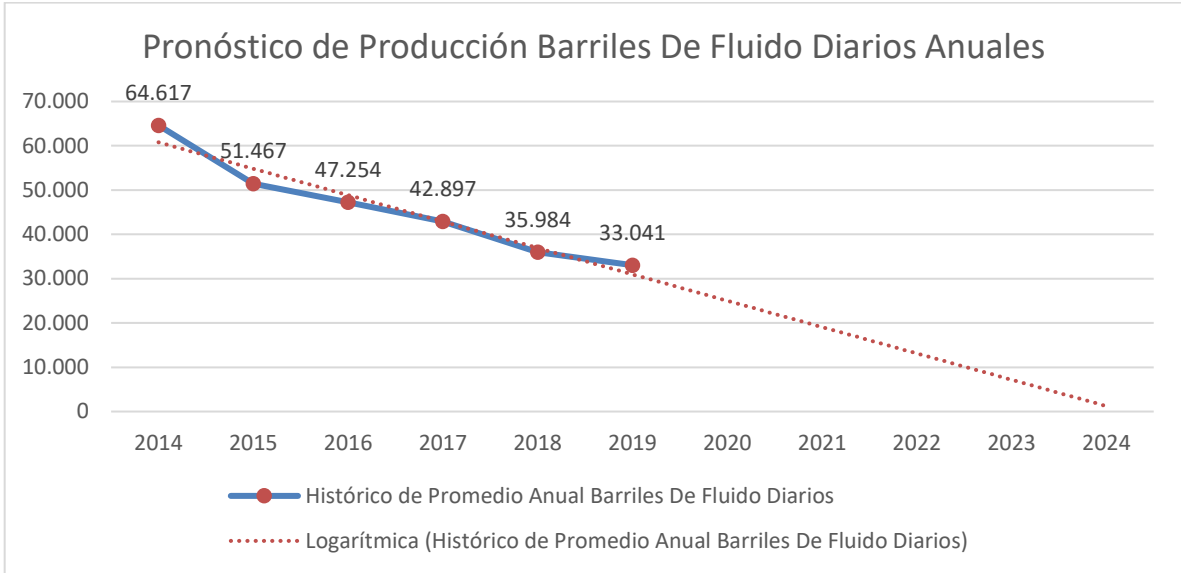


Figura 10. Pronóstico de producción de barriles de fluidos diarios anuales.

Fuente: Elaborado a partir de datos suministrados por la empresa

Analizando el periodo: 2014-2019, se puede visualizar una tendencia de producción máxima en los meses de enero respectivamente, el comportamiento tiende a ser el mismo año tras año, el cual se analiza por medio de la declinación lineal en la producción de barriles de fluido diarios.

### 8.3 análisis histórico de los barriles de crudo asociado al sistema de producción

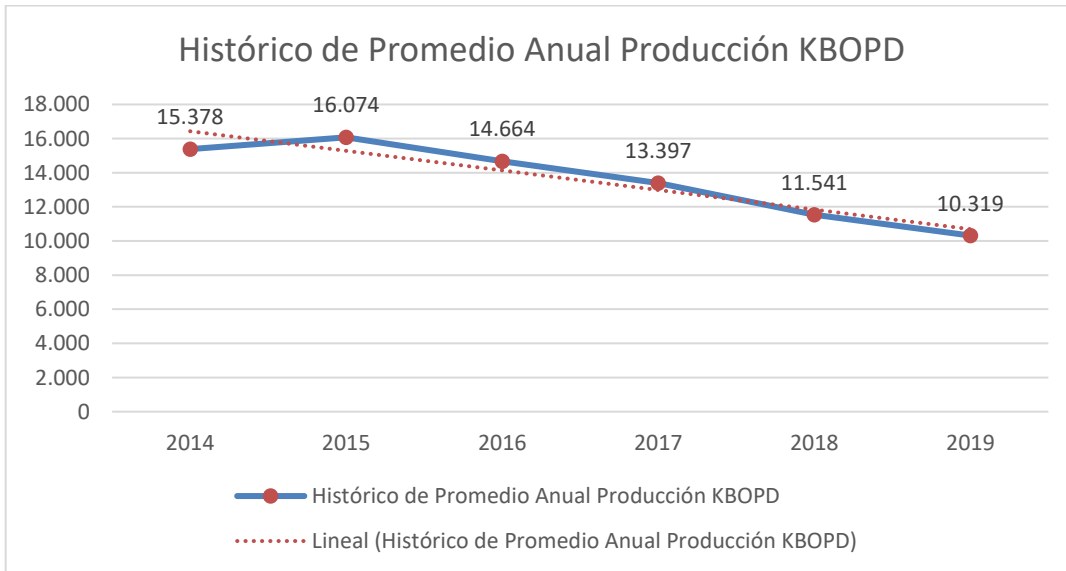
Por otro lado se realizó la gráfica de histórico de promedio anual producción KBOPD (Thousands Barrels of Oil Per Day) del campo Moriche, con la finalidad de analizar la tendencia de producción de dicho campo respecto al tiempo, para tal fin fue necesario tabular los promedios obtenidos año tras año “2014 – 2019” de la producción KBOPD del campo

moriche, como se puede apreciar en el grafico 3, el campo está en declive ya que la producción promedio de dicho campo el cual inicialmente “año 2014” producía 15.378 KBOPD, actualmente “año 2019” la producción KBOPD descendió en un 32.89%, produciendo solamente 10.319 KBOPD.

*Tabla 4.  
Histórico de Promedio Anual Producción KBOPD*

2014 - 2019	
Año	Histórico de Promedio Anual Producción KBOPD
2014	15.378
2015	16.074
2016	14.664
2017	13.397
2018	11.541
2019	10.319

Fuente: Elaborado a partir de datos suministrados por la empresa



*Figura 11. Histórico de promedio anual de producción KBOPD.*  
Fuente: Elaborado a partir de datos suministrados por la empresa

Del promedio de producción anual de BOPD obtenido año tras año en el campo Moriche “2014 – 2019” se puede concluir que la máxima producción del campo fue en el año 2015 con una producción promedio de 16.074 KBOPD y que el año de menor producción a la fecha fue el 2019 con tan solo un promedio de 10.319 KBOPD:

*Tabla 5.  
Producción promedio máxima y mínima KBOPD del campo moriche:*

Máxima Producción:	
2015	16.074
Mínima producción	
2019	10.319

Fuente: Elaborado a partir de datos suministrados por la empresa

Adicionalmente se puede concluir que la tendencia de la gráfica es del tipo lineal debido al declive constante en su producción, de seguir esta tendencia, se pronostica que para finales del año 2028 la producción del campo será casi nula menos de 367 BOPD, haciendo inviable la producción ya que para este año se sobrepasará el límite económico o relación costo beneficio como se puede notar en la Figura 12 y como se evidencia en la tabla 6.

*Tabla 6. Pronostico de producción BOPD*

Pronóstico de Producción BOPD	
2020	367
2021	-781

Fuente: Elaborado a partir de datos suministrados por la empresa

Analizando el periodo: 2014-2019, se puede visualizar una tendencia de producción mínima en los meses de diciembre respectivamente, el comportamiento tiende a ser el mismo año tras año el cual se analiza por medio de la declinación lineal en la producción KBOPD.

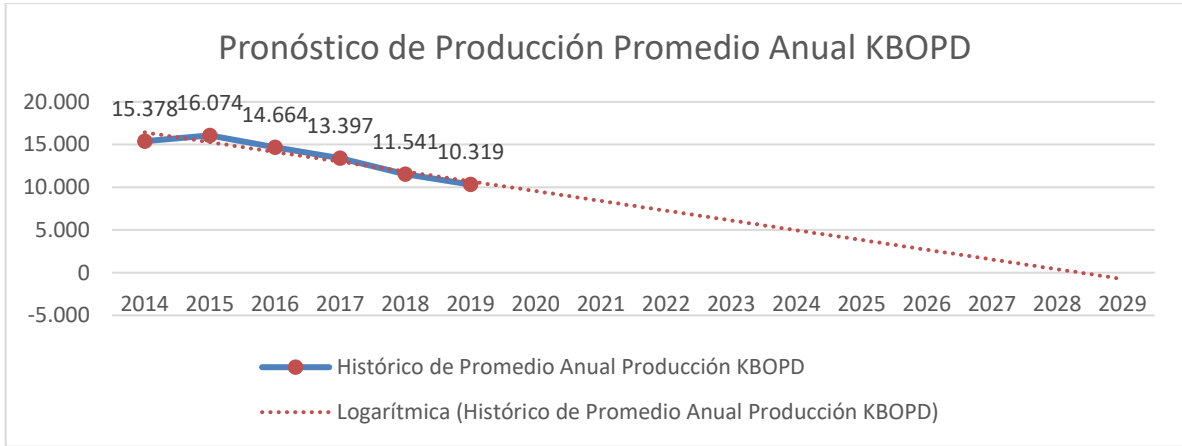


Figura 12. Pronóstico de producción de barriles de fluidos diarios anuales.  
Fuente: Elaborado a partir de datos suministrados por la empresa

#### 8.4 Análisis estadístico de las principales variables determinantes del sistema operativo

Después de la recopilación de datos y el estudio del proceso de producción de la empresa Mansarovar Energy, se identifican diferentes variables que están ligadas al proceso tales como: La temperatura, que está controlada por medio de un sistema de control analógico digital que cuenta con una temperatura promedio de 270 °F con una desviación más o menos de 1 °F, por motivos de confidencialidad no se obtiene información detallada de la temperatura, al igual que con la presión se trabaja con un promedio de 50 psi con una desviación de más o menos 1 psi.

Teniendo en cuenta la información histórica recopilada del flujo de entrada, Se elaboró una prueba de bondad y ajuste, basada en una confiabilidad del 95% a los históricos de barriles de fluido mensuales durante los últimos 6 años de la compañía MANSAROVAR ENERGY, mediante el software Arena, que a través de la herramienta input analyzer permite hacer las pruebas de bondad de ajuste para lograr identificar que distribución se va asociar al comportamiento de los datos.

Al ingresar los tiempos tomados de la muestra para el tiempo de procesamiento de los tanques de FWKO se obtuvo como distribución de probabilidad teórica de mejor ajuste la Normal (Ver Tabla 7). Para establecer de manera técnica que esta distribución refleja el comportamiento del tiempo de procesamiento de FWKO se realizó como prueba de bondad de ajuste el test Chi-Cuadrado (Ver Tabla 8).

*Tabla 7.*

*Resultados de Input Analyzer para la variable tiempo de procesamiento del tanque FWKO*

Resumen Distribución	
Distribución	Normal
Expresión	NORM(44.7, 8)
Error Cuadrado	0.008677

Fuente: Elaborado en Input Analyzer

*Tabla 8.*

*Prueba de chi cuadrado para tiempos de operación de FKWO*

Chi cuadrado	
Numero de intervalos	4
Grados de libertad	1
Estadística de prueba	0.345
P- valor	0.578

Fuente: Elaborado en Input Analyzer

La distribución normal obtenida como mejor ajuste para la operación de los tanques FWKO tiene como parámetros una media de 44.7 minutos y 8 minutos de desviación standard. La prueba de bondad de ajuste bajo el método de chi-cuadrado arrojó un estadístico de prueba de 0.345 y un p-value de 0.578 que indica que para un nivel de significancia del 5% establecido para la prueba de hipótesis  $H_0$ : El comportamiento de los datos de FWKO sigue una distribución teórica normal, cae en la zona de aceptación la prueba y por tanto se corrobora la posibilidad de utilizar los datos de la Tabla 7 para la simulación del proceso.

Para los datos de la muestra obtenida para el tiempo de operación de los tanques de EHT, el procesamiento bajo input analyzer para encontrar una distribución teórica que represente estos datos dio como resultados los presentados en la Tabla 9, y cuya prueba de bondad de ajuste se presenta en la Tabla 10 bajo el método del test chi-cuadrado.

*Tabla 9.  
Resultados de Input Analyzer para el análisis de datos de operación de EHT*

Resumen Distribución	
Distribución	Beta
Expresión	$10 + 7 * \text{BETA}(1.24, 1.08)$
Error Cuadrado	0.013682

Fuente: Elaborado en Input Analyzer

*Tabla 10.  
Prueba de chi cuadrado para los tiempos de operación de EHT*

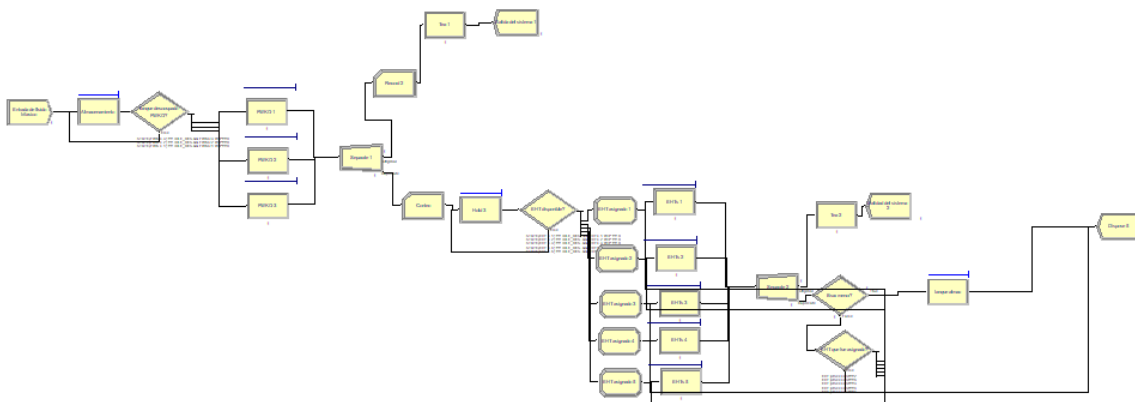
Chi cuadrado	
Numero de intervalos	6
Grados de libertad	3
Estadística de prueba	5.05
P- valor	0.184

Fuente: Elaborado en Input Analyzer

La distribución obtenida con Input Analyzer para el tiempo de operación de los tanques de EHT es a la distribución beta con parámetros Alpha1 de 1.24 y Alpha2 de 1.08 con un valor mínimo de 10 y un factor multiplicador de 7. La prueba de bondad de ajuste chi-cuadrado con un nivel de significancia del 5% para una hipótesis planteada  $H_0$ : La muestra de tiempos de operación de tanques EHT se comporta como una distribución beta, da como resultado un valor del estadístico de prueba de 5.05 y un p-value de 0.184, con lo cual la prueba cae en la zona de aceptación, no pudiendo rechazar que el tiempo de operación de los tanques EHT se comporta como una distribución teórica beta.

### 8.5 Descripción del modelo de simulación del proceso

En general, la siguiente figura es una representación de la lógica de simulación del proceso en el software Arena versión 15.0.



*Figura 13. Modelo del proceso en simulación con el software Arena v.15*

Fuente: Elaborado a partir de Arena v.15

Para una mejor descripción de cada parte del modelo se presentan los siguientes elementos que lo constituyen de manera particular.

### 8.5.1 Entidades

En el software Arena las entidades constituyen el objeto central de procesamiento, en este caso se utilizan tres tipos de entidades como muestra la siguiente figura. Las entidades son: “Barriles de fluido”, “Bandera Entrega”, y “cisterna”. La primera entidad representa el flujo del crudo en procesamiento, la segunda entidad como su nombre lo indica es una entidad que permite generar una “bandera” o visto bueno para que el crudo procesado y almacenado sea entregado a su siguiente proceso, y la última entidad se utiliza para simular la salida de dicho crudo.

Entity - Basic Process		
	Entity Type	Initial Picture
1	Barriles de fluido	Picture.Report
2 ▶	cisterna	Picture.Report
3	Bandera Entrega	Picture.Report

Figura 14. Configuración de las entidades en software Arena v.15

### 8.5.2 Atributos

Las entidades como representación del producto en proceso, pueden ser etiquetadas mediante atributos o características asociadas. En este caso, fue necesario utilizar el atributo

denominado “EHT processor” para especificar en el modelo en cuál de los 5 sistemas de EHT fue realizado el proceso de cada volumen de crudo, de tal manera que se pueda dirigir en la simulación los reprocesos de crudo dentro del mismo sistema donde se realizó la primera operación.

Attribute - Basic Process						
	Name	Comment	Rows	Columns	Data Type	Initial Values
1 ▶	EHT processor				Real	0 rows

*Figura 15. Configuración de atributos en el modelo de simulación*  
Fuente: Tomado del software Arena v.15

### 8.5.3 Operaciones de procesamiento

En este sistema de producción existen básicamente dos procesos, los realizados por FWKO para realizar la deshidratación inicial del crudo, y posteriormente los EHT que mejoran la pureza del crudo de diferentes elementos. Para estas operaciones, en el software de Arena v.15 se utilizó el elemento “Process”, tal como se muestra en la siguiente figura, los pantallazos parciales representan la parte de modelo donde se utilizó el “Process” para configurar estas operaciones.

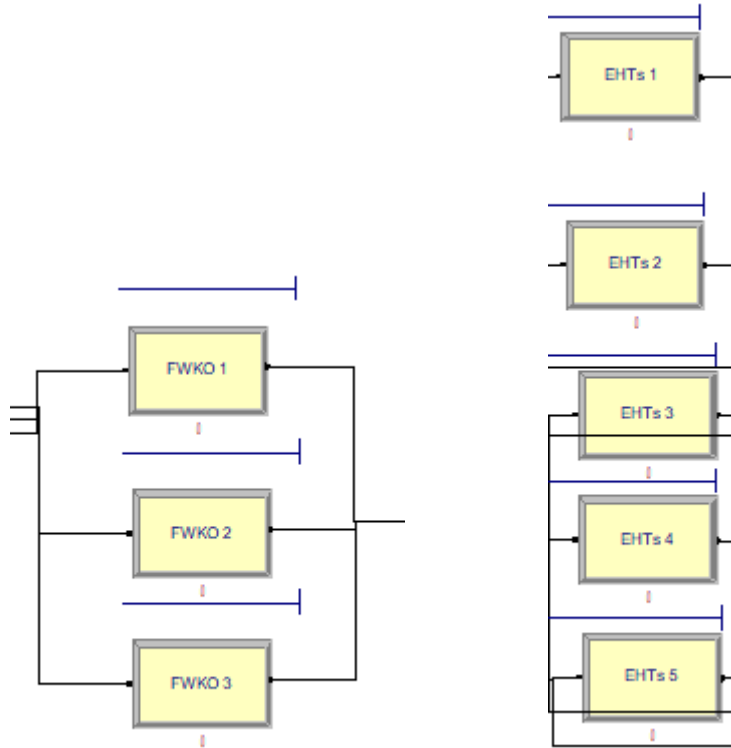
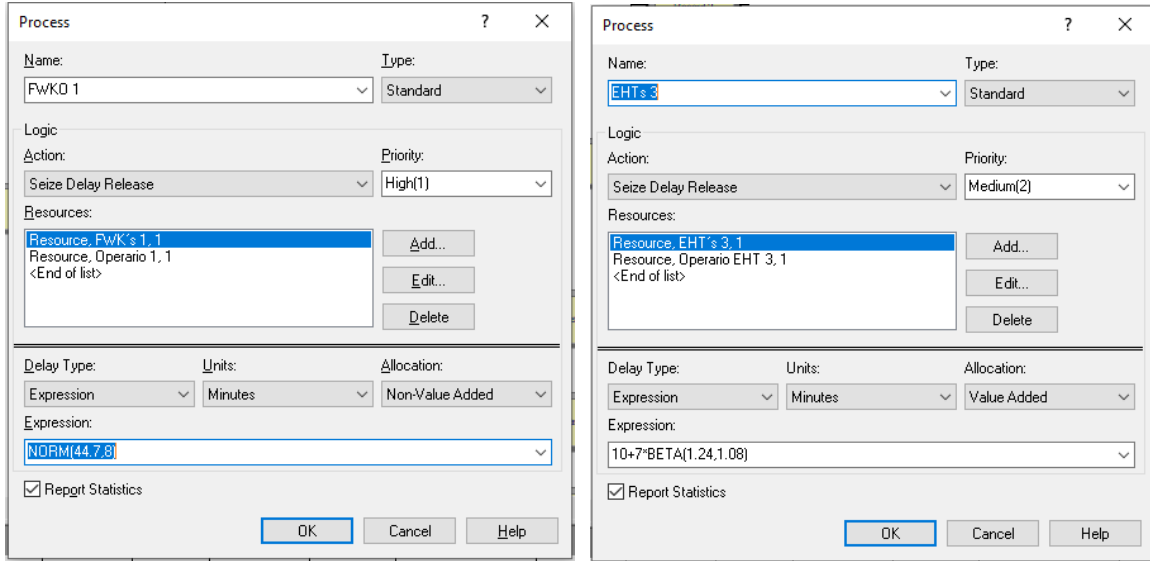


Figura 16. Uso de “Process” para las operaciones de FWKO y EHT  
 Fuente: Tomado del software Arena v.15

El modelo es coherente con las cantidades reales de cada sistema de operación, 3 en el caso de los FWKO’s y 5 en el caso de los EHT’s. Ahora bien, estas operaciones tienen un tiempo de procesamiento (el cual se determinó en el apartado anterior), y utilizan unos recursos. Estas características se simulan en la configuración de cada “Processor”. En la figura siguiente se presenta un ejemplo para el caso específico del sistema FWKO 2 y EHT’s



*Figura 17. Configuración de “Process” para FWKO2 y EHT’s 3*  
Fuente: Tomado del software Arena v.15

Se observa que en la sección “Expression” de cada caja de dialogo se ha registrado el tiempo en termino de distribución de probabilidad teórica para cada operación según el análisis realizado en el apartado anterior. También, para cada operación, en la sección “Resources” se han establecido dos tipos de recursos, la máquina con su respectivo nombre y un operario para su control u operación.

#### 8.5.4 Asignación de atributos

Para asignar los atributos de las entidades, en este caso el configurado como “EHT processor” se utiliza el elemento del software Arena v.15 denominado “Assign”. Dado que

son 5 diferentes mecanismos de procesamiento EHT, se requirieron 5 elementos “Assign”, uno para cada tipo EHT del 1 al 5.

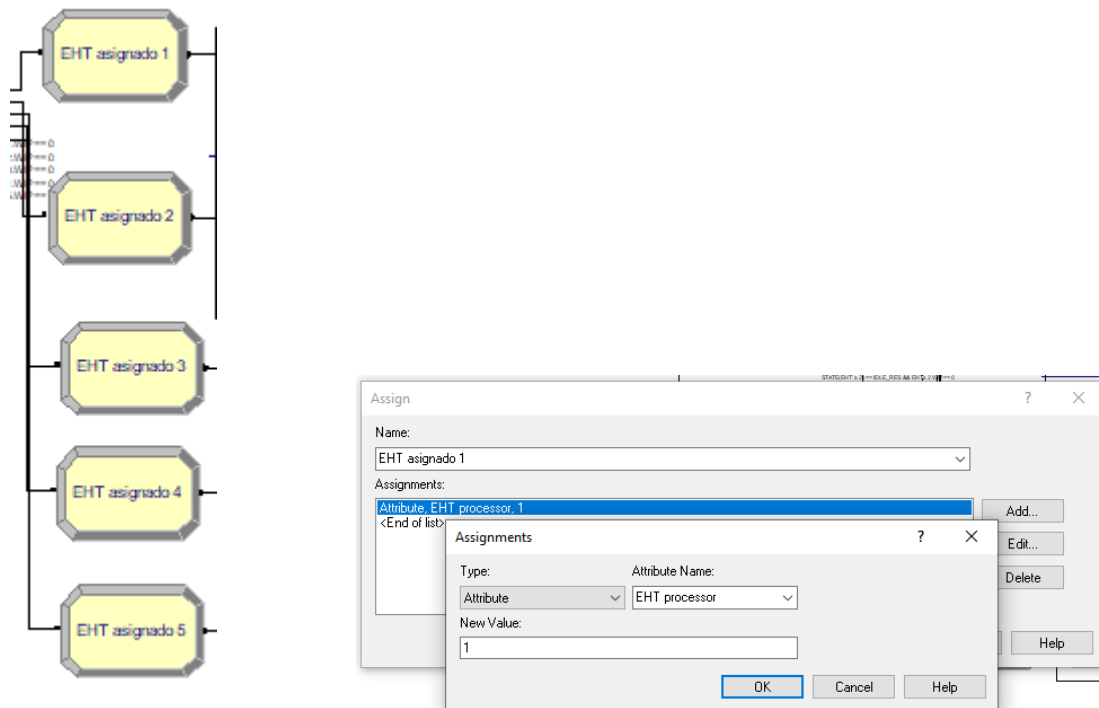


Figura 18. “Assign” utilizados en el modelo y configuración para el caso del Sistema EHT numeral 1

Fuente: Tomado del software Arena v.15

Como se puede observar, para el caso del EHT con el consecutivo 1, el atributo “EHT processor” es asignado con el valor de 1, y de la misma forma para cada uno de los EHT con consecutivo entre 2 y 5.

### 8.5.5 Decisiones

Para la simulación de las características del proceso donde se generan cambios en el producto procesado se utiliza el objeto del software Arena v.15 denominado “Decision”. Cada uno de estos objetos permite simular diferentes casos del flujo de operación. Para una mejor comprensión sobre el uso de este elemento en la siguiente tabla se presentan las ocasiones donde fue utilizado y se describe qué flujo de operación permite simular.


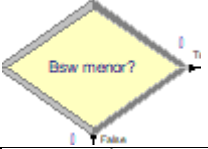

Nombre del Objeto “Decision”	¿Qué simula del proceso?
	Determina en cuál de las máquinas de EHT se puede realizar la operación para el crudo en procesamiento
	Establece el porcentaje de crudo que debe ser reprocesado al salir de la operación de EHT
	Devuelve el crudo para reproceso a la misma máquina donde fue procesado inicialmente

Figura 19. Elementos “Decision” utilizados en la simulación  
 Fuente: Tomado del software Arena v.15

### 8.5.6 Separaciones

En el caso de esta operación, el crudo se separa en subproducto o producto aprobado y en subproducto para desecho o para reproceso. Este tipo de separaciones del producto se realiza con el elemento “Separate” del software Arena v.15. En la siguiente tabla se describen las veces en que fue utilizado y su explicación sobre la operación real que simula.



Nombre del Objeto “Decision”	¿Qué simula del proceso?
	Este “Separate” permite simular la separación del crudo que sale de FWKO del agua que se ha obtenido como subproducto.
	En este elemento se configura la proporción de crudo con respecto al entrante en EHT que puede ser almacenado para entrega y aquel que requiere reproceso.

Figura 20. Elementos “Separate” utilizados en la simulación  
 Fuente: Tomado del software Arena v.15

### 8.5.7 Almacenamiento

En varias partes del proceso de operación se requiere almacenar el crudo para espera que las máquinas de operación estén listas para procesarlo o hasta que la cisterna llegue para llevarlo. Esto se realiza con el elemento “Hold” del software Arena v.15. En la siguiente figura se presentan los diferentes “Hold” utilizados y su uso para simular la operación real.

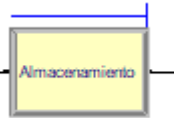
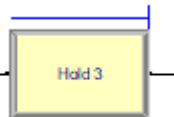
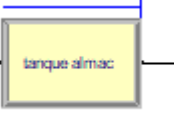
Nombre del Objeto “Decision”	¿Qué simula del proceso?
	Representa los tanques a donde llega el crudo en bruto. Es decir es el almacenamiento inicial.
	Representa los tanques de almacenamiento intermedio entre la operación de FWKO y la operación de EHT
	Representa el almacenamiento final antes de entregar a las cisternas

Figura 21. Elementos “Hold” utilizados en la simulación  
 Fuente: Tomado del software Arena v.15

### **8.5.8 Alimentación en Arena de las variables determinantes del modelo**

Dos son los procesos más importantes de la operación, los tanques de FWKO y EHT. Estos procesos tienen tiempos que fueron analizados y establecidos como un modelo de distribución teórica que se revisó en un apartado anterior. Con base en estos modelos teóricos de distribución, y utilizando las opciones de configuración del objeto Process como se muestra en la Figura 22, en la parte inferior de la caja de diálogo para la configuración del Process de FWKO se ha ingresado la configuración NORM(44,7,8) para modelar los tiempos de operación de estos tanques. Y en la Figura 23 se observa en la parte inferior de la caja de diálogo la configuración del tiempo de operación con los parámetros encontrados para EHT  $(10+7*BETA(1.24,1.08))$ .

Los valores que se obtienen con estas distribuciones de probabilidad que se configuran en el modelo permiten obtener de manera aleatoria los tiempos de producción de FWKO y EHT, de tal manera que se pueda ver la incidencia de la aleatoriedad propia de los resultados de todo proceso en la realidad.

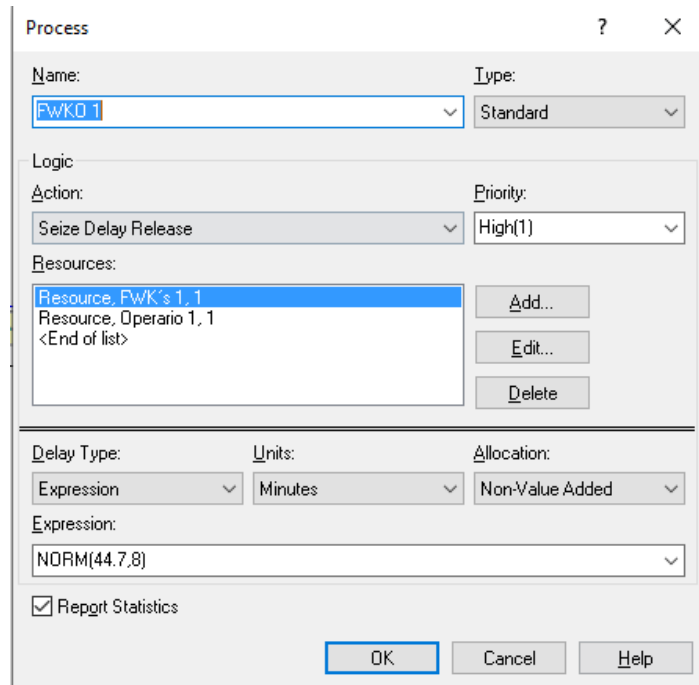


Figura 22. Configuración del tiempo de operación FWKO con la distribución teórica obtenida

Fuente: Tomado del software Arena v.15

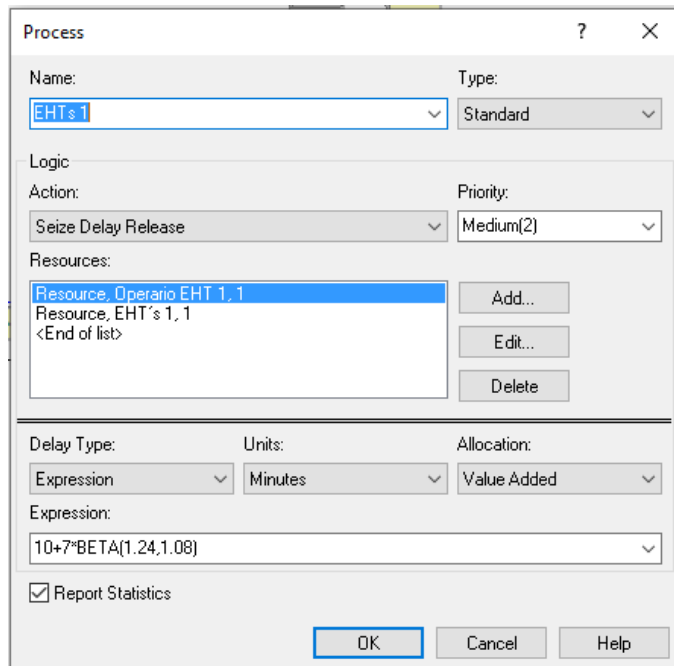


Figura 23. Configuración del tiempo de operación EHT con la distribución teórica obtenida

Fuente: Tomado del software Arena v.15

## **Capítulo 9**

### **Resultados y discusion**

#### **9.1 Cálculos de Capacidad de Procesamiento en Diferentes Escenarios a Partir del Modelo de Simulación de Eventos Discretos**

Inicialmente se consideran todas las posibilidades de escenarios de producción a través de la combinación de uso de las 3 unidades disponibles actualmente de FWKO y 5 unidades de EHT. Es decir, se comparan 15 escenarios para encontrar los escenarios más favorables<sup>1</sup>. En la primera parte de este apartado, se presenta un resumen de estos escenarios, y posteriormente se presentan los dos escenarios recomendados de producción a partir de la proyección de demanda calculada en el capítulo anterior.

##### **9.1.1 Comparativo de Escenarios Posibles**

Para determinar las diferentes capacidades de producción conjunta de los activos utilizados en el proceso, especialmente las operaciones principales de FWKO y EHT, se construyeron una combinación de escenarios basados en sus disponibilidades actuales de 3 unidades y 5 unidades, respectivamente. En el Anexo A se puede obtener una representación

---

<sup>1</sup> Un escenario favorable se define en la empresa como aquel para el cual la empresa tiene la mejor condición para la sostenibilidad del negocio, la estabilidad o la mejora de la rentabilidad.

visual de cada uno de estos escenarios modelados en el software Arena. Para un total de 15 escenarios. Las tablas, Tabla 11 y Tabla 12 presentan los valores obtenidos con la herramienta del modelo simulado de producción. Específicamente, por ejemplo, si se toman 2 FWKO en operación con 3 EHT operando, se procesan 70.580 BOPD de fluido, y se obtienen 19.409 de crudo.

*Tabla 11. Capacidades de producción en BOPD para los 15 escenarios de uso de activos principales de operación según el fluido generado*

		<b>EHT</b>				
		1	2	3	4	5
<b>FWKO</b>	1 FWKO	35.290	35.290	35.290	35.290	35.290
	2 FWKO	74.109	70.580	70.580	70.580	70.580
	3 FWKO	110.432	111.986	112.928	112.928	112.928

Fuente: Elaboración propia

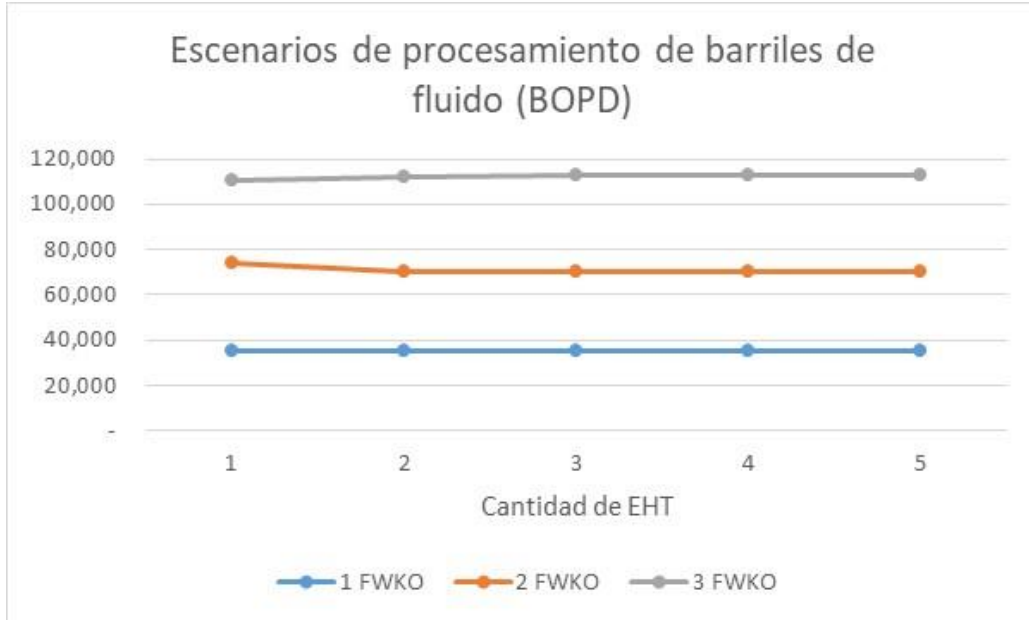
*Tabla 12. Capacidades de producción en BOPD para los 15 escenarios de uso de activos principales de operación según producción de crudo*

		<b>EHT</b>				
		1	2	3	4	5
<b>FWKO</b>	1FWKO	8.822	7.490	7.940	7.940	7.940
	2FWKO	19.409	19.409	19.409	19.409	19.409
	3FWKO	29.996	29.996	29.996	29.996	29.996

Fuente: Elaboración propia

Nota: Los valores sombreados en azul, en las tablas anteriores, resaltan el hecho que el tercer (3) FWKO y el quinto (5) EHT se consideran sistemas de respaldo. Por tanto, estas capacidades calculadas son el caso hipotético que todos los sistemas estén en funcionamiento y se utilice la capacidad excedente de estos sistemas de respaldo.

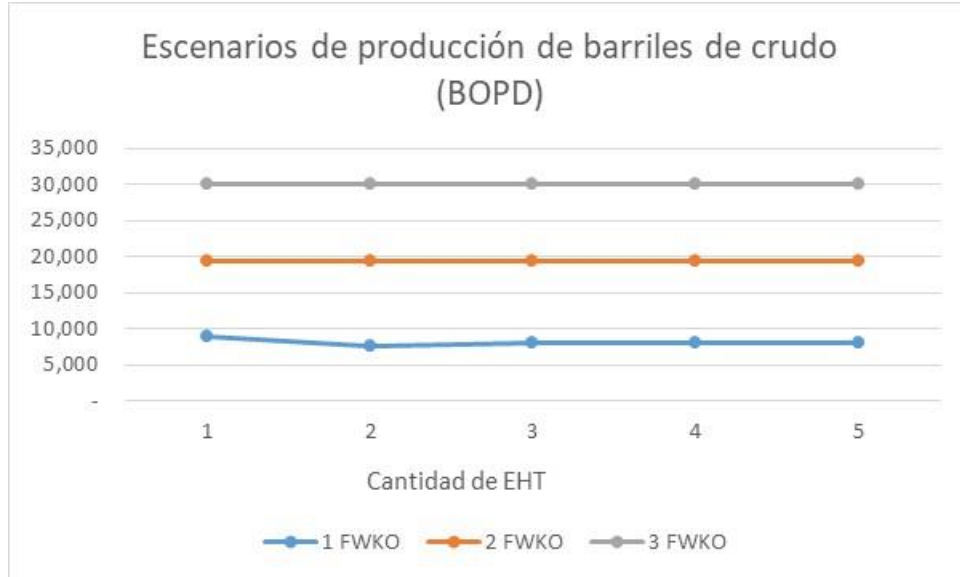
Para una mejor comprensión sobre cómo los activos pueden ser utilizados para optimizar su uso utilizando los resultados de estos escenarios se graficaron los resultados en las figuras, Figura 24 y Figura 25.



*Figura 24. Comparativo de procesamiento en BOPD de fluido*  
Fuente: Elaborado a partir de los datos de simulación

La inspección visual permite observar las capacidades no sufren un cambio significativo cuando el escenario utiliza cierta cantidad de FWKO y se varía las máquinas o sistemas de EHT. Es decir, para una misma cantidad de FWKO se obtienen resultados similares, sea que se utilice 1, 2, 3 o hasta 5 sistemas de EHT.

Esta situación puede ser explicada de la siguiente manera. En primera instancia, los datos dejan entrever que hay un recurso restrictivo de capacidad o cuello de botella, el tiempo de procesamiento en FWKO; y efectivamente, los tiempos encontrados en el análisis de la sección anterior con el Input Analyzer de Arena mostraron mayores tiempos de procesamiento de FWKO sobre EHT.



*Figura 25. Comparativo de producción en BOPD de crudo*  
Fuente: Elaborado a partir de los datos de simulación

Por otra parte, y cotejando estos hechos con los porcentajes de uso de los recursos EHT, donde para los sistemas numerados como 4 y 5 este porcentaje es de cero, dejan ver que el recurso “cuello de botella”, FWKO, limita las necesidades de EHT a máximo 3 de estos sistemas; y la situación es más significativa, porque, aún, el EHT numerado como tres (3), sólo llega a niveles inferiores al 10% de utilización.

En este orden de análisis de los datos, bien se puede decir que los activos principales de FWKO son suficientes, y que los activos EHT están siendo sobredimensionados, requiriendo tan solo dos (2) EHT y uno de respaldo, es decir, las mismas cantidades de FWKO.

Se podría pensar en 4 unidades de EHT con la de respaldo, pero dado el poco porcentaje de uso de una tercera, se propone que sea esta tercera EHT la que sea de respaldo, no solo

para cuando otro sistema este en mantenimiento sino también para alcanzar aquellos picos de producción.

En términos de capacidades, actualmente el sistema puede producir en términos de BOPD de crudo, un rango de 8.822 a 29.996. Estos datos son coherentes con el rango de producción histórico de crudo que está en 10.000 a 16.000 BOPD. Por lo tanto, el sólo sistema que se propone, reducido en 2 unidades de EHT, ya se encuentra sobredimensionado en capacidad en un 50% aproximadamente.

### **9.1.2 Escenario Optimista**

Si se considera que la demanda medida en barriles de crudo se mantiene constante y frena el comportamiento descendente que se ha venido observando, se esperaría una necesidad de capacidad de producción cercana a los 60.000 barriles de fluido. Por lo tanto, este escenario se traduce en los siguientes requerimientos de activos: 2 FWKO y 2 EHT, más los activos similares de respaldo, uno para cada uno. En este escenario, la simulación arroja una capacidad de producción cercana a los 61.000 barriles de fluido, y porcentajes de uso para FWKO y EHT cercanos a los 95% y 80% respectivamente. El sistema en su totalidad trabajaría en las proporciones 2/3 (2 sistemas FWKO de los 3 disponibles) y 2/5 (2 sistemas EHT de los 5 disponibles), respectivamente.

### **9.1.3 Escenario Moderado**

En el escenario Moderado se considera que la proyección de descenso de la demanda se reduce siguiendo la tendencia de los últimos años. Por tanto, se esperaría una producción cercana a los 45.000 barriles de fluido, la cual requiere del uso de dos sistemas (2) de FWO y un sistema (1) de EHT, con sus respectivos porcentajes de uso del 66% y 100%. Y el sistema total trabajaría en las proporciones 2/3 y 1/5, respectivamente.

#### **9.1.4 Escenario Pesimista**

En el escenario pesimista, la demanda desciende a niveles nunca antes existentes, y se piensa que podría llegar a una capacidad necesaria de tan solo 20.000 barriles de fluido. Para esta necesidad, sólo se requerirían en activos productivos, (1) FWKO y (1) EHT, con lo que el sistema de activos en uso tendría como porcentajes de uso, 95% y 97% respectivamente y el sistema total trabajaría en una proporción de 1/3 y 1/5 respectivamente.

### **9.2 Análisis de la PAS 55 y su Contribución a la Gestión de Activos Según la Capacidad de Procesamiento Requerido**

En el siguiente cuadro se relacionan los diferentes requisitos de la PAS55 y un análisis sobre su aporte para la construcción del procedimiento para la mejora de la gestión de activos con base en la capacidad y los escenarios establecidos en el modelo de simulación. Los ítems evaluados de la PAS55 presentan propuestas para mejorar la perdurabilidad y confiabilidad de los activos. Estos ítems se evalúan a la luz de la pertinencia para enfrentar los tres

escenarios definidos para la producción futura de la empresa y se establecen elementos para un procedimiento de gestión de activos como propuesta general para la empresa Mansarovar Energy S.A.

*Tabla 13.*

*Análisis de cada requerimiento de la PAS55 en el aprovechamiento de los activos para la capacidad de procesamiento requerido*

<b>PAS55</b>		<b>Aprovechamiento del requerimiento para el manejo de la capacidad de procesamiento</b>
<b>Numeral</b>	<b>Requerimiento</b>	
4.1	Requerimientos generales	El requerimiento expone en resumen la intención de la norma, por tanto, se considera orientaciones que se cumplen en otros requerimientos.
4.2	Política de gestión de activos	Se requiere redefinir una política de gestión de activos que incorpore las condiciones futuras ya establecidas de disminución de la demanda.
4.3.1	Estrategia de gestión de activos	No disponible. Se requiere establecer una definición estratégica
4.3.2	Objetivos de gestión de activos	No disponible. Se requiere establecer objetivos.
4.3.3	Plan (es) de gestión de activos	El procedimiento ha entregar permite cumplir o seguir este requerimiento de la norma
4.3.4	Planificación de contingencias	En este caso, este requerimiento permite incorporar los tres escenarios construidos a partir del análisis de simulación
4.4.1	Estructura, autoridad y responsabilidades.	Aunque ya la empresa tiene una estructura establecida de funciones y rangos jerárquicos. Se puede adaptar esta estructura, agregando las responsabilidades y autoridades de cada cargo a la gestión de activos.
4.4.2	Subcontratación de actividades de gestión de activos	La política de contratación en la empresa no permite el outsourcing o subcontratación de procesos cruciales con proveedores de servicios externos. Por tal motivo este requerimiento no es pertinente en el procedimiento.
4.4.3	Formación, conciencia y competencia.	Este requerimiento no aplica para el alcance del procedimiento. Se cumple desde los programas de capacitación que la compañía tiene establecidos.
4.4.4	Comunicación, participación y consulta.	No es necesario establecerlo en el procedimiento a proponer porque ya se encuentra resuelto en los

<b>PAS55</b>		<b>Aprovechamiento del requerimiento para el manejo de la capacidad de procesamiento</b>
<b>Numeral</b>	<b>Requerimiento</b>	
		diferentes manuales para normas de calidad, ambiental y de salud ocupacional.
4.4.5	Documentación del sistema de gestión de activos	El procedimiento a proponer cumple parcialmente con la documentación para el Sistema total de gestión de activos si lo hubiere.
4.4.6	Gestión de la información	Es importante que se construya un libro de Propiedad Planta y Equipos y que basado en diferentes registros se consolide información sobre la evolución de cada activo.
4.4.7.1	Procesos de gestión de riesgos	Estos requerimientos son de una alta pertinencia para mejorar la gestión de activos de la empresa, por cuanto la gestión de riesgos contribuye a evitar las paradas de activos en la producción, o a mitigar las consecuencias ante una eventualidad. Actualmente la empresa dispone de un sistema de gestión de riesgos para todo el sistema. Se adaptan elementos de dicho sistema para el procedimiento de gestión de activos.
4.4.7.2	Metodología de gestión de riesgos	
4.4.7.3	Identificación y evaluación de riesgos.	
4.4.7.4	Uso y mantenimiento de información de riesgo de activos.	
4.4.8	Requisitos legales y de otro tipo.	Los requisitos legales son indispensables para la adquisición de maquinaria, de tal manera que cumplan con las adquisiciones de impuestos y con los topes de emisiones permitidas. En este caso, tales condiciones son reguladas por los procedimientos de gestión de activos internos de la empresa.
4.4.9	Gestión del cambio	La gestión del cambio hace parte de la cultura de la empresa y se encuentra regulada en las normas ISO 9001 e ISO 14000, de las cuales ya la empresa está certificada.
4.5.1	Actividades del ciclo de vida	El ciclo de vida de los activos es uno de los ejes cruciales para mantener la capacidad productiva; por tal motivo, se considera relevante incorporarlos en el procedimiento a definir.
4.5.2	Herramientas, instalaciones y equipos.	El mantenimiento de las herramientas, instalaciones y equipos es indispensable para la conservación de los activos. Es pertinente agregarlo al procedimiento
4.6.1	Monitoreo de rendimiento y condición	Una medición del rendimiento o capacidades de los activos son importantes para conocer el deterioro o estado de cada equipo. Se hace pertinente agregarlo al procedimiento.

<b>PAS55</b>		<b>Aprovechamiento del requerimiento para el manejo de la capacidad de procesamiento</b>
<b>Numeral</b>	<b>Requerimiento</b>	
4.6.2	Investigación de fallas, incidentes y no conformidades relacionadas con los activos.	Reparar las fallas no es suficiente. Una investigación de los incidentes y no conformidades ayudan a mejorar el sistema.
4.6.3	Evaluación de cumplimiento	Estos requerimientos hacen parte del sistema general de la empresa. Ya que la revisión por la gerencia, las auditorías, las acciones correctivas, preventivas, y la mejora continua están incorporadas en el sistema integrado de gestión y no requieren un procedimiento adicional como el que se propone.
4.6.4	Auditoría	
4.6.5.1	Acción correctiva y preventive	
4.6.5.2	Mejora continua	
4.6.6	Registros	
4.7	Revisión de gestión	

Fuente: El autor a partir de la PAS55

### **9.3 Procedimiento Documentado Para la Gestión de Activos Del Sistema de Producción de Mansarovar Energy**

#### **9.3.1 Política de Gestión de Activos**

La capacidad técnica y el trabajo en equipo deben enmarcar las acciones de cada integrante de la organización de tal manera que la empresa logre un liderazgo en su capacidad de operación y de desarrollo en nuevas tecnologías de generación de crudo.

La empresa debe identificar y alcanzar el menor costo de operación posible, de tal manera que estas reducciones en costo puedan generar mejores índices de rentabilidad que se desplacen a su vez en beneficios para sus stakeholders.

### 9.3.2 Objetivos de Gestión de Activos

Adaptra la capacidad técnica de los operarios en la solución de problemas, instalación o desinstalación de maquinaria, actualizaciones, aplicación de nuevas técnicas e insumos para variabar la productividad y calidad de los procesos según los escenarios.

Mejorar el índice de rentabilidad operacional, reduciendo los gastos y costos, y mejorando la prestación de servicio al cliente

### 9.3.3 Estructura, Autoridad y Responsabilidades

A partir de los cargos ya establecidos en el organigrama u estructura de funciones de la empresa (véase Figura 2) se asignan las diferentes responsabilidades y autoridad para la ejecución de este procedimiento. El siguiente cuadro refleja estas asignaciones.

*Cuadro 1.  
Relación de Responsabilidades y Autoridad para el procedimiento de Manejo, Monitoreo y Control de Activos*

<b>Cargo</b>	<b>Responsabilidad/Autoridad</b>
Director de Administración y Recursos	Organizar el equipo de trabajo. Controlar el cumplimiento de procedimiento Revisar y aprobar el presente proceidmient y los registros vinculados. Mantener controles eficaces y adecuados sobre los bienes en custodia de la empresa y proveer soluciones a las necesidades de información de los mismos
Gerente de Activos	Organizar el Equipo de trabajo. Controlar el uso, operación y mantenimiento de todos los activos correspondientes a la operación de la Compañía.

Director Financiero	Mantener todos los registros contables soportados adecuadamente, incluyendo los registros de depreciación, ingresos y egresos de activos Resguardar documentos de propiedad de los activos (facturas, títulos de valor, entre otras). Proveer documentos de pago de tributos, entre otras cuando sea necesario.
Director de apoyo operacional	Ingresar la información técnica al Libro Propiedad Planta, y Equipo. Actualizar permanentemente la ubicación técnica de los activos y resguardar registros de movimientos. Revisar y Aprobar Informe Técnico. Realizar solicitud de baja de bienes a cargo del Área de Activo (Operaciones).
Auxiliar Procesamiento y workover	Controlar y elaborar este procedimiento. Realizar modificaciones a este procedimiento a petición de la dirección. Conciliación de información contable Ingreso de Información contable al Libro Propiedad, Planta y Equipo. Consolidar la información de Respaldo de un activo, en los diferentes casos de baja, desuso, o reutilización.
Operarios	Custodiar el activo. Notificar cualquier cambio al área de Mantenimiento y Apoyo a la Gestión mediante los registros baja, desuso, reutilización y movimiento de los bienes. Ejecutar las áreas un proyecto de inversión o adquieran activos, valorar y liquidar todos los equipos asociados una vez se termine y liquide el proyecto

Fuente: Elaboración propia

### 9.3.4 Gestión de la información

Toda la información sobre activos será controlada y pasará para salvaguarda y control por parte del Director de Apoyo Operacional (Ver Cuadro 1). La gestión de información se subdividirá en tres bloques de actividades: 1. Registro y actualización del Libro de Propiedad, Planta y Equipo. 2. Actualización del ciclo de vida del activo. 3. Hoja de Vida de los activos.

Las anteriores actividades se registrarán de manera integral siguiendo los lineamientos de otros apartados de este procedimiento de la siguiente forma:

*Cuadro 2.  
Relación de las actividades de Gestión de Información con otros lineamientos de este procedimiento*

<b>Actividad de Gestión de Información</b>	<b>Lineamiento de este procedimiento que lo especifica</b>
1. Registro y actualización del libro Propiedad, Planta y Equipo	9.3.5 Manejo de Activos
2. Actualización del ciclo de vida del active	9.3.6 Monitoreo de Activos
3. Hoja de vida de los activos	9.3.7 Control de Activos

Fuente: elaboración propia

### **9.3.5 Manejo de Activos**

Debe presentarse y conservarse un libro titulado Propiedad, Planta y Equipos, y debe enviarse para su examen por la junta general de accionistas cada año, un mes antes de su sesión anual ordinaria. Se presenta en formato físico, carta y digital, utilizando las plataformas de bases de datos que estipula la organización. Todos los activos de inversión adquiridos deben registrarse en el libro Propiedad, Planta y Equipos, con la respectiva información técnica y contable. Es responsabilidad de los responsables de los activos, gestión, custodia y conservación de los activos que se han entregado directa o indirectamente para su uso. Los bienes adquiridos solo se utilizarán para los fines propios de la empresa. El uso de estos productos para fines políticos, religiosos o personales, entre otros, está prohibido.

Todos los activos mantenidos deben tener una TAG (etiqueta de identificación) que identifique la ubicación. El equipo total o parcial que se retira de su ubicación original pierde automáticamente su TAG y toma el TAG del nuevo sitio en el que se montará. En caso de retiro, el activo pierde automáticamente su TAG.

Durante la vigencia de los contratos de modificación, todos los bienes, materiales, equipos e instalaciones deben estar en buenas condiciones con su respectivo plan de mantenimiento correctivo y preventivo de acuerdo con los estándares de la industria petrolera internacional y las recomendaciones de los fabricantes de equipos.

Todo el equipo debe conservar el número de serie y los datos de la placa; Estos no se pueden cambiar por ningún motivo durante toda la vida del activo. Los datos deben conciliarse con los valores de los saldos financieros.

La depreciación acumulada se presentará por grupo de activos y la depreciación acumulada de acuerdo con el período de exploración y / o explotación.

### **9.3.6 Monitoreo de Activos**

El seguimiento de los activos se registrará por las diferentes etapas que atraviesa el activo durante su ciclo de vida, de la siguiente manera:

a) Registro de activos o etapa de entrada: la información generada durante el registro de un nuevo activo debe almacenarse en el libro de activos fijos tangibles y en el software que la empresa tiene para la administración de activos. .

b) Registro contable: se considera que un activo se registra como contabilidad cuando se ingresa o registra en el sistema con todos los datos que lo identifican como: descripción,

proveedor, centro de costos, número de factura, inversión, etc. El sistema asignará automáticamente un código secuencial al activo.

c) Registro operativo: el registro operativo se llama cuando el equipo está perfectamente instalado y / o construido y ha sido sometido a las pruebas y verificaciones respectivas por los ingenieros responsables de su adquisición. El equipo entra en servicio (alto nivel operativo) cuando se entrega a su área de usuario.

d) Registro en la base de datos de activos: en primer lugar, debe realizarse una recepción de los documentos técnicos cuando se realiza un registro de las reglamentaciones, la hoja técnica, los manuales, etc. Luego, se activa una nueva línea y el gerente de ingeniería de mantenimiento ingresa la información técnica. Se considera dado de alta cuando se ha registrado la información necesaria. Asimismo, se considera registrado en el sistema de gestión de mantenimiento cuando la información técnica de un activo ha sido ingresada con éxito en el software de dicha zona.

e) Movimiento o transferencia de activos: Un movimiento es el cambio en la ubicación técnica que sufre un activo debido a requisitos operativos, reparación, mantenimiento o baja en cuentas.

f) Movimiento físico: el movimiento físico del activo debe ser administrado por el área solicitante, después de haber obtenido previamente los permisos del área del activo (operaciones).

g) Retiro o retiro de activos fijos: un retiro es el proceso por el cual la empresa decide retirar permanentemente un activo, tanto los registros físicos como contables y la base de datos de activos que son parte de los activos de la entidad, para poder prestar cualquier

servicio, ya sea por deterioro o desgaste natural, fallas técnicas, obsolescencia, robo o pérdida, donación a la demanda o la necesidad de transferir el dominio a otra entidad o al estado.

### **9.3.7 Control de Activos**

Se debe realizar una verificación física conciliando el libro de activos fijos tangibles y la operación y equipo adicional en el terreno. b) La persona responsable de la verificación física debe ingresar cualquier corrección o información faltante directamente en los registros y en formato Excel. Todas las correcciones e inclusiones deben ingresarse en color rojo.

Una vez que el equipo o activo ha sido verificado, debe marcarse como verificado en el formato de verificación física en una columna específica para este control, y debe indicarse físicamente como verificado ya sea con una pegatina, una pintura de marcador u otra forma de marcado. En el caso de que la persona a cargo de la verificación física encuentre el equipo que se encuentra en una ubicación diferente de la registrada, su ubicación debe actualizarse.

En el caso de que la persona responsable de la verificación física encuentre material en lugares que no estén dentro de los límites estipulados, se debe crear un archivo técnico con la información básica del material, el archivo fotográfico y su ubicación.

### **9.3.8 Gestión de riesgos**

Se consideran desde el sistema general de la empresa para gestionar los riesgos, los siguientes inherentes a los activos:

Riesgo 1: Depreciación de activos que se encuentren totalmente depreciados

Riesgo 2: Perdidas en la venta de activos fijos

Riesgo 3: Confusión en la distinción de un activo de otro

Riesgo 4: Obsolescencia tecnológica

Riesgo 5: Incapacidad de responder a la demanda operacional

Riesgo 6: Confiabilidad baja para entregar requisitos del cliente

Riesgo 7: Paradas de máquinas por accidentes o ciclo de vida de los repuestos de máquinas

Los riesgos numerados del 1 al 3 se administran siguiendo los numerales 9.3.5, 9.3.6 y 9.3.7 sobre manejo, monitoreo y control de activos. El riesgo numerado como 5 (Incapacidad de responder a la demanda operacional) se sigue los lineamientos del numeral sobre Alternativas de Solución y Proacción según Escenarios de Requerimientos de Activos. Para los riesgos restantes, los lineamientos son.

Con base en el manejo de activos y la ficha técnica que describe a cada instalación industrial de la empresa y, sus máquinas y herramientas, las cuales deben contener: código de costos, código del activo, datos del equipo (fabricante, modelo, serie, año de fabricación, peso total, dimensiones), motores (función, potencia, voltaje, amperaje, marca, modelo), se construye una hoja de vida de cada equipo, con el cuál se pueda monitorear el mantenimiento del equipo y controlar las fuentes de riesgos del sistema.

Cada equipo (máquina, instalación, herramienta) debe disponerse para una inspección autónoma por parte del operador u operadores de los mismos, al inicio de cada labor. En la

inspección se registrará: nombre y código del equipo, tipo de inspección (mecánica, eléctrica), frecuencia de la inspección, elemento constructivo a inspeccionar, estado (bueno, regular, malo), observaciones, nombre de la persona que realizó la inspección, porcentaje de cumplimiento del equipo con respecto a lo esperado.

Se debe establecer un inventario de repuestos “vitales” para el funcionamiento del sistema, y mantener en stock para responder de manera oportuna a las fallas de máquinas (sólo para uso cuando los sistemas de respaldo no funcionen). Esta es la última alternativa disponible.

Las inspecciones deben acompañarse de planes de mantenimiento preventivo y correctivo; tal como se enuncian en el apartado Actividades del Ciclo de Vida.

### **9.3.9 Actividades del Ciclo de Vida**

Las principales actividades del ciclo de vida son: mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo, y repotenciación del equipo.

El mantenimiento preventivo incluye el mantenimiento autónomo o inspección del que se estipula en el anterior apartado, y las inspecciones periódicas programadas. Tanto en las inspecciones diarias como las programadas se puede dar dos situaciones: en la primera, que no se encuentren anomalías, para los cual se debe registrar este evento positivo y liberar el proceso para producción; y en la segunda situación, se encuentra anomalías y se procede a programar una solicitud de mantenimiento programado preventivo.

El mantenimiento programado preventivo debe ser aprobado por el departamento de producción para coordinar la fecha del mantenimiento programado y no afectar el plan de

producción. En caso de ser un mantenimiento correctivo, se analiza cómo organizar el trabajo para el momento posterior a la reparación. En algunos casos, el departamento de producción puede considerar crítico el mantenimiento y en cuyo caso la parada de producción será total, o en otros casos será parcial (Ver Figura 26).

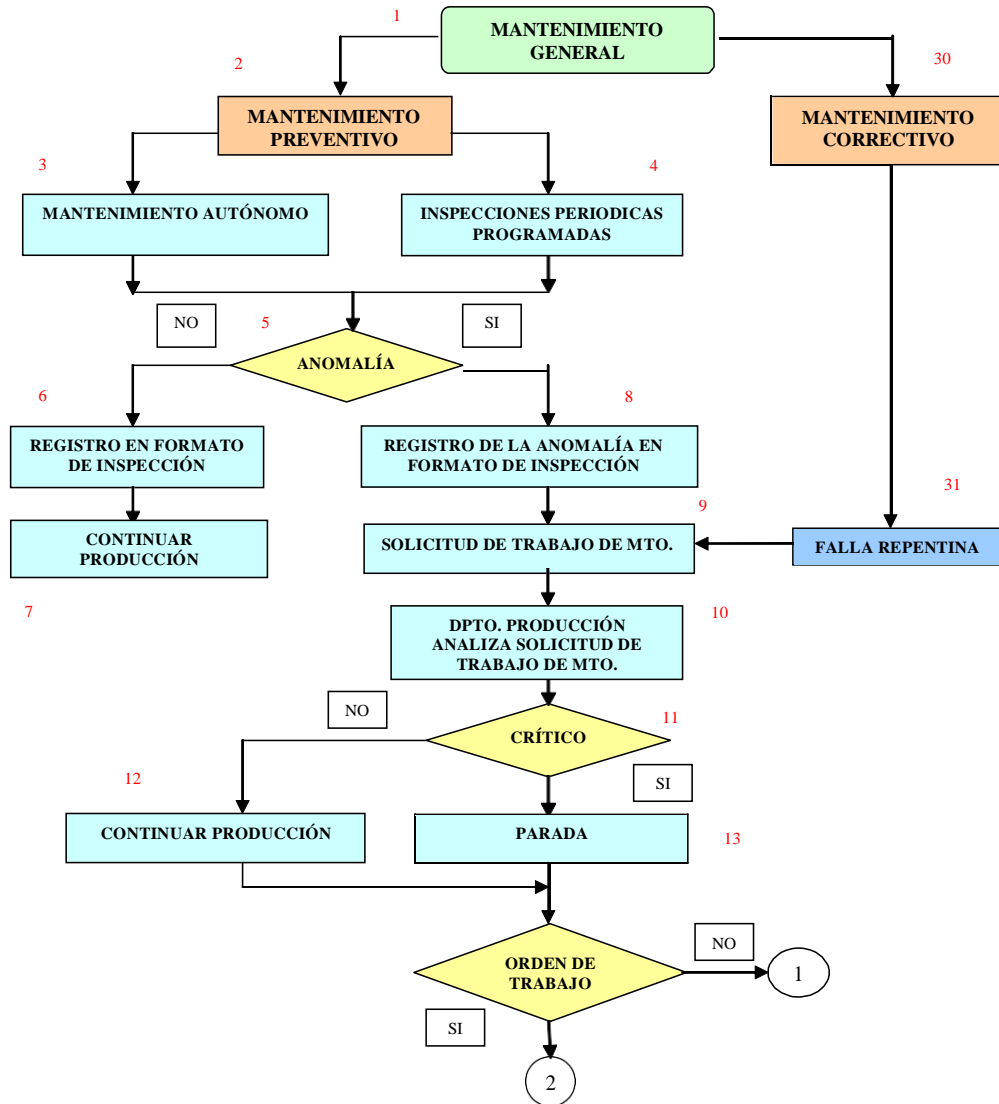


Figura 26. Diagrama de mantenimiento general hasta activar la orden de trabajo  
 Fuente: Elaboración propia

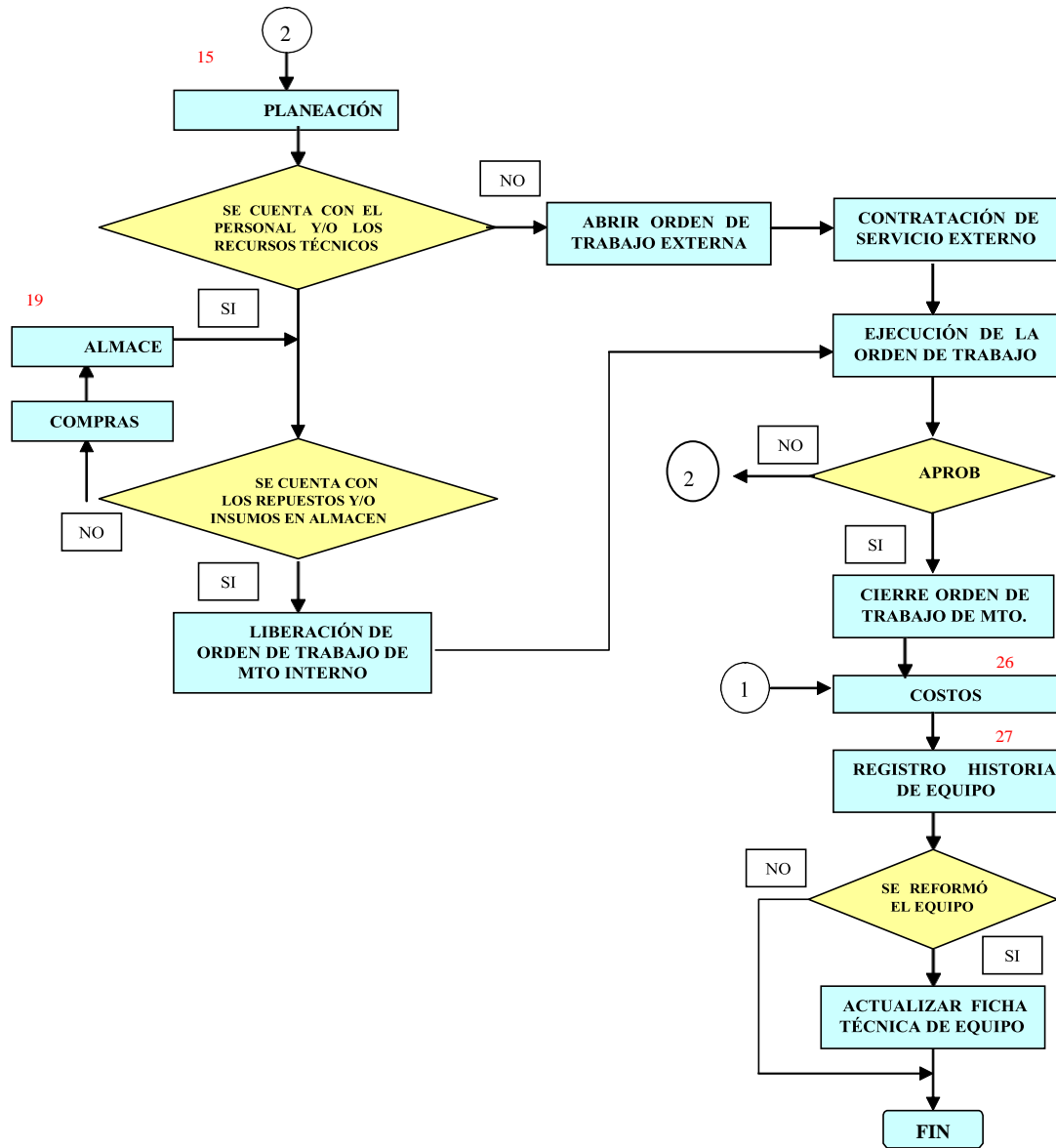


Figura 27. Diagrama de mantenimiento desde la orden planeada  
 Fuente: Elaboración propia

Planificado el mantenimiento se procede a planificarlo, inicialmente, revisando la disponibilidad de respuestos, los cuales deben ser adquiridos mediante procedimiento de compras o de requisición del almacén, y de personal. Cuando el personal no esté disponible, puede realizarse una orden de trabajo externo, para lo cual se debe supeditar al procedimiento de contratación externa de la compañía (Ver Figura 27).

Cuando la orden de mantenimiento haya terminado, se deben hacer los registros respectivos para actualizar la información de los activos: registro en hoja de vida del histórico de mantenimientos, costos del procedimiento aplicado, y actualización de la ficha técnica en casos de ser modificadas sus características técnicas o capacidades.

El mantenimiento correctivo es imprevisto, e inevitablemente se deberá parar la producción hasta tanto no se corrija. Su procedimiento sigue los mismos pasos que el mantenimiento programado preventivo.

### **9.3.10 Herramientas, instalaciones y equipos**

Las herramientas y equipos de mano deben disponer de un almacén para su conservación, cuidado y protección de pérdidas. Al igual que las instalaciones, deben tener jornadas de limpieza planificada y de inspección de su correcto funcionamiento. Deben incorporarse estos procedimientos dentro del plan general de mantenimiento.

### **9.3.11 Monitoreo de rendimiento y condición**

El departamento de producción está en la obligación de reportar a mantenimiento el rendimiento de los equipos según la experiencia en cada jornada de producción. Estos registros son de importancia para comparar con otras inspecciones y determinar la evolución del ciclo de vida de los activos.

### **9.3.11 Investigación de fallas, incidentes y no conformidades del activo productivo**

Todo mantenimiento correctivo e incidentes de seguridad asociados a riesgos mecánicos deben registrarse en una investigación que permita reconocer las causas y cómo desde la conservación y mejoramiento del activo se puede evitar nuevamente estas eventualidades.

## **9.4 Alternativas de Solución y Proacción según Escenarios de Requerimiento de Activos**

### **9.4.1 Activos críticos**

Como se ha podido llegar a concluir en el análisis de las simulaciones, los activos críticos son los sistemas de FWKO y EHT. Y son a partir del uso, conservación y gestión de estos activos, y de las proyecciones de demanda que se definen los escenarios y alternativas.

Un evento crucial o trascendental en los escenarios es el descenso de la demanda de crudo a procesar. Tal como se presentó en el análisis de datos, la empresa viene experimentando un deceso en las necesidades de capacidad de producción, producto de la disminución de reservas de crudo en Colombia. Esto ha llevado a que los activos críticos (FWKO y EHT),

se caractericen por su exceso de capacidad que por su limitación. Lo anterior es un reto para la empresa, quien debe decidir entre alternativas para vender los activos, esperar a que la demanda se establezca o se decidan nuevas formas de uso para estos activos. Las alternativas según los diferentes escenarios de capacidad de producción, que como se ha dicho, esta regida por la demanda en lugar de las limitaciones de capacidad de los activos críticos, se presentan en los siguientes apartados.

#### **9.4.2 Alternativa para el escenario Optimista: Intercambiar el uso de los activos existentes**

El escenario optimista se caracteriza por una demanda esperada de 60.000 barriles de fluido y un uso de 2 de 3 FWKO (tomando el tercer sistema como de respaldo) y 2 de 5 EHT (tomando un tercer sistema como respaldo, es decir, queda un sistema libre).

En este escenario, básicamente sólo queda libre un sistema EHT, y aunque siempre existirá la alternativa de aumentar la demanda mediante las opciones que se plantean en la alternativa del escenario pesimista, la holgura del sistema no es suficiente para considerarla como la de mayor beneficio. Es de mejor provecho considerar como alternativas: i) utilizar los sistemas disponibles, por demanda o por respaldo, para soportar actividades de investigación y desarrollo que la multinacional viene desarrollando y que las condiciones de las instalaciones en Colombia le son provechosas; ii) mantener, en lugar de uno, dos EHT como respaldo, realizar una rotación de los activos para mantenerlos en funcionamiento y alargar su vida útil en espera de otros escenarios de mayor demanda.

Las alternativas de vender los sistemas que no serán funcionales por el deceso de la demanda no se consideran por precaución ante una eventual subida de la misma, ya que se encuentran en procesos la incorporación de procesos de fracking en Colombia, con lo cual se estabilizaría nuevamente al producción en el país.

#### **9.4.3 Alternativa para el escenario moderado: Alianzas estratégicas**

En esta alternativa, el escenario esperado incluye una demanda esperada de producción de barriles de fluido de 45.000, con lo cuál sólo se requiere de 2 de 3 FWKO (más el sistema de respaldo) y 1 de 5 FWKO (más un sistema de respaldo y dos que quedarían disponibles).

En este escenario, la capacidad sobrante no es lo suficiente para considerar agregar la refinación o proceso de nuevos subproductos, o para pensar en aumentar la demanda como se considera en la alternativa para el escenario pesimista. En este caso, lo mejor es la siguiente alternativa: gestionar alianzas con otras empresas dentro del rango horizontal de la cadena de suministro para proveer de capacidad de producción o arrendar la instalación sobrante a otra empresa. También se puede pensar en esta alternativa como provisión de outsourcing operacional o maquila para otras empresas.

#### **9.4.4 Alternativa para el escenario pesimista: Desarrollar nuevos proveedores de fluido**

En esta alternativa se considera el escenario donde la demanda de fluido es del orden de 20.000 barriles, con lo cual sólo se requieren 1 de 3 FWKO (más el de sistema de respaldo) y 1 de 5 EHT (más el sistema de respaldo); con lo cual se tiene casi el 66% del sistema sin uso.

Este escenario es el más preocupante porque gran parte de las instalaciones quedan sin exigencias de producción y su consecuente deterioro, o el costo de mantenimiento para conservar los activos no compensaría los ingresos, llevando a la empresa a una inviabilidad financiera.

Ante estas circunstancias, no cabe duda que la alternativa para este escenario es el aumento de la demanda o provisión de barriles de fluido, ya que la demanda de crudo no es un problema, dadas las necesidades de Colombia en estos momentos. Por tal motivo, se sugiere para este caso la gestión de compra de barriles de fluido provenientes de Ecuador, Venezuela y Perú. Una de las empresas en Colombia encargadas de transportar estos fluidos desde estos países es la conocida Holding CI Terra Bunkering SAS, con quien ya se encuentran realizando las gestiones para la compra del crudo, el cual viaja por mar y debe hacerse un transbordo a oleoductos de Ecopetrol, gestión que también se encuentra en proceso.

## Capítulo 10

### **Socialización de la Propuesta en Mansarovar Energy**

La socialización de esta propuesta se realizó el día 02 de abril de 2020 utilizando videoconferencia como medida de aislamiento social que fue sancionada por el gobierno nacional de Colombia en el Decreto 457 de 2020.

En la presentación de la propuesta participaron por parte de la empresa el Gerente de Ingeniería de Producción y los supervisores de las áreas de producción y mantenimiento. La sesión de socialización se dividió en presentación de metodología y resultados, y sesión para preguntas y sugerencias.

Sobre la sesión de preguntas y sugerencias las recomendaciones y observaciones fueron:

- Las propuestas para mejorar los escenarios pesimistas y moderado son viables, actualmente hay un equipo administrativo asignado para abordar nuevas formas de Mercado y usos para la planta. Se incorporarán las sugerencias del proyecto para tramitarlas y encontrar viabilidad estratégica.

- Los modelos de simulación, aunque como todo modelo reducidos conceptualmente, son un reflejo de la capacidad de la planta actualmente. Los escenarios simulados ayudan a identificar el cuello de botella operacional, y en vista de que es posible que los escenarios donde se reduce la necesidad de activos operativos llegue a suceder, y que en dichos escenarios quedarían mayoritariamente equipos EHT libres sobre los equipos FWKO, se pondrá en sugerencia el traslado de estos equipos a otras sucursales o su venta.

## Capítulo 11

### Conclusiones y recomendaciones

#### 10.1 Conclusiones

El sistema productivo de Mansarovar Energy tiene como función principal utilizar flujo de hidrocarburo en un estado de impurezas y convertirlo en petróleo con especificaciones de mercado. El diagnóstico realizado a este sistema concluye que el sistema tiene una capacidad instalada de 130.000 barriles de fluido, de los cuales sólo el 50% aproximadamente se convierte en capacidad utilizada. Como parte de la administración de operaciones realizada por la empresa, el sistema dispone de equipos alternos como contingencia a las paradas por mantenimientos de los equipos comúnmente utilizados para la producción. Estos activos de contingencia son de similares características que los ejecutados en una producción ordinaria, por tanto, no existen modificaciones de calidad al emplearlos. Adicionalmente, existe un sistema de mantenimiento que bajo la planeación de una norma ISO 9001 permiten una gestión proactiva y reactiva de mejoramiento para los activos. No obstante, el diagnóstico de la demanda demuestra que los activos se encuentran bajo un futuro incierto de uso.

La demanda de producción, según datos provistos por la empresa viene descendiendo desde el año en que inicia la crisis del precio del petróleo en el año 2014 con una demanda de 64.000 de barriles de fluido hasta el año 2019 con 33.041 barriles de fluido. En tan sólo 5 años descendió un 50% para una capacidad utilizada del 25%. Una proyección de esta

tendencia indica que se podría esperar una demanda de barriles de crudo hasta niveles de 20.000, un 18% aproximadamente de la capacidad instalada.

Entre las variables importantes del sistema productivo se han analizado y recabado datos de muestra de datos para el tiempo de operación de los recursos críticos FWKO y EHT, los cuales se han determinado que teóricamente pueden modelarse como distribuciones Normal con parámetros de media 44.7 horas y desviación estándar de 8 horas, y Beta acotado en 10 horas y parámetros de 1.24 y 1.08 horas, respectivamente, utilizando una capacidad de fluido dentro de sus tanques del 90%.

Para evaluar el impacto del descenso de demanda histórico y proyectado, en los porcentajes de utilización de la planta instalada y cómo se podrían combinar los recursos críticos de FWKO y EHT para atender esta demanda, se ha construido un modelo en el software Arena v.15 sobre el sistema productivo de las instalaciones de la empresa, en el cual se han evaluado 15 posibles combinaciones, que obedecen a la disponibilidad de 3 FWKO y 5 EHT en la empresa. Esta evaluación permite concluir que el recurso FWKO es el cuello de botella o recurso restrictivo de capacidad.

Las condiciones de deceso de la demanda llevan a la empresa a una posición de subutilización de capacidad instalada en la planta, con lo que la gestión de activos se traslada desde un enfoque en la conservación de la capacidad productiva o en su evolución, a una gestión basada en la búsqueda de alternativas para darle uso y evitar el deterioro por ausencias de mantenimiento y usabilidad.

Basado en los 15 escenarios se escogieron 3 escenarios, de acuerdo con el nivel de demanda que pueda llegar a ocurrir en el futuro. Estos escenarios se han denominado como

optimista, moderado y pesimista, con niveles de demanda de 60.000, 45.000 y 20.000 barriles de fluido respectivamente, y se proponen para ellos como alternativas de gestión: utilizar los activos disponibles para investigación y desarrollo desde la casa matriz de Mansarovar Energy, aumentar la demanda mediante la compra de insumos desde países cercanos como Venezuela, Ecuador y Perú, y realizar outsourcing operacional con la disponibilidad de capacidad no utilizada.

Un procedimiento para la operación de activos por parte del área operacional se ha presentado o propuesto a la empresa, en el cual se incluyen acciones de registro suficientes para conocer la cantidad de máquinas, sistemas operativos, herramientas y equipos disponibles en la empresa, junto a su estado actual, y el histórico de mantenimientos. El procedimiento incluye además procedimientos para la contabilización de la depreciación del activo, la forma de establecer las ordenes de trabajo de mantenimiento correctivo y preventivo, la sugerencia de un stock de repuestos cruciales, y la asignación de responsabilidades y autoridad en la gestión de estos activos.

## **10.2 Recomendaciones**

Actualmente, la empresa utiliza un sistema integrado de gestión, basado en normas de la International Standard Organization, y como se presentó en el inicio del trabajo, la norma de gestión de activos conocida como PAS55 no pertenecía a esta organización, pero hoy es posible encontrar una norma similar conocida como ISO5001 y de la cuál existen requisitos

pertinentes para los fines oio. No obstante, se recomienda ampliar su aplicación e integrar esta norma al sistema integrado de gestión que ya se ha madurado dentro de la empresa.

### Lista de Referencias

- AES GENER S.A. (Julio de 2015). Proyecto Gestión Integral de Activos Físicos Alineado a la norma internacional ISO 55001. Recuperado el 05 de Noviembre de 2018, de <http://www.pmmlearning.com/aes-gener/>
- Agudelo Pulido, A. I. (19 de 05 de 2013). Revistas.usantotomas.edu.co. Recuperado el 2019, de Propuesta de modelo de gestión de activos fijos con enfoque en procesos: <https://revistas.usantotomas.edu.co/index.php/signos/article/viewFile/2181/2289>
- Brea E. (2014). Aplicaciones de la simulación en la industria petrolera. Universidad Central de Venezuela. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Caracas. Disponible en: <http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/7092/1/AplicSim.pdf>
- Cano, J. A., Campo, E. A., & Gómez, R. A. (2018). Simulación de eventos discretos en la planificación de producción para sistemas de confección modular. *Revista Tecnica*, 41(1), 50-59.
- Castro, J. C. (10 de noviembre de 2018). Mansarovar Energy, Implementación de una estrategia documentada bajo el marco de la ISO 55000 . (J. L. Palomino, Entrevistador)
- Cerón, A. F., Orduña, I. F., Aponte, G., & Romero. (2015). Panorama de la Gestión de Activos para Transformadores de Potencia. Información Tecnológica. Recuperado el 02 de Noviembre de 2018, de [login.consultaremota.upb.edu.co](http://login.consultaremota.upb.edu.co): <https://doi-org.consultaremota.upb.edu.co/10.4067/S0718-07642015000300014>

- Chinchilla, D. H., Oliveros, M. Á. C., & Forero, E. L. D. (2017). Análisis del flujo de pacientes en el servicio de urgencias del Hospital Universitario la Samaritana a través de simulación discreta. *Avances: Investigación en Ingeniería*, 14(1), 109-122.
- Díaz-Martínez, M. A., Zárate-Cruz, R., & Román-Salinas, R. V. (2018). Simulación Flexsim, una nueva alternativa para la ingeniería hacia la toma de decisiones en la operación de un sistema de múltiples estaciones de prueba. *Científica*, 22(2), 97-104.
- Gómez, H. G. B., Proaño, G. A. A., Reina, I. C. N., Flores, R. A. C., & Cabrera, C. F. I. (2017). Modelación y simulación numérica del transporte de petróleo por el Sistema de Oleoducto Transecuatoriano. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 1(1), 22-30.
- Gonzalez , H. (18 de diciembre de 2015). *Calidadgestion.wordpress.com*. Recuperado el 20 de 05 de 2019, de sistema de gestion de activos: <https://calidadgestion.wordpress.com/tag/sistema-de-gestion-de-activos/>
- ISO 5501. (2014). *Gestión de Activos*. Recuperado el 04 de noviembre de 2018, de [www.bsigroup.com](http://www.bsigroup.com): <https://www.bsigroup.com/en-GB/Asset-Management/>
- ISO/TC 251. (s.f.). *Los activos son fundamentales para su organización*. Recuperado el 07 de Noviembre de 2018, de [committee.iso.org](http://committee.iso.org): [https://www.google.com.co/search?q=gestion+de+activos+imagen&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjY6smRgPreAhVupVvKkHeTEDToQ\\_AUIDigB&biw=1242&bih=597#imgrc=mCAicq8uohG2bM](https://www.google.com.co/search?q=gestion+de+activos+imagen&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjY6smRgPreAhVupVvKkHeTEDToQ_AUIDigB&biw=1242&bih=597#imgrc=mCAicq8uohG2bM):
- Kelton, W. D. (2008). *Simulacion con software arena*. Mc graw hill. Obtenido de ¿Qué es Arena simulation?

Lorena lopez Moran, J. H. (2016). estadística descriptiva. EDICIONES ACADEMICAS.

Obtenido de Estadística.

Machuca-de-Pina, J. M., & Taquía-Gutiérrez, J. A. (2009). Balanza comercial de los combustibles líquidos derivados del petróleo mediante dinámica de sistemas y simulación. *Ingeniería Industrial*, (027), 61-79.

Mansarova Energy. (23 de marzo de 2018). Políticas Corporativas en HSE. Obtenido de <http://www.mansarovar.com.co/documents/20182/32826/politica+HSE.pdf/3ad60e16-af80-44f0-8328-f1e96ab89161>

Mansarovar Energy. (2006). Nuestra Cadena de Valor. Obtenido de <http://www.mansarovar.com.co/operaciones/cadena-de-valor>

Mansarovar Energy. (28 de octubre de 2016). Polística Antifraude. Obtenido de <http://www.mansarovar.com.co/documents/20182/32826/Politica+antifraude.pdf/921a5e7c-fa6e-4006-a24d-a853f49e34df>

Mansarovar Energy. (28 de octubre de 2016). políticas prevención lavado de activos. Obtenido de <http://www.mansarovar.com.co/documents/20182/32826/Politica+prevencion+lavado+de+activos.pdf/7f6e3e4d-78fa-417b-a7d5-e1c058ccf6ca>

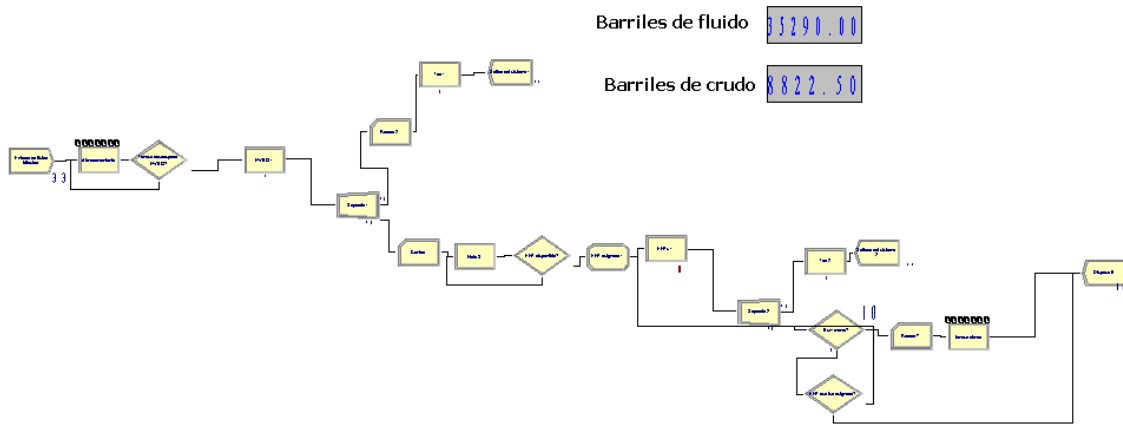
Mansarovar Energy. (28 de agosto de 2017). Políticas de Responsabilidad Social. Obtenido de <http://www.mansarovar.com.co/documents/20182/32826/Pol%C3%ADtica+de+Responsabilidad+Social.pdf/b3c44539-834a-4c3d-908a-ba4118f9f6c3>

Medina, R. (2016). Consultor en Gestión de activos, Confiabilidad e integridad Mecánica.

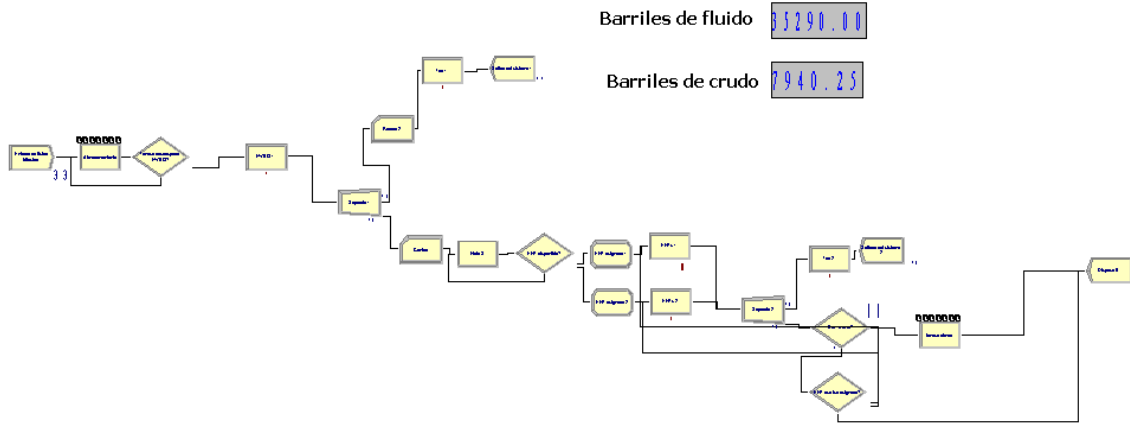
- Medina, R. (2016). La gestión de activos, su historia y definiciones, aspectos claves para entender su alcance. Recuperado el 02 de noviembre de 2018, de <https://www.linkedin.com/pulse/la-gestion-de-activos-su-historia-y-definiciones-para-medina-cmrp>)
- Ramírez, N. G., Zepeda, J. M. T., & Montoro, I. R. (2018, November). Diseño de un Modelo de Simulación Discreta para proponer mejoras en el Área de Urgencias de un Hospital General en Veracruz. In Congreso Interdisciplinario de Ingenierías (p. 53).
- Restrepo-Zea, J. H., Jaén-Posada, J. S., Piedrahita, J. J. E., & Flórez, P. A. Z. (2018). Saturación en los servicios de urgencias: Análisis de cuatro hospitales de Medellín y simulación de estrategias. *Revista Gerencia y Políticas de Salud*, 17(34).
- Torres R., R. & Castro, A. J. (2002). Análisis y Simulación de Procesos de Refinación del Petróleo. Instituto Politécnico Nacional. México. Dirección de Publicaciones. Primera Edición. ISBN 970-18-7990-12
- Urra Medina, E., Sandoval Barrientos, S., & Irribarren Navarro, F. (2017). El desafío y futuro de la simulación como estrategia de enseñanza en enfermería. *Investigación en Educación médica*, 6(22), 119-125.
- Vega, P. J. T. (2017). Simulación de Sistemas con el software Arena. Fondo editorial Universidad de Lima.

**Anexo A. Representación visual de los escenarios de simulación en Arena**

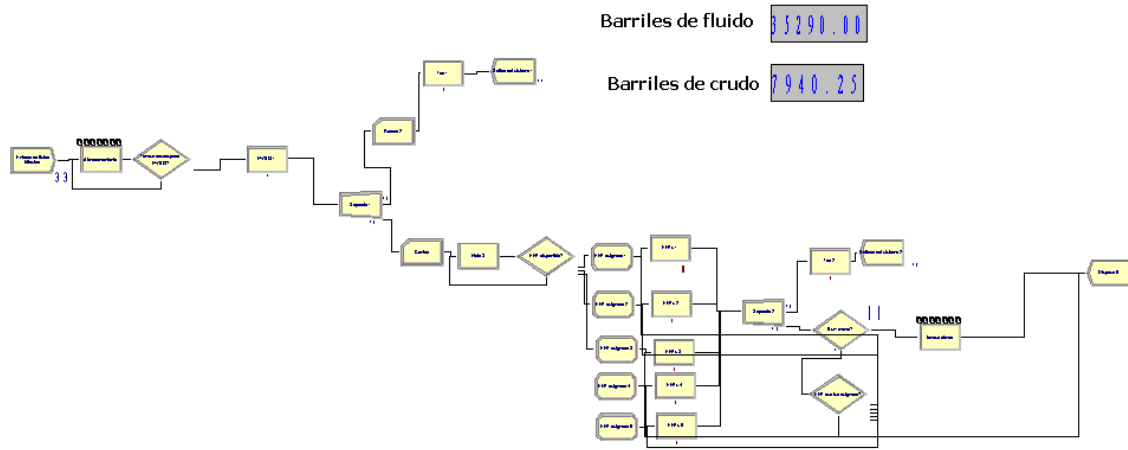
Escenario 1: Un (1) FWKO y Un (1) EHT



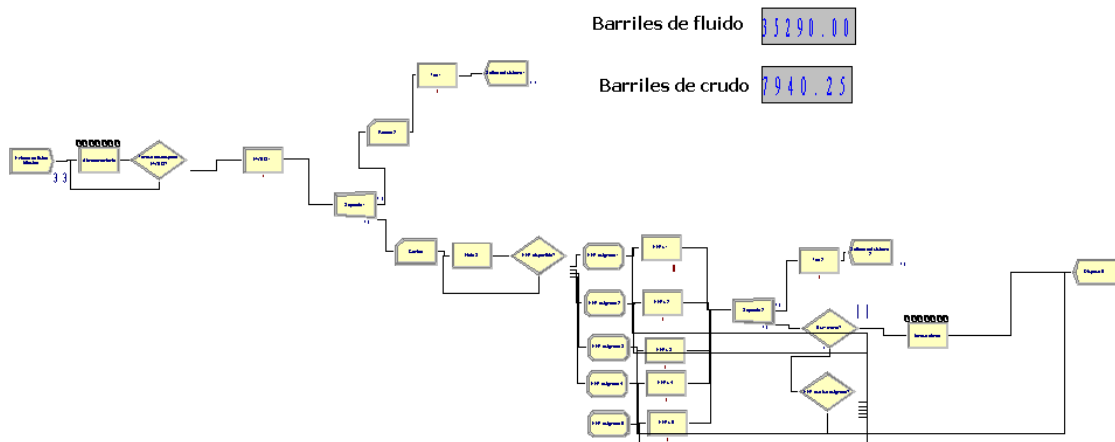
Escenario 1: Un (1) FWKO y Dos (2) EHT



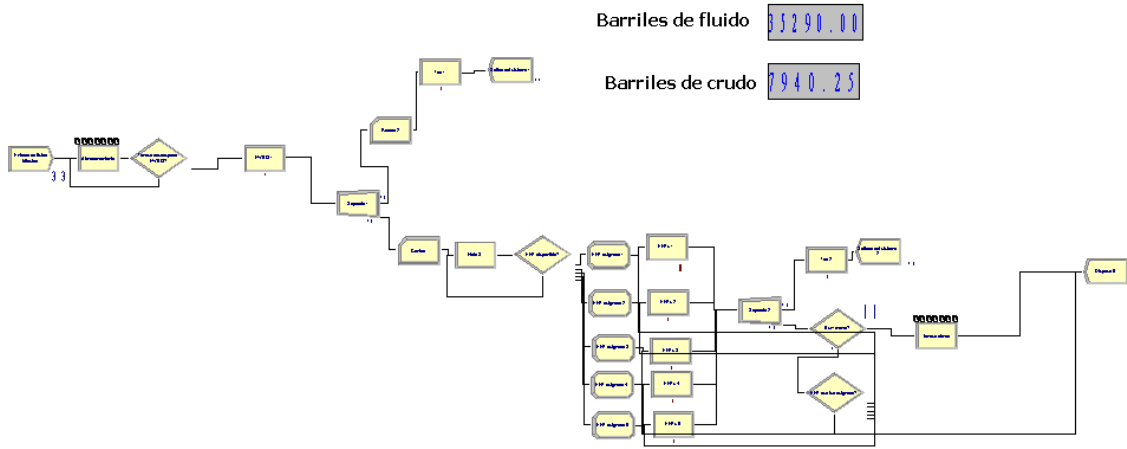
Escenario 3: Un (1) FWKO y Tres (3) EHT



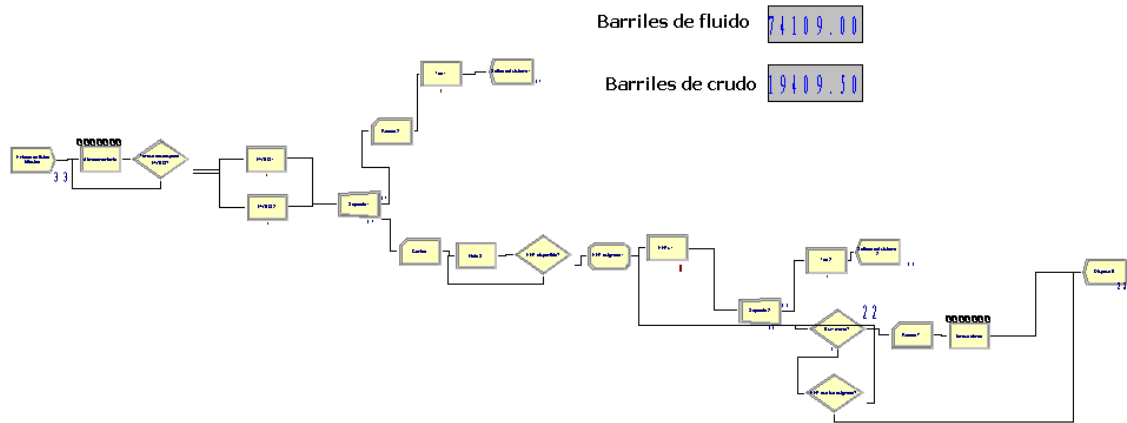
Escenario 4: Un (1) FWKO y Cuatro (4) EHT



Escenario 5: Un (1) FWKO y Cinco (5) EHT

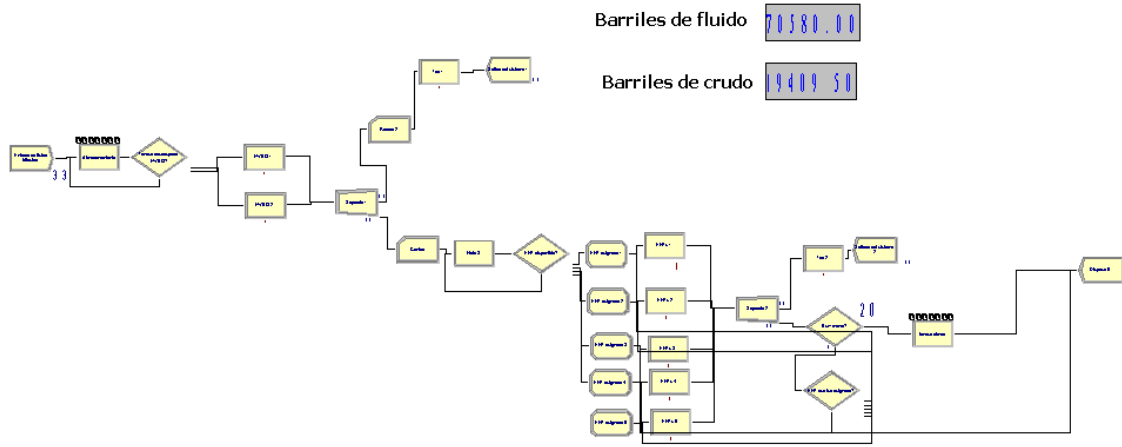


Escenario 6: Dos (2) FWKO y Un (1) ETH

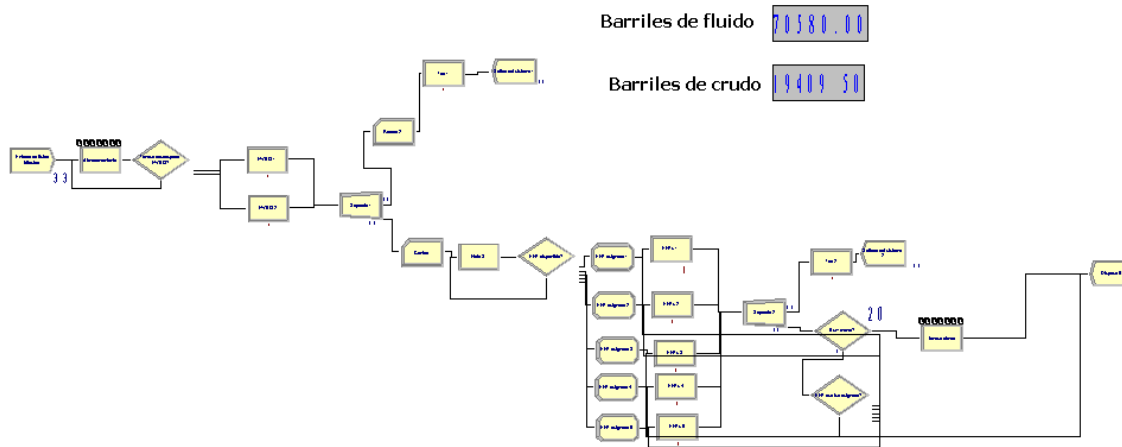


Escenario 7: Dos (2) FWKO y Dos (2) ETH



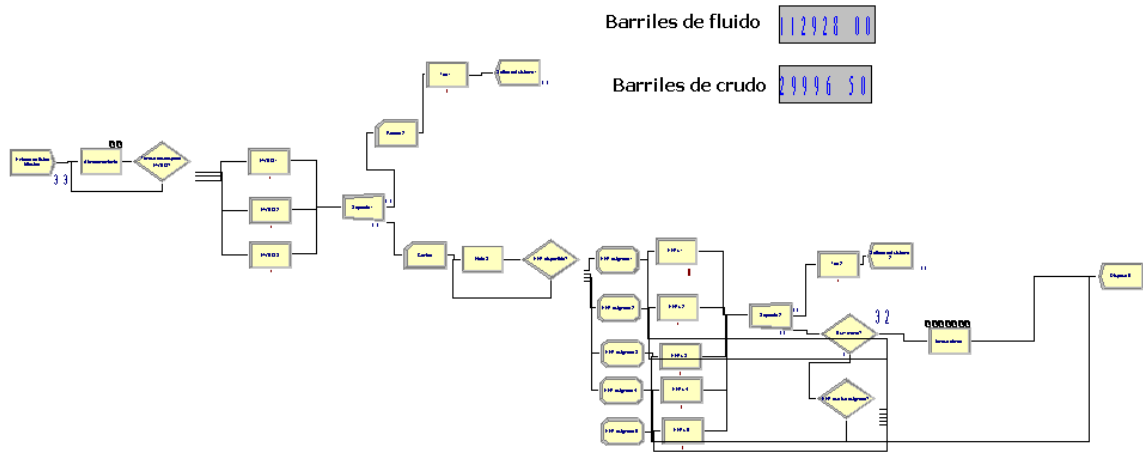


Escenario 10: Dos (2) FWKO y Cinco (5) ETH

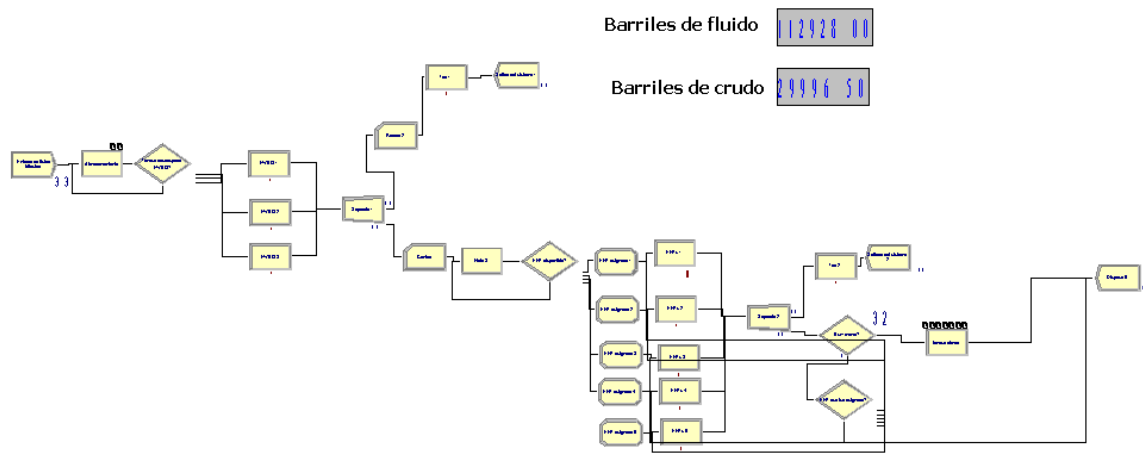


Escenario 11: Tres (1) FWKO y Un (1) ETH

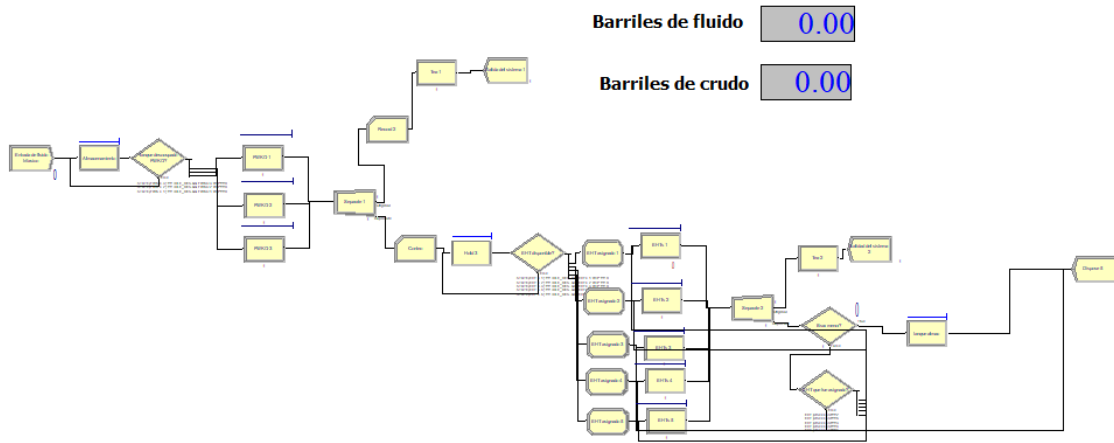




Escenario 14: Tres (1) FWKO y Cuatro (4) ETH



Escenario 15: Tres (1) FWKO y Cinco (5) ETH



**Anexo B. Satisfacción De Propuesta Por Parte De La Compañía Mansarovar Energy**



Puerto Boyacá 16 de Abril 2020

Señores

Universidad Pontificia Bolivariana  
Seccional Bucaramanga

Me dirijo a ustedes por medio de la presente para comunicar que el estudiante **Jose Luis De La Rosa Palomino** identificado con cedula de ciudadanía 1098755437 de Bucaramanga, inscrito en la facultad de ingeniera industrial de la universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga ha presentado el proyecto de investigación con nombre **“Generación de Escenarios de Producción en la Empresa Mansarovar Energy Aplicando Simulación de Eventos Discretos”** para optar a su título profesional.

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Isaac Fuque".

Isaac Fuque  
Gerencia de Ingeniería de Producción

