

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

Jhoan Sebastian Vargas Delgado¹, Natalia Gallo Corzo², Fernando Enrique Calvete González³,
José Alonso Caballero Márquez⁴, Carlos Enrique Vecino Arenas⁵

doi: <http://dx.doi.org/10.18273/revfue.v18n2-2020005> 

Forma de citar: Vargas Delgado, J. S., Gallo Corzo, N., Calvete González, F. E., Caballero Márquez, J. A., & Vecino Arenas, C. E. (2020). Guía para la planeación e implementación de un sistema de levantamiento artificial basado en los lineamientos PRINCE2 para un campo petrolero en Colombia. *Revista Fuentes, el reventón energético*, 18(2), 69-87. <https://doi.org/10.18273/revfue.v18n2-2020005>

Resumen

La gestión de proyectos en la industria del petróleo era un tema de poca importancia en el pasado, cuando los recursos se usaban de manera empírica e incontrolada, generando sobrecostos y altas probabilidades de fracasos en los proyectos; estas malas prácticas fueron quedando en el olvido gracias a las nuevas investigaciones tanto en el área técnica, como en la de planeación; en esta última se desarrollaron herramientas para la gestión de proyectos, en la que se destacan PRINCE2 Y PMBOK.

Estas dos herramientas tienen el mismo fin, y sus diferencias radican en la manera de abordar la gestión de proyectos, y como estructuran las áreas del conocimiento; es decir, mientras que PRINCE2 Propone una metodología de gestión de proyectos que cubre, 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); PMBOK 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).

Debido a las crisis periódicas que enfrenta la industria petrolera, tiene como opción implementar estas herramientas, con el fin de optimizar recursos, tiempos y procesos, para satisfacer las necesidades del mercado de manera austera y coherente.

Este proyecto de investigación buscó 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.

Palabras clave: sistema de levantamiento artificial, PMBOK, PRINCE2, plan de gestión, campo, pozo, gestión de proyectos.

¹ Grupo de Investigación en Modelamiento de Procesos de Hidrocarburos GMPH, Escuela de Ingeniería de Petróleos, Universidad Industrial de Santander, Colombia. Email: jhoan.vargas@correo.uis.edu.co

² Grupo de Investigación Finance & Management, Escuela de Estudios Industriales y Empresariales, Universidad Industrial de Santander, Colombia. Email: natalia.gallo@correo.uis.edu.co

³ Escuela de Ingeniería de Petróleos, Universidad Industrial de Santander, Colombia. Email: fcavete@uis.edu.co

⁴ Grupo de Investigación Finance & Management, Escuela de Estudios Industriales y Empresariales, Universidad Industrial de Santander, Colombia. Email: jose.caballero@correo.uis.edu.co

⁵ Grupo de Investigación Finance & Management, Escuela de Estudios Industriales y Empresariales, Universidad Industrial de Santander, Colombia. Email: cvecino@uis.edu.co

Guide for the planning and implementation of an artificial lifting system based on the guidelines PRINCE2 for a Colombian petroleum field

Abstract

Project management in the oil industry was an issue of little importance in the past, when resources were used empirically and uncontrollably, generating cost overruns and high probability of project failure; These bad practices were being forgotten thanks to new research both in the technical area and in planning; In the latter, tools for project management were developed, in which PRINCE2 AND PMBOK stand out.

These two tools have the same purpose, and their differences lie in the way of approaching project management, and how they structure the areas of knowledge; that is, while PRINCE2 Proposes a project management methodology that covers the themes, quality, change, the structure of the project's roles, plans, risk and project progress, justified by a Business Case. This methodology consists of 4 elements: principles, themes, processes and the project environment (Montes de Oca Salcedo & Perez, 2014); PMBOK is a formal document that describes standards, methods, processes and practices established around project management, for which it is necessary to apply and integrate 47 processes, grouped into the following five groups: initiation, planning, execution, monitoring and closure (Montes de Oca Salcedo & Perez, 2014).

Due to the periodic crises that the oil industry faces, you have the option of implementing these tools, in order to optimize resources, times and processes, to meet the needs of the market in an austere and consistent manner.

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

The results of the research did not yield conclusive values regarding the efficiency of the methodology with respect to other ways of carrying out project management, but they did generally reinforce that there are different ways of carrying out a project, all of them valid and most The significant thing they have in common is the use of adequate tools to carry out a control of project management and all its processes.

Keywords: artificial lifting system, PMBOK, PRINCE2, management plan, field, well, project management.

1. 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 (Suescún, et al, 2009).

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.

2. Metodología

Esta se va a dividir en 4 etapas de desarrollo (figura 1) y para cada una, se va a hacer una secuencia lógica de pasos y actividades para el correcto desarrollo del tema a tratar.

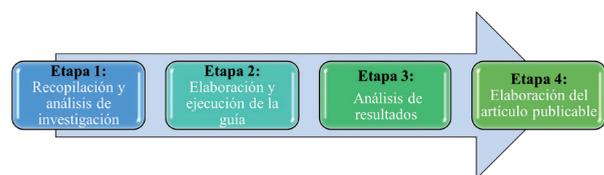


Figura 1. Metodología de la investigación.

2.1. Etapa 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 1.

Tabla 1. 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	Bases de datos: ISI Web of Science/ Scopus/ onepetro.
Criterios de selección (exclusión o inclusión)	Publicaciones que contengan como tema central el objeto de esta investigación Publicaciones recientes dentro de la ventana de tiempo del 2014 a 2018 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 2. 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 3. Resultados de búsqueda realizada en web of science.

Web of science		
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 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 4. 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 van a leer 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.

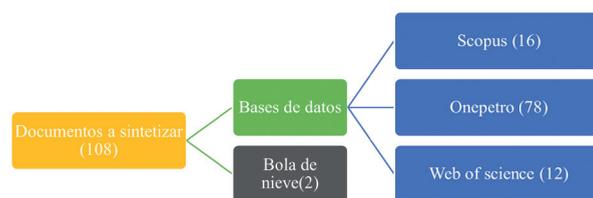


Figura 2. Resultados de la búsqueda.

Se realiza una tabla en Excel 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.

2.2. 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 va a generar el formato de aplicación, para facilitar el proceso de planeación y diseño, necesarios para realizar la prueba piloto.

2.3. Etapa 3: Análisis de resultados

Con la información producto de las etapas previas, se hará 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.

3. 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.

3.1. Análisis por año de publicación

La figura 3, 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.

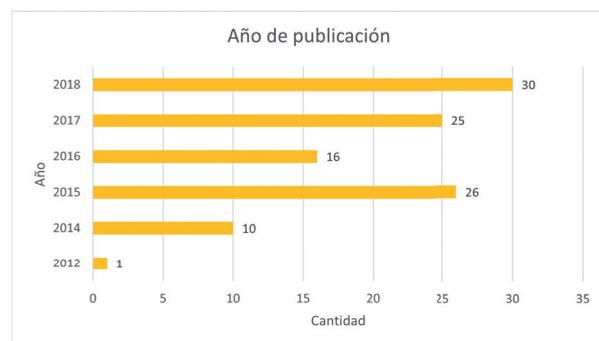


Figura 3. Numero de publicaciones por año.

3.2. Análisis por país de publicación



Figura 4. Número de publicaciones por país de publicación.

En la figura 4 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.

3.3. Análisis de publicaciones por base de datos

La figura 5 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).

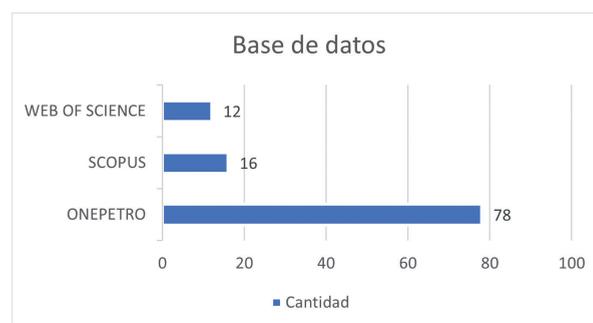


Figura 5. Número de publicaciones por base de datos.

3.4. Análisis de publicaciones por tipo de documento



Figura 6. Número de publicaciones por tipo de documento.

En la figura 6 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.

3.5 Codificación con Nvivo

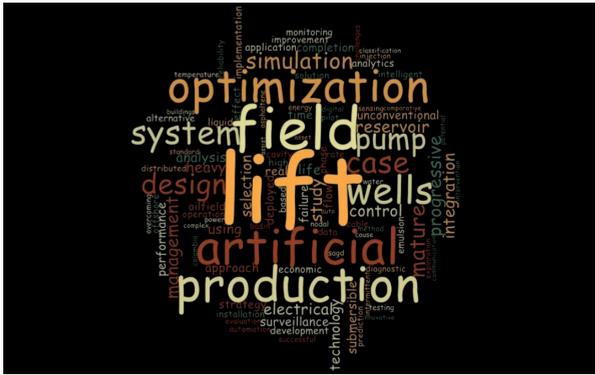


Figura 7. Nube de palabras de la codificación de los artículos. Adaptado de Nvivo.

La nube de palabras, realizada en el programa Nvivo, codifica la información de la tabla en Excel y utiliza un factor de coincidencias con una exactitud media e incluye máximo 300 palabras, el cual genera la figura 7, tomando como eje central la palabra artificial lift, rodeada de otras palabras con un alto nivel de repetición y coincidencia como producción, campo, sistema. En la figura se aprecia que algunas palabras sobresalen, lo que indica que a mayor tamaño mayor frecuencia, demostrando que la investigación fue un éxito, pues el objetivo era conseguir practicas relacionadas con sistemas de levantamiento artificial.

4. Marco Teórico

4.1. 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)Field Mature, Investment Analysis, PMBOK, Process, Project Plan. At present

the exploitation of mature fields is based on a technical analysis of potential artificial lift systems (SLA(Camacho, R. P., & Grosso, J. L. 2003).

A continuación, se realizará una descripción de los sistemas de levantamiento artificial más usados (figura 8):

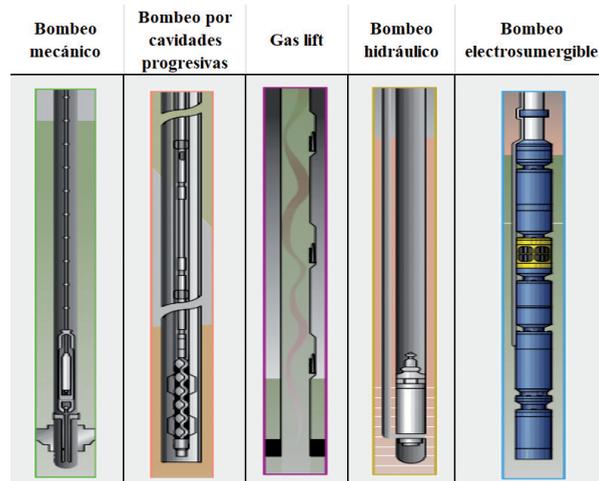


Figura 8. Principales técnicas de levantamiento artificial. Adaptado Examinando los pozos productores: Supervisión de los sistemas ESP. Bates Ron, Kosmala Alex, Fielder Lance, Hudson Steve, Romero George, Shanmugam Valli, 2004, p. 2.

4.1.1 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 (Quintero, et al. 2016). Consiste en una bomba de subsuelo de acción recíprocante que esa bastecida 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)el incremento de los problemas de fallas mecánicas en pozos con Bombeo Mecánico debido al creciente volumen de sólidos en el Activo Llanito motivó la instalación de Bombas de Cavidades Progresivas (PCP. 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.

4.1.2. 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).

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.

4.1.3. 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).

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 puede 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.

4.1.4. 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) Field Mature, Investment Analysis, PMBOK, Process, Project Plan. At present the exploitation of mature fields is based on a technical analysis of potential artificial lift systems (SLA).

• **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).

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.

4.1.5. Bombeo electrosumergible

Las bombas electrosumergibles (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)

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

4.2 ¿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)

4.2.1. ¿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).

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.

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.

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.

4.2.2. 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)

- PMBOK (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 (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)
- PRINCE2 (Reino Unido)**
 Propone una metodología de gestión de proyectos que cobija, 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 (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).

4.2.3. 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 4), 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 5. Relación entre los procesos de PMBOK y PRINCE2.

PMBOK	PRINCE2
	Puesta en marcha de un proyecto
Iniciación	Dirección del proyecto
	Inicio del proyecto
Planificación	Gestión de los límites de la fase
	Gestión de la entrega de productos
	Control de la fase
Ejecución	Gestión de la entrega de productos
	Dirección del proyecto
Seguimiento y control	Control de la fase
	Gestión de los límites
	Gestión de los límites de la fase
Cierre	Cierre del proyecto

Adaptado de: PMBOK y PRINCE2 similitudes y diferencias (K. Fernández et al., 2015)

En la tabla 5 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).

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 9).

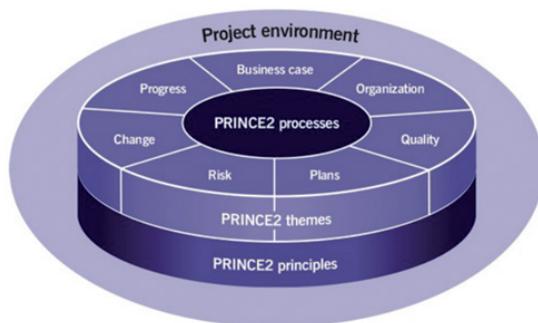


Figura 9. Estructura de PRINCE2.

Adaptado de: Managing Successful Projects with PRINCE2. 2017, p. 34.

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).

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 6. 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).

Tabla 7. 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.	¿Quien?
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)

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)

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)

4.2.4. 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 él 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).

5. Resultados

5.1. 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. Esta prueba piloto 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).

5.2. 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, es importante resaltar que esta herramienta se presentó a 2 Ingenieros de Petróleos con el objetivo de recibir un concepto por parte de ellos.

Tabla 8. Sugerencias de expertos.

Experto	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.
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 Ingeniero Leonardo, por tal razón se realiza las sugerencias realizadas por los dos.

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

La figura 10 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 petróleo 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.

5.4. Brief de proyecto áreas transversales

BRIEF DE PROYECTO ÁREAS TRANSVERSALES					
Nombre del sistema de levantamiento:					
Equipo de trabajo:					
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:					
Cambios/desviaciones/modificaciones (fecha):					

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 prácticas y los objetivos actuales. Nuevos procesos, etc.	Se requieren cambios muy considerables en los procesos actuales (ej.: tecnología, infraestructura, académicos).	Se necesitan cambios modestos (ej.: tecnología, infraestructura, académicos).	Mejora incremental con mayor enfoque en el servicio (desarrollo).	10	
Complejidad del proyecto	Difícil de definir con máximos obstáculos.	Fácil de definir pero con obstáculos.	Un desafío, pero rentable.	Sencillo.	10	
Base de capacidades Técnicas	Tecnológicamente nuevo para la comunidad (con) sin conocimiento.	Alguna experiencia de innovación y desarrollo, pero insuficiente.	Conocimiento selectivo al interior de la comunidad.	Algunos practicados 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 ítem transversal.	Clara relación entre el ítem 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 actividad.	Deben desarrollarse más 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 acotar la normatividad que aplica.	Deben aplicarse varios cambios en los procesos/proyectos para aplicar nueva normatividad.	Impacto medio en la normativa aplicada.	Impacto bajo en la normativa aplicada.	10	
Calificación promedio					10	
Rating Ponderado					1	
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 aplicable para esta oportunidad.	Ofrece algunas oportunidades para extender el negocio.	Alto potencial de diversificación.	Altera nuevos espacios de capacidades técnicas y comerciales.	10	
Durabilidad (Técnica & Mercado)	Sin ventajas distintas, 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 comunicaciones 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 (finero) depende de este proyecto.	10	
Calificación promedio					10	
Rating Ponderado					1,5	
Factor 5 : Recomendación					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 madurez comercial	> 5 años	4 - 5 años	1-3 años	< 1 año	10	
Nivel de Inversión	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 recursos moderados	Complejidad media: Requiere de las adaptaciones de los recursos actuales.	Complejidad baja: No requiere de cambios alguno en los recursos disponibles en la organización.	10	
Calificación promedio					10	
Rating Ponderado					2,5	

Figura 11. Brief.

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.

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.

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

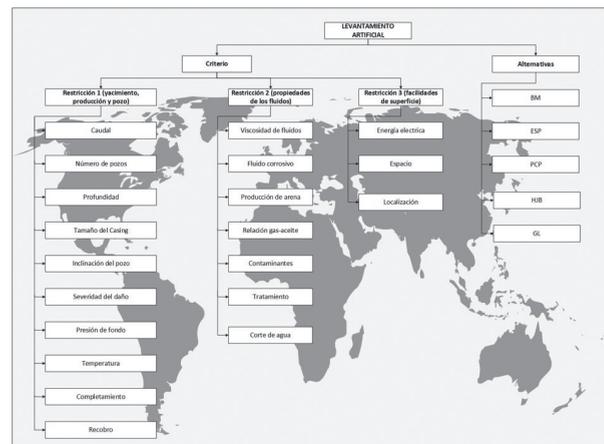


Figura 12. Criterios comerciales y alternativas para los sistemas de levantamiento artificial. Adaptado de "A prediction to the best artificial lift method selection on the basis of TOPSIS model. 2010."

La figura 12 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

5.6. Screening de aplicación de los sistemas de levantamiento artificial

La figura 13 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).

Parámetros específicos de pozo #		Rango de operación óptimo del SLA						
Clasificación	Nivel de importancia	Parámetro	Valor del parámetro	BM	ESP	PCP	HUB	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	> 5.8	> 7	
	2	Incl	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	1200 a 1500	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 5	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	
Facilidades de superficie	2	Loc	N/A	Onshore	Onshore	Onshore	Offshore	
	2	Ener	N/A	Comprada	N/A	N/A	N/A	
	2	Space		Amplio	Standard	Standard	Standard	

Figura 13. Screening de aplicación de los sistemas de levantamiento artificial.

5.7. 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	
-Relación 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 14. Paquete de trabajo selección del sistema de levantamiento artificial.

La figura 14 muestra el paquete de trabajo generado a partir de la información contenida en la figura 15 y figura 18 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.

FICHA TÉCNICA DEL SLA	
Tipo de SLA:	Bombeo Mecánico
	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 15. Ficha técnica Bombeo mecánico.

FICHA TÉCNICA DEL SLA	
Tipo de SLA:	Bombeo Electrosumergible
	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 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 16. Ficha técnica Bombeo electro sumergible.

FICHA TÉCNICA DEL SLA	
Tipo de SLA:	Bombeo Hidráulico tipo jet
	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 17. Ficha técnica bombeo hidráulico tipo jet.

FICHA TÉCNICA DEL SLA	
Tipo de SLA:	Bombeo por cavidades progresivas
	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 debido al peso
	Esfuerzo debido al diferencial de presión
	Tensión a la Tracción
Tensión a la Torsión	
Tensión total sobre la sarta de varillas	

Figura 18. Ficha técnica bombeo por cavidades progresivas.

Las figuras 15 – 18 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. (Rodríguez & Robles, 2010) es necesario estudiar las características de cada uno de ellos y definir su rango de aplicación. La identificación de sus componentes, parámetros operacionales y el desarrollo de una metodología adecuada de diseño de cada (SLA).

6. 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.

7. 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.

8. Referencias bibliográficas

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.

Camacho, R. P., & Grosso, J. L. (2003). Criterios para la selección del sistema de levantamiento artificial para crudos pesados y extrapesados. Fuentes: El reventón energético, 3(1), 2.

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.
- Quintero, R. M., Lamus, C. M., Garzón, S. A., Páez, E. M., & Cepeda Gómez, F. (2016). Ajuste de la presión anular en pozos con bloqueo por gas para optimización de producción en el campo cira infantas. Fuentes, el reventón energético, 14(2), 65-74.
- 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>
- Rodríguez, 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>
- Suescún, E. J. C., Rodríguez, A. O., & Cancino, O. P. O. (2009). Selección de un escenario óptimo de explotación para un sector del campo Tibú mediante análisis de incertidumbre y riesgo en la simulación de yacimientos. Fuentes, el reventón energético, 7(1).
- 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 electrosurgible y bombeo por cavidades progresivas aplicado al campo colorado. Universidad Industrial de Santander.
- Wallace, W. (2014). Gestión de proyectos (Vol. 1).

Fecha de recepción: 08 de Julio de 2020
Fecha aprobación: 07 de diciembre de 2020
