



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

DISEÑO DE UN TALLER INTEGRAL DE MANTENIMIENTO PARA WELL SERVICES DE SCHLUMBERGER

Renato Arenas-Velásquez

Piura, octubre de 2017

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Mecánico-Eléctrica

Arenas, R. (2017). *Diseño de un taller integral de mantenimiento para Well Services de Schlumberger* (Tesis de licenciatura en Ingeniería Mecánico-Eléctrica). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Piura, Perú.



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](https://repositorio.institucional.pirhua.edu.pe/)

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA



**“DISEÑO DE UN TALLER INTEGRAL DE MANTENIMIENTO PARA WELL
SERVICES DE SCHLUMBERGER”**

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Mecánico-Eléctrico

Renato Arturo Arenas Velásquez

Asesor: Dr. Ing. José Luis Calderón Lama

Piura, octubre 2017

A mi familia y a todos aquellos que me apoyan de manera incondicional
durante mi formación profesional.

Prólogo

Una imagen muy recurrente que surge durante las visitas a instalaciones industriales modernas, es que las diversas labores se efectúan con una admirable sincronización, siendo un símil del funcionamiento de los engranajes de un reloj suizo. De igual manera, también es partícipe de esta parsimoniosa concatenación de procesos, el estrecho vínculo formado entre el operador y la máquina, quienes otorgan una mezcla de discernimiento y precisión en cada labor ejecutada.

Sin embargo, no todo se basa en la pericia de los operadores ni en la tecnología desplegada, sino en algo mucho más básico y que pocas veces se logra distinguir debido a su carácter abstracto, esto es, el análisis de las relaciones existentes entre cada proceso efectuado en planta.

Se dice que es básico, ya que antes de la construcción de las instalaciones industriales, se debe de establecer dicho análisis para determinar la distribución de las diferentes áreas, de tal manera que responda y refleje el flujo de trabajo propio de la empresa. Por otro lado, el estudio de las relaciones y la valoración de sus diversos aspectos, responde a su índole abstracta, pero solo hasta cierto punto, ya que una vez funcionando la industria se puede proponer *feedbacks* y mejoras respaldadas en información más realista.

Los albores de este campo de la ingeniería tuvieron lugar en un Japón que reactivaba su economía tras sufrir el duro embate de la Segunda Guerra Mundial, siendo su principal exponente, la industria automotriz. De forma progresiva, fue emigrando a otros países, donde era repotenciado y diversificando sus ámbitos de aplicación. Actualmente, utilizado tanto en las plantas de montaje automotriz en Alemania como en la ubicación de suministros dentro de un supermercado.

Es bajo estos conocimientos que el presente trabajo se desarrolla, en aras de una mejora del servicio brindado y contribución para el desarrollo coordinado del segmento de mantenimiento de Schlumberger, el *Technology Lifecycle Management* (TLM).

Por último, se desea otorgar un expreso agradecimiento a Sandino Ruvalcaba, César Tejada, Víctor Blanco y Jorge Pilataxi, quienes brindaron asesoramiento técnico, información relativa al tema de investigación, respaldo profesional y plena confianza para el desarrollo de este proyecto. Considerándose no menos importantes que los anteriores, la gran ayuda ofrecida por Héctor Leiva y esposa, una pareja de excelentes profesionales especializados en el rubro petrolero.

Resumen

El principal objetivo del presente trabajo es disminuir el tiempo improductivo generado por los extensos desplazamientos del personal técnico dentro de las instalaciones, mediante el diseño y propuesta del *layout* para un taller de mantenimiento unificado y orientado a contribuir con la fluidez de los procesos que lo conforman.

En primer lugar, se efectuaron diversos estudios de campo para recolectar información de la situación actual, concentrándose en el registro de tiempos e identificación de desplazamientos correspondientes a los mantenimientos de mayor frecuencia. Con la data recogida se efectuó la determinación tanto de los tiempos no efectivos de ciertas intervenciones como también de un flujo general de procesos que contemple las múltiples labores propias del área.

Luego de haber reconocido las relaciones existentes entre los diferentes procedimientos, éstas fueron utilizadas como base para el diseño de la disposición del nuevo taller de mantenimiento, aplicando herramientas pertenecientes al ámbito del diseño de operaciones. Consecuentemente, se obtuvo una distribución con trayectos más cortos e implícitamente, más económicos, en lo que a tiempos respecta.

Por último, se estiman los beneficios económicos que se podrían alcanzar al implementar este proyecto, mediante un breve análisis financiero fundamentado en las proyecciones económicas del negocio petrolero.

Índice general

Introducción.....	1
Capítulo 1 Well Services de Schlumberger.....	3
1.1. Descripción de la compañía	3
1.1.1. Breve reseña histórica de la empresa	3
1.1.2. Posición dentro del proceso comercial del crudo	4
1.1.3. Segmentos de Schlumberger presentes en Perú	6
1.2. Subsegmentos de Well Services y los servicios brindados.....	7
1.2.1. Cementación (<i>Well Integrity Technologies</i> - WIT).....	8
1.2.2. Fractura (<i>Well Production Services</i> - WPS).....	10
1.2.3. Tubería flexible (<i>Well Intervention Services</i> - WIS).....	13
1.3. Equipos utilizados en Well Services	13
1.3.1. Maquinaria pesada.....	13
1.3.2. Línea de tratamiento.....	16
1.3.3. Equipo de control de presión (PCE).....	17
Capítulo 2 Departamento de mantenimiento.....	19
2.1. Área de mantenimiento: <i>Technology Lifecycle Management</i> (TLM)	19
2.2. Estándar 03: El mantenimiento en SLB, políticas y procesos.....	21
2.2.1. Mantenimiento de unidades.....	21
2.2.2. Modelos de mantenimiento	24
2.2.3. Flujo matriz para las unidades de Well Services	26
2.3. Estándar 04: Certificaciones de puntos de izaje y equipos de presión	27
2.4. Estándar 07: Manejo de equipos eléctricos y electrónicos.....	28
2.5. Estándar 13: Levantamiento mecánico.....	29
2.6. Estándar 23: Inspección de línea de tratamiento y afines.....	30
Capítulo 3 Diseño de los talleres de mantenimiento basado en la optimización de procesos	35
3.1. Análisis y detección de falencias en la distribución actual de la base.....	35
3.1.1. Disposición actual	36
3.1.2. Análisis del desplazamiento: determinación de causas y tiempos consumidos ..	38

3.1.3.	Evaluación del acondicionamiento de las instalaciones	49
3.2.	Desarrollo del <i>layout</i> para las instalaciones de mantenimiento.....	52
3.2.1.	Cálculo de hangares	52
3.2.2.	Actividades del proceso y establecimiento de relaciones.....	57
3.2.3.	Diseño de <i>layout</i> para los talleres de mantenimiento	62
3.2.4.	Concertación del <i>layout</i> propuesto y el flujo matriz de mantenimiento en WSV.....	67
3.3.	Acondicionamiento de los talleres	69
3.3.1.	Zona de lubricantes	69
3.3.2.	Rampa de inspección.....	73
Capítulo 4 Estimación del impacto financiero generado por la aplicación del proyecto....		77
4.1.	Determinación de las mejoras implementadas a los procesos.....	77
4.2.	Estimación de costos de inversión para el proyecto	83
4.3.	Análisis financiero.....	86
Conclusiones		95
Bibliografía		97
Apéndices		99
Apéndice A-1		100
Apéndice A-2		101
Apéndice A-3		102
Apéndice A-4		103
Apéndice A-5		104
Anexos		105
Anexo B-1		106
Anexo B-2		107
Anexo B-3		108

Introducción

El presente trabajo académico se desarrolla en una compañía que brinda servicios petroleros, específicamente, en las instalaciones proporcionadas para el mantenimiento de la maquinaria pesada, utilizada para las operaciones en los yacimientos petroleros.

Durante una visita hecha por la línea gerencial del área de mantenimiento a la locación de Talara, se pudo corroborar la existencia de un problema relevante que se había detectado con anterioridad. Éste consiste en el gran desplazamiento del personal técnico para efectuar sus labores, por la dispersión de las diferentes zonas de trabajo que conforman el “taller” de mantenimiento. Por tal motivo, la terna gerencial solicitó el desarrollo de un estudio de esta problemática, proponiéndolo como un tema de “Proyecto de pasantías”, el cual es presentado por toda persona que culmina su periodo de prácticas dentro de la compañía.

La empresa está actualmente en proceso de re-estructuración, el cual incluye al departamento de mantenimiento. Las modificaciones llevadas a cabo, transcurren lentamente en Latinoamérica, como consecuencia de la situación económica del petróleo en esta parte del mundo, sin embargo, se han puesto en marcha diversos proyectos en los países que conforman esta región, con la finalidad de dinamizar dicho proceso.

Dentro de TLM, la aplicación de métodos ingenieriles a los diversos procesos que lo conforman, resulta ser la “piedra angular” dentro del concepto de un mantenimiento eficiente logrado de la manera más segura y rentable. Es por esto, que en las múltiples bases que Schlumberger cuenta en todo el mundo, se destinan profesionales al análisis profundo de los diferentes aspectos del mantenimiento como son: la logística, estudio de fallas, calidad de procesos, gestión de procesos y otros.

De forma particular, el presente proyecto se fundamenta en el análisis detallado de las operaciones de mantenimiento desarrolladas y los tiempos que éstas conllevan, para posteriormente, diseñar y proponer una disposición que satisfaga las necesidades detectadas y aumente la eficiencia integral de los procedimientos.

Capítulo 1

***Well Services* de Schlumberger**

Al ser el capítulo introductorio se debe explicar con claridad algunos aspectos que ayuden al entendimiento del panorama actual de la empresa donde se ha realizado el estudio de esta tesis. Por ende, es conveniente brindar una introducción, donde se den detalles acerca de su desarrollo a lo largo de la historia como también sus ámbitos de operación y equipos utilizados.

Se ha enfatizado en dos puntos, el primero trata de las operaciones que efectúan los sub-segmentos que conforman *Well Services* mientras el otro, hace alusión a la maquinaria pesada que se usa en sus intervenciones.

El último punto es necesario dado que se debe conocer del tipo de equipos que se tiene y las labores de mantenimiento que se deben realizar para mantenerlos operativos.

1.1. Descripción de la compañía

1.1.1. Breve reseña histórica de la empresa¹

La compañía fue fundada en el año de 1926 por los hermanos Marcel y Conrad Schlumberger, quienes se dedicaban al estudio geofísico de yacimientos petrolíferos. Ambos contaban con cierta experiencia en este rubro dado que habían trabajado en países como Serbia, Rumania, Sudáfrica y Estados Unidos.

Su trabajo consistía en esbozar un mapa del pozo a través de la resistividad eléctrica propia de éste, la cual era captada por una sonda eléctrica.

El primer trabajo como tal se llamó Registro de Resistividad Eléctrica del Pozo y fue hecho en 1927 en Pechelbronn, Francia. Sin duda alguna, esto marcó un hito en lo que respecta a las exploraciones petroleras.

Además, se dieron cuenta que los registros eléctricos develaban a su vez otros datos de interés como son las formaciones geológicas que rodeaban al pozo.

Alrededor de 1930, el servicio prestado por los hermanos Schlumberger se popularizó y aumentó su demanda entre los países con grandes yacimientos petroleros como Venezuela, Rumania, Trinidad y Estados Unidos.

¹ Traducción resumida de *Our history, Schlumberger*.

No es hasta en 1935 que se fundó Schlumberger *Well Surveying Company*, que más tarde se convertiría en *Well Services* de Schlumberger.

En la década de los 40 el avance de las nuevas tecnologías se vió frenado debido a la Segunda Guerra Mundial, sin embargo, después de ésta se recibe un reconocimiento por los conocimientos desarrollados en el campo de la mineralogía.

En 1956, debido a la rápida expansión de la empresa y la alta demanda de sus servicios, la compañía se vió obligada a tener un servicio de consultoría para sus jóvenes ingenieros, razón por la cual se designó a Roger Jost, quien estuvo en Pechelbronn en 1927, a cargo del departamento que se dedicó a inspeccionar equipos y dilucidar dudas. Un soporte con el que se cuenta en la actualidad.

Cabe resaltar que Schlumberger fue participe en la carrera espacial que tomó lugar en la década de los 60's. Ésto lo hizo a través de diseño de maquinaria y proveeduría de sensores especiales para la NASA.

En los siguientes años la compañía desarrolló herramientas de software e implementaron el internet a sus procesos; es así que empezaron a crear unidades móviles desde donde se controlaba toda una operación, usando equipos electrónicos compactos que podían ser llevadas a los lugares más recónditos del planeta.

En la década de los 80's se fundó en Cambridge, Inglaterra, la primera escuela técnica abocada al entrenamiento del personal que laboraba en Schlumberger, siendo una gran innovación para las empresas del rubro petrolero en lo que respecta a la calidad del servicio brindado.

Con el pasar de los años, la empresa integró a otras compañías de gran prestigio, aumentando los servicios que aquella ofrecía y convirtiéndose en una empresa de carácter multidisciplinario.

Actualmente (2017), Schlumberger se encuentra presente en más de 80 países, con personal de 140 naciones enrolados en sus filas, destacándose de las demás empresas del mismo rubro por la rigurosidad de sus procesos, la aplicación de sus propios estándares y la calidad de su servicio, y operando desde los desiertos de Abu Dhabi hasta la selva del Congo, desde locaciones remotas en Rusia hasta las plataformas del Golfo de México.

En el Perú, cuenta con más de 80 años de presencia, habiendo desarrollado proyectos en la selva (con Shell), en la costa norte y en plataformas petroleras que se encuentran en el mar de Piura.

1.1.2. Posición dentro del proceso comercial del crudo

Dentro del rubro petrolero se conoce la cadena de suministro del petróleo, la cual comienza con la explotación en los campos petrolíferos para concluir con la venta de sus derivados en el mercado, y durante su transcurso se pueden identificar los diferentes tipos de empresas que se desempeñan en este rubro. La visión de esta cadena nos ayudaría a entender el campo de acción de Schlumberger dentro del negocio del petróleo.

En primer lugar, se definen los tipos de empresas que se desarrollan en este ámbito, éstas son:

- I. Operadoras: Las empresas operadoras son aquellas que poseen los lotes petrolíferos y disponen de los mismos para poder extraer y comercializar el crudo que contienen. Por lo general, solicitan el servicio de terceros para poder habilitar sus locaciones.
- II. De servicios: Estas compañías trabajan de manera conjunta con las operadoras, brindándoles una amplia variedad de servicios petroleros como son: exploración, perforación, cementación, fractura, baleo, registro, limpieza, etc.
- III. De procesamiento: Estas son las refinerías, las cuales procesan el crudo para obtener sus diferentes derivados. Es aquí donde se pueden encontrar las grandes plantas industriales de refinamiento.

Ahora, se detallan las etapas que conforman el ciclo de operaciones del petróleo:

- a) Exploración de pozos petroleros: Todo comienza con el desarrollo de estudios de los terrenos otorgados a las empresas operadoras. Éstas contratan servicios de empresas externas para determinar la ubicación del pozo, capacidad de producción, sustancias contenidas en la formación, etc.
- b) Perforación y habilitación del pozo: Luego de haber analizado los resultados obtenidos en los estudios preliminares, se procede a la demarcación de locaciones en donde el taladro realizará la perforación del suelo, creando así el pozo como tal.
- c) Habilitación del pozo: la cual consiste en un conjunto de servicios especializados que se deben aplicar para la correcta extracción del petróleo.
- d) Producción y extracción del crudo: Habiendo culminado la etapa anterior, la empresa operadora procede con la extracción del crudo para posteriormente, comercializarlo en el mercado. Tener en cuenta que aquí también se realizan estudios enfocados en la producción del pozo.
- e) Refinamiento del petróleo: Las refinerías realizan la compra de los distintos crudos que se ofertan en el mercado, y lo llevan a sus plantas de procesamiento para obtener los diferentes derivados del petróleo aptos para el consumo público o industrial.

Luego de haber expuesto tanto el tipo de empresas como las etapas que son parte del proceso general del petróleo, se puede determinar un flujo integrado haciendo uso de las clasificaciones anteriores, condensándose en el flujograma mostrado en la Figura 1.

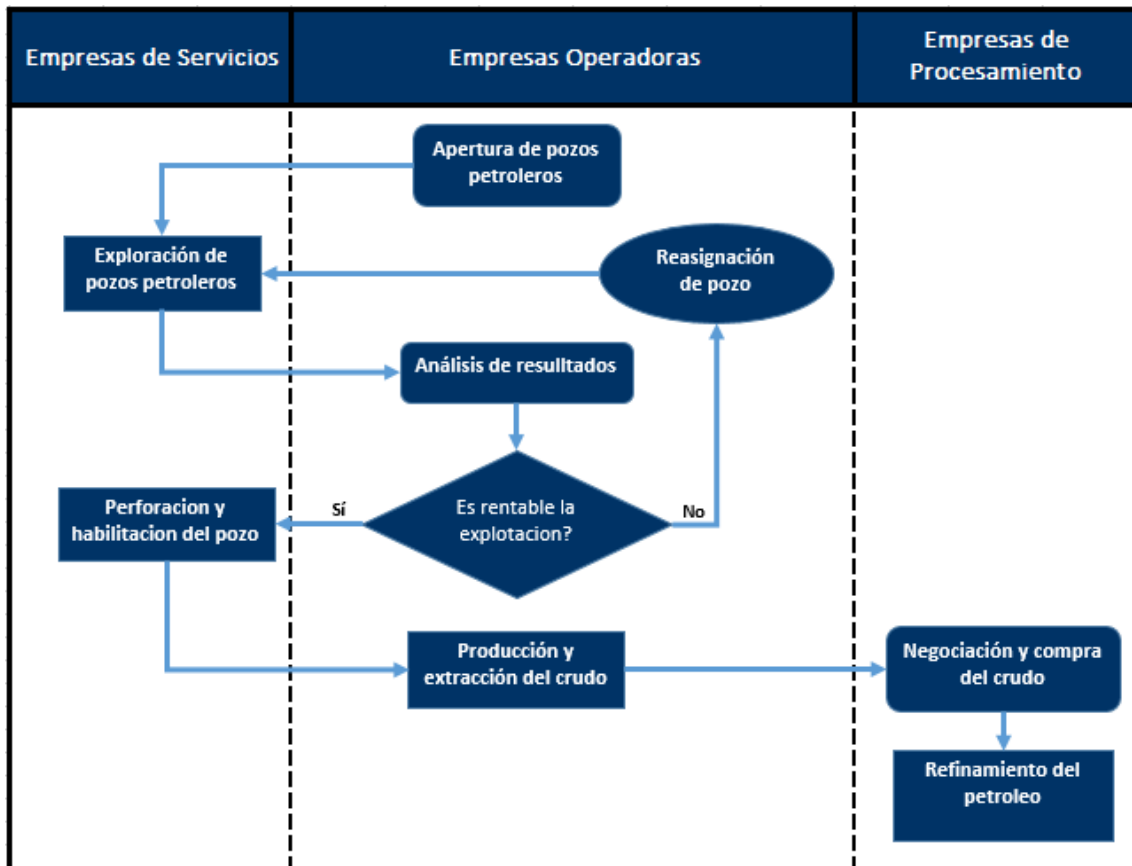


Figura 1. Diagrama del proceso general del petróleo

Fuente: Elaboración propia.

Por último, se debe indicar que Schlumberger es una empresa dedicada a la prestación de servicios especializados dentro del ámbito petrolífero.

1.1.3. Segmentos de Schlumberger presentes en Perú

Para que una compañía se mantenga vigente en el tiempo, es necesario que ésta se encuentre en una continua implementación de las nuevas tecnologías aplicándolas en su ámbito de acción.

Es por esto que Schlumberger (SLB), desde su creación hasta la actualidad, ha desarrollado un amplio portafolio de servicios especializados que brinda antes, durante y después de la habilitación de un pozo petrolero. Por ende, al poseer muchos servicios en particular, la compañía ha agrupado algunos de éstos para así consolidarlos en segmentos, los cuales también son muchos y variados.

Cabe resaltar que dependiendo del desarrollo y la demanda de las empresas que pertenecen al sector petrolero de un país, los segmentos de Schlumberger se hacen presentes en éste para ofrecer sus diferentes especialidades.

En la Tabla 1 se muestran los segmentos operativos en Perú:

Tabla 1. Segmentos de SLB presentes en Perú.

Segmento	Descripción
Wireline	Dedicado al registro del pozo a través de pulsos eléctricos para la generación de data sobre la integridad del mismo.
Testing	Habilitado el pozo en su totalidad, realizan estudios enfocados en la productividad de la locación.
Artificial lifting	Cuando los pozos no poseen suficiente presión, introducen bombas sumergibles para incentivar la producción de crudo.
Bit drilling tools	Enfocados en la selección y proveeduría de brocas de perforación.
MI Swaco	Diseñan fluidos especializados para la facilitación de la perforación cuando se presentan variaciones en la locación.
Drilling and measurements	Direccionan el pozo durante su perforación, utilizando electrónica avanzada para controlar las brocas.
Well services	Abocados a la cementación, fracturamiento hidráulico, estimulación e intervención del pozo petrolero.

Fuente: Elaboración propia.

1.2. Subsegmentos de *Well Services* y los servicios brindados

Habiendo hecho una breve introducción de todos los segmentos que operan en el territorio nacional, nos centraremos con especial énfasis en *Well Services* (WSV), debido a que el presente estudio se ha realizado en el área de mantenimiento perteneciente a este segmento.

*Well Services*², se dedica exclusivamente a ejecutar trabajos de acondicionamiento del pozo petrolero, los cuales consisten en:

- Cementación.
- Fracturamiento hidráulico.
- Estimulación.
- Limpieza y uso de herramientas de fondo.

Dentro de estos servicios, se puede indicar que los dos primeros forman parte de las etapas de pre-producción del pozo (ver la Figura 2), mientras los otros dos, son de post-producción.

² *Well Services*, cuya traducción al español es Servicios de pozos

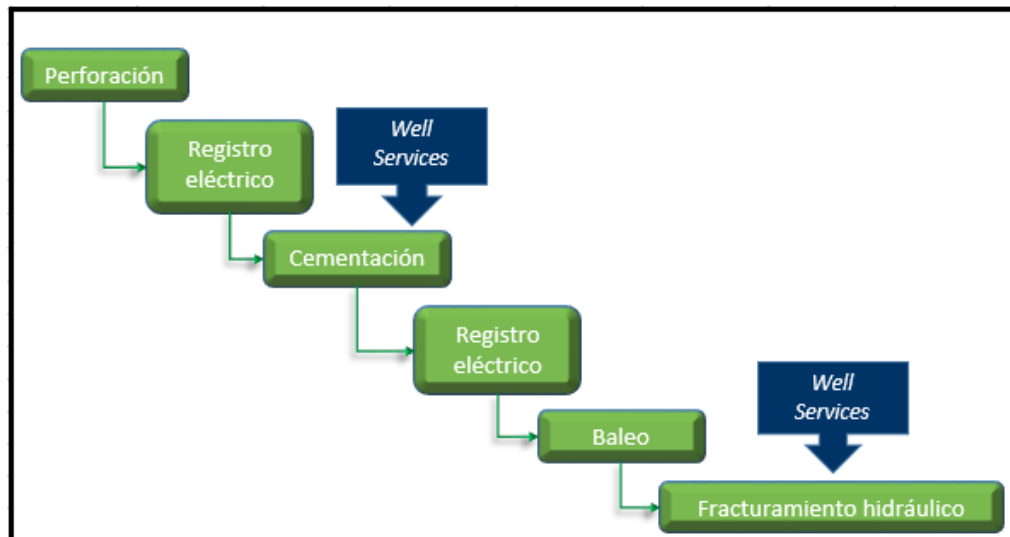


Figura 2. Proceso para la habilitación de un pozo petrolero (pre-producción).

Fuente: Elaboración propia.

Al contar con diferentes tipos de servicios dentro del segmento de WSV, existe una clasificación más detallada de estos, dividiéndose a su vez en sub-segmentos. Esto se debe a que los procedimientos operativos no son los mismos e inclusive, los equipos utilizados están especialmente diseñados para desempeñar un trabajo en particular.

En la Tabla 2, de doble entrada, se detallan los sub-segmentos que conforman WSV y el tipo de servicio que brindan.

Tabla 2. Servicios brindados por *Well Services*.

	Pre-producción	Post-producción
<i>Well Intervention Technologies (WIT)</i>	Cementación	
<i>Well Pumping Services (WPS)</i>	Fracturamiento	Estimulación
<i>Well Intervention Services (WIS)</i>		Limpieza y uso de herramientas de fondo

Fuente: Elaboración propia.

1.2.1. Cementación (*Well Integrity Technologies - WIT*)

Se denomina cementación debido a que sus trabajos se enfocan en el diseño e inyección de mezclas de cemento dentro del pozo para la generación de barreras robustas una vez hecha la perforación.

Procedimiento:

- 1) Después de haber realizado el registro eléctrico del pozo, se procede a la inserción de un *casing*³. Ésto se hace de tal manera que se generen espacios:
 - De manera longitudinal entre la superficie del pozo y el *casing*.
 - En el fondo de la perforación, permitiendo la libre circulación de fluidos.
- 2) Dependiendo de los resultados obtenidos en los registros, se empieza a elaborar un cemento especial, el cual es diseñado por el personal de laboratorio e ingeniería.
- 3) Habiendo logrado la mezcla indicada, se empieza con la inyección de ésta en la parte interior del *casing* (ver la Figura 3).

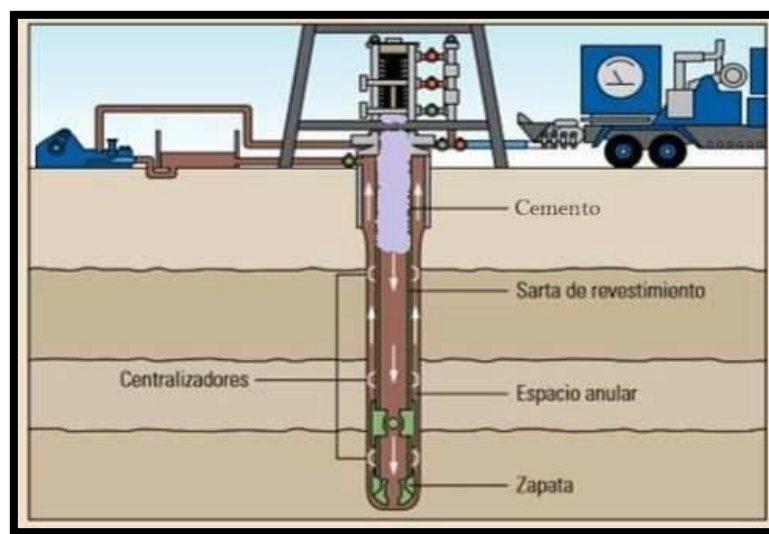


Figura 3. Proceso de cementación de pozo petrolero.

- 4) Después, se procede al desplazamiento del cemento hacia el espacio anular existente entre la superficie exterior del *casing* y las paredes del pozo. Esto se hace utilizando el equipo de cementación, dentro del cual resaltan los *plugs*⁴.
- 5) Una vez endurecido el cemento, se puede observar que se ha formado una suerte de tubería de cemento la cual le brinda rigidez al pozo y además lo protege de elementos externos que pueden perjudicar a la extracción del crudo.
- 6) Este proceso se repite cierto número de veces hasta que se llega al fondo del pozo. Se debe resaltar que los diámetros de *casing* son inversamente proporcionales a la profundidad que será colocado. Entonces es fácil inferir que en el fondo del pozo el *casing* es muy estrecho (ver la Figura 4).

³ Tubería metálica que sirve de molde y soporte para el cemento vertido dentro del pozo.

⁴ Son tapones de caucho que desplazan el cemento, siendo empujados por fluidos a alta presión.



Figura 4. Detalle del acabado de un trabajo de cementación.

1.2.2. Fractura (*Well Production Services - WPS*)

De manera análoga al anterior sub-segmento, éste recibe el nombre de Fractura; las cuales consisten en el bombeo de arena a alta presión para fracturar las paredes del pozo, generando agrietamientos por donde luego fluye el crudo. Este servicio es el último que se brinda antes que el pozo empiece con su producción.

Cabe resaltar que también se realizan bombeos de ácido, los cuales tienen como finalidad estimular o limpiar los agrietamientos hechos durante la fractura.

Procedimiento:

Para el fracturamiento hidráulico:

- 1) Luego de que se ha realizado el baleo⁵ del pozo, los orificios creados no son los suficientemente profundos para poder dejar pasar el crudo a través de ellos, por ende, es preciso expandirlos aún más por medio de un fracturamiento.
- 2) Dependiendo de la profundidad del pozo y la cantidad de arena que se debe bombear, se debe armar la tubería por donde se inyectará la arena, ésta va colocada al cabezal del pozo, y por último colocar las bombas para ejecutar el fracturamiento. En la Figura 5 se observa una operación de fracturamiento hidráulico de gran magnitud.
- 3) Teniendo todo preparado, se empieza con el bombeo a alta presión de la arena de fractura. Esta arena cumple dos funciones:
 - Dilatar los orificios dejados por el baleo, lo cual facilitará el paso del petróleo (ver la Figura 6).

⁵ Método que consiste en la detonación de explosivos para el disparo de proyectiles, los cuales hacen orificios en las paredes de cemento del pozo.

- Sirve de material de apuntalamiento, dado que no permite que colapsen las grietas originadas.



Figura 5. Operación de fracturamiento hidráulico.

Para otorgarle mucha más consistencia a la arena, ésta es combinada con otros aditivos químicos generando una especie de gel.

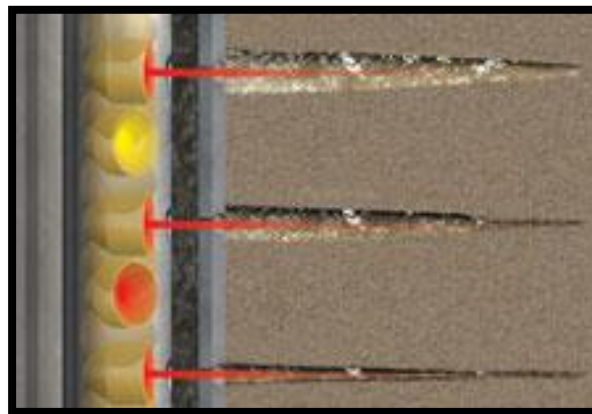


Figura 6. Fisuramiento de las paredes del pozo.

- 4) Un trabajo de fracturamiento suele contar con varias etapas de fractura, esto es, generar el agrietamiento del pozo a diferentes profundidades para así aumentar el flujo del petróleo a extraer. Es fácil inferir que, a más etapas, la presión y periodos de bombeo se incrementan (ver la Figura 7).

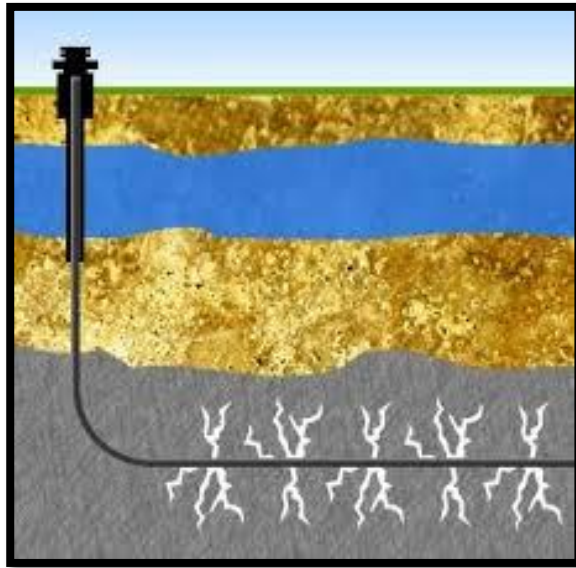


Figura 7. Múltiples etapas de fracturamiento en un pozo.

Para la estimulación del pozo:

Cuando el pozo se encuentra produciendo, con regularidad suele suceder que los conductos por donde fluye el petróleo se obstruyen, causado por algunas impurezas que quedan impregnadas en la arena.

- 1) Primero se prepara una mezcla de varios componentes químicos, la cual ha sido diseñada dependiendo de parámetros del pozo. Por lo general dicha mezcla está compuesta de potentes ácidos, como es el caso del ácido clorhídrico.
- 2) Después de esto se procede a bombear el ácido dentro del pozo. Con este bombeo, se comienza a limpiar la matriz de fracturamiento⁶, permitiendo el flujo normal del petróleo (ver la Figura 8).

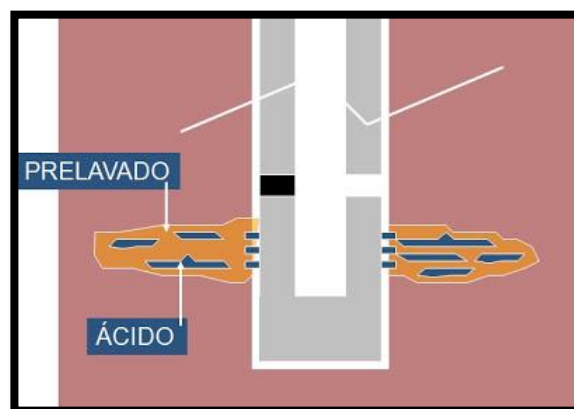


Figura 8. Inyección de ácido matricial.

⁶ Matriz de fracturamiento: Se llama así al conjunto de fracturas ejecutadas en diferentes etapas.

1.2.3. Tubería flexible (*Well Intervention Services* - WIS)

Este subsegmento también es conocido como *Coiled Tubing*⁷, debido a que se utiliza carretes de tubería de 1 a 3 pulgadas, la cual es introducida en los pozos petroleros para bombear líquidos o introducir herramientas de fondo para la limpieza del pozo.

Este servicio en especial cuenta con una gran ventaja frente a los demás tipos de intervenciones, esto es, puede trabajar en pozos que se encuentran produciendo. Por lo general, primero se debe de “matar” al pozo para poder intervenirlo, mientras el servicio de *Coiled Tubing* ingresa de manera directa a trabajar sobre la locación.

Trabajos ejecutados:

- Bombeo de fluidos (ácido o nitrógeno).
- Cementación de pozos.
- Cañoneo y fracturamiento de pozos.
- Perforación.
- Registros de pozo.
- Limpieza de pozos.

Procedimiento de montaje:

- 1) Primero se procede a la instalación de la válvula BOP⁸ en el cabezal del pozo, ésta es una válvula de seguridad en caso se produzca una emergencia o se des controle el pozo. La BOP tiene la capacidad de sellar el pozo.
- 2) Posicionándola por encima de la BOP se coloca la cabeza inyectora, la cual consiste en un conjunto de motores hidráulicos que insertan la tubería en el pozo (ver la Figura 9).
- 3) Se procede a desenrollar la tubería, pasando por un “cuello de ganso” para luego introducirse en la cabeza inyectora. Una vez acoplado todo este sistema se empieza a introducir los diferentes accesorios para ejecutar la amplia gama de trabajos que puede desarrollar la tubería flexible.
- 4) El seguimiento del trabajo se hace a través de la cabina de control, donde se verifican los parámetros y obtienen la data generada a lo largo de la operación.

1.3. Equipos utilizados en *Well Services*

1.3.1. Maquinaria pesada

El segmento de *Well Services*, al dedicarse a la prestación de servicios a pozos petroleros, cuenta con maquinaria especialmente diseñada para desempeñar dichas labores de manera correcta y eficiente. Por lo general, Schlumberger se caracteriza por el diseño e innovación con la implementación de nuevas tecnologías en sus equipos.

⁷ Traducido al español como Tubería flexible o Tubería enrollada.

⁸ *Blow Out Preventer*, traducido al español es Preventora de explosiones.

A continuación, se presentarán algunas clasificaciones que se pueden aplicar a las unidades del segmento:

A. Modo de transporte

- a. Tráiler: Son aquellas unidades que se pueden movilizar de manera independiente, sin la necesidad de acoplarse a un cabezal ya que éste se encuentra integrado (ver la Figura 10). Son especialmente utilizadas para las operaciones *on shore*⁹.

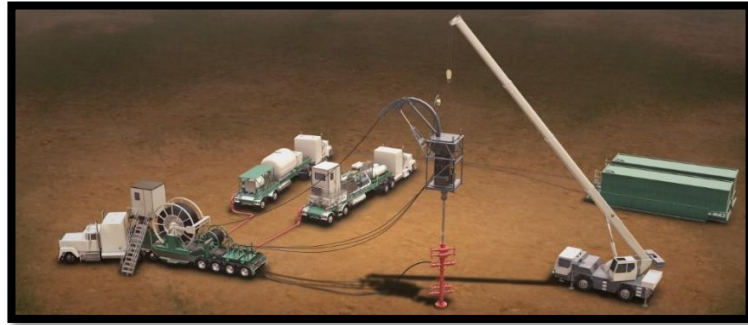


Figura 9. Disposición de equipos en una operación de *Coiled Tubing*.



Figura 10. Unidad móvil de cementación.

- b. Carretas o “flotantes”: Reciben este nombre porque necesitan de un tractor para poder movilizarse y, al estar desacoplada de éste, parece que estuvieran “flotando” (ver la Figura 11). Solo son usadas en operaciones terrestres.



Figura 11. Bomba de cementación.

⁹ Nombre que reciben aquellas operaciones que se desarrollan costa adentro.

- c. Skid: Estas unidades han sido especialmente diseñadas para trabajar en locaciones remotas, tales como la selva y ultramar. Pueden trabajar de manera aislada o en comunión con otros *skids* para formar una unidad completa. Su ventaja reside a que son compactas y pueden ser izadas fácilmente.

B. Función

- a. Unidades de bombeo: Estas son las encargadas de la inyección de los fluidos dentro del pozo. Se les llama así porque las bombas siempre se encuentran acopladas a motores industriales, los cuales se encargan de brindar la energía (ver la Figura 12). Se les puede catalogar como las unidades más importantes dentro de una operación.



Figura 12. Bomba de fracturamiento.

- b. Transporte de material: Sirven para movilizar el material que se utiliza en las operaciones. Por lo general transportan cemento, arena, agua, ácidos, etc.
- c. Mezcladores: Teniendo el material en la locación y las bombas listas para operar, se realiza la mezcla de los materiales para poder inyectarlos en el pozo. Estos mezcladores (ver la Figura 13) se encargan de combinarlos de manera exacta para así lograr propiedades deseadas según cada diseño de pozo.
- d. Misceláneos: Se consideran así a las unidades de soporte en la operación, esto no quiere decir que sean menos importantes, pero pueden ser usadas o no.



Figura 13. Unidad de mezcla de arena y gel.

C. Equipos especiales

Si algo resalta a la maquinaria pesada de *Well Services*, es su tamaño. No es tan grande como la empleada en el campo de la minería, pero lo suficiente como para llamar la atención. Además, cuenta con elementos especialmente diseñados para lograr un buen performance en una operación.

- a. Bombas de desplazamiento positivo: Al bombear fluidos de densidad diferente a la del agua y que son más corrosivos que ésta, se debe de contar con dispositivos capaces de otorgar grandes cantidades de potencia en forma de presión a estos fluidos. Tener en cuenta que algunas veces están expuestas a largos periodos de bombeo, razón por la cual son de apariencia robusta ya que deben soportar grandes esfuerzos durante su trabajo.
- b. Motores industriales: Para poder otorgar grandes cantidades de potencia es necesario contar con equipos motrices del tipo industrial. Estos son motores estacionarios (ver la Figura 14) y van conectados directamente a la bomba de desplazamiento positivo mediante una transmisión, la cual selecciona marchas para así adecuar la potencia debida a la bomba.

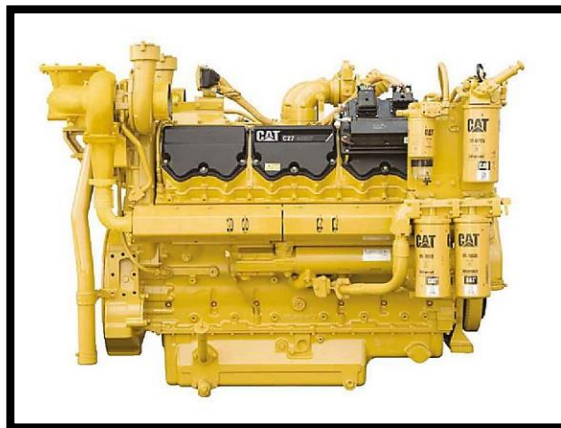


Figura 14. Motor industrial Caterpillar modelo 3512.

1.3.2. Línea de tratamiento

Para poder inyectar fluidos a altas presiones y durante largos periodos de bombeo, es necesario instalar tubería con propiedades especiales para este tipo de condiciones. Dicha tubería o línea de tratamiento va instalada desde la descarga de las bombas hasta el cabezal del pozo.

Además, para cada tipo de operación en particular se debe contemplar el calibre de la tubería. Esto es:

- Tubería de 2 pulgadas: Utilizada para los trabajos de bombeo de cemento.
- Tubería de 3 pulgadas: Es instalada para trabajos de fracturamiento hidráulico.

La variación de los diámetros se debe a los diferentes rangos de presión utilizados.

En la Tabla 3 se puede observar algunos implementos que conforman el ensamblaje en una línea de tratamiento.

Tabla 3. Elementos pertenecientes a la línea de tratamiento

Válvulas	Son utilizadas para controlar el flujo del material hacia el interior del pozo. Pueden colocarse varias en conjunto para formar un bypass, por ejemplo.	
Conexiones móviles	La línea de tratamiento se caracteriza por no ser rígida, esta movilidad es brindada por las uniones articuladas.	
Conexiones de golpe	Al someterse a altas presiones, es necesario aplicar un mayor torque para el ajuste de las uniones y conseguir sellos más herméticos.	
Tubería	Esta es la típica tubería rígida que le otorga longitud a todo el ensamblaje.	
Tijeras	Éste es un arreglo de tubería usado tanto en fractura como en cemento.	

Fuente: Elaboración propia.

1.3.3. Equipo de control de presión (PCE¹⁰)

Estos son equipos de seguridad, que se colocan en los cabezales de pozo para proteger a la locación de sobrepresiones que pudiesen generarse en éste. No es muy frecuente que ocurra esto, pero se han documentado casos en donde las altas presiones liberadas han causado numerosas muertes, como la tragedia ocurrida en el pozo de Macondo (ver la Figura 15).



Figura 15. Desastre por sobrepresión en el Golfo de México.

¹⁰ *Pressure control equipment*, cuya traducción al español es Equipo de control de presión.

La BOP (ver la Figura 16) es un equipo que sirve para controlar y monitorear el comportamiento de los pozos de petróleo y gas. A través del uso de cerraduras hidráulicas. Puede soportar grandes presiones y así sellar un yacimiento petrolero de manera definitiva o temporal.



Figura 16. Válvula preventora instalada en locación.

El uso es más frecuente en las operaciones de WIS, ya que la tubería flexible ingresa a través de la BOP en el pozo para realizar trabajos, mientras el pozo se encuentra en plena producción, lo cual incrementa el riesgo durante la operación.

Capítulo 2

Departamento de mantenimiento

Luego de haber expuesto en el capítulo anterior cuál es el campo de acción tanto de Schlumberger como de *Well Services* dentro de las operaciones petroleras, se procede en este capítulo a exponer la estructura del departamento de mantenimiento, llamado *Technology Lifecycle Management* (TLM). El cual es una división reciente dentro de la transformación organizacional por la que está pasando Schlumberger.

Además, se detallarán los estándares de mantenimiento, los cuales dictaminan de manera concreta el funcionamiento del TLM, abarcando desde el planeamiento de labores hasta la ejecución plena de éstas. Por otra parte, se deja en claro que estos lineamientos serán expuestos de manera general, dado que cierta información que los conforman se considera confidencial por parte de la compañía.

2.1. Área de mantenimiento: *Technology Lifecycle Management* (TLM)

El funcionamiento y constitución de un departamento de mantenimiento en una industria es de fundamental importancia. Siendo éste el responsable directo de garantizar el correcto desempeño de los equipos que otorgan el valor agregado a la producción y por otro lado, el de asegurar la continuidad de las operaciones en la medida que sea posible.

Siendo Schlumberger una empresa con presencia internacional, presenta algunos puntos a considerar además del mantenimiento como tal:

- Rastreo y control de la gran cantidad de activos distribuidos en diferentes locaciones alrededor del mundo.
- Supervisión tanto del personal técnico como de la ejecución de sus labores
- Aplicación y evaluación de los diferentes procesos que conforman la estructura de la compañía y el área.

Por lo anterior, no solo basta con la implementación de programas típicos¹¹ de mantenimiento, sino de la combinación de diferentes estrategias que abarquen los múltiples aspectos a controlar (ver la Figura 17).

¹¹ En alusión a los mantenimientos correctivo, preventivo y predictivo.

Es por ello que surge el *Technology Lifecycle Management* como solución conjunta, teniendo como principal objetivo prolongar el tiempo de vida de los equipos utilizando diversos recursos tecnológicos, ingenieriles y de gestión, para así optimizar el beneficio obtenido de los recursos dispuestos por la compañía.

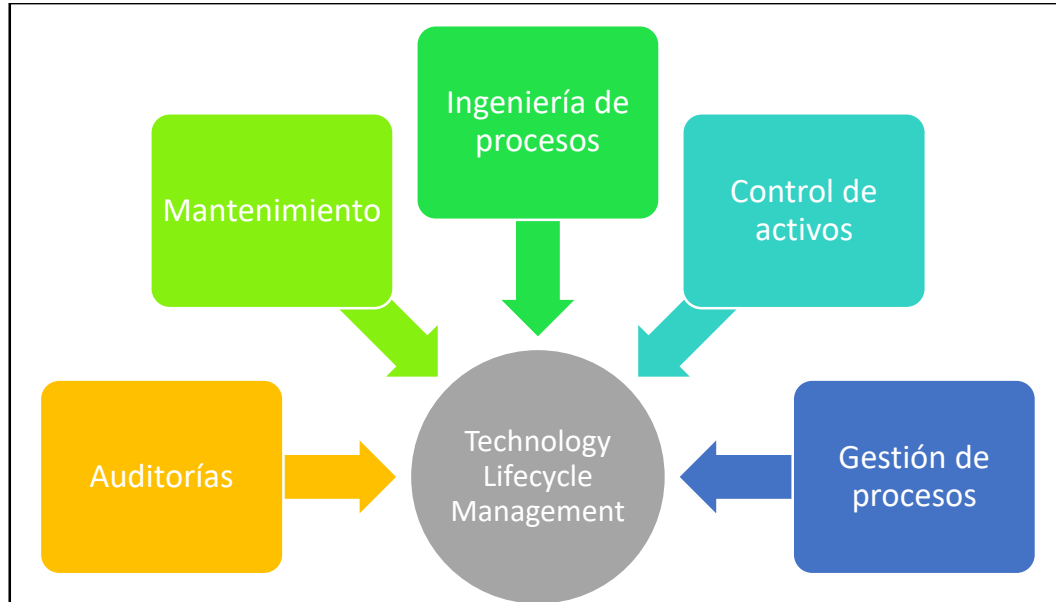


Figura 17. Componentes del *Technology Lifecycle Management*.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se detalla de manera general la composición del TLM:

a) Auditorías

Éstas se realizan de manera periódica en las locaciones de mantenimiento con el fin de asegurar la correcta aplicación de las políticas de la compañía y así, mantener los niveles de calidad.

b) Mantenimiento

Es el núcleo del TLM, donde se contemplan las tareas de mantenimiento y reparaciones como tal.

En el estándar 03 se detallan los nexos de interacción de este componente con los otros que conforman el TLM.

Schlumberger en primera instancia, establece programas de mantenimiento del tipo preventivo a todas las unidades de *Well Services*, dotando con las herramientas necesarias para ejecutarlo. Sin embargo, promueve la implementación de mantenimientos del tipo predictivo, siendo éste un objetivo a largo plazo propuesto por el área.

c) Ingeniería de procesos

Con el fin de obtener un diagnóstico realista del funcionamiento del TLM, se emplean herramientas de control de calidad, las cuales se aplican a través de pruebas de campo enfocadas tanto al personal técnico como a los equipos.

De esta manera, se combinan métodos de ingeniería y parámetros técnicos que permiten cuantificar y cualificar el desenvolvimiento del departamento de mantenimiento.

d) Control de activos

Para esto, es necesario determinar el estado operativo y la ubicación en tiempo real del activo.

Mediante un código único de identificación, se puede acceder al historial de mantenimiento y la ubicación actual del equipo en cuestión. Esto es muy útil durante la transferencia internacional de unidades.

e) Gestión de procesos

Al tener una ordenada estructura administrativa, es necesario seguir diferentes flujos procesales como:

- Compra de materiales.
- Exportación e importación de equipos.
- Intervenciones extraordinarias a los equipos.
- Servicios brindados por terceros.

Éstos sirven de soporte para la obtención de recursos útiles en las labores de mantenimiento.

2.2. Estándar 03: El mantenimiento en SLB, políticas y procesos

Dentro de todos los estándares que posee Schlumberger, existe uno netamente enfocado al área de mantenimiento. Éste sirve como guía de consulta ante cualquier duda que pueda surgir sobre la correcta aplicación de algún procedimiento. Inclusive, todo el personal del TLM se encuentra en la obligación de leerlo y rendir un pequeño *test* de evaluación.

2.2.1. Mantenimiento de unidades

El tipo de mantenimiento que Schlumberger propone y brinda los medios necesarios para su aplicación, es el preventivo. El cual, de ejecutarse de manera correcta y eficiente puede servir como una base concisa para la instauración de programas de mantenimiento del tipo predictivo. Inclusive, lo último se evidencia en la recomendación que hace el estándar para el uso de herramientas de diagnóstico en los equipos.

Es por esto que el TLM hace uso del STEM¹², el cual es un formato escrito que sirve como guía de procedimientos de evaluación y que varía dependiendo del equipo a inspeccionar. En la Tabla 4 se puede observar las diferencias existentes entre algunos de los requerimientos que aparecen en el STEM de una cama baja y un sistema de compresión.

¹² Abreviatura de *Standard Equipment Maintenance*.

Tabla 4. Actividades a tratar en un STEM

Cama baja	Sistema de compresión
1. Inspección visual de los tanques de aire.	1. Revisión de filtros y bandas del motor.
2. Revisión integral de frenos.	2. Niveles de aceite.
3. Prueba funcional de luces del chasis: retroceso y direccionales.	3. Manómetros operativos.
4. Conexiones de aire: servicio y emergencia.	4. Carga de las baterías.
5. Inspección de los brazos de apoyo.	5. Inspección visual del tanque de aire.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se detallan los diferentes tipos de STEM existentes:

a) STEM I:

Realizado por el operador antes y después de la operación de un equipo. Luego, el formato debe ser entregado al área de mantenimiento para notificar lo encontrado y programar su reparación durante una futura intervención de la unidad.

En caso se detecte un desperfecto que pueda devenir en una falla funcional, se procede a comunicar al supervisor de mantenimiento para que tome las acciones necesarias.

b) STEM II:

Efectuado por el personal de mantenimiento. Aquí se reparan todos aquellos desperfectos que se notificaron durante el STEM I y que no ponían en riesgo la operación.

También se aprovecha esta intervención para el cambio de elementos de poca duración (filtros, bandas, lubricantes, etc.) que pudiesen afectar el desempeño del equipo.

La frecuencia de aplicación del STEM II viene dada por los siguientes indicadores:

- Horas de motor: 400 horas de trabajo.
- Tiempo: 180 días calendario.
- Kilometraje: 10000 kilómetros recorridos.

Tan solo es necesario el cumplimiento de uno de estos tres indicadores para su ejecución.

c) STEM III:

Esta intervención contempla generalmente todo lo concerniente a inspecciones y certificaciones anuales de sistemas y elementos auxiliares de la unidad como: puntos de izaje, tanques de aire, etc.

Su frecuencia de aplicación es de un año calendario, la cual es inamovible.

Los siguientes ejemplos permitirán tener una noción más clara de cómo funcionan en conjunto:

i. Ejemplo 1:

Una bomba de cementación se mantiene en base por año y medio sin haber entrado en funcionamiento.

Tiempo transcurrido: 540 días/1.5 años/3 semestres

Trabajos en pozo: 0 trabajos.

Con esto se puede deducir que las intervenciones se verán influenciadas de manera directa por el tiempo por el cual la unidad se mantiene inoperativa. En la Tabla 5 se muestran los resultados:

Tabla 5. Resultados del Ejemplo 1.

Intervenciones					
STEM I	0	STEM II	3	STEM III	1

Fuente: Elaboración propia.

ii. Ejemplo 2:

Una bomba de fractura ha estado en funcionamiento por un año en 42 pozos petroleros. Además, se indica que el motor de la bomba ha trabajado 1217 horas.

Tiempo transcurrido: 360 días.

Horas de motor: 1217 horas.

Trabajos en pozo: 42 trabajos.

Para la determinación de los STEM por aplicar se siguen los siguientes criterios y se condensan en la Tabla 6:

- STEM III: Ha transcurrido un año calendario desde su última intervención.
- STEM II: El parámetro a tomar en cuenta son las horas del motor, dado que éste ha estado en continuo funcionamiento. Contando con casi 3 periodos de 400 horas.
- STEM I: Dado que son inspecciones antes y después de un trabajo, la cantidad de estos es el doble de los trabajos realizados en pozo.

Tabla 6. Resultados del Ejemplo 2.

Intervenciones					
STEM I	84	STEM II	3	STEM III	1

Fuente: Elaboración propia.

Analizando ambos ejemplos, se puede inferir que, durante una subida de la actividad petrolera, las unidades entrando al taller con mayor frecuencia para la aplicación de sus respectivos mantenimientos.

Clasificación de unidades

El planeamiento y ejecución del mantenimiento de los equipos de *Well Services* se encuentra a cargo del TLM. Sin embargo, debido a la cantidad de unidades y la carga laboral que éstos representan, hay tareas que son

distribuidas entre el personal de la empresa. A continuación se indicará la categorización que el estándar hace para la delegación de labores:

- a. Categoría 1: Son aquellos equipos que cuentan tanto con componentes mecánicos como electrónicos y cuyo mantenimiento es responsabilidad exclusiva del TLM.
- b. Categoría 2: La reparación y mantenimiento de estas unidades están adjudicadas al personal de operaciones, ya que no se requiere de entrenamiento especializado para ser ejecutadas. Las unidades que están dentro de esta categoría son: silos, botellas de corte y tanques de agua.
- c. Categoría 3: Denominadas así a las herramientas de fondo usadas en *Coiled Tubing*.

2.2.2. Modelos de mantenimiento

Dentro de una industria, existen diversos tipos de equipos que desempeñan diferentes funciones, las cuales les otorgan cierto nivel de criticidad dentro del proceso. Entonces, se desprende que no todos los equipos necesitan el mismo trato o en este caso, tipo de mantenimiento.

Es por ello que se debe de hacer una mezcla de los diferentes tipos de mantenimiento, de tal manera que éstos se adecuen a las necesidades que cada máquina presenta, tal como indica *García (2003)*.

A. Modelo correctivo

Enfocado en equipos prescindibles o de baja criticidad, cuyas fallas funcionales no representan pérdidas para la operación ni obstruyen el correcto desarrollo de la misma.

Se denomina correctivo ya que solo se aplican reparaciones reactivas.

Consiste en:

- Lubricación.
- Inspecciones visuales.
- Reparaciones reactivas.

B. Modelo condicional

En las unidades que poseen este modelo de mantenimiento, se realizan pruebas funcionales para la determinación de posibles problemas. El equipo es intervenido de evidenciarse una falla, caso contrario, se mantiene intacto.

Es usado frecuentemente en equipos con alta confiabilidad.

Consiste en:

- Lubricación.
- Inspecciones visuales.
- Reparaciones reactivas.
- Mantenimiento condicional.

C. Modelo sistemático

Se contemplan intervenciones de periodicidad variable y sin tomar en cuenta el estado del equipo. No se espera a que surja un fallo para poder actuar, en cambio, trata de disminuir en lo posible la ocurrencia de éstos.

Aquí se evalúa la unidad para cerciorarse de que no necesita reparaciones más minuciosas, en caso se requiera, se debe de notificar su intervención.

Está enfocado en equipos cuya falla puede perjudicar de manera severa el proceso u operación en la cual está involucrado.

Consiste en:

- Lubricación.
- Inspecciones visuales.
- Reparaciones reactivas.
- Mantenimiento sistemático.

D. Modelo de alta disponibilidad

Es considerado uno de los más exigentes, ya que no permite avería alguna.

Dentro de las labores ejecutadas, la mayoría es conformada por tareas del tipo predictivo para poder así eliminar la aparición de alguna falla inesperada. Aquí el mantenimiento correctivo no tiene cabida.

Es aplicado en industrias que manejan equipos de alto riesgo y que cualquier detención de su funcionamiento representa grandes pérdidas económicas, este es el caso de los reactores nucleares, aerolíneas, turbinas de generación eléctrica, etc.

Consiste en:

- Lubricación.
- Inspecciones visuales.
- Mantenimiento condicional.
- Mantenimiento sistemático.
- Mantenimientos de puesta a cero periódicos.

Teniendo en claro algunos modelos de mantenimiento, se puede identificar cuáles de ellos son aplicados por el TLM y de qué manera son implementados. Para este fin se deben de analizar la ejecución de cada STEM.

De la Tabla 7, se desprenden las siguientes conclusiones:

- Los modelos predominantes en el área de mantenimiento de *Well Services* son el condicional y sistemático.
- Cuando los equipos se encuentran en campañas extensas de operaciones, el STEM II es el mantenimiento más frecuente y exhaustivo, debido a que sus indicadores de activación se basan en parámetros ligados a las horas de trabajo.
- Si los equipos se mantienen en base por periodos prolongados, el único modelo que se debe aplicar es el condicional. Al evaluar si las fallas detectadas merecen o no ser reparadas, optimiza en cierta manera el uso de los recursos disponibles.
- Se podría decir que el STEM I tiene tanto del modelo condicional como sistemático. Sin embargo se decidió adjudicarle el condicional, ya que se realizan pruebas funcionales para la detección de anomalías y acorde a esto, intervenir al equipo.

Tabla 7. Modelos de mantenimiento aplicados en el TLM.

Modelos de mantenimiento	Procesos de mantenimiento en WSV	Acciones comprendidas
Condicional	STEM I	_ Los operadores inspeccionan la unidad. _ Se ejecutan pruebas de funcionamiento. En caso se encuentre alguna falla grave, se toman medidas correctivas.
Sistemático	STEM II	_ Se aplica según el vencimiento de algún parámetro, los cuales son variables. _ Cambio de aceites, filtros y otros elementos sin importar su estado. _ Búsqueda de intervenciones mayores.
Condicional	STEM III	_ Certificaciones anuales (puntos de izaje, cordones de soldadura, king pin, etc.) _ Evaluación de motores. _ Búsqueda de intervenciones mayores.

Fuente: Elaboración propia.

Por último, se debe acotar que el modelo sistemático y condicional, son considerados como mantenimientos del tipo preventivo, pues tratan de disminuir la probabilidad de ocurrencia de cualquier falla.

2.2.3. Flujo matriz para las unidades de *Well Services*

Luego de haber detallado los diferentes tipos de mantenimientos y cómo están distribuidas las responsabilidades dentro del área del TLM, es necesario condensar todos los procesos que lo conforman en uno solo, un flujo matriz. Éste, debe tener un enfoque general y contemplar aquellas actividades que se consideren tanto comunes como fundamentales en todos los procesos.

Como paso previo, se analizan los flujogramas de las labores ejecutadas en el área, conforme a lo establecido en el estándar 03 (ver Apéndices), para lo cual se toman labores como:

- STEM I,
- STEM II,
- STEM III e
- Inspección de línea de tratamiento.

Luego, se determinan las etapas que tengan en común y que se puedan sintetizar en una más generales.

A continuación se indican algunas etapas sintetizadas:

a. Evaluación, etiquetado y creación de orden de trabajo

Antes de comenzar con cualquier tipo de intervención, se revisa el estado actual del equipo y las hojas de inspecciones anteriores en búsqueda de tareas pendientes (DR¹³). Dependiendo de la evaluación hecha, se procede a colocar una tarjeta roja si la unidad está inoperativa o necesita de mantenimiento, caso contrario, una tarjeta verde.

b. Mantenimiento básico

Ejecución de tareas básicas como inspecciones visuales y lubricación, forman parte de esta etapa.

c. Mantenimiento avanzado

En caso se encontrase alguna falla funcional u otra que la provoque, se aplican medidas correctivas o preventivas por parte del supervisor de mantenimiento, ejecutándolas mediante el personal técnico.

d. Vencimiento de línea de tratamiento

Durante la inspección de los equipos, se verifica la fecha de vencimiento de la certificación de la línea de tratamiento que éstos utilizan durante las operaciones.

e. Prueba funcional

Es de carácter mandatorio que todo equipo o pieza deba ser sometida a una prueba de operatividad luego de haber concluido su mantenimiento.

En el caso del STEM III, se ejecuta una prueba que lleva a la máquina a operar en sus parámetros nominales, para de esta manera ver en cuánto ha decaído su eficiencia.

Para concluir, se confecciona el flujograma matriz para el área del TLM como se ve en la Figura 18.

2.3. Estándar 04: Certificaciones de puntos de izaje y equipos de presión

Dentro de las inspecciones anuales necesarias durante la ejecución de los mantenimientos programados, en especial el STEM III, se encuentran las certificaciones de los puntos de izaje y de los elementos de presión que son utilizados en algunas unidades.

A. Inspección de puntos de izaje:

Estas inspecciones se aplican solo a las unidades en *skid*.

Por lo general su cantidad y ubicación depende de la carga que la estructura debe de soportar durante su izamiento.

De manera específica se evalúa:

¹³ *Deficient report*, cuya traducción es Reporte de deficiencia.

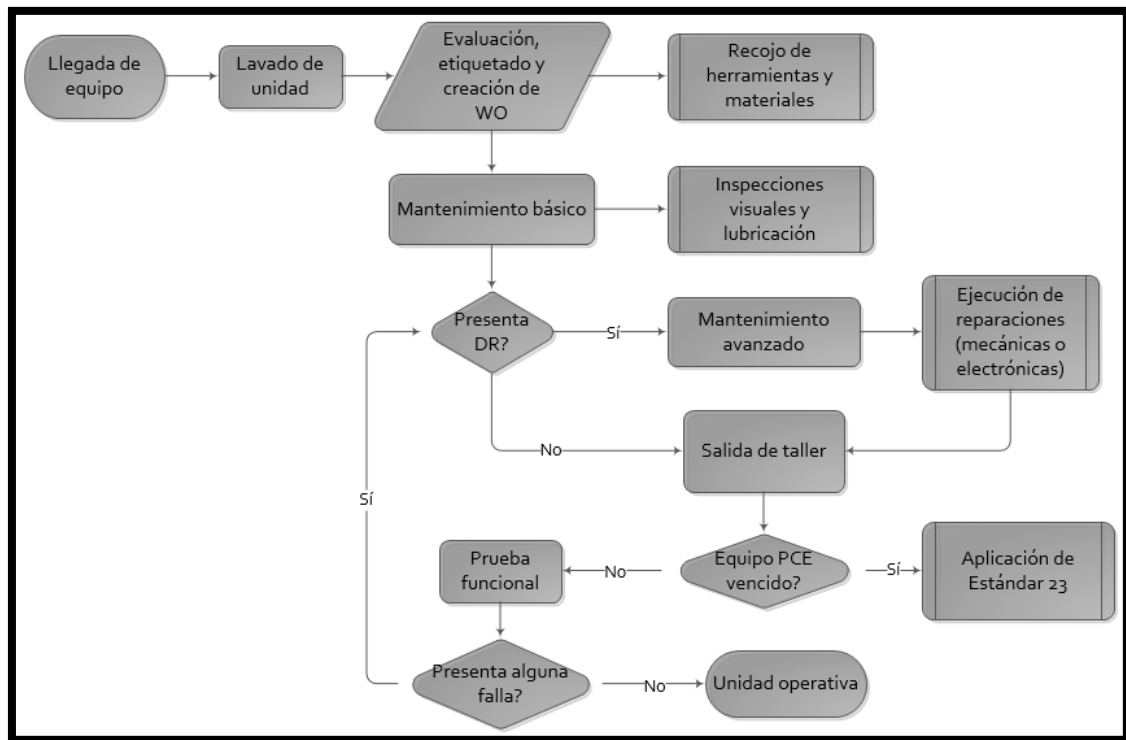


Figura 18. Flujo matriz para el área del TLM.

Fuente: Elaboración propia.

De manera específica se evalúa:

- Cordones de soldadura: se verifica la integridad del cordón de soldadura que une el punto de izaje y la estructura, en busca de agrietamientos o desprendimientos.
- Orificio de sujeción: al ser el elemento que recibe de manera directa el esfuerzo al ejecutarse el levantamiento, puede presentar fisuras, deformaciones o roturas.

Para este fin, los inspectores utilizan tintes penetrantes y partículas magnéticas, los cuales revelan alguna anomalía presente en la superficie en evaluación.

B. Elementos de presión:

El segmento de *Well Services* tiene equipos que utilizan fluidos comprimidos para su correcto desempeño. En particular, WIT (cementación) utiliza aire a altas presiones para poder transferir grandes cantidades de cemento desde sus depósitos hacia las unidades de transporte.

2.4. Estándar 07: Manejo de equipos eléctricos y electrónicos

Por lo general, está compuesto por guías de procedimientos de las diversas labores de mantenimiento ejecutadas, razón por la cual estas son llamadas “Instrucciones estándares de trabajo”.

A continuación se indicarán dos procedimientos básicos de todos los que se contemplan en este estándar:

I. Mantenimiento y manipulación de baterías:

Las unidades de *Well Services* cuentan con sistemas eléctricos que suministran energía para el arranque de motores, luminarias y computadores. Dichos sistemas son alimentados por una o dos baterías eléctricas, dependiendo de la carga necesaria.

II. Mantenimiento de tarjetas electrónicas:

Aquellas unidades que poseen sistemas electrónicos de registro, tienen una alta cantidad de tarjetas de adquisición de datos instaladas, cada una para cumplir una función independiente. Estas tarjetas son muy frágiles y sensibles a cambios externos, por ende el técnico electrónico debe trabajar bajo ciertas condiciones especiales como: aislamiento eléctrico, uso de puestas a tierra, entre otros. En este estándar se brindan procedimientos detallados del desmontaje, reparación y montaje de estas tarjetas.

2.5. Estándar 13: Levantamiento mecánico

Dentro de la diversidad de labores realizadas en *Well Services*, el levantamiento mecánico representa una de las tareas con mayor frecuencia de ejecución por parte del personal que conforma el segmento.

Se da tanto en intervenciones de mantenimiento (ejemplo, izamiento de motores industriales) como en la logística operacional de pozo, siempre utilizando los elementos de izaje adecuados (ver la Figura 19).

Inclusive, Schlumberger brinda además un entrenamiento para la supervisión y dirección de dichas labores, contándose así con personal especialista en levantamientos mecánicos.



Figura 19. Diferentes elementos de izaje.

Fuente: Elaboración propia.

2.6. Estándar 23: Inspección de línea de tratamiento y afines

El segmento de *Well Services*, para realizar trabajos de bombeo de diversos fluidos dentro de pozos petroleros, cuenta con conexiones especiales que van desde las bombas hasta la entrada del pozo, expuestas a altas presiones¹⁴ de trabajo. Dichas conexiones consisten en tuberías y accesorios de acero, los cuales pueden disponerse de diferentes formas¹⁵ para intervenir el pozo.

Al ser expuestas a severas condiciones de trabajo, presentan desgastes en su integridad y variaciones en sus propiedades mecánicas, como la hermeticidad de sus sellos. Razón por la cual es de vital importancia la aplicación de mantenimiento a estas piezas, para prolongar su tiempo de servicio.

Este estándar se enfoca de manera estricta en las labores de mantenimiento concerniente a la línea de tratamiento y las conexiones que van en la boca¹⁶ del pozo.

Se indican por ello los siguientes procedimientos:

- Montaje y desmontaje de piezas.
- Reparación de piezas.
- Medición de espesores.
- Pruebas de presión.
- Limpieza y pintado.

En caso el elemento inspeccionado presente alguna anomalía (evidencias de corrosión severa) o sea rechazado durante las pruebas de rutina, deberá ser desechado de manera definitiva, porque durante las operaciones en pozo se convertirá en una pieza altamente crítica y una falla por suparte puede ocasionar lesiones u otros daños.

Línea de tratamiento y accesorios:

- A. Piezas móviles: Son aquellas conexiones articuladas que confieren flexibilidad a los diferentes arreglos de tubería (ver la Figura 20). Esto se debe a que poseen uniones con pistas en donde se colocan esferas metálicas, que actúan como rodamientos de alta hermeticidad. Dependiendo del número de giros y de los tipos de rosca, se pueden tener diferentes tipos de articulaciones.
- B. Piezas rígidas: Son tuberías como tal, las cuales otorgan longitud al tendido de línea. Por ende, son de mucho mayor longitud que las piezas móviles. Se diferencian entre ellas por las conexiones de sus roscas.
- C. Válvulas: Utilizadas para controlar el paso de fluido a través de las tuberías (ver la Figura 21). Dependiendo del diámetro de la tubería a la cual esta acoplada, sus conexiones pueden variar.

¹⁴ Las presiones máximas de bombeo bordean los 15000 psi.

¹⁵ Comúnmente llamado *tendido de línea*.

¹⁶ Entrada del pozo o borde superior del *casing*.

Dentro de estos accesorios existe la válvula de estrangulamiento, la cual es usada para las pruebas de potencia o HHP¹⁷.

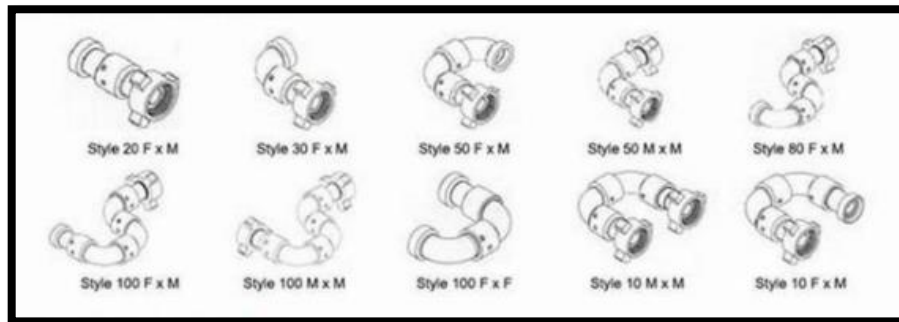


Figura 20. Modelos de articulaciones.

Tareas de inspección:

- A. Limpieza: Las tareas de mantenimiento comienzan con la limpieza general de la pieza.

Para esto se utilizan escobillas de acero para eliminar todos los rastros de químicos sedimentados en el interior de la tubería. Además de esto, se debe de remover las capas de pintura y óxido que presenten en su superficie, con el fin de prepararlas para las pruebas de ultrasonido.

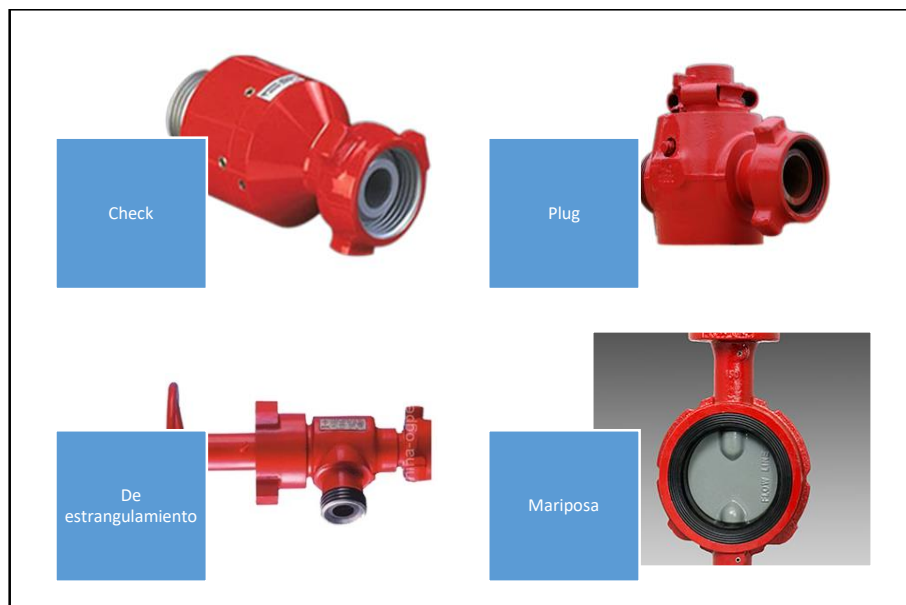


Figura 21. Tipos de válvula.

Fuente: Elaboración propia.

- B. Medición de espesores: Todas las piezas de acero soportan fluidos muy corrosivos que circulan a altas presiones, los cuales provocan el desprendimiento progresivo de material hasta el punto que la línea de tratamiento queda debilitada.

¹⁷ Hydraulic horse power, cuya traducción al español es Caballos de fuerza hidráulicos.

El mayor desgaste se presenta cuando ocurre el fenómeno de cavitación, dado que las burbujas de aire golpean el interior de las piezas con tal fuerza que empieza a erosionar la superficie de contacto.

Por ello es necesario aplicar pruebas de ultrasonido a la línea de tratamiento para determinar su estado actual y evaluar su operatividad.

Dentro del estándar 23 se detallan tablas de tolerancia de espesores, las cuales dependen de la pieza en inspección, como también los puntos en los que deben ser tomadas las lecturas (ver la Figura 22).

Aparte del ultrasonido, también se realizan pruebas de partículas magnéticas para detectar posibles fisuramientos. Esto se hace en caso el inspector crea conveniente.

C. Reparación de piezas: Estas son aplicables solo a las piezas móviles y cabezas de cementación. Dichas reparaciones consisten en:

- Cambio de retenes y sellos de alta presión.
- Cambio de rodamientos en uniones móviles.
- Engrasado de uniones.

Estas reparaciones sólo son ejecutadas por el inspector, quien debe de seguir procedimientos estipulados en el estándar.

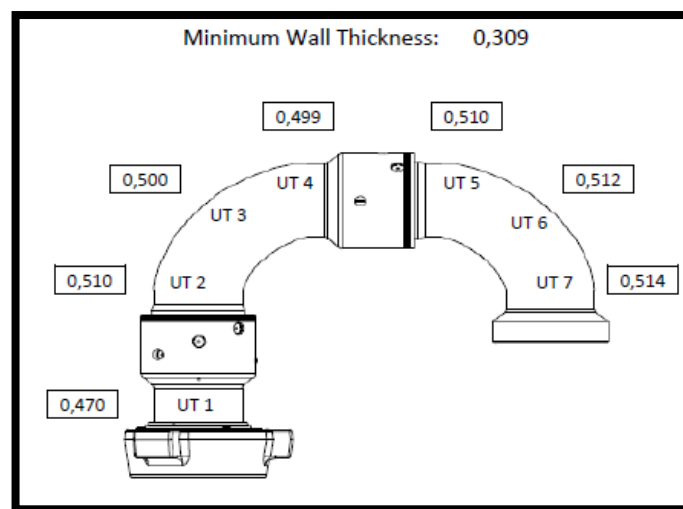


Figura 22. Medidas de espesor de paredes con ultrasonido.

D. Pruebas de presión: Esta prueba es realizada en una bahía de presión, en donde las piezas son colocadas en un banco de pruebas y sometidas a diferentes presiones. En caso ésta presente fugas durante su evaluación, es rechazada y marcada para luego ser destruida.

Las piezas que superan esta prueba se encuentran prácticamente listas para ser usadas en la operación.

El periodo para realizar las tareas de inspección y mantenimiento es de un año calendario. En caso se tenga tubería vencida¹⁸ y ésta necesite ser usada con urgencia, se solicitará un permiso especial en el cual se asuma la responsabilidad, dado que no existen garantías de su funcionalidad por parte del área de mantenimiento.

¹⁸ Certificación de estándar 23 caducada.

Capítulo 3

Diseño de los talleres de mantenimiento basado en la optimización de procesos

La primera impresión al observar un taller de mantenimiento industrial, es la variedad de herramientas que se posee y los grandes espacios necesarios para ubicar a las unidades que deberán ser intervenidas.

Además, se pueden observar detalles como:

- a) Las unidades siguen un flujo determinado en el taller, siendo un movimiento continuo y claramente identificable dentro de las instalaciones.
- b) Las herramientas y materiales están organizados por zonas, donde se realiza un trabajo específico. Por ejemplo: taller electrónico, cuarto frío, cuarto de aceites, etc.
- c) El personal que trabaja en el taller, realiza sus labores con rapidez y casi sin desplazarse de su ubicación.
- d) La gran mayoría de objetos y áreas se encuentran debidamente identificadas con tarjetas, letreros, posters, etc.

se estaría frente a un taller cuyo diseño se ha basado en el análisis de las operaciones realizadas en la planta, para lograr una optimización y cohesión de los procesos que la conforman.

Un claro ejemplo de estos talleres, son los *pits*¹⁹ de la Formula 1, donde la intervención de un monopla se da en cuestión segundos y con una precisión sorprendente.

Todo esto comienza con un estudio y evaluación de las necesidades primarias que se deben de suplir en cada área de mantenimiento, ya que el diseño de los talleres es fuertemente influenciado tanto por las unidades a mantener como de las herramientas a utilizar. Con la data obtenida se empieza a hacer comparaciones entre la efectividad actual de las labores frente a las mejoras que se obtendrían al efectuar alguna modificación.

3.1. Análisis y detección de falencias en la distribución actual de la base

Para dar comienzo a este estudio, se plantean los siguientes objetivos:

¹⁹ Nombre que reciben las estaciones de mantenimiento en la Formula 1.

- Detectar aquellos procedimientos que resulten innecesarios o improductivos dentro de la ejecución actual de las labores de mantenimiento, esto es: tiempos muertos, desperdicio de espacios, gastos económicos, etc.
- Mejorar los procesos actuales, de tal manera que éstos le confieran un valor agregado al proceso global.
- Promover la reutilización de áreas existentes, una especie de “reciclaje” de espacios, con la finalidad de aminorar costos de inversión en la medida que sea posible.

Estos puntos servirán como lineamientos en el análisis de las instalaciones, para luego tener una idea más clara de sus falencias. Posteriormente, se presentarán soluciones enfocadas en atacar a los problemas desde su origen y que también suplan las necesidades identificadas de manera integral.

3.1.1 Disposición actual

Actualmente el departamento de mantenimiento de *Well Services* se encuentra funcionando en la base 2 de Schlumberger, en un terreno extenso con varios espacios abiertos y de libre circulación, apto para albergar unidades de gran tamaño.

En primera instancia, al enfocarse en la distribución de espacios dentro de la base, surge la siguiente pregunta: ¿Por qué la actual disposición de zonas otorgadas al TLM, no resulta eficiente para su flujo de procesos?

Por ende, se procedió a la recolección de información procedente del personal involucrado con las labores de mantenimiento, para tener un mayor acercamiento de la problemática a tratar, tal como se expone en *Herramientas para la mejora de la calidad* (2009, cap. 3).

Con lo recogido, se elaboró un Diagrama de Ishikawa (ver el Apéndice A-5), en donde se muestran de forma ordenada las deficiencias que presenta el *Technology Lifecycle Management*. A continuación se detalla la situación actual desde una perspectiva general:

- I. Instalaciones inadecuadas: Debido a que las zonas de trabajo no se encuentran habilitadas para desarrollar trabajos de mantenimiento de manera segura y eficiente. Además, se ha detectado que no cumplen con algunos estándares mínimos de operación propuestos por la compañía.
- II. Zonas distantes: Las áreas se encuentran muy distantes una de otra, generando largos tiempos de movilización por parte del personal técnico.
- III. Flujo inexistente: Durante el transcurso de los procedimientos de mantenimiento a una unidad, no se observa un orden establecido para cada tarea, evidenciando la carencia total de flujo alguno.
- IV. Aplicación parcial de procesos: De los procesos ejecutados por el personal técnico, no todos se hacen de manera rigurosa, debido a la falta de herramientas o recursos.

Luego, se presenta un croquis (ver Figura 23) de las instalaciones, en donde se indican las áreas existentes y sus respectivas ubicaciones dentro de la base de Schlumberger:

A. Oficinas administrativas de mantenimiento:

Es aquí desde donde se gestiona y lleva el control general del mantenimiento de las unidades de *Well Services*. En estas oficinas se mantienen archivos de las unidades en funcionamiento, llaves de los demás talleres y acceso a computadoras.

Es usual asistir a este lugar para consultar sobre información técnica de los equipos, establecer procedimientos, planificar las labores a ejecutarse, reuniones de seguridad, solicitud de repuestos, etc.

B. Talleres de mantenimiento:

Sirve para almacenar las herramientas utilizadas por el personal como también para realizar algunos mantenimientos de piezas o equipos pequeños.

En este mismo lugar se realizan las labores de inspección de equipos de presión (estándar 04) y de la línea de tratamiento (estándar 23).

C. Patio de mantenimiento de WPS:

Este espacio cumple principalmente con dos funciones: 1. Estacionamiento de las unidades de fractura, y 2. zona de mantenimiento de unidades que no pueden entrar a los talleres.

D. Patio de mantenimiento de WIT:

Cumple la misma función del patio de WPS, con la diferencia que aquí se encuentran las unidades de cementación.

E. Almacén de lubricantes:

Lugar destinado para el almacenamiento de los diferentes tipos de aceites que son utilizados en los equipos de WSV. Además es un área que se encuentra aislada del resto de zonas y con el acceso restringido, dado que éstos son fluidos inflamables y altamente contaminantes.

F. Desecho de lubricantes:

De igual manera en que se abastecen lubricantes a las unidades, también éstos se evacúan de las mismas. Sin embargo, estos desechos deben ser manejados con cuidado y estar aislados.

G. Lavadero:

Destinada para la limpieza de los equipos de *Well Services*, ya que cuenta con puntos de suministro de agua y desfuegos para los residuos.

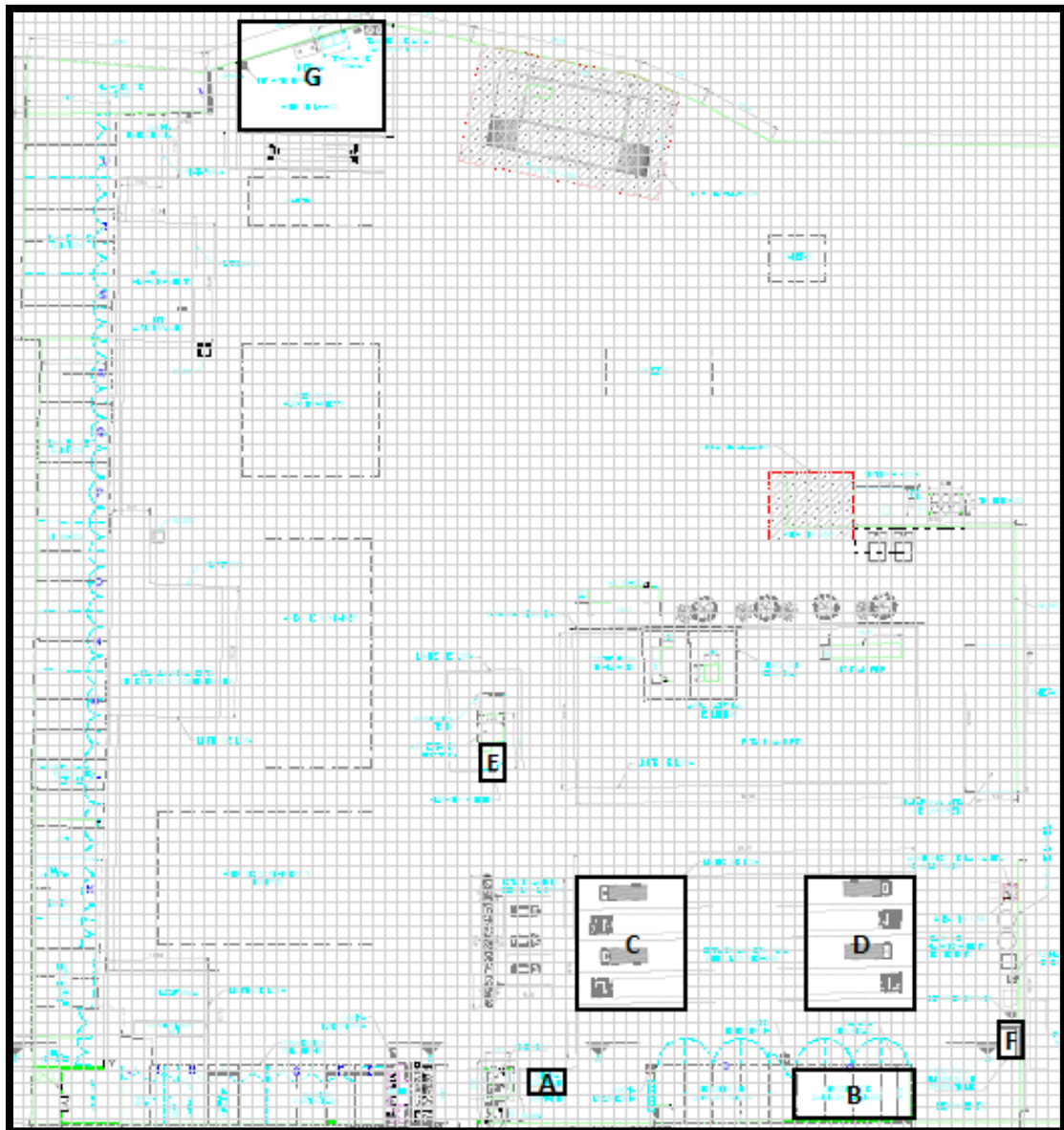


Figura 23. Distribución actual del TLM.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Análisis del desplazamiento: determinación de causas y tiempos consumidos

Con una disposición clara de los espacios que se utilizan para brindar tareas de mantenimiento en particular, se procede al estudio detallado del desplazamiento del personal técnico durante la ejecución de sus labores.

Para iniciar dicha tarea, se aplicará un método totalmente visual, en donde se vean reflejados los recorridos hechos por los trabajadores diariamente a lo largo de las instalaciones. Ésto se logra mediante la aplicación del Diagrama de *Spaghetti*. En este diagrama se puede identificar con facilidad cuales son los recorridos catalogados como “desperdicios”. También se pueden definir los siguientes puntos:

- Zonas de alta y baja afluencia de personal.
- Frecuencias de movilización.
- Dispersión de las áreas de trabajo.

Proceso experimental

Primero, se acuerda con el personal técnico sobre la aplicación de pruebas de campo, las cuales consisten en la entrega del croquis de la base 2 a cada uno de ellos, en donde deberán trazar los recorridos hechos a lo largo del día detallando cada tarea ejecutada.

La data recogida debe ser confiable, por ende, se necesita realizar este ejercicio por un periodo de una semana como mínimo, luego de esto, se confeccionará un diagrama como tal.

El diagrama obtenido corresponde a la Figura 24, de donde se pueden desprender las siguientes conclusiones:

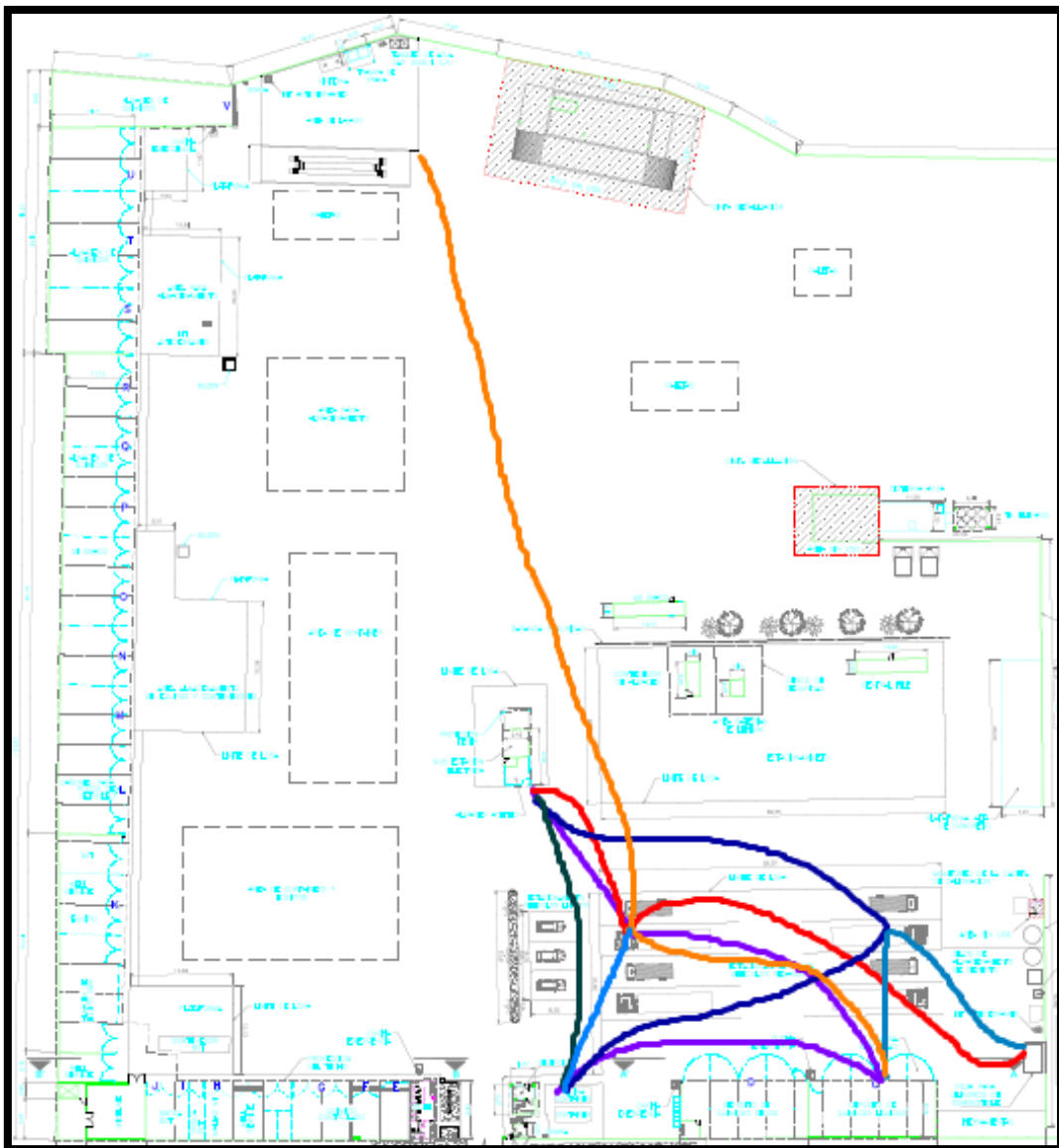


Figura 24. Diagrama de *Spaghetti* del personal del TLM.

Fuente: Elaboración propia.

- a) El personal se concentra en los patios y talleres de mantenimiento.
- b) La mayoría de las intervenciones se llevan a cabo al aire libre.
- c) Aparentemente no hay mucha dispersión en los desplazamientos, a excepción del que se efectúa hacia el lavadero, debido a que allí a veces inspeccionan unidades.
- d) Se ratifica que la distribución de áreas no responde a ningún flujo de procesos.
- e) Se puede inferir que durante una operación, un trabajador se desplaza de manera recurrente por la base, siendo ésta la principal fuente de tiempos muertos.

Sin embargo, queda sin resolver la cuestión del tiempo que le toma a un trabajador desplazarse de un punto a otro, ya que el diagrama anterior solo nos muestra movimientos más no tiempos de duración. Esto es de gran utilidad en la parametrización del análisis, con lo cual se podría cuantificar el estado actual y evaluar posibles soluciones.

Como solución a este problema, surge la idea del establecimiento de una unidad de tiempo estándar, la cual debe permanecer constante frente a la variación de otros factores presentes durante un desplazamiento (velocidad, tipo de terreno, etc.). A continuación se muestran los pasos seguidos:

1. Se elige el recorrido entre el contenedor del TLM y un almacén de brocas de otro segmento. La elección responde a que esta trayectoria es la más lineal existente y por ende, la que menos error presentaría al registrar el tiempo invertido.
2. Se deben de promediar los tiempos y distancias que los trabajadores consumen. Cabe resaltar que el recorrido fue unidireccional (ver la Figura 25).

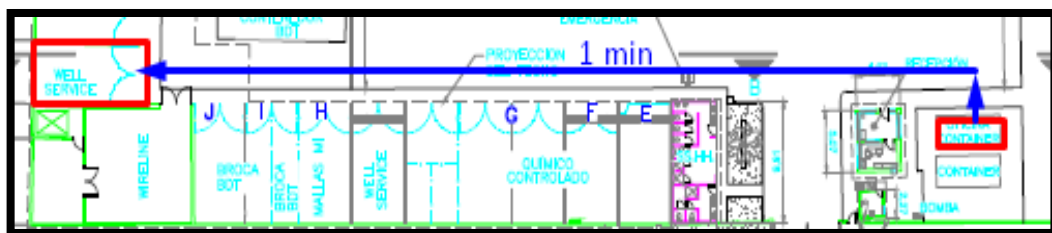


Figura 25. Recorrido elegido.

Fuente: Elaboración propia.

3. Se aplica una cuadrícula a todo el plano de la base, para contribuir a la determinación de tiempos y al orden de los desplazamientos mostrados. Para ser más riguroso, cada cuadrado representa 4 metros cuadrados de terreno aproximadamente.
4. Ya teniendo la cuadrícula implementada, se contabilizan los casilleros que componen el recorrido en cuestión (ver la Figura 26).

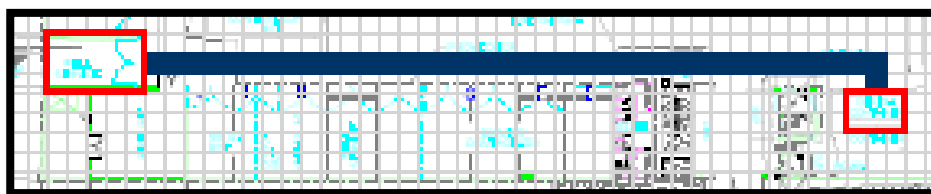


Figura 26. Aplicación de la cuadrícula.

Fuente: Elaboración propia.

5. Mediante un cálculo simple, se halla el parámetro deseado. Éste debe estar en unidades de segundos por casillero (ver la Tabla 8).

Tabla 8. Determinación de la unidad de tiempo estándar.

Parámetros	Cantidades	Unidades
Tiempo invertido	60	segundos
Distancia recorrida	60	metros
Casilleros de cuadrícula utilizados	40	boxes
Tiempo/casillero	1.5	s/boxes

Fuente: Elaboración propia.

Esta solución otorga una gran ventaja, la cual reside en el impacto visual y su fácil entendimiento. Por ejemplo, si se establecen diferentes recorridos entre dos puntos, aquel que cuente con menos casilleros resultaría ser el más económico en lo que a tiempos se refiere.

Determinación de causas de desplazamiento

Durante el estudio basado en la detección de problemas acerca del desplazamiento del personal y los tiempos que éstos acarrearán, se pudo desprender la siguiente observación: el personal no permanece en su lugar de trabajo por tiempos prolongados, sino que frecuentemente se encuentra movilizándose desde éste hacia diferentes áreas.

Sin duda alguna, esto significa la generación de tiempo no productivo, el cual debe ser reducido con rapidez o en todo caso, averiguar su causa raíz.

Para la detección del origen de esta problemática se aplica el Diagrama de Pareto, ya que permite asignar un orden de prioridades de manera visual. Dicho diagrama refleja fielmente el principio de Pareto²⁰, donde se indica que dentro de todos los problemas detectados hay muchos sin importancia en comparación a pocos realmente cruciales.

Se comienza por la determinación concreta de las acciones que posteriormente causen al desplazamiento por las instalaciones por parte de los trabajadores. Paralelamente, se contabiliza la ocurrencia de cada acción, para a su vez calcular frecuencias, útiles en la generación del diagrama.

La información recopilada se condensa en la Tabla 9, en cuya disposición se puede notar la jerarquización basada en las frecuencias de ejecución.

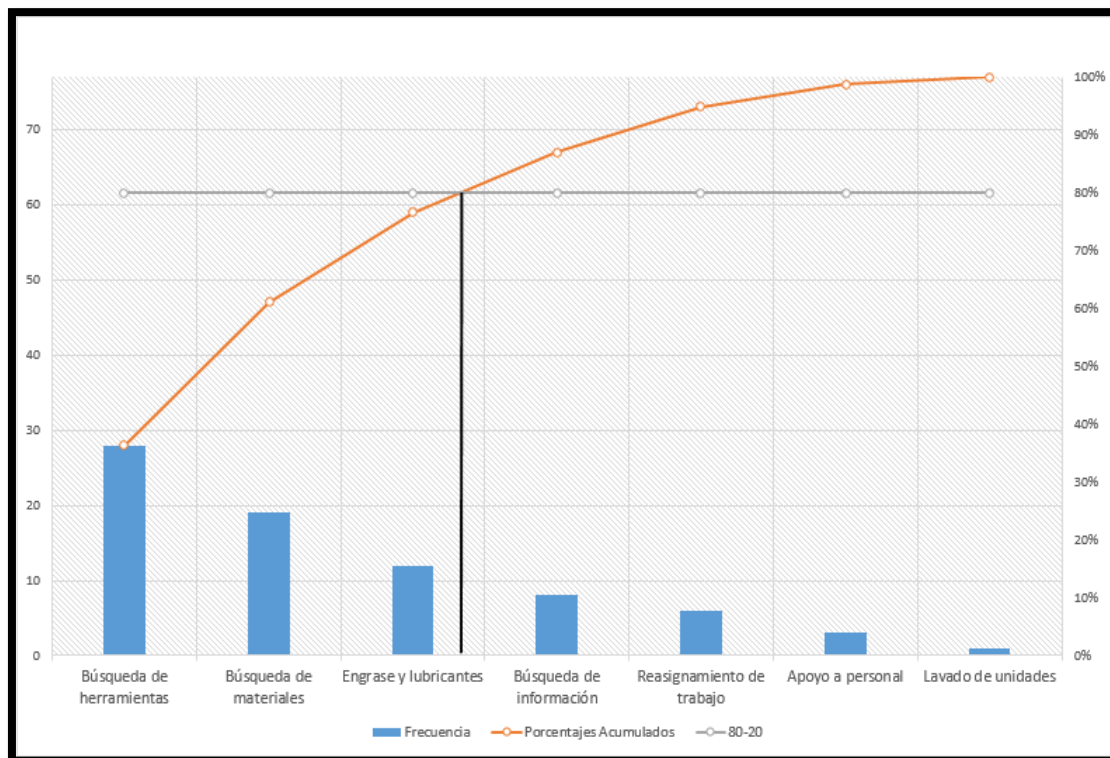
²⁰ Vilfredo Pareto fue un ingeniero, economista y sociólogo italiano.

Tabla 9. Actividades desarrolladas y sus frecuencias de ejecución.

Acciones	Frecuencia	Porcentajes Acumulados
Busqueda de herramientas	28	36%
Busqueda de materiales	19	61%
Engrase y lubricantes	12	77%
Busqueda de informacion	8	87%
Reasignamiento de trabajo	6	95%
Apoyo a personal	3	99%
Lavado de unidades	1	100%
Total	77	

Fuente: Elaboración propia.

Con estos datos, se procede a la elaboración del respectivo Diagrama de Pareto, en donde se debe de determinar la ubicación del 80%, quedando identificadas aquellas acciones que representan las principales causas de desplazamiento durante las labores de mantenimiento.

**Figura 27.** Diagrama de Pareto.

Fuente: Elaboración propia.

Según la Figura 27, los principales motivos son:

- Búsqueda de herramientas.
- Búsqueda de materiales.
- Engrasado y abastecimiento de lubricantes.

Determinación de tiempos consumidos

Luego de haber identificado en donde se concentra la producción de tiempos muertos, se procede a la determinación cuantitativa de éstos, a través de una herramienta llamada Diagrama de Análisis de Procesos o DAP (Mobley, 2008, cap. 3, p. 96).

En el DAP se indica información valiosa como:

- Tiempo consumido en cada actividad.
- Distancias recorridas.
- Flujo del proceso.
- Clasificación de las actividades.

Por otra parte, dicha herramienta sirve como base para la aplicación de un método enfocado en la identificación localizada de desperdicios dentro de labores que pertenecen a un sistema productivo, este método es SMED²¹. Con el SMED se busca minimizar el tiempo que la unidad (máquina) esté parada. (Hernández y Vizán, 2013, p. 42)

A continuación se procede a mostrar los resultados obtenidos en la evaluación del personal de mantenimiento durante sus labores.

a) Cambio de filtros:

Se puede afirmar que es la actividad fundamental dentro del mantenimiento preventivo de las unidades. Tener en cuenta que todas las unidades motorizadas son intervenidas exclusivamente por personal del TLM.

El proceso comienza con la identificación de los filtros necesarios y la solicitud de los mismos al departamento de almacén. A continuación se señalan algunos factores que pueden influenciar en este proceso:

- Cantidad de filtros necesarios. Esto depende del modelo del motor a intervenir.
- Accesibilidad para la remoción e instalación de los elementos.
- Uso de herramientas correctas.

Después de haber instalado todos los filtros, se enciende la máquina para realizar la prueba de funcionamiento.

²¹ Es la abreviatura de *Single Minute Exchange of Die* y cuya traducción es Cambio de montaje en menos de 10 minutos.

Resultados

Tabla 10. SMED del cambio de filtros.

Intervención	Cambio de filtros		
Actividad	Traslado	Espera	Trabajo
Movilización hacia taller	10		
Movilización hacia unidad	5		
Búsqueda de material		23.6	
Búsqueda de herramientas		35.2	
Desmontaje y limpieza			17.32
Montaje y encendido			25.3
Tiempos consumidos (min)	15	58.8	42.62

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 28 se muestra el porcentaje de los tiempos consumidos. Se puede ver que el 50% del tiempo se consume en “espera”, 13% en “traslado” y sólo 37% es trabajo.

Análisis de los resultados

Se observa que la mitad del tiempo contabilizado para el cambio de filtros es consumido en la búsqueda de herramientas y material. Conforme a los datos recogidos, este tiempo de espera es de aproximadamente una hora.

Ésto sucede porque no se puede tener un control total sobre qué herramientas serán utilizadas durante la intervención, ya que la mayoría de veces surgen imprevistos que deben ser atendidos. Además, sería poco práctico contar con una inmensa caja de herramientas que esté totalmente equipada.

Una posible solución sería contar con los materiales al alcance de la mano, ordenados y etiquetados para así reducir los tiempos de búsqueda.

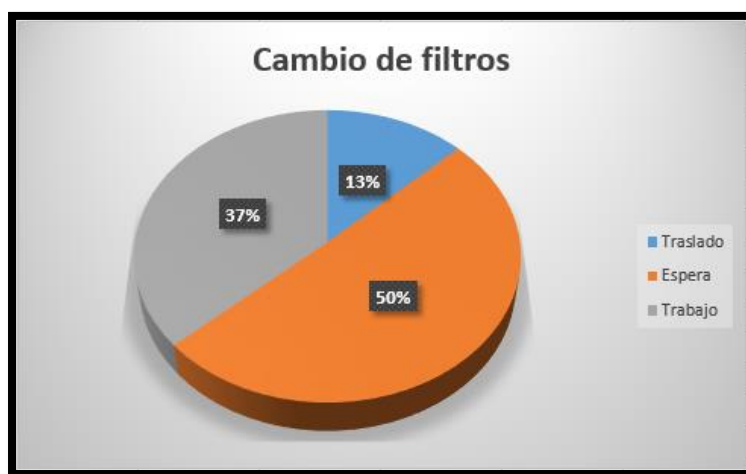


Figura 28. Porcentaje de tiempos consumidos.

Fuente: Elaboración propia.

b) Cambio de aceites:

De igual importancia que el cambio de filtros, las tareas de lubricación son básicas en cualquier tipo de mantenimiento. Por lo general, se abastecen de lubricantes a motores estacionarios y de marcha, transmisiones, diferenciales, ejes rotatorios y cuanto arreglo mecánico que presente fricción.

A continuación se detallan algunos puntos a considerar:

- Solo se ha aplicado SMED a los motores industriales y sistemas hidráulicos de las unidades, debido a su gran cantidad de consumo.
- Accesibilidad de los puntos de desfogue y abastecimiento.
- Tanto los nuevos lubricantes como los de desecho, son movilizados de manera manual.

Para dar por terminada la labor, se mide el nivel de aceite cuando la máquina está encendida para obtener así una lectura exacta.

Resultados

Tabla 11. SMED del cambio de aceites.

Intervencion	Cambio de aceites		
Actividad	Traslado	Espera	Trabajo
Movilización de aceites	35.4		
Busqueda de recipiente de desecho		2.1	
Limpieza del recipiente		11.7	
Evacuacion de aceites		7.2	
Abastecimiento de aceites			23.2
Tiempos consumidos (min)	35.4	21	23.2

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de los resultados

En la Figura 29 se muestra el porcentaje de tiempo que toma cada actividad. Traslado toma 45% y Espera toma 26%. El trabajo en sí solo consume 29% del tiempo total. El tiempo muerto identificado (71% del total) resulta ser excesivo para el abastecimiento de aceites.

Por lo general toma 23 minutos en promedio para vaciar 120 galones de aceite hidráulico.

Una de las razones a las que se les puede adjudicar estos tiempos son:

- Poca practicidad de los envases (capacidad de 5 galones); por ende la movilización del aceite se hace de forma progresiva hasta llegar a la cantidad requerida.
- Las áreas de almacenamiento y desecho se encuentran distantes de la zona de mantenimiento.
- La evacuación se vuelve difícil ya que los recipientes de acopio son artesanales y muy pesados cuando se encuentran llenos, tornando engorroso su transporte.

Por otro lado, la cantidad de tiempo para la evacuación de aceites no puede ser reducida de manera significativa, pues esto involucraría la aplicación de técnicas²² que no son recomendadas para este tipo de máquinas.

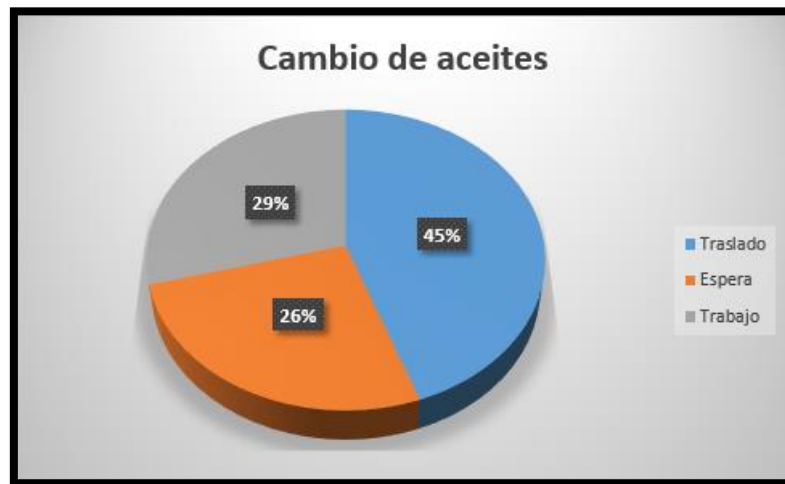


Figura 29. Porcentaje de tiempos consumidos.

Fuente: Elaboración propia.

c) Cambio de bandas:

Son insumos de alta confiabilidad pero con una vida útil corta.

Estos elementos deben estar bajo revisión continua, ya que de detectarse vestigios de fatiga, deben ser cambiados de inmediato para evitar fallas mayores.

Durante la toma de registros de tiempos se pudo observar algunos detalles:

- En ocasiones, para cambiar una banda hay que desmontar múltiples piezas para ejecutar la labor, invirtiéndose más tiempo del acostumbrado.
- Ciertos equipos necesitan que la tensión de las bandas sea ajustada manualmente, lo cual requiere cierta pericia y tiempo por parte del personal.

Una vez cambiadas, solo es necesario revisar su holgura durante su funcionamiento.

²² Por ejemplo, uso de bombas para la succión de los fluidos.

Resultados

Tabla 12. SMED del cambio de bandas.

Intervención	Cambio de fajas		
Actividad	Traslado	Espera	Trabajo
Traslado taller-unidad	6.4		
Búsqueda de material		12.5	
Búsqueda de herramientas		35.2	
Desmontaje y montaje			32.4
Cambio de materiales			3
Tiempos consumidos (min)	6.4	47.7	35.4

Fuente: Elaboración propia.

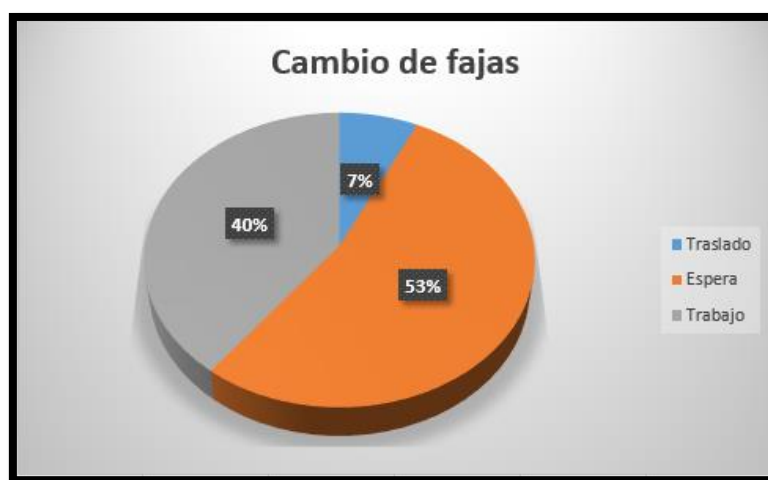


Figura 30. Porcentaje de tiempos consumidos.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de los resultados

De la Figura 30 se desprende que el tiempo de espera hallado corresponde a los desmontajes no previstos, los cuales necesitan herramientas particulares para poder ejecutarse. Presentándose el mismo problema que se determinó durante el análisis del cambio de filtros.

Se sugeriría tener las herramientas lo más cerca posible para evitar estos tiempos innecesarios.

Las tareas anteriormente señaladas se consideran como las más importantes dentro de un STEM II y III, razón por la cual, se han analizado de forma particular. Inclusive, para facilidades de cálculo, se pueden asumir los mismos tiempos para ambos STEM.

Por otro lado, se contabilizó los tiempos utilizados en las demás tareas que conforman cada mantenimiento, haciéndose desde una perspectiva general. En las

Tablas 13 y 14 se muestran los tiempos promedios²³ contabilizados en ambas intervenciones:

Tabla 13. SMED de mantenimientos diversos del STEM II.

Intervención	Mantenimientos diversos del STEM II		
Actividad	Traslado	Espera	Trabajo
Tiempos consumidos (min)	85.7	41.3	176.1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. SMED de mantenimientos diversos del STEM III

Intervención	Mantenimientos diversos del STEM III		
Actividad	Traslado	Espera	Trabajo
Tiempos consumidos (min)	151.2	71.4	371.1

Fuente: Elaboración propia.

Para concluir, se determinó el porcentaje de tiempo muerto anual generado por estas actividades. Para este fin se establecieron los siguientes procedimientos:

1. En la Tabla 15 se sumaron los tiempos de traslado y espera de ambos STEM, para luego ser estimados en el tiempo de un año.

Nota: Se tomó en cuenta la cantidad actual de unidades en la base de Talara (28 unidades).

Tabla 15. Determinación del tiempo muerto anual.

Actividad	Intervención	
	STEM II	STEM III
Cambio de filtros	73.8	73.8
Cambio de aceites	56.4	56.4
Cambio de fajas	54.1	54.1
Mantenimientos diversos	127	222.6
Tiempo muerto (min)	311.30	406.90
Intervenciones estimadas	112	28
Tiempo muerto anual (h)	581.09	189.89

Fuente: Elaboración propia.

2. Se determinó que la cantidad de horas efectivas anuales son 2016. Ésto se logró mediante la simple multiplicación de las siguientes cantidades:
 - Horas por jornada laboral: 8 horas.
 - Días por turno de trabajo: 21 días.
 - Turnos de trabajo por año: 12 turnos
3. Efectuando las respectivas comparaciones, se definió que el tiempo muerto total representa un 38% de las horas efectivas anuales (ver la Figura 31).

²³ Se promediaron los tiempos de ejecución de cuatro intervenciones de cada tipo.

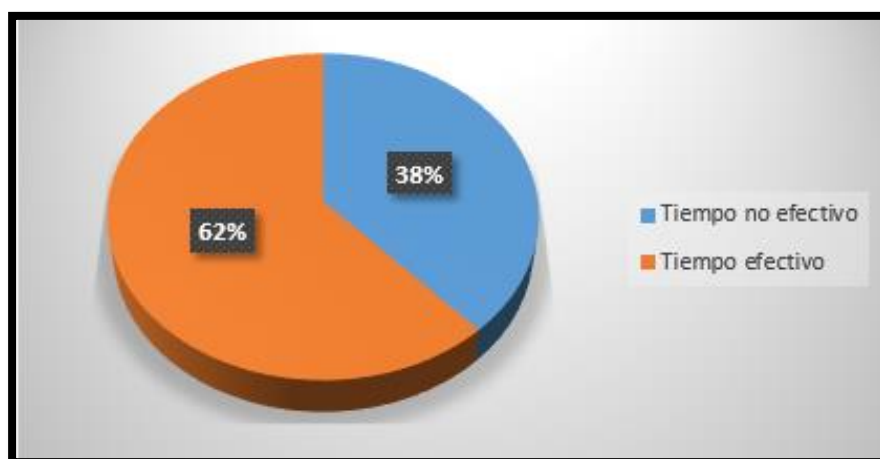


Figura 31. Proporción de tiempos correspondiente al *layout* actual.

Fuente: Elaboración propia.

Es necesario destacar que el resultado obtenido no representa labores externas a las intervenciones contempladas en este estudio, dado que su análisis es más minucioso y complejo.

3.1.3. Evaluación del acondicionamiento de las instalaciones

Dentro de los múltiples factores que influyen en la correcta ejecución de las tareas de mantenimiento, el apropiado acondicionamiento de las instalaciones pertenecientes al taller, puede ser considerado como uno de los más importantes. Con lo anterior, no solo se refiere a tener un lugar espacioso y bien iluminado, sino que éste cuente con herramientas apropiadas, señalización de espacios, materiales ordenados, limpieza, etc.

Por tal motivo se desarrolló, de manera conjunta con el personal de seguridad (HSE²⁴) de la base, un estudio enfocado en la identificación de carencias que presenten las zonas de herramientas, materiales y lubricantes, y a aquellas en donde se desarrolla el mantenimiento como tal.

En la Tabla 16, se muestran los puntos que afectan de manera negativa al proceso de mantenimiento, no solo en su eficiencia sino también en su calidad y seguridad del personal técnico.

Algunas de estas deficiencias serán tratadas durante el planteamiento de las nuevas instalaciones, con especial énfasis en la rampa de inspección que el TLM necesita como también en la zona de abastecimiento y desecho de lubricantes.

²⁴ Acrónimo de *Health, Security and Environment*, cuya traducción al español es Salud, seguridad y medio ambiente.

Tabla 16. Resultados de la evaluación de las instalaciones de mantenimiento.**Almacén de aceites**

- Los depósitos en los cuales son almacenados los lubricantes, son desechados una vez que se ha abastecido un equipo, generando una gran cantidad de desperdicios por parte del segmento.
- El área no se encuentra aislada de agentes ambientales (por ejemplo, el agua y el polvo), los cuales pueden alterar propiedades físicas o químicas de estos insumos.

Zona de desecho de aceites

- Los depósitos en donde se acopian los desechos no están debidamente etiquetados.
- Se carece de barreras secundarias de contención, los únicos elementos anti-derrames son diques y geomembranas.
- De igual manera que el almacén de aceites, este recinto se encuentra a la intemperie e incluso, algunos recipientes no están correctamente sellados, lo cual representa una situación peligrosa.
- Debido a su ubicación, la recolección de los desechos por parte de las compañías de servicios se torna complicado y en ocasiones, pone en peligro al personal que se encuentra en los alrededores.

Talleres de mantenimiento

- Se encuentran habilitados para desarrollar labores de mantenimiento, sin embargo, no tienen las dimensiones adecuadas para albergar a las unidades móviles de WSV. Por lo general, aquí se repara compresores y línea de tratamiento.
- Necesita disponer de armarios en donde ubicar herramientas que se encuentran sueltas, como también de más mesas de trabajo.
- Carece de zonas de acceso restringido, en donde se puedan colocar herramientas especiales tales como torquímetros, analizadores de señales, etc.
- Carece de señalética o división alguna que separe el área donde se ejecuta el estándar 23 de las demás labores. Esto se debe a que el EPP utilizado para cada tarea es diferente.

Patios de mantenimiento

- Siendo el lugar en donde suceden la gran mayoría de derrames de aceites y otros líquidos contaminantes, no se cuenta con barreras o depósitos de contención cercanos.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Resultados de la evaluación de las instalaciones de mantenimiento.

Patios de mantenimiento

- Las labores de mantenimiento de las unidades móviles se realizan al aire libre, lo cual puede ocasionar problemas tanto para los equipos como para el personal. Ambos se ven afectados en cierta forma por las condiciones ambientales.
- Carece de señalización, ya que además de funcionar como hangares, también se realizan maniobras de manejo para aparcar a las unidades. Ésto representa un riesgo para el personal que se moviliza por la zona.
- Al ser un área extensa, no se puede tener un control visual de todas las actividades desarrolladas. En caso ocurriese algún accidente, ésto no se podría detectar con rapidez.
- No cuenta con facilidades propias de un taller talles como: luminarias, tomas de corriente eléctrica, armarios de herramientas, etc.

Fuente: Elaboración propia.

Por último, en la Figura 32 se muestra el estado actual de algunas áreas observadas.



○ Almacén de aceites ○ Desechos de aceites ○○ Taller de mantenimiento

Figura 32. Situación actual de las instalaciones del TLM.

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Desarrollo del *layout* para las instalaciones de mantenimiento

Habiendo ejecutado el análisis de tiempos y desplazamientos, se continúa ahora con el diseño en sí del *layout* para las instalaciones requeridas.

Este no será un diseño estructural como tal, sino uno que busque la correcta disposición de las áreas, otorgándole una mayor eficiencia al proceso global y capacidad para suplir la cantidad de trabajo que conlleva mantener una flota de maquinaria pesada, como la de *Well Services*.

Se tratará en la medida posible de reutilizar espacios, de tal manera que éstos se adecuen a las necesidades emergentes durante el diseño. En caso se requiera alguna construcción, ésta será analizada de manera rigurosa para determinar su viabilidad dentro de la propuesta final.

3.2.1. Cálculo de hangares

El núcleo de un departamento de mantenimiento, son sus talleres. En estos lugares se puede observar de manera directa las reparaciones y determinar la efectividad del trabajo desarrollado por el personal involucrado.

El diseño de los hangares, se basa en la determinación de la cantidad necesaria de ellos y dimensiones para el departamento del TLM. Dichos parámetros son:

1. Capacidad de abastecimiento:

Uno de los principales objetivos a considerar durante la concepción de un taller de mantenimiento industrial, es que éste pueda darse abasto para efectuar las intervenciones programadas así como aquellas que surjan de imprevisto.

Como primer paso, se contabilizan todas las unidades que se encuentran operativas en base y que el CMMS²⁵ contempla en la generación del cronograma de mantenimiento.

Sin embargo, se debe considerar situaciones críticas de operación, en donde la cantidad de unidades son mucho mayores a la real. Esto se hace con la finalidad de que la capacidad de abastecimiento de los talleres se mantenga constante frente a un aumento de carga laboral, caso contrario, se tendrían los hangares totalmente saturados y un flujo de mantenimiento colapsado.

En la Tabla 17 se detallan tres posibles escenarios, los cuales servirán para la determinación de la cantidad de hangares.

²⁵ *Computerized Maintenance Management System*, éstos son software de gestión integrada.

Tabla 17. Escenarios para cálculo de hangares.

Escenarios	Descripción	Cantidad
Escenario 1	Solo se contabilizan las unidades que se encuentran operativas en Talara.	28
Escenario 2	Contabiliza unidades operativas en Talara y llegada de equipos de la selva.	33
Escenario 3	Contabiliza unidades en Perú y aquellas que están en proceso de importación.	40

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo la data establecida, ésta es ingresada a una herramienta de cálculo llamada *Workspace Estimator*²⁶. La cual consiste en una hoja de cálculo que halla la cantidad necesaria de hangares considerando diferentes parámetros e inclusive, muestra una proyección de la capacidad máxima de mantenimientos.

Se puede evidenciar en la Figura 33, que la herramienta posee dos tablas de cálculo: una para el STEM II y otra, para el STEM III. En cada tabla de cálculo, el parámetro de mayor importancia es la cantidad estimada de intervenciones previstas en un año para cada mantenimiento.

También se debe precisar que al obtener los resultados de ambas tablas de cálculo, aquel que pertenece al STEM II es el más influyente debido a la alta frecuencia de ejecución anual que resulta.

Global Facilities: Engineering & Construction Space Planning - Segment Allocation

Facilities & Construction
Schlumberger Shared Services

mechanics Day quantity

STEM II

Enter # STEM II's required per year	632	STEM II's/year
Enter Average time per unit required by MT & ET for STEM II	20	hr/STEM II
Enter # of Shifts per day	1	shift/day
Enter # of Hours per shift	8	hr/shift
Enter # of working days per week	5	days
Enter # of holidays per year	10	days
Number of STEM II bags	7	bags
Difference between number of maintenance to be performed and available bags	OK	
Potential Number of STEM II's/year	700	STEM II's/year
Maintenance hours per day	8	hr/day
% of STEM II completed per day	0.400	% complete of STEM II/day
Weeks per year	52	weeks
Total Number of Working Days per year	250	days
Working days per month	20.8	days/month
# of STEM II's per month	8.33	STEM II's/month
Total Maintenance per year for one b	100.0	STEM II/year per bag

STEM III

Enter # STEM III's required per year	1	STEM III's/year
Enter Average time per unit required by MT & ET for STEM III	1	hr/STEM III
Enter # of Shifts per day	1	shift/day
Enter # of Hours per shift	1	hr/shift
Enter # of working days per week	5	days
Enter # of holidays per year	10	days
Number of STEM III bags	1	bags
Difference between number of maintenance to be performed and available bags	OK	
Potential Number of STEM III's/year	250	Number of STEM III's/year
Maintenance hours per day	1	hr/day
% of STEM III completed per day	1.000	% complete of STEM III/day
Weeks per year	52	weeks
Total Number of Working Days per year	250	days
Working days per month	20.8	days/month
# of STEM III's per month	20.83	STEM III's/month
Total Maintenance per year for one b	250.0	STEM III/year per bag

Figura 33. Interfaz por defecto del *Workspace Estimator*.

²⁶ Herramienta brindada por Schlumberger para el diseño de instalaciones de mantenimiento.

Cálculos

Se comienza el análisis estipulando 28 unidades, cantidad correspondiente al primer escenario, para luego proseguir con los demás en el orden correspondiente.

Paralelamente, se deben especificar los parámetros requeridos por el *Workspace Estimator*:

- Número de STEM's II por año: De acuerdo a los historiales de mantenimiento, una unidad es sometida a cuatro intervenciones STEM II por año aproximadamente.

$$\frac{4 \text{ Stem's II por año}}{1 \text{ unidad}} * 28 \text{ unidades} = 112 \text{ STEM's II por año}$$

- Otros parámetros: Todos los parámetros de la Tabla 18 se mantienen inamovibles para el STEM III a excepción del tiempo promedio de ejecución.

Tabla 18. Parámetros de tabla de cálculo del STEM II.

Parámetros	Cantidad
Tiempo promedio de ejecución por unidad en un STEM II	20 hrs
Número de turnos por día	1
Número de horas por turno	8 hrs
Días de trabajo por semana	6 días
Días feriados por año	15 días

Fuente: Elaboración propia.

Resultados

Para el primer escenario, la herramienta determina que es necesario una bahía y que ésta, tiene una capacidad de mantenimiento de 119 STEM II por año, cantidad mayor a la estimada en un principio.

Análisis

Luego, se evalúa si un hangar es suficiente para cubrir los requerimientos que presentan los demás escenarios. Para lo cual se contrasta la cantidad de STEM II anuales proyectada por el WE²⁷ con las cantidades halladas de forma manual.

²⁷ Acrónimo de *Workspace Estimator*.

Tabla 19. Evaluación de capacidades de un hangar de mantenimiento.

Análisis y proyecciones con Workspace Estimator							
Cantidad de bahías	Escenarios	Capacidad potencial de Stem's II por año	Potencial de equipos por intervenir	Cantidad de Stem's II por año	Cantidad de equipos por intervenir	Cantidad permisible de equipos	Porcentaje de flexibilidad
1 bahía	Escenario 1	119	29.75	112	28	1.75	6.25
	Escenario 2	119	29.75	132	33	-3.25	-9.85
	Escenario 3	119	29.75	160	40	-10.25	-25.63

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 19, se determina que en el escenario 2, la capacidad que posee una bahía queda rebasada por un margen de 9.85%. Ésto se hace mucho más notorio en el escenario 3, donde no se acepta un 25% de la cantidad de equipos por intervenir en base.

De lo anterior se concluye que un hangar no es suficiente para ejecutar labores de mantenimiento durante situaciones críticas.

Ajuste de cálculos

Se procede a recalcular la cantidad de hangares, pero esta vez teniendo como base la cantidad de 33 unidades.

- Número de STEM's II por año:

$$\frac{4 \text{ Stem's II por año}}{1 \text{ unidad}} * 33 \text{ unidades} = 132 \text{ Stem's II por año}$$

Reingresando los datos, se obtienen 2 bahías de mantenimiento con una capacidad conjunta de 238 STEM's II por año.

De la Tabla 20, se puede determinar que con dos hangares, los mantenimientos programados correspondientes a la máxima cantidad de unidades quedan totalmente cubiertos. Inclusive, permite aproximadamente un 50% más de unidades, ósea, se pueden contar con 60 unidades en base y los hangares no presentarían problemas con la ejecución de las intervenciones.

Tabla 20. Evaluación de capacidades de dos hangares de mantenimiento.

Análisis y proyecciones con Workspace Estimator							
Cantidad de bahías	Escenarios	Capacidad potencial de Stem's II por año	Potencial de equipos por intervenir	Cantidad de Stem's II por año	Cantidad de equipos por intervenir	Cantidad permisible de equipos	Porcentaje de flexibilidad
2 bahías	Escenario 1	238	59.5	112	28	31.5	112.5
	Escenario 2	238	59.5	132	33	26.5	80.30
	Escenario 3	238	59.5	160	40	19.5	48.75

Fuente: Elaboración propia.

Como último paso, se debe de corroborar si al establecer dos hangares se puede abastecer la demanda de STEM's III generados por las unidades.

Para facilidades de cálculo, solo se evaluará con la mayor cantidad de unidades (40 unidades), ya que las demás opciones quedarán contempladas de manera implícita.

En la Figura 34, se puede observar que tan solo es necesario de 1 hangar para cumplir con los mantenimientos preventivos de 80 unidades, el doble de la cantidad máxima de equipos que se puede tener en base.

Por ende, se concluye que con 2 hangares es suficiente para suplir la carga de trabajo generada por la flota de *Well Services*.

STEM III		
Enter # STEM III's required per year	40	STEM III's/year
Enter Average time per unit required by MT & ET for STEM III	30	hr/STEM III
Enter # of Shifts per day	1	shift/day
Enter # of Hours per shift	8	hr/shift
Enter # of working days per week	6	days
Enter # of holidays per year	15	days
Number of STEM III bags	1	bags
Difference between number of maintenance to be performed and available bags	OK	
Potential Number of STEM III's/year	80	Number of STEM III's/year

Figura 34. Resultados obtenidos con la tabla de cálculo del STEM III.

Fuente: Elaboración propia.

2. Dimensión de hangares:

Las dimensiones se detallarán de manera sencilla, ya que no se demandará la construcción de hangares, sino que se elegirán espacios existentes que cumplan con las dimensiones necesarias para albergar una unidad y poder así realizar sus mantenimientos.

Para establecerlas se tomará como referencia una bomba de fracturamiento, la cual es una de las unidades más grandes, sus dimensiones son:

- Alto: 4 m
- Ancho: 3.5 m
- Largo: 13 m

También se han tomado como referencia los hangares en otras bases del TLM en América, como es el caso de la base de Coca en Ecuador.

A continuación se muestran las dimensiones mínimas para los hangares, las cuales permitirían la movilización alrededor de la unidad y procedimientos de mantenimiento:

- Alto: 10 m
- Ancho: 7.5 m
- Largo: 20 m

3.2.2. Actividades del proceso y establecimiento de relaciones

Un requisito indispensable durante el establecimiento de un *layout* que tenga como objetivo la cohesión entre las diferentes áreas que lo componen, es tener en claro el flujo de actividades del proceso sometido a estudio.

Para la determinación de los diferentes procedimientos que son ejecutados en este departamento, se recurrirá a dos fuentes:

- a. Práctica: Aquella que surge de la observación del personal de mantenimiento durante la realización de las labores programadas por el supervisor.
- b. Teórica: Se encuentra detallada en los diferentes estándares que conforman al área del TLM.

Teniendo en cuenta ambas fuentes, se halla un flujo en particular que pueda servir como base para el desarrollo de las demás labores de mantenimiento. Por otro lado, también se desea introducir algunos procedimientos que contribuyan a la calidad del servicio brindado en la actualidad.

Usada anteriormente en el cálculo de SMED's, el Diagrama de Análisis de Procesos (DAP) sirve para la tabulación de acuerdo al orden de ejecución de actividades a lo largo de una cadena de procedimientos.

Aplicación de Diagrama de Análisis de Procesos

1. Se comienza con la observación del personal durante la aplicación de los mantenimientos preventivos (STEM II y STEM III).
2. Se ha comprendido desde la identificación de la unidad que va a entrar en mantenimiento, hasta la prueba funcional que por estándar debe ser efectuada.
Existen actividades que no ejecuta el personal técnico como el lavado, aparcamiento y pruebas funcionales de las unidades, sin embargo, son considerados como etapas dentro del proceso general de mantenimiento.
3. Aquellas acciones que representen el traslado por las instalaciones pueden ser omitidas, dado que solo se busca enfocarse en aquellos procedimientos que necesiten de instalaciones adecuadas para ser ejecutados y que, representan la mayor cantidad de tiempo muerto.

Item	Detalles del metodo	Trabajo	Traslado	Espera	Inspeccion	Almacen
1	Identificación e inspección de unidad	●	➡	■	■	▼
2	Aplicación de Lock Out/Tag Out	●	➡	■	■	▼
3	Recojo de material básico	●	➡	■	■	▼
4	Recojo de herramientas	●	➡	■	■	▼
5	Traslado al taller	●	➡	■	■	▼
6	Evacuación de aceites	●	➡	■	■	▼
7	Cambio de insumos de motor	●	➡	■	■	▼
8	Abastecimiento de aceites	●	➡	■	■	▼
9	Traslado a la parte inferior del equipo	●	➡	■	■	▼
10	Mantenimiento de suspensión y frenos	●	➡	■	■	▼
11	Lubricación y engrasado	●	➡	■	■	▼
12	Descarga de línea de tratamiento	●	➡	■	■	▼
13	Recojo de repuestos	●	➡	■	■	▼
14	Recojo de herramientas especiales	●	➡	■	■	▼
15	Traslado al taller	●	➡	■	■	▼
16	Mantenimiento y reparación	●	➡	■	■	▼
17	Inspección y certificación	●	➡	■	■	▼
18	Prueba funcional	●	➡	■	■	▼
19	Parqueo de la unidad	●	➡	■	■	▼

Figura 35. Flujo de procedimientos correspondientes al TLM.

Fuente: Elaboración propia.

Contando con un listado depurado, se debe de ejecutar otro análisis para encontrar que tipo de vinculación existe entre las diferentes actividades identificadas en el DAP.

Para este fin, se utilizará un Diagrama de Relaciones, el cual muestra de manera gráfica y práctica, las diferentes relaciones existentes entre un grupo de actividades que conforman un proceso, y diferentes herramientas que ayudan a la jerarquización de las áreas de trabajo (*D'Alessio, 2015*).

Aplicación del Diagrama de Relaciones al flujo general de mantenimiento

- Primero se especifican los criterios de evaluación que aplicarán a las áreas que conformarán el *layout* final. Éstos son:

Calificación de cercanía: Dependiendo de qué tan importante es tener un área adyacente a otra, se les adjudica a ambas un grado de cercanía de los que se presentan en la Tabla 21.

Razones de cercanía: Al haber determinado el grado de cercanía entre dos áreas, se fundamenta el primer criterio haciendo uso de una razón de cercanía de las que aparecen en la Tabla 23.

Tabla 21. Grados de cercanía.

Letra	Cercanía
A	Abosutamente necesario
E	Especialmente importante
I	Importante
O	Ordinaria cercanía
U	No Importante
X	Indeseable

Fuente: Administración de las operaciones productivas. Un enfoque en procesos para la gerencia (2015).

Nota: Todas las relaciones de las áreas deben tener adjudicada una razón de cercanía excepto las que tengan U.

- b) Luego, las actividades que conforman el flujo de procedimientos (ver la Figura 35) se agrupan en áreas o secciones, de acuerdo a la similitud entre ellas o necesidad mutua, tal como se detalla en la Tabla 22.

Tabla 22. Conformación de áreas.

Actividad	Área
Recojo de materiales básicos	Almacén general
Recojo de repuestos	
Recojo de herramientas especiales	Cuarto de herramientas
Recojo de herramientas	
Inspección de unidad	Pozo de servicios
Evacuación de aceites	
Cambio de insumos de motor	
Abastecimiento de aceites	
Inspección de suspensión y frenos	
Engrasado	
Aplicación de Lock Out/Tag Out	Hangares de mantenimiento
Mantenimiento y reparación	
Almacén de aceites	Zona de aceites
Desecho de aceites	
Inspección y certificación de la línea de tratamiento	Zona de certificación (Éstandar 23)
Descarga de línea de tratamiento	Zona de descarga
Aparcamiento de las unidades	Estacionamiento

Fuente: Elaboración propia.

- c) Al haber valorizado todas las relaciones, se procede a confeccionar un Diagrama de Relaciones de Muther, el cual consiste en un esquema donde se muestra de manera gráfica el análisis efectuado (ver la Figura 36).

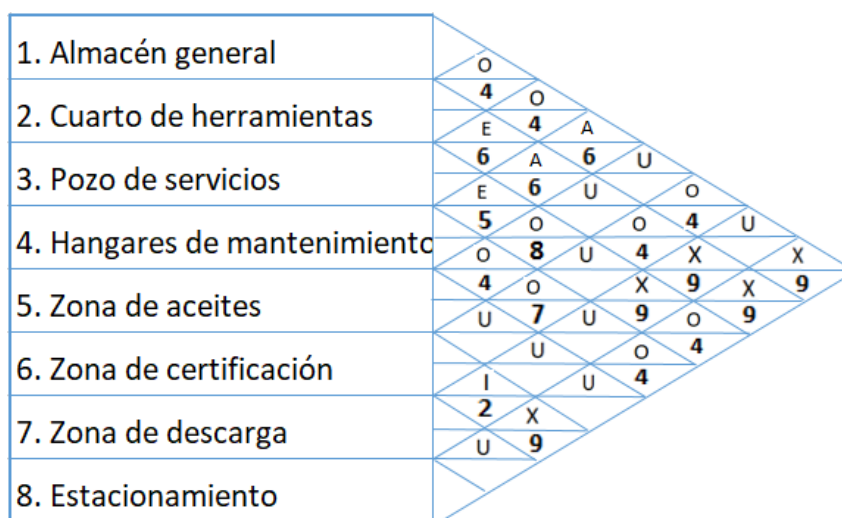


Figura 36. Diagrama de relaciones de Muther del flujo de mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23. Razones de cercanía.

Código	Razón
1	Uso de registros comunes
2	Compartir personal
3	Compartir espacios, materiales
4	Contacto personal, documentario
5	Mantenimiento de equipos
6	Secuencia de flujo de trabajo
7	Ejecutar trabajo similar, inspección
8	Uso del mismo equipo
9	Posibles situaciones desagradables

Fuente: Administración de las operaciones productivas. Un enfoque en procesos para la gerencia (2015).

- d) Después, se procede a la elaboración de una tabla en donde se colocan todos los grados de vinculación expuestos en el diagrama de Muther (ver la Tabla 24).
- e) Con la Tabla 24 no se puede determinar qué área debe ser considerada como el centro de la actividad, esto es, una suerte de centro estratégico sobre el cual todo nuestro proceso debe ser concebido.
- f) Por ende, se establecerá una Relación de Cercanía Total (TCR), la cual usa los grados de vinculación para generar un orden de posicionamiento, siendo necesario otorgar valores numéricos a los símbolos de los grados de cercanía, como se muestra en la Tabla 25.

Tabla 24. Grados de vinculación.

Área		Grado de vinculación					
		A	E	I	O	U	X
1	Almacén general	4			2,3,6	5,7	8
2	Cuarto de herramientas	4	3		1,6	5	7,8
3	Pozo de servicios		2,4		1,5,8	6	7
4	Hangares de mantenimiento	1,2	3		5,6,8	7	
5	Zona de aceites				3,4	1,2,6,7,8	
6	Zona de certificación			7	1,2,4	3,5	8
7	Zona de descarga			6		1,4,5,8	2,3
8	Estacionamiento				3,4	5,7	1,2,6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25. Valores asignados a los grados de cercanía.

Símbolo	A	E	I	O	U	X
Valor	6	5	4	3	2	1

Fuente: Administración de las operaciones productivas. Un enfoque en procesos para la gerencia (2015).

- g) Consecutivamente se confecciona un cuadro de doble entrada (ver la Tabla 26), donde se van colocando los valores asignados a cada vínculo, para obtener un resultado numérico que cuantifique la relación de cercanía total que ostenta cada sección.

Tabla 26. Determinación de relaciones de cercanía total.

	1	2	3	4	5	6	7	8	TCR
1	0	3	3	6	2	3	2	1	20
2	3	0	5	6	2	3	1	1	21
3	3	5	0	5	3	2	1	3	22
4	6	6	5	0	3	3	2	3	28
5	2	2	3	3	0	2	2	2	16
6	3	3	2	3	2	0	4	1	18
7	2	1	1	2	2	4	0	2	14
8	1	1	3	3	2	1	2	0	13

Fuente: Administración de las operaciones productivas. Un enfoque en procesos para la gerencia (2015).

- h) Para concluir, se presenta la Tabla 27, en donde se encuentran las áreas debidamente ordenadas de mayor a menor TCR.

Con la información anteriormente expuesta, se ordenan las secciones de acuerdo a su grado de importancia durante la distribución de espacios. Inclusive, se puede decir que a mayor importancia, más central es su ubicación dentro del *layout*.

Tabla 27. Ordenamiento de los procesos de mantenimiento.

Orden	Área
1	4
2	3
3	2
4	1
5	6
6	5
7	7
8	8

Fuente: Administración de las operaciones productivas. Un enfoque en procesos para la gerencia (2015).

3.2.3. Diseño de *layout* para los talleres de mantenimiento

Previo al bosquejo del *layout*, se debe considerar:

- El espacio suficiente para que las unidades móviles puedan maniobrar libremente, dado que estas poseen gran tamaño.
- La compañía propone a futuro una zona de talleres integrados, donde se ubiquen los hangares de los diferentes segmentos que operan en Perú. Por ende, las instalaciones de *Well Services* deben estar en un lugar donde pueda interactuar con diferentes flujos de mantenimiento, sin que ninguno de ellos se vea alterado.
- Proponer una zona de estacionamiento para posicionar las unidades cuyo mantenimiento ha culminado exitosamente y estén listas para ser utilizadas en la operación.

Para ello, se procede a aplicar un Diagrama de Interrelaciones. Éste nos ayudará a “materializar” el Diagrama de Muther en un *layout* que responda de manera certera el flujo de procesos en cuestión.

Detalles del Diagrama de Interrelaciones

- Códigos de proximidades: Son conectores que representan las relaciones existentes entre las áreas. (Ver la Tabla 28)
- Simbología: Éstos representan las actividades como tal, clasificándolas de acuerdo al tipo de actividad ejecutada. (Ver la Tabla 29)

Tabla 28. Código de proximidades.

Código	Proximidad	Color	Nº de líneas
A	Absolutamente necesario	Rojo	4 rectas
E	Especialmente importante	Amarillo	3 rectas
I	Importante	Verde	3 rectas
O	Ordinaria cercanía	Azul	1 recta
U	No importante		
X	Indeseable	Plomo	1 recta entrecortada

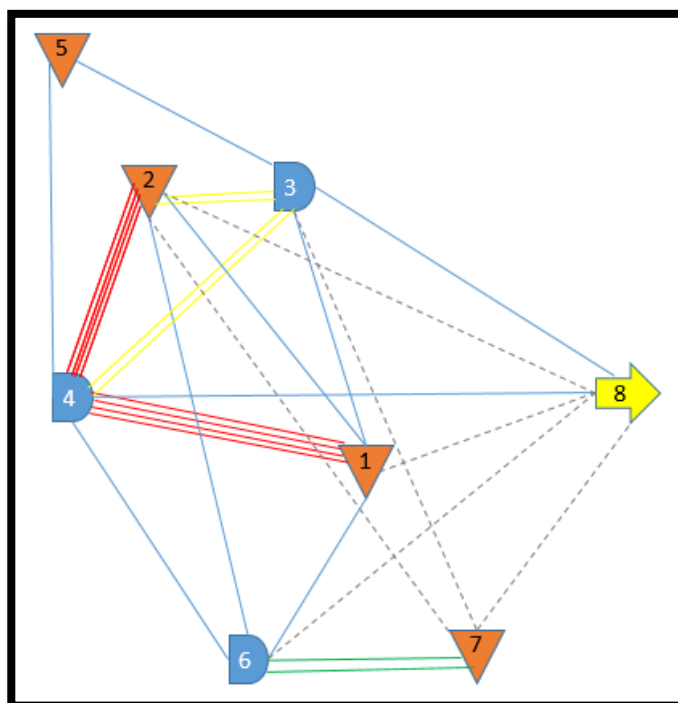
Fuente: Diseño de operaciones: Disposición de planta (2017).

Tabla 29. Simbología del Diagrama de Interrelaciones.

Simbolo	Color	Actividad
○	Rojo	Operación (montaje o submontaje)
○	Verde	Operación, proceso o fabricación
⇒	Amarillo	Transporte
▽	Naranja	Almacenaje
□	Azul	Control
◐	Azul	Servicios
↑	Pardo	Administración

Fuente: Diseño de operaciones: Disposición de planta (2017).

En la Figura 37 se muestra una distribución ideal de los talleres, la cual apunta al mejoramiento de la eficiencia conjunta de los procesos del TLM. Éste bosquejo es una transición entre el Diagrama de Muther y el *layout* final.

**Figura 37.** Diagrama de Interrelaciones del flujo del TLM.

Fuente: Elaboración propia.

Es ya en la Figura 38, donde se muestra una disposición real del taller de mantenimiento, aquí todas las relaciones y ordenamientos desarrollados se concretan. En esta misma figura, se exponen las áreas correspondientes a cada sección, éstas medidas han sido tomadas como referencia de la base del TLM en Coca, Ecuador.

Por último, después de buscar dentro de la base un lugar propicio para la implementación del *layout* diseñado, se encontró que los almacenes ubicados en el margen izquierdo de la base presentaban una alta compatibilidad con el esquema propuesto.



Figura 38. Layout para las instalaciones del TLM de Well Services en Perú.

Fuente: Elaboración propia.

Además cuentan con algunas de las siguientes ventajas:

- Los almacenes tienen techo y las dimensiones aproximadas a las propuestas, suficiente como para albergar a las unidades de *Well Services*.
- Disponen de puntos de abastecimiento de los servicios básicos (agua y luz).
- Cuentan con luminarias totalmente operativas.
- Todos los almacenes como el terreno que se encuentra aledaño a ellos, cuentan con losa de concreto.
- En este mismo lugar, hay cuartos de herramientas y mesas de trabajo sin usarse.

Se puede observar en la Figura 39 un *layout* “efectivo”, dado que ya está aplicado al croquis de la base 2.

El detalle de las secciones integradas se da a continuación:

1. Almacén general

Es conveniente que tanto los materiales básicos para el mantenimiento como los repuestos para un equipo en particular, se encuentren al alcance de donde se brinde mantenimiento a las unidades.

Éste debe ser un lugar apropiado para que no sufran daño alguno y sus propiedades no se vean alteradas.

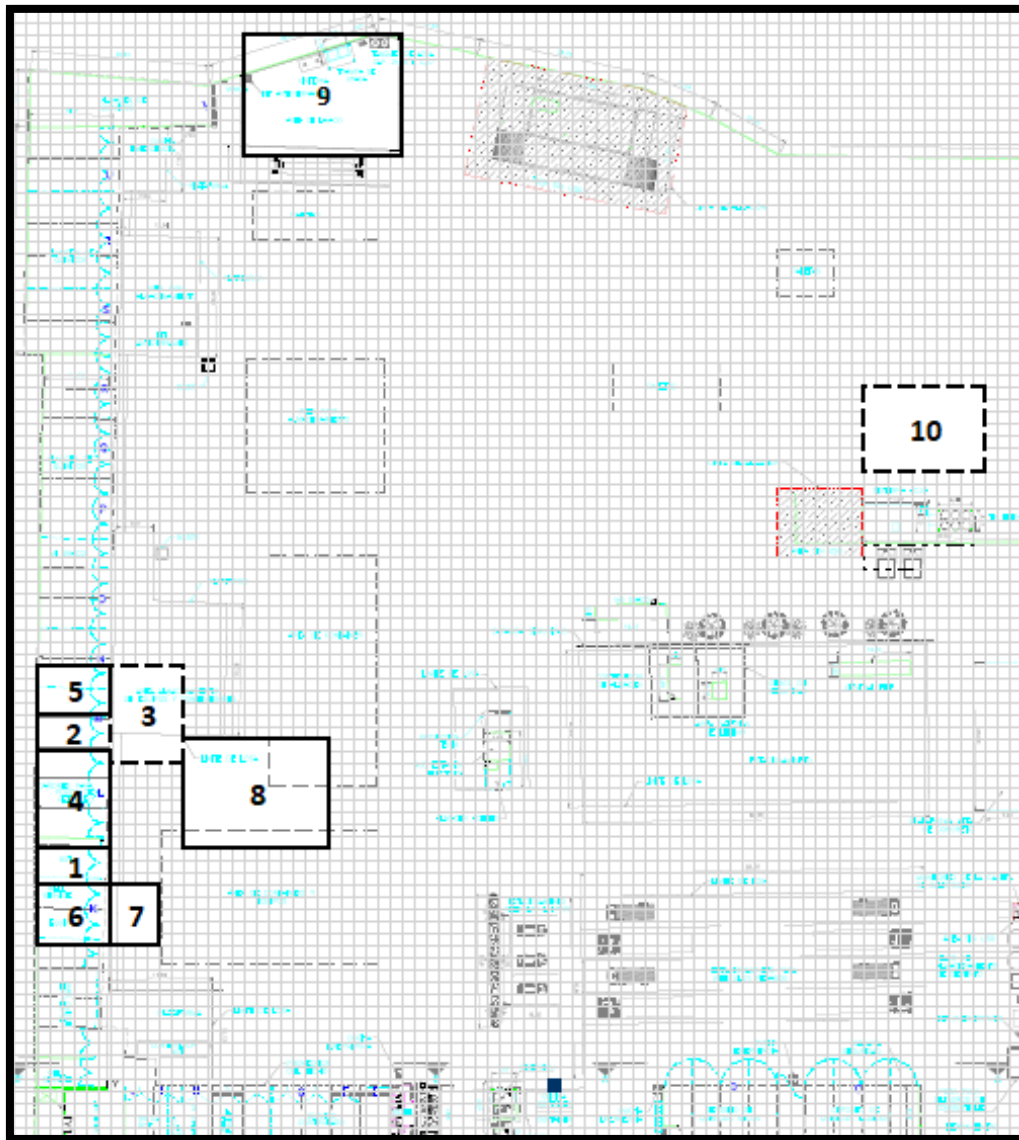


Figura 39. Layout aplicado a las instalaciones de *Well Services* en Talara.
Fuente: Elaboración propia.

2. Cuarto de herramientas

Debe concebirse como el lugar donde se encuentren de manera organizada las herramientas mecánicas y electrónicas de los técnicos.

También puede ser compartido como el almacenamiento de herramientas especiales como: torquímetros, llaves especiales, extractores de asientos, etc. los cuales deben ser guardados bajo protección.

3. Rampa de inspección²⁸

Actualmente no se cuenta con esta instalación, sin embargo es de alta importancia para el desarrollo correcto del flujo ideado. En este lugar de efectuarían labores como:

- Abastecimiento y evacuación de lubricantes
- Inspección de sistemas de suspensión y frenos.

²⁸ También llama pozo de servicios.

- Engrasado de ejes.

De manera paralela, esta área podría servir para realizar pre-inspecciones a las unidades y detectar alguna falla que no haya sido documentada anteriormente.

4. Hangares de mantenimiento

Es el área designada para ejecutar trabajos que involucren:

- Desmontaje de un equipo (motores, transmisión, etc.)
- Soldadura y corte de piezas.
- Mantenimiento mecánico, hidráulico y electrónico.
- Cambio de repuestos.

Es aquí donde debe ubicarse la estación de *Lock Out/Tag Out*²⁹, ya que facilita que el personal técnico pueda identificar aquellas unidades que están siendo reparadas.

5. Zona de aceites

Esta zona sería tanto de abastecimiento como de acopio de los desechos evacuados por las unidades.

Para el primer caso, se está trabajando en un proyecto que busca la implementación de una bahía de lubricantes moderna. Mientras en el segundo caso, se maneja la posibilidad de utilizar depósitos reciclados para la recolección de los aceites usados.

6. Zona de certificación

Tiene que contar con un área despejada para la manipulación de la línea de tratamiento, la cual es pesada y grande. Además el inspector debe tener un control total de todo el material que está certificando.

Adicionalmente, se podrían colocar bancos de prueba para certificar manómetros y otros elementos de presión utilizados en WSV.

7. Descarga de línea de tratamiento

Dicha zona solo consistiría en una porción de loza con señalética, en donde la unidad pueda desmontar la línea de tratamiento que se encuentre vencida y cambiarla por una que cuente con su inspección de estándar 23 vigente.

8. Estacionamiento

Aquí se colocarían los equipos que salen del área de mantenimiento y disponibles para las operaciones.

Dicha zona sería utilizada para efectuar las pruebas funcionales de manera provisional.

²⁹ *Lock Out/Tag Out* es el proceso del “bloqueo y etiquetado” de las unidades en mantenimiento.

9. Área de lavado

Actualmente se encuentra funcionando, sin embargo necesita de algunas modificaciones para que lo haga de mejor manera.

10. Bahía de pruebas HHP

Esta bahía de pruebas es una instalación que no se encuentra contemplada en este estudio, ya que implicaría a una inversión considerable y también, a la elaboración de un diseño especializado del recinto.

En un futuro se podría considerar como una mejora acerca del concepto de un *workshop* integrado y que cumpla con lo establecido por los estándares de calidad.

3.2.4. Concertación del *layout* propuesto y el flujo matriz de mantenimiento en WSV

Como último paso, se fija el desplazamiento de las unidades durante la ejecución de cualquier tipo de mantenimiento.

Lo anteriormente mencionado se logrará mediante la aplicación del flujo de mantenimiento matriz concebido en el capítulo anterior. Esto es, señalar las diferentes etapas que conforman el proceso y a que ubicación del *layout* corresponden.

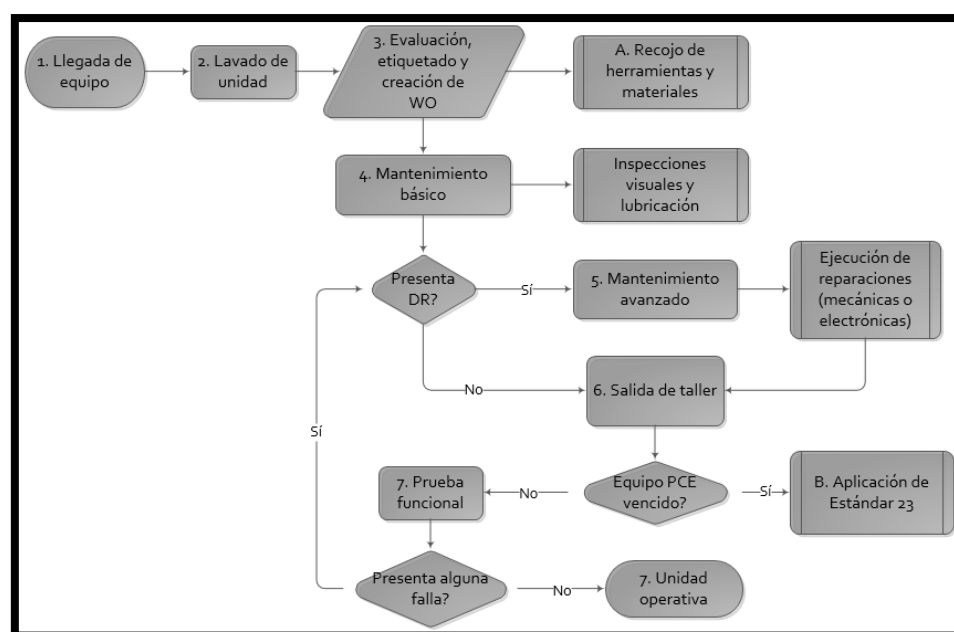


Figura 40. Identificación de etapas en el flujo matriz de mantenimiento de WSV.

Fuente: Elaboración propia.

El flujograma de la Figura 40 cuenta con procedimientos numerados, los cuales serán colocados en cada zona del taller asignada, como se aprecia en la Figura 41.

El área de pruebas de HHP no ha sido considerada dentro del flujo pero que de igual manera se efectúan en el área señalada.

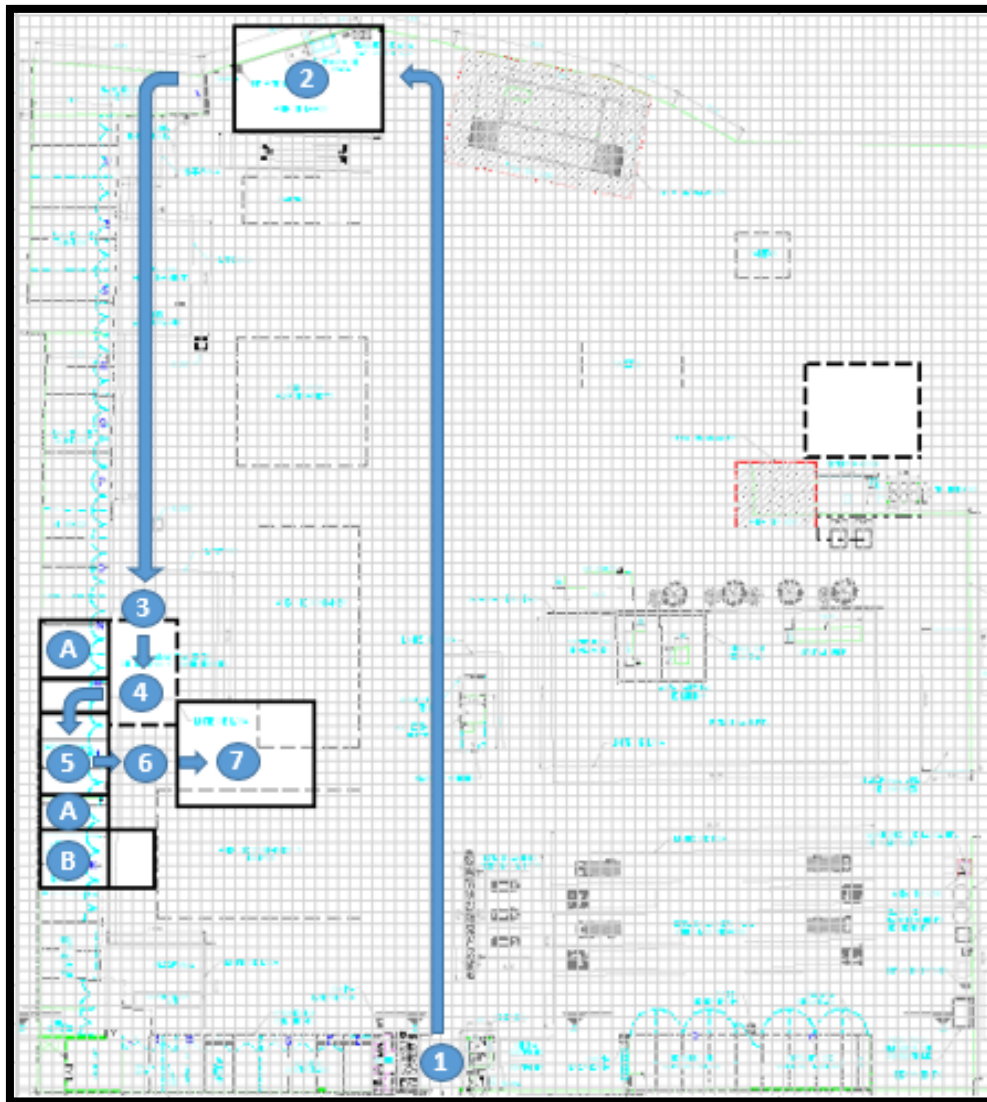


Figura 41. Aplicación del flujo matriz al *layout* propuesto.

Fuente: Elaboración propia.

De la Figura 41, se determina lo siguiente:

- I. Los procesos de mantenimiento adquieren mayor fluidez, no como en una planta industrial, pero si lo suficiente como para laborar con maquinaria pesada.
- II. Ahora el taller se concibe como un todo, facilitando el control de las labores de mantenimiento como de la productividad del personal.
- III. Se están reutilizando instalaciones existentes, lo cual representa ahorros para su implementación. Aquellas instalaciones que necesiten ser construidas van a ser sustentadas a través de un análisis económico que será expuesto en el siguiente capítulo.
- IV. Siendo un taller más compacto, las causas del tiempo improductivo encontradas en el Diagrama de Pareto serán tratadas directamente, reduciendo de manera significativa la generación de tiempos muertos.

- V. Al contar con una disposición central, permite la ubicación de otros talleres en ambos extremos, otorgándole flexibilidad en lo que respecta al propósito de interacción con otros procesos de mantenimiento.

3.3. Acondicionamiento de los talleres

Dentro de las instalaciones indicadas como propicias para establecer los talleres de mantenimiento, hay algunas de éstas que no están plenamente acondicionadas para que en ellas se puedan desarrollar las labores especificadas en el *layout*.

Hay que resaltar que no todas las áreas serán consideradas en este apartado, solo aquellas que requieran de un financiamiento por parte de la compañía para su puesta en marcha.

En este caso, se tiene planeado desarrollar un sistema en donde trabajen en conjunto la zona de lubricantes y la rampa de inspecciones. Su funcionamiento consistiría en:

- 1) La unidad debe posicionarse en la rampa de inspecciones (pozo de servicio) para descargar los aceites en la trampa de grasa que tiene instalada.
- 2) Estos desechos son bombeados desde el pozo hacia los tanques de acopio en la zona de desechos.
- 3) Una vez que la unidad esta lista para ser abastecidas por lubricantes, éstos son inyectados mediante dispensadores que se encuentran adyacentes al pozo de servicios.
- 4) Durante el suministro y recolección por parte de compañías externas, el flujo concebido para el TLM no se ve afectado.

En seguida se detalla el acondicionamiento necesario en cada zona anteriormente mencionada.

3.3.1. Zona de lubricantes

Dentro de los planes básicos de mantenimiento de máquinas, se encuentran los programas de lubricación. Existen aquellos que contemplan el cambio periódico de fluidos, mientras otros realizan análisis en laboratorios para determinar parámetros de desgaste de las piezas en contacto.

En ambas situaciones detalladas anteriormente, el establecimiento de dichos programas tiene un gran impacto en lo que a costo/beneficio se refiere. A continuación se citará un breve ejemplo para entender sus beneficios:

- Un motor industrial de 12 cilindros que desarrolla una potencia de 2366 hp³⁰, consume aproximadamente 50 galones de aceite SAE³¹ 40 para su lubricación.

En caso este motor trabaje seco (sin lubricante), puede lograr que la fricción sea tanta en el cigüeñal, que éste termine fundiéndose o en el peor de los casos, los pistones pueden romper el monoblock. Dos escenarios donde el motor queda totalmente inutilizado.

³⁰ Horse power, unidad de potencia comúnmente utilizada en motores de combustión interna.

³¹ Escala utilizada para designar la viscosidad del lubricante.

En la Tabla 30, se tienen algunos valores numéricos que pueden ayudar en la comprensión de la idea del costo/beneficio.

Tabla 30. Costos referentes a un motor industrial.

	Costo de inversión ^a (Costo de lubricante)	Pérdida ^b (Costo del motor)	Proporción costo/pérdida
Monto (\$)	720	40000	0.018

a Costo de 50 galones de aceite Shell Rimula R2 SAE 40.

b Costo referencial de un motor Caterpillar C13.

Fuente: Cummins del Perú y Ferreyros.

Determinándose del ejemplo anterior, que la inversión representa un 1.8% de la pérdida que puede significar un motor industrial, siendo un costo que vale la pena asumir para evitar pérdidas mayores. Ésto deja en evidencia los beneficios altamente rentables que representan la aplicación de planes de lubricación dentro de un proceso de mantenimiento

Por otra parte, cuando se brinda mantenimiento a una flota de maquinaria pesada que posee:

- Motores estacionarios de alta potencia.
- Sistemas hidráulicos para el arranque de motores, control de válvulas y más.
- Sistemas de refrigeración de gran capacidad.
- Transmisiones automáticas.
- Múltiples ejes de suspensión.

Es necesario contar con una cantidad considerable en *stock* de lubricantes, refrigerantes y grasa para poder suplir la necesidad, los cuales representan en conjunto una suma importante dentro de los egresos que el TLM reporta.

Habiéndose expuesto anteriormente la situación actual del almacén de aceites y la zona de desechos, se ha decidido implementar una sala de aceites, donde se pueda tanto abastecer como acopiar los desechos generados durante las labores de mantenimiento (ver la Figura 42).



Figura 42. Conformación de la zona de lubricantes.

Fuente: Elaboración propia.

A. Zona de abastecimiento

En este lugar se deben de posicionar los depósitos de lubricantes que serán vertidos en las unidades que están bajo mantenimiento o reparación alguna.

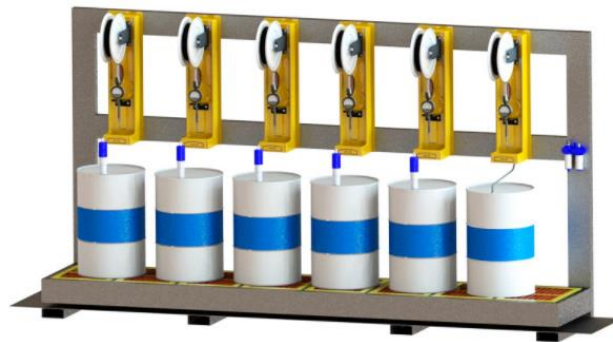


Figura 43. Bahía de lubricación básica.

Por lo general, el almacenamiento de estos fluidos se hace en barriles debidamente identificados (ver la Figura 43), lo cual solucionaría de manera directa los problemas de la generación de residuos y la falta de identificación de los envases. Pero más importante aún, es que eliminaría los múltiples recorridos efectuados para abastecer de manera total a una unidad.



Figura 44. Componentes de una bahía de lubricación.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 44, se muestran los componentes con los que debe de contar una bahía de lubricación básica.

La introducción de esta mejora que está ligada a un monto considerable de dinero, se puede manejar mediante una concesión de lubricantes a un tercero, poniéndole como condición la plena habilitación de una bahía de abastecimiento.

Actualmente, el departamento de *Sourcing*³² de Schlumberger se encuentra evaluando diversas propuestas hechas por los proveedores. Además, se están solicitando los siguientes servicios:

- Análisis de aceites: Estudio de los fluidos desechados en búsqueda de componentes propios de la máquina que indiquen algún tipo de desgaste o prevengan una futura falla, pudiendo significar la introducción de métodos predictivos a los procesos del TLM.
- Capacitaciones técnicas: Consistentes en charlas brindadas por especialistas en el rubro de la lubricación, enfocadas a mejorar los procesos de mantenimiento y mejorar la habilidad del personal técnico en el manejo de estos recursos.

B. Zona de desechos

De manera similar a la zona de abastecimiento, aquí se necesitan tanques debidamente etiquetados y protegidos por contenedores anti-derrames, siendo ambos necesarios para controlar de manera óptima y segura los desechos.

Para la implementación de esta zona, se cuenta con un proyecto que está en pleno desarrollo y cuyo objetivo es reciclar todo aquello que los demás segmentos ya no utilicen, para lograr cierto ahorro en su inversión.

Los puntos que trata este proyecto son:

- Envases de acopio: Los segmentos que manejan sustancias químicas, utilizan para el transporte de las mismas, tanques IBC³³ (ver la Figura 45). Éstos son muy resistentes a sustancias abrasivas y cuentan con una estructura metálica que facilita su movilización. Una vez vaciados, estos tanques son dispuestos en el área de desechos aun estando en buenas condiciones.

Se propone la limpieza de 4 contenedores para su posterior reutilización, dado que proporcionan notables ventajas como su hermeticidad y gran volumen de acopio (264 galones aproximadamente).



Figura 45. Contenedor IBC:

³² Se refiere al personal encargado de contactar a los proveedores para pactar acuerdos comerciales, solicitar concesiones y velar por la obtención de servicios de calidad por parte de los segmentos.

³³ Acrónimo de *Intermediate Bulk Container*, cuya traducción al español es Contenedor intermedio de productos a granel.

- Contenedores anti-derrame: El segmento de *Testing* cuenta con varios de ellos sin darles uso alguno. Por ende, se ha realizado una solicitud formal a su gerente de línea para que permita su uso. Se debe tener en cuenta que estos elementos (ver la Figura 45) son una de las tantas medidas de seguridad existentes.



Figura 45. Contenedor primario de derrames.

- Bombas: Es necesario contar con ellas para bombear los desechos de la trampa de aceites hacia los tanques de recolección. Para este fin, se utilizarán bombas Wilden³⁴ de las que *Well Services* dispone actualmente.

Por otro lado, se consideran algunos gastos que sean inevitables durante la aplicación del plan de acción, sin embargo, éstos serán expuestos de manera detallada en el último capítulo.

3.3.2. Rampa de inspección³⁵

Cuando se cuentan con unidades móviles, ya sean vehículos tanto livianos como pesados, es de crucial importancia revisar el estado de:

- suspensión (muelles, ejes, bolsas de aire, etc.),
- sistema de frenos,
- ejes de transmisión (cardanes, crucetas, etc.),

los cuales son de alta confiabilidad, pero deben ser inspeccionados para detectar alguna posible anomalía y prevenir cualquier tipo de falla. Inclusive, en los *checklist*³⁶ de cada STEM, se cuenta con apartados enfocados a la verificación de ciertos parámetros técnicos referidos a estos elementos

Cabe resaltar que todos los sistemas mencionados anteriormente, se encuentran instalados en la parte inferior de las unidades. Por ello es preciso que el personal técnico se coloque por debajo del móvil para poder ejecutar las labores respectivas.

³⁴ Son bombas de doble membrana accionadas neumáticamente y deben su nombre a su inventor, Jim Wilden.

³⁵ También llamado pozo de servicios.

³⁶ Es el listado de actividades o "itinerario de trabajo" que se ejecuta durante un mantenimiento



Figura 46. Entrada de un tráiler a un pozo de servicios.

Como respuesta a esta necesidad, los talleres de mantenimiento cuentan con rampas de inspección o pozos de servicios (ver la Figura 46). Dichas instalaciones consisten básicamente en un pozo con forma de pasarela y cuyas dimensiones dependen del tipo de unidades que se tiene pensado atender. Dentro de las ventajas que presenta, se indican las siguientes:

- a. Se pueden acondicionar servicios que faciliten las tareas realizadas (luces, dispensadores de grasa, bandejas de herramientas, etc.)
- b. Es rápido y fácil, tanto ocupar como desocupar éstas instalaciones que se encuentran al ras del piso.
- c. Se tiene un mayor control de seguridad sobre las labores ejecutadas. Por ejemplo, se puede tener gente trabajando debajo del equipo sin interferir u obstaculizar el tránsito del recinto.
- d. Mayor accesibilidad a la parte inferior de las unidades.
- e. Acorta los tiempos de mantenimiento.

Es por ello que se propone la construcción de un pozo de servicios dentro del taller, en aras del mejoramiento de los procesos y calidad de los servicios brindados por el TLM.

A continuación se especifican algunos puntos a considerar para esta construcción:

1. Ubicación

Debe estar posicionado enfrente de las zonas de herramientas y aceites, para ser más específico, dentro del área del pozo de servicios (número 3 según la Figura 39).

En la Figura 47 se muestra la situación actual de este lugar, donde se ha constatado que hay espacio suficiente como para colocar una unidad sin que ésta interfiera con la movilización del personal.

2. Dimensiones

Al ser un inmueble considerado dentro de los estándares del TLM, las dimensiones de éste ya se encuentran establecidas. Además, sus planos correspondientes ya han sido usados en otras bases del mundo.



Figura 47. Lugar para la construcción del pozo de servicios.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 31 se muestran algunas medidas de interés.

Tabla 31. Dimensiones del pozo de servicio.

Dimensiones	Cantidad (m)
Profundidad	1.2
Ancho	1
Largo	16

Fuente: Elaboración propia.

3. Estructura

En este lugar se piensa intervenir maquinaria cuyo peso promedio es 18 toneladas. Por tal motivo, se debe construir una loza de concreto armado para resistir el peso de las unidades.

4. Acondicionamientos

Para este proyecto en particular, se implementará aquello que se considera básico de disponer durante las labores de mantenimiento, caso contrario, la instalación como tal no tendría sentido. Se ha contemplado:

- Luces de trabajo.
- Bandejas de herramientas.
- Señalética de seguridad.
- Trampas de grasa.

Por otro lado, la colocación de un techo se considera indispensable para proteger a la instalación de posibles inundaciones durante época de lluvias, como las sufridas durante el Fenómeno del Niño.

5. Tiempo

Debido a que será una construcción aislada y de pequeña magnitud, se ha estimado que conllevará como máximo mes y medio para su entrega.

Cabe resaltar, que hay algunas cantidades para la construcción que no se tienen calculadas de manera exacta, para lo cual se solicitó la ayuda de expertos en el rubro de la construcción para su estimación.

Capítulo 4

Estimación del impacto financiero generado por la aplicación del proyecto

Dentro de los diferentes aspectos que se contemplan durante la concepción de un proyecto, aquel en donde se expone tanto la viabilidad como los beneficios económicos que se lograrían en caso éste sea aplicado, resulta ser de vital importancia para obtener la aceptación por parte de la línea gerencial de la empresa, según indica *Jaffe, Ross y Westerfield (2012)*.

Por tal motivo, en este último capítulo se explicará de manera detallada el aspecto financiero del proyecto, ya que no solo basta con lograr mejoras en los diferentes ámbitos que poseen los procesos (calidad, eficiencia, seguridad, tecnología, etc.) sino también, disminuir las pérdidas monetarias, provenientes de los tiempos muertos y otorgar un valor agregado a los procedimientos comprendidos en este estudio.

Generalmente consiste en la exposición de todos los costos de inversión que son necesarios realizar para la ejecución del proyecto como también, la estimación del tiempo de retorno de la inversión hecha y el cálculo de los márgenes de ganancia que posee. Todo esto se logra mediante la aplicación de conceptos básicos de finanzas.

4.1. Determinación de las mejoras implementadas a los procesos

Como se ha indicado anteriormente, resulta fundamental determinar de forma cuantitativa la magnitud en la cual nuestros procesos se verán beneficiados, mediante el establecimiento de un análisis comparativo entre la situación actual y aquella que propone el proyecto.

Para este estudio en particular, se desarrollará un flujo de trabajo que ayudará en la definición de las mejoras implementadas (ver la Figura 48). En las diferentes etapas que lo conforman, se expondrán aspectos referentes al tema económico, de tiempos muertos y eficiencias de los procedimientos.

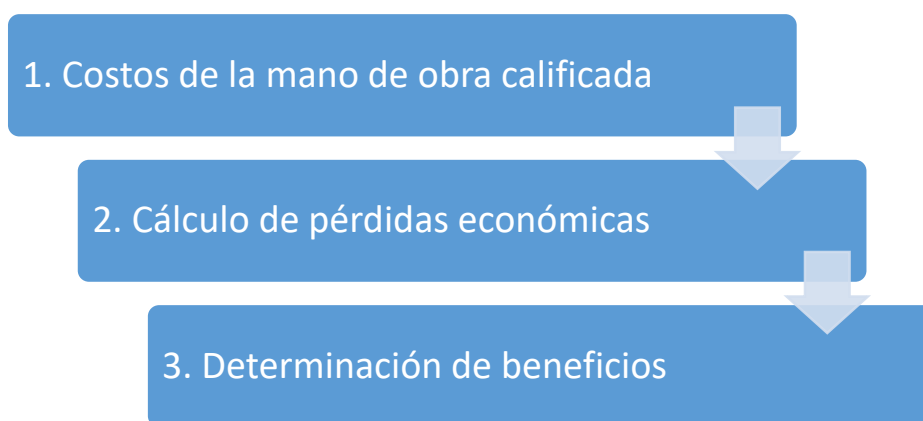


Figura 48. Flujo de trabajo para la determinación de mejoras.

Fuente: Elaboración propia.

1. Costo de la mano de obra calificada

Al disponer de recursos humanos para desempeñar labores en específico dentro de una empresa, es necesario contemplar el costo que significa la utilización de sus servicios.

En este caso, el personal técnico que conforma el TLM tiene diferentes rangos o grados dentro de su especialidad, en función de su nivel de experiencia, de la preparación técnica que reciben por parte de la compañía, de acuerdo a éstos, el pago por hora de trabajo de cada uno de ellos difiere. (Ver la Figura 49)

Para simplificar los cálculos en este capítulo, solo se tomarán en cuenta los costos correspondientes al personal mecánico, esta hipótesis se basa en las siguientes afirmaciones:

- Actualmente, en Talara solo se cuenta con una cuadrilla de mantenimiento, cuya conformación se detalla en la Tabla 32, donde se evidencia que la mayoría del personal corresponde a la especialidad de mecánica.

Tabla 32. Cuadrilla de mantenimiento del TLM – Talara.

Especialidad	Grado				
	Intern	Trainee	I	II	III
Mecánico	3	0	0	1	1
Electrónico	0	0	1	0	0

Fuente: Elaboración propia.

- En la Figura 49, se evidencia que el costo por hora de un mecánico es casi el mismo que el de un electrónico (5% menos), teniendo ambos el grado I. Por lo cual, se puede suponer un costo de 9.5 dólares por hora para ambos.
- El mantenimiento de un sistema electrónico en particular, consume mucho menos tiempo que el de un sistema mecánico. Inclusive, en un

estudio interno³⁷ se determinó que el porcentaje de horas consumidas por un electrónico con respecto a un mecánico es de un 40% menor.

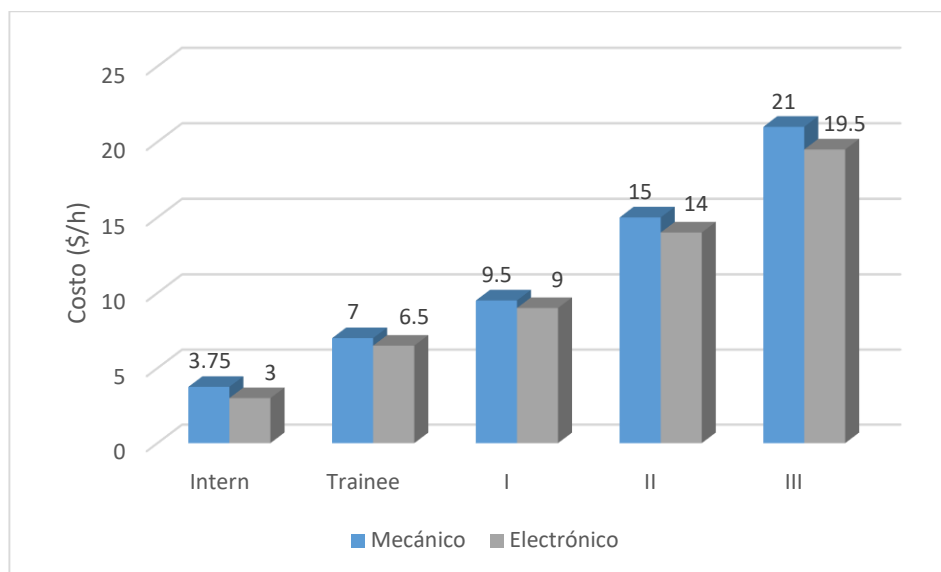


Figura 49. Costo de la mano de obra del personal del TLM.

Fuente: Elaboración propia.

2. Cálculo de pérdidas económicas

Las pérdidas económicas que el proceso de mantenimiento origina, están estrechamente ligadas a los tiempos no efectivos causados por los extensos desplazamientos y algunos tiempos de espera.

Entonces, ya habiendo hallado la cantidad de tiempo muerto en el capítulo anterior, solo faltaría relacionarlo con los costos del personal involucrado en las labores del TLM.

Para reflejar con mayor fidelidad la realidad en nuestros cálculos, se plantearán dos posibles cuadrillas de trabajo, las cuales son muy frecuentes durante una intervención mecánica programada.

- Caso 1: Consistente en un mecánico nivel III y dos practicantes de mecánica.
- Caso 2: Consistente en un mecánico nivel II y dos practicantes de mecánica.

Aplicando lo anterior, se halla la cantidad de dinero perdido relacionado a cada SMED en el periodo de un año. Además, se determinan cantidades promedio para cada uno de ellos, con un margen de variación entre sus límites de $\pm 12\%$ (ver Figura 50).

Al sumar todas las cantidades promedio, se obtiene un monto de casi \$9 mil por año de pérdidas pertenecientes a los mantenimientos básicos ejecutados.

³⁷ Dowell Schlumberger de México. *Headcount Analysis of LAM*.

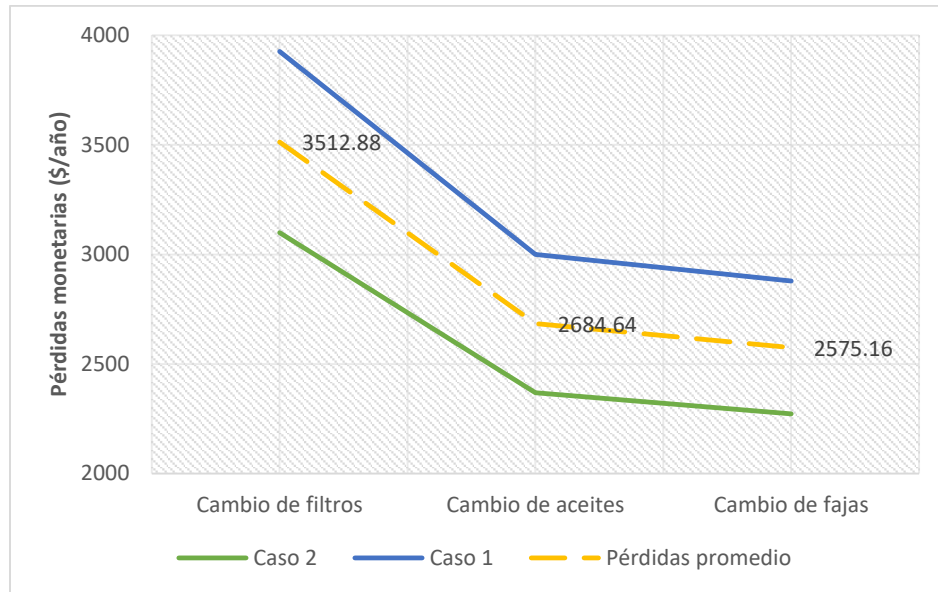


Figura 50. Mantenimientos básicos y sus pérdidas monetarias anuales.

Fuente: Elaboración propia.

Para concluir con esta parte, se calculan las pérdidas totales originadas durante la ejecución de los mantenimientos programados (STEM II y STEM III), utilizando el porcentaje referente al tiempo no efectivo (38.2%).

Concluyéndose que aproximadamente de los \$115 mil que se invierten anualmente en el pago del personal técnico, \$44.5 mil son desperdiciados en traslados y esperas innecesarias.

3. Determinación de beneficios

Al proponer un taller de mantenimiento con áreas más cohesionadas y cercanas, los desplazamientos por las instalaciones y los tiempos asociados, se verán notablemente disminuidos, atacando de forma directa nuestro principal problema. Por ende, es necesario identificar de qué modo y en qué magnitud serán beneficiados los procesos actuales.

Análisis

Como primer paso, se identificará la disminución de los tiempos consumidos durante los desplazamientos habituales dentro de las instalaciones.

Para este fin, se deben de encontrar las variaciones de distancia de cada recorrido, comparando un mismo desplazamiento tanto en el *layout* actual como propuesto.

- Nota: Los recorridos analizados se establecieron desde el hangar de mantenimiento hasta un área en particular.

De la Figura 51, se puede afirmar que el *layout* planteado presenta recorridos 60% más cortos que los actuales, en promedio. Además, elimina la dispersión del personal durante la ejecución de sus labores rutinarias.

Por otro lado, también se hallan las variaciones del tiempo, dado que éste trabaja en función del desplazamiento.

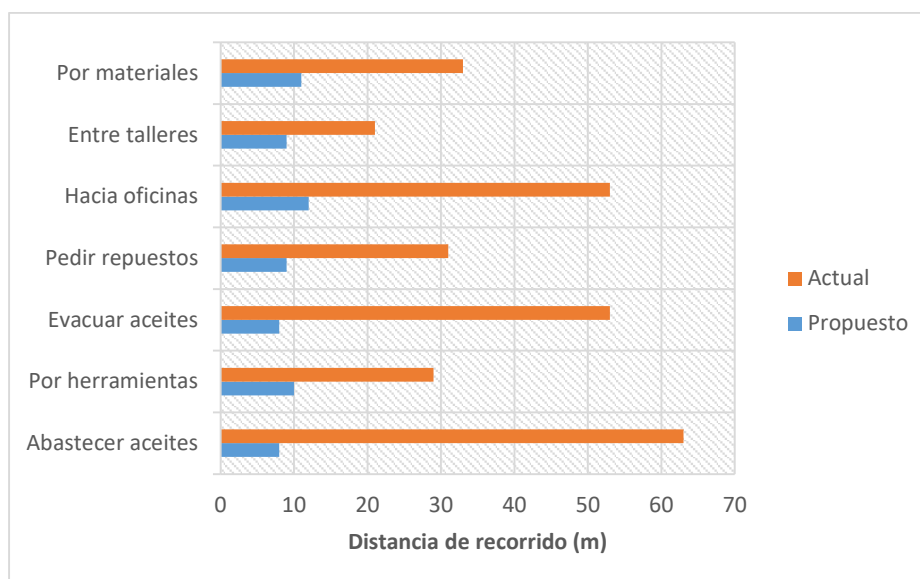


Figura 51. Comparación de recorridos.

Fuente: Elaboración propia.

Para hallar los tiempos ahorrados, se ha utilizado la unidad de tiempo estándar³⁸, la cual ha sido relacionada con las variaciones de distancia calculadas.

Pudiéndose indicar que la disminución de tiempos oscilaría entre 50% a 80%, y aunque los ahorros de tiempo sean pequeños, son compensados con sus altas frecuencias de ejecución, resultando en considerables cantidades acumuladas de tiempo recuperado (ver la Figura 52).

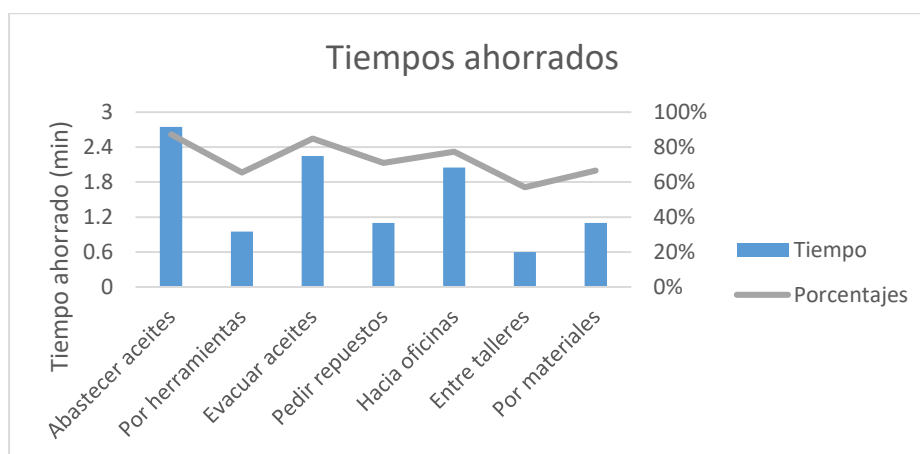


Figura 52. Variaciones de tiempo.

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta las estimaciones señaladas en la Figura 53, las cuales corresponden a los tiempos improductivos luego de introducir los nuevos trayectos (ver la Tabla 33), éstas deben ser proyectadas en el periodo de un año, para luego ser comparadas con las pérdidas actuales y así determinar el margen de ahorro que se puede lograr con la aplicación del presente estudio.

³⁸ Ver Tabla 8.

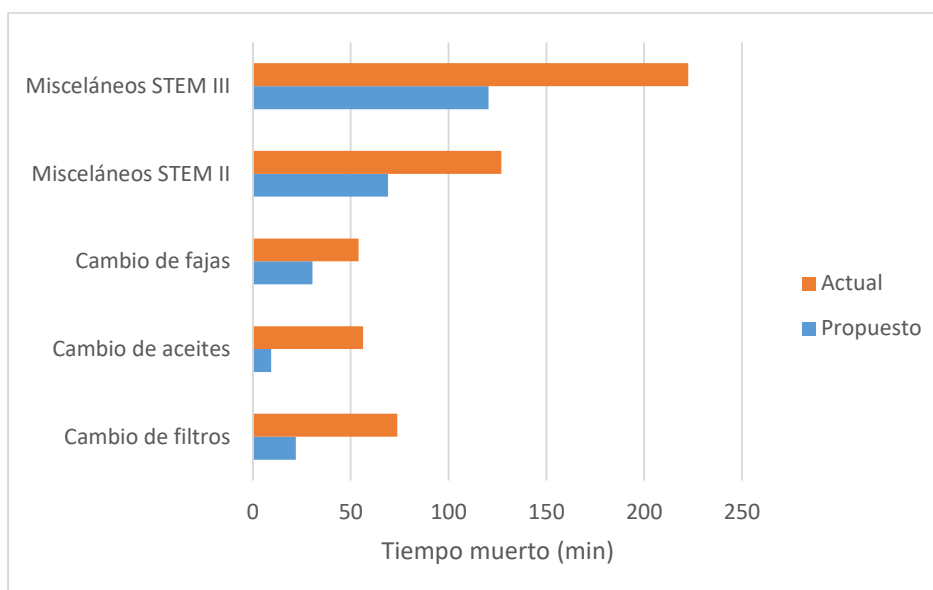


Figura 53. Disminución de tiempos improductivos.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33. Determinación de nuevos tiempos muertos.

Actividad	Intervención	
	STEM II	STEM III
Cambio de filtros	36.47	36.47
Cambio de aceites	9.42	9.42
Cambio de fajas	38.52	38.52
Mantenimientos diversos	69.13	120.49
Tiempo muerto (min)	153.54	204.90
Intervenciones estimadas	112	28
Tiempo muerto anual (h)	286.61	95.62

Fuente: Elaboración propia.

Concluyéndose, que al comparar el nuevo tiempo muerto y las horas efectivas, ambas cantidades anuales, se obtiene un margen de 19%, lo cual significa un ahorro de aproximadamente \$22 mil dentro del proceso de mantenimiento. (Ver Figura 54)

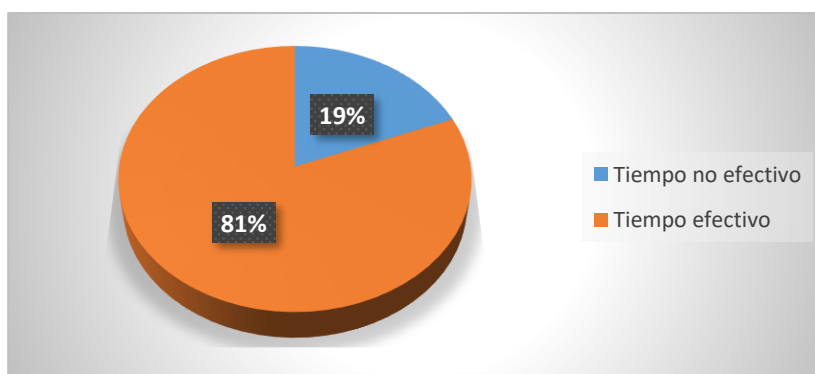


Figura 54. Proporción de tiempos correspondiente al *layout* propuesto.

Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar que el monto anterior resultaría al aplicarse todos los acondicionamientos tratados en el capítulo anterior, caso contrario, esta cantidad se vería disminuida.

4.2. Estimación de costos de inversión para el proyecto

Para trabajarlo de manera ordenada, el presupuesto se dividirá en diferentes grupos de gasto de acuerdo a ciertos criterios, permitiendo disponer de información más accesible y entendible (ver la Figura 55). Inclusive, se podría identificar con facilidad en cuál de estos grupos se concentra la inversión solicitada o si es que existe la posibilidad de prescindir de alguno de ellos.



Figura 55. División del presupuesto general.

Fuente: Elaboración propia.

A. Movilización

Dado que se planea reubicar los talleres de mantenimiento, se requiere movilizar mesas de trabajo, armarios de herramientas, repuestos y otros muebles que son usados, para ser colocados en los espacios indicados en el *layout*. Además, se debe de desocupar un área que está enfrente de los talleres para que funcione como lugar de estacionamiento, ya que actualmente allí se encuentran algunas bombas centrífugas de gran peso.

Gastos

- Se solicitará el servicio de un operador de montacargas certificado y un ayudante, debido a que en la base se cuenta con dos montacargas (5 toneladas de capacidad), para los cuales solo es necesario costear el combustible y asignarle un operador.
- Se estima, que bastará con 15 días como máximo para ordenar todos los muebles y máquinas.

Presupuesto parcial

Tabla 34. Presupuesto parcial de la movilización.

Item	Detalle	Cantidad	Unidad	Costo unidad (\$)	Costo total (\$)
1	Operador certificado	15	Días	25	375
2	Combustible para el montacarga	120	Galón	10.57	1268.40
3	Ayudante	15	Días	12	180
				Total	1823.4

Fuente: Empresa de Transportes Romero SRL.

B. Bahía de lubricantes

Debido a que los aceites que consume *Well Services* representan una gran fuente de egresos (aproximadamente \$250 mil al año³⁹), se ha propuesto la concesión de proveeduría de aceites a diferentes empresas especializadas en soluciones de lubricación.

Se solicita además que la empresa tercera elegida, se debe hacer cargo totalmente de la puesta en marcha de esta instalación, lo cual se considera un ahorro importante de inversión en este proyecto.

C. Zona de desechos

- Se acondicionarán (limpieza) cuatro tanques IBC en buen estado, de la zona de desechos.
- El segmento cuenta con una bomba Wilden de 1 pulgada, totalmente operativa y con repuestos en almacén.
- Se solicitará el traspaso de cuatro contenedores anti-derrames del segmento de *Testing*.
- Se instalará un circuito básico de bombeo compuesto por: los tanques IBC, la bomba Wilden, y el punto de recolección.

Presupuesto parcial

Tabla 35. Presupuesto parcial de la zona de desechos.

Item	Detalle	Cantidad	Unidad	Costo unidad (\$)	Costo total (\$)
1	Limpieza de tanque IBC	4	EA	4	16
2	Servicio de instalación del sistema de bombeo (mano de obra)	1	EA	150	150
3	Proveeduría de materiales del sistema de bombeo (conexiones, válvulas, tuberías, etc.)	1	EA	120	120
				Total	286

Fuente: Duncan Industrial Services EIRL

³⁹ Esta cifra ha sido resultado de los consumos anuales del periodo 2013-2016.

D. Misceláneos

En esta sección se consideran aquellos equipos complementarios para los talleres de mantenimiento y que actualmente carecen de estos en forma parcial.

Implementos necesarios

- Pintura de tráfico: dado que por las instalaciones se trasladará maquinaria pesada, sus senderos deben estar claramente indicados.
- Equipos de emergencias: como kits de primeros auxilios, luces de emergencia y kits anti-derrames.
- Señalética adecuada.

Por otro lado, se tiene pensado contratar los servicios de pintura e instalaciones eléctricas para finalizar con el acondicionamiento de los talleres.

Tabla 36. Presupuesto parcial de implementos misceláneos.

Item	Detalle	Cantidad	Unidad	Costo unidad (\$)	Costo total (\$)
1	Luces de emergencia	4	EA	88.26	353.04
2	Kit anti-derrames	2	EA	205	410
3	Pintura de tráfico (amarillo y negro)	15	Galón	24	360
4	Kit de primeros auxilios	6	EA	21.87	131.22
5	Señalética para taller	1	EA	300	300
6	Servicio de acondicionamiento de talleres (pintura, instalaciones eléctricas, etc)	1	EA	400	400
				Total	1954.26

Fuente: Grainger y Duncan Industrial Services EIRL.

E. Pozo de servicios

En el capítulo anterior se indicó que era preciso construir un pozo de servicios para contribuir a un flujo más continuo del proceso, eficiencia del mantenimiento y calidad del servicio brindado.

Presupuesto parcial

- Se ha obtenido una proforma de la construcción por parte de una empresa de servicios generales con experiencia en el rubro de la construcción.
- Cabe resaltar, que las cantidades mostradas en la Tabla 37 son medidas tomadas de manera empírica por el proveedor sin seguir diseño alguno.

Presupuesto general

Habiendo detallado en cada sección los gastos a efectuar (excepto la bahía de lubricantes), se procede a sumar cada monto parcial para así obtener el costo total de inversión del proyecto.

La inversión consiste en \$31.3 mil, la cual debe ser solicitada por el segmento al gerente general de *Well Services* zonal⁴⁰. (Ver Tabla 38)

⁴⁰ Pertenecientes a los países de Perú, Colombia y Ecuador.

Tabla 37. Presupuesto parcial del pozo de servicios.

Item	Detalle	Cantidad	Unidad	Costo total (\$)
1	Demolición de piso y muro existente	66	m3	18727.54
2	Excavación	86.4	m3	
3	Acarreo y eliminación de material excedente	160	m3	
4	Construcción del pozo de servicios			
	Encofrado, varilla de 3/8 y vaciado de concreto	47.25	m3	
	Habilitación de puntos de iluminación	4	ea	
	Habilitación de tomas de corriente	2	ea	
	Punto de desfogue (trampa de aceites)	1	ea	
	Carril para facilidades (ángulo de 1 1/2" x 3/16")	2	ea	
5	Contrucción de loza adyacente al pozo (varilla de 3/8, encofrado, vaciado de concreto y planchado)	144	m2	
6	Suministro e instalación de tablero eléctrico	1	ea	
7	Pintado de la instalación	1	ea	
8	Construcción de techo			8538.91
	Estructura metálica (tubo cuadrado)	250	m2	
	Eternit	250	m2	
	Iluminación de techo (fluorescentes LED)	8	ea	
	Suministro e instalación de detectores de humo	4	ea	
	Pintado de la estructura	1	ea	
			Total	27266.45

Fuente: V y V Servicios múltiples EIRL.

Tabla 38. Presupuesto general del proyecto.

Descripción	Costo parcial (\$)
Movilización	1823.4
Zona de desechos	286
Bahía de lubricantes	0
Pozo de servicios	27266.45
Misceláneos	1954.26
Total	31330.11

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Análisis financiero

Dentro del análisis financiero de un proyecto, es común encontrar suposiciones que evalúan la viabilidad del proyecto desde múltiples perspectivas, que influyen posteriormente, en la toma de decisiones por parte de gerencia.

Por lo general, las decisiones son estimadas en base a los márgenes de ganancia o ahorro presentados y los tiempos de retorno del capital invertido, tanto en corto y largo plazo. Sucede que a veces un proyecto no proporciona resultados inmediatos, pero con el pasar del tiempo, da señales de su rentabilidad.

Por otra parte, las suposiciones financieras son posibles situaciones (de riesgo o beneficio) que están fundamentadas en datos históricos o estudios académicos, cuyos resultados pueden alterar el normal desenvolvimiento de una empresa, no solo desde el punto de vista económico, sino también social, tecnológico y ambiental, tal como explica Allen, Bradley y Myers (2010).

En ese sentido, se presentan a continuación las suposiciones que serán tomadas en cuenta durante el análisis económico del presente proyecto:

a) Suposición A: “Taller mecánico sin pozo de servicios”

En este supuesto se plantea el funcionamiento del taller de mantenimiento, sin contar con un lugar adecuado para las revisiones y cambio de aceites de las unidades, lo cual no distorsiona el correcto flujo de los procedimientos, ya que es solo un valor agregado al servicio brindado. Sin embargo, algunas de estas tareas se seguirían haciendo como en la actualidad, lo cual disminuiría los tiempos recuperados hallados en un inicio.

Inversión: Al dispensar de costos de construcción, diseño y mantenimiento de las instalaciones, éste consistiría en la cantidad de \$4.1 mil.

Claro está, que dicha cantidad contempla al equipamiento básico de las demás áreas y de la zona de desechos, la cual sustraería los residuos de los envases de acopio.

 Nota: Cabe resaltar que dicha zona no se ve afectada por inundaciones durante periodos de lluvias, debido a que está dispuesto en un terreno relativamente alto. Lo anterior se pudo corroborar durante el Fenómeno del Niño el presente año.

b) Suposición B: “Pozo de servicios costado en su totalidad por el TLM”

Para este caso, el departamento de mantenimiento se haría cargo del costo por la construcción total de esta área y otros gastos que surgirán ligados al primero (por ejemplo, el mantenimiento de la instalación) a través de un CAPEX⁴¹ otorgado por la compañía al segmento.

En este escenario, la inversión es mucho más grande y muy probablemente se vería recuperada a largo plazo y no como un retorno de dinero, sino como un ahorro. Empero, los resultados obtenidos no distarían mucho de los calculados en el presente trabajo.

Inversión: Como ya se había indicado líneas arriba, el presupuesto de la implementación total sería de \$31.3 mil, el cual debe ser solicitado por el gerente del segmento con respaldo en un análisis financiero de su factibilidad.

⁴¹ Acrónimo de *Capital expenditures*, el cual es capital utilizado por las compañías para aumentar sus activos fijos.

- c) Suposición C: “Pozo de servicios costado en su totalidad por una compañía externa especializada en lubricación”

El segmento de *Well Services*, al utilizar maquinaria pesada para sus operaciones, consume grandes cantidades de lubricantes durante la manutención de los equipos.

Es fácil inferir que representa una buena porción de los egresos registrados, por ende, se podría proponer la concesión de la proveeduría exclusiva de aceites a un tercero, extendiendo aún más la propuesta inicial planteada en el capítulo anterior. Ésta consistiría en:

- Construcción del pozo de servicios (pozo y techo).
- Mantenimiento periódico de las instalaciones.
- Implementación de la bahía de lubricación.

La negociación y cierre del trato, es una tarea delegada al área de Sourcing, aunque es de esperar que se establezca la exclusividad por un periodo de 5 años, tiempo promedio para recuperar una inversión.

Inversión: Al ser un gasto compartido, Schlumberger solo aportaría la cantidad de \$4.1 mil, correspondiente a los implementos básicos necesarios.

 Nota: Se puede afirmar que la tercera suposición es una combinación de la primera y segunda suposición, ya que no asume la construcción del pozo de servicios, pero obtiene el valor agregado.

Habiendo expuesto los diferentes escenarios que serán materia de evaluación, se procede a la determinación de sus beneficios en diferentes lapsos de tiempo.

A. Corto plazo

Tiempo de proyección: Como nuestros cálculos se encuentran basados en el periodo de un año y teniendo como 1 mes el tiempo de entrega del pozo de servicios, según la constructora, se cree apropiado establecerlo en 1 año calendario para todos los supuestos.

Análisis:

- a) Tener en cuenta que se tiene implementada la bahía de lubricantes mas no la fosa de inspección, lo cual significa que algunos problemas no son combatidos de manera eficaz, quedando remanentes de tiempo improductivo que afectan el ahorro total ideal. Estos problemas son:
- Se debe de esperar a que el aceite sea drenado totalmente para luego evacuarlo.
 - Limpiar antes y después de usar los depósitos en donde se reciben los desechos.
 - El abastecimiento de aceites debe ser estrictamente vigilado para evitar derrames.
 - El área colindante puede contar con herramientas que pueden obstaculizar el desplazamiento del personal.

- El mantenimiento e inspecciones de la parte inferior de las unidades seguiría siendo incómodo y poco práctico.

Se estima una disminución de un 25% del ahorro calculado, el cual es adjudicado a los tiempos pertenecientes al proceso de cambio de aceite (ver la Tabla 39).

Tabla 39. Tabla de resultados de la suposición A.

Parámetros	Cantidad (\$)
Ahorro alcanzado	16718.42
Inversión	4100
Margen de beneficio	12618.42

Fuente: Elaboración propia.

- b) Al estar el taller totalmente implementado, la cantidad de dinero ahorrado se mantiene inalterable respecto a lo hallado, sin embargo, la inversión se verá acrecentada por conceptos de mantenimiento del predio. Labores constituidas por mantenimiento de los conectores, limpieza de la trampa de aceite, etc., puede ser asumida como el 10% sobre la inversión original (ver la Tabla 40).

Tabla 40. Resultados de la suposición B.

Parámetros	Cantidad (\$)
Ahorro alcanzado	22000
Inversión	34430
Margen de beneficio	-12430

Fuente: Elaboración propia.

- c) Esta última suposición, se tiene la construcción del pozo de servicios y sus gastos de mantenimiento costeados plenamente por un tercero, mientras se obtienen los beneficios sin variación alguna. Los únicos gastos registrados corresponden a los implementos básicos del taller, como se indica en la Tabla 41.

Tabla 41. Resultados de la suposición C.

Parámetros	Cantidad (\$)
Ahorro alcanzado	22000
Inversión	4100
Margen de beneficio	17900

Fuente: Elaboración propia.

Resultados parciales

Al comparar los resultados mostrados en la Figura 56, se llega a afirmar que la última suposición es la más viable, debido a que sus diferentes parámetros se encuentran mejor proporcionados que el resto.

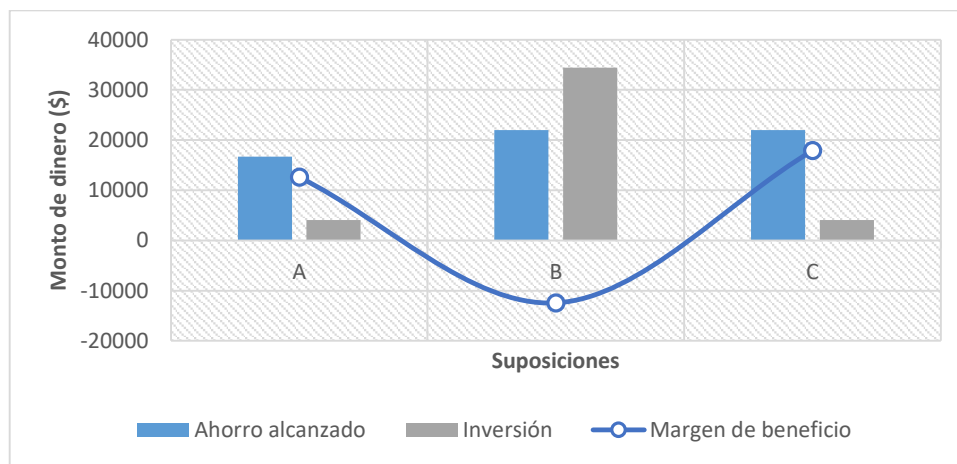


Figura 56. Resultados del análisis a corto plazo.

Fuente: Elaboración propia.

B. Largo plazo

Cuando se realizan los análisis a largo plazo, es común que éstos se estimen en el lapso de 5 años, tiempo que se considera prudente para evaluar las posibles consecuencias de la aplicación. Además de esto, también se debe simular un contexto en donde transcurren los cambios, el cual se fundamenta en:

- Registro de situaciones similares ocurridas en el pasado.
- Proyecciones económicas propias del rubro al cual pertenece la empresa bajo estudio

A continuación se procederá a la elaboración del contexto de análisis, no sin antes exponer dos parámetros de interés en este negocio:

- Barriles por día (bpd): es un valor propio de las empresas operadores. Es uno de los indicadores más usuales e importantes dentro de la industria petrolera.
- Etapas por semana: indicador usado en *Well Services* para medir la cantidad de sus servicios brindados y los tiempos de operación de las máquinas, siendo el tiempo promedio de una etapa 5 horas y teniendo un costo de \$50 mil cada una.

I. Antecedentes

Entre octubre del 2016 y abril del 2017, se registró una alza de la actividad petrolera en el noroeste peruano, produciendo que diversas empresas operadoras retomaran sus actividades en sus lotes, razón por la cual incrementó la demanda de los servicios petroleros.

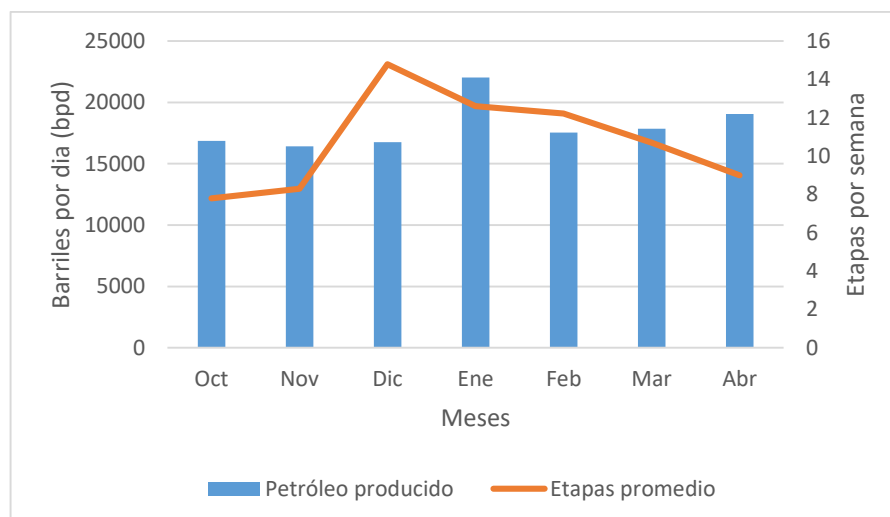


Figura 57. Actividad petrolera del periodo octubre 2016 a abril 2017.

Fuente: Estadística petrolera (2017).

En la Figura 57, se observa que en el mes de enero del 2017 se tuvo un repunte en la producción de crudo, llegando a los 22 mil bpd, para en los siguientes meses decrecer un aproximado de 20% pero con una ligera tendencia de alza.

Por otro lado, WSV registró 3 meses con 13.21 etapas fracturadas por semana en promedio, obteniendo un ingreso de casi \$660 mil mensual. Sin embargo, el área del TLM presentó algunos retrasos para la entrega de equipos ya que ahora cada unidad trabajaba 264 horas por mes, acortando los tiempos de mantenimiento, en especial los STEM II.

II. Predicciones

Según los pronósticos hechos por Perupetro, desde el 2017 se experimentarán un crecimiento lineal de la producción, hasta que el 2019 llegue a su máximo de 23.5 mil bpd, para luego disminuir del mismo modo en casi 2 mil bpd. (Ver Figura 58)

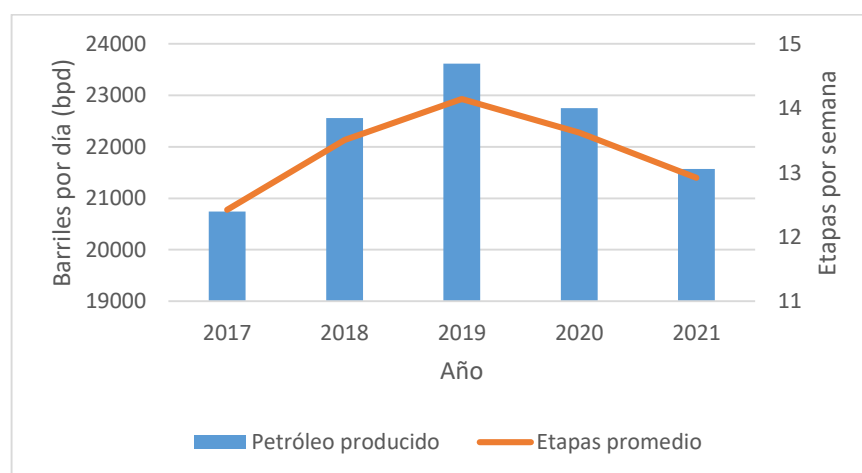


Figura 58. Predicciones de la producción de petróleo.

Fuente: Pronósticos de producción de hidrocarburos líquidos (2017).

Considerando la actividad prevista, el segmento calcula que en el año donde se tendrá un auge operacional, el promedio de etapas fracturadas por semana sería de 14.1, cantidad similar a la registrada en diciembre del 2016 (14.8). Sin embargo, se debe resaltar que la última cifra solo hace referencia a un mes, mientras la otra, es anual.

Pronóstico del TLM

De manera conjunta, el área de mantenimiento propone la importación progresiva de 5 equipos más, de la siguiente manera:

- 2 unidades de fractura para el año 2018
- 2 unidades más de fractura y una de cemento para los años 2019 y 2020.
- Devolver 2 unidades el año 2021, para evitar mantener en base equipo en exceso.

No obstante, esta vez se tendría la ventaja de rotación durante cada operación, a continuación se muestra un ejemplo de funcionamiento:

- Se mantendrían totalmente funcionales dos sets de fractura y uno de cemento, mientras a uno de cada uno se le brinda mantenimiento, siendo sets de respaldo o esperando a que otro ya tenga programado su entrada al taller para remplazarlo.

Como paso previo al análisis, en la Tabla 42 se señala la variación tanto de las unidades en base y otros parámetros que se encuentran directamente ligados a éstos.

Tabla 42. Parámetros proyectados.

Año	2018	2019	2020	2021
Cantidad de unidades	30	33	33	31
Etapas por semana	13.5	14.1	13.6	12.9
Horas mensuales de trabajo	270	282	272	258
Cantidad de STEM II anuales	240	264	264	248
Cantidad de STEM III anuales	30	33	33	31

Fuente: Elaboración propia.

Análisis

Para tener una perspectiva mucho más amplia, los tres supuestos serán analizados en simultáneo, para poder compararlos y tomar las decisiones al respecto.

En la Figura 59, se puede observar que las pérdidas monetarias que se generaría en el supuesto A, son demasiado elevadas en comparación de las demás, registrando un máximo de \$53 mil anuales, en comparación de los \$38 mil estimados para los restantes. Por ende, se descarta.

Se debe resaltar, que la suposición B y C generan los mismos beneficios debido a que ambas cuentan con el taller totalmente implementado, por ello, han sido tomadas como una sola.

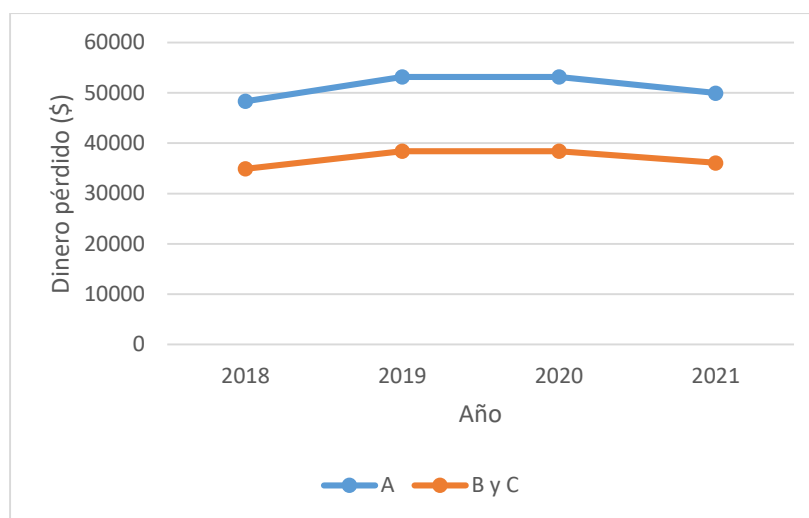


Figura 59. Proyección de pérdidas económicas.

Fuente: Elaboración propia.

Luego, se comparan los supuestos restantes contra la situación actual de taller, para hallar cuáles son sus márgenes de beneficio.

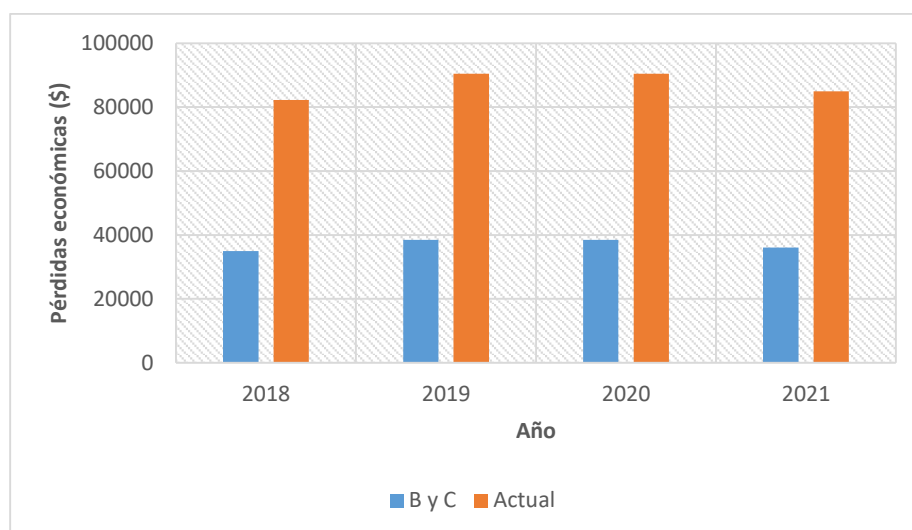


Figura 60. Comparación de pérdidas económicas.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados mostrados en la Figura 60, señalan que se mantendría un 42% de ahorro en los diferentes años. Inclusive, en el año 2019 se tendrían pérdidas por casi \$38 mil, las cuales son inferiores a las que se tienen actualmente.

Con todo esto se concluye que la mejor propuesta de inversión es la expuesta en la suposición C, pues ésta presenta los mismos beneficios que la B pero a un menor precio. Dicha decisión es respaldada por el análisis a corto plazo.

Conclusiones

1. Al implementar un taller mucho más ordenado y compacto, resulta más fácil obtener un control general del personal técnico dispuesto en el taller, de las unidades que están siendo intervenidas y los avances de las labores que se efectúan en ellas.
2. Los tiempos muertos detectados en la actualidad serían reducidos en un 50% en la distribución planteada, lo cual considera un avance importante en la eficiencia global del proceso. Inclusive, al efectuar las proyecciones al largo plazo, se obtendría un ahorro de casi \$100 mil durante los años de mayor producción, corroborando la efectividad del diseño.
3. La cantidad de unidades previstas para las operaciones en los años 2019 y 2020, ya han sido contempladas durante el cálculo de las bahías de mantenimiento, y además permiten 30 unidades más sin problema alguno.
4. En comparación a otros proyectos, éste tiene efectos inmediatos sobre el proceso analizado, ya que el taller será ubicado en instalaciones existentes, eliminando de esta manera los prolongados tiempos de ejecución que implicaría la construcción de un taller integrado.
5. Se puede afirmar que los tiempos de espera detectados en las labores de mantenimiento son influenciados por factores muy complejos, muchos de los cuales son ajenos al TLM y para reducirlos, conllevaría a estrategias de mejora conjunta entre los diversos segmentos que posee Schlumberger. Por este motivo, se debe resaltar que la disminución de estos tiempos se encuentra fuera del alcance del presente estudio.
6. Si bien reducir trayectos e implementar nuevas áreas sigue generando pérdidas económicas considerables, se pueden aplicar diversos métodos y herramientas para reducir aún más los tiempos muertos. Una muy buena alternativa sería la puesta en práctica de la metodología LEAN, que promueve la mejora continua de los procedimientos y aunque es un proceso largo, los resultados obtenidos son excepcionales.

7. La instauración de la distribución diseñada, puede significar un punto de inflexión en la estructuración del TLM en el Perú, ya que sienta las bases para el análisis de un aspecto intangible y no tan conocido del mantenimiento, el operacional. También puede ser usado como línea guía de futuros proyectos.
8. Luego de haber evaluado los beneficios en el corto y largo plazo, se demuestra que la alternativa más viable para el financiamiento del presente proyecto es a través de la concesión del abastecimiento de lubricantes a un tercero. Si bien se obtiene los mismos resultados al cubrir los costos la propia compañía, esta idea resulta ser más atractiva para la terna gerencial.

Bibliografía

- Allen, F., Bradley, R., Myers, S. (2010). *Principios de finanzas corporativas*. México D. F., México: McGraw Hill.
- Calderón L., J. (2017). *Diseño de operaciones: Disposición de planta*. Universidad de Piura. Piura, Perú.
- D'Alessio, F. A. (2015). *Administración de las operaciones productivas: Un enfoque de los procesos para la gerencia*. Pontifica Universidad Católica del Perú: Centro de Negocios. Recuperado de:
http://dalessio.pearsonperu.pe/administracion_de_las_operaciones_productivas/recursos/01.pdf
- García G., S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Madrid, España: Ediciones Diaz de Santos S. A.
- Hernandez Matías, J. C. y Vizán Idolpe, A. (2013). *Lean Manufacturing. Conceptos, técnicas e implantación*. Recuperado de:
<https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/20730/lean-manufacturing-concepto-tecnicas-e-implantacion>
- Instituto Uruguayo de Normas Técnicas. (2009). *Herramientas para la mejora de calidad*. Recuperado de: <https://qualitasbiblo.files.wordpress.com/2013/01/libro-herramientas-para-la-mejora-de-la-calidad-curso-unit.pdf>
- Jaffe, J., Ross, S., Westerfield, R. (2012). *Finanzas corporativas*. México D. F, México: McGraw Gill.
- Mobley, R. K. (Ed). (2008). *Maintenance Engineering Handbook*. Nueva York, Estados Unidos: McGraw Hill.

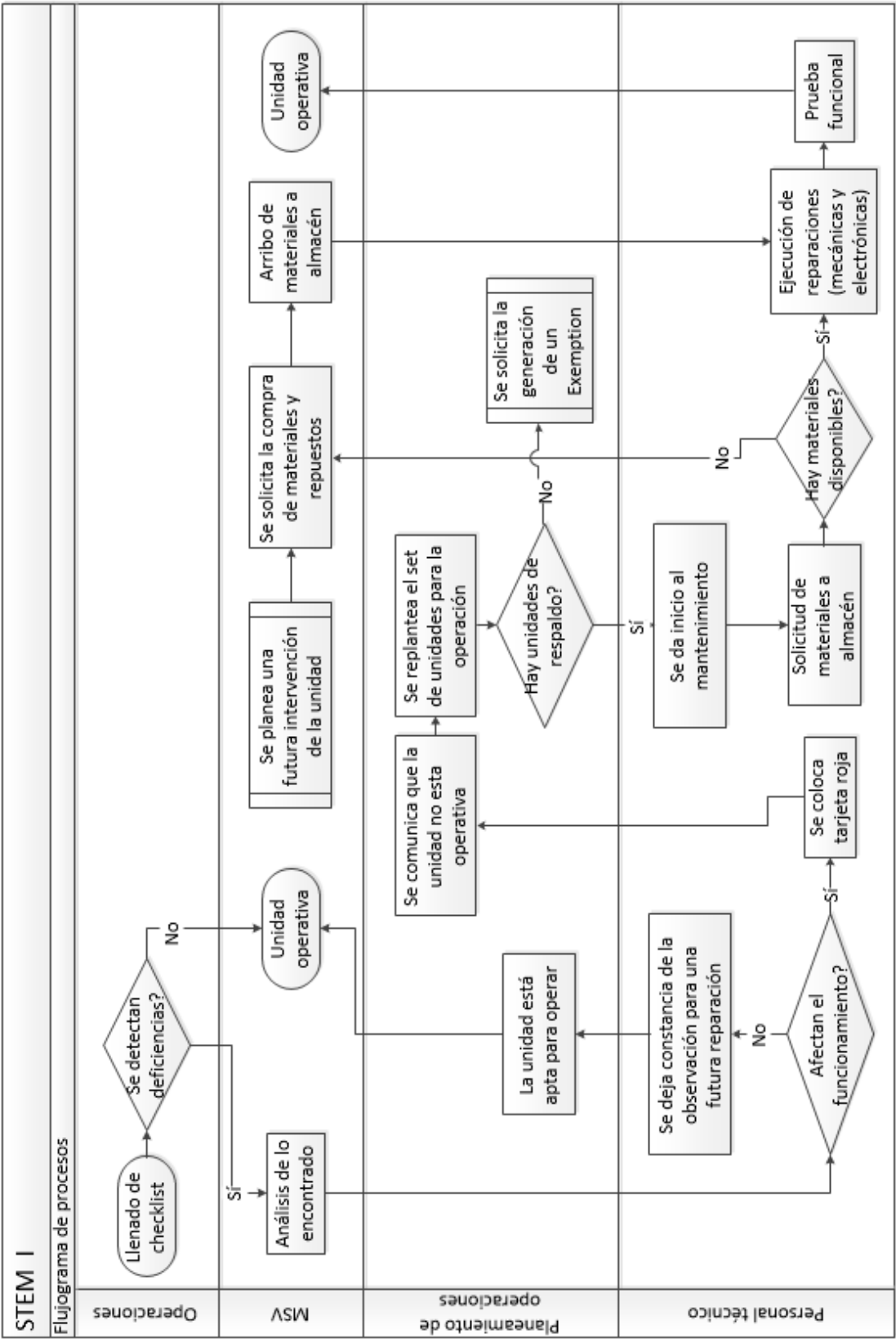
Perupetro. (2017). *Estadística petrolera*. Recuperado de:
<http://www.perupetro.com.pe/wps/wcm/connect/Perupetro/site/Informacion%20Relevante/Estadisticas/Estadistica%20Petrolera>

Perupetro. (2017). *Pronósticos de producción de hidrocarburos líquidos*. Recuperado de:
<http://www.perupetro.com.pe/wps/wcm/connect/perupetro/site/informacion+relevante/estadisticas/pronosticos+de+produccion+de+hidrocarburos+del+quinquenio/pronosticos+de+hidrocarburos+liquidos>

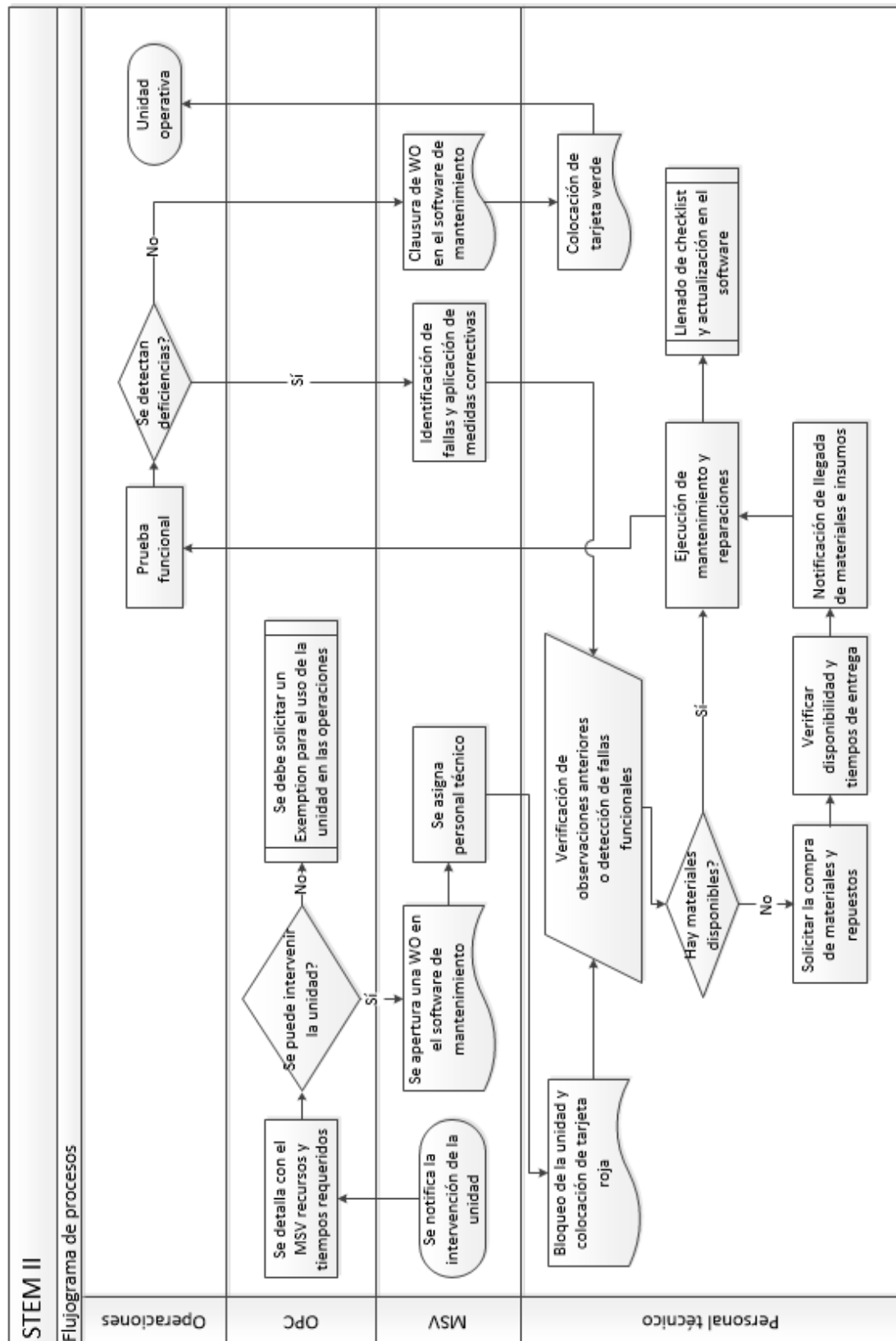
Schlumberger. (s/f). *Our history*. Recuperado de <http://www.slb.com/about/history.aspx>

Apéndices

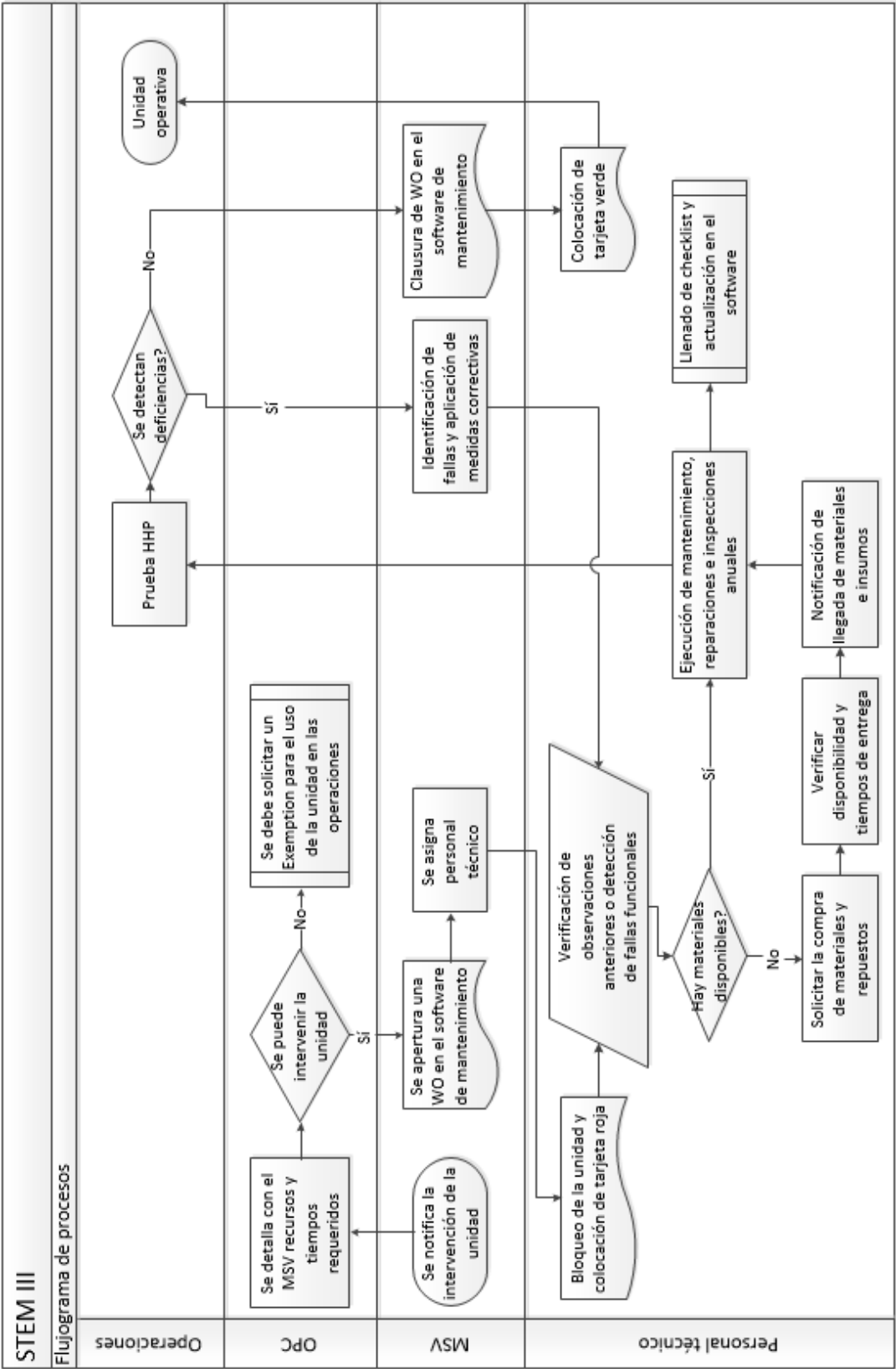
Apéndice A-1



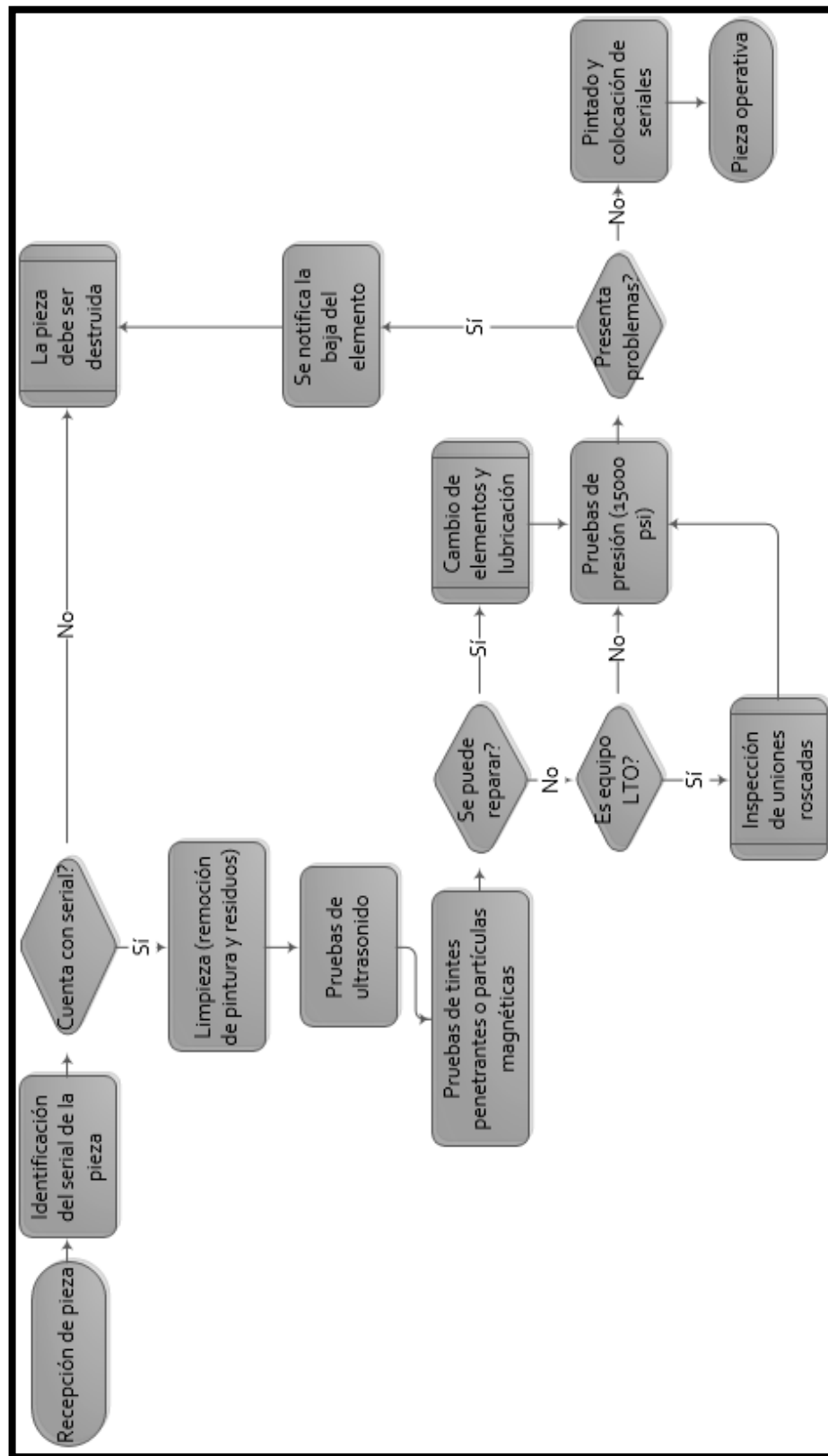
Apéndice A-2



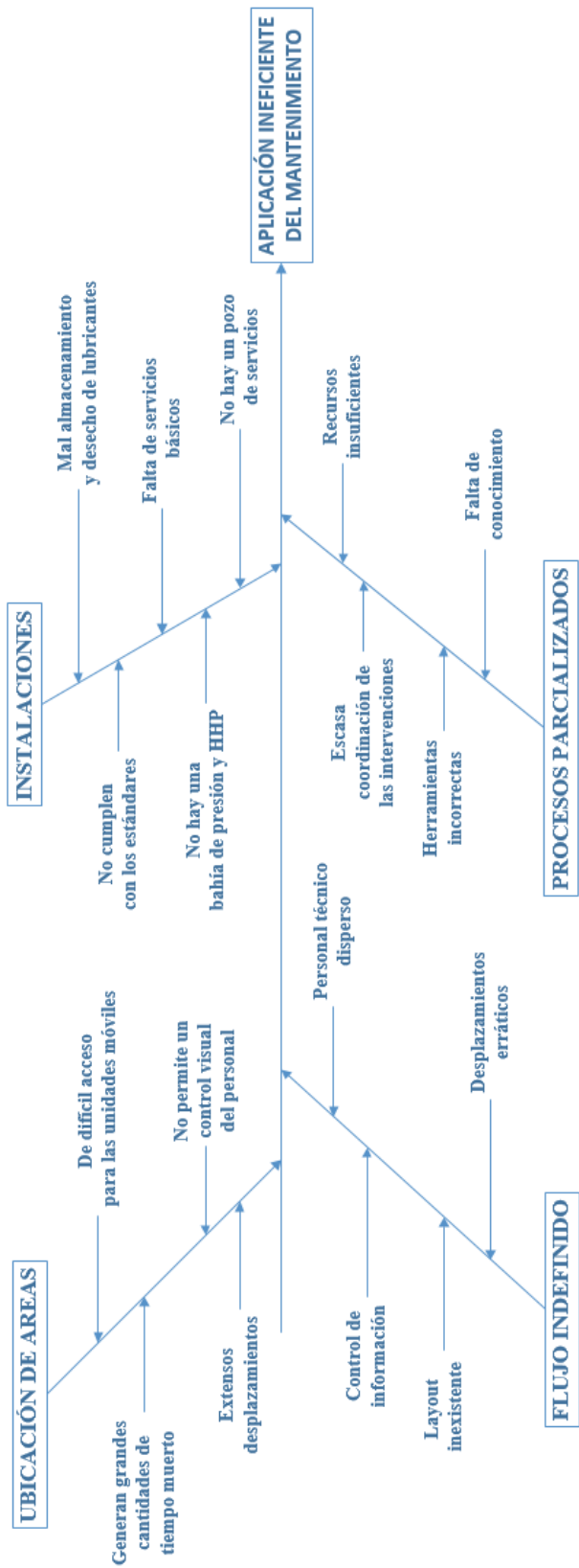
Apéndice A-3



Apéndice A-4



Apéndice A-5



Anexos

Anexo B-1

Tabla de flujo de trabajo																						
Actual				Propuesta		Diferencia		Technology Lifecycle Management - Peru														
		No. Tiempo		No. Tiempo		No. Tiempo																
● Trabajo										Trabajo												
➡ Traslado										Comienza												
⏸ Espera										Termina												
👤 Inspección										Lugar												
▼ Almacén										Fecha												
Distancia																						
Item		Detalles del metodo						Traslado		Espera		Inspector		Almacen		Distancia		Tiempo		Notas		
1								●	➡	⏸	👤	▼										
2								●	➡	⏸	👤	▼										
3								●	➡	⏸	👤	▼										
4								●	➡	⏸	👤	▼										
5								●	➡	⏸	👤	▼										
6								●	➡	⏸	👤	▼										
7								●	➡	⏸	👤	▼										
8								●	➡	⏸	👤	▼										
9								●	➡	⏸	👤	▼										
10								●	➡	⏸	👤	▼										
11								●	➡	⏸	👤	▼										
12								●	➡	⏸	👤	▼										
13								●	➡	⏸	👤	▼										
14								●	➡	⏸	👤	▼										
15								●	➡	⏸	👤	▼										
16								●	➡	⏸	👤	▼										
17								●	➡	⏸	👤	▼										
18								●	➡	⏸	👤	▼										
19								●	➡	⏸	👤	▼										

Anexo B-2

3.2. PRODUCCIÓN FISCALIZADA DE HIDROCARBUROS LÍQUIDOS • 2017

PRODUCCIÓN FISCALIZADA DE HIDROCARBUROS LÍQUIDOS - 2017																
ZONA	OPERADOR	LOTE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL	
PETRÓLEO (BLS)																
SELVA NORTE	PLUSPETROL NORTE	8	178,360	182,820	187,003	185,446	172,420	130,949	129,449	162,478					1,328,026	
	PACIFIC	182	-	54,750	131,432	119,548	81,652	178,585	233,258	295,329					1,054,564	
	PERENCO	67	•	•	•	•	•	•	•	•					•	
	MAPLE	31B01D	2,031	2,580	1,154	3,433	1,678	844	1,893	2,427					16,060	
	MAPLE	31-E	•	1,328	1,454	1,408	1,477	•	•	622					6,280	
SELVA CENTRAL	CEPSA	131	87,840	87,950	83,934	83,537	92,671	90,927	89,737	96,365					713,461	
	GMP	I	28,582	24,849	26,396	25,643	25,464	27,326	27,504	26,585					212,329	
	PETROLERA MONTERRICO	II	9,553	5,779	6,583	7,499	8,338	9,101	9,555	9,666					66,074	
	GRANJA Y MONTERO	III	28,595	22,772	18,702	18,738	19,917	18,885	21,130	22,495					171,234	
	PETROLERA	IV	44,509	40,152	42,434	48,092	48,798	48,508	53,923	45,656					372,072	
NOROCCIDENTE	GMP	V	3,732	2,883	2,717	2,538	2,734	2,632	3,233	4,100					24,560	
	SAPET	VI/VI	104,451	69,804	62,417	85,147	98,474	97,350	100,328	100,158					718,129	
	UNIPETRO ABC	IX	5,561	4,829	4,287	5,684	5,559	5,093	5,716	5,576					42,307	
	CNPC	X	346,811	282,607	294,486	303,626	325,864	316,219	337,339	348,488					2,555,530	
	OLYMPIC	XII	109,607	88,472	94,083	92,196	90,438	81,956	81,610	67,199					705,661	
	PETROLERA MONTERRICO	XV	1,188	1,129	985	1,397	1,278	1,160	1,348	1,277					9,782	
	PETROLERA MONTERRICO	XX	371	331	309	382	346	379	360	284					2,762	
	SAVIA	Z-6B	247,827	214,495	227,709	240,024	231,427	236,455	245,103	259,874					1,902,914	
	SAVIA	Z-6	•	•	•	•	•	•	•	•					•	
	BPZ	Z-1	11,738	51,292	140,982	71,960	80,815	82,025	82,691	80,216					601,728	
TOTAL			1,210,826	1,139,032	1,327,037	1,296,707	1,289,350	1,328,414	1,423,179	1,528,795					10,543,340	
TOTAL PETRÓLEO (BPD)			39,059	40,600	42,808	43,224	41,552	44,280	45,909	49,316					43,380	
LÍQUIDOS DE GAS NATURAL (BLS)																
ZÓCALO	SAVIA	Z-6B	36,908	32,436	32,421	34,348	34,936	31,518	28,892	30,154					298,083	
	AQUAYITA	31-C	39,222	35,986	37,430	38,386	34,047	33,704	38,232	36,016					295,022	
SELVA CENTRAL	PLUSPETROL	88	1,538,034	1,445,096	1,530,934	1,262,655	1,505,661	1,544,579	1,696,227	1,599,542					12,122,728	
	PLUSPETROL	96	898,030	873,527	915,932	948,822	891,218	871,243	790,334	960,237					7,233,343	
	REPSOL	57	332,372	295,414	318,627	286,959	297,759	314,501	172,647	351,604					2,568,883	
TOTAL			2,944,666	2,692,469	2,835,344	2,571,188	2,763,821	2,795,545	2,714,302	2,977,653					22,284,559	
TOTAL LÍQUIDOS DE GAS NATURAL (BPD)			94,986	85,802	91,463	85,706	88,149	93,185	87,558	96,050					91,706	
TOTAL																32,827,899
TOTAL HIDROCARBUROS LÍQUIDOS (BPD)																135,094

Anexo B-3



Pronóstico de Producción de Hidrocarburos Líquidos

Barriles / Día

Lote	2,017	2,018	2,019	2,020	2,021
I	937	818	729	663	614
II	458	558	532	609	462
III	1,519	2,613	3,637	3,650	3,783
IV	1,428	2,344	2,676	2,781	2,708
V	123	123	119	110	105
VII_VI	3,247	3,130	3,048	2,875	2,704
IX	180	200	200	180	180
X	10,084	10,300	10,900	10,500	9,900
XIII	2,951	2,674	1,978	1,561	1,296
XV	83	129	141	150	156
XX	27	46	54	60	66
Z-2B	8,300	7,890	7,470	7,119	6,888
Z-1	3,100	4,240	5,306	4,148	3,500
Z-6	0	0	0	0	0
192	3,329	5,000	9,500	10,000	19,800
8	7,208	5,315	4,597	4,716	4,152
64	0	0	0	3,068	6,703
31B/D	100	66	64	60	57
31E	60	49	44	41	38
67	0	2,000	2,000	6,000	12,000
131	3,000	3,000	3,500	3,500	3,500
95	0	0	0	9,600	9,600
Z-2B (*)	1,250	1,200	1,150	1,100	1,050
31C (*)	1,480	1,450	1,400	1,350	1,300
56 (*)	29,875	24,200	24,300	23,700	23,300
57 (*)	8,793	11,710	11,670	11,630	11,580
88 (*)	49,445	54,200	51,800	51,300	51,300
Total	136,975	143,255	146,815	160,471	176,742

(*) Líquidos del Gas Natural

Nota: Información obtenida de los Planes y Programas Anuales
presentados por los Contratistas al cierre de 2016