

Información Importante

La Universidad de La Sabana informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea de la Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad de La Sabana.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento para todos los usos que tengan finalidad académica, nunca para usos comerciales, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le de crédito al documento y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, La Universidad de La Sabana informa que los derechos sobre los documentos son propiedad de los autores y tienen sobre su obra, entre otros, los derechos morales a que hacen referencia los mencionados artículos.

BIBLIOTECA OCTAVIO ARIZMENDI POSADA
UNIVERSIDAD DE LA SABANA
Chía - Cundinamarca

**ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE LA APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE
RESTRICCIONES EN LA GESTIÓN DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE
HIDROCARBUROS**

MARIO ALEJANDRO GARCÍA GONZÁLEZ

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para obtener el título de
Magíster en Gerencia de Operaciones

Director:

HÉCTOR PÁEZ, Msc.

Experto en Aplicación Teoría de las Restricciones



Universidad de
La Sabana

ESCUELA INTERNACIONAL DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS
CHÍA, COLOMBIA

2016

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ser mi fuerza, mi confianza, mi mejor amigo en el camino, mi inspiración; mi sustento y proveedor.

A mi familia, por su incondicional apoyo en cada día, en cada noche, a cada paso; por su amor que deja una huella imborrable en mí.

Héctor Páez, por su entrega, dedicación, amabilidad, ánimo y ayuda en la elaboración de la presente tesis.

Gracias

RESUMEN

En la actualidad, la búsqueda de eficiencias en los procesos industriales juega un papel cada vez más relevante, que en ambientes de competencia, innovación y desarrollo de los mercados, obliga a salir de las prácticas tradicionales para asumir nuevas que permitan obtener los objetivos ambiciosos de cada empresa. La industria petrolera necesita encontrar y mantener maneras eficientes de ejecutar sus proyectos que en cualquier caso, grande o pequeño, conservan siempre una gran envergadura en comparación con otras industrias, y cuya gran necesidad es de ejecutarlos dentro de los plazos y costos planeados, asegurando el contenido de su promesa de valor. Al contrario de este deseo, se encuentran numerosos casos cuyo resultado está lejos del costo y plazo planeado, o que ha cambiado considerablemente el alcance de su ejecución. Esta tendencia ha mantenido proyectos de la industria petrolera al margen de ser viables, además de consumir el presupuesto de otros proyectos de desarrollo. En este marco, el presente trabajo busca incorporar

dentro de la gestión de proyectos de la industria petrolera, los adelantos presentados por la Teoría de Restricciones y la Gestión de Proyectos con Cadena Crítica, comparando sus potenciales resultados desde la fase de planeación. En particular, el caso de estudio planteado presenta un proyecto de desarrollo de un campo de producción de petróleo, cuya ejecución no fue exitosa y fue cancelado, esto a pesar de tener una gran perspectiva de resultados financieros positivos y unas grandes reservas de petróleo probadas por producir. Se busca plantear el proyecto del caso de estudio bajo un ambiente de Gestión de Proyectos con Cadena Crítica, buscando tener opciones claras del mismo desde su programación y planeación. El ejercicio teórico muestra la eficiencia de la Gestión con Cadena Crítica en comparación con la gestión de proyectos tradicional, reduciendo entre el 32.4% y 3.5% los plazos de ejecución y cumplimiento, dando opción de reactivar el proyecto y gestionar los nuevos bajo esta metodología.

ABSTRACT

Actually, the search of efficiencies in industrial process has a relevant importance in environments of competition, development and innovation, forcing the companies to leave behind traditional practices to take on new ones, which allow them to reach their ambitious goals. The exploration and production (E&P) oil industries needs to find and keep efficient ways to execute their projects, and make it inside the terms of time and cost planned, ensuring their scope. In spite of this wish, several projects have an outcome faraway from cost and time limit or with big changes in his scope. In this way, the present work looks to implement inside the project management of E&P oil industry, the practices of the Theory of Constraints and Critical Chain Project Management. The case study presented, show a development project for an oil production field, whose execution was canceled despite of his big perspectives of return on investments, oil production and incorporation of proved oil reserves. The theoretical work shows the efficiency of Critical Chain Project Management

compared with the traditional project management, giving the option to reactivate the project and manage the new ones under this methodology.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	7
LISTA DE FIGURAS	8
GLOSARIO	10
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	12
1.1 GESTIÓN DE PROYECTOS CON CADENA CRÍTICA.....	12
1.2 ENFOQUE PROPUESTO DE LA PROFUNDIZACIÓN.....	13
1.3 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO	14
CAPÍTULO 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS	16
2.1 INTRODUCCIÓN	16
2.2 CONTEXTO	16
2.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
2.4 OBJETIVOS DEL ESTUDIO	18
2.4.1 Objetivo general	18
2.4.2 Objetivos específicos	18
2.5 JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO.....	19
CAPÍTULO 3. COMPARACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS ACTUALES DE GESTIÓN DE PROYECTOS VS GESTIÓN DE PROYECTOS CON CADENA CRÍTICA	20
3.1 INTRODUCCIÓN	20
3.2 GERENCIA DE PROYECTOS EN LA INDUSTRIA PETROLERA COLOMBIANA	20
3.3 EVOLUCIÓN DE LA GERENCIA DE PROYECTOS.....	21
3.3.1 Método de la ruta crítica (CPM)	22
3.3.2 Técnica de revisión y evaluación de programas (PERT)	23
3.4 TEORÍA DE RESTRICCIONES.....	25
3.5 GESTIÓN DE PROYECTOS POR CADENA CRÍTICA.....	28
3.5.1 Generalidades.....	28
3.5.2 Problemas comunes en ejecución de proyectos	30
3.5.3 Estimaciones de tiempo para las actividades	31

3.5.4 Uso de amortiguadores.....	36
3.5.5 Árboles de estrategia y táctica	43
CAPÍTULO 4. APLICACIÓN DE GESTIÓN DE PROYECTOS CON CADENA CRÍTICA EN UN CASO DE PROYECTO DE DESARROLLO DE LA INDUSTRIA PETROLERA	49
4.1 INTRODUCCIÓN	49
4.2 PROYECTO DE DESARROLLO DE ESTUDIO	50
4.3 CONTEXTO HISTÓRICO	51
4.4 OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO EN ESTUDIO	54
4.4.1 Alcance original del proyecto en estudio.....	56
4.4.1.1 Facilidades actuales de recolección y tratamiento de fluidos	59
4.4.1.2 Facilidades eléctricas actuales	60
4.4.1.3 Datos básicos del proyecto.....	60
4.4.1.4 Estructura de desglose del trabajo (WBS).....	66
4.4.1.5 Estimado de costos.....	68
4.4.1.6 Estimado de tiempo	69
4.4.1.7 Evaluaciones financieras	69
4.4.1.8 Riesgos del proyecto	70
4.5 EVOLUCIÓN Y ESTADO ACTUAL DEL PROYECTO	72
4.6 PROPUESTA DE DESARROLLO DEL PROYECTO CON CCPM	78
4.6.1 Alcance del proyecto.....	79
4.6.2 Cronograma del proyecto.....	81
4.6.2.1 Congelación de subproyectos.....	81
4.6.2.2 Estimación de protecciones del proyecto.....	84
4.6.2.3 Amortiguador del proyecto.....	88
4.6.2.4 Amortiguadores de alimentación	88
4.6.3 Comparación de resultados	91
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS	92
5.1 CONCLUSIONES.....	92
5.2 PERSPECTIVAS.....	93
REFERENCIAS	95

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Aplicación de procedimientos de Teoría de Restricciones y Cadena Crítica...	29
Tabla 2. Resumen de volúmenes de producción proyectados	55
Tabla 3. Alcance del proyecto por módulo	58
Tabla 4. Cronograma de perforación/ <i>workover</i> formación 1	58
Tabla 5. Cronograma de perforación formación 2	59
Tabla 6. Estimación de costos asociados al alcance del proyecto	68
Tabla 7. Evaluaciones financieras del proyecto.....	69
Tabla 8. Resumen comparación de resultados CCPM Vs. Metodología ejecutada.....	91

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Resultados actuales de proyectos.....	12
Figura 2. Estructura del documento.....	14
Figura 3. Diagrama de ruta crítica	23
Figura 4. Diagrama de red usando metodología PERT	24
Figura 5. Desempeño de los proyectos	30
Figura 6. Desviaciones de los proyectos analizados	31
Figura 7. Probabilidad de duración de la actividad.....	32
Figura 8. Duración de actividades ejecutadas en multitareas.....	35
Figura 9. Ubicación de amortiguador de proyecto	38
Figura 10. Amortiguadores de alimentación y del proyecto.....	39
Figura 11. Ruta crítica vs. Cadena Crítica	41
Figura 12. Relación estrategia - Supuestos paralelos - Táctica.....	44
Figura 13. Niveles de detalle de estrategia y táctica	45
Figura 14. Árbol de estrategia y táctica	47
Figura 15. Localización del campo TUV	52
Figura 16. Descripción del alcance del proyecto	55
Figura 17. Estaciones de recolección campo TUV por área.....	60
Figura 18. WBS. Perforación y <i>workover</i>	66
Figura 19. WBS. Facilidades	67
Figura 20. Distribución de costos del proyecto	68
Figura 21. Cronograma inicial estimado del proyecto.....	69
Figura 22. Distribución de inversiones para el proyecto en el tiempo.....	70
Figura 23. Alcance del proyecto con control de cambios	74
Figura 24. Cronograma del proyecto con control de cambios	74
Figura 25. Impacto en la triple restricción del proyecto	78
Figura 26. Efectos indeseables identificados en la ejecución del proyecto	79
Figura 27. Cronograma resumido del proyecto	81
Figura 28. Cronograma inicial del proyecto con subproyecto a congelar	83
Figura 29. Cronograma del proyecto con subproyecto congelado y desplazado	84

Figura 30. Cronograma del proyecto con subproyecto congelado y desplazado, y protecciones identificadas	85
Figura 31. Cronograma del proyecto descontando tiempo de protecciones identificadas	87
Figura 32. Cronograma del proyecto con amortiguador de proyecto.....	89
Figura 33. Cronograma del proyecto final propuesto.....	90

GLOSARIO

Aceite crudo: El aceite que proviene de un yacimiento, después de separarle cualquier gas asociado y procesado en una refinería; a menudo se le conoce como crudo.

Acuífero: Una zona subterránea de roca permeable saturada con agua bajo presión.

Amortiguador: Actividad ficticia con duración mayor a cero, que no requiere recursos.

Amortiguador de alimentación: Amortiguador que se inserta al final de las cadenas que alimentan a la cadena crítica, como tiempo adicional.

Amortiguador de proyecto: Amortiguador que se inserta al final de la cadena crítica, como tiempo adicional.

Anticlinal: Plegamiento de las capas superiores de las rocas similar a un arco en forma de domo. Las anticlinales constituyen excelentes prospectos para perforación puesto que el aceite se mantiene en forma natural al punto más alto de la estructura, en virtud de que tiene una gravedad específica menor a la del agua.

Barril (bbl): Medida estándar para el aceite y para los productos del aceite. Un barril = 35 galones imperiales, 42 galones US, o 159 litros.

Barriles por día (bpd o b/d): En términos de producción, el número de barriles de aceite que produce un pozo en un período de 24 horas, normalmente se toma una cifra promedio de un período de tiempo largo.

Cadena: Rama de secuencia de actividades que pueden tener las mismas dependencias planteadas en el método CPM.

Cadena crítica: Es la cadena más larga del proyecto, puede estar alimentada por cadenas más pequeñas.

Gravedad API: La escala utilizada por el Instituto Americano del Petróleo para expresar la gravedad específica de los aceites.

Recuperación primaria: La recuperación de aceite y gas de un yacimiento empleando sólo la presión natural del yacimiento para forzar la salida del aceite o gas.

Recuperación secundaria: La recuperación secundaria de hidrocarburos de un yacimiento incrementando la presión del yacimiento mediante la inyección de gas o agua en la roca del yacimiento.

Reservas posibles: Estimado de reservas de aceite o gas en base a datos geológicos o de ingeniería, de áreas no perforadas o no probadas.

Reservas probables: Estimado de las reservas de aceite y/o gas en base a estructuras penetradas, pero requiriendo confirmación más avanzada para poderseles clasificar como reservas probadas.

Reservas probadas: La cantidad de aceite y gas que se estima recuperable de campos conocidos, bajo condiciones económicas y operativas existentes.

Yacimiento: Acumulación de aceite y/o gas en roca porosa tal como arenisca. Un yacimiento petrolero normalmente contiene tres fluidos (aceite, gas y agua) que se separan en secciones distintas debido a sus gravedades variantes. El gas siendo el más ligero ocupa la parte superior del yacimiento, el aceite la parte intermedia y el agua la parte inferior.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 GESTIÓN DE PROYECTOS CON CADENA CRÍTICA

La gestión de proyectos se basa en la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para cumplir con los requerimientos del mismo. Su éxito se enmarca como el logro del alcance del proyecto en cumplimiento del tiempo y costo presupuestado y con las condiciones de calidad acordadas (PMBOK, 2013). En búsqueda de tales logros, la gestión de proyectos tiene un marco relevante para el crecimiento de cualquier empresa, sin embargo su aplicación ha requerido de una curva de aprendizaje y cuyo problema fundamental ha sido el mantener el cumplimiento de lo presupuestado en costo, tiempo y entregable final de un proyecto.

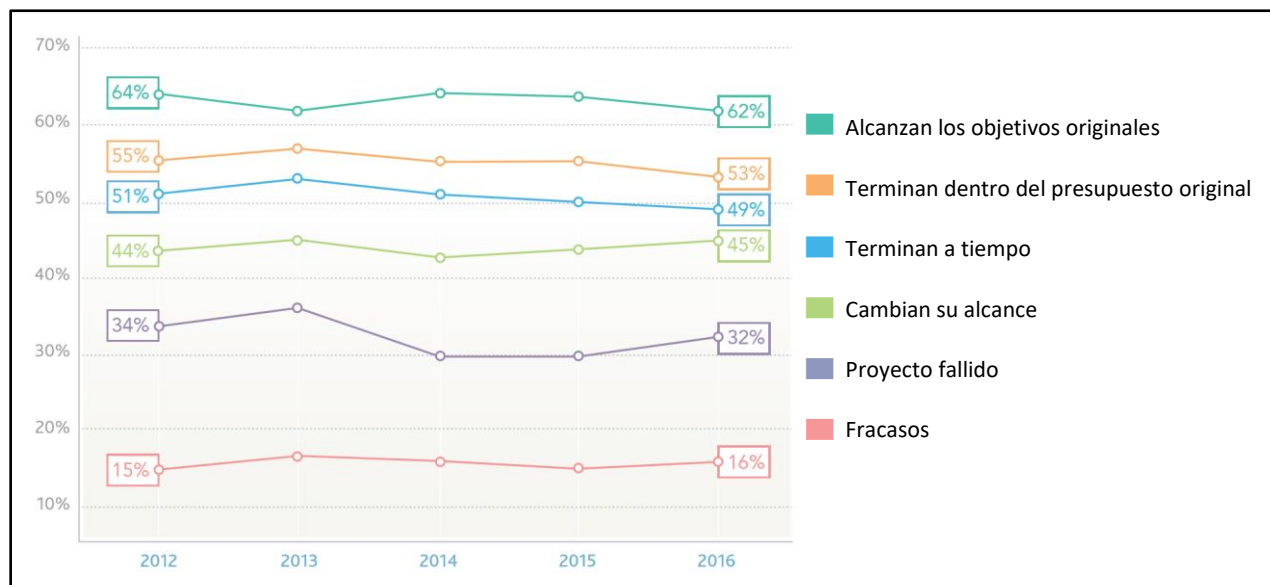


Figura 1. Resultados actuales de proyectos
Fuente: The high cost of low performance. PMI (2016)

En la actualidad, la gerencia de proyectos es liderada por la guía del Instituto de Gerencia de Proyectos (PMI por sus siglas en inglés de “*Project Management Institute*”). El PMI señala de débiles los resultados de la ejecución de proyectos a nivel

mundial (PMI, 2016) donde apenas el 49% terminan cumpliendo el plazo inicial, 53% cumplen el presupuesto original, 62% alcanzan sus objetivos originales.

Con el propósito de explorar la aplicabilidad de la Gestión de Proyectos con Cadena Crítica, ideada por Eliyahu Goldratt y basada en su Teoría de Restricciones (Goldratt, 1984), en este documento se desarrollan los fundamentos de la teoría y la puesta en práctica para un proyecto real de desarrollo de un campo petrolero.

El uso de la Gestión de Proyectos con Cadena Crítica ha recibido estudios que soportan sus resultados. Doyle (2010) estudió los efectos positivos de implementar Cadena Crítica en la programación del cronograma y postula que mantener la protección de tiempo en el proyecto de manera agregada y no en cada una de las tareas del proyecto, permite obtener mejoras en toda la programación del proyecto. La investigación de Hoel y Taylor (1999) presenta reducciones importantes en la duración de proyectos al aplicar los principios de Goldratt de gerencia de amortiguadores. Entre otras, las investigaciones de Casey (2005) y Pophaley (2010) demuestran las mejoras en la ejecución de los proyectos de aviación y de automóviles respectivamente, disminuyendo tiempos de ejecución de 9 a 4 meses. Estos estudios previos reconocen los resultados positivos de la implementación de Gestión de Proyectos con Cadena Crítica, impactando en el cumplimiento de los tiempos y costos planeados con los parámetros de calidad esperados.

1.2 ENFOQUE PROPUESTO DE LA PROFUNDIZACIÓN

En el presente trabajo se busca profundizar en la aplicación de la Teoría de Restricciones, puntualmente en la Gestión de Proyectos con Cadena Crítica, que resulta ser el producto de su aplicación en un ambiente de proyectos. Esta profundización está direccionada al proceso de producción de hidrocarburos, y en la ejecución de sus proyectos de desarrollo donde resulta tener alto potencial, debido principalmente por la gran envergadura en costos, personas, y alcances de sus proyectos.

Como parte del estudio se ha tomado el caso de un proyecto de desarrollo de un campo de producción de petróleo en Colombia, con altas expectativas de incorporación de reservas de crudo y gas, incremento de la producción y un alto retorno financiero. Sin embargo, en su ejecución se materializaron riesgos que afectaron la normal ejecución del proyecto, su cronograma y llevándolo finalmente a su cancelación. A pesar de ello, el proyecto continúa en la mira de la industria petrolera con el objetivo de hacerlo viable y ejecutarlo en el mediano plazo.

1.3 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO

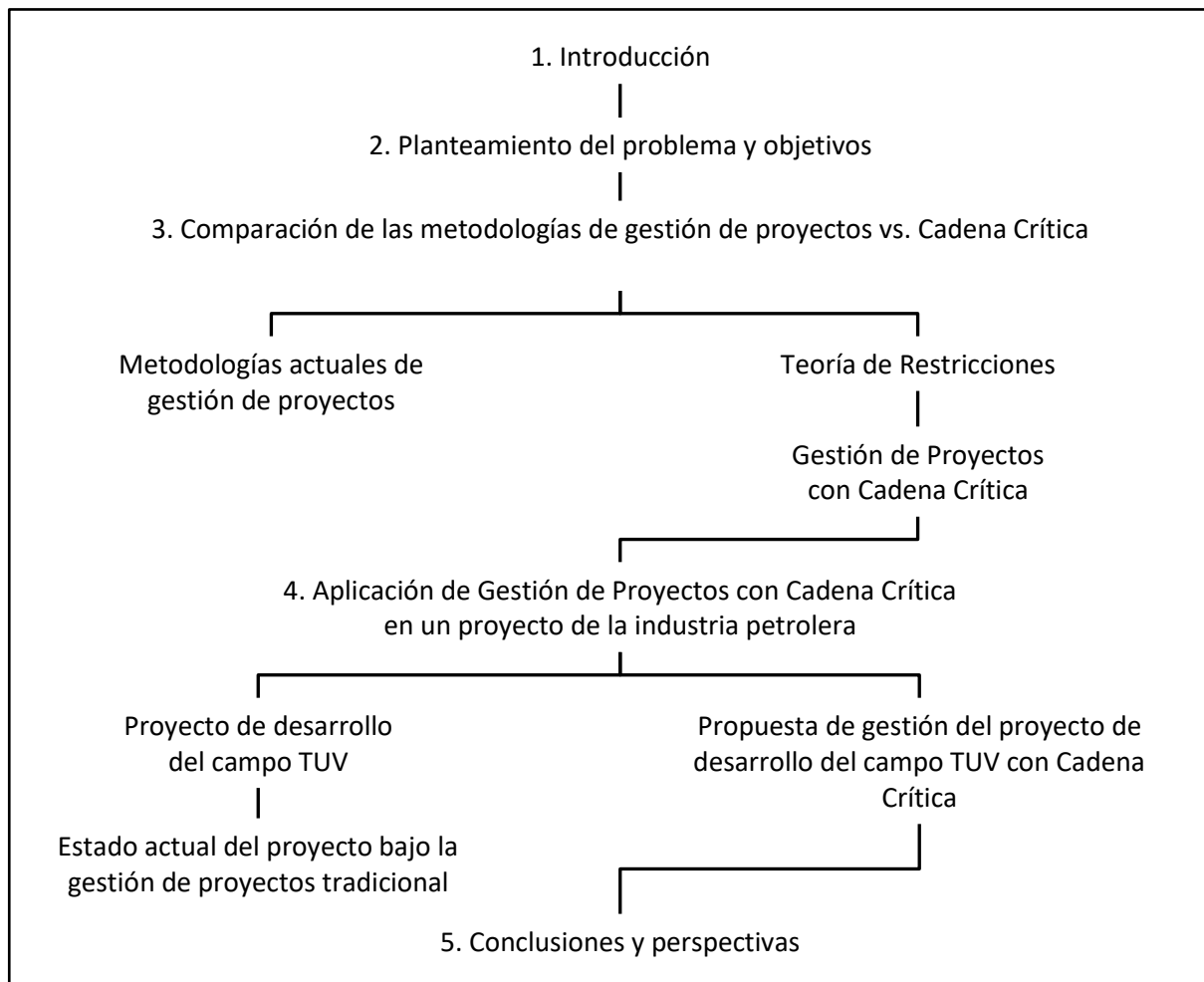


Figura 2. Estructura del documento
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS

2.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se presentan el contexto histórico y actual que encierra el planteamiento del problema y los objetivos que persigue el estudio. Luego se expone la justificación y delimitación del presente trabajo.

2.2 CONTEXTO

Desde los años ochenta inició la Teoría de las Restricciones y se expandió su aplicación en la administración de negocios para luego tomar fuerza en los años noventa en la optimización de la producción en las empresas (Gupta, 2010). La aplicación de esta teoría ha sido discutida en diversos campos productivos de la sociedad, desde sectores como la educación hasta en grandes sectores industriales, salud y servicios. Hoy día la Teoría de las Restricciones ha cobrado importancia y protagonismo, con instituciones que se focalizan en su desarrollo y aplicación, y con implementaciones en grandes industrias (Gupta, Boyd, 2008).

La Teoría de las Restricciones ha tenido aceptación de manera parcial en diferentes campos de la sociedad y economía moderna, y el adjetivo “parcial”, ha sido más por causa de su desconocimiento. El contexto actual de la industria de exploración y producción de hidrocarburos, invita a incrementar las reservas y la producción de crudo y gas, manteniendo un fuerte control y optimización de los costos de inversión y producción (Fedesarrollo, 2015). Por otra parte, el mercado ha reconocido las dificultades y riesgo de estar produciendo un recurso no renovable y sobre todo contaminante, motivando fuertemente a la sociedad y a la economía mundial, a buscar y desarrollar productos sustitutos de los combustibles fósiles (UPME, 2015).

Esta tendencia de cambio y sustitución del combustible de origen fósil por fuentes y tecnologías de energías limpias, cada vez tiene mayor importancia y

protagonismo en las economías mundiales, reduciendo la demanda mundial de energía de origen fósil, con tendencia a la baja en el largo plazo, y por ende, impactando a la baja el precio de venta de los hidrocarburos. Esta tendencia de largo plazo, los países la identifican como un incentivo para buscar más reservas de hidrocarburos y producirlas hoy que su demanda es alta y su precio de venta es bien valorado, sin embargo, al aumentar la oferta de hidrocarburos de nuevo se impacta a la baja su precio, tal como se ha reflejado con la producción de crudo de yacimientos no convencionales en Estados Unidos (UPME, 2015). Estas causas generan la ansiedad y necesidad de mantener el margen de ganancia de sus operaciones, por lo que ha tomado mayor importancia en la industria petrolera, la ejecución de proyectos que cumplan los presupuestos de tiempo y costos, al igual de procesos de producción más eficientes que mantengan los costos controlados y aumenten su flujo de caja positivo.

2.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con lo hasta ahora expuesto, este proyecto busca responder la pregunta general:

¿Cómo puede usarse la Teoría de Restricciones para la gestión de proyectos y toma de decisiones administrativas y en la mejora de los procesos en la industria petrolera?

De esta pregunta principal se puede derivar en las siguientes preguntas específicas:

1. ¿Los métodos actuales para generar valor en la industria petrolera, son lo suficientemente idóneos en comparación con el que propone la Teoría de las Restricciones?

2. ¿Cómo se puede alinear la metodología de Gestión de Proyectos con Cadena Crítica de la Teoría de Restricciones a un proyecto de desarrollo de la industria petrolera?
3. ¿Existe alguna herramienta o se puede diseñar alguna, que permita identificar las restricciones en la gestión de proyectos en la industria petrolera?

Las respuestas a estas preguntas permitirá conocer la aplicabilidad de la Teoría de Restricciones en la industria petrolera en Colombia, buscando capitalizar oportunidades no vistas actualmente en los proyectos de desarrollo de campos de producción, así como una metodología para su aplicación práctica y sistemática que permita a los tomadores de decisión y gestores de proyectos tener nuevas herramientas que hagan más efectivas sus decisiones en búsqueda de crear valor sostenido a sus procesos y empresas.

2.4 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

2.4.1 Objetivo general

Comprobar el uso de la Teoría de Restricciones en la gestión de proyectos de desarrollo de campos petroleros que permita plantear mejoras en su ejecución asegurando los plazos de tiempo y presupuestos fijados.

2.4.2 Objetivos específicos

1. Identificar y definir los métodos actuales de gestión de proyectos y compararlos con el método propuesto por la Gestión de Proyectos con Cadena Crítica de la Teoría de Restricciones y cómo ambos direccionan la empresa a alcanzar sus objetivos.

2. Aplicar el modelo de Gestión de Proyectos con Cadena Crítica de la Teoría de Restricciones a un proyecto de desarrollo de un campo petrolero alineándose a los objetivos que busca la empresa.

3. Identificar los cambios necesarios a realizar a la planeación original del proyecto que presente una alternativa viable de su ejecución.

2.5 JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO

Este estudio busca ser un aporte de la academia al conocimiento de la Teoría de las Restricciones y el potencial de su aplicación en la industria de producción de hidrocarburos, presentando una propuesta con la Gestión de Proyectos con Cadena Crítica como alternativa a la ejecución de proyectos de desarrollo de campos petroleros. El estudio se orienta a un proyecto de desarrollo actual de un campo de producción de hidrocarburos incluyendo la perforación de pozos productores e inyectores, construcción de facilidades de tratamiento de fluidos y almacenamiento de crudo, y las facilidades para la inyección de agua empleada como recobro secundario, administrado en una zona remota de la región nororiente colombiana.

CAPÍTULO 3. COMPARACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS ACTUALES DE GESTIÓN DE PROYECTOS VS GESTIÓN DE PROYECTOS CON CADENA CRÍTICA

3.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se presentan las prácticas comunes para la gestión de proyectos desde sus inicios en 1905 y su evolución pasando por las metodologías clásicas de CPM y PERT. Así mismo se presentan los fundamentos de la Teoría de Restricciones y de la Gestión de Proyectos con Cadena Crítica, profundizando en los pasos para su aplicación y el impacto esperado en el cumplimiento de los objetivos de un proyecto.

Al igual que en la Teoría de Restricciones aplicada en procesos productivos, la gerencia tradicional de lograr los mejores desempeños locales en cada parte del proceso de producción, no garantiza el mejor desempeño global de una empresa (Goldratt, 1997, Gupta & Boyd, 2008). Así mismo en un ambiente de proyectos, el supuesto de que el único modo de lograr un buen desempeño en cuanto a costos es mediante un buen desempeño local en la ejecución de cada actividad del proyecto, obstaculiza las soluciones de fondo y afecta el normal funcionamiento de las personas dentro del sistema. La Teoría de las Restricciones y Cadena Crítica considera este problema como medular en las organizaciones (Goldratt, 1997).

3.2 GERENCIA DE PROYECTOS EN LA INDUSTRIA PETROLERA COLOMBIANA

El Instituto para la Gerencia de Proyectos (PMI por sus siglas en inglés "*Project Management Institute*"), define proyecto como el esfuerzo temporal emprendido para crear un bien, servicio o resultado singular. De manera que el gerenciamiento del proyecto enmarca la forma en que se alcanzan los objetivos que desea el cliente del proyecto, esto implica integrar múltiples disciplinas, recursos y el logro de objetivos secundarios, todo orquestado en un proceso. Todas las variables de recursos

monetarios, personas, tiempo, riesgos, entre otras, tienen un extenso grado de incertidumbre, todo manejado por el gerente del proyecto (PMBOK, 2013).

La industria petrolera ha adoptado las prácticas del PMI como metodología para el gerenciamiento y ejecución de sus proyectos. Sin embargo continúa siendo grande el margen de oportunidad de mejora en el cumplimiento de los proyectos a tiempo y dentro del presupuesto.

La literatura presenta reportes de la declinación del desempeño de los proyectos en la industria petrolera (Ernst & Young, 2012, Love, Edwards, Irani, Goh, 2011, Merrow, 2011), en especial en proyectos de perforación (Adekunle, 2007). Merrow (2011) comparó el desempeño de proyectos de la industria petrolera con aquellos de la industria química, minera y de producción, mostrando como entre 1992 y 2005 el desempeño era del 50% en referencia a estos últimos. El desempeño de los proyectos de la industria petrolera se ha reducido por encima del 30% entre el 2005 y el 2010, con sobrecostos del 33% en promedio y desplazamientos de cronograma del 30%. Schroeder y Jackson (2007) reportaron un promedio de proyectos fallidos del 30%, con sobrecostos mayores al 20%.

En un mercado de materias primas (mejor llamados en inglés “*commodities*”) como lo es el petróleo, donde la oportunidad es vender el barril de crudo hoy al mejor precio disponible y expuesto al riesgo actual de la volatilidad del precio, se incrementa la importancia del gerenciamiento de los proyectos con el propósito de materializar sus objetivos de finalización del proyecto en el tiempo y costo presupuestado.

3.3 EVOLUCIÓN DE LA GERENCIA DE PROYECTOS

La gerencia de proyectos ha tenido varios desarrollos desde su primer registro en 1905 con Henry Gantt, quien se enfocó en el control de las operaciones de producción con ayuda de técnicas gráficas como el diagrama de Gantt (Gerald, Lechter, 2012). En 1957 fue el método de la ruta crítica (CPM por sus siglas en inglés de “*Critical Path*”

Method”) que desarrolló la empresa DuPont con el propósito de controlar y optimizar los costos por medio de una planificación y programación propicias de las tareas que componen el proyecto (Wickwire, Ockman, 2000). Así mismo, en 1958 se desarrolló la técnica de revisión y evaluación de proyectos (PERT por sus siglas en inglés de “*Project Evaluation and Review Techniques*”) en la ejecución del proyecto Polaris de la marina del departamento de defensa de Estados Unidos, con el que se analiza el tiempo necesario para completar cada tarea de un proyecto y como resultado el tiempo mínimo requerido para completar todo el proyecto, todo con ayuda de diagramas de líneas de tiempo (Engwall, 2012).

3.3.1 Método de la ruta crítica (CPM)

Este método permite tener la secuencia de elementos de un proyecto en un proceso organizado y presentado como una red. La secuencia determina el menor tiempo requerido para completar el proyecto organizando los elementos con mayor tiempo de duración. La duración de la serie más larga de eventos, determina la ruta crítica y por ende, la duración del proyecto. Cualquier evento que retrase la ruta crítica, también retrasará la duración total del proyecto (Niebel, Freivalds, 2007).

Determinar la ruta crítica permite tomar decisiones de priorización de tareas, así como determinar las fechas de finalización de tareas y del proyecto, y de enfocar los esfuerzos en donde requiera el proyecto para su cumplimiento.

Las actividades son modeladas y presentadas en un diagrama de red con nodos y flechas, donde los nodos representan los eventos y las flechas el inicio, final y su secuencia. Como ejemplo genérico se presenta la figura 2 con un sistema simple de eventos requeridos y el tiempo esperado para completar cada uno de ellos:

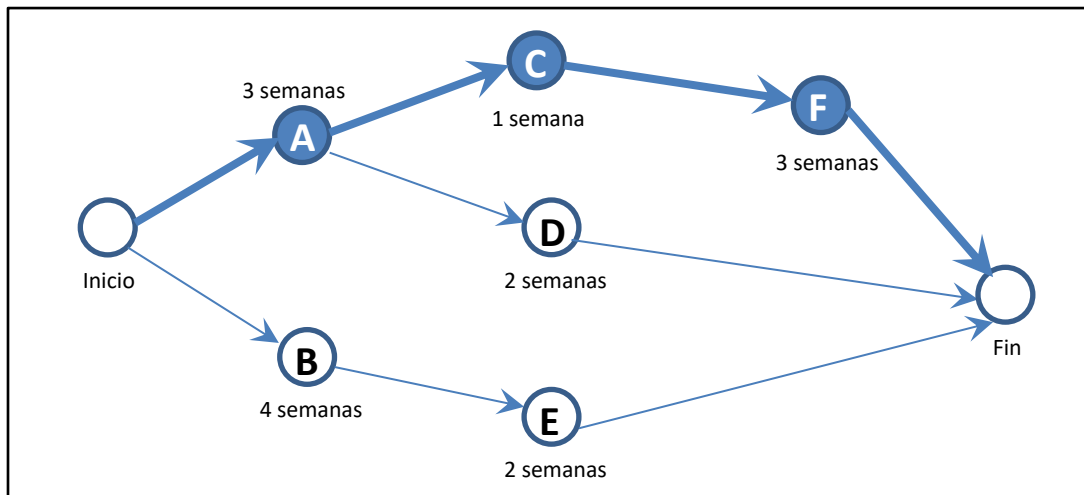


Figura 3. Diagrama de ruta crítica

La ruta crítica es la secuencia de actividades de mayor duración que determina la duración del proyecto. En la figura 2, la ruta crítica comienza en Inicio, continúa en el nodo A con 3 semanas de duración, nodo C con 1 semana de duración, nodo F con 3 semanas de duración y termina en Fin, para una ruta de 7 semanas de duración.

Hay seis pasos en la metodología de ruta crítica (Heizer, Render, 2007):

1. Especificar las actividades individuales
2. Determinar la secuencia de esas actividades
3. Dibujar un diagrama de red
4. Estimar el tiempo de finalización para cada actividad
5. Identificar la ruta crítica (el camino de mayor duración)
6. Actualizar el diagrama CPM a medida que avanza el proyecto

3.3.2 Técnica de revisión y evaluación de programas (PERT)

Comparable a la metodología CPM, la metodología PERT emplea un diagrama más robusto para representar proyectos de mayor complejidad con una serie de actividades que pueden ser desarrolladas secuencialmente y otras en paralelo. PERT estima la duración del proyecto incluyendo la incertidumbre en la duración estimada de cada una de sus actividades (PMBOK 2013). Una de las mayores diferencias con CPM

es que emplea un promedio de distribución para el tiempo estimado, en cambio del valor mejor estimado que emplea CPM.

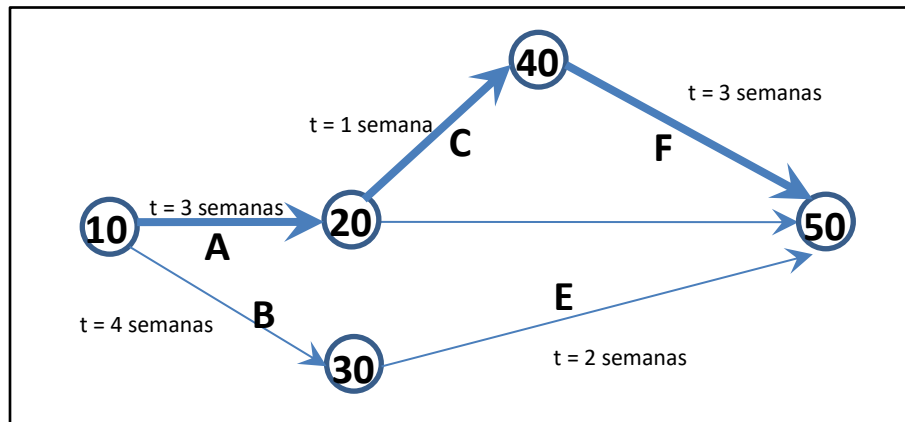


Figura 4. Diagrama de red usando metodología PERT

Similar a la metodología CPM, PERT cuenta con seis pasos (Heizer, Render, 2007):

1. Especificar las actividades individuales y los hitos
2. Determinar la secuencia apropiada de actividades
3. Construir un diagrama de red
4. Estimar el tiempo requerido para cada actividad
5. Determinar la ruta crítica
6. Actualizar el diagrama PERT a medida que avanza el proyecto.

Para la estimación del tiempo requerido para cada actividad, el método PERT incluye la incertidumbre en los tiempos de ejecución de las actividades incluyendo tres estimaciones para cada tiempo a estimar (Heizer, Render, 2007):

1. Tiempo optimista: el tiempo razonable más corto.
2. El mejor tiempo estimado: el tiempo en terminar la actividad con la mayor probabilidad.
3. Tiempo pesimista: el mayor lapso de tiempo que puede tomarse en ejecutar la actividad.

El método asume una probabilidad con distribución beta en cada estimación de tiempo. El tiempo esperado para cada actividad se calcula usando un promedio ponderado:

Tiempo esperado

$$= \frac{\text{Tiempo Optimista} + (4 \times \text{Mejor tiempo estimado}) + \text{Tiempo Pesimista}}{6}$$

Para calcular la varianza del tiempo de ejecución de cada actividad, suele emplearse tres desviaciones estándar para el tiempo optimista y pesimista, de manera que hay seis desviaciones estándar entre ellas, así la varianza es:

$$\sigma = \left[\frac{\text{Estimado pesimista} - \text{Estimado optimista}}{6} \right]^2$$

3.4 TEORÍA DE RESTRICCIONES

La Teoría de Restricciones (TOC por sus siglas en inglés de “*Theory of Constraints*”) es desarrollada por el físico israelí Eliyahu Goldratt en los años 80’s, convirtiéndose en una Teoría ampliamente debatida luego de que salió a la luz en su libro *La Meta*. La Teoría de Restricciones es todo un proceso de mejoramiento continuo, basado en un pensamiento sistemático, que ayuda a las empresas a incrementar sus utilidades con un enfoque práctico, que identifica las restricciones en los procesos para alcanzar sus objetivos, y permitiendo efectuar los cambios necesarios para eliminarlos (Goldratt, 1993).

La propuesta de Goldratt es reconocer que la meta de una empresa es ganar dinero ahora y en el futuro. A pesar de parecer una meta que no involucra la sociedad y su desarrollo, la meta en su contexto genera resultados que sí desarrollan la sociedad alrededor de la empresa, (Goldratt, 1993).

El concepto de la Teoría de las Restricciones puede resumirse en que todo sistema tiene al menos una restricción. Una restricción es cualquier cosa que limita un sistema de alcanzar su óptimo desempeño en referencia a su meta. Según Goldratt, en el caso que la tasa de producción de todo el proceso está delimitada por la capacidad de la restricción o cuello de botella, cualquier tiempo ganado en la restricción es tiempo ganado en todo el proceso. Por ello es supremamente importante mantener los cuellos de botella trabajando y evitar a toda costa que se detenga (Goldratt, 1984).

La presencia de una restricción representa una oportunidad de mejora. Ya que la restricción determina el desempeño de un sistema, la elevación o gradual optimización de la restricción, mejorará el desempeño del sistema (Gupta, Bhardwaj, Kanda, 2010). Las restricciones no son negativas ni positivas, son una realidad puesto que en una gran cadena de recursos interdependientes solo unos pocos de ellos, los cuellos de botella o restricciones, condicionan la salida de toda la producción, es por ello que hay que utilizarlos para manejar el flujo del sistema productivo. De esta manera, el proceso de mejora será un esfuerzo continuo, para lo que la TOC generó una metodología para el gerenciamiento y mejora de un sistema productivo.

Los cinco pasos de enfoque en el proceso, constituyen un proceso de mejora continua que evalúa el sistema de producción y el mercado para determinar cómo obtener la mayor rentabilidad usando el sistema de restricciones. Los pasos son:

1. Identificar la restricción del sistema: pueden ser físicas (materiales, equipos, personas, etc.), el mercado (poca demanda) o de gerenciamiento (políticas equivocadas). Se deben identificar y priorizar de acuerdo al impacto en la meta de la empresa (Shams-ur-Rahman, 1998). En la ejecución de proyectos, las tendencias de las personas a señalarse ellos mismos que son los recursos de mayor carga de trabajo y por ende la restricción del sistema, se convierten en un conflicto que puede resolverse en la implementación del quinto paso cuando todo el proceso se repite (Yang, 2007).

2. Definir cómo explotar la restricción: si la restricción es física, el objetivo es utilizar la restricción tanto como sea posible llevándola a su máxima eficiencia. En el caso de una restricción gerencial, esta no debe ser explotada, sino eliminada y reemplazada por una nueva política que será el soporte para el incremento del *throughput* (Shams-ur-Rahman, 1998).

3. Subordinar el sistema a la restricción: esto implica que cada componente del sistema que no es una restricción, debe ser ajustada para que apoye a la restricción y que esta alcance su máxima eficiencia. Los demás elementos del sistema que no son restricciones, tienen una capacidad productiva y una capacidad de ocio, de manera que al ser usados por encima de su capacidad productiva no se obtendrá ningún incremento en la generación de valor del sistema, pero si se incrementará el inventario del proceso (Shams-ur-Rahman, 1998).

4. Elevar la restricción: al ser la restricción existente el recurso más crítico del sistema, todo esfuerzo de mejora en esa restricción que incremente su desempeño, causará que se incremente el potencial de producción de las no restricciones, generando así una mejora en el desempeño de todo el sistema (Shams-ur-Rahman, 1998).

5. Regresar al paso 1: si en cualquiera de los pasos anteriores se rompe la restricción, se debe regresar al primer paso. Esto es, no debe continuarse con la inercia de la misma restricción, sino volver de nuevo al paso 1 (Blackstone and Cox, 2008).

Para el caso en que el cuello de botella ha llegado a limitar la producción total del proceso, no hay lugar a producir más de lo que la restricción puede procesar. De manera que la mejor manera de mantener el sistema bajo control, es ubicar la restricción en el primer lugar del proceso, así el flujo de la producción continuaría sin

problemas hasta su entrega final y las demás etapas del proceso deberán funcionar para que la restricción no se detenga, (Goldratt, 1994).

En el caso de conseguir incrementar la capacidad de la restricción, no se tendrá que seguir optimizando la misma etapa del proceso, como una inercia, sino que se deberá buscar la siguiente restricción o cuello de botella, buscando así, la mejora continua en los procesos de trabajo.

En el momento en que desaparezca el último cuello de botella, es decir, cuando la capacidad sea suficiente para satisfacer la demanda, la limitación pasa a estar por fuera del sistema, esto es en el mercado.

3.5 GESTIÓN DE PROYECTOS POR CADENA CRÍTICA

La metodología de Gestión de Proyectos con Cadena Crítica (CCPM por sus siglas en inglés "*Critical Chain Project Management*") fue publicada por Eliyahu M. Goldratt en 1997 en su obra más conocida como Cadena Crítica, donde se expone el método basado en la Teoría de las Restricciones, creada por él mismo.

3.5.1 Generalidades

Al igual que la Teoría de Restricciones, en Cadena Crítica aplican los mismos cinco pasos:

1. Identificar la restricción del sistema.
2. Definir cómo explotar la restricción.
3. Subordinar el sistema a la restricción.
4. Elevar la restricción.
5. Regresar al paso 1.

La relación entre Teoría de Restricciones y Cadena Gestión de Proyectos con Cadena Crítica, puede resumirse en la siguiente tabla (Yang, 2007):

	Teoría de Restricciones	Gestión de Proyectos con Cadena Crítica
Paso 1	Identificar la restricción del sistema	Identificar la Cadena Crítica
Paso 2	Definir cómo explotar la restricción	Condensar la duración de las actividades
Paso 3	Subordinar el sistema a la restricción	Insertar amortiguadores de proyecto y de cadenas de alimentación
Paso 4	Elevar la restricción	Cambiar el pensamiento convencional a iniciar la ejecución de tareas en la fecha más tardía
Paso 5	Regresar al paso 1	Actualizar la programación

Tabla 1. Aplicación de procedimientos de Teoría de Restricciones y Cadena Crítica
Fuente: Adaptado de Yang (2007)

La ejecución de los cinco pasos en el gerenciamiento de proyectos, ha reportado menores tiempos de ejecución de proyectos sin incrementos en los costos o disminución en la calidad del producto a entregar (Umble & Umble, 2000).

Podría señalarse que el método de Cadena Crítica es relativamente nuevo por su implementación apenas desde finales de los años noventa, sin embargo la aceptación ha sido importante desde grandes empresas hasta pymes, obteniendo mejores resultados en la ejecución de sus proyectos. Algunos ejemplos significativos que usan la Gestión de Proyectos con Cadena Crítica, son (OBS Business School, 2014):

- El Ejército de los Estados Unidos.
- Pfizer.
- NASA.

- Boeing.
- Philips.
- Intel.
- Siemens.
- Johnson Controls.
- Bosch.
- Mazda
- CEMEX
- Organización Corona

3.5.2 Problemas comunes en ejecución de proyectos

Estudios realizados por Standish Group acerca de métodos tradicionales de gestión de proyectos, reflejan que solo el 44% de los proyectos terminan a tiempo, por lo general los proyectos terminan en un 222% del plan inicial y con el 189% del presupuesto original, 70% de los proyectos no consiguen su alcance planeado y el 30% es cancelado antes de su terminación (The Standish Group Chaos Report 1994, 2012).

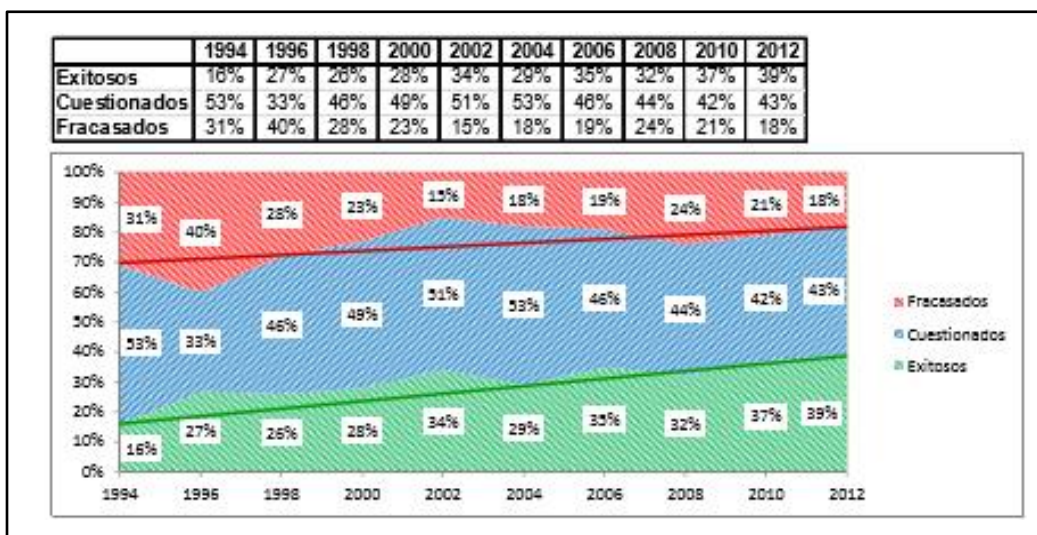


Figura 5. Desempeño de los proyectos
Fuente: The Standish Group, 2012

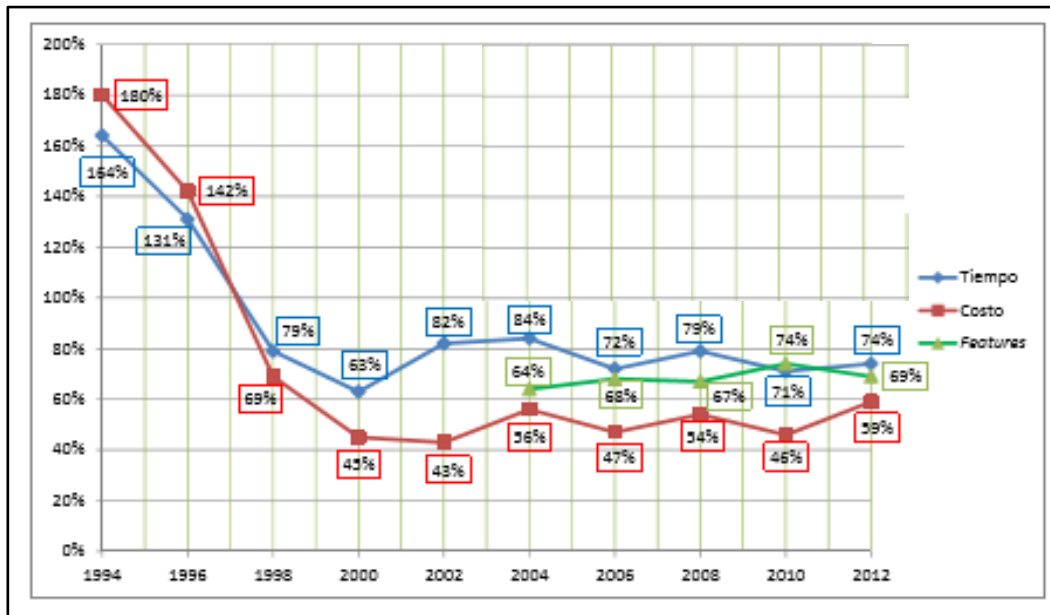


Figura 6. Desviaciones de los proyectos analizados
Fuente: The Standish Group, 2012

En resumen, los problemas comunes de los que adolecen los proyectos son:

1. Sobrepasar el presupuesto
2. Exceder el tiempo planeado
3. Comprometer el contenido o el alcance del proyecto.

Producto de estos análisis, Goldratt cuestiona las protecciones de seguridad en el tiempo de ejecución en todos y cada uno de los pasos de los proyectos versus su propuesta de tener la protección como un agregado al proyecto visto como un todo (Goldratt, 1997).

3.5.3 Estimaciones de tiempo para las actividades

Usualmente las estimaciones de tiempo para cada tarea, incluyen una protección contra la incertidumbre para cada una de las actividades durante todo el proyecto. Por lo general, las estimaciones resultan estar en el rango del 80% de probabilidad, ya que es menos probable terminar una actividad a tiempo sobre una estimación del 50%, que

con una del 80%. Esto significa que para todos y cada una de las actividades del proyecto, se incluyen factores de protección bastante grandes (Goldratt, 1997).

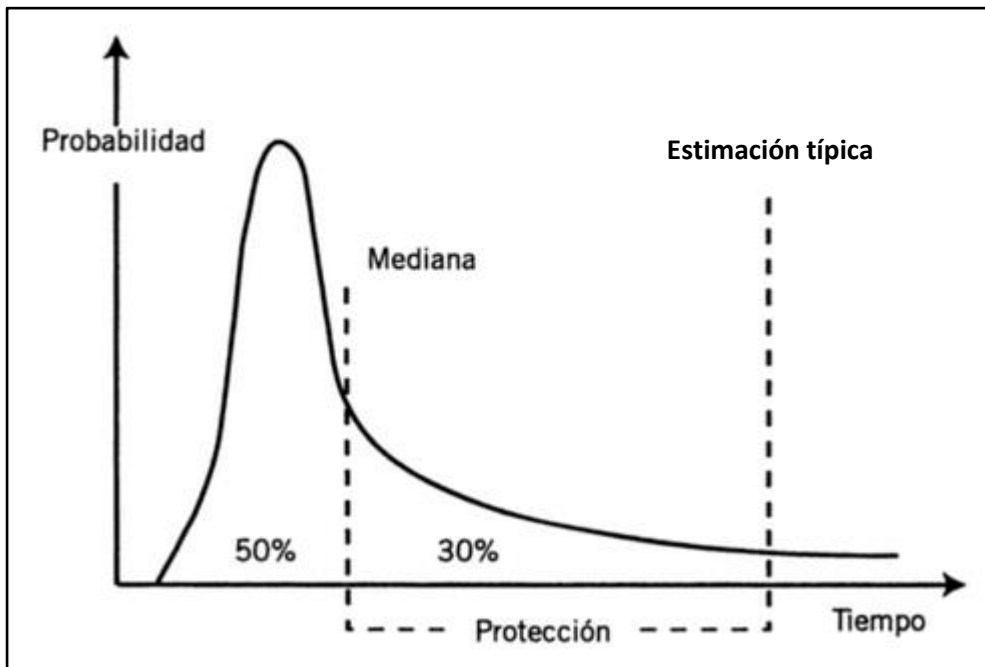


Figura 7. Probabilidad de duración de la actividad
Fuente: Cadena Crítica, Goldratt 1997

Otro aspecto que Goldratt deja en evidencia, es que la principal consecuencia financiera negativa del proyecto no es producto de los sobrecostos del mismo, sino del aumento en los plazos de ejecución que demoran su finalización. Para ello pone como ejemplo el sobrecosto causado en un proyecto del 16.2% que no altera significativamente el tiempo de retorno de la inversión, por otra parte, las demoras en la finalización del mismo proyecto llegan a impactar en tres y cuatro años adicionales el retorno de la inversión (Goldratt, 1997).

Este aspecto tiene su espejo en la filosofía de las compañías que se sumergen en obtener ahorros en dinero, contratando equipos y servicios más barato a costa de los riesgos de incumplir los plazos de ejecución, olvidando que el propósito de los proyectos no es ahorrar, sino generar dinero (Goldratt, 1997).

Goldratt presenta como actúan tres mecanismos diferentes para determinar comúnmente el margen de seguridad en las estimaciones de tiempo de casi todas las actividades de un proyecto:

1. Soportar los cálculos en una experiencia pesimista.
2. Cada nivel dentro de la organización va agregando su propio factor de protección, donde a mayor número de niveles gerenciales participan, mayor será la estimación total del proyecto.
3. Quienes realizan las estimaciones también se protegen de los recortes globales de la dirección.

Así, la protección abarca la mayor parte de tiempo estimado de un proyecto (Goldratt, 1997).

Las observaciones realizadas por Goldratt y otros como Shonberger (1982), notan lo habitual que los proyectos lleguen a alargarse hasta su plazo máximo, exponiéndose a sufrir retrasos por otras causas que están fuera del control del gerente del proyecto. Estas observaciones concluyen que el origen de los retrasos en cualquier proyecto se origina de los siguientes efectos indeseables:

1. Síndrome del estudiante: donde algo de trabajo se hace al inicio de la tarea y de manera efectiva se ejecuta al final del tiempo presupuestado para tal actividad. Esto es, postergar el inicio de la actividad al último momento, causando que los resultados no puedan obtenerse hasta alcanzar el plazo máximo fijado para cada tarea o, en el peor de los casos, que lleguen con retraso (OBS Business School, 2014). La consecuencia final es que ante cualquier incidencia o problema, no queda tiempo para resolverlo sin que se afecte la fecha fin de la tarea.

2. Ley de Parkinson: Dado que a pesar que algunas actividades puedan terminarse antes de tiempo, el común de los proyectos señala que siempre se encuentra algo más en el programa para realizar. En otras palabras, el trabajo se expande hasta llenar el tiempo disponible para completar la tarea. De esta manera, es más probable que no se reporten terminaciones anticipadas de actividades, y aún si se reportaran, el tiempo ganado no se aprovecharía en el siguiente paso (Goldratt, 1997).

3. Multitareas dañinas: Cuando un recurso comienza a trabajar en una tarea, y se mueve a otra tarea, sin haber completado la primera en ejecución. “Hacer tareas simultáneas hace que se reduzca la velocidad para hacer las cosas, incrementando las posibilidades de cometer errores. Disrupciones e interrupciones son malas desde el punto de vista de nuestra habilidad para procesar información” (Meyer E. David, 1997). Como ejemplo, una persona tiene tres actividades: A, B, C, cada una de ellas requiere de 10 días de dedicación para un total de 30 días, sin embargo el requerimiento de atender las tres simultáneamente, hace que a cada una le dedique 5 días antes de continuar a la siguiente resultando en un tiempo total de 20 días pero entregando cada una de ellas en 20 días (Goldratt, 1997 pág. 158).

Dentro de este escenario, se han propuesto cuatro tipos de congelación que permiten combatir el ambiente multitarea y agilizar la entrega final de la actividad o el proyecto:

- Congelar tareas o actividades.
- Congelar cadenas o rutas de trabajo: se colocan holguras como protección ante la incertidumbre, luego la tarea o actividad se inicia tan tarde como sea posible logrando reducir las multitareas. La capacidad liberada por congelar tareas, permitirá completar tareas más rápido. Una vez que se ha completado una tarea, la siguiente se descongela para su gestión.

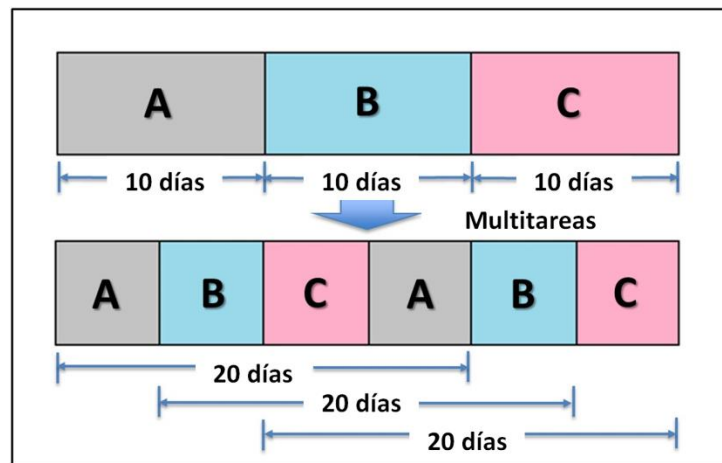


Figura 8. Duración de actividades ejecutadas en multitareas
Fuente: Goldratt, 1997

- Congelar proyectos, en el caso de multiproyectos: se congelan los proyectos de menor prioridad (que representan un 25% de la carga acumulada).

Todo esto con el objetivo de completar las actividades o proyectos abiertos mucho más rápido.

4. Dependencia entre los pasos: las dependencias entre las actividades causan que las demoras se acumulen y los adelantos se desperdicien. Por ejemplo, en una empresa que ejecuta varios proyectos, si incrementa el tiempo de protección de cada paso, se prolongará el tiempo de entrega de todos los proyectos, y por ende se estarán realizando más proyectos al mismo tiempo (Goldratt, 1997).

En el caso de actividades en paralelo, la demora más grande se transfiere al siguiente paso y las actividades que ahorraron tiempo terminando anticipadamente no cuentan para nada. Esto equivale a que la mayoría de los márgenes de seguridad de cada paso no sirvieron (Goldratt, 1997).

De estas cuatro maneras, la mayor parte de la protección en cada actividad se desperdicia, a pesar de haber utilizado un gran margen de seguridad el proyecto entero

afrenta el riesgo de retrasarse. A pesar de los esfuerzos de proteger el tiempo de ejecución de cada actividad, lo único que cuenta es el cumplimiento del proyecto entero (Goldratt, 1997).

3.5.4 Uso de amortiguadores

Mientras que en un ambiente de producción se protegen las estaciones de trabajo con mayor inventario, en un ambiente de proyectos la ejecución de las actividades se protegen con tiempo. El único lugar en el que se desea mantener una eficiencia del 100% es en la restricción o cuello de botella, es allí donde se requiere de esa protección. Un cuello de botella es un recurso cuya capacidad no es suficiente para producir las cantidades que el mercado requiere. De este modo, el cuello de botella le impide a la compañía ganar más dinero (Goldratt, 1997).

Teniendo en cuenta la mayor pérdida de tiempo en la Cadena Crítica son los tiempos de seguridad con que se concibe cada actividad individualmente, la única manera de agilizar la terminación del proyecto es remover esos tiempos de seguridad de las actividades individuales, eso no significa que la Cadena Crítica queda desprotegida, por lo que se introducen los amortiguadores de proyecto y de alimentación, donde estos amortiguadores en tiempo permiten llevar a todas las actividades y rutas del proyecto a subordinarse a la restricción (a la Cadena Crítica) (Umble, M., & Umble, E. (2000).

La Gerencia de Proyectos con Cadena Crítica se enfoca en alcanzar el objetivo global del sistema subordinando las actividades individuales al logro de ese objetivo. Esto conlleva a reconsiderar los plazos fijados para cada una de las actividades de un proyecto y eliminar sus protecciones individuales, esto es, eliminar los óptimos locales del proyecto. Agregar la seguridad para todo el proyecto se conoce como amortiguador, que aplica para cadenas de tareas dependientes agregando protecciones conocidas como amortiguadores de alimentación, y también la agregación de la protección para la cadena crítica del proyecto se conoce como amortiguador de proyecto.

En la práctica, luego de identificar la restricción para ubicar la protección o amortiguador, se determina la longitud de ese amortiguador. Para eso, se suma la duración de una cadena y se determina el tamaño del amortiguador como la mitad del total. No se debe contar los espaciamientos entre actividades. Para las cadenas que alimentan la cadena superior, se debe considerar la cadena de más larga duración.

$$\text{Amortiguador} = 0.5 \sum_{i=1}^n (d_i - T_{ri})$$

n : es el número de actividades pertenecientes a la Cadena

d_i : es la duración de la actividad i

T_{ri} : es la reducción de la duración de la actividad i

Que como regla inicial es tomar el tiempo total de ejecución de la actividad y recortarlo a la mitad, lo que se convierte en el tiempo planeado de la actividad. El amortiguador de tiempo será la mitad de ese tiempo.

El origen sistémico de la Gerencia de Proyectos con Cadena Crítica dedica su atención al logro del objetivo del sistema y subordina las actividades individuales al logro del objetivo mayor, esto es, eliminar los óptimos locales. Por lo tanto, esta metodología implica eliminar las fechas intermedias de las actividades y la protección individual (en tiempo) de las tareas que esto implica. La agregación de seguridad para todo el proyecto es la sugerencia de esta metodología. Este mecanismo se conoce como amortiguador y aplica tanto para la cadena de actividades dependientes contemplando los recursos – que es la Cadena Crítica – como para las cadenas de actividades que sin ser críticas son necesarias para el desarrollo exitoso del proyecto. De esta manera se define el amortiguador del proyecto y los amortiguadores de alimentación.

El equivalente en proyectos del cuello de botella es la ruta crítica. No se debe desperdiciar el tiempo asignado a la ruta crítica, ya que obviamente afectaría todo el proyecto. El problema es que cada actividad ha sido afectada por mucho tiempo de protección. Finalmente la protección debe proteger la restricción, es decir, la ruta crítica (Goldratt, 1997).

Amortiguador de proyecto: es el tiempo adicionado al final de la Cadena Crítica para proteger el cumplimiento de terminar el proyecto en la fecha planeada. Goldratt sugiere como regla que el tiempo de seguridad es igual a al a mitad del tiempo planeado para cada actividad. Adicionalmente, Goldratt sugiere que la mitad de ese tiempo se convierta en el amortiguador de proyecto ubicado al final de la Cadena Crítica. Para esto, se eliminan los tiempos de seguridad de todas las actividades del proyecto (50% como regla sugerida por Goldratt), las protecciones que corresponden a la ruta crítica se suman y se desplazan al final del proyecto.

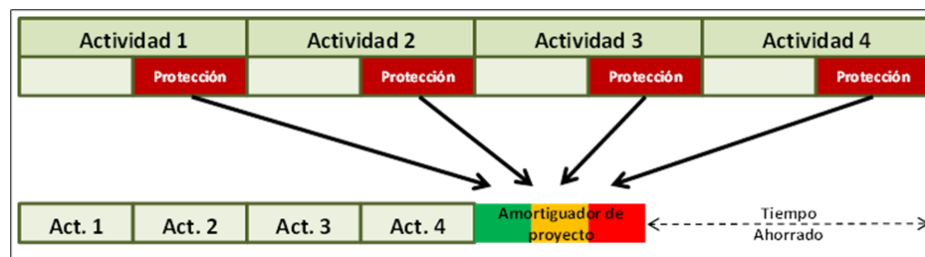


Figura 9. Ubicación de amortiguador de proyecto
Fuente. Adaptado de Goldratt, 1997

El paso siguiente que es subordinar todo lo demás a la ruta crítica, es la garantía que protege la restricción y evita que se pierda tiempo por problemas que ocurren en otras partes del proyecto, incluso ajenas al mismo. Esto se logra introduciendo amortiguadores de alimentación.

Amortiguadores de alimentación: su función es proteger la Cadena Crítica de los retrasos de las rutas que no son críticas. Estos son introducidos en los puntos donde las rutas no críticas se unen con la Cadena Crítica. Goldratt sugiere que este amortiguador sea la mitad del tiempo que se quitó de las rutas no críticas. Por cada

actividad que compone cada ruta de alimentación se decide recortar la estimación de tiempo a la mitad y usar la mitad del tiempo de entrega recortado como “amortiguador de alimentación” (Goldratt, 1997).

El amortiguador de alimentación protege la ruta crítica de las demoras que ocurren en las rutas que nos son críticas. Cuando el problema genera un retraso mayor que el amortiguador de alimentación, la fecha de terminación del proyecto continúa estando protegido por el amortiguador del proyecto (Goldratt, 1997).

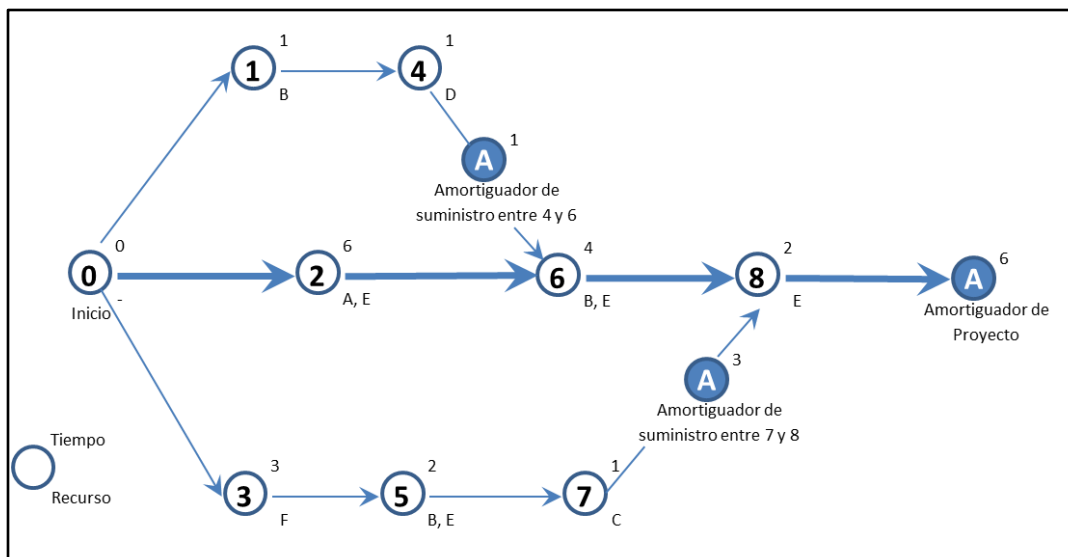


Figura 10. Amortiguadores de alimentación y del proyecto
Fuente. Vanhoucke, 2012

Otro amortiguador que introduce Goldratt, es el amortiguador de recursos, necesario para el momento en que todo está listo para avanzar un paso en la ruta crítica, con excepción del recurso necesario que esté ocupado en otra actividad. Para ello, el amortiguador de recurso actúa como una alarma recordando al recurso con anterioridad que está por comenzar su actividad en un paso de la ruta crítica, por lo tanto, al llegar el momento debe dejar todo y trabajar en la ruta crítica.

La mayoría de las personas que trabajan en un proyecto, rara vez están totalmente conscientes de la magnitud de los daños que causan las demoras. Es por ello, que cuando se realizan negociaciones con proveedores o contratistas no se da la

debida importancia al tiempo de entrega, como si se le da al precio. Inclusive puede considerarse el ofrecimiento de un mayor precio a cambio de un menor tiempo de entrega (Goldratt, 1997).

Otra problemática que se presenta es cuando se supone que se debe comenzar una actividad determinada en una ruta no crítica, pero el recurso no está disponible, y a su vez, el recurso está trabajando en una actividad que tiene un retraso. Esta situación conduce a que las demoras pasan de una ruta no crítica a otra y los amortiguadores de alimentación no logran ser suficientes para absorber estos retrasos comenzando a consumir el amortiguador del proyecto. Esta situación causa que la ruta crítica pueda estar saltando de una ruta a otra (Goldratt, 1997).

En ese escenario, es el recurso quien se convierte en el problema y determina el tiempo de entrega. Ya que la dependencia entre actividades puede ser el resultado de una ruta, o de un recurso común, resulta en que la ruta más larga va a estar compuesta de secciones dependientes de la ruta y secciones dependientes de los recursos (Goldratt, 1997).

Ya que lo que cuenta es la restricción, y en este caso la restricción es la cadena más larga de pasos dependientes, y esta también puede depender de un recurso, la cadena de pasos que constituye la restricción es llamada la Cadena Crítica.

La Cadena Crítica elimina la competencia por los recursos en un proyecto. La competencia por los recursos significa que el mismo recurso debe realizar diferentes actividades al mismo tiempo. La eliminación de la competencia entre recursos, requiere muchas veces que se posponga una de esas actividades, el problema es decidir cuál. Aún más, cuando la competencia por el recurso es entre diferentes proyectos que comprometen a distintos gerentes de proyectos (Goldratt, 1997).

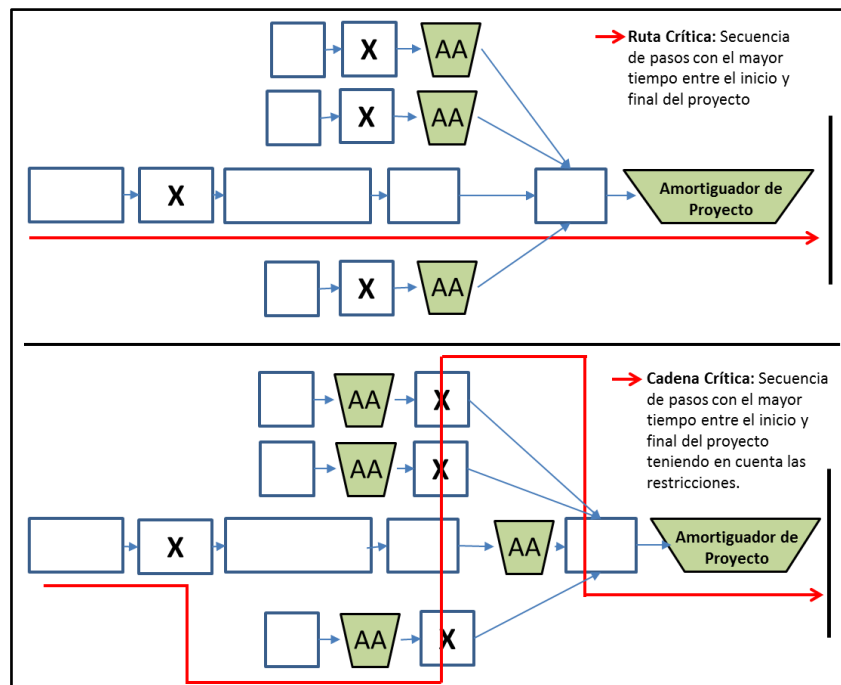


Figura 11. Ruta crítica vs. Cadena Crítica
Fuente. Goldratt, 1997

En el caso de producción, la TOC señala que cada vez que hay una cola de tareas frente a una máquina, las tareas están compitiendo por ser procesadas al mismo tiempo. Para ello, luego de identificar el cuello de botella se programa la secuencia de trabajo de ese cuello de botella, con ello se elimina la competencia por la restricción, subordinando así todos los demás recursos a ello. De igual forma se procede con la competencia de recursos en los proyectos, eliminando la mayoría de las sobrecargas de los demás recursos, y los picos eventuales de sobrecarga podrán ser absorbidos por los amortiguadores.

De tal manera que los amortiguadores del proyecto, alimentación y recursos, protegen un proyecto, y cuando se tienen más proyectos, se debe introducir el amortiguador del cuello de botella, del que depende el desempeño general de toda la organización. Estos amortiguadores, en especial los de alimentación, deben ser vigilados estrictamente en busca de advertencias anticipadas (Goldratt, 1997).

La Gestión de Proyectos con Cadena Crítica, ha sido notorio para mejorar los procesos en negocios al implementar su metodología que optimice todo el sistema y sea de soporte para la empresa (Leach, 2005). Ha sido reconocida como una solución a aspectos comunes en proyectos pobremente ejecutados, como por ejemplo (Jacob & McClelland, 2001):

1. Dificultades en terminar los proyectos a tiempo, en el presupuesto y cumpliendo su contenido.
2. Incremento en el número de reprocesos.
3. Los tiempos de entrega pactados son mayores a los deseados.
4. Los proyectos existentes no han finalizado antes de necesitar nuevos proyectos por cambio en las prioridades en la organización.
5. Los gerentes de proyectos y los gerentes de recursos tienen frecuentes conflictos acerca de sus prioridades y compromisos.
6. Los problemas en un proyecto generan una cascada de problemas en otros proyectos.
7. Algunos proyectos son sencillamente abandonados o terminados sin que la organización obtenga los beneficios comprometidos.
8. La organización es muy lenta para responder a las oportunidades.

La relación del costo del proyecto y la Gestión de Proyectos con Cadena Crítica ha sido presentada en varios estudios (Ajmal & Helo, 2009; Goldratt, 2004; Leach, 2005; Lechler, Ronen, & Stohr, 2005). La Gestión de Proyectos con Cadena Crítica se está presentando como un sistema que puede ahorrarles a las empresas tiempo y dinero en la ejecución de sus proyectos, tal como se ha reportado en varios artículos como Pophaley (2010) quien reportó mejorar los costos al explotar el recurso crítico o restrictivo en una compañía de automóviles: se identificó la restricción en una estación de trabajo eliminando las paradas de esta, incrementando su tiempo de servicio del 82.5% al 85%, permitiendo producir tres unidades más por semana impactando la rentabilidad de la compañía. Se ha documentado como el desarrollo del proyecto de un

nuevo producto pudo ser terminado con una reducción en el tiempo del 50% (Kania et ál., 2002).

3.5.5 Árboles de estrategia y táctica

Los árboles de táctica y estrategia se crearon para facilitar la planeación de cómo implementar esa táctica y estrategia, monitoreando su ejecución con la habilidad de analizar y resolver conflictos de planeación y ejecución que permitan tener mejoras al crear mejores prácticas de planeación y ejecución.

El Árbol de Estrategia y Táctica planteado por Goldratt (2002) permite estructurar las estrategias y tácticas necesarias para alcanzar la meta estratégica fijada en la intensión de desarrollo de cualquier organización. El árbol permite dar respuesta a las siguientes preguntas claves:

1. ¿Qué cambiar?
2. ¿Hacia dónde cambiar?
3. ¿Cómo causar el cambio?

Es necesario que para alcanzar estos cambios, las personas deben entender los cambios que ellos mismos necesitan hacer y el porqué de ellos. Para eso es importante dar respuestas a las siguientes preguntas de manera articulada y organizada para que puedan ser comunicadas, Goldratt (2008):

1. Para cada cambio que se necesita hacer, ¿qué se debe realizar?
2. ¿Qué cambiará para alcanzar la meta de la iniciativa?
3. ¿Actualmente qué debo hacer para realizar ese cambio?
4. ¿Por qué es necesario lograr el cambio?

El punto de partida de la estrategia y la táctica es fijar la meta a donde se quiere llegar por parte de la organización. En la Estrategia y la Táctica, el propósito de cada iniciativa se puede describir con los siguientes tres elementos, Goldratt (2002):

1. La Estrategia: es el “Para Qué” de la iniciativa. La meta que busca la organización alcanzar como resultado de su implementación. Señala la dirección de las actividades a ejecutar.

2. Supuestos paralelos: es el “Por qué” de la Táctica. Las condiciones que realmente existen y que son la guía para fijar el curso de acción para alcanzar la estrategia, convirtiéndose en los conectores lógicos entre la táctica y la estrategia y que explica porque la táctica es el curso de acción que se fija para lograr la estrategia.

3. La Táctica: es el “Cómo” de la iniciativa: lo que se necesita hacer para alcanzar la meta. El conjunto de actividades para alcanzar los objetivos e implementar la estrategia.

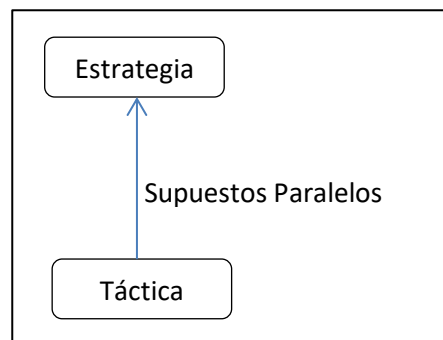


Figura 12. Relación estrategia - Supuestos paralelos - Táctica
Fuente. Scheinkopf (2010)

Una vez se ha definido la iniciativa en su nivel más alto, se pueden ramificar los pasos necesarios para su implementación. Para ello se debe desarrollar un “supuesto de suficiencia” que justifica el desarrollo de un siguiente nivel. El siguiente nivel o paso provee la guía para construir y capitalizar esa competencia necesaria del respectivo paso.

Cada nivel desarrollado de Estrategia y Táctica debe proveer mayor nivel de detalle con los cambios específicos que se deben ejecutar sin entrar en conflicto con los demás pasos y niveles.

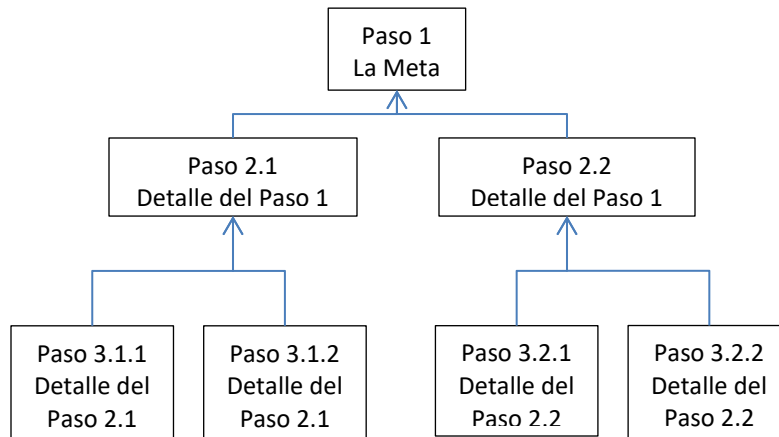


Figura 13. Niveles de detalle de estrategia y táctica
Fuente. Scheinkopf (2010)

La estrategia y la táctica son definidas en todos los niveles, indiferente al nivel de detalle. Cada entidad de Estrategia y Táctica está referenciada a un paso, y cada paso contiene los siguientes elementos Scheinkopf (2010):

1. El Supuesto de Necesidad: el “por qué” de este paso. La razón por la que el nivel más alto de Estrategia y Táctica no puede ser implementado a menos que se realice este cambio.

2. La Estrategia: el “Qué” de este paso. El objetivo o salida de este paso. Al alcanzar la estrategia, se cubre también el supuesto de necesidad.

3. Los Supuestos Paralelos: el “por qué” de la táctica. Las condiciones que realmente existen y que son la guía para fijar el curso de acción para alcanzar la estrategia, convirtiéndose en los conectores lógicos entre la táctica y la estrategia y que explica porque la táctica es el curso de acción que se fija para lograr la estrategia.

4. La Táctica: el “cómo” del paso, lo que se necesita hacer para alcanzar la estrategia.

5. El Supuesto de Necesidad: el “porqué” del siguiente nivel. Explica la necesidad de incluir otro nivel de detalle para este paso.

En la figura 13 se presenta cómo varias entidades tácticas y estratégicas son necesarias para alcanzar una entidad estratégica y táctica de nivel superior. A esto se le conoce como Árbol de Estrategia y Táctica que indica los pasos que como grupo son necesarios para continuar al paso superior.

Una vez construido el Árbol de Táctica y Estrategia, se podrá comunicar de manera coordinada la iniciativa dando respuesta a las siguientes preguntas:

1. Para cada cambio que se necesita hacer, ¿Qué debe hacer cada persona? La respuesta es dada por el Supuesto de Necesidad.
2. ¿Qué cambiará para alcanzar la meta de la iniciativa? La respuesta es dada por la Estrategia.
3. ¿Actualmente qué debo hacer para realizar ese cambio? La respuesta es dada por la Táctica.
4. ¿Por qué es necesario lograr el cambio? La respuesta es dada por los Supuestos Paralelos.

La revisión del Árbol de Estrategia y Táctica de manera vertical, permite identificar la alineación de cada nivel, la revisión horizontal permite identificar la sincronización entre los pasos. Esta estructura del árbol de Estrategia y Táctica permite identificar la ruta para entender cómo las acciones locales contribuyen a alcanzar meta global de la iniciativa, Goldratt (2002).

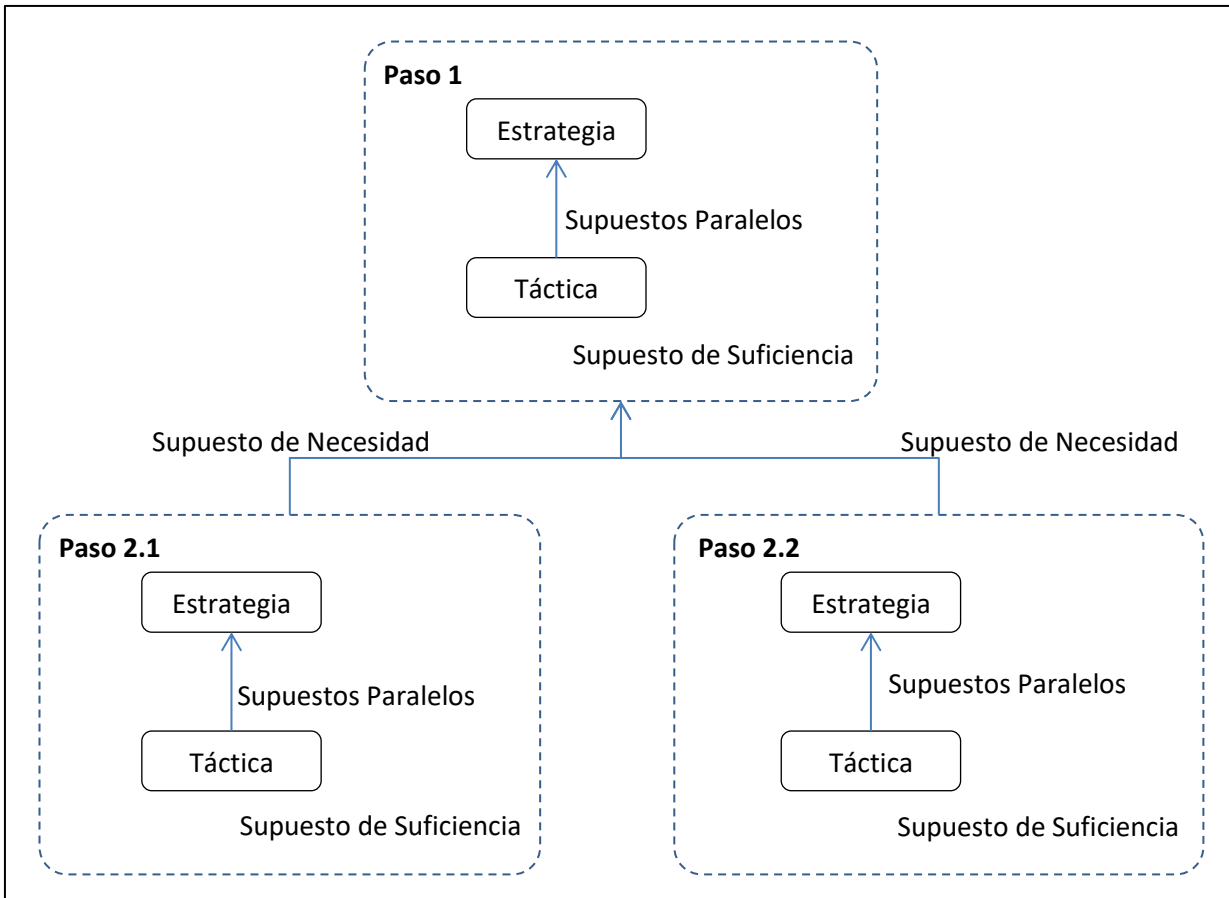


Figura 14. Árbol de estrategia y táctica
Fuente. Scheinkopf (2010)

Buscando que las organizaciones definan, documenten, comuniquen y de manera sistemática validen cada uno de los pasos hasta aquí descritos, tomándose el tiempo necesario para desarrollar la estrategia y la táctica con suficiente nivel de detalle, requiere de un importante nivel de esfuerzo administrativo para lograr lo que llama Goldratt como “armonía” en la organización motivada por los siguientes impulsores, Barnard (2013):

1. Conociendo exactamente como cada elemento de la organización debe contribuir y conociendo que su contribución será reconocida.
2. Conociendo exactamente como los demás elementos de la organización contribuirán y conociendo que su contribución será reconocida.

3. Todas las reglas y políticas están alineadas con los objetivos y estrategias de la organización.
4. Las brechas entre la responsabilidad y autoridad son sistemáticamente identificadas y removidas.
5. Procesos de mejora continua enfocada en restricciones y en cultura.

Existe software especializado que permite a una organización alinearse, planear, estructurar y hacer seguimiento a la ejecución de sus proyectos en búsqueda de esa armonía mencionada por Goldratt, acudiendo a los Árboles de Estrategia y Táctica, Gestión de Proyectos con Cadena Crítica y Gerenciamiento de Amortiguadores.

Los programas que se pueden encontrar en el mercado para la Gestión de Proyectos con Cadena Crítica, tienen sus bases en la metodología de Goldratt, presentando integraciones con otros apartes como lo son la planeación mediante árboles de Táctica y Estrategia, entre otros. Las características principales son la identificación de la cadena crítica y de cadenas de alimentación, cálculo y ubicación de amortiguadores de proyecto y de alimentación y el gerenciamiento de amortiguadores.

Estos programas hacen énfasis en los ambientes de ejecución de multiproyectos, útil para la ejecución con recursos compartido con el objetivo de maximizar el resultado global del portafolio de proyectos, integrando la sincronización entre ellos y disminuyendo las multitareas que ejecutan los recursos.

CAPÍTULO 4. APLICACIÓN DE GESTIÓN DE PROYECTOS CON CADENA CRÍTICA EN UN CASO DE PROYECTO DE DESARROLLO DE LA INDUSTRIA PETROLERA

4.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se expone el proyecto de desarrollo del campo TUV, desde sus generalidades, alcance del proyecto y entregables esperados. La evolución del proyecto afectado por la materialización de riesgos en el mismo, obligó primero a realizar cambios en el alcance del proyecto y por último la cancelación del mismo. El capítulo aborda el estado original del proyecto para generar la propuesta de su ejecución bajo la Gestión de Proyectos con Cadena Crítica.

Inicialmente, se presenta el caso de estudio a desarrollar, contextualizado en un campo maduro de explotación de hidrocarburos durante 60 años. El campo no tuvo mayor inversión para su desarrollo desde los años 90, razón por la que se ejecutaron estudios geológicos previos que concluyeron en la estructuración de un nuevo proyecto de desarrollo para recuperar las reservas no producidas del yacimiento. Este proyecto involucraba la perforación de pozos productores y de pozos inyectores de agua para la recuperación secundaria del crudo, así como la construcción de facilidades para el tratamiento, almacenamiento y despacho de crudo y también las facilidades para la inyección de agua.

El capítulo continúa exponiendo la estructuración del proyecto, la planeación y los riesgos que se materializaron, los cuáles inicialmente generaron controles de cambio en su alcance y finalmente terminó con la cancelación del proyecto.

En la segunda parte del capítulo se presenta la propuesta de desarrollo del proyecto con la Gestión de Proyectos con Cadena Crítica, tomando su planeación original y descontando las actividades que alcanzaron a ser ejecutadas, como lo fueron las ingenierías básicas de las facilidades de producción a construir. Acudiendo a los pasos de CCPM, se inicia reconociendo el cronograma del proyecto y el ambiente

multiproyecto que se maneja, dando pie a la congelación del subproyecto de desarrollo del anticlinal módulo 2, que es la segunda fase de todo el proyecto, permitiendo así enfocarse en el módulo 1.

A continuación se identifica la cadena crítica en función a la secuencia de actividades y los recursos o equipos destinados a su ejecución. Luego se identifican las estimaciones de las actividades del proyecto y sus protecciones individuales, con lo que se redimensiona el cronograma en su totalidad quitando las protecciones, se dimensiona la longitud del amortiguador del proyecto y los amortiguadores de cadena de alimentación.

Finalmente se presenta la comparación de los resultados esperados de la gestión original del proyecto versus la Gestión con Cadena Crítica propuesta.

4.2 PROYECTO DE DESARROLLO DE ESTUDIO

Tal como lo señala Goldratt en su libro Cadena Crítica, cada cosa que hacemos es un proyecto (Goldratt, 1997), en la industria petrolera existen varias actividades que por más simples que parezcan se comportan como un proyecto. La compra de un repuesto, un equipo, hasta el desarrollo y perforación de pozos y construcción de facilidades.

Como todo proyecto que se aprueba en función del valor presente neto y del tiempo de pago como indicadores principales, en la industria del petróleo se evalúa bajo un escenario futuro de precios de venta de crudo conservador, que sin desconocer los riesgos geológicos para el caso de perforación de pozos además de riesgos sociales y de seguridad en la construcción de facilidades de producción, también se enfrenta a cumplir con el tiempo de finalización del proyecto para así realizar la venta del producto a los precios esperados.

En los escenarios en que estos proyectos se retrasan, se enfrentan a situaciones como:

1. Disminución de los precios de venta final.
2. Aumento en el tiempo de repago del proyecto.
3. Cambios en el alcance.
4. Mayor exposición a la materialización de riesgos sociales, de seguridad y de inestabilidad en la contratación de obras y servicios.
5. Disminución del valor presente neto del proyecto.
6. Inicio de otros proyectos dentro de la organización que desfinancian el proyecto.
7. Uso de recursos en otros proyectos simultáneamente.

En la industria petrolera colombiana, se presenta un caso de proyecto de desarrollo de un campo petrolero llamado TUV. Este proyecto implica el renacer de un campo petrolero una vez que se determina su gran expectativa de crecimiento por las reservas que se calculan, por lo que en su alcance contiene perforación de pozos de producción, de inyección, construcción de facilidades de producción y todas las compras de equipos y contratación de obras y servicios que esto conlleva.

4.3 CONTEXTO HISTÓRICO

El campo TUV es un campo maduro con una historia de 60 años de explotación localizado al nororiente de Colombia, descubierto en el año 1941 y que ha estado sometido a recobro secundario (inyección de agua) desde los años 60. No obstante, a la fecha solo se ha logrado recuperar un 21% de las reservas del campo. Esta cifra es muy baja si se compara con campos de las mismas características con recobros entre el 28% y 35%. Este hecho representa un potencial adicional para el campo TUV, lo que soporta el plan de desarrollo del campo que pretende aumentar su factor de recobro al 28% a partir del aumento de la inyección de agua y la reducción del espaciamiento entre pozos, con el fin de incorporar 106.9 millones de barriles adicionales al año 2034.

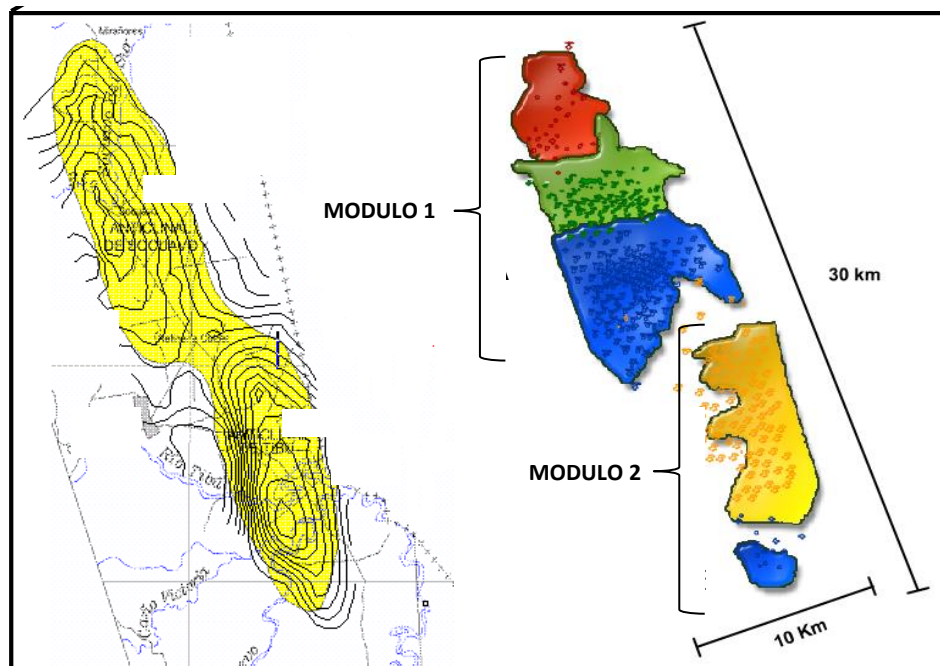


Figura 15. Localización del campo TUV

El campo tiene una extensión de 300 km², está constituido por 2 anticlinales (plegamiento de las capas superiores de las rocas similar a un arco en forma de domo, en donde el aceite puede depositarse en el punto más alto de la estructura) denominados módulo 1 y módulo 2. En cuanto a facilidades y tratamiento de la producción, el campo se divide en cinco áreas operacionales: A, B, C, D y E. El 84% de la producción proviene de la formación 1.

Los principales datos del campo TUV son:

- Fecha de descubrimiento: 1901
- Dimensiones: 30 x 10 km ~ 300 km²
- Máxima Producción alcanzada: 23.000 bbl/d (1963)
- Inicio de inyección: 1960
- Factor de recobro actual campo: 21%
- Pozos existentes 510, conformado de la siguiente manera:
 - 129 Productores

- 31 Inyectores
- 20 Abastecedores
- 164 Abandonados
- 163 Inactivos
- 3 Observadores

En este campo se han perforado 510 pozos de los cuales están activos 129 productores y 31 inyectores, 163 están inactivos y 164 abandonados. La máxima producción del campo llegó a ser de 23.000 bopd (barriles de aceite por día) en el año 1963. Actualmente el campo produce 1.880 bopd con una producción de fluidos de 16.850 bfpd (barriles de fluido por día, incluye el agua asociada), un corte de agua del 88% (BSW por sus siglas en inglés “Basic Sediment and Water”), y una inyección de agua de 26000 bwipd (barriles de agua inyectada por día).

Previamente se había ejecutado un proyecto cuyo principal objetivo fue el de obtener información mediante levantamiento e interpretación de sísmica 3D, para soportar la factibilidad técnico-económica del desarrollo del campo TUV.

El proyecto se presenta segmentado en dos partes para su ejecución llamados módulo 1 y módulo 2. La ejecución del módulo 1 igualmente está dividido en dos secciones: módulo 1A y 1B. La ejecución del módulo 1A solamente llegó hasta la realización de trabajos de intervención en 20 pozos existentes para su reactivación y mejora de producción, quedando sin iniciar la ejecución de la campaña de perforación y la construcción de la estación de tratamiento.

El módulo 1B no inició su ejecución, debido a la materialización de riesgos que ocasionó importantes retrasos en planeación, ejecución y en sobrecostos. La materialización de estos riesgos se revisará más adelante. Buscando viabilizar y ejecutar el proyecto, se consideraron y aprobaron recortes en su alcance y presupuestos de inversión y operación, cambios de estrategias de contratación y disminución en los objetivos originalmente trazados.

Entre los años 2008 y 2015, el proyecto TUV figuró en el portafolio de inversiones para su ejecución, con una expectativa técnica de incorporar 87 millones de barriles de crudo como reservas y una exigente inversión de 850 millones de dólares. Sin embargo, luego de la materialización de los riesgos y retrasos de planeación y ejecución, aunado con la baja cotización de los precios de venta del crudo, generó un viraje en la evaluación del proyecto, llegando a considerarse inviable el caso de negocio.

Finalmente el proyecto se descartó del portafolio de inversiones, abriendo posibilidades para otro tipo de caso de negocio como lo son inversiones de entes externos interesadas en desarrollar y ejecutar este proyecto.

4.4 OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO EN ESTUDIO

A continuación se presenta la estructuración original del proyecto y el nivel de ejecución y entregables que se realizaron:

Objetivo del proyecto: Desarrollar 87 millones de barriles de crudo (MBIs) de reservas 3P, de manera económicamente rentable entre los años 2012 y 2037, provenientes de la formación 1 del campo TUV mediante la realización de actividades de perforación (68.79 MBIs), *workover* (9.2 MBIs), adecuación y puesta en marcha de facilidades que permitan recolectar, tratar y transportar hasta 168 mil barriles (Kbls) de fluido de las formaciones 1 y 2. En la figura 15 se resume el alcance general del caso de negocio.

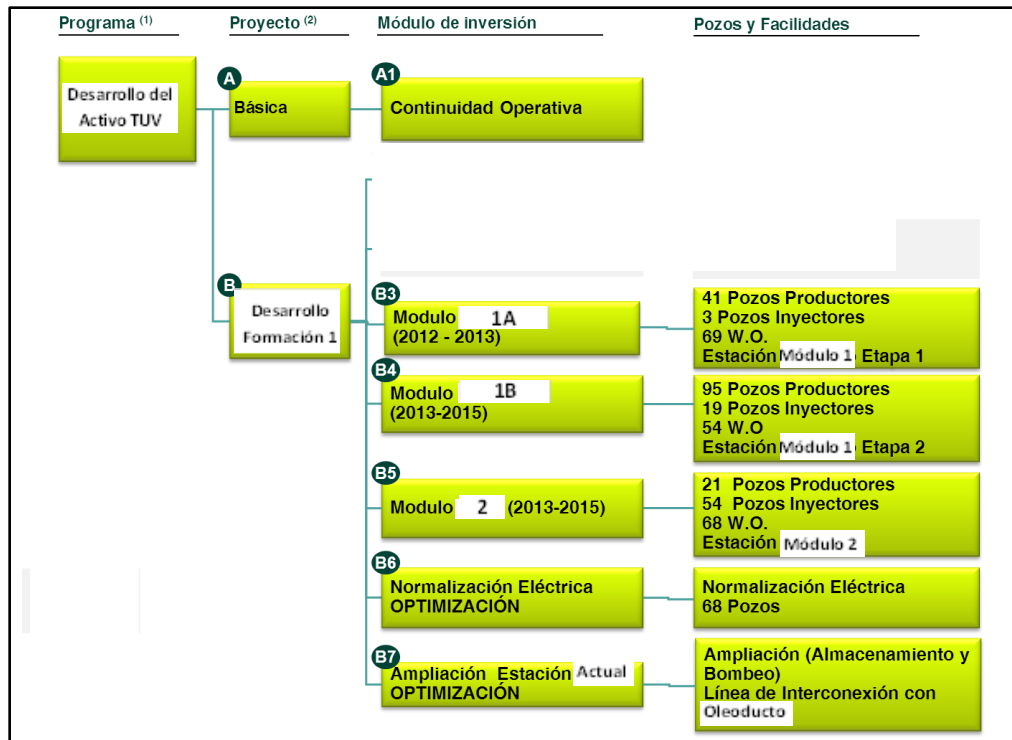


Figura 16. Descripción del alcance del proyecto

Los volúmenes de producción incrementales esperados para el proyecto son los siguientes:

Módulo de inversión	Producción de crudo (BPD)	Inyección de agua (BWIPD)
Módulo 1A	6.000	76.000
Módulo 1B	8.200	54.000
Módulo 2	5.900	44.000
Total del proyecto	20.100	174.000

Tabla 2. Resumen de volúmenes de producción proyectados

El logro de este objetivo a nivel macro se alcanzará mediante la reducción del espaciamiento de los patrones de inyección para mejorar la eficiencia volumétrica de la inyección de agua e incrementar el factor de recobro a través de la adición de reservas que a la fecha no se han drenado.

El proyecto busca incrementar los niveles actuales de producción del campo TUV hasta 21.600 bopd, 127.000 bfpd y 160.000 bwipd en los primeros dos años y desarrollar 87 millones de barriles con la ejecución del módulo 1 mediante la perforación de 247 pozos, 204 de los cuales son productores y 43 son inyectores; la reactivación de 39 pozos productores, 55 pozos inyectores, la conversión de 100 pozos productores a inyectores y 2 pozos inyectores a productores; además del incremento de la inyección de agua hasta 160.000 bwipd.

Para lograr estos niveles de producción se requiere la ampliación, construcción y optimización de las facilidades de recolección, separación y tratamiento de fluidos, inyección de agua y la ampliación de la infraestructura eléctrica que permitan el manejo de volúmenes proyectados de crudo y agua.

4.4.1 Alcance original del proyecto en estudio

Los entregables de este proyecto y su respectivo avance ejecutado son los siguientes:

1. Perforación de 258 pozos: 215 productores y 43 inyectores. No se inició la perforación.
2. Ejecución de 207 trabajos de *workover*. Conversión de 95 pozos productores a inyectores, conversión de 2 pozos inyectores a productores, reactivación de 66 pozos inyectores y de 60 pozos productores y pozos abastecedores. Se ejecutaron 20 intervenciones de reactivación de pozos.
3. Diseño, construcción y puesta en marcha de la estación de tratamiento y separación de fluidos módulo 1 con capacidad de 14.200 BOPD e inyección 130.000 BWPD. Se ejecutó la ingeniería básica de la estación.

4. Diseño, construcción y puesta en marcha de la estación de tratamiento y separación de fluidos módulo 2 con capacidad de 5.900 BOPD e Inyección de 46.000 BWPD. No se avanzó en la actividad.

5. Ampliación de la estación de tratamiento y almacenamiento actual la cual incluye el mejoramiento del sistema contra incendio, del sistema de bombeo, del sistema de almacenamiento y del sistema de medición. No se avanzó en la actividad.

6. Diseño y construcción de sistema de transporte de crudo en 25 KBPPD a diciembre de 2014, por el oleoducto al puerto de entrega. No se avanzó en la actividad.

7. Construcción de redes de recolección de crudo e inyección de agua asociadas al desarrollo de las anticlinales módulo 1 y módulo 2 (troncales, múltiples de recolección, líneas de prueba). No se avanzó en la actividad.

8. Construcción de redes de media y alta tensión. No se avanzó en la actividad.

9. Construcción de una subestación de 115 / 34,5 KV con una capacidad de 35 MW, centro de distribución y centros de maniobra. No se avanzó en la actividad.

10. Normalización eléctrica de 68 pozos del campo TUV, asegurando el cumplimiento del reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) y la normativa de la empresa para el Sistema Aislamiento Eléctrico Seguro (SAES). No se avanzó en la actividad.

MODULO	PERFORACIÓN			TRABAJOS A POZOS EXISTENTES					
	Pozos Productores	Pozos Inyectores	Total Perforación	Conversión Productor a Inyector	Reactivación Inyectores	Reactivación Productores	Conversión Inyector a Productor	Abastecedor	Total WO
Formación 1a	146	22	168	59	45	32	2	4	142
Formación 1b	58	21	79	36	21	12	0	0	69
Total Formación 1	204	43	247	95	66	44	2	4	211
Formación 2	11	0	11	0	0	16	0	0	16
TOTAL CAMPO	215	43	258	95	66	60	2	4	227

Tabla 3. Alcance del proyecto por módulo

La perforación tenía como plan iniciar por el anticlinal módulo 1 y seguir con el anticlinal módulo 2 a partir del año 2012.

AÑO	PERFORACIÓN									
	POZOS NUEVOS PRODUCTORES				POZOS NUEVOS INYECTORES				TOTAL PERF.	
	A	B	D	TOTAL	AI	BI	DI	TOTAL	PROD	INYECTORES
2010	4	3	0	7	0	0	0	0	7	0
2011	17	4	1	22	0	0	0	0	22	0
2012	19	3	1	23	0	0	0	0	23	0
2013	4	4	12	20	1	3	4	8	20	8
2014	0	38	21	59	0	3	10	13	59	13
2015	11	4	0	15	0	0	1	1	15	1
2016										
2017										
2018										
2019										
2020										
	55	56	35	146	1	6	15	22	146	22

TRABAJOS DE WORKOVER POZOS EXISTENTES																	
Conversiones Productores a Iny				Reactivación inyectores				Reactivación productores				Conversiones Iny a Prod				ABASTECE DORES	TOTAL WO'S
A	B	D	TOTAL	A	B	D	TOTAL	A	B	D	TOTAL	A	B	D	TOTAL		
0	0	0	0	13	3	0	16	9	0	0	9	0	0	0	0	2	27
13	3	0	16	4	1	1	6	9	0	0	9	0	0	0	0	2	33
9	0	0	9	5	0	0	5	1	1	0	2	0	0	0	0		16
1	5	5	11	1	3	2	6	0	2	6	8	0	0	1	1		26
0	9	6	15	0	7	5	12	0	3	1	4	0	0	1	1		32
5	2	1	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		8
28	19	12	59	23	14	8	45	19	6	7	32	0	0	2	2	4	142

Tabla 4. Cronograma de perforación/workover formación 1

AÑO	PERFORACIÓN PROD	WORKOVER PROD
2010		2
2011		12
2012	2	2
2013	2	
2014	2	
2015	2	
2016	2	
2017	1	
2018		
2019		
2020		
TOTALES	11	16

Tabla 5. Cronograma de perforación formación 2

4.4.1.1 Facilidades actuales de recolección y tratamiento de fluidos

La producción del campo TUV proviene de dos sectores llamados módulo 1 y módulo 2, los cuales corresponden a dos anticlinales que están divididos por una falla. El esquema de producción del hidrocarburo entrampado en estos dos anticlinales, se realiza por sectores, y la producción asociada de cada uno de estos sectores tiene su tratamiento en las diferentes estaciones del campo: 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 tal como se ilustra en la figura 16.

El campo se encuentra dividido en 7 estaciones colectoras y una estación de despacho al oleoducto, la inyección de agua actualmente se encuentra cerca de los 30.000 bwpd y hay 127 pozos productores de los cuales 7 producen por flujo natural y 120 con un sistema de levantamiento artificial de bombeo mecánico.

Este proyecto busca centralizar los procesos de producción en solo tres estaciones.

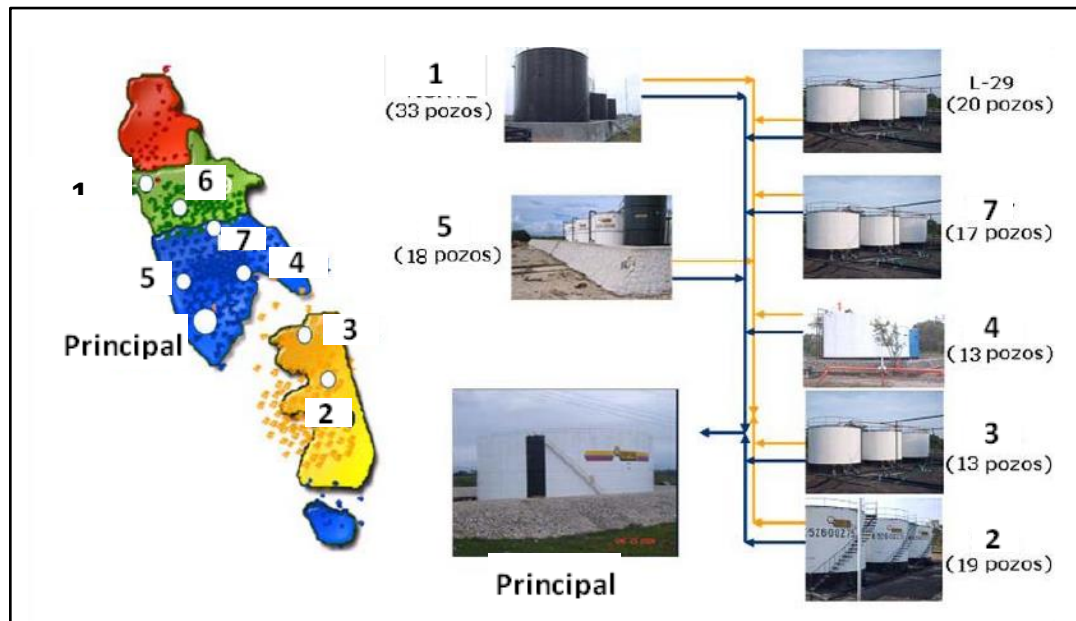


Figura 17. Estaciones de recolección campo TUV por área

4.4.1.2 Facilidades eléctricas actuales

El sistema eléctrico actual del campo TUV se compone de dos circuitos en media tensión: un circuito en 34,5 kV que representa aproximadamente el 35% de la carga del campo y otro circuito en 13,8 kV que alimenta las cargas del sur y parte de las del norte, este representa aproximadamente el 65% de la carga total. Todo este sistema es alimentado desde las barras de la Subestación del municipio y no son de uso exclusivo del campo, ya que de unos de estos circuitos se alimentan la población urbana o rural, lo que representa inconvenientes técnicos y sociales.

4.4.1.3 Datos básicos del proyecto

A continuación un resumen del proyecto y de sus costos más representativos:

Pozos productores

- Días de perforación: 9 días.
- Costo promedio por pozo: 2.948 kUSD.

- Tipo completamiento: Fracturamiento Hidráulico.

Resumen de los costos promedio (cifras en miles de dólares kUSD):

- Perforación: 1.619 kUSD.
- Completamiento: 463 kUSD.
- Obra eléctrica: 103 kUSD.
- Obra mecánica: 21 kUSD.
- Locación: 192 kUSD.
- Recuperación ambiental: 45 kUSD.
- Compra de Predios: 4 kUSD.
- Gerenciamiento: 58 kUSD.
- Contingencias: 443 kUSD.

Pozos inyectoros

- Días de perforación: 8 días.
- Costo promedio por pozo: 2.894 kUSD.

Resumen de los costos promedio (cifras en miles de dólares kUSD):

- Perforación: 1.518 kUSD.
- Completamiento: 469 kUSD.
- Obra eléctrica: 4 kUSD.
- Locación: 325 kUSD.
- Recuperación Ambiental: 78 kUSD.
- Predios: 4 kUSD.
- Gerenciamiento: 64 kUSD.
- Contingencias: 431 kUSD.

Workover

Tipos de intervención

- Conversión productor a inyector.
- Reactivación inyector.
- Reactivación productor.

Costo promedio (cifras en miles de dólares kUSD):

- Conversión Productor a inyector: 509 kUSD.
- Reactivación inyector: 504 kUSD.
- Reactivación productor: 828 kUSD.

Estación módulo 1

Capacidad estación módulo 1

Tratamiento de crudo: 14.200 BOPD.

Inyección: 130.000 BWIPD.

Equipos de tratamiento de crudo

Separador trifásico.
Separadores bifásicos de prueba.
Bota de gas.
Tanque Gun Barrel.
Tanque de almacenamiento.
Bomba crudo recuperado separador API.
Bomba agua recuperada separador API.

Equipos de tratamiento de agua

Paquete separador de placas corrugadas CPI.
Bombas a tanques de microflotación.
Paquetes tanques de microflotación.
Bombas a filtración.
Tanque de almacenamiento de agua.
Filtros cáscara de nuez.
Filtros magnéticos.
Decantados.

Inversión CAPEX: 54.149 kUSD.

Estación módulo 2

Capacidad Estación TUV

Tratamiento de crudo: 5.900 BOPD.

Inyección: 46.000 BWIPD.

Equipos de tratamiento de crudo

Separador trifásico.
Separadores bifásicos de prueba.
Bota de gas.
Tanque Gun Barrel.
Tanque de almacenamiento.
Bomba crudo recuperado separador API.
Bomba agua recuperada separador API.

Equipos de tratamiento de agua

Paquete separador de placas corrugadas CPI.
Bombas a tanques de microflotación.
Paquetes tanques de microflotación.
Bombas a filtración.
Tanque de almacenamiento de agua.
Filtros cáscara de nuez.
Filtros magnéticos.
Decantados.

Inversión CAPEX: 23.995 kUSD.

Optimización estación principal (Estación existente)

Antecedentes:

- Pérdidas de producción por la mala integridad mecánica de la línea que interconecta con el oleoducto.
- Altos costos de mantenimiento mecánico en la línea de interconexión al oleoducto.
- Contaminación ambiental por derrames en la línea.
- Pérdidas de producción por limitaciones en la capacidad de almacenamiento y bombeo.

El alcance del proyecto incluye:

- Ampliación capacidad de almacenamiento (Construcción Tanque de 40 Kbls).

- Ampliación de la capacidad del sistema de bombeo (25.000 bpd).
- Construcción de línea de interconexión con el oleoducto (22 km en tubería de 8").
- Mejoramiento del sistema de contra incendio.
- Optimización del sistema de medición

Inversión CAPEX: 36.342 KUSD.

- Oleoducto: 9.014 kUSD.
- Sistema de Almacenamiento: 7.367 kUSD.
- Sistema de Bombeo: 7.318 kUSD.
- Líneas eléctricas: 36.342 kUSD.

Los siguientes son los supuestos que enmarcan la planeación del proyecto:

- Pozos inyectores y productores sin daño de formación.
- Se considera que por lo menos 1 de cada 18 pozos va a requerir de algún tipo de estimulación adicional.
- Se supone una eficiencia en la inyección de agua de un 90%: por cada barril de agua inyectado, 0.9 barriles llega a los pozos.
- Debido que no se realizó sísmica 3D en el anticlinal módulo 2 se asume que esta estructura no tiene compartimentos de tipo estructural y por consiguiente, los pozos de esta área están estructuralmente conectados entre sí. Esta premisa no aplica para el anticlinal módulo 1 en el cual se cuenta con sísmica 3D y se conocen los compartimentos estratigráficos y estructurales.
- Se asume que se cuentan con equipos de perforación para las fechas programadas.

- Tiempos de perforación de 10 días por pozo productores e inyectores de la formación 1.
- Tiempos de perforación de 45 días por pozo productores en la formación 2.
- Todos los pozos de la formación 1 se pueden perforar con un equipo 550 HP.
- Todos los pozos de la formación 2 se pueden perforar con un equipo 1000 HP.
- El 80 % de los pozos se perforarán en grupos en superficie (“clusters”) de entre 2 y 6 pozos.
- Tiempos de operación de 15 días en actividades de *workover* productores en la formación 2.
- Tiempos de operación de 7 días en actividades de *workover* productores e inyectores de la formación 1.
- El sistema de recolección de fluidos se realizará mediante líneas troncales.
- Se tendrán los permisos para realizar el proyecto de interconexión desde la estación principal actual al oleoducto.
- Se realizará la negociación con el operador de la central eléctrica del municipio para tener la capacidad de generación de energía eléctrica que requiere el proyecto (30 MW).
- La red de distribución de energía será propiedad de la empresa y no será compartida con otros entes.

4.4.1.4 Estructura de desglose del trabajo (WBS)

La estructura detallada de trabajo principal establecida para este proyecto se presenta a continuación:

WBS. Perforación, *workover* y facilidades

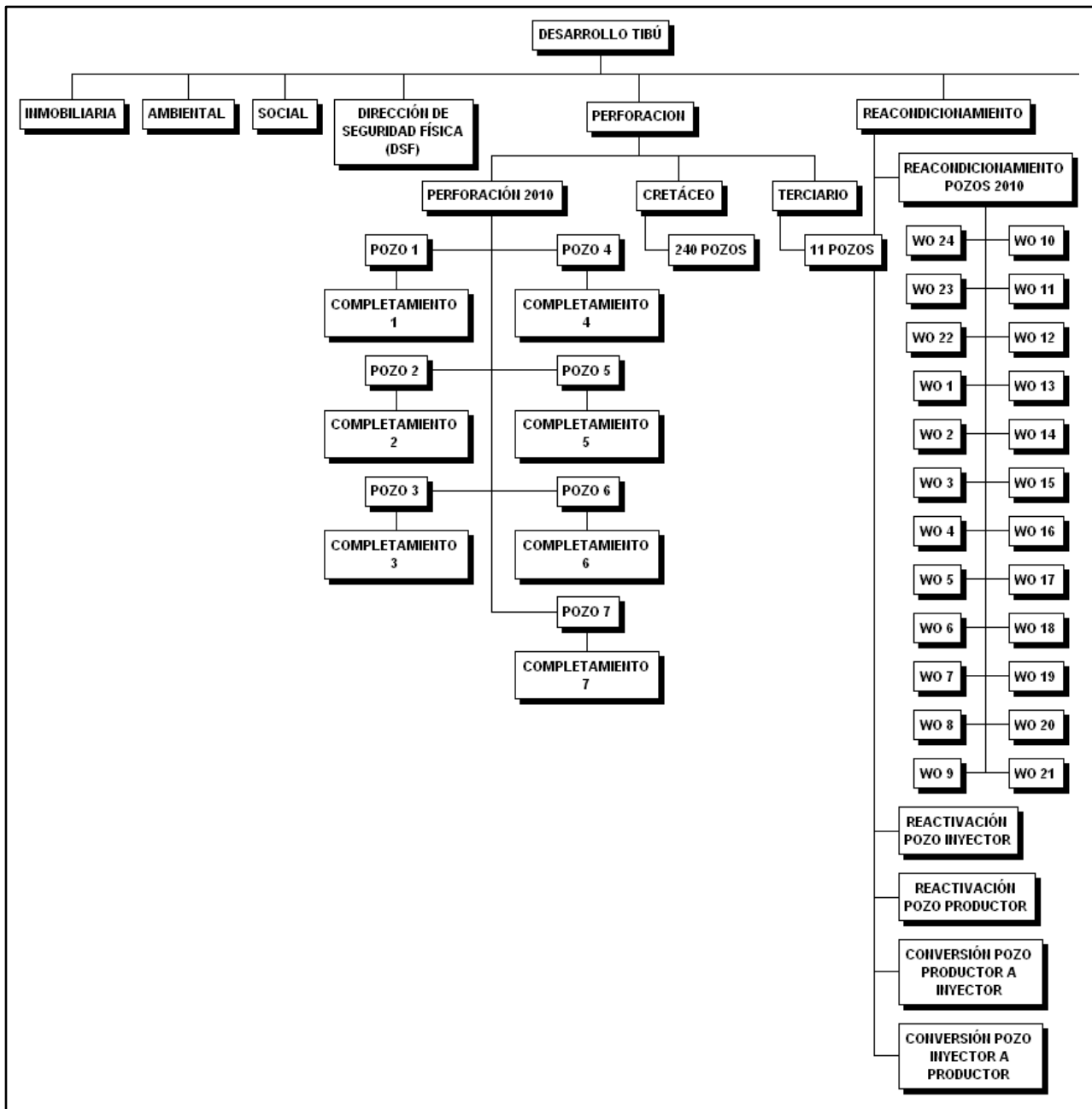


Figura 18. WBS. Perforación y *workover*

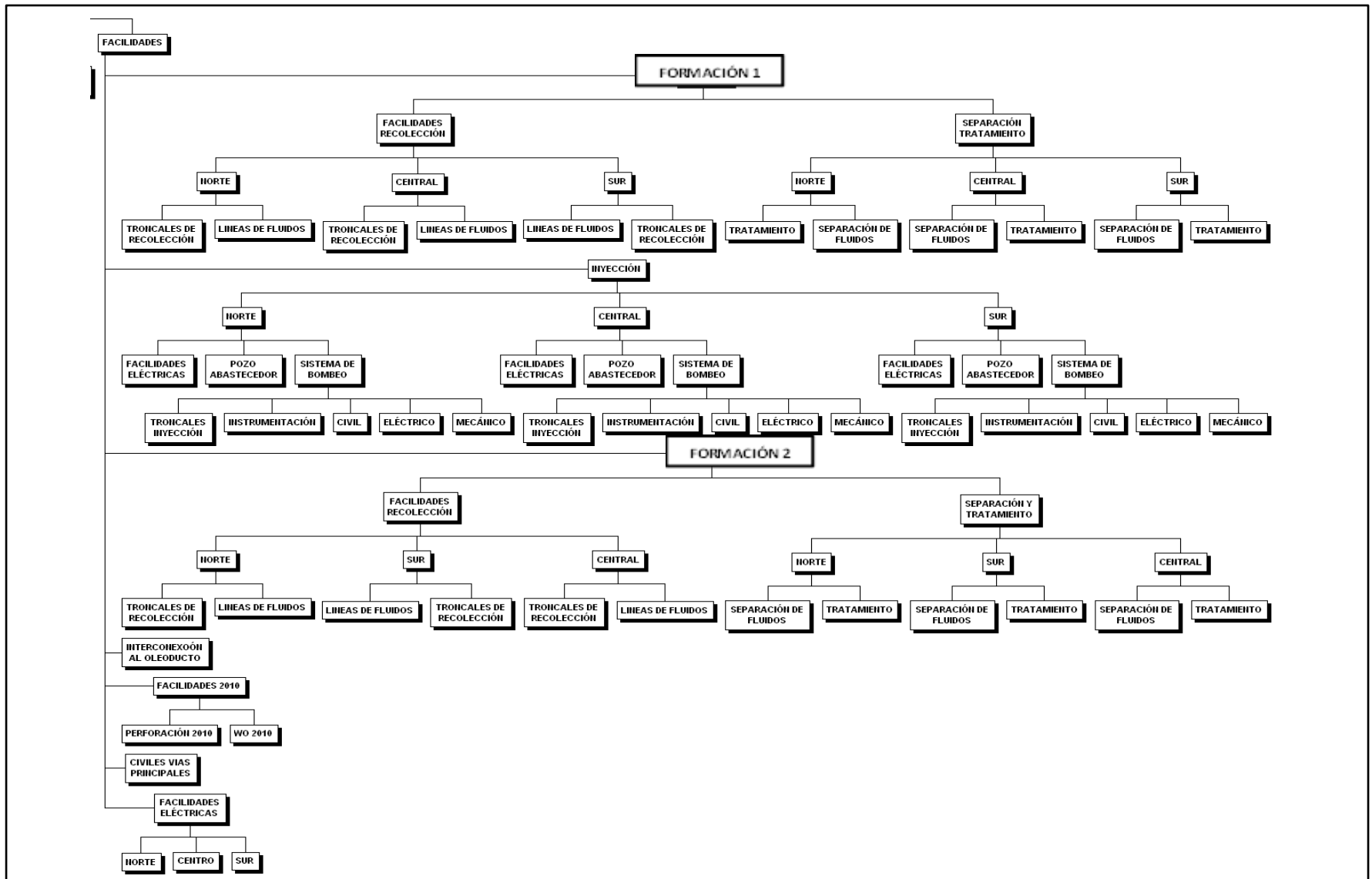


Figura 19. WBS. Facilidades

4.4.1.5 Estimado de costos

En el siguiente cuadro, se presenta el resumen de los costos asociados al alcance del proyecto:

AÑO	GERENCIAMIENTO	ESTUDIOS	PERFORACIÓN PRODUCTORES	PERFORACIÓN INYECTORES	WORKOVER	FACILIDADES	OLEODUCTOS	TERRENOS	INVERSIÓN SOCIAL	INVERSIÓN AMBIENTAL	TOTAL
2010	341	20	16,670	-	15,750	6,313	-	5	160	-	39,260
2011	2,436	100	37,218	-	21,611	35,680	-	25	801	2,859	100,731
2012	4,830	160	106,518	10,393	25,950	32,801	3,500	35	5,025	6,942	196,154
2013	5,946	180	100,259	40,580	29,298	41,877	3,600	30	6,735	7,215	235,719
2014	2,567	160	101,746	22,853	15,027	17,640	-	25	3,102	4,900	168,020
2015	1,092	120	60,834	3,214	4,560	6,515	-	15	1,263	3,131	80,744
2016	271	80	16,540	-	-	-	-	15	923	1,770	19,599
2017	105	-	8,270	-	-	-	-	-	644	408	9,427
2018	16	-	-	-	-	-	-	-	160	-	176
TOTAL	17,605	820	448,055	77,040	112,197	140,826	7,100	150	18,812	27,225	849,830

Tabla 6. Estimación de costos asociados al alcance del proyecto

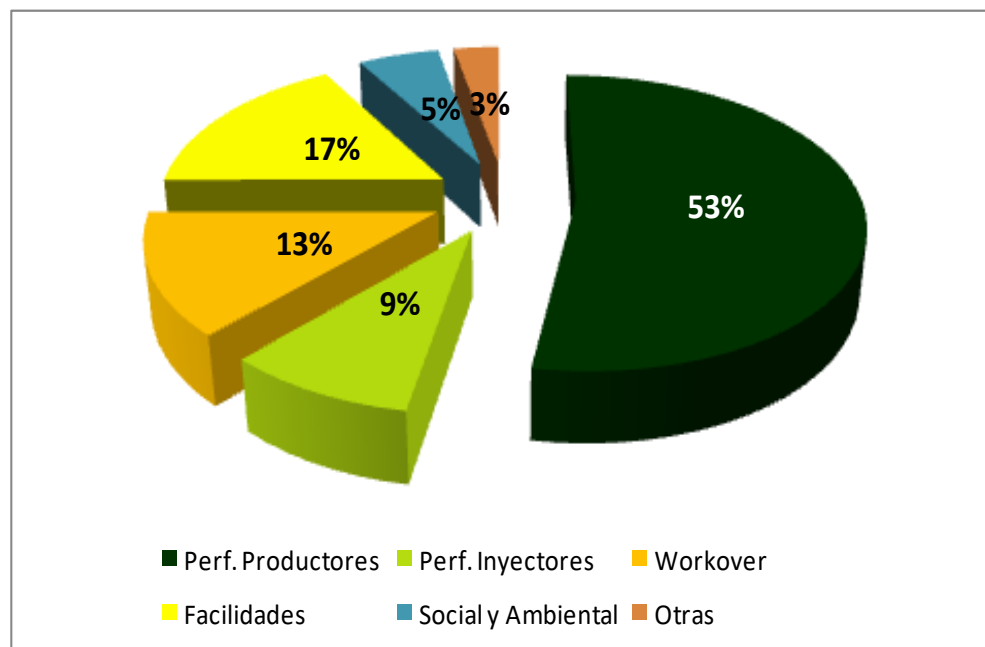


Figura 20. Distribución de costos del proyecto

4.4.1.6 Estimado de tiempo

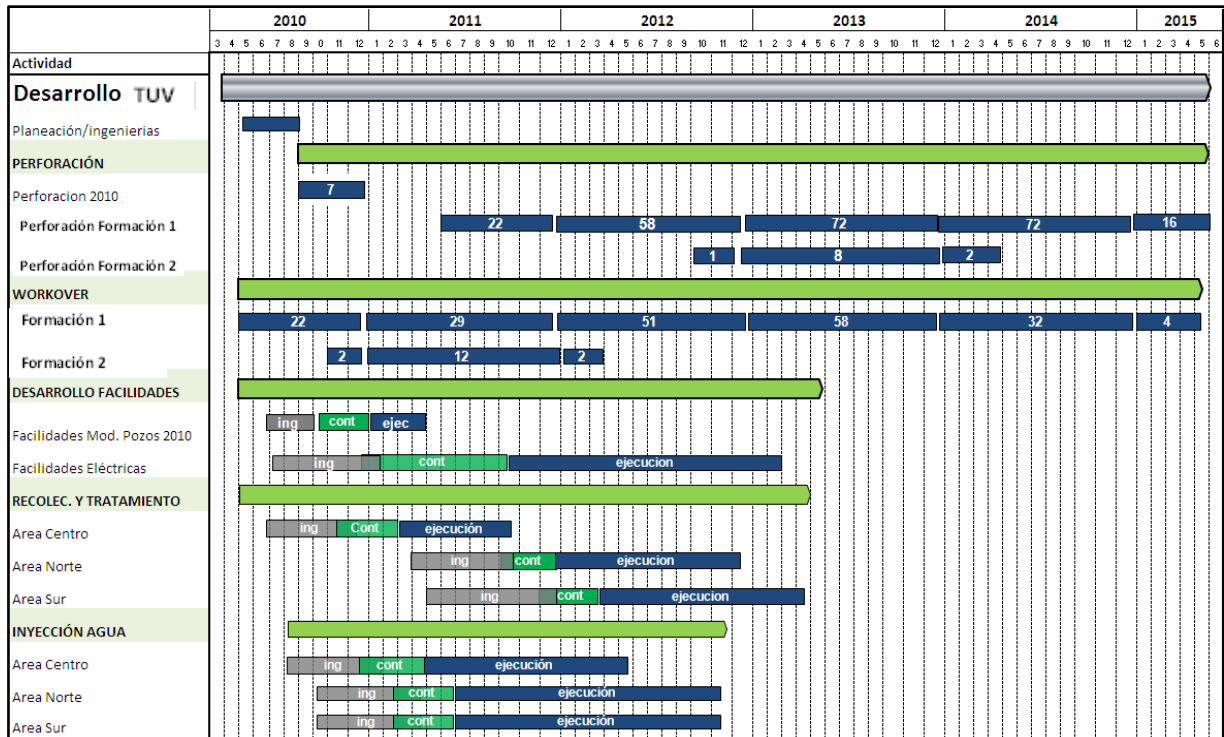


Figura 21. Cronograma inicial estimado del proyecto

4.4.1.7 Evaluaciones financieras

Indicador	Valor
Valor presente neto (12.2%)	333
Eficiencia financiera (12.2%)	0.54
Tasa interna de retorno	31.0
Tiempo de repago (años)	6.3
Reservas de crudo (millones Bls)	103.8
Inv. Total (MUS\$)	850

Tabla 7. Evaluaciones financieras del proyecto

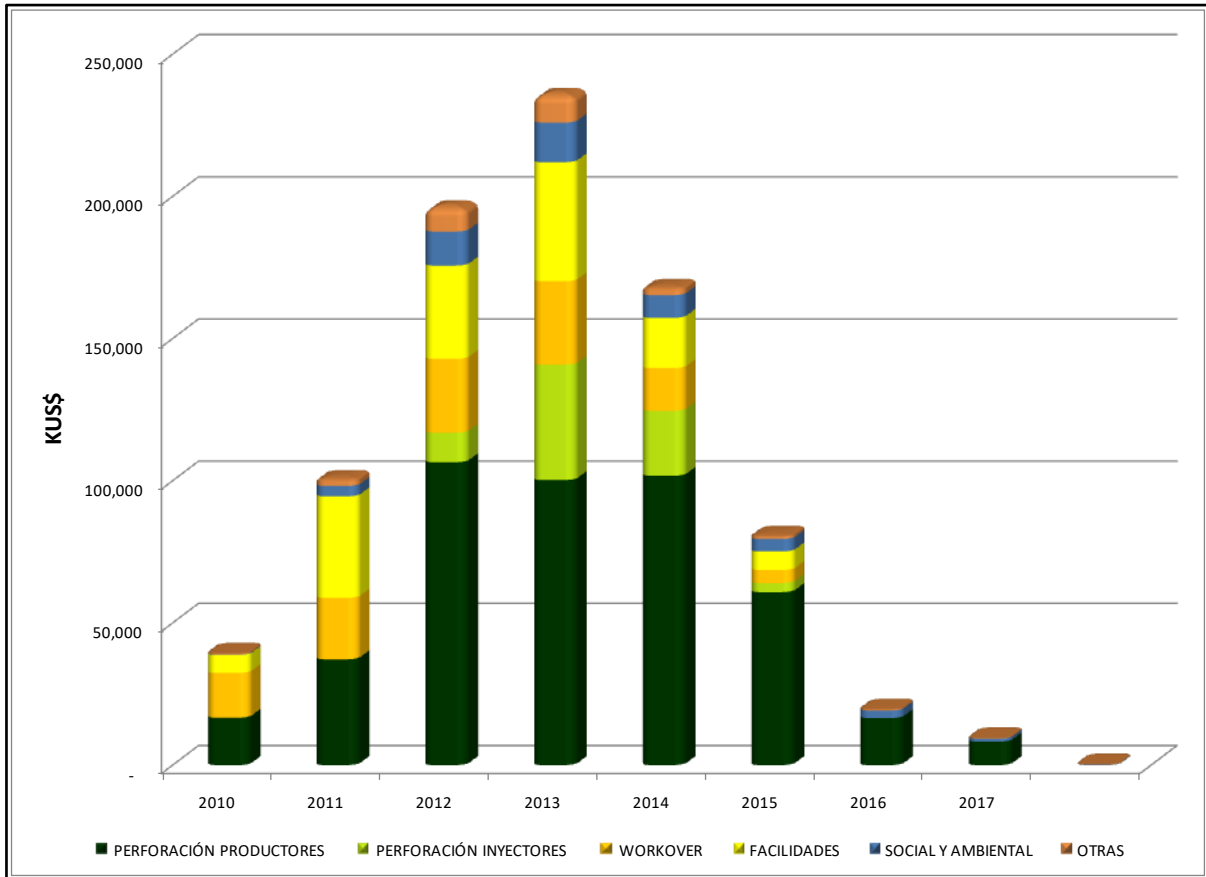


Figura 22. Distribución de inversiones para el proyecto en el tiempo

4.4.1.8 Riesgos del proyecto

Para el proyecto identificaron los siguientes riesgos relevantes y su respectiva materialización e impacto:

RIESGOS RELEVANTES IDENTIFICADOS	MATERIALIZACIÓN	IMPACTO
Compras y contratación: Aumento de precios de insumos, mano de obra, servicios y materiales.	Se materializó debido al incremento de la actividad petrolera entre los años 2011 y 2014, ocasionado por el incremento de los precios del petróleo, generando finalmente aumento de la demanda de	Incremento de precios compra y contratación, especialmente de los servicios petroleros de perforación y completamiento.

	servicios petroleros, que de mano a la demora en la contratación y la escases de equipos de perforación, completamiento y demás servicios petroleros, terminó en el incremento de los precios de estos servicios.	
Ejecución y montaje: Colisión entre pozos por la alta densidad de pozos en el campo.	No se materializó	-
Seguridad industrial, ambiental y seguridad física: Incidentes operativos que puedan afectar a las personas y el medio ambiente, altos costos en las servidumbres y predios por los cultivos de palma en la zona e invasiones de las servidumbres.	No se materializó	-
Logística y transporte: Impacto en la ejecución de las actividades por dificultades de acceso a la zona y mal estado de las vías.	No se materializó	-
Responsabilidad social empresarial: Paros de la comunidad que afectan la ejecución de actividades del proyecto.	No se materializó	-
Legislativo, normativo, contable y tributario: Variación de las premisas económicas (TRM, impuestos) del proyecto.	Se materializó por los retrasos en la emisión de permisos ambientales necesarios para la ejecución del proyecto.	Impactó retrasando los tiempos de planeación del proyecto para el desarrollo de ingenierías de detalle.

Orden público: Presencia de grupos al margen de la ley en la región que pueden afectar la ejecución del proyecto.	Se materializó con la presencia de grupos armados que no permitieron el normal desarrollo de los trabajos.	Redimensionamiento del alcance del proyecto hacia las zonas seguras del campo.
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------

4.5 EVOLUCIÓN Y ESTADO ACTUAL DEL PROYECTO

A continuación se presenta el estado del proyecto después de pasados cinco años luego de la aprobación de su inicio, tiempo durante el cual fue redimensionado en su alcance, y finalmente fue cancelado por la materialización de los riesgos relacionados en el numeral 4.4.1.8 riesgos del proyecto.

El módulo 1 se encuentra en fase de cierre del proyecto, luego de tener cinco controles de cambio sobre el alcance y cronograma del mismo. A continuación el resumen del último control de cambios al proyecto antes de ser cancelado:

Objetivos:

- Desarrollar 51 MBPE (3P) provenientes de la formación 1 del campo TUV, de manera económicamente rentable entre 2014 y 2041 mediante la realización de actividades de: Perforación, *workover*, inyección de agua. Llegar a un pico de producción de 13.286 BOPD en 2018.
- Diseñar, construir y poner en marcha la Central de Procesamiento de Fluidos - CPF para tratar hasta 120 kBFPD de la formación 1 del anticlinal módulo 1.
- Diseñar, construir y poner en marcha la Planta de Inyección de Agua - PIA para inyectar 135 KBWPD en la formación 1 de la anticlinal módulo 1.

- Diseñar y construir la red de recolección de fluidos y la red de inyección de agua.
- Proveer las facilidades de transformación y distribución de carga eléctrica 40 MW.

Alcance:

- Perforación y completamiento de 133 pozos productores, 25 pozos inyectores y 2 pozos abastecedores.
- Ejecución de 134 trabajos de *workover*. (55 conversiones, 38 reactivación de inyectores y 41 reactivación de productores).
- Diseño, construcción y puesta en marcha de facilidades de tratamiento y separación de fluidos de la anticlinal módulo 1 con capacidad de 14.200 BOPD e inyección 135.000 BWPD.
- Diseño y construcción de troncales mecánicas de recolección (2 troncales norte y centro con 8 ramales troncal norte y 4 ramales troncal centro, en material acero al carbón y tubería flexible, con diámetros de 8", 6", 4" y ramales de 3 ½" y 2 ½"), red de prueba (2 troncales norte y centro con 8 ramales troncal norte y 4 ramales en material tubería flexible, con diámetros de 3 ½" y 2 ½"), inyección 2 troncales norte y centro con 8 ramales troncal norte y 4 ramales en material acero al carbón y tubería flexible, con diámetros de 8", 6", 4" y ramales de 3 ½" y 2 ½").
- Diseño y construcción de tres (3) troncales eléctricas de 34,5 kV con cuatro (4) subtroncales eléctricas de 34,5 kV para alimentar el anticlinal módulo 1, incluyendo la estación módulo 1 PIA (por sus siglas de Planta de Inyección de Agua) y CPF, y pozos de perforación y *workover*.

Cronograma de ejecución

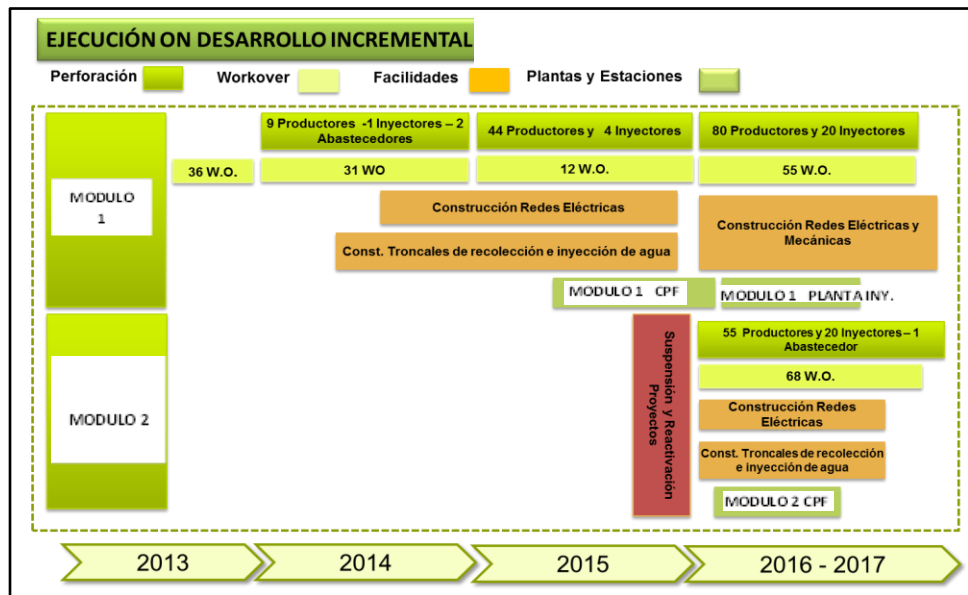


Figura 23. Alcance del proyecto con control de cambios

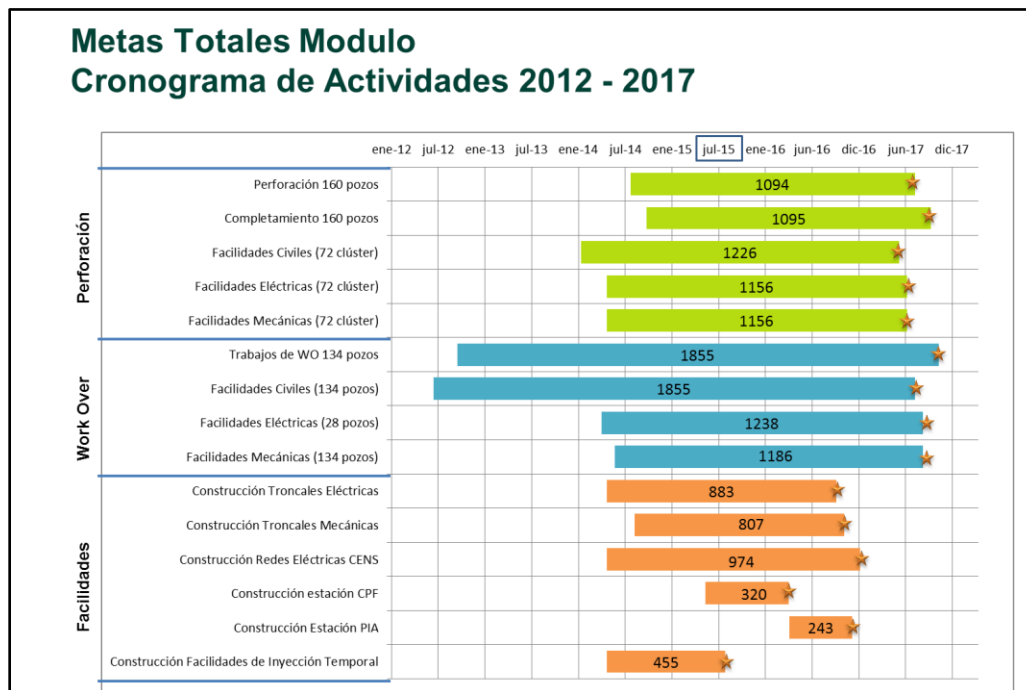


Figura 24. Cronograma del proyecto con control de cambios

En resumen, en la siguiente tabla se encuentra la evolución del alcance del proyecto impactado por la materialización de riesgos:

ALCANCE ORIGINAL DEL PROYECTO		REDIMENSIONAMIENTO DEL ALCANCE DEL PROYECTO	
	AVANCE EJECUTADO		AVANCE EJECUTADO
Perforación de 258 pozos: 215 productores y 43 inyectores.	No se inició la perforación.	Perforación y completamiento de 133 pozos productores, 25 pozos inyectores y 2 pozos abastecedores.	No se avanzó en la actividad.
Ejecución de 207 trabajos de <i>workover</i> . Conversión de 95 pozos productores a inyectores, conversión de 2 pozos inyectores a productores, reactivación de 66 pozos inyectores y de 60 pozos productores y pozos abastecedores.	Se ejecutaron 20 intervenciones de reactivación de pozos.	Ejecución de 134 trabajos de <i>workover</i> . (55 conversiones, 38 reactivación de inyectores y 41 reactivación de productores).	No se avanzó en la actividad.
Diseño, construcción y puesta en marcha de la estación de tratamiento y separación de fluidos módulo 1 con capacidad de 14.200 BOPD e inyección 130.000 BWPD.	Se ejecutó la ingeniería básica de la estación.	Diseño, construcción y puesta en marcha de facilidades de tratamiento y separación de fluidos de la anticlinal módulo 1 con capacidad de 14.200 BOPD e inyección 135.000 BWPD.	No se avanzó en la actividad.
Diseño, construcción y puesta en marcha de la estación de tratamiento y separación de fluidos módulo 2 con capacidad de 5.900 BOPD e Inyección de 46.000 BWPD.	No se avanzó en la actividad.	Cancelado	-
Ampliación de la estación de tratamiento y almacenamiento actual la cual incluye el mejoramiento del sistema	No se avanzó en la actividad.	Cancelado	-

contra incendio, del sistema de bombeo, del sistema de almacenamiento y del sistema de medición.			
Diseño y construcción de sistema de transporte de crudo en 25 KBPPD, por el oleoducto al puerto de entrega.	No se avanzó en la actividad.	Cancelado	-
Construcción de redes de recolección de crudo e inyección de agua asociadas al desarrollo de las anticlinales módulo 1 y módulo 2 (troncales, múltiples de recolección, líneas de prueba).	No se avanzó en la actividad.	Diseño y construcción de troncales mecánicas de recolección (2 troncales norte y centro con 8 ramales troncal norte y 4 ramales troncal centro), red de prueba (2 troncales norte y centro con 8 ramales troncal norte y 4 ramales), inyección 2 troncales norte y centro con 8 ramales troncal norte y 4 ramales).	No se avanzó en la actividad.
Construcción de redes de media y alta tensión.	No se avanzó en la actividad.	Diseño y construcción de tres troncales eléctricas de 34,5 kV con cuatro subtroncales eléctricas de 34,5 kV para alimentar el anticlinal módulo 1, incluyendo la estación módulo 1 PIA (por sus siglas de Planta de Inyección de Agua) y CPF, y pozos de perforación y <i>workover</i> .	No se avanzó en la actividad.
Construcción de una subestación de 115 / 34,5 KV con una capacidad de 35 MW, centro de distribución y centros	No se avanzó en la actividad.	Cancelado	-

de maniobra.			
Normalización eléctrica de 68 pozos del campo TUV, asegurando el cumplimiento del reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) y la normativa de la empresa para el Sistema Aislamiento Eléctrico Seguro (SAES).	No se avanzó en la actividad.	Cancelado	-

A la fecha de elaboración de este documento, el proyecto se encuentra cancelado en su totalidad.

La materialización de los riesgos relacionados anteriormente, generaron las siguientes principales desviaciones representadas en la triple restricción del proyecto:

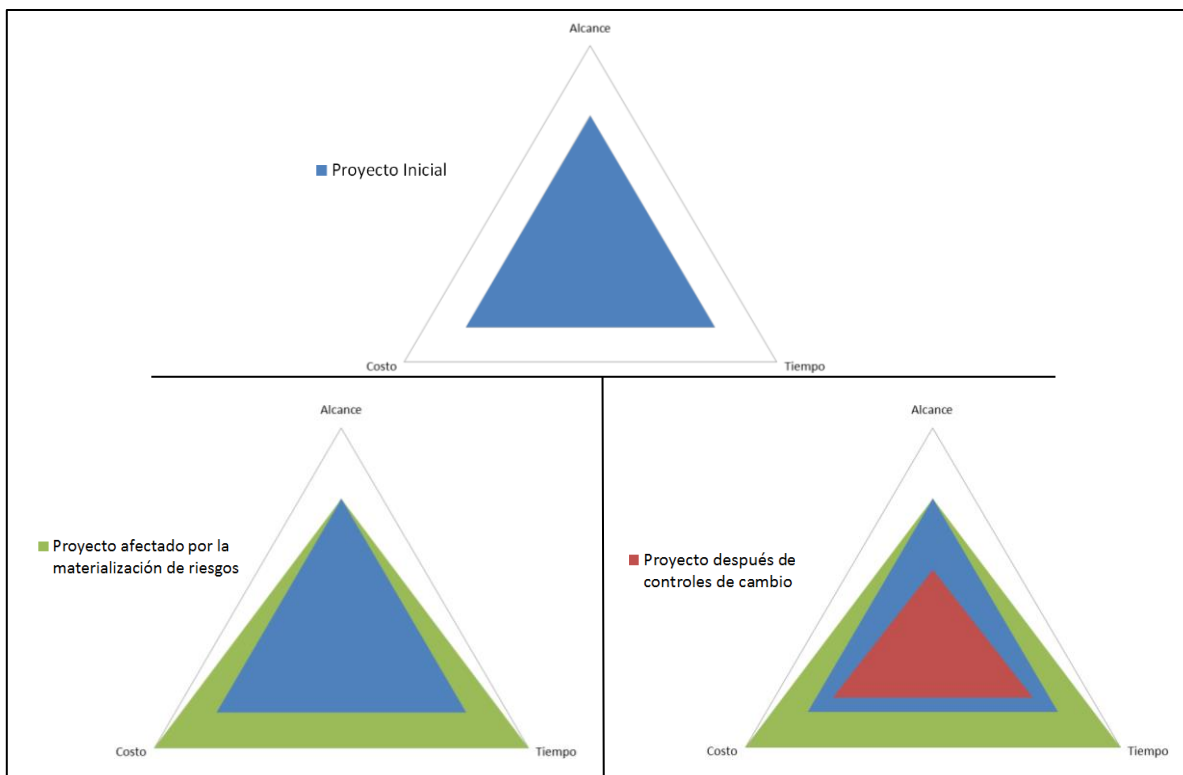


Figura 25. Impacto en la triple restricción del proyecto

Costo: Incremento de los costos del proyecto en 45%, principalmente en los costos de servicios petroleros de perforación y completamiento de pozos, debido a la disminución de la oferta de equipos o taladros.

Tiempo: Entrega de las ingenierías básicas de diseño de las estaciones de tratamiento y almacenamiento de fluidos con 30% por encima del plazo fijado, retrasando la gestión de compras y contratación requerida.

Alcance: Disminución del alcance del proyecto en un 40% impactando principalmente el desarrollo de las reservas de petróleo a producir pasando de 87 a 51 millones de barriles.

4.6 PROPUESTA DE DESARROLLO DEL PROYECTO CON CCPM

El objetivo a desarrollar es presentar el proyecto original descontando las actividades ya ejecutadas para el desarrollo del campo TUV, con una posibilidad de ejecución en mejores tiempos a lo planteado por el proyecto original, apoyado en la gestión de proyectos con cadena crítica lleve a su cumplimiento dentro de los tiempos y presupuestos planeados.

A continuación en la figura 22 se presentan el listado de efectos indeseables, cuya existencia es indiscutible e indeseable y obstaculizan el logro de los objetivos, inclusive del objetivo final del sistema, (Cohen, 2010). Estos son los efectos encontrados en la ejecución del proyecto y que impactan finalmente en el valor de la empresa:

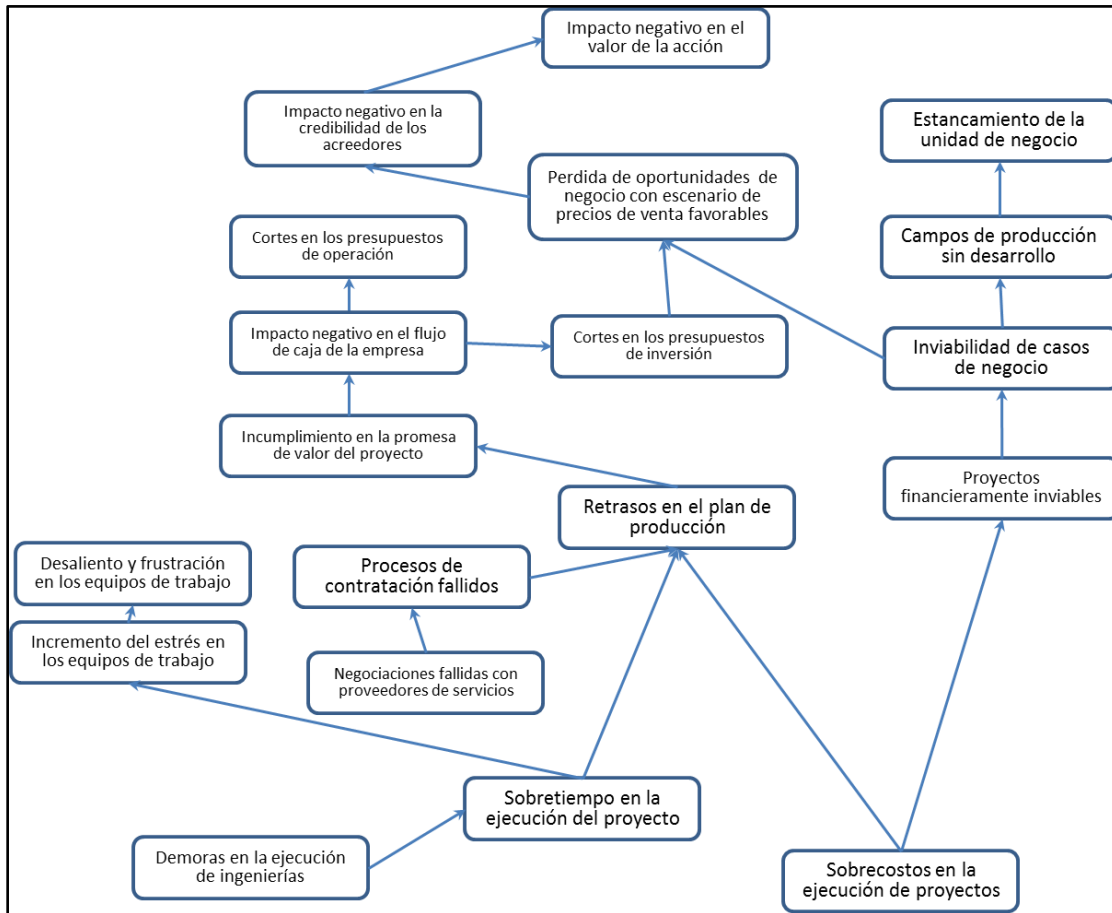


Figura 26. Efectos indeseables identificados en la ejecución del proyecto

4.6.1 Alcance del proyecto

A continuación se referencia el alcance del proyecto original descontando las actividades ya ejecutadas:

1. Perforación de 258 pozos: 215 productores y 43 inyectoros.
2. Ejecución de 187 trabajos de *workover*: Conversión de 95 pozos productores a inyectoros, conversión de 2 pozos inyectoros a productores, reactivación de 48 pozos inyectoros y de 42 pozos productores y pozos abastecedores.

3. Diseño, construcción y puesta en marcha de la estación de tratamiento y separación de fluidos módulo 1 con capacidad de 14.200 BOPD e inyección 130.000 BWPD.

4. Diseño, construcción y puesta en marcha de la estación de tratamiento y separación de fluidos módulo 2 con capacidad de 5.900 BOPD e Inyección de 46.000 BWPD.

5. Ampliación de la estación de tratamiento y almacenamiento actual la cual incluye el mejoramiento del sistema contra incendio, del sistema de bombeo, del sistema de almacenamiento y del sistema de medición.

6. Diseño y construcción de sistema de transporte de crudo en 25 KBPPD a diciembre de 2014, por el oleoducto al puerto de entrega.

7. Construcción de redes de recolección de crudo e inyección de agua asociadas al desarrollo de las anticlinales módulo 1 y módulo 2 (troncales, múltiples de recolección, líneas de prueba).

8. Construcción de redes de media y alta tensión.

9. Construcción de una subestación de 115 / 34,5 KV con una capacidad de 35 MW, centro de distribución y centros de maniobra.

10. Normalización eléctrica de 68 pozos del campo TUV, asegurando el cumplimiento del reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) y la normativa de la empresa para el Sistema Aislamiento Eléctrico Seguro (SAES).

4.6.2 Cronograma del proyecto

En la siguiente figura puede apreciarse el cronograma del proyecto, que cuenta con 2494 actividades para ejecutarse en 2336 días descontando las actividades de ingenierías básicas que ya se encuentran ejecutadas:

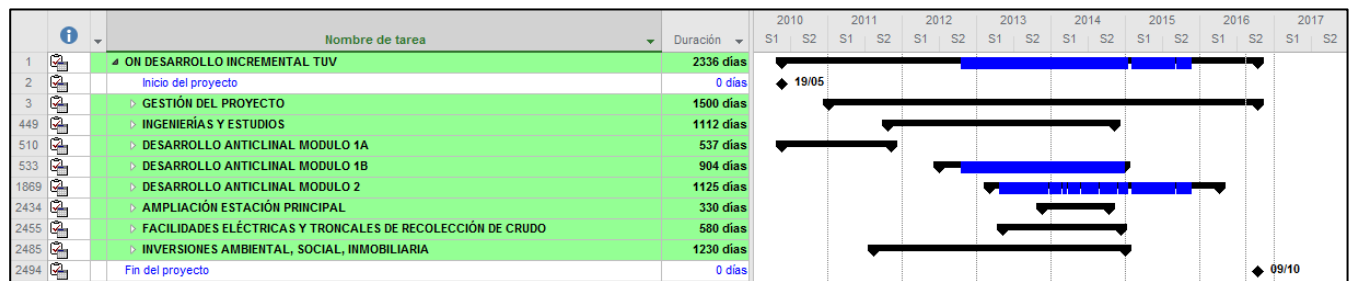


Figura 27. Cronograma resumido del proyecto

El alcance del proyecto está comprendido claramente por 3 sub proyectos:

1. Desarrollo anticlinal módulo 1
2. Desarrollo anticlinal módulo 2
3. Ampliación estación principal

4.6.2.1 Congelación de subproyectos

En referencia a los tres subproyectos que componen el total del proyecto: desarrollo del anticlinal módulo 1, módulo 2 y la ampliación de la estación principal, este último se identificó como el único necesario para el correcto desarrollo de los primeros 2 módulos, ya que esta ampliación es necesaria para recibir y tratar los fluidos producidos de las campañas de perforación de los dos módulos.

En la figura 28 se identifica la ruta crítica del proyecto. La ejecución de los módulos 1 y 2 son subproyectos cuyo desarrollo no depende el uno del otro. La propuesta original del proyecto es iniciar la ejecución del módulo 2 cuando se lleva un avance del 27% del módulo 1 (248 días), esto con el objetivo de adelantar 73% de su ejecución y ganar tiempo (656 días). Esta decisión del equipo planeador,

introduce el proyecto en un ambiente de ejecución de multiproyectos en simultáneo, donde ambos módulos 1 y 2 se ejecutan con los mismos recursos administrativos, de planeación y seguimiento, y con recursos compartidos de mano de obra que ejecutan directamente los proyectos.

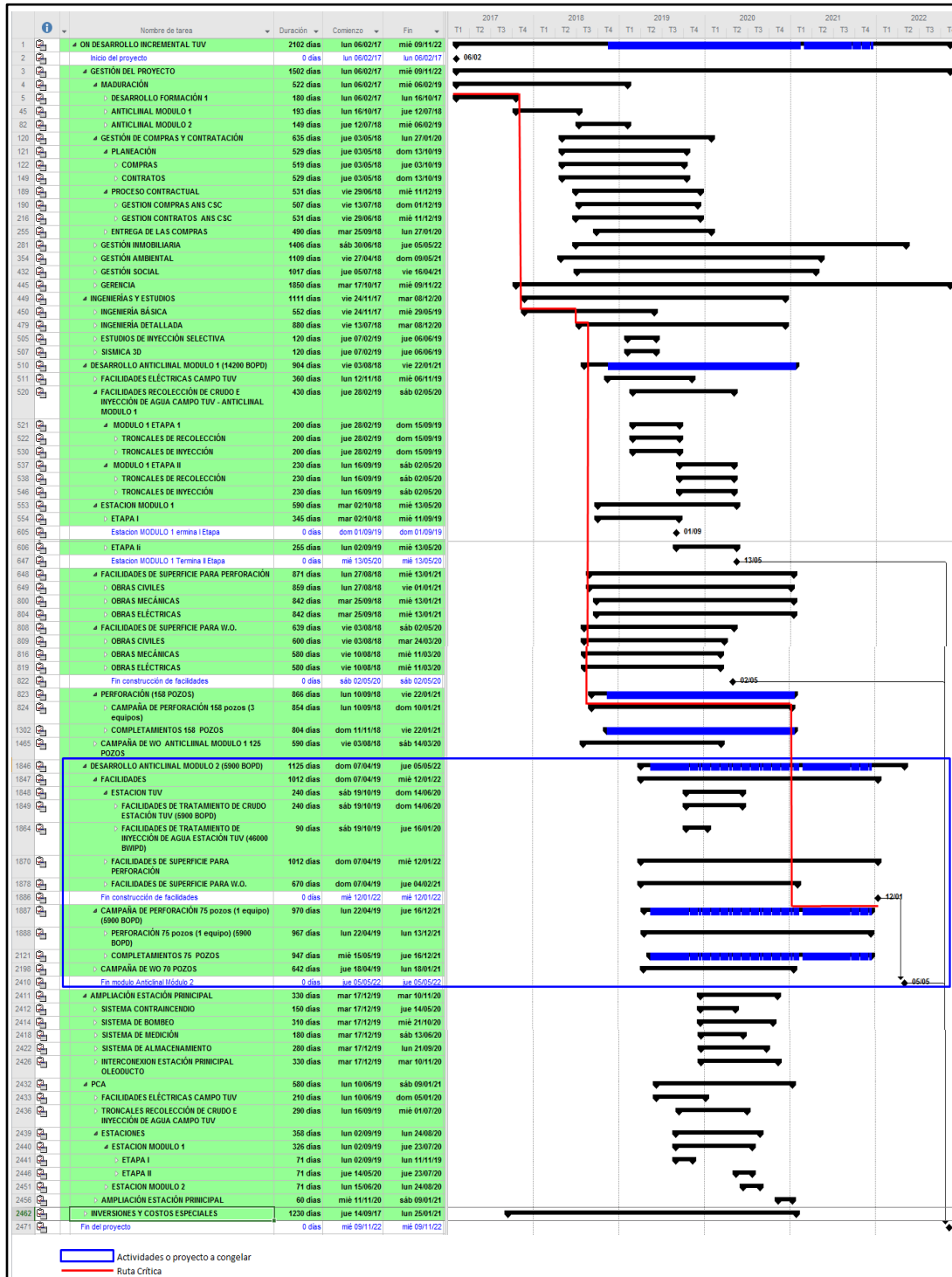


Figura 28. Cronograma inicial del proyecto con subproyecto a congelar

Teniendo en cuenta que una de las propuestas para disminuir los ambientes multitareas y agilizar la entrega final del proyecto, es mediante el congelamiento de tareas, actividades o subproyectos, se propone congelar la ejecución del módulo 2, desplazándolo para iniciar su ejecución una vez se terminen las actividades paralelas del módulo 1. La ejecución de estos 2 módulos emplean los mismos equipos de planeación, ingeniería, logística, compras, contratación y seguimiento, además de utilizar de manera compartida la mano de obra que directamente ejecuta los módulos en su construcción. Esto se aprecia en la figura 28 y su respectivo desplazamiento en la figura 29.

Esta congelación del módulo 2 implica las siguientes consideraciones:

1. Mayor tiempo de exposición a la materialización de aspectos de la matriz de riesgos que generen retrasos en la ejecución del 2º módulo y del inicio de la producción y el cumplimiento de la promesa de valor.
2. Riesgo de incremento en las tarifas de prestación de servicios petroleros que afecten la economía del proyecto.
3. Dedicación exclusiva del equipo de planeación, administración y ejecución del proyecto al módulo 1.
4. Mayor exposición al riesgo de requerimientos de capital en otros proyectos del portafolio de la empresa, limitando la capacidad financiera del proyecto y que obligue a reducir el alcance en la ejecución del 2º módulo.

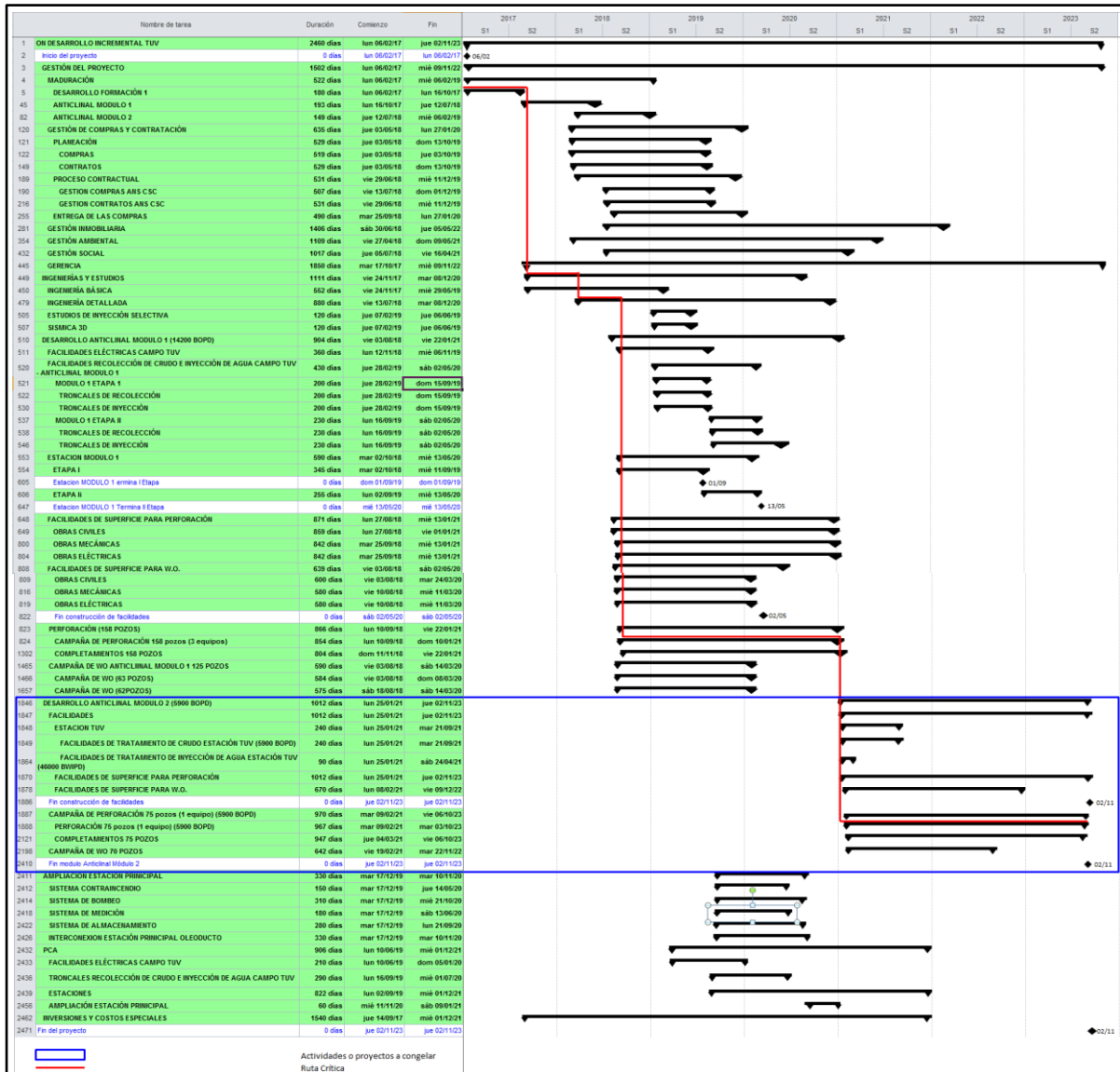


Figura 29. Cronograma del proyecto con subproyecto congelado y desplazado

4.6.2.2 Estimación de protecciones del proyecto

De acuerdo a lo expuesto en el numeral 3.5.3, es necesario identificar el nivel de protección que tiene cada una de las actividades del proyecto. De acuerdo a lo informado por quienes participaron en la planeación de tiempos de las actividades del proyecto, se encontró que las actividades son planeadas con niveles de protección estándar, por lo que se procede a aplicar lo indicado por Goldratt en reducir el tiempo de ejecución de cada una al 50% (Goldratt, 1997) entendiendo que el otro 50% corresponde a la protección. La sumatoria de estas

protecciones tiene una duración en el proyecto de 956 días. Las protecciones identificadas se encuentran representadas en la figura 30.

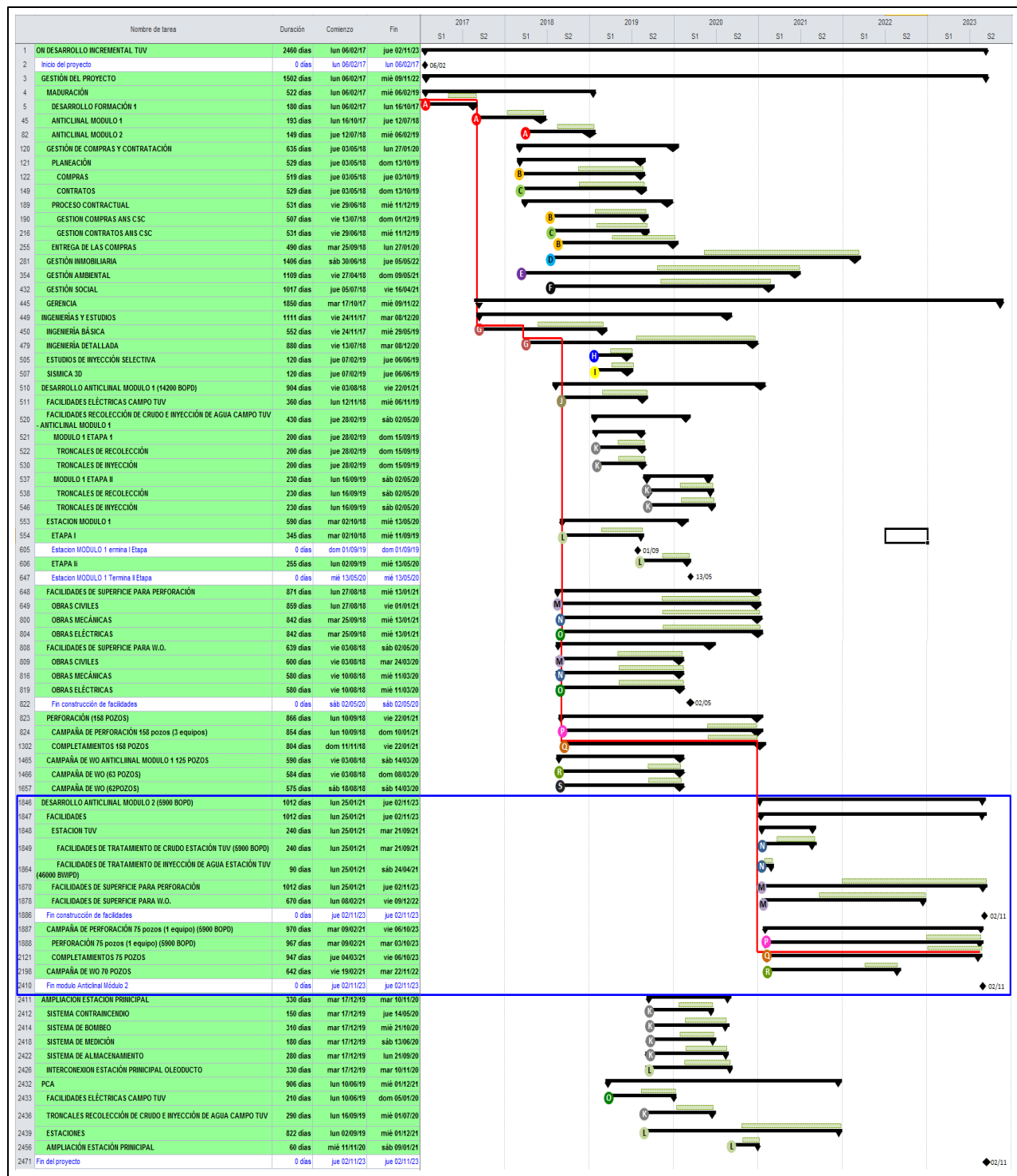


Figura 30. Cronograma del proyecto con subproyecto congelado y desplazado, y protecciones identificadas

Las siguientes actividades tienen la particularidad de planearse con protecciones de tiempo del 25%, en razón a que son actividades directas del corazón del negocio de la empresa y cuya dedicación y experiencia le permite ser muy acertada en los tiempos planeados, y en segunda instancia, estas actividades tienen las tarifas más altas en su ejecución, por lo que son planeadas con sumo rigor a la experiencia más reciente en su ejecución alimentada por una experimentada curva de aprendizaje:

- Perforación
- Completamiento
- *Workover* (intervenciones a pozo en el subsuelo)

Así mismo, para el ejercicio y con ayuda del equipo del proyecto, se identificaron los diferentes equipos que intervienen en la ejecución del mismo. Estos se encuentran identificados al inicio de cada actividad por un círculo de color y una letra, con el objetivo de reconocer las actividades que se ejecutan simultáneamente y tener la Cadena Crítica.

A continuación se presenta en la figura 28, el diagrama descontando los tiempos de protección identificados:



Figura 31. Cronograma del proyecto descontando tiempo de protecciones identificadas

4.6.2.3 Amortiguador del proyecto

Con el objetivo de subordinar las actividades del proyecto a la restricción, que es la Cadena Crítica, se procede a introducir los amortiguadores de proyecto y de rutas de alimentación.

Para generar el amortiguador de proyecto (figura 29), se procede a sumar los tiempos de protección que corresponden a la Cadena Crítica identificada. De acuerdo a la metodología CCPM (Goldratt, 1997), las protecciones se deben acortar nuevamente al 50%. Una vez hecho esto, la suma de las protecciones de las actividades de la Cadena Crítica se coloca al final de esta, generando de este modo el amortiguador del proyecto, que para el caso, corresponde a 631 días.

4.6.2.4 Amortiguadores de alimentación

De igual manera, para generar los amortiguadores de alimentación, se identifican las rutas que no son críticas, llamadas rutas alimentadoras (Goldratt, 1997), se suman los tiempos de protección de sus actividades para acortarlos al 50% y se colocan justo delante del punto donde la ruta la última actividad se une con la ruta crítica.

El diagrama final del cronograma del proyecto, con la Cadena Crítica, amortiguador de proyecto y de rutas de alimentación, puede apreciarse en la figura 30.

Los amortiguadores del proyecto y de alimentación se encuentran contemplados con MS Project y se presentan en este documento como método ilustrativo.

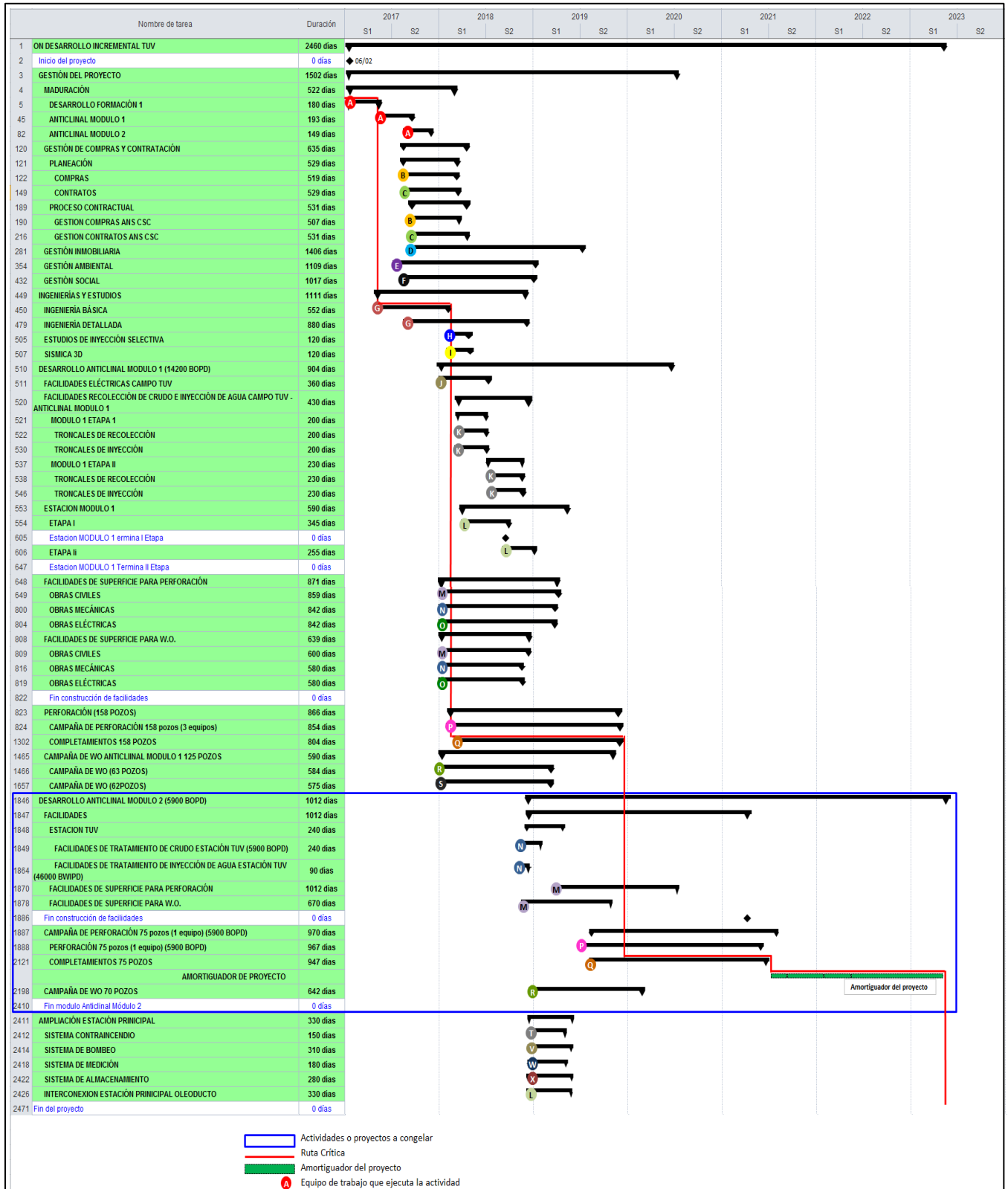


Figura 32. Cronograma del proyecto con amortiguador de proyecto

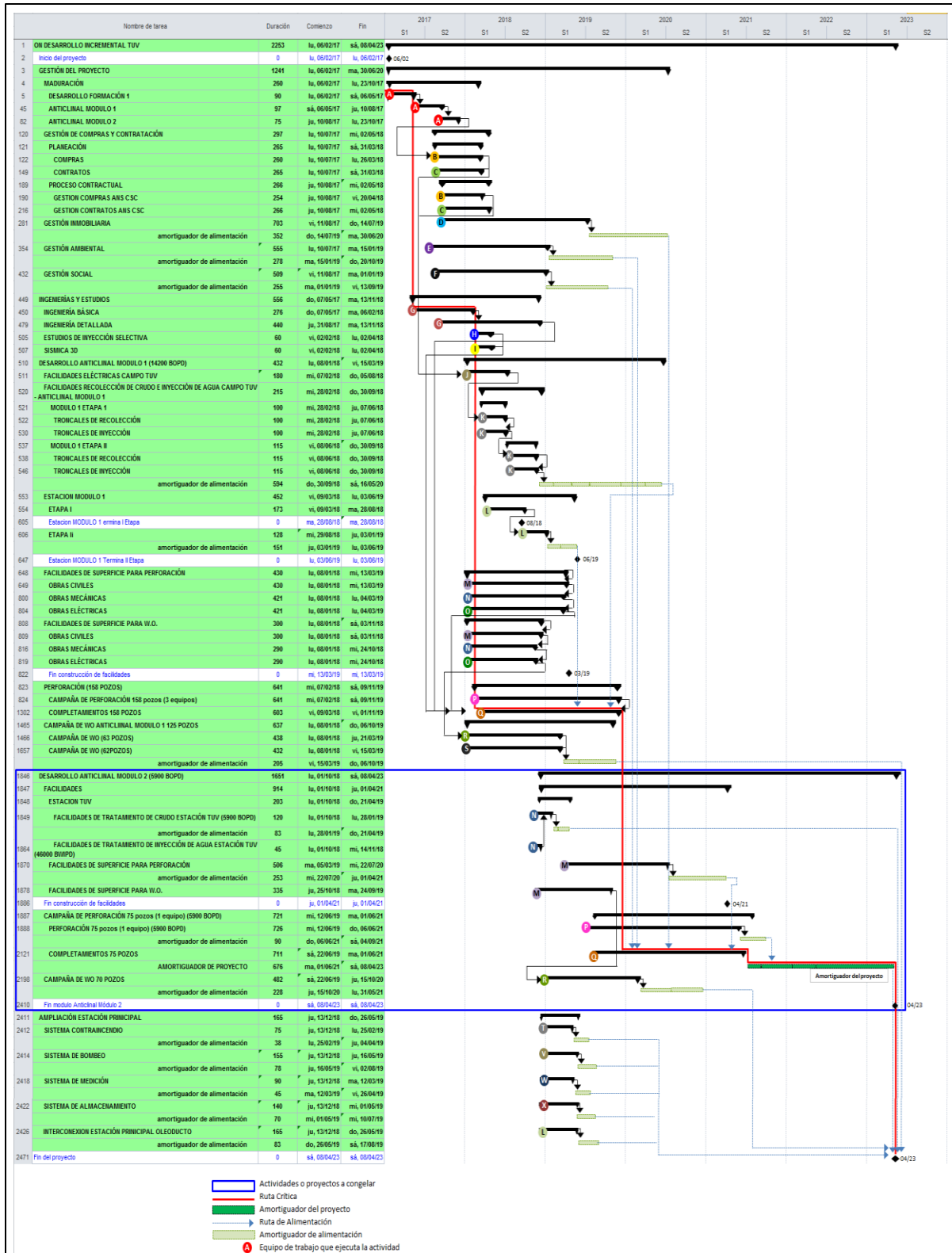


Figura 33. Cronograma del proyecto final propuesto

4.6.3 Comparación de resultados

El proyecto bajo la metodología CCPM, tiene un plazo de ejecución de 1.577 días, con fecha de inicio propuesta el 6 de febrero del año 2017, y fin el 1 de junio del año 2021. Cabe notar que en la industria petrolera, se trabajan por turnos todos los días del año, sin descontar dominicales ni días festivos. El amortiguador del proyecto tiene 676 días, esto es, que si la ejecución del proyecto requiere del uso de todo el amortiguador, este tendría una duración de 2.253 días.

Al comparar estos plazos del proyecto bajo CCPM con la planeación inicial, el proyecto se ejecutaría en 759 días menos (-32,4%), incluyendo que uno de los subproyectos, el desarrollo anticlinal módulo 2, se congeló y desplazó en el tiempo para asegurar una dedicación enfocada del equipo del proyecto y el cumplimiento de los plazos. En el caso de consumir los 676 días del amortiguador del proyecto, se cumpliría el proyecto con 83 días menos (-3,5%) en comparación a la planeación inicial.

	Metodología ejecutada (plan inicial)	Gestión de Proyectos con Cadena crítica (plan propuesto)
Fecha de inicio	19-may-2010	06-feb-2017
Fecha final	09-oct-2016	01-jun-2021 08-abr-2023 (incluyendo días de protección)
Días totales	2.336 días	1.577 días 676* días de protección. Incluyendo la protección: 2.253 días
Diferencia frente al plan inicial	-	-32,4% (-759 días) sin consumir el amortiguador del proyecto -3,5% (-83 días) consumiendo el amortiguador del proyecto

* Longitud del amortiguador del proyecto

Tabla 8. Resumen comparación de resultados CCPM Vs. Metodología ejecutada

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

5.1 CONCLUSIONES

La implementación de Gestión de Proyectos con Cadena Crítica en el caso de estudio de planeación del proyecto de desarrollo del campo TUV de producción de hidrocarburos, permite viabilizar su ejecución en un plazo de tiempo de 1.577 días y una protección de 676 días, esto es, entre 32.4% y 3.5% (759 y 83 días respectivamente) menor al plan original del proyecto de 2.336 días, manteniendo el mismo nivel de inversión y recursos al planeado originalmente.

Se identificó la ejecución del Módulo 2 del proyecto, como un subproyecto independiente y que su planeación original generaba un ambiente multiproyecto compartiendo recursos de planeación, administración y ejecución que en línea con la teoría de multitareas dañinas, tiene un alto potencial de ser causa de retraso de las actividades del proyecto. Se congeló su ejecución en la planeación para iniciarse hasta la finalización del módulo 1.

Se identificó que cada una de las actividades del plan original del proyecto contaba con una protección del 50% del tiempo planeado, y para las actividades de perforación y completamiento de pozos la protección era del 25%. Esta protección totalizó 956 días que fueron consumidos en su totalidad. Bajo la metodología de Gestión de Proyectos con Cadena Crítica, se eliminaron estas protecciones individuales y se generó una protección agregada del proyecto de 676 días que protege la ruta crítica.

El uso de la metodología de la Teoría de Restricciones ideada por el Dr. Eliyahu Goldratt, en cuya base se estructura la Gestión de Proyectos con Cadena Crítica, es totalmente utilizable para proyectos de desarrollo de la industria petrolera, que para el caso analizado en el presente documento, el proyecto de desarrollo del campo TUV de producción de petróleo, permite lograr los objetivos

de identificar las restricciones de gestión y ejecución del proyecto para enfocar en ellos los esfuerzos de la gerencia y cumplir los plazos del proyecto.

El planteamiento de CCPM, está alineado con los objetivos de los proyectos de la industria petrolera, cuya dependencia en las oportunidades del mercado de vender crudo a los mejores precios disponibles y de la volatilidad del mismo, hace que las alternativas de gestión que permitan obtener resultados más pronto en el tiempo, sea de mayor benéfico para la empresa.

5.2 PERSPECTIVAS

La implementación de la Gestión de Proyectos con Cadena Crítica al caso de estudio en su fase de planeación, permite comprender la Teoría de Restricciones y su aplicación en proyectos, reconociendo una forma diferente de realizar un mismo proyecto y obtener mejores resultados de valor y tiempo en su ejecución.

La exposición de las teorías de Goldratt a la gestión de proyectos petroleros, permite identificar oportunidades de cumplimiento en plazos de ejecución y de presupuesto de proyectos que se han caracterizado por sobrepasarlos.

El trabajo adelantado en el caso de estudio, permite reflexionar acerca de continuar desarrollando la Gestión de Proyectos con Cadena Crítica en proyectos petroleros, implementándolo en proyectos de menor a mayor envergadura en inversión e impacto corporativo, a fin de capitalizar las ventajas de ejecución cumpliendo plazos y presupuestos, convirtiéndose en una ventaja y fortaleza corporativa para la consolidación de nuevos negocios.

El ejercicio aquí planteado permite continuar desarrollándolo con la construcción de los árboles de Estrategia y Táctica, con el fin de identificar el

impacto que cada brinda cada actividad al proyecto y poder comunicarlo a fin de que cada uno de los integrantes del proyecto conozcan su participación e impacto en el mismo.

Así mismo, se debe continuar con el uso de software especializado en la aplicación de las prácticas emanadas de la Teoría de Restricciones, Árboles de Estrategia y Táctica, y Gestión de Proyectos con Cadena Crítica, permitiendo armonizar la ejecución de este tipo de proyectos de desarrollo de campos petroleros.

REFERENCIAS

- Barnard, A. (2013). Introduction to TOC's Strategy & Tactic Tree Thinking Process. Goldratt Research Labs. Recuperado de <https://www.harmonytoc.com/>.
- Blackstone, J.H. Jr and Cox, J.F. III (2008), APICS Dictionary, 12th ed., APICS, Falls Church, VA.
- Cohen, O. (2010). Daily Management with TOC. En Theory of Constraints Handbook. Ed. McGraw Hill.
- Dass, S., & Steyn, H. (2006). An exploratory assessment of project duration in multipleproject schedules where resources are allocated by the Theory of Constraints method. South African Journal of Industrial Engineering, 17(1), 39-54. Recuperado de ProQuest. (Document ID: 1184810441).
- Engwall, M. (2012). PERT, polaris, and the realities of project execution. International Journal of Managing Projects in Business, 5(4), 595-616. Recuperado de ProQuest. (Document ID: 1112233880).
- Fedesarrollo (2015). Informe de coyuntura petrolera. Noviembre 2015, No. 2. Pág 23. Recuperado el 2 de agosto de 2016 de <http://www.fedesarrollo.org.co/wp-content/uploads/COYUNTURA-PETROLERA-FEDESARROLLO-2.pdf>
- Geraldi, J., & Lechter, T. (2012). Gantt charts revisited. International Journal of Managing Projects in Business, 5(4), 578-594. Recuperado de ProQuest. (Document ID: 1112229712).
- Goldratt, E. y Cox, J. (1984). La meta. Un proceso de mejora continua. México: Ediciones North RiverPress.

Goldratt, E. (1994). No es cuestión de suerte. 5 ed. Ediciones Díaz de Santos.

Goldratt, E. (1997). Cadena Crítica. 3 Ed. Ediciones Granica.

Goldratt, E. (2002). Strategy and tactics tree TOC weekly. Recuperado de www.toc-goldratt.com.

Goldratt, E. (2008). La decisión, cómo elegir la mayor opción. Ed. Ediciones Granica.

Gupta, A., Bhardwaj, A., & Kanda, A. (2010). Fundamental concepts of Theory of Constraints: An emerging philosophy. World Academy of Science, Engineering and Technology, 46, 686-692.

Gupta, M.C. and Boyd, L.H. (2008). "Theory of constraints: a theory for operations management", International Journal of Operations & Production Management, Vol. 28 No. 10, pág. 991-1012.

Heizer, J., & Render B. (2007). Dirección de la producción y de operaciones. 8ª edición. Pág. 77-99. Pearson Educación, S.A., Madrid 2007.

Jacob, D. B., & McClelland, W. T. (2001). Theory of constraints project management: A brief introduction to the basics. Recuperado de <http://www.goldratt.com/pdfs/tocpmwp.pdf>.

Kania, E., Housden, G., & Hitchner, K. (2002). The Theory of Constraints: A unique alternative to traditional project management. Drug Information Journal, 36(3), 611. Recuperado de ProQuest. (Document ID: 275007515).

Leach, L. P. (2005). Critical Chain Project Management. Norwood, MA: Artech House.

- Lechler, T. G., Ronen, B., & Stohr, E. A. (2005). Critical chain: a new project management paradigm or old wine in new bottles? *Engineering Management Journal*, 17(4), 45-58. Recuperado de ProQuest. (Document ID: 975894461).
- Meyer E. David (1997). A computational theory o executive cognitive processes and multiple-task performance. Director University of Michigan's Brain, Cognition, and Action Laboratory. *Psychological Review*, 104, (1), 3-65.
- Niebel, B., & Freivalds, A. (2007). Metodos, estándares y diseño del trabajo. *Ingenieria Industrial*, 12, 719.
- OBS Business School (2014). Quiénes y cómo usan CCPM. Recuperado de <http://www.obs-edu.com/blog-project-management/cadena-critica/quienes-y-como-usan-ccpm/>.
- PMI (2013). A guide to the project management body of knowledge (PMBOK Guide). Pennsylvania USA: Project Management Institute.
- Shams-ur-Rahman “Theory of Constraints: A review of the philosophy and its applications”. *International Journal of operations management*, 18(1998), 336-355.
- Scheinkopf, L. J. (2010). Thinking processes including S&T trees. En “Theory of Constraints Handbook”. Ed. McGraw Hill.
- Shonberger, R.J. (1982). Some observations on the advantages and implementario issues of just-in-time production systems. *Journal of Operations Management*, Vol. 3 No. 1 p.5.

Standish Group, 2013. Chaos Manifesto 2013. The Standish Group International, Inc.

Umble, M., & Umble, E. (2000). Manage your projects for success: An application of the Theory of Constraints. *Production and Inventory Management Journal*, 41(2), 2732. Recuperado de ProQuest. (Document ID: 59180415).

UPME (2015). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. 2015. Pág 23-33. Recuperado el 2 de agosto de 2016 de http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf

Vanhoucke, Mario (2012). Critical Chain/Buffer Management: Adding buffers to a project schedule. Recuperado de <http://www.pmknowledgecenter.be/node/269>.

Yang, J. (2007). How the critical chain scheduling method is working for construction. *Cost Engineering*, 49(A), 25-32. Recuperado de ProQuest. (Document ID: 1275874751).

Walker, E. (2001). Theory of constraints project management. Traditional Planning and Control Mechanisms in Project Management. Recuperado de <http://www.goldratt.com/pdfs/tocpmwp.pdf>.

Wickwire, J. M., & Ockman, S. (2000). Industry crisis: Construction scheduling software. *AACE International Transactions*, R2.1-R2.8. Recuperado de ProQuest. (Document ID: 208206479).