

**Guía para la planeación e implementación de un sistema de levantamiento artificial
basado en los lineamientos PRINCE2 para un campo petrolero de Colombia**

Jhoan Sebastian Vargas Delgado, Natalia Gallo Corzo

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero de Petróleos

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniera Industrial

Directores:

Fernando Enrique Calvete González

MSc. Informática

Jose Alonso Caballero Márquez

MSc. Ingeniería Industrial

Codirector:

Carlos Enrique Vecino Arenas

PhD en Administración

Universidad Industrial de Santander

Facultad de ingenierías fisicoquímicas

Facultad de ingenierías fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería de Petróleos

Escuela de Estudios Industriales y Empresariales

Bucaramanga

2020

AGRADECIMIENTOS

A nuestros directores, los ingenieros Fernando Enrique Calvete y Jose Alonso Caballero, por su disposición para orientar, corregir y apoyarnos en cada aspecto del proyecto.

A mi compañera de proyecto universitario y de vida, Natalia Gallo Corzo, por su paciencia y disciplina durante esta etapa.

A los grupos de investigación GMPH y Finance and Management, por su disposición y colaboración en el desarrollo del proyecto.

A mi familia y amigos por apoyarme, motivarme y colaborar en este tedioso proceso.

Jhoan Sebastian Vargas Delgado.

A nuestros directores, el profesor Jose Alonso Caballero y Fernando Enrique Calvete, por su disposición para guiarnos, corregirnos y apoyarnos en cada paso del proyecto.

A mi compañero de proyecto y de vida, Jhoan Sebastian Vargas Delgado, por su esfuerzo y dedicación durante esta etapa.

A los grupos de investigación Finance and Management y GMPH, por su disposición y colaboración en el desarrollo del proyecto.

A mi familia y amigos por apoyarme, motivarme y colaborar en este proceso, especialmente a Jetsahel y Dumar, por su apoyo y motivación.

A la familia LQCI, especialmente a la Profe Yolanda y Bibi, por su paciencia, colaboración y sabiduría, por siempre estar en los momentos que más las necesitaba.

Natalia Gallo Corzo.

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios, por permitirme culminar esta etapa de mi vida.

A mi madre Ismenia, por su amor y comprensión, por acompañarme en mis arduas noches de estudios, por ser un ejemplo de mujer, porque gracias a ella aprendí que las cosas con esfuerzo siempre se pueden lograr.

A mi padre Manuel, por su amor y dedicación, por brindarme siempre su apoyo incondicional, porque siempre respeto cada decisión que tomo y me dice que todo es posible con la ayuda de Dios.

A mi hermana y mi sobrino Sebitas, por su amor y comprensión, por estar siempre a mi lado y ayudarme en todo lo que pudieran.

A mi novio Jhoan, por su amor y paciencia, porque a lo largo del proyecto me di cuenta de que hacemos un gran equipo y que juntos podemos lograr grandes cosas.

A Doña Yolima, por su amor y sabiduría, por siempre brindarme una voz de aliento cuando la necesitaba.

Natalia Gallo Corzo.

DEDICATORIA

A mi madre Yolima por su apoyo incondicional, buenos deseos y esperanzas que la caracterizan y me formaron a lo largo de toda mi vida para motivarme a ser mejor persona, a mi padre Javier por su paciencia, comprensión y buenos consejos los cuales me acompañaron siempre desde mis primeros años de vida hasta el presente que aún sigo dando lata.

A mi nona Dominga que en su tiempo de vida me acompañó con mucho cariño y amor a la cual extraño enormemente, mi nono Julio por su compañía y amor en mi infancia, A mi tía Yolanda con sus consejos y regaños a lo largo de TODA mi carrera universitaria, mi tía Pancha y Martha (preguntarme cada que me veía si ya me había graduado) por siempre estar pendientes de este proceso de formación, a mi tía Gisela por su disposición al momento de realizar cada consulta.

A mis primos hermanos Cris, R@, Laurita, la mona, los cuales me aconsejaron, y alcahuetiaron en muchas de mis decisiones, siempre deseándome el mayor de los éxitos.

Mis otros primos Andres, Juan y David por... bueno escuchar pequeños consejos.

A mi novia Natis por la PACIENCIA, paciencia y más paciencia que la caracterizó en el desarrollo del proyecto de grado y en todo el tiempo que estuvimos en la universidad ya que verla crecer y fortalecerse (en conocimiento, porque estatura no dio más) me llenó de fortaleza y ganas de no parar de mejorar y progresar tanto profesionalmente como personalmente.

A mis amigos, especialmente a los mejores amigos Yetxy, Dumir y Cardenas por estar presentes en mi vida universitaria, momentos buenos y malos, pero siempre llenos de pura adrenalina, en ellos se demuestra lo que es una verdadera amistad llena de comprensión, alcahuetería, pero siempre excelentes deseos.

JHOAN SEBASTIAN VARGAS DELGADO

Tabla de contenido

Introducción	25
1. Cumplimiento de Objetivos	26
2. Definición del Proyecto.....	27
2.1. Planteamiento del problema	27
3. Objetivo general.....	28
4. Objetivos específicos	28
5. Desarrollo Metodológico	29
5.1. Etapa 1: Recopilación y análisis de investigación.....	30
5.1.1. Recolección de datos.....	30
5.1.2. Procesamiento y tabulación de datos	33
5.2. Etapa 2: Elaboración y ejecución de la guía	34
5.3. Etapa 3: Análisis de resultados	34
5.4. Etapa 4: Elaboración del artículo publicable.....	34
6. Marco Teórico.....	35
6.1. Sistema de levantamiento artificial.....	35
6.1.1. Bombeo mecánico.	36
6.1.2. Bombeo por cavidades progresivas.	38

6.1.3. Gas lift.	40
6.1.4. Bombeo hidráulico	42
6.1.5. Bombeo electrosumergible.	45
6.2. ¿Qué es un proyecto?.....	47
6.2.1 ¿Qué es la gestión de proyectos?.....	47
6.2.1.1. Características de la gestión de proyectos. (Wallace, 2014).....	47
6.2.1.2. Beneficios potenciales de la gestión de proyectos	47
6.2.1.3. Desafíos potenciales de la gestión de proyectos.	49
6.3. Definición de Metodología.	50
6.3.1. PRINCE2 frente a PMBOK	51
6.3.1.1. La estructura de PRINCE2.....	53
6.3.1.2. Los principios de PRINCE2.....	53
6.3.1.3. Los temas de PRINCE2	55
6.3.1.4. Procesos de PRINCE2.....	56
6.3.1.5. El entorno del proyecto	57
6.3.2. PRINCE2 en la industria petrolera.....	58
7. Análisis de la Revisión de la Literatura	59
7.1. Análisis bibliométrico.....	59
8. Guía preliminar para la planeación e implementación de un sistema de levantamiento artificial con PRINCE2	63

8.1. Tabla de contenido de la guía preliminar para la planeación e implementación de un sistema de levantamiento artificial con PRINCE2.....	63
8.2. Mandato del proyecto	64
8.3. Formato del diseño y designación del equipo de gestión de proyectos	65
8.4. Business case	66
9. Prueba piloto con base en la experiencia de campo escuela Colorado	67
9.1. Business case aplicado.....	68
9.2. Análisis financiero	69
9.2.1. Indicadores económicos.....	70
9.2.1. Cálculo del costo de un sistema gas lift intermitente	75
9.3. Escenario de aplicación	75
9.4. Diseño del sistema de levantamiento artificial	78
10. Guía para la planeación e implementación de un sistema de levantamiento artificial con PRINCE2.....	79
10.1. Tabla de contenido de la guía final para la planeación e implementación de un SLA con PRINCE2	80
10.2. Brief de proyecto áreas transversales	81
10.3. Criterios comerciales y alternativas para los sistemas de levantamiento artificial.....	85
10.4. Screening de aplicación de los sistemas de levantamiento artificial	86
10.5. Paquete de trabajo selección del sistema de levantamiento artificial	87

11. Artículo publicable.....	90
12. Conclusiones	92
13. Recomendaciones.....	94
14. Bibliografía	95

Lista de tablas

Tabla 1 Cumplimiento de objetivos	26
Tabla 2 Protocolo de búsqueda	30
Tabla 3 Resultados de búsqueda realizada en Scopus	31
Tabla 4 Resultados de búsqueda realizada en web of science	32
Tabla 5 Resultados de búsqueda realizada en Onepetro	32
Tabla 6 Screening operacional de bombeo mecánico	37
Tabla 7 Screening operacional de bombeo por cavidades progresivas.....	39
Tabla 8 Screening operacional de gas lift	40
Tabla 9 Screening operacional de bombeo hidráulico tipo pistón	42
Tabla 10 Screening operacional de bombeo hidráulico tipo jet.....	44
Tabla 11 Screening operacional de bombeo electrosumergible.....	45
Tabla 12 Metodologías para la gestión de proyectos	50
Tabla 13 Relación entre los procesos de PMBOK y PRINCE2.....	51
Tabla 14 Los principios de PRINCE2.....	54
Tabla 15 Temas de PRINCE2	55
Tabla 16 Criterios de aceptación del VPN.....	72
Tabla 17 Criterios de aceptación de la TIR.....	73
Tabla 18 Sugerencias de expertos	79

Lista de figuras

Figura 1 Precio del petróleo	27
Figura 2 Metodología de la investigación	29
Figura 3 Resultados de la búsqueda	33
Figura 4 Principales técnicas de levantamiento artificial.....	36
Figura 5 Estructura de PRINCE2	53
Figura 6 Año de publicación	59
Figura 7 País de publicación	60
Figura 8 Base de datos utilizadas en la búsqueda	60
Figura 9 Tipo de documento	61
Figura 10 Nube de palabras claves.....	62
Figura 11 Tabla de contenido de la guía preliminar	63
Figura 12 Formato de mandato de proyecto	64
Figura 13 Formato del diseño y designación del equipo de gestión de proyectos.....	65
Figura 14 Formato del Business case.....	66
Figura 15 Business case, prueba piloto	68
Figura 16 Business case, prueba piloto	69
Figura 17 Determinación de costos, tablas	76
Figura 18 Determinación de costos.....	77

Figura 19 Diseño del sistema de levantamiento artificial	78
Figura 20 Tabla de contenido de la guía final para la planeación e implementación de un SLA con PRINCE2.....	80
Figura 21 Brief de proyectos de áreas transversales, parte 1	81
Figura 22 Brief de proyectos de áreas transversales, parte 2	82
Figura 23 Brief de proyecto áreas transversales, parte 3	83
Figura 24 Criterios comerciales y alternativas para los sistemas de levantamiento artificial ..	85
Figura 25 Screening de aplicación de los sistemas de levantamiento artificial	86
Figura 26 Paquete de trabajo selección del sistema de levantamiento artificial	87
Figura 27 Ficha técnica Bombeo mecánico	88
Figura 28 Ficha técnica Bombeo electro sumergible	88
Figura 29 Ficha técnica bombeo hidráulico tipo jet.....	89
Figura 30 Ficha técnica bombeo por cavidades progresivas.....	89

Lista de Apéndices

(Ver apéndices adjuntos en el CD)

Apéndice A. Tabulación de resultados de búsqueda y selección por método de semáforo

Apéndice B. Guía preliminares para el cambio o implementación de un sistema de levantamiento artificial basado en los lineamientos PRINCE2 para un campo petrolero colombiano

Apéndice C. Prueba piloto con la experiencia de campo Colorado

Apéndice D. Guía para la planeación en implementación de un sistema de levantamiento artificial basado en los lineamientos PRINCE2 para un campo petrolero colombiano

Apéndice E. Artículo de carácter publicable

Apéndice F. Tablas y gráficas correspondientes al análisis bibliométrico

Apéndice G. Línea de tiempo de la gestión de proyectos

Glosario

Acción correctiva: Directiva y actividad que modifica el desempeño del trabajo para ajustarlo al planificador (ICONTEC, 2012).

Acción preventiva: Directiva y actividad para modificar el trabajo con el objetivo de evitar o reducir desviaciones potenciales del desempeño respecto al plan (ICONTEC, 2012).

Actividades: Diferentes acciones que se desarrollan a lo largo de un proyecto y tienen una durabilidad, un costo y una asignación de recursos. Se dividen en tareas (Editorial grupo 5/ IFIS grupo 5, 2012).

Alcance: Para un plan, la suma total de sus productos y en la medida de sus necesidades. Se describe por la estructura jerárquica de productos y su respectiva descripción (AXELOS, 2017).

Buenas prácticas: Este concepto se utiliza en una amplia variedad de contextos para referirse a las formas óptimas de ejecutar un proceso, que pueden servir de modelo para otras organizaciones. Es bastante frecuente que existan barreras o dificultades para la detección y transferencias de buenas prácticas entre organizaciones y por ello, es necesario establecer criterios comunes para su detección y selección (Editorial grupo 5/ IFIS grupo 5, 2012).

Campo: Hace referencia a un área en superficie la cual está conformada de una cantidad limitada de pozos y en fondo posee uno o más yacimientos.

Caso de negocio: La justificación para una actividad de organización, que contiene típicamente plazos, costos, beneficios y riesgos, y contra la cual se prueba la continua viabilidad del proyecto (AXELOS, 2017).

Ciclo de vida del proyecto: Conjunto definido de fases desde el inicio hasta el final del proyecto (ICONTEC, 2012).

Cierre del proyecto: Etapa final de un proyecto. Un proyecto solo puede cerrarse, y su entorno de gestión desmantelarse, cuando se considera que ha cumplido con los criterios del grupo conductor del proyecto (Editorial grupo 5/ IFIS grupo 5, 2012).

Columna estratigráfica: representación vertical de las unidades litológicas en un área específica (Gallo & Vásquez, 2018).

Comité de dirección del proyecto: Entidad que aprueba la carta del proyecto, asegura recursos y adjudica todas las solicitudes de cambio de elementos clave del proyecto, incluyendo los resultados esperados, la programación y el presupuesto (Luecke, 2004).

Competitividad: Características de una empresa que la hacen potencialmente más fuerte que sus competidores en un mercado (Editorial grupo 5/ IFIS grupo 5, 2012).

Documentación de inicio del proyecto (PID): Un conjunto lógico de documentos que reúne la información clave necesaria para iniciar el proyecto sobre una base sólida y que transmite la información a todos los interesados en el proyecto (AXELOS, 2017).

Efectividad: Relación entre los recursos sacrificados o aplicados y el impacto obtenido por el proyecto (Editorial grupo 5/ IFIS grupo 5, 2012).

Eficacia: Nivel o grado en el que se alcanzan los objetivos de un programa en función de su orientación o resultado (Editorial grupo 5/ IFIS grupo 5, 2012).

Eficiencia: Comparación entre los resultados alcanzados y los medios o factores utilizados (Editorial grupo 5/ IFIS grupo 5, 2012).

Factibilidad: Permite comprobar si los objetivos del proyecto pueden cumplirse realmente (Editorial grupo 5/ IFIS grupo 5, 2012).

Factor de recobro: representa el porcentaje recuperable de la totalidad del petróleo en un área determinada (Yacimiento).

Gestión de proyectos: La asignación, seguimiento y utilización de recursos para alcanzar un determinado objetivo, dentro de un periodo especificado (Luecke, 2004).

Gestión del riesgo: La parte del proceso de planificación del proyecto que identifica los principales riesgos y desarrolla planes para prevenirlos y/o mitigar los efectos adversos que pueden tener (Luecke, 2004).

Gravedad API: Escala de gravedad específica desarrollada por el Instituto Estadounidense del Petróleo (American Petroleum Institute, API) para medir la densidad relativa de diversos líquidos de petróleo, expresada en grados (Schlumberger, 1998).

Hidrocarburo: es un compuesto orgánico formado únicamente por átomos de hidrógeno y carbón (Nieto, 2018).

Hito: Un acontecimiento importante en la programación de un plan, como la finalización de los paquetes de trabajo principales, un paso de desarrollo o una fase de gestión (AXELOS, 2017).

Línea base: Base de referencia de comparación contra la que es supervisado y controlado el desempeño del proyecto (ICONTEC, 2012).

Litológica: Parte de la geología que estudia las características de las rocas que constituyen una determinada formación geológica (Nieto, 2018).

Madurez: Cuando ha alcanzado un alto grado de desarrollo en el tiempo.

Modelo de madurez: Un método de evaluación de capacidad de la organización en un área determinada de la habilidad (AXELOS, 2017).

Parte interesada: Cualquier que tenga un interés especial en el resultado de un proyecto y que juzgará el éxito o fracaso del mismo (Luecke, 2004).

Perforación: acción y efecto de perforar el subsuelo atravesando diferentes formaciones hasta llegar al yacimiento de petróleo (Gallo & Vásquez, 2018).

Permeabilidad: es la capacidad, o medición de la capacidad de una roca, para transmitir fluidos, medida normalmente en darcies o milidarcies (Schlumberger, 1998).

Porosidad: es el porcentaje de volumen de poros o espacio poroso, o el volumen de roca que puede contener fluidos (Schlumberger, 1998).

Pozo: Perforación para el proceso de búsqueda o producción de petróleo crudo gas natural o para proporcionar servicios relacionados con los mismos (SENER, 2015).

Producción: se refiere a la explotación del petróleo y el gas natural de los yacimientos o reservas (Gallo & Vásquez, 2018).

Proyecto: Una organización temporal que se crea con el propósito de entregar uno o más productos de negocio de acuerdo con un modelo de negocio acordado (AXELOS, 2017).

Riesgo inherente: La exposición derivada de un riesgo específico antes de haber tomado cualquier acción para su gestión (AXELOS, 2017).

Salida: Un producto especializado que está entregado a un usuario. Tenga en cuenta que los productos de gestión no son salidas sino que entran con el único fin de gestionar el proyecto (AXELOS, 2017).

Yacimiento: Un cuerpo de roca del subsuelo que exhibe un grado suficiente de porosidad y permeabilidad para almacenar y transmitir fluidos (Schlumberger, 1998).

RESUMEN

TÍTULO: GUÍA PARA LA PLANEACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL BASADO EN LOS LINEAMIENTOS PRINCE2 PARA UN CAMPO PETROLERO DE COLOMBIA*

AUTORES: JHOAN SEBASTIAN VARGAS DELGADO, NATALIA GALLO CORZO**

PALABRAS CLAVE: SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL, PMBOK, PRINCE2, PLAN DE GESTIÓN, CAMPO, POZO, GESTIÓN DE PROYECTOS.

DESCRIPCIÓN:

La gestión de proyectos es un área cuyo crecimiento no se detiene y se ha expandido hasta la industria del petróleo en todos sus aspectos. A raíz de las crisis periódicas que enfrenta la industria petrolera, se han visto en la necesidad de optimizar procesos y recursos mediante el uso de metodologías que los ayuden a controlar los procesos de una manera austera y coherente.

Este proyecto de investigación busca proveer a los ingenieros de producción para campos petroleros de una herramienta que les sirva como guía para realizar sus labores de gestión de proyectos, específicamente en el área de los sistemas de levantamiento artificial mediante la metodología europea de gestión de proyectos conocida como PRINCE2 en su versión 2017, con posibilidad de expansión a cualquier tipo de proyectos.

Los resultados de la investigación no arrojaron valores concluyentes en cuanto a la eficiencia de la metodología con respecto a otras formas de realizar la gestión de proyectos, pero si reforzaron de forma general que existen diferentes maneras de realizar un proyecto, todas ellas válidas y lo más significativo que tienen en común es el uso de herramientas adecuadas para llevar un control de la gestión de proyectos y todos sus procesos.

* Trabajo de grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Director: Msc. José Alonso Caballero Márquez y PhD. Fernando Enrique Calvete González Codirector: PhD. Carlos Enrique Vecino Arenas

ABSTRACT

TITLE: GUIDE FOR THE PLANNING AND IMPLEMENTATION OF AN ARTIFICIAL LIFTING SYSTEM BASED ON THE PRINCE2 GUIDELINES FOR A COLOMBIAN PETROLEUM FIELD*

AUTHORS: JHOAN SEBASTIAN VARGAS DELGADO, NATALIA GALLO CORZO**

KEY WORDS: ARTIFICIAL LIFTING SYSTEM, PMBOK, PRINCE2, MANAGEMENT PLAN, FIELD, WELL, PROJECT MANAGEMENT.

DESCRIPTION:

Project management is an area that has been continuously growing and has expanded to the oil industry. Following a series of crises facing the oil industry, they have found themselves in need of optimizing processes and resources through the use of methodologies that help them control the processes in a strict manner.

This research project sought to provide production engineers for oil fields with a tool that will serve as a guide to carry out their project management tasks, specifically in the area of artificial lift systems. Production engineers will be using the known European project management methodology PRINCE2 in its 2017 version, seeking expansion to any type of projects.

The results of the research did not provide conclusive values regarding the efficiency of the methodology, but they reinforced that there are different ways of carrying out a project, all of them valid. What they have in common is the use of appropriate tools to keep track of project management and all its processes.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Director: Msc. José Alonso Caballero Márquez Arenas y PhD. Fernando Enrique Calvete González Codirector: PhD. Carlos Enrique Vecino

Introducción

A medida que transcurre el tiempo, la industria del petróleo enfrenta retos económicos debido a las constantes regulaciones ambientales y presupuestales que rigen la extracción y refinamiento del crudo. Estos retos crean la necesidad continua de superar las barreras, para mantener e incrementar los beneficios económicos (Academy, 2017). Por esta razón el área encargada de la producción implementa equipos llamados sistemas de levantamiento artificial, los cuales se llevan a cabo en campos maduros y cuya producción se encuentran en un punto de declive bajo, teniendo como objetivo aumentar la utilidad de estos pozos.

Con el fin de lograr los mejores resultados se hace necesario implementar la gestión de proyectos, la cual se encarga de planificar, delegar, monitorear y controlar todos los aspectos del proyecto y la motivación de los involucrados, para lograr los objetivos del proyecto dentro de las metas de desempeño, en tiempo, costo, calidad, alcance, beneficio y riesgo esperado (AXELOS, 2017, p. 41).

Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente, se decide incursionar en una metodología para la gestión de proyectos poco conocida en Colombia como lo es PRINCE2 (Projects in Controlled Environments). Esta ofrece al cliente (Sector petrolero) una forma de administrar los proyectos de manera puntual, minimizando riesgos y problemas, manteniendo los márgenes presupuestales, con el fin de proporcionar un marco de buenas prácticas por medio de los siete principios de PRINCE2 los cuales son: continua justificación del negocio, aprender de la experiencia, definir roles y responsabilidades, administración por etapas, gestión por excepción, enfoque en el producto y hecho a la medida para adaptarse al proyecto (AXELOS, 2017).

Este proyecto tiene como objetivo realizar una guía para la planeación e implementación de un sistema de levantamiento artificial basado en los lineamientos PRINCE2 para un campo petrolero de Colombia, con el fin de entregarle a la industria petrolera, una herramienta práctica, que combina los conocimientos técnicos para la correcta selección de este sistema y la aplicación de la metodología de gestión de proyectos, la cual se piensa comprobar con una prueba piloto con base en la experiencia de campo escuela Colorado.

1. Cumplimiento de Objetivos

Tabla 1
Cumplimiento de objetivos

Objetivos Específicos	Cumplimiento
Realizar un análisis web para identificar prácticas realizadas sobre el cambio o la implementación de un sistema de levantamiento artificial.	Apéndice A
Elaborar una guía con base al cuerpo del conocimiento de la metodología PRINCE2 y las experiencias encontradas en el análisis web para la planeación e implementación de un sistema de levantamiento artificial para un campo petrolero de Colombia.	Apéndice B
Realizar una prueba piloto con base a la experiencia de campo escuela Colorado, con el fin de analizar los resultados de cambiar el sistema de levantamiento artificial bajo los lineamientos PRINCE2.	Apéndice C
Complementar la guía para la planeación e implementación de un sistema de levantamiento artificial para un campo petrolero de Colombia a partir de los resultados de la prueba piloto.	Apéndice D
Elaborar un artículo académico de carácter publicable basado en el trabajo de investigación realizado.	Apéndice E

2. Definición del Proyecto

2.1. Planteamiento del problema

La industria petrolera se ve afectada por crisis económicas periódicas, las cuales se evidencian en la reducción del precio por barril de crudo (\$/BBL), como se puede reflejar en la figura 1, la baja más representativa se puede ver en el periodo de 2012 a 2016, con un porcentaje de disminución del 75.79%; esto crea la necesidad de optimizar los procesos en busca de obtener una rentabilidad mayor a menor costo de inversión.

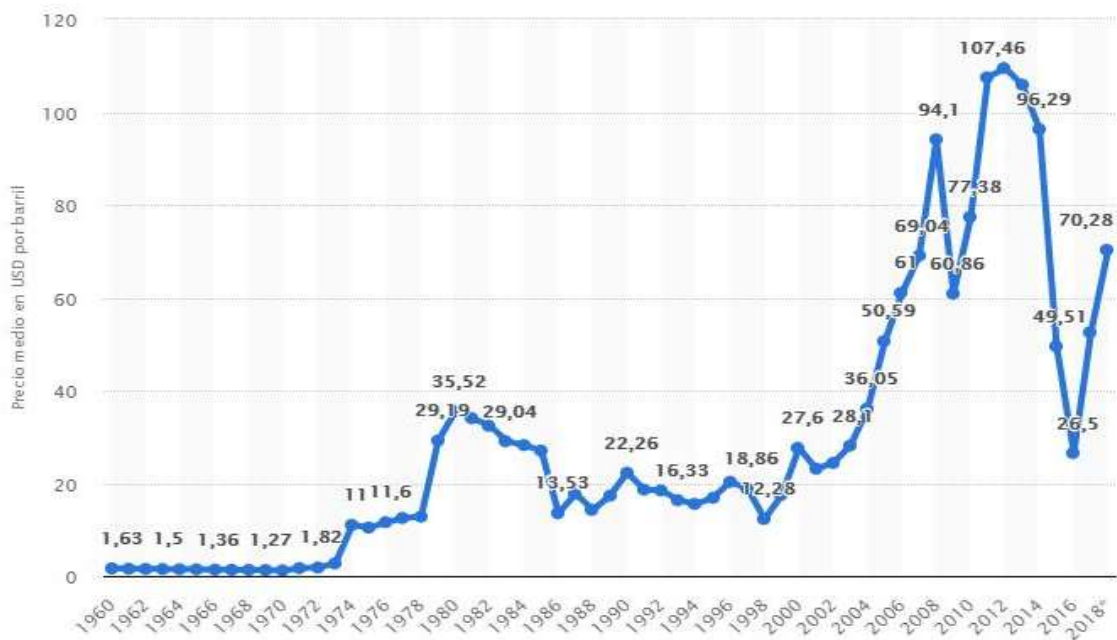


Figura 1 Precio del petróleo. Adaptado de organization of the petroleum exporting countries.

Por otra parte “la presente producción de crudo en Colombia se deriva en un 70% de campos maduros los cuales llevan operando más de 20 años” (Vega & Lara, 2013), y son estos campos los que debido a su extracción continua han reducido su energía natural y requieren de una ayuda

para seguir produciendo a tasas rentables, en este punto entran en juego los Sistemas de Levantamiento Artificial (SLA), los cuales cumplen esta función. Sin embargo, siendo este valor un dato significativo, los aspectos económicos que conlleva una operación de implementación o acondicionamiento de un sistema de levantamiento artificial (SLA) a un pozo, tienden a ser superficiales y no prestan suficiente atención a costos asociados a la planeación por etapas que se debe realizar, para las cuales se deben tener en cuenta la organización, la calidad, los riesgos, los cambios y el monitoreo del progreso (K. Fernández, Garrido, Ramírez, & Perdomo, 2015).

Por esto es necesario implementar una metodología como PRINCE2, la cual se basa en principios de probada eficacia, las organizaciones que adoptan el método como patrón puede mejorar considerablemente la capacidad de su organización y su madurez en múltiples áreas de la actividad comercial (Montes de Oca Salcedo & Perez, 2014); por ende, se aplicará esta metodología, para realizar el cambio o implementación de un sistema de levantamiento artificial a un campo petrolero de Colombia.

3. Objetivo general

Desarrollar una guía para la planeación e implementación de un sistema de levantamiento artificial basado en los lineamientos PRINCE2 para un campo petrolero de Colombia.

4. Objetivos específicos

- Realizar un análisis web para identificar prácticas realizadas sobre el cambio o la implementación de un sistema de levantamiento artificial.

- Elaborar una guía con base al cuerpo del conocimiento de la metodología PRINCE2 y las experiencias encontradas en el análisis web para la planeación e implementación de un sistema de levantamiento artificial para un campo petrolero de Colombia.
- Realizar una prueba piloto con base a la experiencia de campo escuela Colorado, con el fin de analizar los resultados de cambiar el sistema de levantamiento artificial bajo los lineamientos PRINCE2.
- Complementar la guía para la planeación e implementación de un sistema de levantamiento artificial para un campo petrolero de Colombia a partir de los resultados de la prueba piloto.
- Elaborar un artículo académico de carácter publicable basado en el trabajo de investigación realizado.

5. Desarrollo Metodológico

Los objetivos específicos mencionados en el numeral 2.3, son la base fundamental con la cual se plantea la metodología investigativa. Esta se va a dividir en 4 etapas de desarrollo (figura 2) y para cada una, se va a hacer una secuencia lógica de pasos y actividades para el correcto desarrollo del tema a tratar.

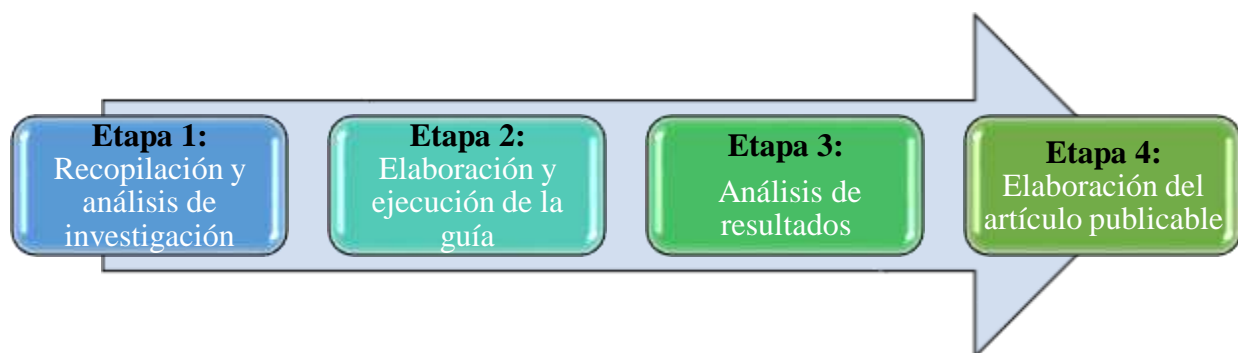


Figura 2 Metodología de la investigación

5.1. Etapa 1: Recopilación y análisis de investigación

5.1.1. Recolección de datos. El progreso de la investigación da inicio con la selección de términos, con los cuales se va a llevar a cabo las búsquedas en las diferentes bases de datos como: ISI Web of Science, Scopus y Onepetro; teniendo en cuenta una ventana de tiempo de 2014 a marzo de 2018 y utilizando como palabras claves: sistema, levantamiento, artificial, implementación, cambio, PRINCE2, caso de estudio y gerencia de proyectos. Otras de las consideraciones que se tienen en cuenta en la investigación se aprecian en la tabla 2.

Tabla 2
Protocolo de búsqueda

Protocolo de búsqueda de fuentes de información	
Idioma	English.
Ventana de tiempo	2014 a 2018.
Palabras claves	PRINCE2, System, lift, artificial, implementation, change, case study, project management.
Tipo de documento	Journals papers and conference proceeding
Campo de búsqueda	Título, palabra clave y resumen.
Recurso de información	<i>Bases de datos:</i> ISI Web of Science/ Scopus/ onepetro.
Criterios de selección (exclusión o inclusión)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Publicaciones que contengan como tema central el objeto de esta investigación 2. Publicaciones recientes dentro de la ventana de tiempo del 2014 a 2018 3. Publicaciones en inglés

Teniendo en cuenta los criterios mencionados anteriormente, se procede a realizar la búsqueda en las diferentes bases de datos, de las cuales se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 3
Resultados de búsqueda realizada en Scopus

Scopus		
Tipo de parámetro	Parámetro	Resultados
Búsqueda	Artificial lift system and case study	116
Ventana de tiempo	2014-2018	109
Área de estudio	Energy, Engineering, Business, management and accounting	90
Idioma	English	90
Palabra clave	Artificial lift, lift, optimization, mature, nodal analysis, PCP, production	50
Título y resumen	Se realiza bajo criterio de los investigadores, teniendo en cuenta los objetivos de la investigación.	16

Nota: Búsqueda realizada en Scopus. Adaptado: base de datos Scopus (Elsevier B.V, 2019).

Al realizar la búsqueda en Scopus, se encuentran 116 artículos usando el criterio de búsqueda “Artificial lift system and case study”, posterior a esto se determina una ventana de tiempo de 5 años, la cual da como resultado 109 artículos publicados en esos años (2014-2018).

En las palabras claves se seleccionan aquellas palabras que estén relacionadas con sistemas de levantamiento artificiales o resultados que se esperan al aplicarlos, en el área de aplicación se tiene en cuenta las ramas de ingeniería, energía, negocios, gerencia y contabilidad, para finalizar se seleccionan los artículos que cumplen con los objetivos de la investigación, teniendo como resultado 16 artículos de la base de datos de Scopus.

Se llevaron a cabo búsqueda con las palabras sistemas de levantamiento artificial y PRINCE2 y no se encuentran resultados.

Tabla 4
Resultados de búsqueda realizada en web of science

Web of science		
Tipo de parámetro	Parámetro	Resultados
Búsqueda	Artificial lift system	272
Refinar búsqueda	Case study	31
Ventana de tiempo	2014-2018	19
Título y resumen	Se realiza bajo criterio de los investigadores, teniendo en cuenta los objetivos de la investigación.	12

Nota: Búsqueda realizada en web of science. Adaptado: base de datos web of science (Clarivate Analytics, 2019).

Web of Science arroja como resultado 272 artículos, al utilizar como criterio de búsqueda artificial lift system, al refinar la búsqueda con el criterio de case study se obtienen 31 artículos, posteriormente se aplica la ventana de tiempo entre los años 2014 y 2018. Para finalizar se eligen 12 artículos teniendo en cuenta los objetivos de la investigación.

Tabla 5
Resultados de búsqueda realizada en Onepetro

Onepetro		
Tipo de parámetro	Parámetro	Resultados
Tema de búsqueda	Artificial lift system and project management	3142
Ventana de tiempo	2014-2018	1020
Título y resumen	Se realiza bajo criterio de los investigadores, teniendo en cuenta los objetivos de la investigación.	78

Nota: Búsqueda realizada en Onepetro. Adaptado: base de datos Onepetro (SPE, 2019).

OnePetro maneja en su mayoría artículos de revista y actas de congresos, exclusivamente de la industria del petróleo; se usó inicialmente el criterio de búsqueda “Artificial lift system” pero arrojó más de 20.000 documentos por lo que se decidió aplicar inmediatamente el criterio de

inclusión “project management” y así llegar a 3142 resultados, posteriormente se delimitó la ventana de tiempo a 5 años, reduciéndose a 1020 resultados. Como criterio de inclusión final, se realiza una inspección del título y resumen por parte de los investigadores teniendo en cuenta los objetivos de la investigación, obteniendo 78 artículos útiles para el proyecto.

En total se obtienen 108 documentos de las bases de datos revisadas, los cuales se revisaron detenidamente, para saber si implementaron o cambiaron un sistema de levantamiento artificial o contiene información afín a los objetivos de la investigación y de esta manera decidir si son útiles para la investigación.

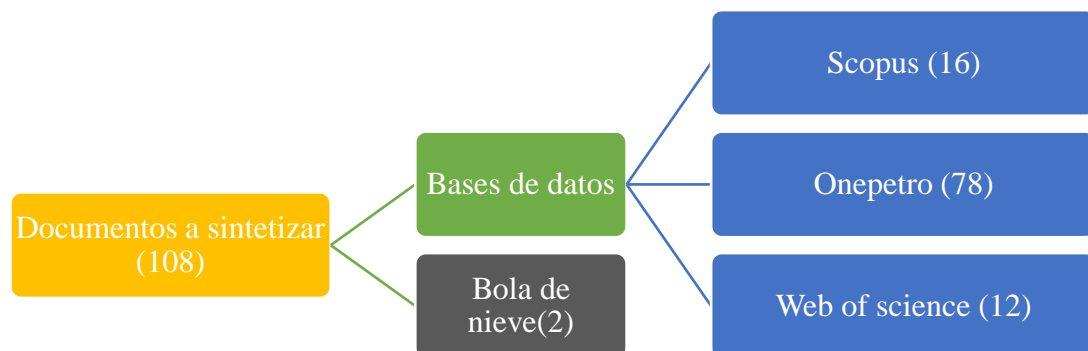


Figura 3 Resultados de la búsqueda

5.1.2. Procesamiento y tabulación de datos. Se realiza una tabla en Excel (Apéndice A) con la información relevante de los documentos que se encontraron en la búsqueda, tales como: autor, título, palabras claves, año de publicación, país de publicación, fuente y tipo de documento; haciendo uso de las funciones que tiene este programa y teniendo en cuenta que los resultados de la investigación son artículos de diferentes bases de datos, se decide realizar las gráficas necesarias para hacer el análisis bibliométrico con esta herramienta.

Se complementa el análisis con Nvivo, pues este es un programa que permite efectuar minería de texto, para comprender y navegar a través de los resultados de búsqueda, aclarando las relaciones, encontrando patrones y coincidencias.

5.2. Etapa 2: Elaboración y ejecución de la guía

En esta etapa, se realizará la elaboración de la guía para la planeación e implementación de un sistema de levantamiento artificial bajo los lineamientos PRINCE2, fundamentada en el libro “Managing Successful Projects with PRINCE2®” (AXELOS, 2017) el cual es el pilar de esta metodología. Adicional a esto, se sustenta en proyectos realizados del mismo tipo y a su vez, de diversos artículos enfocados en la metodología o en los aspectos claves para realizar un cambio o implementación de un sistema de levantamiento artificial.

Posteriormente, se genera el formato de aplicación, para facilitar el proceso de planeación y diseño, necesarios para realizar la prueba piloto.

5.3. Etapa 3: Análisis de resultados

Con la información producto de las etapas previas, se hace un análisis de los resultados obtenidos para realizar ajustes prácticos a la guía y a su vez al formato de aplicación, corrigiendo posibles fallas o errores en el diseño.

5.4. Etapa 4: Elaboración del artículo publicable

Para dar por concluida la investigación, se realiza la respectiva documentación en un artículo de carácter publicable con el fin de dar a conocer las ventajas y posibilidades que ofrece PRINCE2 en el sector de los hidrocarburos, específicamente en la planeación e implementación de un sistema de levantamiento artificial en cualquier campo petrolero de Colombia

6. Marco Teórico

6.1. Sistema de levantamiento artificial.

Un Sistema de Levantamiento Artificial (SLA), es un mecanismo externo a la formación productora encargado de levantar crudo desde la formación a una determinada tasa, cuando la energía del pozo es insuficiente para producirlo por sí mismo o cuando la tasa es inferior a la deseada. Los sistemas de levantamiento artificial son el primer elemento al cual se recurre cuando se desea incrementar la producción en un campo, ya sea para reactivar pozos que no fluyen o para aumentar la tasa de flujo en pozos activos. Estos operan de diferentes formas sobre los fluidos del pozo, ya sea modificando alguna de sus propiedades o aportando un empuje adicional a los mismos (C. Perea & Perez, 2013).

A continuación, se realizará una descripción de los sistemas de levantamiento artificial más usados (figura 4):

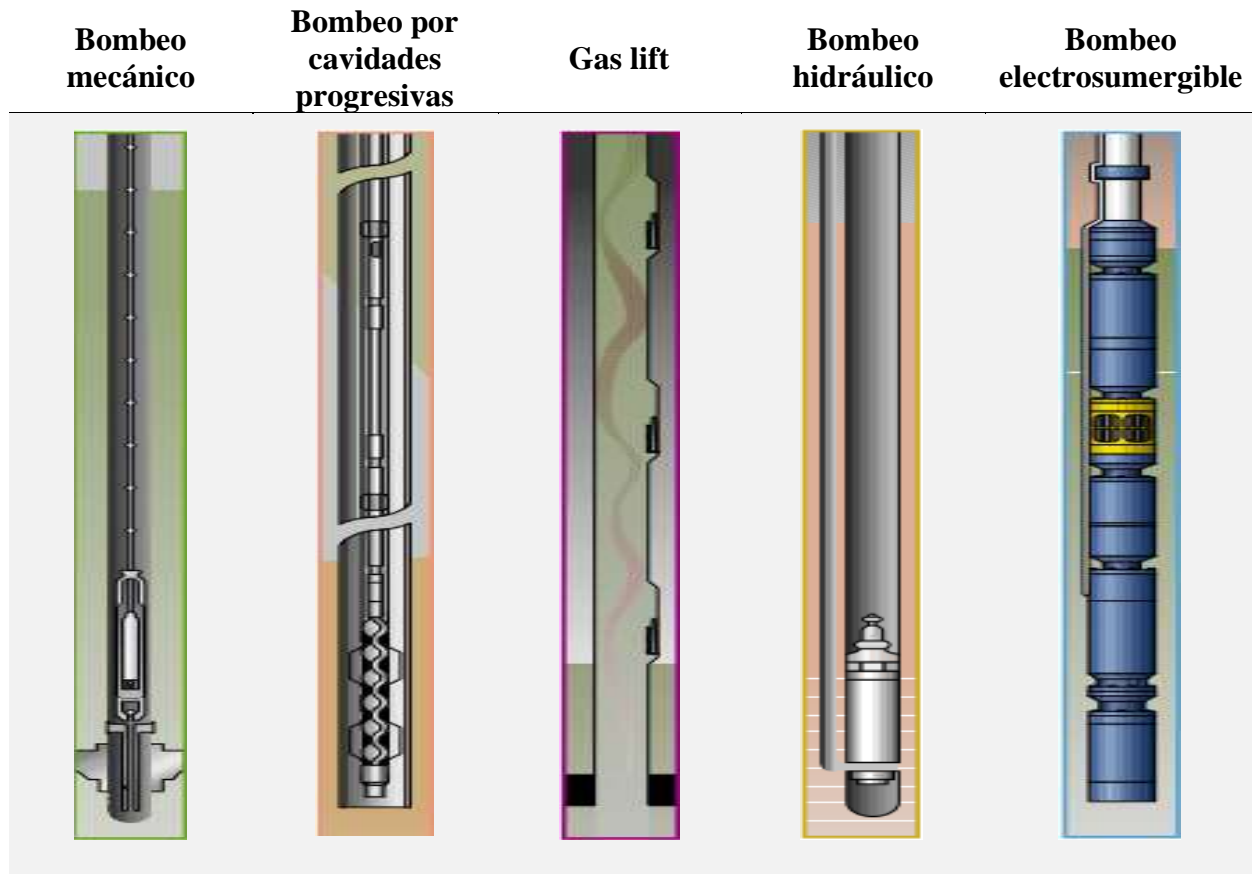


Figura 4 Principales técnicas de levantamiento artificial Adaptado Examinando los pozos productores: Supervisión de los sistemas ESP. Bates Ron, Kosmala Alex, Fielder Lance, Hudson Steve, Romero George, Shanmugam Valli, 2004, p. 2.

6.1.1. Bombeo mecánico. El bombeo mecánico es el método de producción primaria mediante elevación artificial del fluido que se encuentra en el pozo y que por falta de energía no puede surgir a superficie. Es uno de los métodos más utilizados a nivel mundial (80- 90%). Consiste en una bomba de subsuelo de acción recíprocante que es abastecida con energía transmitida a través de una sarta de varillas (cabillas). La energía proviene de un motor eléctrico o de combustión interna, la cual moviliza a una unidad de superficie mediante un sistema de engranaje y correas (Orozco, 2013, p. 42).

En la siguiente tabla (6) se pueden apreciar los rangos operacionales del bombeo mecánico:

Tabla 6
Screening operacional de bombeo mecánico

Bombeo Mecánico			
SCREENING OPERACIONAL			
VARIABLE	RANGO TIPICO	RANGO MAXIMO	RANGO OPTIMO
Profundidad operacional	2501-10000 [ft]	1001-14000 [ft]	100-2500 [ft]
Volumen de operación	11-50 y 301-4000 [BPD]	4001-10000 [BPD]	51-300 [BPD]
Temperatura de operación	151-550 [°F]	551-600 [°F]	1-150 [°F]
Desviación del wellbore	6-45°	45°	0-5°
Manejo de caudal de gas	101-400 [SCF/STB]	401-700 [SCF/STB]	0-100 [SCF/STB]
Manejo de corrosión	No	Si	No
Contenido de Arenas Abrasivas	11-500 [ppm]	501-1000 [ppm]	0-10 [ppm]
Viscosidad del fluido producido	5001-7000 [cP]	1-100 y 501-5000 [cP]	101-500 [cP]
API del fluido	>8[°API]	8[°API]	>8 [°API]
Energía eléctrica	Comprada o Generada	Comprada o Generada	Comprada
Eficiencia del sistema	40%-60%	40%	>60%

Nota: Screening operacional adaptado de Diseño de un sistema de levantamiento artificial no convencional a partir de bombeo electrosumergible y bombeo por cavidades progresivas aplicado al campo colorado (Vega & Lara, 2013).

Según Perea & Pérez (2013), las ventajas y desventajas del bombeo mecánico son:

Ventajas

- Facilidad para ajustar la tasa en superficie
- Tolerancia a las altas temperaturas
- Permite el levantamiento de crudos con viscosidades relativamente altas
- Fácil aplicación de tratamientos contra la corrosión y la formación de escamas

Desventajas

- Los caudales de bombeo relativamente bajos

- Baja tolerancia a la producción de sólidos
- Limitado por profundidad (debido a la resistencia de las varillas de succión)
- Poca resistencia al contenido de H₂S.

6.1.2. Bombeo por cavidades progresivas. Consiste en una bomba de desplazamiento positivo engranada en forma espiral, cuyos componentes principales son un rotor metálico y un estator cuyo material es elastómero, un sistema motor y un sistema de acoples flexibles. El crudo es desplazado en forma continua entre los filamentos de tornillo del rotor y desplazado axialmente mientras que el tornillo rota. Transfiere energía mediante rotación del motor eléctrico que genera el movimiento mecánico rotacional de la bomba de desplazamiento positivo. El estator y el rotor no son concéntricos y el movimiento del rotor es combinado uno rotacional sobre su propio eje y otro rotacional en dirección opuesta alrededor del eje del estator. La geometría del conjunto es tal que forma una serie de cavidades idénticas y separadas entre sí. Cuando el rotor gira en el interior del estator estas cavidades se desplazan axialmente desde el fondo del estator hasta la descarga por succión. De manera que se tiene un desplazamiento positivo en cavidades progresivas (Vega Zuñiga & Lara Cepeda, 2013, p. 43).

En la siguiente tabla (7) se puede apreciar los rangos operacionales del bombeo por cavidades progresivas:

Tabla 7

Screening operacional de bombeo por cavidades progresivas

BOMBEO POR CAVIDADES PROGRESIVAS			
SCREENING OPERACIONAL			
VARIABLE	RANGO TIPICO	RANGO MAXIMO	RANGO OPTIMO
Profundidad operacional	2501-7500 [ft]	7501-9800[ft]	100-2500 [ft]
Volumen de operación	1-1500 y 2001-4500 [BPD]	4501-5500 [BPD]	1501-2000 [BPD]
Temperatura de operación	1-70 y 151-280 [°F]	281-350 [°F]	71-150 [°F]
Desviación del wellbore	4-10°	10°	0-3°
Manejo de caudal de gas	51-300 [SCF/STB]	301-500 [SCF/STB]	0-50 [SCF/STB]
Manejo de corrosión	No	Si	No
Contenido de Arenas Abrasivas	8001-10000 [ppm]	51-8000 [ppm]	0-50 [ppm]
Viscosidad del fluido producido	101-5000 Y 6001-10000[cP]	0-100 y 10001-12000 [cP]	5001-6000 [cP]
Energía eléctrica	Comprada	Comprada	Comprada
Eficiencia del sistema	50%-75%	50%	>75%

Nota: Screening operacional adaptado de Diseño de un sistema de levantamiento artificial no convencional a partir de bombeo electrosumergible y bombeo por cavidades progresivas aplicado al campo colorado (Vega & Lara, 2013).

Las ventajas y desventajas del bombeo por cavidades progresivas son (Rueda, 2015, pp. 27–30):

Ventajas

- Producción de fluidos con altas concentraciones de sólidos.
- Bajos costos de energía.
- Producción de fluidos altamente viscosos.
- Simple instalación y operación.

Desventajas

- Por lo general, requieren la remoción de la tubería de producción para sustituir la bomba.
- Resistencia a la temperatura de hasta 280 °F o 138 °C.
- Alta sensibilidad a los fluidos producidos.
- Desgaste por contacto entre las varillas y la tubería de producción en pozos direccionales y horizontales.

6.1.3. Gas lift. Está considerado uno de los sistemas más flexibles y de mayor capacidad extractiva en la industria de la explotación de hidrocarburos. En este sistema se utiliza gas a una presión relativamente alta (250 PSI como mínima) para poder aligerar la columna de fluido y de este modo permitir al pozo fluir hacia la superficie (alivianar y arrastrar). El gas inyectado origina que la presión que ejerce la carga del fluido sobre la formación disminuya debido a la reducción de la densidad de dicho fluido y por otro lado la expansión del gas inyectado con el consecuente desplazamiento del fluido (Vega Zuñiga & Lara Cepeda, 2013, p. 23).

En la siguiente tabla (8) se pueden apreciar los rangos operacionales de gas lift:

Tabla 8
Screening operacional de gas lift

GAS LIFT			
SCREENING OPERACIONAL			
VARIABLE	RANGO TIPICO	RANGO MAXIMO	RANGO OPTIMO
Profundidad operacional	100-10000 [ft]	15001-18000 [ft]	10001-15000 [ft]
Volumen de operación	501-10000 y 15001-30000 [BPD]	101-500 y 30001-35000 [BPD]	10000-15000 [BPD]
Temperatura de operación	1-100 y 151-400 [°F]	401-500 [°F]	101-150 [°F]

Continuación de la tabla 8

VARIABLE	RANGO TÍPICO	RANGO MÁXIMO	RANGO ÓPTIMO
Desviación del wellbore	31-75°	76-90°	0-30°
Manejo de caudal de gas	151-5000 [SCF/STB]	51-150 [SCF/STB]	>5000 [SCF/STB]
Manejo de corrosión	Si	Si	No
Contenido de Arenas Abrasivas	201-5000 [ppm]	5001-12000 [ppm]	0-200 [ppm]
Viscosidad del fluido producido	11-40 y 71-600 [cP]	6-10 y 601-800 [cP]	41-70 [cP]
API del fluido	>8 [°API]	8 [°API]	22-42 [°API]
Energía eléctrica	Comprada o Generada	Comprada o Generada	Comprada o Generada
Eficiencia del sistema	5%-30%	5%	>30%

Nota: Screening operacional adaptado de Diseño de un sistema de levantamiento artificial no convencional a partir de bombeo electrosumergible y bombeo por cavidades progresivas aplicado al campo colorado (Vega & Lara, 2013).

Las ventajas y desventajas de gas lift son (Carrascal & Díaz, 2015, pp. 39, 40):

Ventajas

- El costo inicial de los equipos de fondo de pozo es usualmente bajo.
- La presencia de arena en los fluidos producidos no afecta los equipos.
- Permite operar tasas de producción diarias entre 25 y 80000 barriles por día.
- Los costos de operación son relativamente bajos.

Desventajas

- El gas de inyección debe estar disponible.
- El levantamiento con gas corrosivo puede incrementar el costo de las operaciones si es necesario tratarlo o deshidratarlo antes de usarlo.

- En yacimientos de baja presión, el levantamiento artificial por gas lift continuo no puedo alcanzar caídas de presión al igual que los sistemas de bombeo.
- La implementación del sistema de gas lift a pozos que lleven varios años en producción puede requerir un nivel de integridad del casing mayor al que requiere un sistema de bombeo.

6.1.4. Bombeo hidráulico

• **Bombeo Hidráulico Tipo Pistón.**

La bomba hidráulica tipo pistón es un sistema reciprocante, es decir, que succiona y expulsa fluido alternadamente, el cual es forzado a entrar y salir de un par cilindros por la acción de cada uno de los pistones. El pistón del motor está unido a una varilla lo que conecta con el pistón de la bomba. Un juego interno de válvulas cheque y válvulas de puente controla los movimientos hacia delante en reversa de los pistones, y permiten la entrada y salida del fluido bombeado (C. Perea & Perez, 2013).

En la siguiente tabla (9) se pueden apreciar los rangos operacionales del bombeo hidráulico tipo pistón:

Tabla 9
Screening operacional de bombeo hidráulico tipo pistón

BOMBEO HIDRÁULICO TIPO PISTÓN			
SCREENING OPERACIONAL			
VARIABLE	RANGO TIPICO	RANGO MAXIMO	RANGO OPTIMO
Profundidad operacional	2001-5000 [ft]	5001-12000 Y 15001-20000[ft]	12001-15000 [ft]
Volumen de operación	1-100 y 601-10000 [BPD]	10001-15001 [BPD]	101-600 [BPD]
Temperatura de operación	1-70 y 151-550 [°F]	551-600 [°F]	71-150 [°F]

Continuación de la tabla 9

VARIABLE	RANGO TÍPICO	RANGO MÁXIMO	RANGO OPTIMO
Desviación del wellbore	11-89°	90°	0-10°
Manejo de caudal de gas	31-350 [SCF/STB]	351-500 [SCF/STB]	0-30 [SCF/STB]
Manejo de corrosión	No	Si	No
Contenido de Arenas Abrasivas	3-150 [ppm]	150 [ppm]	0-2 [ppm]
Viscosidad del fluido producido	51-1000 [cP]	1001-2000 [cP]	1-50 [cP]
Energía eléctrica	Comprada o Generada	Comprada o Generada	Comprada
Eficiencia del sistema	5%-30%	5%	>30%

Nota: Screening operacional adaptado de Diseño de un sistema de levantamiento artificial no convencional a partir de bombeo electrosumergible y bombeo por cavidades progresivas aplicado al campo colorado (Vega & Lara, 2013).

- **Bombeo Hidráulico Tipo Jet**

La bomba hidráulica tipo jet es el método más sencillo de todos los sistemas de levantamiento artificial. El sistema consta de una bomba tipo Venturi, la cual consta de una boquilla, una garganta y un difusor; a la boquilla es bombeada el fluido a altas presiones y bajas velocidades, originándose un diferencial de presión y un aumento de velocidad. De ahí, el fluido de potencia pasa por la garganta, luego por el difusor en donde se mezcla el fluido formación y se produce un incremento de presión. Esta bomba es instalada de forma temporal o permanente en el completamiento del pozo (C. Perea & Perez, 2013).

En la siguiente tabla (10) se pueden apreciar los rangos operacionales del bombeo hidráulico tipo jet:

Tabla 10

Screening operacional de bombeo hidráulico tipo jet

BOMBEO HIDRÁULICO TIPO JET			
SCREENING OPERACIONAL			
VARIABLE	RANGO TIPICO	RANGO MAXIMO	RANGO OPTIMO
Profundidad operacional	2001-5000 [ft]	5001-12000 Y 15001-20000[ft]	12001-15000 [ft]
Volumen de operación	1-100 y 501-10000 [BPD]	10001-15001 [BPD]	101-500 [BPD]
Temperatura de operación	1-70 y 151-550 [°F]	551-600 [°F]	71-150 [°F]
Desviación del wellbore	11-89°	90°	0-10°
Manejo de caudal de gas	101-400 [SCF/STB]	401-500 [SCF/STB]	0-100 [SCF/STB]
Manejo de corrosión	No	Si	No
Contenido de Arenas Abrasivas	3-200 [ppm]	200 [ppm]	0-2 [ppm]
Viscosidad del fluido producido	11-800 [cP]	801-1000 [cP]	1-10 [cP]
API del fluido			
Energía eléctrica	Comprada o Generada	Comprada o Generada	Comprada
Eficiencia del sistema	26%-33%	20%	>33%

Nota: Screening operacional adaptado de Diseño de un sistema de levantamiento artificial no convencional a partir de bombeo electrosumergible y bombeo por cavidades progresivas aplicado al campo colorado (Vega & Lara, 2013).

Las ventajas y desventajas del bombeo hidráulico tipo jet y tipo pistón son (Vega & Lara, 2013, p. 42):

Ventajas

- Pueden ser usados en pozos profundos.
- Puede manejar bajas concentraciones de arena.
- Varios pozos pueden ser controlados y operados desde una instalación central de control.

- No requieren taladro para remover el equipo de subsuelo.

Desventajas

- Costo inicial alto
- Las instalaciones de superficie presentan mayor riesgo, por la presencia de altas presiones.
- Problemas de corrosión.
- No es recomendable en pozos de alto RGP.

6.1.5. Bombeo electrosumergible. Las bombas electro sumergibles (Electrical Submersible Pumps, ESP) están diseñadas como bombas centrífugas compuestas de varias etapas apiladas una tras de otra, las cuales constan de un Impulsor giratorio y un difusor estacionario cada una. El impulsor consiste en una serie de alabes que proporcionan energía cinética al fluido y el difusor es una serie de cámaras de diferente área que convierten la energía cinética de fluido en presión. La potencia proviene de un motor eléctrico instalado en profundidad (Muñoz & Torres, 2007, p. 55)

En la siguiente tabla (11) se pueden apreciar los rangos operacionales del bombeo electrosumergible:

Tabla 11
Screening operacional de bombeo electrosumergible

BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE			
SCREENING OPERACIONAL			
VARIABLE	RANGO TÍPICO	RANGO MÁXIMO	RANGO OPTIMO
Profundidad operacional	12501-15000 [ft]	5001-12000 [ft]	100-5000 [ft]
Volumen de operación	201-10000 y 20001-30000 [BPD]	100-200 [BPD]	10001-20000 [BPD]

Continuación de la tabla 11			
VARIABLE	RANGO TÍPICO	RANGO MÁXIMO	RANGO OPTIMO
Temperatura de operación	1-70 y 151-350 [°F]	351-450 [°F]	71-150 [°F]
Desviación del wellbore	11-80°	80°	0-10°
Manejo de caudal de gas	51-4000 [SCF/STB]	4001-5000 [SCF/STB]	0-50 [SCF/STB]
Manejo de corrosión	No	Si	No
Contenido de Arenas Abrasivas	6-100 [ppm]	101-200 [ppm]	0-5 [ppm]
Viscosidad del fluido producido	11-200[cP]	201-5000[cP]	1-10 [cP]
API del fluido			
Energía eléctrica	Comprada	Comprada	Comprada
Eficiencia del sistema	5%-30%	5%	>30%

Nota: Screening operacional adaptado de Diseño de un sistema de levantamiento artificial no convencional a partir de bombeo electrosumergible y bombeo por cavidades progresivas aplicado al campo colorado (Vega & Lara, 2013).

Según Perea & Pérez (2013), las ventajas y desventajas del bombeo electrosumergible son:

Ventajas

- Permite el levantamiento de volúmenes extremadamente altos.
- Elevado aporte de energía al fluido.
- Alta eficiencia.
- Sistema fácil de controlar.

Desventajas

- Tolerancia limitada a la arena.
- Baja tolerancia a las altas relaciones Gas – Líquido (Sin separador).
- Tolerancia limitada a las altas temperaturas
- Las unidades son costosas, para ser remplazadas a medida que el yacimiento declina

6.2. ¿Qué es un proyecto?

Un proyecto es la búsqueda de una solución inteligente al planteamiento de un problema, la cual tiende a resolver una necesidad humana. En este sentido puede haber diferentes ideas, inversiones de monto distinto, tecnologías o metodologías con diverso enfoque, pero todas ellas destinadas a satisfacer las necesidades del ser humano en todas sus facetas, como pueden ser: educación, alimentación, salud, ambiente, cultura, etc. (Urbina Baca, 2010, p 16)

6.2.1 ¿Qué es la gestión de proyectos? La gestión de proyectos es la planeación, delegación, monitoreo y control de todos los aspectos del proyecto, y la motivación de los involucrados, para lograr los objetivos del proyecto dentro de lo esperado en los objetivos de rendimiento como tiempo, costos, calidad, alcance, beneficio y riesgo. (AXELOS, 2017, p 41)

6.2.1.1. Características de la gestión de proyectos. (Wallace, 2014)

- Objetivos múltiples.
- Cooperación y estándares internacionales.
- Profesionales de múltiples industrias y disciplinas.
- Estándares genéricos.
- Ciclo de vida del proyecto.

6.2.1.2. Beneficios potenciales de la gestión de proyectos. Algunos beneficios obvios asociados a la utilización de la gestión de proyecto son los siguientes (Wallace, 2014, p. 39):

- Los proyectos son necesarios para la evolución de la organización, y la gestión de proyecto es el conjunto de herramientas que permite que los proyectos alcancen sus criterios de éxito.

- La gestión de proyecto puede permitir a una organización producir una gama de productos más amplia con el mismo nivel de recursos.
- La gestión de proyecto interna alienta a los empleados funcionales a comunicarse entre ellos y a compartir un propósito común. Este trasciende, por lo menos hasta cierto punto, los límites funcionales que separan a las diversas unidades funcionales.
- La gestión de proyecto puede alentar a una organización a desarrollar nuevos productos con más rapidez. A menudo, las innovaciones y la investigación y desarrollo se pueden llevar a cabo más rápidamente cuando se cuenta con equipos de proyecto multidisciplinarios.
- Los gerentes de proyecto consideran todo el ciclo vital del proyecto y brindan asesoramiento sobre todos sus aspectos.
- Frecuentemente, los equipos de proyecto y los equipos funcionales compiten de manera amigable. Esto puede ser bueno para el espíritu de trabajo y la motivación, siempre que la competencia sea prudente.
- La gestión de proyecto ayuda a la gestión eficaz del cambio. Permite que las organizaciones lleven a cabo proyectos complejos y de baja tolerancia que, de otra manera, serían demasiado riesgosos.
- La capacidad de equilibrar múltiples criterios de éxito mientras se lleva el proyecto hacia una zona objetivo de resultados aceptables da al gerente de proyecto una enorme flexibilidad para intentar lograr el mejor resultado.
- Los enfoques estandarizados de gestión de proyecto establecidos por estándares, como el BS 6079:2010 y el ISO 21500:2012, favorecen mucho la regulación de enfoques en todos los sectores e industrias. Esto hace que la profesión sea más móvil y flexible ya que los gerentes de proyecto de diferentes países e industrias hablan el mismo “idioma” de gestión de proyecto.

6.2.1.3. Desafíos potenciales de la gestión de proyectos. Las organizaciones que frecuentemente realizan proyectos se enfrentan a algunos desafíos importantes con respecto a su personal. A continuación, se enumeran algunos de ellos (Wallace, 2014, pp. 39–40).

- Para que un sistema de gestión de proyecto funcione, se retira al personal de las unidades funcionales durante una parte de su tiempo. Si no se controla correctamente, esto podría perjudicar el funcionamiento de la unidad funcional, especialmente cuando el proyecto recluta a personas claves.
- Casi con seguridad, los proyectos competirán, por lo menos hasta cierto punto, con las unidades funcionales por recursos financieros y de otros tipos. Los proyectos destacados pueden contar con recursos abundantes, mientras que los proyectos de bajo perfil pueden sufrir una escasez de recursos.
- Es posible que los gerentes funcionales resientan los proyectos porque, a veces, consideran que estos desvían recursos de las actividades principales de la organización.
- Ocasionalmente, el personal resiente que lo recluten en equipos de proyecto porque ve al proyecto como menos importante que la producción de la unidad funcional de la que provienen.
- Por ser multidisciplinarios, los equipos de proyecto son más difíciles de manejar y desarrollar, y son más propensos a conflictos.
- Por lo general, el personal que trabaja en un sistema interno de gestión de proyectos debe ser más flexible que el personal que trabaja en un sistema puramente funcional. Normalmente, la gente tiene que ser más adaptable y estar más preparada para el cambio.

- La gestión de proyecto es una disciplina compleja y demandante. No se puede aprender rápida ni fácilmente, y lleva años de experiencia desarrollar las habilidades necesarias para poder dirigir el desempeño del proyecto de manera significativa.
- La gestión de proyecto depende cada vez más de la utilización de técnicas y herramientas de planificación y control. Algunas de esas herramientas pueden ser muy complejas, y puede requerirse mucha capacitación y familiarización del personal antes de que los equipos de proyecto puedan utilizarlas con cierta confianza.

6.3. Definición de Metodología.

Según Charvat (2003), una metodología en entornos de proyectos es el conjunto de directrices o principios, adaptados como una relación de cosas por hacer, o un enfoque con plantillas, formularios, e incluso listas de verificación, que son utilizados durante todo el ciclo de vida. Por su parte Pharro & Bentley (2007), establece que este tipo de metodologías son estructuras que permiten conseguir los objetivos en los proyectos, habitualmente dispuestas como un conjunto de procesos, recursos y actividades claramente definidos. (Montes, Ramos, & Díez, 2013, p 4)

Tabla 12
Metodologías para la gestión de proyectos

Metodologías	Organización	País	Descripción
PMBOK	PMI	Estados Unidos	Es un documento formal que describe normas, métodos, procesos y practicas establecidas alrededor de la dirección de proyectos, para la cual es necesario la aplicación e integración de 47 procesos, agrupados en los siguientes cinco grupos: iniciación, planificación, ejecución, seguimiento y cierre (Montes de Oca Salcedo & Perez, 2014).
P2M	PMAJ	Japón	Metodología de gestión de proyectos conformada por 11 dominios de dirección de proyectos divididos en 4 capítulos, los cuales cubren el ciclo de vida completo de un proyecto, desde su concepción hasta su fin, haciendo énfasis en las fases de creación, desarrollo y gestión. (Ortiz Herrera, 2010)

Continuación de la tabla 12

Metodologías	Organización	País	Descripción
PRINCE2	OGC	Reino Unido	Propone una metodología de gestión de proyectos que cubija, las temáticas, la calidad, el cambio, la estructura de los roles del proyecto, los planes, el riesgo y el progreso del proyecto, justificado por un Business Case. Esta metodología consta de 4 elementos: principios, temáticas, procesos y el entorno del proyecto. (Montes de Oca Salcedo & Perez, 2014).
ISO 21500	ISO	Suiza	Esta norma reúne diferentes metodologías y marcos de referencia para la dirección de proyectos y define un lenguaje estándar de carácter universal. Se divide en diez grupos de materia y 39 subprocesos (Fajardo, Candiotti, Ramírez, & Buitrago, 2017).

6.3.1. PRINCE2 frente a PMBOK. El propósito de este apartado es estudiar las principales diferencias entre la guía PMBOK y la metodología PRINCE2. Para lograr esto, se toma en cuenta el aspecto que relaciona los procesos de cada una de estas herramientas (tabla 13), es importante recordar que los procesos describen una progresión paso a paso del ciclo de vida del proyecto, desde la puesta en marcha hasta el cierre de este. Cada proceso entrega una lista de control para las actividades recomendadas, los productos y las responsabilidades afines (Montes de Oca Salcedo & Perez, 2014).

Tabla 13
Relación entre los procesos de PMBOK y PRINCE2

PMBOK	PRINCE2
Iniciación	Puesta en marcha de un proyecto Dirección del proyecto
Planificación	Inicio del proyecto Gestión de los límites de la fase Gestión de la entrega de productos

Continuación de la tabla 13	
PMBOK	PRINCE2
Ejecución	Control de la fase
	Gestión de la entrega de productos
Seguimiento y control	Dirección del proyecto
	Control de la fase
	Gestión de los límites
Cierre	Gestión de los límites de la fase
	Cierre del proyecto

Nota: Relación entre los procesos de PMBOK y PRINCE2. Adaptado de: PMBOK y PRINCE2 similitudes y diferencias (K. Fernández et al., 2015)

En la tabla 13 se aprecia que los procesos que tiene PMBOK son simples con respecto a los usados en la metodología PRINCE2, sin embargo, la aplicación de estos es más clara de la manera como los desglosa PRINCE2, ya que brinda un paso a paso del proceso que se debe aplicar en el momento de iniciar un proyecto, haciendo que la puesta en marcha sea asertiva y genere excelentes resultados.

Por otra parte, el método PRINCE2 está basado en el producto donde los planes del proyecto se centran en entregar resultados y no simplemente en planear cuándo se realizarán las actividades. Este método a su vez proporciona un acercamiento estándar a la gestión de proyectos, incorporando buenas prácticas probadas y establecidas en la administración de proyectos. Es una metodología extensamente reconocida, de fácil asimilación sobre todo por principiantes de la gestión de proyectos y proporciona un lenguaje común para los participantes de un proyecto. Por otra parte, la guía del PMBOK constituye una excelente referencia para la administración de proyectos, incorporando disímiles técnicas que un gerente de proyectos

debería conocer. Es una guía que aporta lo ineludible en su estructura de conocimientos (K. Fernández et al., 2015).

Para concluir, es importante recalcar que PRINCE2 es un estándar utilizado por el Gobierno del Reino Unido, reconocido y aplicado en el sector público y privado, el cual ofrece una guía de buenas prácticas en la gestión de proyectos. Se conoce además del uso del método en Australia y Canadá; en este último en empresas como Microsoft, IBM, CTE solutions (Certified Technical Education), Ottawa, Health, Ontario, etc (K. Fernández et al., 2015).

6.3.1.1. La estructura de PRINCE2. El método de PRINCE2 direcciona la gerencia de proyectos con cuatro elementos integrados los cuales son: principios, temas, procesos y el entorno del proyecto. (Figura 5)

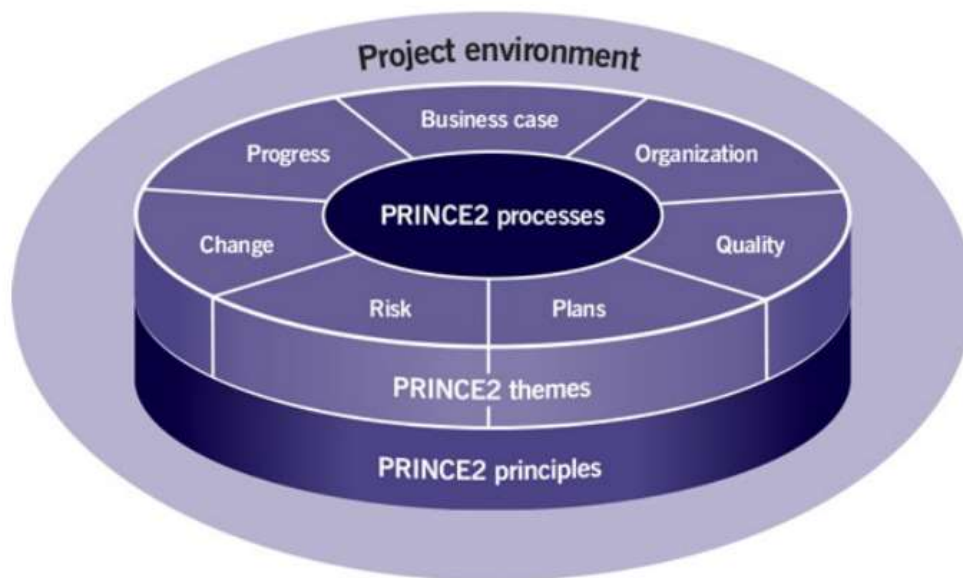


Figura 5 Estructura de PRINCE2. Adaptado de Managing Successful Projects with PRINCE2. 2017, p. 34.

6.3.1.2. Los principios de PRINCE2. Los principios de PRINCE2 proporcionan un marco de buenas prácticas para las personas que participan en un proyecto y se desarrollan a partir de las

lecciones extraídas de ambos proyectos exitosos y fallidos. Los siete principios de PRINCE2 son (AXELOS, 2017, p.56):

Tabla 14

Los principios de PRINCE2

Principios de PRINCE2	Definición
Justificación comercial continua	La justificación continua de negocio maneja la toma de decisiones para asegurar que el proyecto se mantiene alineado con los beneficios que se buscan y contribuyen a los objetivos del negocio.
Aprender de la experiencia	Los equipos de proyecto PRINCE2 aprenden de la experiencia, las lecciones se buscan, se registran y se actúa en consecuencia a ellas a través de la vida del proyecto.
Roles y responsabilidad definidos	Un proyecto de PRINCE2 define y acuerda roles y responsabilidades dentro de una estructura organizacional que se dedica al negocio, usuario, proveedor y partes interesadas.
Gestión por fases	Un proyecto de PRINCE2 se planifica, supervisa y controla bajo el modelo etapa por etapa.
Gestión por excepción	Se definen tolerancias para cada objetivo del proyecto, con el fin de establecer límites para la autoridad delegada.
Enfoque en los productos	Se centra en la definición y entrega de los productos, particularmente en los requisitos de calidad.
Adaptación para corresponder al entorno del proyecto	PRINCE2 está diseñado para adaptarse al entorno del proyecto, tamaño, complejidad, importancia, capacidad del equipo y riesgo.

Nota: Principios de PRINCE2. Adaptado de: Managing Successful Projects with PRINCE2 (AXELOS, 2017, pp. 56–68)

6.3.1.3. Los temas de PRINCE2. Los temas son el pilar de PRINCE2, y la manera en que este los trata e integra es lo que le da solidez a esta metodología. Estos temas describen aspectos de la gestión de proyectos que se deben tratar continuamente a medida que avanza el proyecto en todo su ciclo de vida, y de esta manera controlar y dirigir el flujo cronológico del proyecto, con acciones relacionadas e interconectadas con los diferentes temas (AXELOS, 2017, p. 90).

Tabla 15
Temas de PRINCE2

Tema	Descripción	Responde a la pregunta
Business case	Aborda como la idea se convierte en una propuesta de inversión viable para la organización y como la administración del proyecto mantiene el enfoque en los objetivos de la organización a lo largo del proyecto.	¿Por qué?
Organización	Este tema describe las funciones y responsabilidades en el equipo de administración de proyectos temporal de PRINCE2 requerido para administrar el proyecto de manera efectiva.	¿Quién?
Calidad	Explica cómo se desarrolla el esquema para que todos los participantes entiendan los atributos de calidad de los productos que se entregaran y luego como la administración del proyecto garantizara que estos requisitos se cumplan posteriormente	¿Que?
Planeación	Complementa el tema de calidad al describir los pasos necesarios para desarrollar planes y las técnicas PRINCE2 que deben aplicarse.	¿Cómo?, ¿Cuánto Cuesta?, ¿Cuándo?
Riesgo	Este tema aborda como la gestión de proyectos gestiona la incertidumbre.	¿Y sí?
Cambio	Este tema describe como la administración del proyecto evalúa y actúa sobre los problemas que tiene un impacto potencial en cualquiera de los aspectos básicos del proyecto (planes y productos terminados)	¿Cuál es el impacto?
Progreso	Aborda la viabilidad continua de los planes. Determina si el proyecto debe continuar y cómo.	¿Dónde nos encontramos ahora?, ¿A dónde vamos?, ¿Deberíamos seguir?

Nota: Temas de PRINCE2. Adaptado de: Managing Successful Projects with PRINCE2 (AXELOS, 2017, p. 91)

6.3.1.4. Procesos de PRINCE2. Describen el paso a paso del ciclo de vida del proyecto, desde la puesta en marcha hasta el cierre de este.

Puesta en marcha de un proyecto: Este proceso brinda un estructura clara y concisa para iniciar la ejecución del proyecto, con el fin de especificar claramente responsables, participantes, tiempos, objetivos y alcances de la empresa (Bobadilla, 2014, p. 30)

Dirección de un proyecto: El propósito de dirigir el proceso de un proyecto es permitir que la junta del proyecto sea responsable del éxito del proyecto al tomar decisiones clave y ejercer un control general al delegar la administración diaria del proyecto al gerente del proyecto (AXELOS, 2017, p. 312).

Iniciar un proyecto: Este proceso empieza cuando se ha producido la autorización del plan de la fase de inicio, junto al enfoque del proyecto y el resumen de proyecto, y el comité de proyecto aprueba el comienzo de este. Como objetivo incluye proponer los planes del proyecto, planificar la calidad de los productos a entregar, refinar el caso de negocio, definir cómo se identificarán y controlarán los riesgos y cambios del proyecto. De igual forma se prepara la estrategia de comunicación y se ordena el control del proyecto. Se crea el documento de inicio del proyecto (PID)(K. Fernández et al., 2015).

Control de una Fase: el Control de Fase se realiza una vez que los recursos han sido comprometidos y ha sido aprobado un plan de fase. El proceso mantiene el centro de atención del equipo de gestión del proyecto en la entrega de los productos dentro de las tolerancias previamente aceptadas. Este proceso es imperativo para el éxito del proyecto y éste se logra mediante el control día a día del trabajo que está realizándose (Turley, 2010).

Gestión de la Entrega de Productos: El propósito del proceso de administración de la entrega del producto es controlar el enlace entre el gerente del proyecto y el (los) gerente (s) del equipo, al acordar los requisitos de aceptación, ejecución y entrega (AXELOS, 2017, p. 396).

Gestión de los Límites de Fase: Este proceso debe determinar el riesgo del modelo de negocio y un plan de modificación según sea necesario. El proceso también abarca lo que debe hacerse de una etapa que ha ido más allá de sus niveles de tolerancia. Finalmente, el proceso determina la forma final de la etapa (Montes de Oca Salcedo & Perez Lopez, 2014, p. 29).

Cierre de un proyecto: El proceso de cierre del proyecto se realiza sólo hasta el momento donde se han finalizado todas las fases y se ha hecho entrega de todos los paquetes de trabajo. El emprendedor decide el momento para hacer el cierre del proyecto. Existe la posibilidad de que el emprendedor decida cerrar el proyecto antes de lo estipulado, esto es denominado Cierre Prematuro y puede ocurrir en cualquier punto del proyecto, por ejemplo, en el momento en el que se ha evaluado el plan de ventas y se ha hecho la proyección donde arrojó un resultado poco favorable e inesperado para los inversionistas, tomando la decisión de que no es buena opción invertir en el proyecto y por tanto, el emprendedor decide parar el proyecto y replantear su idea. Definir el final del proyecto claramente es fundamental para evitar mayores gastos y tiempos innecesarios de ejecución (Bobadilla, 2014, p. 42)

6.3.1.5. El entorno del proyecto. Las organizaciones a menudo quieren un enfoque coherente de la gestión de proyectos y PRINCE2 a medida para crear su propio método de gestión de proyectos. Este método se incrusta en la forma de trabajar de la organización (AXELOS, 2017, p. 34).

6.3.2. PRINCE2 en la industria petrolera. La industria de los hidrocarburos hizo uso de la gestión de proyectos a raíz de las crisis que sufrió en los años 2008 y 2014, y una evidencia de esto se refiere al caso de la compañía GDF SUEZ E&P (Empresa exploradora, operadora y de producción de hidrocarburos) de Reino Unido, la cual implemento la gestión de proyectos de manera general en su empresa, utilizándola por primera vez para los proyectos del mar del norte; teniendo un éxito en su ejecución y llevándolos a tomar la decisión nombrada anteriormente. Este caso de estudios es formalizado por Axelos bajo varias de sus marcas registradas, una de ellas PRINCE2, en el se relata lo que fue necesario para implementar la gestión de proyectos a partir de las buenas prácticas trabajando de la mano con los empleados de la empresa, y realizando un cubrimiento total después de su éxito en todos los proyectos de la empresa GDF SUEZ E&P (Lloyd, 2015).

Este claro ejemplo demuestra como la industria del petróleo y el gas depende cada vez más de la productividad técnica a medida que crecen las demandas, lo que aumenta la utilización potencial de la metodología PRINCE2. Otras de las compañías de petróleo que han utilizado y visto los beneficios de PRINCE2 son entre otras: Shell, BP (British Petroleum) y Transpower New Zealand, (The Knowledge Academy Logo, 2017).

7. Análisis de la Revisión de la Literatura

7.1. Análisis bibliométrico

Se llega a la conclusión que es poco útil un análisis gráfico que represente a los autores con mayor número de publicaciones sobre el tema de investigación, puesto que las cifras se distribuyen unitariamente. Por tal razón es imposible determinar cuál es el autor con mayor número de publicaciones sobre el tema.

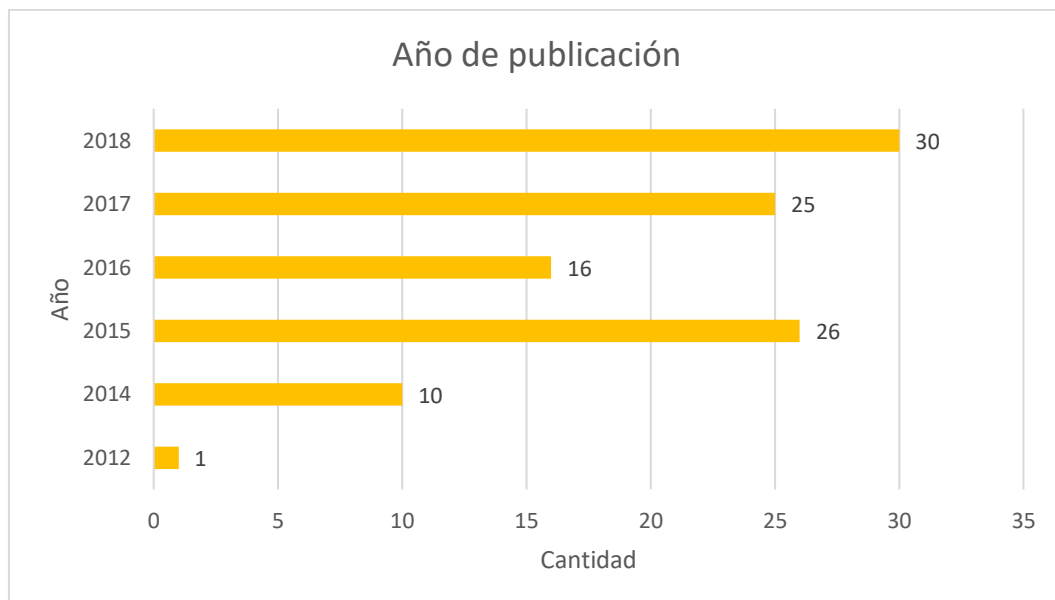


Figura 6 Año de publicación

La figura 6, muestra los años en los cuales se hicieron las publicaciones relacionadas con la investigación en el periodo de tiempo de 2014-2018. Está evidencia un incremento a partir del año 2015 con tendencia al alza hasta el 2018. La proyección de esta gráfica sugiere que las publicaciones sobre este tema van a aumentar con el transcurrir de los años.

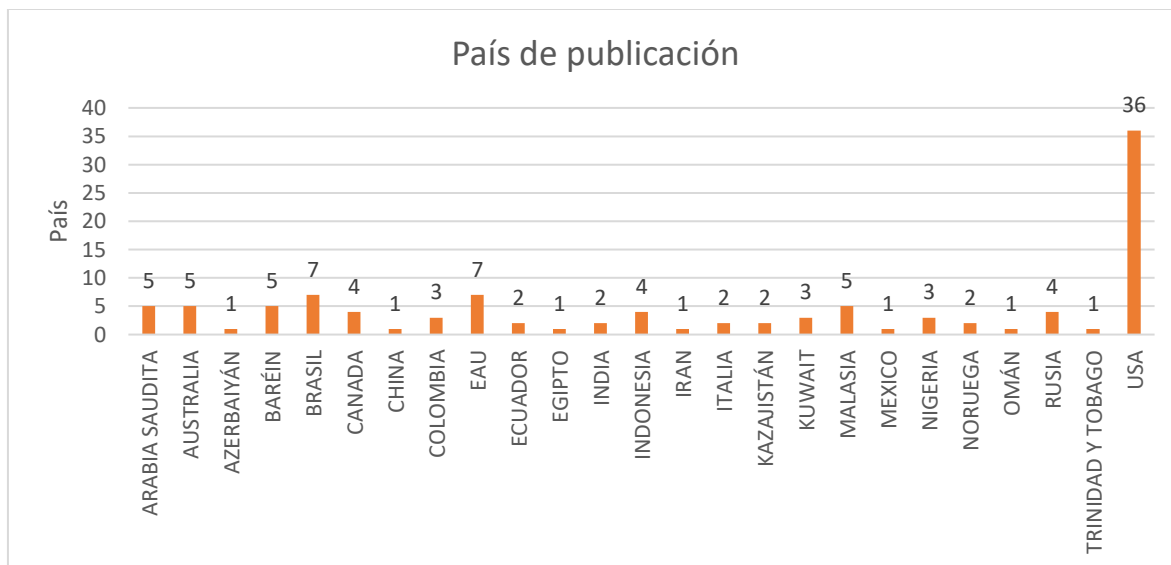


Figura 7 País de publicación

En la figura 7 se observa el número de publicaciones por país en el periodo de 2014 a 2018. Siendo Estados Unidos de América el país en el cual se publicaron mayor número de documentos del tema de investigación, seguido de Emiratos Árabes Unidos, pero con una diferencia bastante significativa entre uno y otro. Esta información se debe a que en Estados Unidos se encuentra la sede principal de la SPE, la cual es reconocida a nivel mundial, porque en ella converge toda la información sobre la ingeniería de petróleo, sus avances tecnológicos y sus descubrimientos operacionales.

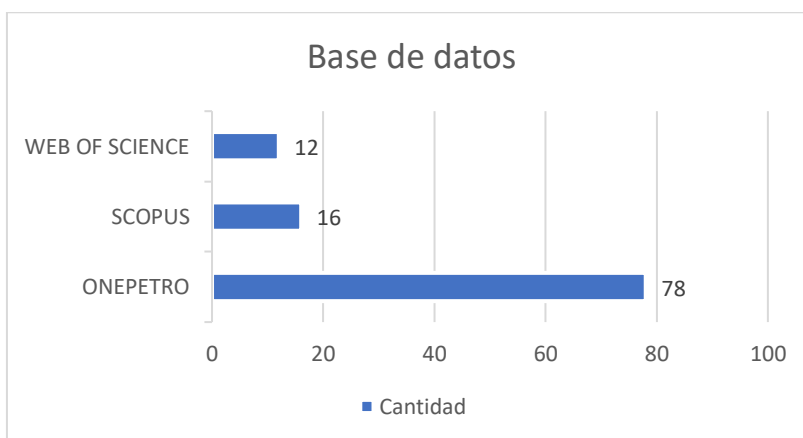


Figura 8 Base de datos utilizadas en la búsqueda

La figura 8 muestra las bases de datos utilizadas en la búsqueda de la investigación, la cual se relaciona directamente con la cantidad de artículos publicados por la SPE, ya que todos aquellos encontrados en One petro están avalados o provienen de las conferencias ofrecidas por la SPE a nivel mundial. La SPE tiene la misión de recopilar, difundir e intercambiar conocimiento técnico concerniente a la exploración, desarrollo y producción de petróleo y gas (SPE, 2019b)

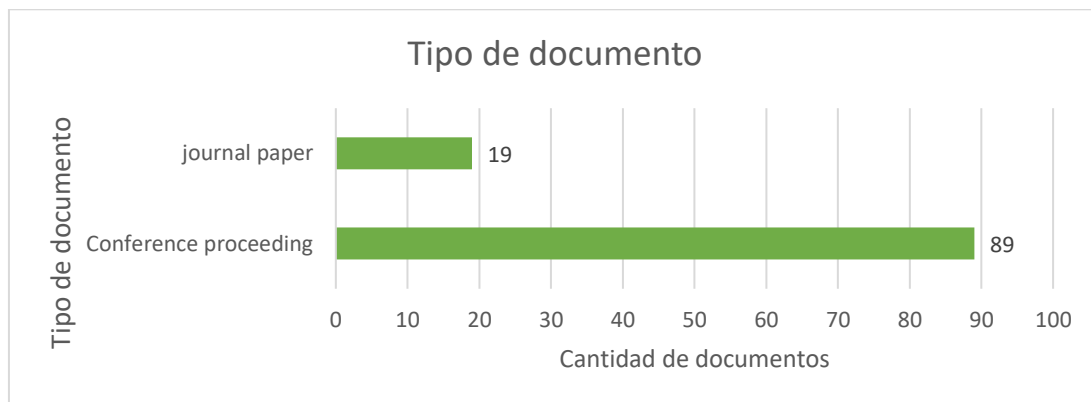


Figura 9 Tipo de documento

En la figura 9 se muestra los tipos de documentos que se utilizan a lo largo de la vida del proyecto y se puede evidenciar que la mayoría son artículos de conferencias, los cuales guardan memorias de una reunión científica o resultan de un trabajo de investigación original y de alto nivel, el cual es aceptado para ser expuesto y publicado, después de haber sido sometido a una exhaustiva revisión de su calidad por especialistas en el tema.

8. Guía preliminar para la planeación e implementación de un sistema de levantamiento artificial con PRINCE2

A continuación, se dará una breve descripción de los aspectos más destacados del apéndice B el cual consiste en un Excel con la estructura y herramientas necesarias para realizar un proyecto con la metodología PRINCE2.

8.1. Tabla de contenido de la guía preliminar para la planeación e implementación de un sistema de levantamiento artificial con PRINCE2.

Tabla de contenido
1. Mandato del proyecto
2. Lecciones aprendidas
3. Diseño y designación del equipo de gestión de proyectos
4. Bussiness case
5.1 Riesgos (Criterios probabilidad/ocurrencia-impacto/severidad)
5.2 Riesgos (Criterios factibilidad (perspectiva)-impacto(repercusión))
5.3 Riesgos (Criterios detectabilidad del control modo de fallo (efectividad)-impacto(repercusión))
6. Estimación de costos
7. Enfoque de gestión de la calidad
8. Entregables generales
8.1 Fase A: inicio del proyecto
8.2 Control de Fase B: plan de actividades ambientales y legales
8.3 Control de fase C: diseño del sistema de levantamiento artificial
8.4 Control de fase D: disposición de equipos adicionales para la intervención de pozos
8.5 Control de fase E: cambio o instalación de sistema de levantamiento artificial
8.6 Control de fase F: fase de cierre
8.7 Control de fase G: pos-proyecto

Figura 11 Tabla de contenido de la guía preliminar

En la figura 11 se puede apreciar la tabla de contenido de la guía preliminar para la planeación e implementación de un sistema de levantamiento artificial para un campo petrolero de Colombia, en la cual se puede observar las herramientas necesarias y la estructura a tener en cuenta en un proyecto con metodología PRINCE2.

8.2. Mandato del proyecto

Mandato del proyecto		
1. Información general		
1.1. Nombre del proyecto		
Enunciar el título del proyecto el cual especifica el tema principal del proyecto.		
1.2. Responsables del proyecto		
1.2.1. Cargo	1.2.2. Nombre	1.2.3. Descripción
Ejecutivo	Digite el nombre de los candidatos para asignación de	Responsable de los interés comerciales del proyecto y del business case.
Jefe del proyecto	Digite el nombre de los candidatos para asignación de jefe del	Encargado de ejecutar el proyecto sobre una base requerida dentro de las limitaciones acordadas con la junta del proyecto.
1.3. Objetivo principal del proyecto		
Enunciar el propósito del proyecto, determinado por tiempo y recursos.		
1.4. Alcance del proyecto		
1.4.1. Entregable	1.4.2. Descripción	
Productos o servicios que hacen parte del proyecto	Breve presentación de cada entregable.	
1.5. Expectativas de calidad		
Describe la calidad esperada del producto		
1.6. Información sobre proyectos relacionados		
Nombre de los proyectos similares, para tener en cuenta las experiencias aprendidas		
1.7. Personas interesadas en el proyecto		
Organización, personas, ente gubernamental todos los que puedan verse afectados con el resultado del proyecto.		
Caracterización del alcance		
Enunciar el propósito del proyecto, determinado por tiempo y recursos, límites, presupuesto, lugar de ejecución y tiempo para realizarlo		
Entregable		
Hace énfasis en los objetivos que deben ser alcanzados en cada fase del proyecto, incluyendo de manera general la documentación necesaria que incluye el monitoreo, control y avances logrados.		
Descripción		
Se desglosa brevemente las actividades y procedimientos requeridas en cada fase, las cuales deben evidenciarse en los entregables		
Criterios de aceptación		
Requisitos que deben cumplir los productos al final del proyecto, definidos por el cliente en acuerdo con la junta de proyecto		

Figura 12 Formato de mandato de proyecto

En la figura 12 se observan los componentes necesarios para desarrollar el mandato del proyecto, el cual refleja una estructura práctica que contiene la información necesaria para que la junta directiva dé la aprobación para el inicio del proyecto. Este también consta de la definición

del alcance de este, el cual es indispensable tener claro para la realización de cualquier tipo de proyecto.

8.3. Formato del diseño y designación del equipo de gestión de proyectos

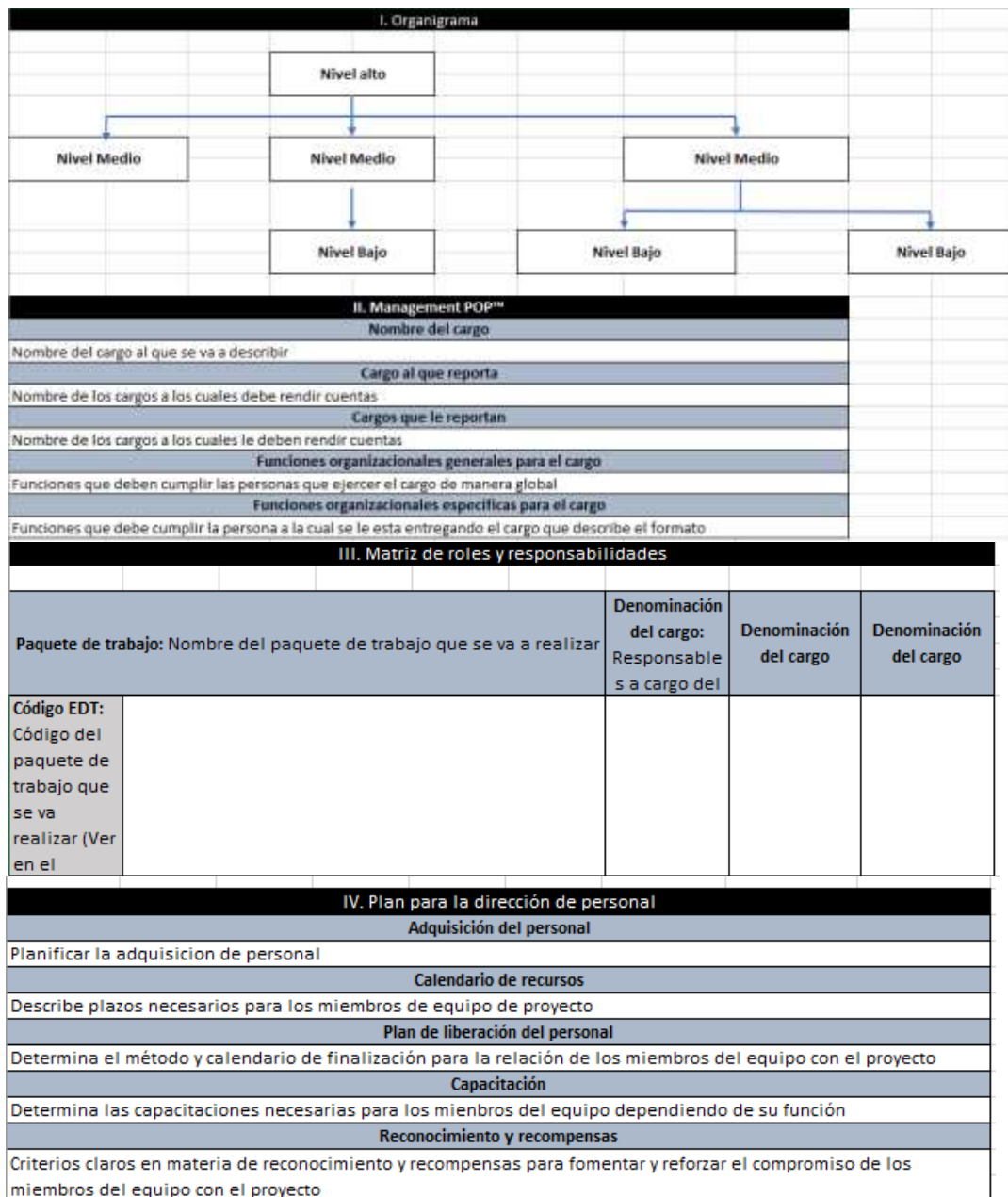


Figura 13 Formato del diseño y designación del equipo de gestión de proyectos

En la figura 13 se observa la jerarquía del equipo de trabajo que va a desarrollar el proyecto, las respectivas funciones que desempeñan, el cargo al cual reportan eventos y la matriz de roles y responsabilidades, con el fin de dejar por escrito todas las actividades a realizar o recomendaciones a tener en cuenta; para finalizar, se presenta una herramienta esencial que permite conocer el número de personas necesarias según el proyecto a realizar; además permite desarrollar un plan en el momento de una salida inesperada de algún trabajador que forme parte del equipo del proyecto.

8.4. Business case

Business case
Resumen ejecutivo
Muestra los puntos clave del modelo de negocio; lo cual incluye los beneficios y el retorno de la inversión.
Razones
Define las razones para llevar a cabo el proyecto y explica cómo el proyecto permitirá el logro de estrategias y objetivos corporativos, de gestión de programas o clientes.
Opciones de negocio
Analiza y razona las recomendaciones respecto a las opciones del negocio con base en tres acciones: No hacer nada, hacer lo mínimo o hacer algo. La diferencia entre cada una de ellas es el beneficio que la inversión va a
Beneficios esperados
Una descripción escrita de los beneficios esperados. La descripción de los beneficios debe estar en términos que permitan medirlos tanto al comienzo del proyecto como cuando el producto final se encuentra en uso.
Perjuicios esperados
El impacto negativo que pueden presentar uno o más resultados del proyecto debido a consecuencias de una actividad.
Escala de tiempo
El período durante el cual se ejecutará el proyecto (resumen del plan del proyecto) y el periodo durante el cual se obtendrán los beneficios.
Costos
Un resumen de los costos del proyecto (tomados del plan de proyecto), las operaciones en curso y los costes de mantenimiento y de sus mecanismos de financiación.
Evaluación de la inversión
Sirve para ilustrar la relación coste-beneficio a lo largo del proyecto
Principales riesgos
Entrega un resumen de los principales riesgos asociados al proyecto, junto con el posible impacto y los planes de contingencia.

Figura 14 Formato del Business case

En la figura 14 se observa el formato de business case el cual refleja un resumen del proyecto a realizar teniendo en cuenta los riesgos y beneficios que pueden tenerse dependiendo de las acciones que se decidan realizar; se presenta a la o las personas encargadas de tomar la decisión de poner en marcha o no el proyecto.

9. Prueba piloto con base en la experiencia de campo escuela Colorado

Este proyecto busca generar una herramienta de gestión de proyectos bajo los lineamientos PRINCE2, para un ingeniero de producción, la cual se centra en las características de los sistemas de levantamiento artificial y la elección del más adecuado, con el fin de obtener excelentes resultados en el cambio o implementación de un sistema de levantamiento artificial. Para esto se realiza una prueba piloto usando los recursos desarrollados en la guía preliminar (apéndice B). Esta prueba se puede evidenciar en el apéndice C y se desarrolla con datos que se encuentran en diferentes proyectos realizados en conjunto con el campo escuela Colorado, el más importante es “Plan de gestión para la implementación del sistema de levantamiento artificial seleccionado en un campo colombiano bajo los lineamientos del PMI” (C. Perea & Perez, 2013), el cual se realizó en el año 2013, por lo cual los datos son los más recientes que se tienen del campo gracias al “Convenio interadministrativo de colaboración empresarial con fines científicos y tecnológicos celebrado entre Ecopetrol S.A. y la Universidad Industrial de Santander, UIS” (Rodríguez, 2013) el cual se firmó el 1 de junio de 2006 y finalizó el 10 de marzo de 2013. Como se mencionó en los objetivos específicos, se decide trabajar con la experiencia de campo escuela Colorado; haciendo uso de la información obtenida de este proyecto y también del

“Instructivo para la elaboración de planes de proyectos de sistemas de levantamiento artificial basado en los lineamientos del PMI” (C. A. Perea & Perez, 2013).

Para el área de la implementación del sistema de levantamiento artificial, se seleccionó el gas lift por los bajos costos operativos unitarios y se utilizaron los resultados obtenidos en la tesis “Ingeniería conceptual para la aplicación del sistema gas lift en el campo escuela colorado” (Amado Pachón Cristian Fabián, 2012).

9.1. Business case aplicado

Business case
Resumen ejecutivo
Se busca reavivar la producción de Campo Colorado pues cerca del 90% de sus pozos se encuentran cerrados o su producción es nula, y el 10% restante presenta producción diaria de crudo baja la cual hace del lifting cost muy alto para presentar una rentabilidad aceptable. según estudios, se espera obtener mediante un cambio en el sistema de levantamiento artificial una mejora en la producción junto con una reducción en el lifting cost por barril de petróleo y reactivar pozos ya cerrados por su bajo rendimiento operacional.
Razones
El Campo Colorado es un campo maduro que lleva produciendo cerca de 60 años, aunque declinó su producción drásticamente desde el año 2000, presenta un potencial de producción atractivo para la empresa y la inversión que necesita es baja comparada con el beneficio que se obtendrá, adicional a esto se pueden generar nuevos datos estadísticos para evaluar una intervención completa del campo y así generar más empleo y ganancias en general.
Opciones de negocio
Escenario 1 (No hacer nada)= La producción se mantiene en los niveles actuales, algunos de los pozos reflejan producción nula. Escenario 2 (Hacer lo optimo)= Realizar un cambio total en el sistema de levantamiento artificial el cual aumente la producción a niveles económicamente viables.
Beneficios esperados
Aumentará la producción de los pozos Colorado 36, Colorado 37, Colorado 40, Colorado 59, Colorado 70, Colorado 74 y Colorado 76 haciendo una proyección a 5 años, para aumentar los beneficios económicos que aporta Campo Colorado a la empresa y utilizar la experiencia obtenida para realizar una evaluación del proyecto para realizar una mejora completa a la mayoría de pozos de Campo Colorado.

Figura 15 Business case, prueba piloto

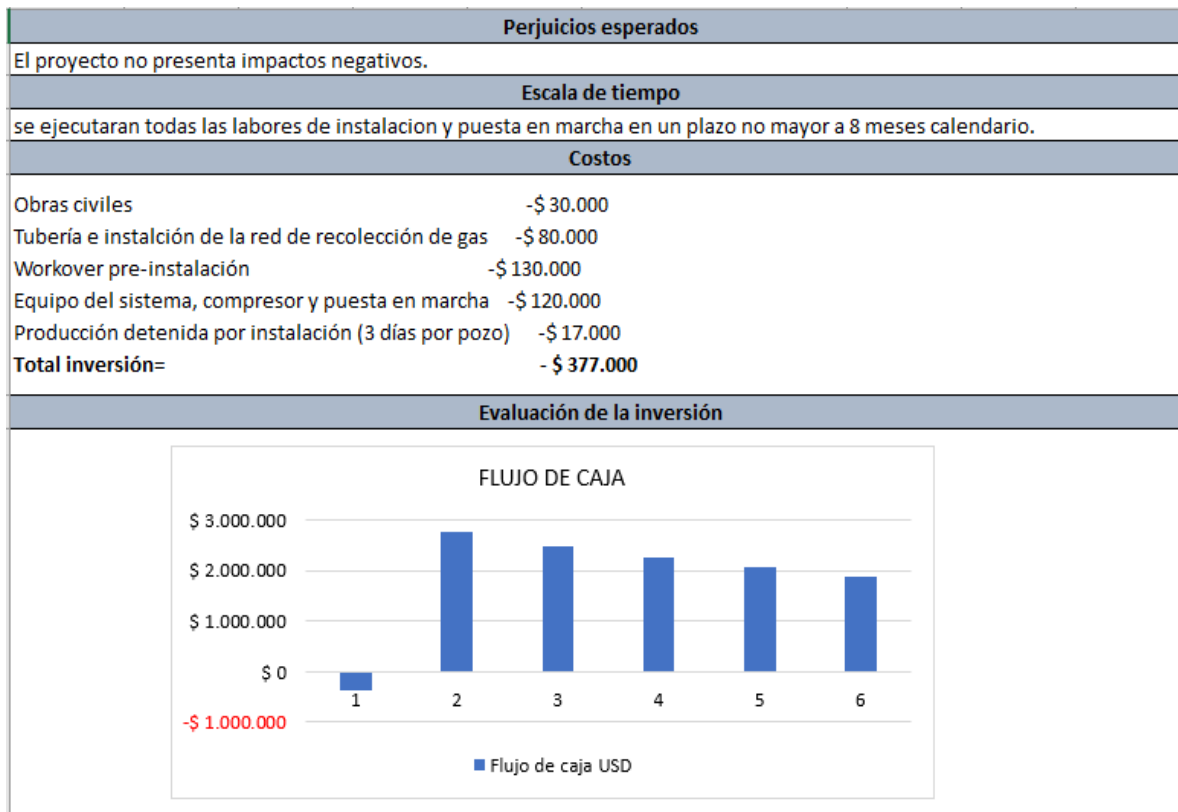


Figura 16 Business case, prueba piloto

La figura 15 y 16 muestra el desarrollo del business case en el cual se plasman los tiempos máximos de desarrollo del proyecto, los costos de la inversión, el flujo de caja esperado al finalizar el proyecto como principales datos atractivos para el inversionista.

9.2. Análisis financiero

El análisis financiero consiste en una serie de técnicas y procedimientos que permiten analizar la información contable del proyecto de modo de obtener una visión objetiva acerca de cómo se espera que esta evolucione en el futuro. En la industria petrolera existen dos términos

importantes al momento de realizar un análisis financiero para un proyecto en particular, estos son:

- Los costos capitales CAPEX: Los cuales están asociados con la exploración, perforación, completamiento, sistema de levantamiento artificial, facilidades, instalaciones adicionales para manejo de los residuos de producción, equipos y pozos de inyección (Amado Pachón Cristian Fabián, 2012)
- Los costos operacionales OPEX: Incluyen los costos de energía, químicos, servicios de reacondicionamiento de pozos productores o inyectores, personal de mantenimiento y ambientales.

9.2.1. Indicadores económicos. El estudio de factibilidad se basa en los siguientes indicadores económicos:

- **Flujo de efectivo**

El flujo de efectivo es la diferencia entre el total de efectivo que se recibe y el total de desembolso para un periodo de tiempo estipulado. Para realizar la estimación de este se debe tener en cuenta los siguientes aspectos: ingresos, gastos generados por la inversión, costos operacionales, beneficio fiscal asociado a la depreciación e impuestos relacionados con el desarrollo del proyecto.

- **Valor presente neto**

El valor presente neto (VPN), es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros. El método consiste en calcular el valor presente (VP) del flujo de ingresos que se espera genere el proyecto, menos el costo asociado con llevarlo

a cabo y que se asume se paga al inicio del proyecto. Este método además descuenta una determinada tasa o tipo de interés igual para todo el período considerado.

Dado el flujo de caja de un proyecto o alternativa de inversión, se define el valor presente (VP) como la forma de valorar todo recurso económico gastado y generado a lo largo de la vida útil de un proyecto y de comparar los costos y beneficios actuales con los futuros

Dado el flujo de caja de un proyecto o alternativa de inversión, se define el valor presente (VP) como la forma de valorar todo recurso económico gastado y generado a lo largo de la vida útil de un proyecto y de comparar los costos y beneficios actuales con los futuros (C. Perea & Perez, 2013)

La ecuación general para hallar el valor presente neto de un proyecto es igual a:

$$VPN = \sum_{n=0}^N \frac{\text{Flujo de caja}}{(1+i)^n}$$

Donde el flujo de caja es igual a la ganancia neta menos los impuestos

$$\text{Flujo de caja} = \text{Ganancia Neta} - \text{Impuestos}$$

$$\text{Ganancia Neta} = \text{Ingresos} - \text{Egresos}$$

Los egresos representan los desembolsos de dinero, por tal razón estos se toman como un valor negativo en el momento de realizar los cálculos.

N = Número de periodos a tener en cuenta (El primer periodo es el año 0)

i = Porcentaje al que está invertido un capital en una unidad de tiempo.

Tabla 16
Criterios de aceptación del VPN

CRITERIO	SIGNIFICADO	DECISIÓN PARA IMPLEMENTAR
VPN > 0	Al realizarse la inversión, se producirá ganancias por encima de la rentabilidad exigida	El proyecto es aceptado
VPN = 0	Al realizarse la inversión, no se producirán ganancias, pero tampoco se producirá pérdida de capital.	El proyecto podría aceptarse o rechazarse tomando en cuenta otros criterios
VPN < 0	Al realizarse la inversión, esta no será capaz de producir ganancias por encima de la rentabilidad exigida, trayendo consigo pérdidas de capital	El proyecto es rechazado

Nota: Criterios de aceptación del VPN, adaptado de: Plan de Gestion Implementacion SLA Seleccionado en Campo Colombiano con Lineamientos PMI, (C. Perea & Perez, 2013).

- **Tasa Interna de Retorno (TIR)**

El TIR es un método que considera el valor del dinero en el tiempo y determina la tasa de rendimiento, en la cual el valor presente Neto de un proyecto es igual a cero es decir, la tasa que equilibra el valor presente de los ingresos con el valor presente de los egresos (C. Perea & Perez, 2013)

$$0 = -c + \sum_{n=0}^N \frac{\text{Flujo de caja}}{(1+i)^n}$$

Donde C= Inversión Inicial

Tabla 17

Criterios de aceptación de la TIR

CRITERIO	SIGNIFICADO	DECISIÓN PARA IMPLEMENTAR
TIR > i	El proyecto es rentable	El proyecto es aceptable
TIR < i	El proyecto no es rentable	El proyecto no es aceptable

Nota: Criterios de aceptación de la TIR, adaptado de: Plan de Gestion Implementacion SLA Seleccionado en Campo Colombiano con Lineamientos PMI, (C. Perea & Perez, 2013).

Donde (i) es la tasa de oportunidad del inversionista

- **Periodo de recuperación**

El período de recuperación de la inversión o payback es la cantidad de tiempo que tarda una empresa en recuperar el costo de su inversión inicial en un proyecto, esto sucede cuando el flujo de efectivo neto es igual a cero, este es un determinante clave para saber si se da inicio al proyecto.

Es importante tener presente que el período de recuperación ignora el valor del dinero en el tiempo, a diferencia de otros métodos de presupuesto de capital, tales como el valor presente neto, la tasa interna de retorno y el flujo de efectivo descontado, tampoco considera la presencia de un flujo de efectivo adicional que pueda surgir de una inversión en los períodos posteriores a la obtención del reembolso completo.

$$PR = \frac{\text{Flujo de efectivo inicial}}{\text{Ingreso anual}}$$

- **Razón Beneficio-Costo**

La razón beneficio/costo (B/C), compara directamente, como su nombre lo indica, los beneficios y los costos de un proyecto para definir su viabilidad.

$$B/C = \frac{B - D}{C}$$

Donde:

B = Valor equivalente de los beneficios del proyecto

D = Valor equivalente de las desventajas del proyecto

C = Costo neto del proyecto

- **Eficiencia sobre la inversión**

La eficiencia sobre la inversión (J) es un indicador económico utilizado por Ecopetrol S. A. durante el proceso de decisión y determina la viabilidad del proyecto; este indicador no debe ser mayor que 0.45, si se desea realizar el proyecto de inversión. (AMADO PACHÓN CRISTIAN FABIÁN, 2012, p. 115)

9.2.1. Cálculo del costo de un sistema gas lift intermitente

- **CAPEX**

Los costos CAPEX se refieren a montos concernientes a la inversión inicial para la instalación del equipo necesario; entre ellos se encuentran las obras civiles, la tubería e instalación para la recolección de gas, el workover y los equipos entre otros, con un total estimado de \$ 337.000.

- **OPEX**

Se destina esta clasificación a los costos de mantener en funcionamiento los equipos ya instalados en el proyecto tales como inspecciones periódicas, reemplazo de piezas por deterioro y los costos de energía eléctrica, con un total anual estimado en \$ 200.000.

9.3. Escenario de aplicación

Para realizar el análisis financiero, se tomo en cuenta la diferencia en la producción diaria si se aplica un sistema de levantamiento artificial y se hizo la proyección a 12 meses con una tasa de declinación mensual de 1,5%, además se hizo una proyeccion anual hasta llegar a los 5 años de producción.

Este escenario corresponde al análisis financiero del sistema gas lift en los pozos Col-36, Col-37, Col-40, Col-59, Col-70, Col-74 y Col-76; todos los pozos funcionan con Bombeo Mecánico

Estimación de costos													
Gas lift usando un pistón													
Campo Colorado (12 meses)													
Tiempo (meses)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Valor del incremento en la producción con Gas Lift		\$ 166.250	\$ 163.756	\$ 161.300	\$ 158.880	\$ 156.497	\$ 154.150	\$ 151.837	\$ 149.560	\$ 147.317	\$ 145.107	\$ 142.930	\$ 140.786
Obras civiles	-\$ 30.000												
Tubería e instalación de la red de recolección de gas	-\$ 80.000												
Workover pre. instalación	-\$ 130.000												
Equipo del sistema, compresor y puesta en marcha	-\$ 120.000												
Producción detenida por instalación (3 días por pozo)	-\$ 17.000												
Mantenimiento del sistema													-\$ 11.000
Producción detenida por mantenimiento (2 días por pozo)													-\$ 17.300
Costo de energía eléctrica		-\$ 1.500	-\$ 1.500	-\$ 1.500	-\$ 1.500	-\$ 1.500	-\$ 1.500	-\$ 1.500	-\$ 1.500	-\$ 1.500	-\$ 1.500	-\$ 1.500	-\$ 1.500
Supervisión ingenieril		-\$ 15.000	-\$ 15.000	-\$ 15.000	-\$ 15.000	-\$ 15.000	-\$ 15.000	-\$ 15.000	-\$ 15.000	-\$ 15.000	-\$ 15.000	-\$ 15.000	-\$ 15.000
Imprevistos													-\$ 40.000
Tratamientos químicos que se evitan		\$ 5.000	\$ 5.000	\$ 5.000	\$ 5.000	\$ 5.000	\$ 5.000	\$ 5.000	\$ 5.000	\$ 5.000	\$ 5.000	\$ 5.000	\$ 5.000
Servicio a pozo evitados para limpiar la parafina		\$ 95.000	\$ 95.000	\$ 95.000	\$ 95.000	\$ 95.000	\$ 95.000	\$ 95.000	\$ 95.000	\$ 95.000	\$ 95.000	\$ 95.000	\$ 95.000
Flujo de caja USD	-\$ 377.000	\$ 249.750	\$ 247.256	\$ 244.800	\$ 242.380	\$ 239.997	\$ 237.650	\$ 235.337	\$ 233.060	\$ 230.817	\$ 228.607	\$ 226.430	\$ 155.986

Estimación de costos						
Gas lift usando un pistón						
Campo Colorado (5 años)						
Tiempo (meses)	0	1	2	3	4	5
Valor del incremento en la producción con Gas Lift		\$ 1.838.371	\$ 1.562.615	\$ 1.328.223	\$ 1.128.989	\$ 959.641
Obras civiles	-\$ 30.000					
Tubería e instalación de la red de recolección de gas	-\$ 80.000					
Workover pre. instalación	-\$ 130.000					
Equipo del sistema, compresor y puesta en marcha	-\$ 120.000					
Producción detenida por instalación (3 días por pozo)	-\$ 17.000					
Mantenimiento del sistema		-\$ 11.000	-\$ 11.000	-\$ 11.000	-\$ 11.000	-\$ 11.000
Producción detenida por mantenimiento (2 días por pozo)		-\$ 17.300	-\$ 17.300	-\$ 17.300	-\$ 17.300	-\$ 17.300
Costo de energía eléctrica		-\$ 18.000	-\$ 18.000	-\$ 18.000	-\$ 18.000	-\$ 18.000
Supervisión ingenieril		-\$ 180.000	-\$ 180.000	-\$ 180.000	-\$ 180.000	-\$ 180.000
Imprevistos		-\$ 40.000	-\$ 40.000	-\$ 40.000	-\$ 40.000	-\$ 40.000
Tratamientos químicos que se evitan		\$ 60.000	\$ 60.000	\$ 60.000	\$ 60.000	\$ 60.000
Servicio a pozo evitados para limpiar la parafina		\$ 1.140.000	\$ 1.140.000	\$ 1.140.000	\$ 1.140.000	\$ 1.140.000
Flujo de caja USD	-\$ 377.000	\$ 2.395.071	\$ 2.496.315	\$ 2.261.923	\$ 2.062.689	\$ 1.893.341
		\$ 2.395.071	\$ 5.268.386	\$ 4.758.238	\$ 4.324.612	\$ 3.956.030
	precio WTI	\$ 65,8				
INDICADORES ECONÓMICOS						
VPN, i * 10% E.A.			\$ 8.490.011,07			
VPN, i * 15% E.A.			\$ 7.528.994,51			
VPN, i * 20% E.A.			\$ 6.731.223,76			

Figura 17 Determinación de costos, tablas

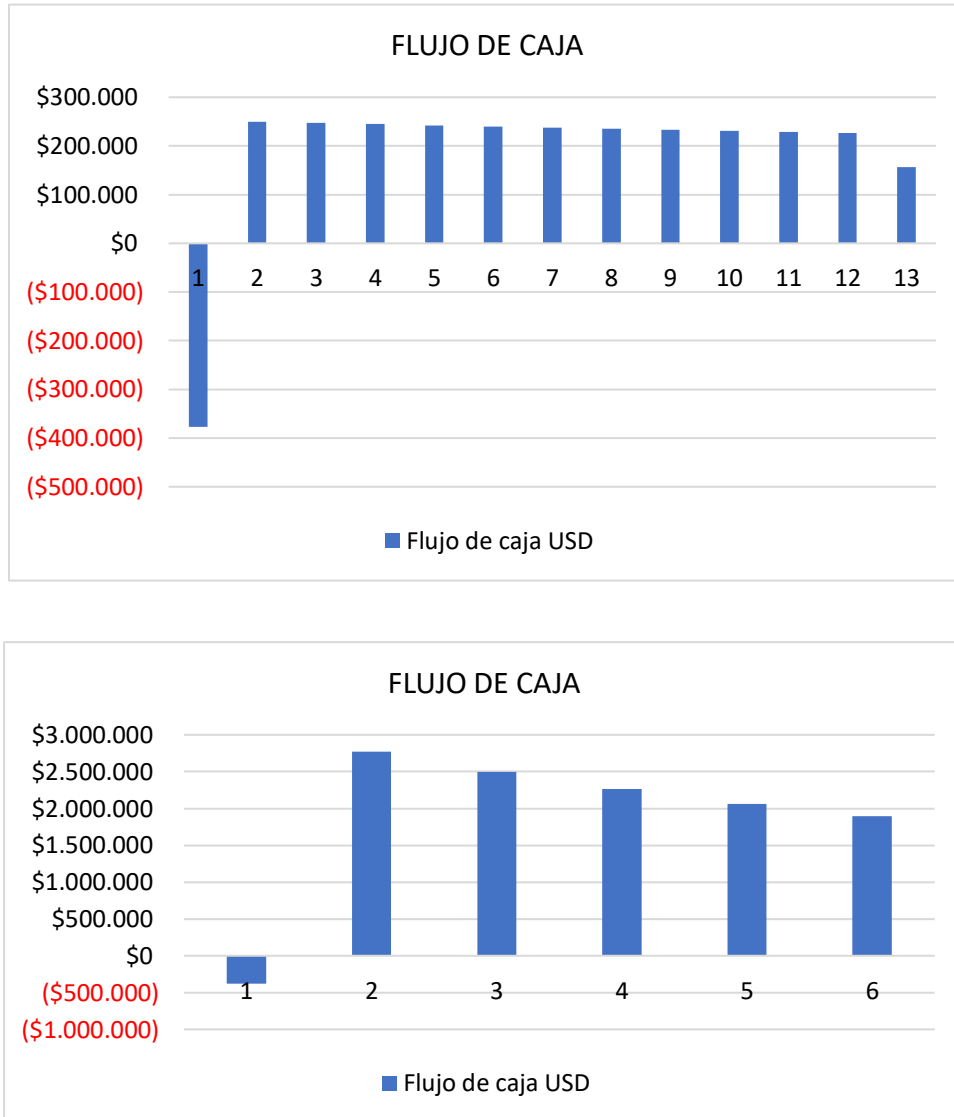


Figura 18 Determinación de costos

Los indicadores económicos obtenidos del análisis financiero para la aplicación del sistema gas lift son favorables; el periodo de recuperación es de 2 meses, la eficiencia de inversión es menor al 0.45 y a una tasa de interés del 20% el VPN es \$ 6.731.223 USD. Teniendo en cuenta los datos obtenido del análisis el proyecto es viable.

9.4. Diseño del sistema de levantamiento artificial

Control de fase C: Diseño del sistema de levantamiento artificial
INFORME PARA DISEÑO DEL SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL

INFORME PARA DISEÑO DEL SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL

Para la selección a nivel técnico de sistema de levantamiento artificial se utilizó el software Muttur 1.0 el cual determinó que se debe realizar un reacondicionamiento del actual sistema de levantamiento artificial por bombeo mecánico, se utilizó como referencia el pozo Colorado 36 y se decidió realizar el mismo procedimiento para los demás pozos seleccionados mediante criterios técnicos implícitos; a continuación, se muestra la tabla de ponderación arrojada por el software.

Posición	SLA	CBF	DG	CNA	%CNA	CL	%L	%I	NIVEL
1	Bombeo Mecánico	83,1	72,0	0	0	3	19,2	9	Excelente
2	Bombeo Electro Sumergible	82,2	75,8	1	11,2	0	0	7	Excelente
3	Electrosurgible con Gas Lift	80,8	73,0	1	11,2	0	0	7	Excelente
4	Bombeo Hidráulico Tipo Jet	78,3	68,2	1	11,5	0	0	9	Buena
5	Bombeo Hidráulico Tipo Pistón	78,2	68,1	1	11,5	0	0	9	Buena
6	Gas Lift	76,3	65,1	1	11,0	1	4,7	5	Buena
7	Bombeo Electrosumergible	75,0	67,7	2	16,1	1	4,8	7	Buena
8	Bombeo por Cavidades Progresivas	72,7	63,4	2	16,4	1	4,9	9	Buena

Debido a las condiciones del campo, a su alto GOR, y al costo operativo unitario se toma a consideración la instalación de Gas Lift intermitente con pistón ya que en el análisis financiero arroja un retorno de la inversión al segundo mes y con un tiempo de intervención por pozo de 3 días.

Costo Operativo Unitario (USD)	Sistema de Levantamiento Artificial
5,7	Bombeo Mecánico
3	Gas Lift
9	Bombeo Electrosumergible
7	Bombeo Cavidades Progresivas
11	Bombeo Hidráulico

En la siguiente tabla se presentan las especificaciones requeridas por el sistema de levantamiento artificial a solicitar para la intervención de los pozos seleccionados.

Pozo	n opt	t iny (min)	q iny (mpc/d P iny)	THP2 (psi)	q opt	Δq (bl/día)
Colorado 36	24,00	2,46	20,39	205,41	106,48	37,89
Colorado 37	17,00	5,13	43,42	267,85	127,20	40,33
Colorado 40	16,00	5,78	57,07	318,95	166,40	53,01
Colorado 59	21,00	5,00	73,47	361,57	160,52	61,37
Colorado 70	8,00	4,71	7,40	141,43	75,26	11,76
Colorado 74	19,00	5,54	75,31	371,07	210,81	64,29
Colorado 76	7,00	6,48	16,74	213,58	104,00	17,81

Figura 19 Diseño del sistema de levantamiento artificial

La figura 19 muestra la fase C: diseño del sistema de levantamiento artificial en la cual se aprecian los resultados de la ponderación por características técnicas arrojadas mediante el software Muttor y la ponderación por costos operativos unitarios del sistema de levantamiento artificial (C. Perea & Perez, 2013). A partir de estos resultados el autor selecciona la implementación de un sistema de levantamiento artificial por gas lift debido a su reducido costo operativo unitario y tomando en cuenta el estado de campo escuela colorado como campo maduro, cuyo volumen de producción no es elevado. Se presentan las características requeridas para cada pozo y así presentar al fabricante para que este realice el respectivo diseño con software especializado (Amado Pachón Cristian Fabián, 2012).

10. Guía para la planeación e implementación de un sistema de levantamiento artificial con PRINCE2.

A continuación, se mostrará los cambios realizados a la guía para la planeación e implementación de un sistema de levantamiento artificial con PRINCE2 (Apéndice D), es importante resaltar que esta herramienta se presentó a 2 Ingenieros de Petróleos con el objetivo de recibir un concepto por parte de ellos, los cuales se pueden apreciar en la tabla 18:

Tabla 18
Sugerencias de expertos

Ingenieros	Sugerencias	Observaciones
Experto Nro. 1	Enfoque hacia los sistemas de levantamiento artificial. Lenguaje formal en el tratamiento de datos.	Se genera un enfoque hacia los sistemas de levantamiento artificial y con esto se cubre el aspecto técnico en el lenguaje de la guía.

Continuación tabla 18

Ingenieros	Sugerencias	Observaciones
Experto Nro. 2	Transformar la herramienta en un formato de software. Mejorar el manejo de datos técnicos.	No se realizada debido a que excede el alcance del proyecto, pero se llevan a cabo cambios al Excel, con el fin de obtener una mejor navegación en la herramienta. En cuanto al manejo técnico, son sugerencias similares al experto Nro. 1, por tal razón se realiza las sugerencias realizadas por los dos.

10.1. Tabla de contenido de la guía final para la planeación e implementación de un SLA con PRINCE2

Tabla de contenido
1. Mandato del proyecto
2. Lecciones aprendidas
3. Diseño y designación del equipo de gestión de proyectos
4. Bussiness case
5.1. Riesgos (Criterios probabilidad/ocurrencia-impacto/severidad)
5.2. Riesgos (Criterios factibilidad (perspectiva)-impacto(repercusión))
5.3. Riesgos (Criterios detectabilidad del control modo de fallo (efectividad)-impacto(repercusión))
6. Estimación de costos
7. Enfoque de gestión de la calidad
8. Entregables generales
8.1. Fase 0: Brief de proyecto áreas transversales
8.2. Fase A: inicio del proyecto
8.3. Control de Fase B: plan de actividades ambientales y legales
8.4. Control de fase C: diseño del sistema de levantamiento artificial
8.5. Control de fase D: disposición de equipos adicionales para la intervención de pozos
8.6. Control de fase E: cambio o instalación de sistema de levantamiento artificial
8.7. Control de fase F: fase de cierre
8.8. Control de fase G: pos-proyecto
9. Parametros comerciales para la selección de un sistema de levantamiento artificial
10. Screening operacional óptimos de los principales sistemas de levantamiento artificial
11. Selección del sistema de levantamiento artificial.
12. Diseño del Bombeo Mecánico
13. Diseño del Bombeo Electro Sumergible
14. Diseño del Bombeo Hidráulico tipo Jet
15. Diseño del Bombeo por Cavidades progresivas

Figura 20 Tabla de contenido de la guía final para la planeación e implementación de un SLA con PRINCE2

La figura 20 muestra las mejoras realizadas a la “guía para la planeación e implementación de un sistema de levantamiento artificial en un campo colombiano” las cuales incluyen las sugerencias realizadas por los ingenieros de petróleos a los cuales se les consultó; se agregó una fase la cual incluye el “Brief de proyecto de áreas transversales”, adicional a esto se añaden los parámetros comerciales para la selección de un sistema de levantamiento artificial, screening operacionales óptimos de los principales sistemas de levantamiento artificial, selección del sistema de levantamiento artificial y los diseños de los siguientes sistemas de levantamiento artificiales: bombeo mecánico, bombeo electro sumergible, bombeo hidráulica tipo Jet y bombeo por cavidades progresivas.

10.2. Brief de proyecto áreas transversales

← Menú principal →	
BRIEF DE PROYECTO ÁREAS TRANSVERSALES	
Nombre del sistema de levantamiento:	
Equipo de trabajo:	líder del proyecto
	Equipo del proyecto
Fecha de inicio del proyecto:	
Fecha esperada de socialización:	
Antecedentes:	
Información previa al proyecto:	
Objetivo:	
Resultado a lograr:	
Características del proyecto:	
Condiciones especiales del proyecto:	
Costo esperado del proyecto:	
Estudios de seguridad requeridos para el proyecto:	
Requisitos legales y de propiedad intelectual del proyecto:	
Restricciones y riesgos del proyecto:	
Valoración del proyecto:	10
Cambios/ desviaciones/ modificaciones (fecha):	

Figura 21 Brief de proyectos de áreas transversales, parte 1

Matriz de valoración de proyectos						
MODELO DE CALIFICACIÓN POR CINCO FACTORES				CALIFICACIÓN ACUMULADA	10	
Factor 1 : Probabilidad de éxito técnico						Peso factor 1: 30%
Elemento	1	4	7	10	Rating	Comentarios
Brecha Técnica	Existe una gran brecha entre las practicas y objetivos actuales: Nuevos procesos, etc.	Se requieren cambios muy considerables en los procesos actuales (ej.: capacidad tecnológica).	Se necesitan cambios moderados (ej.: tecnología, infraestructura, académico).	Mejora incremental con mayor enfoque en el servicio (desarrollo)	10	
Complejidad del proyecto	Difícil de definir con muchos obstáculos	Fácil de definir pero con obstáculos	Un desafío, pero realizable.	Sencillo	10	
Base de capacidades Técnicas	Tecnológicamente nuevo para la comunidad (casi) sin conocimiento	Alguna experiencia de innovación y desarrollo, pero insuficiente	Conocimiento selectivo al interior de la comunidad	Altamente practicado en la comunidad	10	
Calificación promedio					10	
Rating Ponderado					3	

Factor 2 : Probabilidad de éxito comercial						Peso factor 2: 10%
Elemento	1	4	7	10	Rating	Comentarios
Necesidad del mercado	Difícil de implementar !! Requiere de un extensivo desarrollo del mercado. La necesidad no es evidente	La necesidad debe ser argumentada al cliente. Se requiere personalización del mensaje del área transversal	Clara relación entre el área transversal y la necesidad, cuenta con soluciones sustitutas (diferente metodologías)	Área transversal que responde inmediatamente a la necesidad del cliente; no existe un sustituto directo	10	
Madurez del mercado	Declive	Embrionario- Alta	Crecimiento modesto	Rápido crecimiento	10	
Intensidad de competencia	Alta	Moderada- Alta	Moderada- Baja	Baja	10	
Destrezas comerciales	Deben desarrollarse. Nuevo para la compañía	Deben desarrollarse mas allá de lo usado actualmente	Se requiere desarrollar un programa a la medida	Destrezas existentes	10	
Implicaciones Regulatorias	Se requieren profundos cambios con el fin de acatar la normatividad que aplica	Deben aplicarse varios cambios en los procesos/ productos para aplicar nueva normatividad	Impacto medio en la normativa aplicada	Impacto nulo en la normativa aplicada	10	
Calificación promedio					10	
Rating Ponderado					1	

Figura 22 Brief de proyectos de áreas transversales, parte 2

Factor 3 : Palanca estratégica						Peso factor 3: 20%
Elemento	1	4	7	10	Rating	Comentarios
Posición para el crecimiento	Fácilmente copiable	Protegido pero no es una barrera a la competencia	Suficientemente protegible para seguir atendiendo al cliente objetivo	Posición completamente protegida vía patentes, confidencialidad de la información, restricción de acceso a información, etc.	10	
Plataforma para el crecimiento	Capacidades muy especializadas. Solo utilizable para esta oportunidad	Ofrece algunas oportunidades para extender el negocio	Alto potencial de diversificación	Abre nuevos espacios de capacidades técnicas y comerciales	10	
Durabilidad (Técnica & Mercado)	Sin ventajas distintivas, fácilmente sobrepasado por la competencia	Ciclo de vida moderado, pero con poco espacio para mejoras incrementales	Puede brindar algunos años de ventaja	Ciclo de vida extenso con oportunidades para mejoras incrementales	10	
Sinergia con otras comunicaciones	Limitado solo para el servicio de la comunidad	Con trabajo y otras inversiones podría aplicarse a otras comunidades/países	Puede adoptarse y tener aplicaciones en otras comunidades/ países	Puede aplicarse fácilmente en otras comunidades/ países	10	
Calificación promedio					10	
Rating Ponderado					2	
Factor 4 : Alineación con la estrategia de negocios						Peso factor 4: 15%
Elemento	1	4	7	10	Rating	Comentarios
Congruencia	Solo se alinea periféricamente con la estrategia	Tiene una alineación modesta, pero no es vital para la estrategia	Buena alineación con un alto componente de la estrategia	Excelente alineación con la estrategia	10	
Impacto	Impacto mínimo: no hay peligro si el proyecto no es viable o se cancela	Impacto medio a nivel competitivo y financiero	Impacto significativo: difícil recuperación si no hay viabilidad o definitivamente se cancela	Impacto alto: el desarrollo sostenible del negocio (futuro) depende de este proyecto	10	
Calificación promedio					10	
Rating Ponderado					1,5	
Factor 5 : Recompensa						Peso factor 5: 25%
Elemento	1	4	7	10	Rating	Comentarios
Captación (año específico - 2 años)	≤ Número actual	Entre número actual y 2.5% de incremento	Entre 2,5 y 4,99% de incremento	> 5% de incremento	10	
Ingresos del Mercado Potencial	≤ Ingreso actual (US)	Entre 5% y 7% (US)	Entre 8% y el 10% (US)	> 10% (US)	10	
Tiempo para la madures comercial	> 5 años	4 -5 años	1-3 años	< 1 año	10	
Nivel de inversiones	Alta inversión (US)	Inversión significativa (US)	Inversión moderada (US)	Baja inversión (US)		
Nivel de complejidad de recursos	Complejidad alta: Requiere de considerables recursos	Complejidad significativa: Requiere moderados recursos	Complejidad media: Requiere de las adaptaciones de los recursos actuales	Complejidad baja: No requiere de cambio alguno en los recursos disponibles en la organización	10	
Calificación promedio					10	
Rating Ponderado					2,5	

Figura 23 Brief de proyecto áreas transversales, parte 3

Es una herramienta utilizada antes de iniciar un proyecto de manera tal que ayuda a predecir el potencial de este, generando un porcentaje de éxito que ayuda a definir la viabilidad general del proyecto.

El brief tiene una matriz de valoración de proyectos la cual consta de 5 factores los cuales tienen un peso porcentual; estos factores constan de una cantidad variable de elementos a los que se les asigna 1 de las 4 ponderaciones disponibles a consideración del usuario en base a los conceptos individuales que se manejan en la herramienta. Estas ponderaciones determinan el peso de cada elemento, los cuales se totalizan en cada factor para llegar a un valor final.

Al totalizar el uso de esta herramienta junto con la incertidumbre general del proyecto, el o los inversionistas deben decidir si ejecutar o no el proyecto.

10.3. Criterios comerciales y alternativas para los sistemas de levantamiento artificial

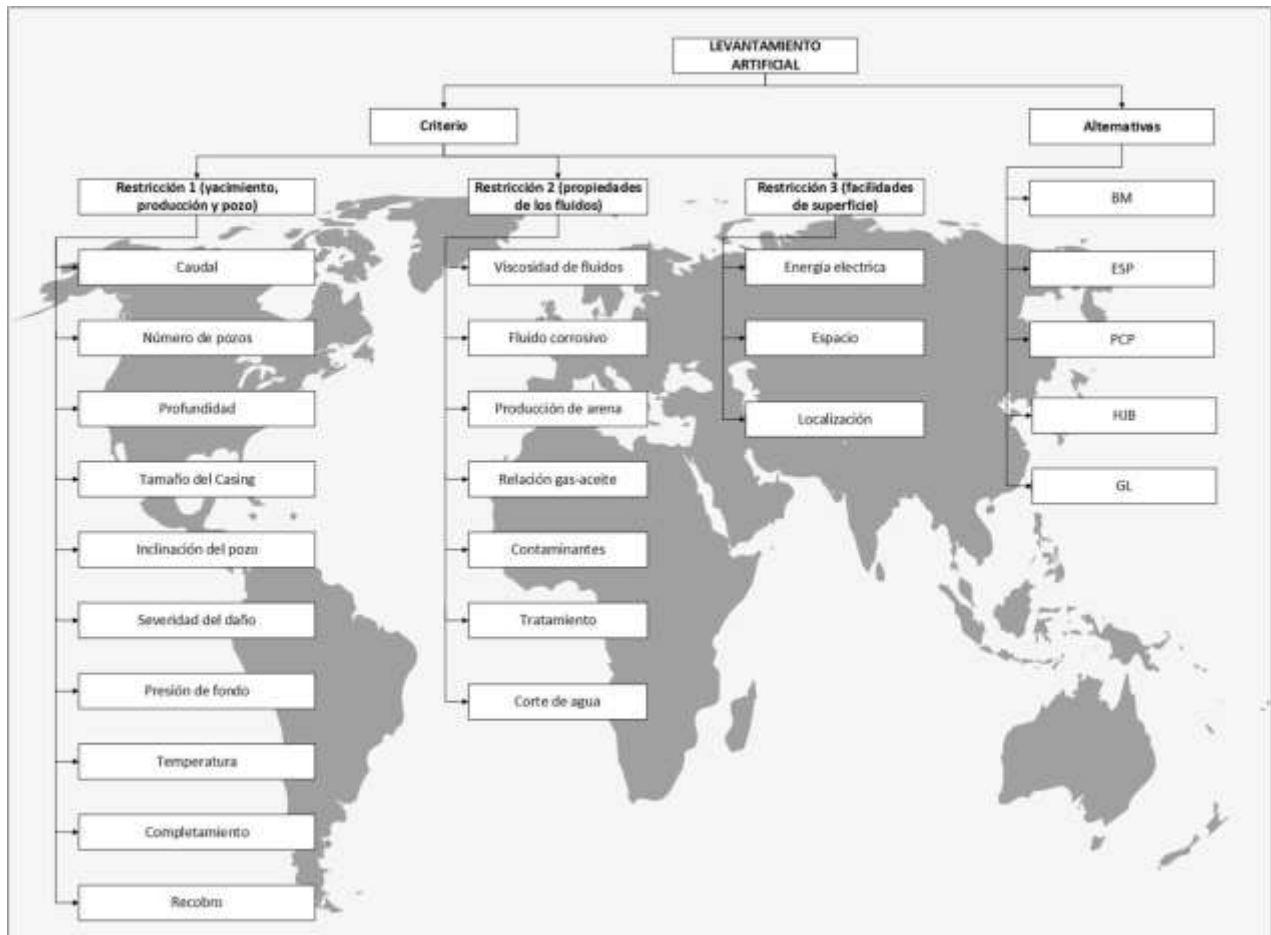


Figura 24 Criterios comerciales y alternativas para los sistemas de levantamiento artificial. Adaptado de "A prediction to the best artificial lift method selection on the basis of TOPSIS model. 2010."

La figura 24 presenta la información necesaria a nivel de yacimiento, campo y pozo para determinar comercial y técnicamente el tipo de sistema de levantamiento artificial óptimo, adecuado o económicamente viable para implementar en un pozo o campo específico; también da referencia de las posibles opciones de sistemas de levantamiento artificial como lo son:

- Bombeo mecánico
- Bombeo electrosumergible

- Bombeo por cavidades progresivas
- Bombeo hidráulico
- Gas lift

10.4. Screening de aplicación de los sistemas de levantamiento artificial

Parametros especificos de pozo # _____				Rango de operación óptimo del SLA				
Clasificación	Nivel de importancia	Parámetro	Valor del parámetro	BM	ESP	PCP	HJB	GL
Yacimiento, producción y pozo	1	Q		50 a 300	10001 a 20000	1501 a 2000	501 a 1000	10001 a 15000
	3	Nw		Más de 1	Más de 1	Más de 1	Más de 3	Más de 25
	1	Dep		1 a 2500	> 500	500 a 1000	501 a 1000	> 2000
	2	Csg		4 1/2	> 7	4 1/2	>9 5/8	> 7
	2	Inc		0 a 5	0 a 10	0 a 3	0 a 10	0 a 30
	2	Dog		0 a 3	0 a 3	0 a 2	0 a 3	0 a 50
	2	Pwf		51-100	1 a 5000	1 a 2500	12001 a 15000	10001 a 15000
	3	T		1 a 150	71 a 150	71 a 150	71 a 150	101 a 150
	3	Comp		Simple	Simple	Simple	Simple	Simple
3	Recov		Primario	Primario	Primario	N/A	Primario	
Propiedades de los fluidos	1	BSW		0,1 a 15	0,1 a 70	0,1 a 6	0,1 a 10	0,1 a 10
	2	Visc		101 a 500	0,1 a 10	5000 a 6000	1 a 10	41 a 70
	2	Fcor		No	No	No	No	No
	2	Sand		0 a 10	0 a 5	0 a 50	0 a 2	0 a 200
	1	GOR		0 a 100	0 a 50	0 a 50	0 a 100	> 5000
	3	Cont		Nula	Nula	Nula	Nula	Nula
	3	Treat		Sin Tratamiento	Sin Tratamiento	Sin Tratamiento	Solventes	Sin Tratamiento
Facilidades de superficie	2	Loc		N/A	Onshore	Onshore	Onshore	Offshore
	3	Ener		N/A	Comprada	N/A	N/A	N/A
	2	Space		Amplio	Standard	Standard	Standard	Standard

Figura 25 Screening de aplicación de los sistemas de levantamiento artificial

La figura 25 muestra los parámetros operacionales óptimos de los principales sistemas de levantamiento artificial los cuales están incluidos en el proyecto denominado “evaluación técnica de las estrategias de levantamiento artificial implementadas en campos maduros. Diseño de una herramienta software de selección”(Muñoz & Torres, 2007).

10.5. Paquete de trabajo selección del sistema de levantamiento artificial

SELECCIÓN DEL SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL
Objetivo
Determinar los componentes y características necesarias del sistema de levantamiento artificial para el pozo seleccionado
Descripción del paquete de trabajo
Determinar por medio del software especializado la selección de los componentes adecuados para el sistema de levantamiento artificial seleccionado
Actividades a realizar
Introducir los datos mínimos requeridos por el software: -Caudal -Número de pozos -Profundidad -Tamaño del Casing -Inclinación del pozo -Severidad del daño -Presión de fondo -Temperatura -Complejamiento -Recobro -Viscosidad del fluido -Corrosión del fluido -Producción de arena -Relacion Gas-Aceite -Contaminantes -Tratamiento -Corte de agua -Localización -Energía -Espacio Crear la ficha técnica con las especificaciones requeridas entregada por el software.
Criterios de aceptación
Ficha técnica totalmente diligenciada Autorización de la ficha técnica por parte del Company men

Figura 26 Paquete de trabajo selección del sistema de levantamiento artificial

La figura 26 muestra el paquete de trabajo generado a partir de la información contenida en la figura 27 y figura 30 destinado a la introducción de datos del pozo o campo y sus respectivas actividades a realizar para dar por hecho la correcta selección del sistema de levantamiento artificial.

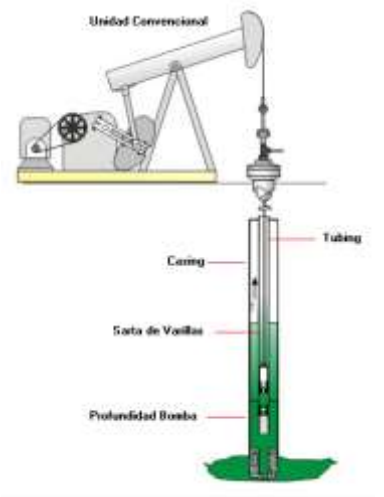
← Menú principal →	
FICHA TÉCNICA DEL SLA	
Tipo de SLA:	Bombeo Mecánico
 <p>Unidad Convencional</p> <p>Casing</p> <p>Tubing</p> <p>Sarta de Varillas</p> <p>Profundidad Bomba</p>	Designación del modelo de unidad
	Casing
	Tubing
	Sarta de varillas
	Profundidad de la bomba
	Carga máxima de la barra lisa (PPRL)
	Carga mínima de la barra lisa (MPRL)
	Contrabalance (CBE)
	Torque Pico
	Caudal (100% de eficiencia)
	Caudal (80% de eficiencia)
	Potencia del motor
	Esfuerzo en Sarta de Varillas
	Longitud de Carrera
Tipo de unidad de bombeo	

Figura 27 Ficha técnica Bombeo mecánico

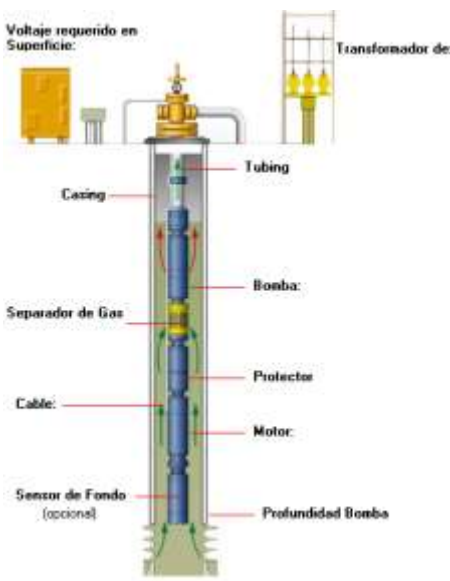
← Menú principal →	
FICHA TÉCNICA DEL SLA	
Tipo de SLA:	Bombeo Electrosumergible
 <p>Voltaje requerido en Superficie:</p> <p>Transformador de:</p> <p>Casing</p> <p>Tubing</p> <p>Separador de Gas</p> <p>Bomba:</p> <p>Protector</p> <p>Cable:</p> <p>Motor:</p> <p>Sensor de Fondo (opciona)</p> <p>Profundidad Bomba</p>	Selección de la Bomba
	Casing
	Tubing
	Protector
	Profundidad de la bomba
	Motor
	Sensor de fondo
	Cable
	Separador de gas
	Voltaje requerido en superficie
	Volumen de aceite entrando a la bomba
	Volumen de de gas entrando a la bomba
	Volumen de agua entrando a la bomba
	Volumen total entrando a la bomba
	Sumergencia de la bomba
	Perdidas por fricción en el tubing
	Presión en cabeza de Pozo
	Cabeza total dinámica TDH
	Etapas de la bomba @ Tasa entrando a la bomba
	Potencia requerida por la Bomba
Potencia del motor	
Tamaño del Transformador	

Figura 28 Ficha técnica Bombeo electro sumergible

← Menú principal →																																			
FICHA TÉCNICA DEL SLA																																			
<p>Tipo de SLA:</p>	<p style="text-align: center;">Bombeo Hidraulico tipo jet</p> <table border="1"> <tr><td>Bomba Jet recomendada</td><td></td></tr> <tr><td>Tasa de inyección del fluido de potencia</td><td></td></tr> <tr><td>G.e del fluido de potencia</td><td></td></tr> <tr><td>Gradiente del fluido de potencia</td><td></td></tr> <tr><td>Viscosidad del fluido de potencia</td><td></td></tr> <tr><td>Perdidas por fricción en el tubing</td><td></td></tr> <tr><td>Presión de entrada a la bomba</td><td></td></tr> <tr><td>Tasa de descarga</td><td></td></tr> <tr><td>Tasa de aceite</td><td></td></tr> <tr><td>Tasa de agua</td><td></td></tr> <tr><td>Perdidas por fricción en el anular</td><td></td></tr> <tr><td>Presión de descarga</td><td></td></tr> <tr><td>Presión de succión</td><td></td></tr> <tr><td>Área del orificio (nozzle)</td><td></td></tr> <tr><td>Área de la garganta (throat)</td><td></td></tr> <tr><td>Nueva tasa de inyección del fluido de potencia</td><td></td></tr> <tr><td>Potencia de la bomba en superficie</td><td></td></tr> </table>	Bomba Jet recomendada		Tasa de inyección del fluido de potencia		G.e del fluido de potencia		Gradiente del fluido de potencia		Viscosidad del fluido de potencia		Perdidas por fricción en el tubing		Presión de entrada a la bomba		Tasa de descarga		Tasa de aceite		Tasa de agua		Perdidas por fricción en el anular		Presión de descarga		Presión de succión		Área del orificio (nozzle)		Área de la garganta (throat)		Nueva tasa de inyección del fluido de potencia		Potencia de la bomba en superficie	
Bomba Jet recomendada																																			
Tasa de inyección del fluido de potencia																																			
G.e del fluido de potencia																																			
Gradiente del fluido de potencia																																			
Viscosidad del fluido de potencia																																			
Perdidas por fricción en el tubing																																			
Presión de entrada a la bomba																																			
Tasa de descarga																																			
Tasa de aceite																																			
Tasa de agua																																			
Perdidas por fricción en el anular																																			
Presión de descarga																																			
Presión de succión																																			
Área del orificio (nozzle)																																			
Área de la garganta (throat)																																			
Nueva tasa de inyección del fluido de potencia																																			
Potencia de la bomba en superficie																																			

Figura 29 Ficha técnica bombeo hidráulico tipo jet

← Menú principal →																																			
FICHA TÉCNICA DEL SLA																																			
<p>Tipo de SLA:</p>	<p style="text-align: center;">Bombeo por cavidades progresivas</p> <table border="1"> <tr><td>Selección de la Bomba PCP KUDU</td><td></td></tr> <tr><td>Presión de Entrada a la Bomba</td><td></td></tr> <tr><td>Volumen de fluido entrando a la Bomba</td><td></td></tr> <tr><td>Nivel Dinámico</td><td></td></tr> <tr><td>Perdidas por fricción en el tubing</td><td></td></tr> <tr><td>Presión en cabeza de pozo</td><td></td></tr> <tr><td>Cabeza Dinámica Total</td><td></td></tr> <tr><td>Delta de presión en la bomba</td><td></td></tr> <tr><td>Tasa @ 100rpm</td><td></td></tr> <tr><td>Sarta de varillas</td><td></td></tr> <tr><td>Potencia consumida por la bomba</td><td></td></tr> <tr><td>Torque Hidráulico</td><td></td></tr> <tr><td>Esfuerzo en la sarta dedibo al peso</td><td></td></tr> <tr><td>Esfuerzo debido al diferencial de presión</td><td></td></tr> <tr><td>Tensión a la Tracción</td><td></td></tr> <tr><td>Tensión a la Torsión</td><td></td></tr> <tr><td>Tensión total sobre la sarta de varillas</td><td></td></tr> </table>	Selección de la Bomba PCP KUDU		Presión de Entrada a la Bomba		Volumen de fluido entrando a la Bomba		Nivel Dinámico		Perdidas por fricción en el tubing		Presión en cabeza de pozo		Cabeza Dinámica Total		Delta de presión en la bomba		Tasa @ 100rpm		Sarta de varillas		Potencia consumida por la bomba		Torque Hidráulico		Esfuerzo en la sarta dedibo al peso		Esfuerzo debido al diferencial de presión		Tensión a la Tracción		Tensión a la Torsión		Tensión total sobre la sarta de varillas	
Selección de la Bomba PCP KUDU																																			
Presión de Entrada a la Bomba																																			
Volumen de fluido entrando a la Bomba																																			
Nivel Dinámico																																			
Perdidas por fricción en el tubing																																			
Presión en cabeza de pozo																																			
Cabeza Dinámica Total																																			
Delta de presión en la bomba																																			
Tasa @ 100rpm																																			
Sarta de varillas																																			
Potencia consumida por la bomba																																			
Torque Hidráulico																																			
Esfuerzo en la sarta dedibo al peso																																			
Esfuerzo debido al diferencial de presión																																			
Tensión a la Tracción																																			
Tensión a la Torsión																																			
Tensión total sobre la sarta de varillas																																			

Figura 30 Ficha técnica bombeo por cavidades progresivas

Las figuras 27 – 30 representan la adaptación de las fichas técnicas de diferentes sistemas de levantamiento artificial las cuales fueron adicionadas a los formatos de la guía para la planeación en implementación de un sistema de levantamiento artificial en un campo colombiano que funcionen como soporte visual al ingeniero de producción para definir todas las especificaciones requeridas por el pozo para el desarrollo del proyecto al momento de generar la solicitud de adquisición de equipos al fabricante. (Rodriguez & Robles, 2010).

11. Artículo publicable

Con la información obtenida a partir del análisis web y la creación de la guía para la planeación e implementación de un sistema de levantamiento artificial en un campo petrolero colombiano se desarrolla un artículo de carácter publicable (Apéndice E), donde se presenta una descripción de las principales características de PRINCE2 y los aspectos más relevantes de la guía.

Se escogió una revista donde su principal objetivo es difundir investigaciones de gran interés y de carácter veraz donde se presenten resultados analíticos en torno a los conocimientos actuales y áreas profesionales de las diferentes ingenierías tanto fisicomecánicas y fisicoquímicas; la revista FUENTES, EL REVENTÓN ENERGÉTICO siendo la indicada pues tiene como prioridad la publicación de trabajos inéditos de proyectos de investigación del tipo: artículo original de investigación científica y tecnológica, y artículos de revisión, así mismo con su

amplio alcance, estando indexada a bases de datos tales como Dialnet, REDIB, PUBLINDEX, Emerging Sources Citation Index, LATINDEX, Google Scholar, etc.

12. Conclusiones

La búsqueda realizada da como resultado una cantidad poco significativa de artículos públicos o investigaciones que se han realizado respecto a sistemas de levantamiento artificial con la metodología PRINCE2, por otra parte, se puede apreciar que la mayor cantidad de ellos provienen de conferencias realizadas en Estados Unidos.

La industria petrolera reporta algunos casos donde se trabajó con la metodología PRINCE2, sin embargo, estos documentos no se pudieron encontrar, pues la mayoría de ellos contienen datos confidenciales.

Con la investigación realizada se crea un documento el cual contiene datos relevantes como: autores, país, keywords, año de publicación, tipo de documento, procedencia; esto con el fin de obtener bases para la creación de la guía para el cambio e implementación de un sistema de levantamiento artificial para un campo colombiano, para este proceso también fue indispensable trabajar de la mano del libro oficial de Axelos de PRINCE2.

La prueba piloto con datos de campo colorado, comprobó la utilidad de las herramientas propuestas en la guía para la planeación e implementación de un sistema de levantamiento artificial basado en los lineamientos PRINCE2 para un campo petrolero colombiano y se evidencio la necesidad de incluir las sugerencias de los expertos consultados para resaltar el enfoque de la guía hacia el tema de sistemas de levantamiento artificial, así como plantillas de

trabajo para facilitar el acceso a las especificaciones técnicas de algunos sistemas de levantamiento artificial convencionales.

Se logró una herramienta de fácil acceso y comprensión para los ingenieros de producción encargado de realizar las labores de planeación, control y ejecución de los proyectos destinados al cambio e implementación de un sistema de levantamiento artificial en campos colombianos que sirve como una guía fundamental para el cumplimiento de los objetivos trazados por la empresa petrolera con el fin de facilitar el seguimiento de las diferentes etapas de la ejecución de un proyecto con metodología PRINCE2.

La creación de un artículo sobre el tema de la gestión de proyectos mediante metodologías PRINCE2 enfocadas a la ingeniería de petróleos puede ser considerado como los cimientos para futuras investigaciones enfocadas en PRINCE2 por parte de la Universidad Industrial de Santander, y en general de cualquier grupo de investigación asociado que desee ampliar el conocimiento sobre la gestión de proyectos, sus diferentes metodologías y las posibles combinaciones que pueden lograrse entre ellas para perfeccionar constantemente los métodos sobre esta área de estudio.

La metodología PRINCE2 no es conocida por la industria del petróleo a nivel americano pues es considerada la competencia del PMI como área del conocimiento y esto provoco que su influencia no tuviera la suficiente fuerza para considerar adoptarla, mejorarla o combinarla con otras metodologías; por ello no se habla de ella debido al poco manejo que se le da, pero por esto no deja de ser de gran importancia para la gestión de proyectos ya que tiene una amplia trayectoria en el continente europeo que la ha postulado como una de las mejores para la gestión de proyectos y debe darse a conocer.

13. Recomendaciones

Crear un convenio entre las escuelas de ingeniería de petróleo y la escuela de estudios industriales y empresariales para tener a disponibilidad una materia de gestión de proyectos dirigida a los estudiantes de ingeniería de petróleos.

Explorar opciones de mejora al combinar diferentes metodologías de gestión de proyectos como PMI, PRINCE2, métodos agile y scrum.

Mejorar la guía para la planeación e implementación de un sistema de levantamiento artificial en un campo colombiano mediante la adaptación a software dinámico y versátil.

Profundizar el conocimiento en la metodología PRINCE2 a través de la creación de convenios con empresas especializadas en los temas de PRINCE2.

Es importante mantener actualizados y hacer uso de los softwares de diseño y selección de los sistemas de levantamiento artificial para usarlos como guía por parte del ingeniero de producción, pues también dependen de características específicas de cada campo o pozo por lo cual esta selección debe estar acompañada de la experiencia adquirida profesionalmente.

14. Bibliografía

Academy, the knowledge. (2017). PRINCE2® for the oil and gas industry. Retrieved from the knowledge academy website: <https://www.theknowledgeacademy.com/courses/prince2-training/what-sectors-use-prince2/>

Amado Pachón Cristian Fabián. (2012). *Ingeniería conceptual para la aplicación del sistema gas lift en el campo escuela colorado*.

AXELOS. (2017). *Managing successful projects with PRINCE2* (2017th ed.; AXELOS, Ed.).

Baca Urbina, G. (2010). Evaluación de Proyectos. In M. T. Zapata Terrazas & Z. Garcia Garcia (Eds.), *Mc GRaw Hill* (6th ed., Vol. 1). México: Mc GRaw Hill.

Bobadilla, M. L. (2014). *Metodología de gestión para proyectos en creación de empresas. Aplicación al sector deportivo*. Universidad Escuela de Administración de Negocios.

Carrascal, A. F., & Díaz, G. A. (2015). *Evaluación técnico-financiera de la inyección de gas caliente en campo escuela colorado como sistema de levantamiento artificial*.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER FACULTAD.

Clarivate Analytics. (2019). Web of Science. Retrieved from www.webofknowledge.com

Editorial grupo 5/ IFIS grupo 5. (2012). *Gestión de proyectos* (M. Fernández, Ed.). Editorial grupo 5.

Elsevier B.V. (2019). Scopus. Retrieved from <https://www.scopus.com>

Fajardo, C. A., Candiotti, G., Ramírez, L. K., & Buitrago, P. (2017). *Propuesta metodológica de gerencia de proyectos para la intervención de pozos petroleros*. UNIVERSIDAD EAN.

Fernández, K., Garrido, A., Ramírez, Y., & Perdomo, I. (2015). PMBOK y PRINCE2 similitudes y diferencias. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, 3(23), 111.

<https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.rc.2015.23.a9>

Gallo, A., & Vásquez, C. E. (2018). *Evaluación técnico financiera del cambio de sistema de levantamiento artificial actual por bombeo electrosumergible en cuatro pozos del campo la cira infantas* (Fundación Universidad de América; Vol. 15).

<https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2004.3.66178>

ICONTEC. (2012). *ISO 21500*.

Lloyd, D. (2015). GDF SUEZ E&P Uk. *AXELOS Global Best Practice*, (February), 8.

Luecke, R. (2004). *Gestión de proyectos Habilidades fundamentales para no salirse del presupuesto y cumplir los plazos*.

Montes de Oca Salcedo, J., & Perez, M. D. (2014). *Comparación de metodologías de gerencia de proyectos PRINCE2 y PMBOK5*. Universidad Escuela de Administración de Negocios.

Montes, M., Gimena, F., & Díez, M. (2013). Estándares y metodologías : instrumentos esenciales para la aplicación de la dirección de proyectos. *Universidad Antonio Nariño y Universidad EAN, Colombia; Universidad Pública de Navarra, España.*, 1(1), 13.

Muñoz, Á. F., & Torres, E. (2007). *Evaluación técnica de las estrategias de levantamiento artificial implementadas en campos maduros. Diseño de una herramienta software de selección*. UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.

Nieto, A. (2018). *Estudio de la viabilidad del uso de potencia hidráulica del sistema de inyección, como insumo para sistemas de levantamiento artificial, en el bloque caracara*. Universidad industrial de santander.

Orozco, M. C. (2013). *Análisis del beneficio real de la conversión de pozos con sistema de levantamiento artificial bombeo mecánico a bombeo por cavidades progresivas en un campo de Colombia*. Universidad Industrial de Santander.

Ortiz Herrera, M. (2010). *Métodos y técnicas para la gestión de proyectos software*. Sevilla.

Perea, C. A., & Perez, A. V. (2013). *Plan de gestión para la implementación del sistema de levantamiento artificial seleccionado en un campo colombiano bajo los lineamientos del PMI*. Universidad Industrial de Santander.

Perea, C., & Perez, A. (2013). *Plan de gestión para la implementación del sistema de levantamiento artificial seleccionado en un campo colombiano bajo los lineamientos del PMI*.

Rodríguez, J. (2013). ¿Por qué la UIS debe entregar campo petrolero a ecopetrol? Retrieved from Vanguardia Liberal website: <https://www.vanguardia.com/santander/region/por-que-la-uis-debe-entregar-campo-petrolero-a-ecopetrol-HYv1202555>

Rodriguez, W. G., & Robles, C. A. (2010). *Herramienta software para el análisis y diseño de*

sistemas de levantamiento artificial convencionales (Vol. 1). UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.

Rueda, M. C. (2015). *Optimización de producción por sistema de levantamiento artificial bombeo cavidades progresivas en el contrato de producción incremental-neiva, campo dina*. UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.

Schlumberger. (1998). Oilfield glossary. Retrieved from <https://www.glossary.oilfield.slb.com/>

SENER, E. unidos de mexico. (2015). *Glosario de terminos petroleros*.

SPE. (2019a). One petro. Retrieved from <https://www.onepetro.org/>

SPE. (2019b). Society of petroleum engineers. Retrieved from <https://www.spe.org/about/>

The Knowledge Academy Logo. (2017). PRINCE2® for the Oil and Gas Industry.

Turley, F. (2010). *El modelo de procesos PRINCE2*.

<https://doi.org/10.1504/IJATM.2014.065293>

Vega, D. Y., & Lara, J. S. (2013). *Diseño de un sistema de levantamiento artificial no convencional a partir de bombeo electrosumergible y bombeo por cavidades progresivas aplicado al campo colorado*. Universidad Industrial de Santander.

Wallace, W. (2014). *Gestión de proyectos* (Vol. 1).