



LA OPTIMIZACIÓN DE LOS RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES PARA AUMENTAR LA COMPETITIVIDAD DE LAS EMPRESAS DE SERVICIOS DE PETRÓLEO Y GAS

ARTÍCULO ORIGINAL

LIMA, Leandro Jose Barbosa¹. HAMZAGIC, Miroslava². VIAGI, Arcione Ferreira³

LIMA, Leandro Jose Barbosa. HAMZAGIC, Miroslava. VIAGI, Arcione Ferreira. **La optimización de los recursos humanos y materiales para aumentar la competitividad de las empresas de servicios de petróleo y gas.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Año 07, Ed. 08, vol. 07, págs. 05-27. Agosto 2022. ISSN:2448-0959, Enlace de acceso:

<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ingenieria-mecanica/optimizacion-de-los-recursos-humanos>,

DOI:

10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-ingenieria-mecanica/optimizacion-de-los-recursos-humanos

RESUMEN

Este trabajo tiene como base temas relacionados con herramientas de planificación de recursos como el *software* de planificación de ventas y operaciones (S&OP) y la planificación de recursos empresariales (ERP) y *Lean*. En este contexto, la pregunta rectora es: ¿Cómo se pueden optimizar mejor los recursos humanos y materiales para ofrecer una operación con menos riesgos de seguridad, menos emisiones, menos susceptibilidad a las condiciones de fluctuación del mercado, rentabilidad y competitividad tanto para los operadores como para las empresas de servicios de petróleo y gas? El objetivo de este estudio fue revisar los métodos existentes para optimizar el uso de los recursos humanos y materiales en las empresas de servicios de petróleo y gas para evitar la indisponibilidad de los activos o sus fallas en el tiempo. Para ello, se adoptó como metodología la revisión bibliográfica y un ejemplo de empresa de servicios creado a través de otro artículo como caso de estudio. Como conclusión se presenta una propuesta de mejores prácticas y un proceso metódico que puede ser utilizado directamente en la planificación de recursos de otras industrias.



Palabras clave: Optimización, Planificación de Recursos Empresariales, Planificación de Ventas y Operaciones, Petróleo y Gas, Empresas de Servicios.

1. INTRODUCCIÓN

Aunque el petróleo y el gas son recursos limitados, y el mundo está en transición hacia nuevos combustibles y formas de energía, todavía se espera una gran demanda de energía y, en consecuencia, de petróleo para las próximas décadas, y un aumento exponencial de la demanda de gas (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2021).

Las operaciones de exploración de pozos de petróleo y gas son complejas, costosas y ofrecen grandes riesgos, y aunque hay ciencia, mejores prácticas, lecciones aprendidas y planes de mitigación para mitigarlos, todavía ocurren problemas importantes, tal como sucedió en el pozo Macondo. EE. UU., 2010, con el horizonte de aguas profundas de la plataforma (SANTOS *et al.*, 2019). En 2019, la Tasa Total de Lesiones Registrables (TRIR)[4] fue de 0,92 lesiones por millón de horas trabajadas (SOCIETY OF PETROLEUM ENGINEERS, 2020). La confiabilidad de los equipos es fundamental para la seguridad del pozo y la perfecta prestación del servicio, por lo que contar con un programa de mantenimiento adecuado es fundamental para la seguridad del pozo, ya que si la operación se realiza bien a la primera, se requerirán menos horas de trabajo, por lo que habrá menos exposición a el riesgo (SOCIEDAD DE INGENIEROS DEL PETRÓLEO, 2020).

Dado el escenario, la exploración de petróleo y gas depende en gran medida de una buena y sistemática planificación, que incluya evaluaciones de geología similar, condiciones de profundidad del agua y evaluaciones de la misma área. Algunos costos son fijos, esperados o podrían estimarse estadísticamente, pero los costos variables inesperados, como el barco de carga *premium*, los días adicionales de perforación, la indisponibilidad del equipo, podrían afectar



significativamente el cronograma de construcción del pozo a través del tiempo no productivo (NPT)[5], lo que retrasará la producción del primer petróleo y consecuentemente el Retorno sobre la Inversión (ROI)[6], lo que también podría generar otros riesgos relacionados con la estacionalidad del mercado, cuando la demora es tan alta que la producción comenzaría solo durante un período de crisis con precios más bajos del petróleo y el gas. Solo en los costos diarios de alquiler de plataformas, la cantidad podría ser de 1 millón de USD/día (AMORIM JUNIOR; SANTOS y AZEVEDO, 2019). Otros dos aspectos a tener en cuenta son: al reducir el tiempo de construcción de los pozos, se reduce consecuentemente la emisión de gases de efecto invernadero y los riesgos potenciales para los trabajadores involucrados en estas operaciones.

Las empresas de servicios, deseosas de vender o arrendar sus productos o servicios y ganar las licitaciones, trabajan fuertemente para demostrar la disponibilidad, confiabilidad y baja repetición de fallas para atraer a los operadores (empresas que poseen la licencia de perforación de un bloque de producción), para que no termine en el escenario descrito anteriormente: los costos de fallas y falta de confiabilidad son altos para ambas empresas (AMORIM JUNIOR; SANTOS y AZEVEDO, 2019), y ahora en las recientes discusiones sobre transición energética, y en compromiso con la sociedad, el proveedor de servicios también quiere mostrar su baja contribución a la emisión de alcance 3 del operador - emisión de gases de efecto invernadero a través de la cadena de suministro (O'SHEA *et al.*, 2020). Si consideramos que en promedio la perforación del pozo emite unas 700 toneladas de CO₂e/pad (U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2015) y que se tarda alrededor de 60 días en perforar este pozo (LIESKOVSKY; YAN, 2019), cada día de perforación emitiría 11 toneladas de CO₂e, o 486kCO₂e por hora, por lo que cada hora de tiempo de inactividad de la plataforma no cuesta solo 1 MM USD/día, sino que también cuesta 11 toneladas de CO₂e/día.



No importa la naturaleza de la empresa, pero principalmente las instituciones privadas tienen sus evaluaciones basadas en resultados, utilidades a largo plazo, por lo que de esta manera existe un interés extremo por ser competitivos y atraer inversionistas, por lo que deben demostrar su capacidad para producir productos y servicios que sean competitivos (GHAZALI y ANUAR, 2017). La gestión de costos, y consecuentemente de los recursos humanos y materiales, es fundamental para medir esta rentabilidad (SILVA *et al.*, 2010), esto significa que los operadores están dispuestos a operar a tarifas de bajo costo, con la construcción de pozos a tiempo para asegurar el ROI esperado. Por otro lado, las empresas de servicios están dispuestas a asegurar costo, precio, disponibilidad y confiabilidad para atraer a estos operadores.

La perforación de un pozo involucra a diferentes partes, este trabajo se centrará en el proveedor de servicios de perforación de medición durante la perforación - MWD[7], registro durante la perforación - LWD[8] y herramientas direccionales, estas herramientas están compuestas por varios componentes, y hay un mantenimiento regular programado dado las condiciones de perforación del pozo y las limitaciones de ingeniería (ARAUJO JUNIOR *et al.*, 2009).

En este contexto, la pregunta rectora es: ¿Cómo se pueden optimizar mejor los recursos humanos y materiales para ofrecer una operación con menos riesgos de seguridad, menos emisiones, menos susceptibilidad a las condiciones de fluctuación del mercado, rentabilidad y competitividad tanto para los operadores como para las empresas de servicios de petróleo y gas? El objetivo de este estudio fue revisar los métodos existentes para optimizar el uso de los recursos humanos y materiales en las empresas de servicios de petróleo y gas para evitar la indisponibilidad de los activos o sus fallas en el tiempo.

El análisis de este trabajo se basará en “*Manutenção Precisa S.A.*” (ARAUJO JUNIOR *et al.*, 2009), de un trabajo que utiliza datos ficticios para demostrar el



análisis de modelos de costeo, y tomará algunos supuestos con fines ilustrativos de las herramientas de Planificación y Control de Producción.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 CONTEXTO DE EMPRESAS DE SERVICIOS DE PETRÓLEO Y GAS

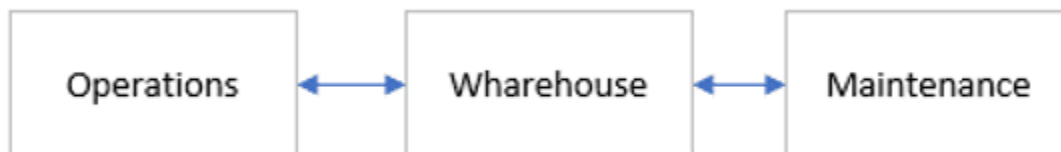
El entorno del petróleo y el gas está segmentado en *upstream*, *midstream* y *downstream*. El *upstream* está relacionado con todas las actividades relacionadas con la exploración y construcción de pozos, el *midstream* está relacionado con la exportación de petróleo y gas, el transporte, la tierra y, finalmente, el *upstream* está relacionado con la distribución y comercialización del proveedor final (THOMAS *et al.*, 2001). Este trabajo está enfocado al upstream, más específicamente al entorno de servicios de perforación, lo que no limita su aplicación en otros entornos similares.

En el ámbito de los servicios de perforación, el tipo normal de contrato es que los operadores contraten equipos de perforación y empresas de servicios de perforación para perforar el pozo y luego contratar a otra empresa para cementar y completar el pozo, entre otros. Las empresas de servicios de perforación normalmente operan con el alquiler de herramientas, lo que significa que las herramientas son utilizadas por los proveedores de la empresa de servicios para perforar el pozo en la trayectoria del pozo previamente acordada utilizando brocas de perforación compradas, además de motores de dirección alquilados o un sistema giratorio direccional con Medición durante la perforación, MWD, y en algunas ocasiones tecnología *Logging While Drilling*, LWD (THOMAS *et al.*, 2001).

Estas herramientas son propiedad de la empresa de servicios de perforación que en la mayoría de los casos diseña y fabrica estas herramientas; y estas empresas diseñan programas de mantenimiento específicos, de modo que cuando estas

herramientas regresan de la plataforma, se sirven para ser utilizadas en un nuevo trabajo: perforación de pozos de petróleo y gas (THOMAS *et al.*, 2001). Como se muestra en la Imagen 1, estas herramientas normalmente fluyen desde el almacén a la operación en alta mar o en tierra, y después de su uso regresan a la base para su mantenimiento, para que puedan ser reparadas y regresen al almacén en espera de una nueva operación (ARAUJO JUNIOR *et al.*, 2009).

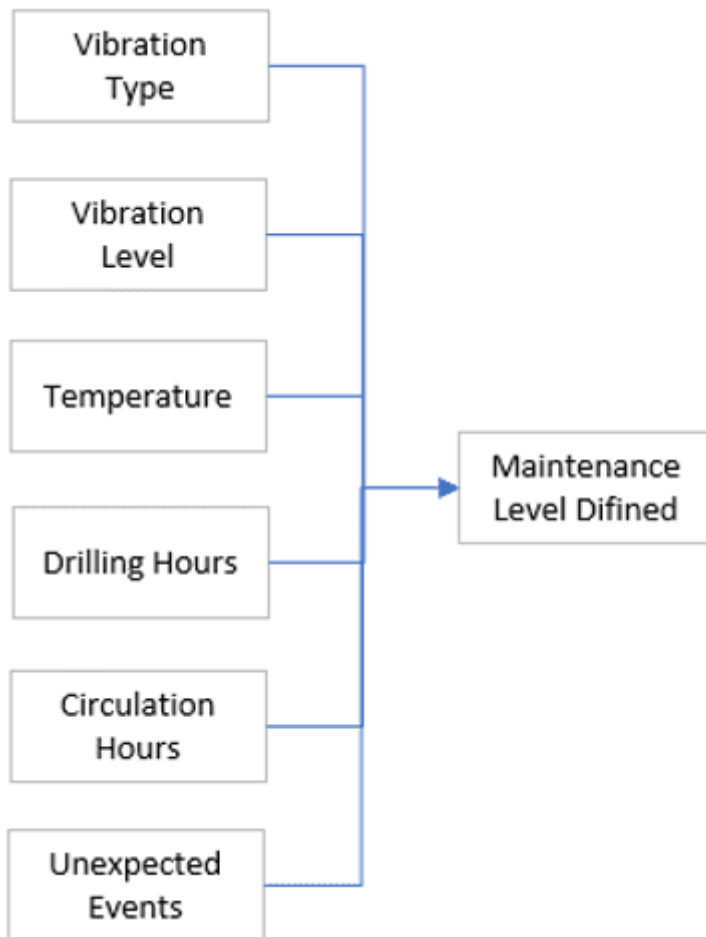
Imagen 1. Flujo Operacional



Fuente: adaptado de Araujo Junior *et al.* (2009).

Los niveles de mantenimiento no solo dependen de la cantidad de horas utilizadas para la perforación, sino que también son función de las horas de circulación del fluido, la temperatura, la vibración y otras condiciones dinámicas que cambian de un pozo a otro, ya que los yacimientos normalmente presentan condiciones geológicas diferentes a las que se encuentran a otro, que suele ser una roca de sellado, como el esquisto, una roca permeable, donde se encuentran el petróleo y el gas, como la arenisca o la piedra caliza, y generada por otra capa de esquisto en el fondo. Esta intercalación podría causar disfunciones que podrían afectar el equipo de perforación desencadenando los diferentes niveles de mantenimiento, como se muestra en la Imagen 2 (ARAUJO JUNIOR *et al.*, 2009).

Imagen 2. Parámetros Utilizados para Determinar el Nivel de Mantenimiento

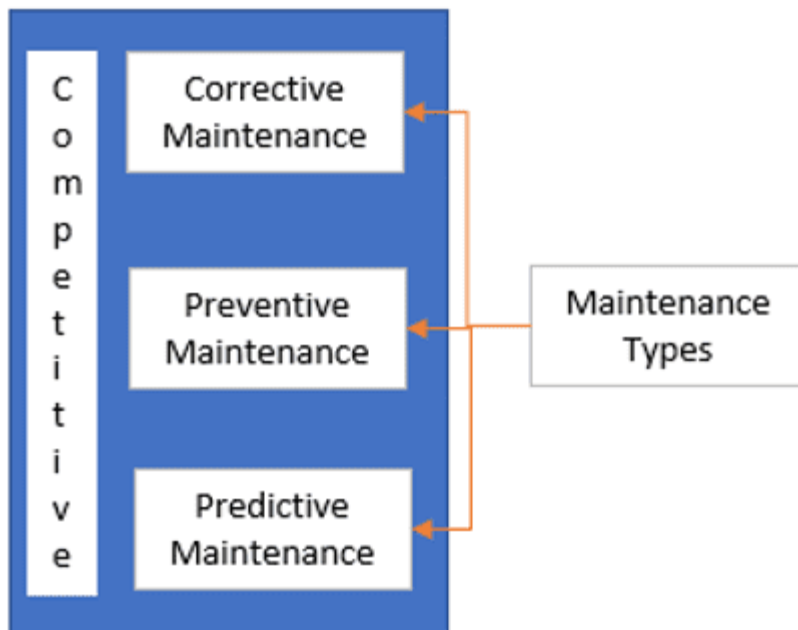


Fuente: adaptado de Araujo Junior et al. (2009).

También es importante resaltar que estos mantenimientos no son solo preventivos, ya que a estas herramientas se les aplican algunos niveles de mantenimiento correctivo y predictivo, como parte de una misma estrategia, lo que se denomina mantenimiento competitivo, una combinación de todos los tipos de mantenimiento para alcanzar el mejor valor económico de él, como se demuestra en la Imagen 3 que muestra que el nivel de mantenimiento seleccionado depende del beneficio para el mercado, por ejemplo, en algunos casos podría valer la pena esperar a que ocurra la falla para reemplazar el componente como es de fácil

disponibilidad y el impacto en el costo de falla o pérdida de producción es bajo, es decir, la criticidad de la falla es baja (PEREIRA, 2010). Esto impone diferentes tipos de planificación desde la perspectiva material (PEINADO y GRAEML, 2007).

Imagen 3. Representación general del mantenimiento competitivo



Fuente: adaptado de Pereira (2010).

Dados los costos de la plataforma, normalmente es más económico tener el mantenimiento en las instalaciones, y no en el sitio de la plataforma donde el costo del tiempo de la plataforma es alto y hay limitaciones en el espacio para la mano de obra especializada (ARAUJO JUNIOR *et al.*, 2009), por lo que en sitio de perforación el único tipo de mantenimiento realizado es el nivel CERO mantenimiento, donde se realizan pruebas e inspección básica, que es uno de los principios de TPM - Mantenimiento Productivo Total (PEREIRA, 2010; LOZADA-CEPEDA; LARA-CALLE y BUELE, 2021).



Excluyendo lo que se hace en el sitio de perforación, aquí también referido como en el campo, hay básicamente 4 tipos de mantenimiento posibles para una herramienta, el Nivel 1 que se enfoca básicamente en la limpieza, inspección básica y prueba, el nivel 2 que está relacionado con el desmontaje de algunos módulos más grandes, el cambio de sellos y algunas calibraciones, el nivel 3 que consiste en el desmontaje completo e inspección de todas las partes accesibles, y finalmente el nivel 4 que ocurre cuando se ha identificado una falla o se ha alcanzado un nivel alto de variables de mantenimiento. La tabla 1 ilustra los componentes, y para el tema de este trabajo, se considerará un número aleatorio de componentes e impacto en la mano de obra para cada nivel, a modo de ejemplo (ARAUJO JUNIOR *et al.*, 2009).

Tabla 1. Niveles y requisitos de mantenimiento

Activity	Maintenance Levels			
	I	II	III	IV
Functional Tests	x	x	x	x
Non-destructive Test	x	x	x	x
Partial disassembly		x		
Complete disassembly			x	x
Replacement of bearings and seals		x	x	x
Calibrations	x	x		
Troubleshooting				x
# Parts Required	2	3	5	7
Man-Hours Required	8	12	24	40

Fuente: adaptado de Araujo Junior *et al.* (2009).

En la base, es un hecho que el Equipo de Planificación y Control de Producción (PPC)[9] revise los detalles de las corridas y trabaje con el equipo de mantenimiento y materiales para prepararse para recibir las herramientas en las condiciones en que se requieren para ser reacondicionadas para el próximo despliegue. Parte de la responsabilidad de PPC es revisar el Plan de Servicios y



Operaciones (S&OP) y predecir en promedio cuáles serán los requisitos de materiales y personal para que el equipo de mantenimiento realice el trabajo (ARAUJO JUNIOR *et al.*, 2009).

2.2 LA CONTABILIDAD Y LAS FINANZAS DETRÁS DE ELLO

Hay 3 tipos básicos de informes financieros que debemos entender, el balance general, que se centra en lo que la empresa posee o debe, el P&L[10], también conocido como Ganancias y Pérdidas, basado en las transacciones diarias, las acumulaciones y el Efectivo. Flujo, que da cuenta del dinero que está entrando y saliendo del banco (GRIGORAS-ICHIM y MOROSAN-DANILA, 2020).

Las transacciones relacionadas con el equipo de mantenimiento impactan los 3 informes principales y es para las empresas de servicios de perforación uno de los principales costos para el P&L. Dada la naturaleza de la operación, es posible que tengamos un mayor consumo de material, lo que impactará en las pérdidas y ganancias desde la perspectiva de la transacción de llevar material del almacén al equipo y afectar su costo estimado, y en el balance general a medida que reduce su inventario (GRIGORAS-ICHIM y MOROSAN-DANILA, 2020).

Todos los materiales utilizados en este equipo se importan, lo que genera la necesidad de una revisión periódica de materiales, mientras que muy pocos se compran localmente, lo que genera un menor costo para las pérdidas y ganancias y un menor impacto en el flujo de caja y el inventario, dado que el inventario podría estar en el proveedor local y no en tiendas de la empresa (GRIGORAS-ICHIM y MOROSAN-DANILA, 2020; ARAUJO JUNIOR *et al.*, 2009).

Otros dos conceptos importantes a tener en cuenta son los Gastos de Capital (CAPEX)[11] y los Gastos de Operación (OPEX)[12]; todos los gastos operativos diarios tendrán un impacto en el OPEX, y toda inversión en equipos, activos y edificios u otros elementos que podrían capitalizarse y depreciarse con el tiempo



está relacionada con una inversión CAPEX. A partir de la decisión de gestión de materiales, la cantidad de activos a operar impactará el plan de CAPEX y podría tener un comportamiento similar al inventario para la lógica que se explica a continuación (MAMUSHIANE; LYSKO y DLAMINI, 2018).

Cuando una empresa decide ser muy proactiva y mantener mucho "inventario por si acaso", hay impactos importantes a considerar, como dónde la empresa está invirtiendo el dinero, en este caso, comprando más material que invirtiendo en innovación que podría proporcionar mejores resultados a los inversores, y al balance general donde la mayoría de los recursos disponibles no son líquidos. En algunos casos, puede haber una decisión de tener un inventario adicional en función del tiempo de entrega, es decir, el tiempo que transcurre desde el pedido hasta el momento en que los materiales estarán disponibles para el equipo de almacén.

El inventario de edificios tiene otros impactos como riesgo de obsolescencia, impuestos (costo inmediato cuando se importa a un lugar con más impuestos, riesgo de daño, necesidad de períodos más largos de conteo de ciclos, uso de recursos, inspecciones entrantes excesivas, etc.). Dependiendo de la variación estándar de la demanda y del tiempo de entrega, es posible que se requieran más inventarios.

2.3 TÉCNICAS DE PLANIFICACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS

Desde la perspectiva de la predicción de recursos humanos y materiales, el tipo de mantenimiento más simple es el mantenimiento preventivo, en el que es fácil modelar cuándo se necesitará el material en función de las condiciones esperadas conocidas, creado tipo dependiente de demandas, todos los demás tipos de mantenimiento se basan en estadísticas que conducen a la demanda



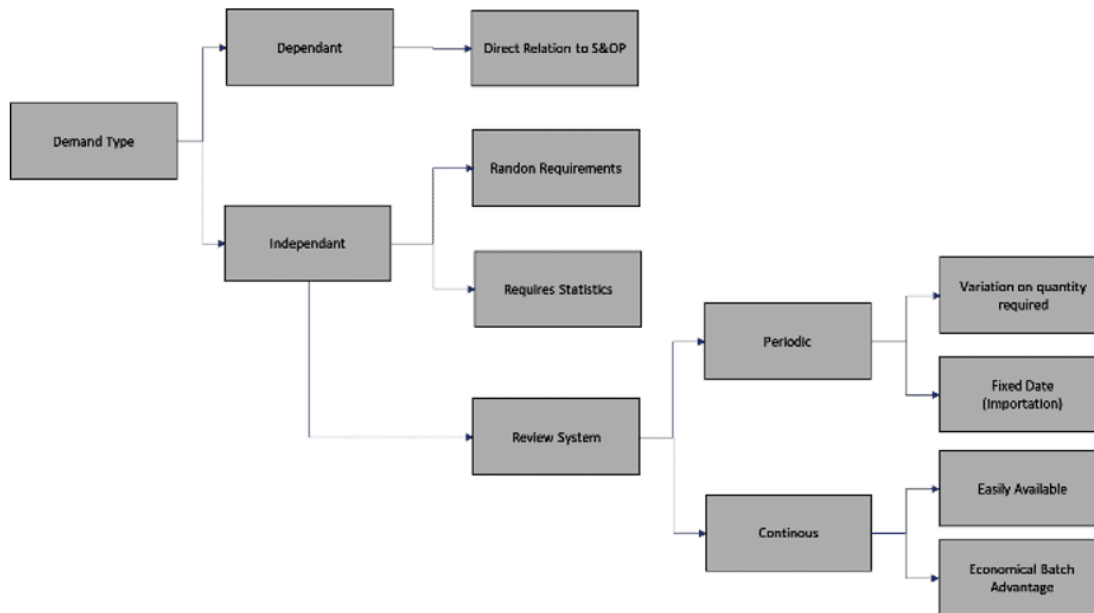
independiente, qué generación de desviaciones estándar sobre el tiempo de entrega y sobre la demanda misma (PEINADO y GRAEML, 2007).

Un concepto erróneo importante sobre el Justo a Tiempo es que su intención no es tener existencias cero como meta, sino existencias cero como visión, lo que significa que la meta de la organización debe ser mantener la cantidad mínima de inventario que permita satisfacer las demandas de los clientes para ser cumplido.

Los recursos pueden tener una demanda dependiente o independiente en función de sus características y del tipo de mantenimiento. La demanda dependiente es todo lo que puede estar exactamente relacionado con la necesidad de producción, por ejemplo, el *headcount* relacionado con la actividad que se está realizando, o las partes que pueden estar directamente vinculadas al S&OP, y la demanda independiente no puede determinarse a través de una relación directa, como indirecta *headcount* como contador de planta o una parte que falla en patrón aleatorio (PEINADO y GRAEML, 2007).

Además de comprender el tipo de demanda, es fundamental determinar el tipo y la frecuencia de la revisión que el equipo de PPC realizará con el equipo de materiales cuando el tipo de demanda se considere independiente, ya sea una revisión continua o una revisión periódica. La revisión continua normalmente se relaciona con material que es fácil de producir y disponible para la compra, donde el equipo trabaja para determinar cuál es el tamaño del lote económico a comprar. La revisión periódica está ligada a materiales que tienen pedidos limitados a fechas fijas, como en situaciones donde el material necesita ser importado, muy común en las empresas de servicios de petróleo y gas, por lo que en este caso el enfoque debe ser entender a qué nivel de servicio se pretende llegar a dar respuesta a las demandas de los clientes (PEINADO y GRAEML, 2007; ARAUJO JUNIOR *et al.*, 2009). La Imagen 4 resume lo que se necesita preevaluar en términos del recurso para proceder con la planificación adecuada.

Imagem 4. Representação de Tipos de Demanda y Requerimientos



Fuente: adaptado de Peinado y Graeml (2007).

Según el tipo de demanda y el tipo de revisión, el costo del material tendrá un impacto diferente en el P&L, la siguiente ecuación lo resume Peinado y Graeml (2007):

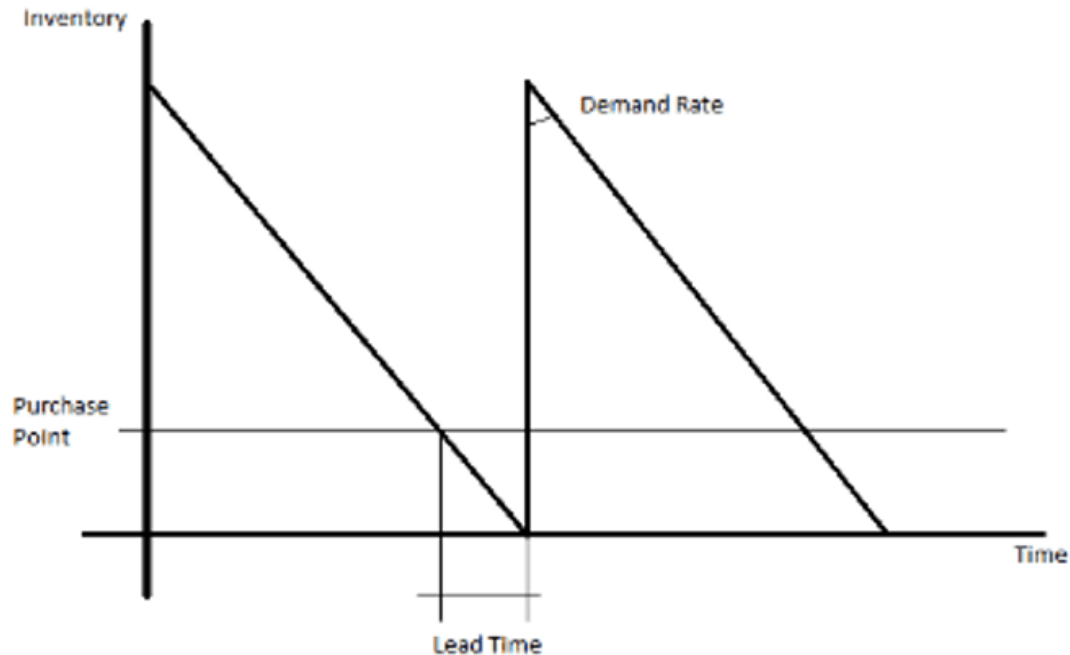
Costo total = costo de pedido + costo de mantenimiento + costo de compra

Otras decisiones como el tamaño del stock de seguridad, el punto de reorden y cuándo comprar son decisiones matemáticas, y están en función del costo, el tiempo de entrega, la demanda, el nivel de servicio requerido (capacidad para atender las necesidades del cliente) y sus respectivas desviaciones estándar (PEINADO y GRAEML, 2007). El costo de pedido podría incluir el costo del tiempo del personal que trabaja en PPC para realizar los pedidos, el costo de depreciación del sistema utilizado para ordenar el recurso, el costo de recibir la inspección, el número de pedidos en el período; el costo de mantenimiento puede ser el costo del HC trabajando en almacén, costo de seguro, costo de capital

inmovilizado, impuestos pagados, daños, costos de conteo de ciclos, costos de depreciación del sistema, depreciación del área ocupada y CAPEX invertido para almacenar el material; el costo de compra está relacionado con el HC del equipo de adquisiciones, la depreciación del sistema utilizado, los costos de encuesta a proveedores, los costos de auditoría, etc.

El comportamiento del inventario a lo largo del tiempo sigue la explicación de la Imagen 5, donde el principal objetivo del departamento de materiales es utilizar los métodos matemáticos para evitar la escasez de producción. El inventario comienza en un cierto nivel y decae a la tasa de demanda, hasta que llega a un punto de compra que tiene en cuenta el tiempo de espera para reabastecer el material antes de que llegue a cero:

Imagen 5. Comportamiento del inventario a lo largo del tiempo



Fuente: adaptado de Peinado y Graeml (2007).



Las matemáticas no siempre son tan simples, ya que la demanda normalmente es un promedio de la demanda, y al ser un promedio tiene una desviación estándar, al igual que el tiempo de entrega, que también se comporta como un promedio en la práctica del día a día, por lo que también tiene una desviación estándar, por lo que dependiendo del nivel de servicio que se necesite para el cliente, se necesitarán más inventarios.

La ecuación normal que describe ese punto de reabastecimiento es:

$$PR = d \times LT,$$

Dónde:

PR = punto de reabastecimiento, punto de compra o punto de pedido,

d = Demanda,

LT = Plazo de entrega.

Por ejemplo, si una junta tórica tiene un plazo de entrega de 3 semanas y usted tiene una demanda de 5 juntas tóricas, su punto de reabastecimiento será cuando su nivel de inventario alcance las 15 unidades.

Ahora, el tamaño del lote económico, o cuánto comprar, se describe mediante la fórmula:

$$Q = \sqrt{\frac{2C_p \times D}{C_c}}$$

Dónde:

Q = tamaño del lote,

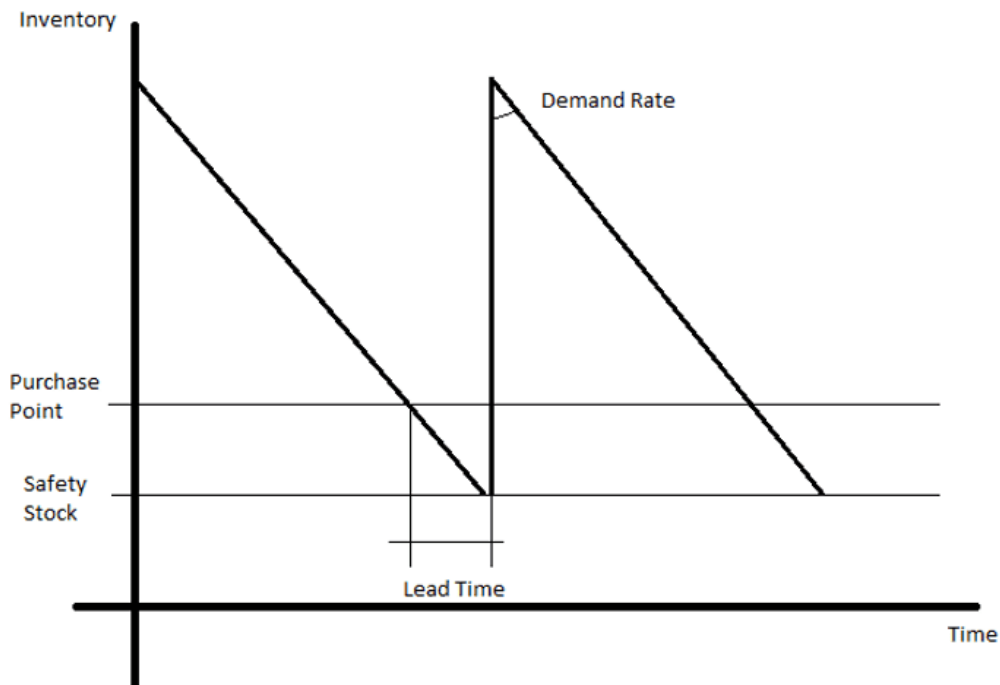
C_p = costo de pedido (costo fijo de pedido),

D = demanda (anual),

C_c = costo de mantenimiento de inventario (costo de capital).

En algunas operaciones dada la criticidad es necesario agregar al Gráfico 6 otra línea, el stock de seguridad, por lo que queda representado de la siguiente manera, en estos casos el objetivo es evitar que llegue a cero:

Imagen 6. Comportamiento del inventario a lo largo del tiempo, cuando se requiere un stock de seguridad



Fuente: adaptado de Peinado y Graeml (2007).



Si tomamos en consideración el stock de seguridad para una revisión continua, entonces nuestra ecuación cambia a:

$$PR = (d \times TR) + ES$$

Dónde:

PR = punto de reabastecimiento, punto de compra o punto de pedido,

d = Demanda,

TR = LT = Plazo de entrega,

ES = Stock de Seguridad.

Si se considera la revisión periódica se debe sumar el Intervalo de Reabastecimiento (IR) al punto de reabastecimiento antes de multiplicar por la demanda, así $PR = d \times (TR + IR) + ES$.

Y, teniendo en cuenta una demanda variable y un tiempo de entrega constante, el número de desviaciones estándar de una función normal para la demanda y la desviación estándar de la demanda, la ecuación para el stock de seguridad es:

$$ES = Z \times \sqrt{TR} \times \sigma d$$

Dónde:

ES = Stock de seguridad,

Z = Número de desviaciones estándar,



TR = LT = Plazo de entrega,

= Desviación estándar de la demanda.

Ahora, si la demanda es constante y el tiempo de entrega es variable, la ecuación es:

$$ES = Z \times d \times TR \times \sigma TR$$

Dónde:

ES = Stock de seguridad,

Z = Número de desviaciones estándar,

d = Demanda,

TR = LT = Plazo de entrega,

=Desviación estándar del tiempo de entrega.

Situaciones más comunes para el mundo normal del petróleo y el gas, la ecuación que más se ajusta considera la demanda variable y el tiempo de entrega variable, de la siguiente manera:

$$ES = Z \times \sqrt{(TR \times \sigma d^2) + (d^2 \times \sigma TR^2)}$$

ES = Stock de seguridad,

Z = Número de desviaciones estándar,



TR = LT = Plazo de entrega,

=Desviación estándar de la demanda

= Desviación estándar del tiempo de entrega,

d = Demanda.

El número de Z se puede determinar a partir de una tabla de distribución normal, dependiendo del nivel de servicio que se requiera para el cliente, por ejemplo, para un nivel de seguridad del 95%, Z sería 1,65.

Para iniciar todo el proceso de planificación de materiales, es obligatorio entender la demanda, y esta vendrá del S&OP (Sales & Operations Plan), no es simple ni fácil construir un S&OP, ya que muchas variables pueden afectarlo, una clave El punto de partida es entender el mercado, para poder proyectar la demanda.

2.4 UN ENFOQUE PRÁCTICO DE PLANIFICACIÓN PARA UN SEGMENTO DE SERVICIOS DE PETRÓLEO Y GAS AGUAS ARRIBA

En los servicios de perforación, la demanda provendría de las horas de operación de los equipos que se van a utilizar, por lo que típicamente se requiere conocer las horas de demanda de cada equipo para cada período, según la Tabla 2:

Tabla 2. Horas de funcionamiento previstas por tecnología

Equipo	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09
LWD	500	100	300	100	400	500	800	600	1000
MWD	1000	500	400	600	600	500	1200	800	2000
Motor	300	100	300	500	200	0	500	400	2000
Giratorio orientable	700	400	100	100	400	500	700	200	500

Fuente: autor.



Con base en la tabla es posible determinar cuántos mantenimientos se requerirán para cada equipo en cada período, por lo que es posible convertir las horas de operación en número de mantenimientos, y con base en eso determinar cuánto inventario se requerirá y por cuándo y cuántas horas-hombre se requerirán, alguna información extra importante:

Tabla 3. Parámetros de mantenimiento por tecnología

Equipo	Horas-hombre/Mantenimiento	MTBM*	MTBF**	# Componentes	ARC***
LWD	80	100	1000	3	7.14
MWD	60	200	2000	3	6.07
Motor	40	200	5000	3	2.25
Giratorio orientable	50	100	1000	4	1.35

*MTBM: tiempo medio entre mantenimientos, **MTBF: tiempo medio entre fallas, ***ARC: costo promedio de reparación (kUSD). Fuente: autor.

Derivado de las Tablas 2 y 3, el número de mantenimientos se muestra a continuación:

Tabla 4. Número de Mantenimientos Derivados de la Tabla 2 y MTBM de la Tabla 3

Equipment	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09
LWD	5	1	3	1	4	5	8	6	10
MWD	5	3	2	3	3	3	6	4	10
Motor	2	1	2	3	1	0	3	2	10
Rotary Steerable	7	4	1	1	4	5	7	2	5

Fuente: autor.

Horas-hombre requeridas, totalizaría 8,540, de la Tabla 5, o 950 horas-hombre mensuales.

Tabla 5. Horas-hombre requeridas por tecnología según el número de mantenimientos de la Tabla 4 y horas-hombre/mantenimiento de la Tabla 3

Equipo	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09
LWD	400	80	240	80	320	400	640	480	800
MWD	300	180	120	180	180	180	360	240	600
Motor	80	40	80	120	40	0	120	80	400
Giratorio orientable	350	200	50	50	200	250	350	100	250



Horas-hombre totales	1130	500	490	430	740	830	1470	900	2050
-----------------------------	------	-----	-----	-----	-----	-----	------	-----	------

Fuente: autor.

Asumiendo que los trabajadores están efectivamente trabajando 7 de las 8 horas del día, esto significa 87.5% de eficiencia, y considerando que esta persona trabaja 176hrs por mes, con 87.5% de eficiencia, esto significa 154 horas de trabajo por mes, entonces en promedio 6 Se requerirán trabajadores por mes para hacer este trabajo y, en función de este escenario, se deben planificar recursos temporales adicionales adicionales para P09.

Estudiar la lista de materiales para estas herramientas:

Tabla 6. Componentes Utilizados por Tecnología

Equipo	Pieza 1	Pieza 2	Pieza 3	Pieza 4
LWD	o-ring	PCB-A	Mandril -A	N/A
MWD	o-ring	PCB-B	Mandril -B	N/A
Motor	o-ring	Rodamiento	Elastómero	N/A
Giratorio orientable	o-ring	Rodamiento	Filtro	Bomba

Fuente: autor.

Si además le sumamos a la ecuación el kit de falla de cada uno de estos:

Tabla 7. Recuento de fallas esperado basado en MTBF de la Tabla 3 y Horas totales del año de la Tabla 2

Equipo	MTBF	Año Total Horas	Recuento de fallas	Kit de reparación ref.
LWD	1000	4300	5	LL001
MWD	2000	7600	4	LL002
Motor	5000	4300	1	LL003
Giratorio orientable	1000	3600	4	LL004

Fuente: autor.

La Tabla 8 presenta un análisis SWOT sobre el S&OP:

Tabla 8. Análisis SWOT para S&OP

Oportunidades	Amenazas
• Cuando se hace correctamente puede dar ventaja	• Cuando la falta de datos podría



<p>sobre la competencia debido a la disponibilidad;</p> <ul style="list-style-type: none">• Permitir la negociación oportuna con los proveedores;• Es hora de que Recursos Humanos seleccione a los mejores candidatos para los puestos que estarán disponibles;• Tiempo para planificar en caso de reducciones;• Retención de empleados en caso de recesión breve.	<p>generar pérdida de clientes por indisponibilidad;</p> <ul style="list-style-type: none">• Mayores precios en mercado por compra de emergencia con proveedores;• Riesgo de inexistencia de materia prima a lo largo de la cadena de suministro;• Presión para aumentar la cuota de mercado,• Presión por el logro de resultados;• Sudden changes in market conditions;• Riesgo de gasto de efectivo innecesario;• Riesgo de bajo flujo de efectivo.
<p>Fortalezas</p> <ul style="list-style-type: none">• Riesgo de Bajo Flujo de Caja Integración de los departamentos de la empresa;• Visibilidad clara en las direcciones de la empresa;• Visibilidad clara sobre lo que genera más ganancias;• Vincule los ingresos esperados a la actividad y a los costos;• Permitir una mejor planificación para completar la capacitación/competencia interna.	<p>Debilidad</p> <ul style="list-style-type: none">• Disputas por recursos;• Podría generar ajustes de línea superior;• Requiere alto conocimiento en la tecnología;• Requiere buena información del mercado.

Fuente: autor.

El S&OP es un factor clave para lograr un buen inventario y plan de personal, por lo que en base al S&OP entregado a “Precisa S.A”, desde el departamento de ventas, la demanda es la siguiente:

Tabla 9. Demanda de piezas por mes basada en piezas de las tablas 6 y 7 y recuento de mantenimiento de la tabla 4

Piezas	Costo de la pieza (kUSD)	Tiempo de espera (meses)	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09
O-ring	0.01	2	19	9	8	8	12	13	24	14	35
Rodamiento	0.20	3	9	5	3	4	5	5	10	4	15
PCB-A	1.05	6	5	1	3	1	4	5	8	6	10
PCB-B	1.00	8	5	3	2	3	3	3	6	4	10
Mandril-A	6.00	10	5	1	3	1	4	5	8	6	10
Mandril-B	5.00	9	5	3	2	3	3	3	6	4	10
Elastómero	2.00	6	2	1	2	3	1	0	3	2	10
Filtro	0.05	2	7	4	1	1	4	5	7	2	5
Bomba	0.05	2	7	4	1	1	4	5	7	2	5
LL001	2.50	10	0	0	0	1	0	1	0	0	1
LL002	5.00	8	0	0	1	0	0	1	0	1	1
LL003	7.50	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1
LL004	10.00	7	0	1	0	0	0	1	0	0	1

Fuente: autor.

La variación en la demanda no es la única para los casos complejos experimentados en ejemplos de la vida real, pero el tiempo de entrega también es otra información que puede cambiar con el tiempo, para este ejemplo, consideremos los números aleatorios en la Tabla 10, en meses.

Tabla 10. Plazo de entrega de piezas durante los 9 meses de la operación

Piezas	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09
O-ring	1	1	1	1	1	1	2	1	1
Rodamiento	3	2	2	3	2	2	4	3	2
PCB-A	7	5	5	6	6	6	8	6	5
PCB-B	10	6	6	8	8	7	12	8	6
Mandril-A	12	10	10	6	6	10	14	10	8
Mandril-B	11	9	9	6	6	9	12	9	6
Elastómero	6	5	5	4	4	5	8	7	6
Filtro	1	1	1	1	1	1	2	1	1
Bomba	1	1	1	1	1	1	2	1	1
LL001	12	10	10	6	6	10	14	10	8
LL002	10	8	8	4	4	8	12	8	6
LL003	11	9	9	5	5	9	13	9	7
LL004	9	7	7	3	3	7	11	7	5

Fuente: autor.

El costo de mantenimiento de inventario en este ejemplo supone un costo de capital del 0,5 % sobre el costo total del inventario de seguridad únicamente, pero los modelos podrían incluir otros costos de capital inmovilizados, y el costo del pedido está relacionado con el costo del personal que trabaja en el almacén, la inspección del inventario, compra y planificación, dividido por la cantidad total de pedidos, aquí 681 pedidos/año para una plantilla de 4 personas con un coste fijo total de plantilla de 200 000 USD/año, lo que da como resultado 0,29 000 USD/pedido.

Aplicando los conceptos de manejo de inventarios, considerando aquí todas las partes importadas, en revisión periódica y con un nivel de servicio requerido del 99%, es decir $Z=2.36$, el Stock de Seguridad, Tamaño del lote de pedido Económico y punto de re-pedido son los que se muestran en Tabla 11:

Tabla 11. Cuadro resumen con resultados de implementación de la metodología propuesta

Piezas	Tiempo de espera (meses)	Desv estándar (LT - meses)	Demanda promedio	Desv estándar (d)	Costo del pedido (kUSD)	Inventario de Costo mantenimiento (kUSD)	Stock de seguridad
O-ring	2	0.4	16	8.9	0.29	0.017	33
Rodamiento	3	0.8	7	3.9	0.29	0.207	21
PCB-A	6	1	5	3.0	0.29	1.099	21
PCB-B	8	2.1	5	2.4	0.29	1.484	30
Mandril-A	10	2.7	5	3.0	0.29	11.670	39
Mandril-B	9	2.2	5	2.4	0.29	7.805	31
Elastómero	6	1.4	3	2.9	0.29	1.955	20
Filtro	2	0.4	4	2.3	0.29	0.021	9
Bomba	2	0.4	4	2.3	0.29	0.021	9
LL001	10	2.7	1	0.5	0.29	0.923	7
LL002	8	2.7	1	0.5	0.29	1.820	7
LL003	9	2.7	1	0.3	0.29	2.548	7
LL004	7	2.7	1	0.5	0.29	3.548	7

Fuente: autor.

Comprender el tipo de demanda y el tipo de sistema de revisión que se utilizará, si es independiente, es la segunda tarea más importante que se debe realizar, después de S&OP. El impacto de la cantidad inexacta de inventario o personal en



el negocio, independientemente del impacto a corto plazo en el efectivo o las pérdidas y ganancias, tiene la posibilidad de generar costos inesperados tardíos, pérdida de ingresos o pérdida de clientes.

Los datos, las matemáticas y un buen S&OP son la forma correcta de planificar una planificación exitosa de materiales y personal para cualquier actividad determinada, especialmente para aquellas con requisitos de alto nivel de servicio, como la industria del petróleo y el gas, donde está en juego la exposición de las personas al riesgo o fallas. Una vez que se comprende el nivel de servicio requerido y todos los datos están disponibles, las matemáticas entran en juego para determinar cuándo ordenar y cuánto ordenar para cumplir con las expectativas del cliente y las expectativas de costos para tener éxito en los negocios.

El tiempo invertido en esta tarea inicial y en asegurar que toda la cadena de suministro esté alineada es clave, el enfoque no puede estar solo en el S&OP de primer nivel, o el plan de materiales de segundo nivel, sino en toda la cadena de suministro, que incluye la cantidad de proveedores, proveedores de respaldo, planificación de activos y materia prima requerida para construir los componentes necesarios para el material subcontratado.

3. CONSIDERACIONES FINALES

No importa el tipo de negocio, una buena planificación es clave para la optimización de los recursos, en algunos negocios, como el entorno de servicio upstream de petróleo y gas, otros factores como los altos costos, hasta 1 millón de dólares por día, y el riesgo de seguridad, emisiones, la exposición adicional a los riesgos, lo hacen aún más crítico para ello. La disponibilidad de recursos también es clave para la competitividad del negocio ya que los clientes pueden definir sus necesidades en un entorno muy estacional, por lo que los proveedores con



material disponible para prestar el servicio pueden apalancar su posición en el mercado.

En este contexto, este artículo tuvo como objetivo responder: ¿Cómo se pueden optimizar mejor los recursos humanos y materiales para ofrecer una operación con menos riesgos de seguridad, menos emisiones, menos susceptibilidad a las condiciones de fluctuación del mercado, rentabilidad y competitividad tanto para los operadores como para las empresas de servicios de petróleo y gas? ? siendo posible verificar que para optimizar mejor el recurso (activos, inventario y Recursos Humanos) es importante primero comprender la demanda, tener un S&OP claro y preciso, con una Desviación Estándar conocida, todas las demás decisiones se tomarán en función de eso y de la naturaleza del recurso, por lo que se puede determinar el tipo de demanda, dependiente o independiente, y el tipo de revisión, continua o periódica.

El uso del concepto justo a tiempo (stock mínimo para mantener el proceso en marcha) no se puede mezclar con inventario o recursos de cero absoluto. Justo a tiempo significa que el material estará disponible en el momento requerido para responder a la demanda de operaciones. Comparar diferentes entornos comerciales (geográficos, tipo de negocio, etc.) para la comparación de KPI[13] puede ser peligroso cuando se analiza el % de inventario sobre los ingresos, ya que cada región, país o área puede tener sus particularidades. Para hacer este tipo de comparación, es importante comprender completamente y crear los factores de peso apropiados.

Construir el S&OP no es una función simple y puede incluir una serie de variables como el precio del petróleo y el gas en el mercado, tipos de pozos, nuevos descubrimientos en las áreas, riesgos y cambios en el entorno de perforación. Los números en la planificación son matemáticos, por lo tanto, para lograr consistentemente los resultados esperados, el plan debe seguirse y actualizarse



con frecuencia en función de los cambios en S&OP, por lo que no es un ejercicio único, ni un ejercicio de una sola persona, es constante y propiedad de todo el equipo.

Otro aspecto importante en la planificación es la comunicación y diversidad con los proveedores, a medida que se construye el plan es fundamental contar con el número adecuado de proveedores, así se controla el riesgo de falta de entrega y, en algunos casos, como el petróleo y El negocio del gas es muy volátil, es importante tener contratos con compras mínimas fijas para evitar que los proveedores críticos quiebren, el proveedor debe ser parte de los procesos y una evaluación constante ayudará al negocio a ganar en el mercado.

BIBLIOGRAFÍA

AMORIM JUNIOR, D. S.; SANTOS, O. L. A.; AZEVEDO, R. C. de. A statistical solution for cost estimation in oil well drilling. **Petroleum Sciences**, p. 675-682, 2019. Available in: <https://doi.org/10.1590/0370-44672018720183>. Accessed on: August 11, 2022.

ARAUJO JUNIOR, A. H. de. *et al.* Modelo para Cálculo de Custos de Manutenção de Ferramentas de Perfuração de Poços de Petróleo. **Rev. Cont. e Controladoria**, p. 102-117, 2009. Available in: https://www.researchgate.net/publication/273169887_MODELO_PARA_CALCULO_DE_CUSTOS_DE_MANUTENCAO_DE_FERRAMENTAS_DE_PERFURACAO_DE_POCOS_DE_PETROLEO. Access in: August 11, 2022.

GHAZALI, M. R. MD.; ANUAR, H. S. Value Management: Implementation of Asset Life Cycle in one of Oil and Gas Service Company. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, p. 67-72, 2017. Available in: <https://ijaers.com/detail/value-management-implementation-of-asset-life-cycle-in-one-of-oil-and-gas-service-company/>. Accessed on: August 11, 2022

GRIGORAS-ICHIM, C. E.; MOROSAN-DANILA, L. Short Incursion on Annual Financial Reports Versus Interim Financial Reports. **ECOFORUM**, p. 1-6, 2020. Available in: https://www.researchgate.net/publication/342216562_SHORT_INCURSION_ON_A_NNUAL_FINANCIAL_REPORTS_VERSUS_INTERIM_FINANCIAL_REPORTS. Access in: August 11, 2022.



INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Net Zero by 2050**. Paris, 2021. Available in: https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf. Access in: August 11, 2022.

LOZADA-CEPEDA, J. A.; LARA-CALLE, R.; BUELE, J. Maintenance Plan Based on TPM for Turbine Recovery Machinery. **Journal of Physics: Conference Series**, p. 1-12, 2021. Available in: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1878/1/012034>. Accessed on: August 11, 2022

LIESKOVSKY, J.; YAN, R. Time between drilling and first production has little effect on oil well production. **U.S. Energy information administration**, 10 September 2019. Available in: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=41253>. Accessed on: August 11, 2022.

MAMUSHIANE, L.; LYSKO, A. A.; DLAMINI, S. SDN-enabled Infrastructure Sharing in Emerging Markets: CapEx/OpEx Savings Overview and Quantification. **IST-Africa 2018 Conference Proceedings**, p. 1-10, 2018. Available in: https://www.researchgate.net/publication/329311200_SDN-Enabled_Infrastructure_Sharing_in_Emerging_Markets_CapExOpEx_Savings_Overview_and_Quantification. Accessed on: August 11, 2022

MUNIEN, I.; TELUKDARIE, A. COVID-19 supply chain resilience modelling for the dairy industry. **International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing**, p. 591-599, 2021.

O'SHEA, R. *et al.* Using biogas to reduce natural gas consumption and greenhouse gas emissions at a large distillery. **Applied Energy**, v. 279, p. 1-20, 2020. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115812>. Accessed on: August 11, 2022

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da Produção (Operações Industriais e de Serviços)**. Curitiba: UnicenP, 2007.

PEREIRA, M. J. **Práticas de Manutenção**. [S.l.]: Ciência Moderna, 2010.

PEREIRA, V. Falta de chips afeta o mundo todo -e Brasil importa 90% do que consome. **CNN**, 9 May 2021. Available in: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/falta-de-chips-afeta-o-mundo-todo-e-brasil-importa-90-do-que-consome/>. Accessed on: August 11, 2022.

SANTOS, J. R. *et al.* Análise de integridade de poços de petróleo: avanços em termos de confiabilidade e risco. **Encontro Nacional de Construção de Poços**



de **Petróleo e Gás**, p. 1-8, 2019. Available in: https://www.researchgate.net/publication/338123589_Analise_da_integridade_de_pocos_de_petroleo_avancos_em_termos_de_confiabilidade_e_risco. Accessed on: August 11, 2022.

SILVA, J. O. *et al.* Gestão estratégica de custos de produção do barril petróleo. **Revista Electrónica de Ciências da Terra**, p. 1-4, 2010.

SOCIETY OF PETROLEUM ENGINEERS. IOGP Reports Fewer Fatalities and Injuries in 2019. **Journal of Petroleum Technology**, 19 October 2020. Available in: <https://jpt.spe.org/industry-sees-fewer-fatalities-and-injuries-2019>. Accessed on: August 11, 2022.

THOMAS, J. E. *et al.* **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência, 2001.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Greenhouse Gas Emissions Reporting From The Petroleum And Natural Gas Industry. Background Technical Support Document. **U.S. Environmental Protection Agency**, May 2015. Available in: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-05/documents/subpart-w_tsd.pdf. Accessed on: August 11, 2022.

APÉNDICE - NOTA AL PIE

4. Total Recordable Incident Rate
5. Non-Productive Time.
6. Return Over Investment.
7. Drilling Services provider of Measurement While Drilling.
8. Logging While Drilling.
9. Planning and Production Control.
10. Profit & Loss.
11. Capital Expenditures.
12. Capital Expenditures.
13. Key Performance Indicator – Indicador Clave de Rendimiento.



Enviado: Julio, 2021.

Aprobado: Agosto, 2022.

¹ Maestría en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Taubaté (UNITAU), Graduada en Ingeniería de Petróleos por la Universidade Estácio de Sá (UNESA), y Graduada en Tecnología Mecánica con énfasis en Automatización Industrial por el CEFET/RJ, MBA en Gestión Empresarial por la Fundação Getúlio Vargas (FGV), MBA en Gestión de Proyectos de la Fundación de Apoyo CEFET/RJ, Especialista en Ingeniería de Seguridad del Trabajo de la Universidade Candido Mendes (UCAM), Especialista en Ingeniería de Petróleos de la Universidade Estácio de Sá (UNESA) y Supervisor de Radioprotección certificado por la CNEN. ORCID: 0000-0002-6647-3914.

² Graduada en Arquitectura y Urbanismo por la Universidad de Taubaté, UNITAU, con posgrado en Gestión de Marketing e Ingeniería en Seguridad del Trabajo por la Escuela Politécnica de Pernambuco. Máster en Gestión del Desarrollo Regional por la UNITAU y Doctor en Ingeniería de Producción por la Escola Politécnica da USP. ORCID: 0000-0001-8082-5763.

³ Tutor. posdoctorado en Gestión de la Producción (Programa de prácticas posdoctorales en el extranjero -CAPES) realizado en la Universidad de Padua, Italia, doctorado en Ingeniería Aeronáutica y Mecánica del Instituto Tecnológico de Aeronáutica, maestría en Comunicación y Mercado de la Faculdade Cásper Líbero y graduación en Ingeniería Mecánica de la Universidad de Taubaté. Posgrado Lato Sensu en Gestión de la Producción y Operaciones Industriales en la FGV y Gestión Financiera en la UNITAU/INPG. ORCID: 0000-0002-0248-3689.