

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingeniería**

**Aplicación de herramientas Lean dentro del proceso de  
abastecimiento de brocas perforadoras de pozos petroleros  
dentro de una empresa que opera en el Ecuador**

**Alex Santiago Marcillo Díaz**

**Ingeniería Industrial**

Trabajo de integración curricular presentado como requisito  
para la obtención del título de Ingeniero Industrial

Quito, 17 de diciembre de 2019

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERIA**

**HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**Aplicación de herramientas Lean dentro del proceso de abastecimiento de brocas perforadoras de pozos petroleros dentro de una empresa que opera en el Ecuador**

**Alex Santiago Marcillo Díaz**

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico:

Danny Navarrete, M.Sc.

Firma del profesor

---

Quito, 17 de diciembre de 2019

## Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos: Alex Santiago Marcillo Díaz

Código: 00111566

Cédula de Identidad: 172102071-5

Lugar y fecha: Quito, 17 de diciembre de 2019

## RESUMEN

Se levantaron los procesos por los que tiene que pasar una broca perforadora de pozos petroleros para recibir su reparación técnica desde la base ubicada en Coca - Ecuador hasta Houston - Estados Unidos, con el objetivo de medir el tiempo que tarda la herramienta en este procedimiento. Posteriormente, se aplica la metodología DMAIC en conjunto con herramientas Lean para implementar mejoras en el proceso. Finalmente, se vuelve a medir el proceso obteniendo como resultado una disminución del 36% en el tiempo del proceso.

**Palabras clave: Lean, DMAIC, cuello de botella, tiempo de reacción, Mapa de Flujo de Valor, Diagrama de Causa y Efecto, Mapas de Flujo del Proceso**

## **ABSTRACT**

The processes that a drilling bit must go through in order to receive the technical reparation from the base located in Coca (Ecuador) to Houston (United States) were analyzed. Subsequently, DMAIC methodology is applied in conjunction with Lean tools in order to implement improvements in the process. Finally, the process is measured again decreasing in a 36% the process time.

**Keywords: Lean, DMAIC, bottleneck, Value Stream Map, Cause and Effect Diagram, Process Diagram**

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b> .....	9
<b>1.1 Introducción</b> .....	9
<b>1.2 Objetivos</b> .....	10
<b>1.1.1 Objetivo general</b> .....	10
<b>1.1.2 Objetivos específicos</b> .....	10
<b>1.3 Revisión de literatura</b> .....	10
<b>1.4 Metodología</b> .....	15
<b>CAPÍTULO II: RECOLECCIÓN DE DATOS Y ANÁLISIS</b> .....	17
<b>2.1 Antecedentes</b> .....	17
<b>2.2.1 Base Coca – Bodega Quito</b> .....	19
<b>2.2.2 Bodega Quito – Houston</b> .....	19
<b>2.2.3 Houston – Bodega Quito</b> .....	20
<b>2.2.4 Bodega Quito – Base Coca</b> .....	20
<b>2.2.5 Indicador de Desempeño</b> .....	21
<b>2.3 Fase Medir</b> .....	21
<b>2.3.1 Tamaño de muestra</b> .....	21
<b>2.3.2 Tipo de muestreo</b> .....	23
<b>2.3.3 Toma de datos</b> .....	23
<b>2.3.4 Estado Actual del Proceso</b> .....	24
<b>2.4 Fase Analizar</b> .....	25
<b>2.4.1 Análisis Bodega Coca – Base Quito</b> .....	26
<b>2.4.2 Análisis Bodega Quito – Houston</b> .....	28
<b>2.4.3 Análisis Houston – Bodega Quito</b> .....	29
<b>2.5 Fase Implementar</b> .....	31
<b>2.5.1 Mejora 1: Inventario confiable y actualizado</b> .....	31
<b>2.5.2 Mejora 2: Restructura proceso Bodega Coca – Bodega Quito</b> .....	31
<b>2.5.3 Mejora 3: Restructura proceso Houston – Bodega Quito</b> .....	32
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS</b> .....	33
<b>3.1 Comparación estadística de resultados</b> .....	33
<b>3.2 Base Coca – Bodega Quito</b> .....	34
<b>3.2.1 Prueba de normalidad datos antes</b> .....	34
<b>3.2.2 Prueba de normalidad datos nuevos</b> .....	34
<b>3.2.3 Comparación estadística AS IS vs Nuevos</b> .....	35

<b>3.3 Quito – Houston</b> .....	35
<b>3.3.1 Prueba de normalidad entre datos</b> .....	35
<b>3.3.2 Comparación estadística AS IS vs Nuevos</b> .....	36
<b>3.4 Bodega Houston – Bodega Quito</b> .....	37
<b>3.5 Resumen de resultados</b> .....	38
<b>3.6 Análisis financiero</b> .....	38
<b>CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES</b> .....	40
<b>4.1 Conclusiones</b> .....	40
<b>4.2 Limitaciones</b> .....	41
<b>4.3 Recomendaciones</b> .....	41
<b>5.1 REFERENCIAS</b> .....	42
<b>5.2 ANEXOS</b> .....	43

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tamaño de muestra .....	23
Tabla 2. Toma de tiempos .....	24
Tabla 3. Estado actual de los procesos .....	25
Tabla 4. Causas y soluciones Coca - Quito .....	28
Tabla 5. Causas y soluciones Coca - Quito .....	38
Tabla 6. Porcentaje de disminución de tiempo del proceso .....	38

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de la Cadena de Valor.....	26
Figura 2. Diagrama de Causa y Efecto.....	30
Figura 3. Prueba normalidad Base Coca - Bodega Quito antes .....	34
Figura 4. Prueba normalidad Base Coca - Bodega Quito después .....	34
Figura 5. Prueba Wilcoxon tiempos Base Coca - Bodega Quito .....	35
Figura 6. Prueba Kolmorov Smirbov tiempos Quito – Houston.....	36
Figura 7. Prueba Wilcoxon tiempos Quito – Houston .....	37

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Plan (simulación) de perforación de pozo petrolero .....	43
Anexo B. Broca antes de perforar pozo vs después de perforar.....	44
Anexo C. Flujo logístico de reparación para las brocas .....	44
Anexo D. Procesos que no serán considerados en el proyecto.....	44
Anexo E. Proceso traslado base Coca – Bodega Quito.....	45
Anexo F. Proceso traslado Bodega Quito - Houston.....	45
Anexo G. Proceso traslado Houston - Bodega Quito.....	45
Anexo H. Cuellos de botella proceso Base Coca - Bodega Quito.....	46
Anexo I. Tiempos proceso Bodega Quito – Houston.....	46
Anexo J. Pareto Proceso Bodega Quito - Houston.....	47
Anexo K. Tiempos proceso Houston – Quito .....	47
Anexo L. Diagrama Ishikawa proceso Houston – Quito.....	48
Anexo M. Matriz 5 por qué's proceso Houston – Quito .....	48
Anexo N. Levantamiento de inventario Base Coca .....	48
Anexo O. Restructura proceso Base Coca – Bodega Quito .....	49
Anexo P. Restructura proceso Houston – Bodega Quito .....	49

## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

### 1.1 Introducción

Debido a la crisis económica actual que afecta a la industria petrolera, se requiere que las operaciones sean estratégicas con el objetivo de entregar el producto o servicio de una manera efectiva y eficiente (Rachman & Chandima Ratnayake, 2016). Existen algunos métodos que direccionan a las industrias a tener un mejor control sobre sus procesos; entre los más conocidos están: simulación en computadoras, análisis estadísticos, y herramientas Lean (Rachman & Chandima Ratnayake, 2016).

Las herramientas Lean buscan incrementar la productividad y eficiencia mediante la mejor combinación de procesos a lo largo de la cadena de suministro (Zahrotun & Taufiq, 2018). Lean centra sus principios en la identificación y posterior eliminación de actividades que no agregan valor dentro de un proceso de acuerdo con su diseño, producción, cadena de suministro, y la relación con los clientes (Cerón, Madrid, & Gamboa, 2015). Los procesos dentro de la industria petrolera pueden llegar a ser muy extensos y complicados, lo que genera oportunidades de mejora en los mismos (Pallares, n.d.). Por esta razón, la industria petrolera es una candidata óptima para implementar estas metodologías debido a la gran variedad de procesos existentes a lo largo de su cadena de valor (Pallares, n.d.).

En la actualidad, existen algunas empresas que ofrecen servicios petroleros alrededor del mundo. Una de las empresas más reconocidas es Schlumberger (SLB), una empresa de origen francés que brinda a nivel mundial productos y servicios petroleros mediante segmentos (departamentos) especializados de su negocio (Schlumberger, 2019). En Ecuador, ha operado desde el año 1934, ofreciendo servicios de perforación, optimización de la producción y manejo de pozos petroleros (Schlumberger, 2019), llegando a generar

ingresos de \$507,120,699 en el año 2018 (Ekos, 2019). Uno de los segmentos fundamentales de la empresa es *Bits and Drills Tools* (BDT), encargado de proveer brocas perforadoras de pozos petroleros a los diferentes proyectos que se ejecutan en la compañía y, a su vez, planificar la reparación de estas. Las tareas relacionadas a la reparación de brocas carecen de mediciones estandarizadas de suministro oportuno y costos óptimos del inventario. Esta situación brinda la oportunidad de mostrar el impacto de la aplicación de herramientas Lean con el objetivo de reducir los desperdicios del proceso, tener un tiempo de reacción más corto, costos bajos, y un mejor nivel de servicio al cliente.

## **1.2 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo general**

- Mejorar la disponibilidad de brocas para perforar pozos de petróleo mediante la reducción de tiempos de entrega y desperdicios dentro del proceso logístico de reparación de brocas para satisfacer la demanda de clientes.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Identificar y eliminar las actividades que no agregan valor en el proceso.
- Mejorar la planificación de disponibilidad de brocas ante demanda incierta.
- Evaluar el impacto financiero después de aplicar metodologías Lean en el proceso.

## **1.3 Revisión de literatura**

Para la ejecución de este proyecto, es necesario realizar una investigación en la cual se detalle y explique los conceptos básicos que serán aplicados a lo largo del trabajo. En esta sección se habla de los orígenes y objetivos de los conocimientos Lean, se brinda

información sobre sus áreas de aplicación y sus herramientas más conocidas que serán utilizadas en este proyecto.

Los conocimientos Lean son de los métodos más utilizados cuando el objetivo de un proyecto es mejorar el flujo de un proceso (Zahrotun & Taufiq, 2018). Tiene su origen en el sistema de producción de Toyota, cuyos principios buscan generar tiempos de entrega cortos, reducir los requerimientos de recursos, y mejorar la calidad del producto (Rachman & Chandima Ratnayake, 2016). El término Lean hoy en día tiene múltiples enfoques: en producción, sus atributos principales son tener una alta comunicación entre los diferentes departamentos, tener un enfoque en la reducción de errores, y gestionar programas de mejora continua (Ritchie et al., 2014). En servicios, hace énfasis en la comunicación con el cliente, generación de procesos más flexibles pero estandarizados, y la obtención de una calidad consistente (Ritchie et al., 2014).

Se han aplicado conocimientos y herramientas Lean para mejorar procesos de servicio, por ejemplo; se han aplicado métodos como Lean-Kaizen para reducir el tiempo de ciclo de un proceso de contrato de nuevo personal en una empresa (Vignesh, Suresh, & Aramvalarthan, 2016). Por otro lado, se han aplicado procesos operativos como Total Quality Management (TQM), Six Sigma, e iniciativas Kaizen dentro de servicios en el sector energético para mejorar el flujo del proceso (Ritchie et al., 2014). Dentro del mundo del petróleo y gas se han aplicado herramientas Lean en conjunto con la metodología DMAIC para resolver problemas de manejo de la cadena de suministro y control de inventario, obteniendo como resultado la reducción de lead times, mejora en el tiempo de entrega del servicio, y un mejor control y visibilidad de inventario (Atanas, Rodrigues, & Simmons, 2015).

Lean busca estandarizar las actividades de los procesos de trabajo con el objetivo de generar un flujo continuo, y con esto; facilitar la identificación y eliminación de los

mudas que es una palabra japonesa que en español quiere decir desperdicios (Vignesh et al., 2016). De acuerdo con Lean existen siete tipos de desperdicios:

- a. **Sobreproducción**, se refiere a producir más de lo que se necesita generando un stock excesivo (Zahrotun & Taufiq, 2018).
- b. **Retrabajo**, todos los procesos que no son manejados de una manera correcta causando procedimientos largos y confusos que no añaden valor (Zahrotun & Taufiq, 2018).
- c. **Tiempo de espera**, toda espera es un desperdicio porque no agrega valor al producto o servicio (Zahrotun & Taufiq, 2018).
- d. **Transporte**, es la movilización de bienes o materiales de una manera muy frecuente y demorosa (Zahrotun & Taufiq, 2018).
- e. **Inventario excesivo**, son todos los productos terminados, semi terminados, o cualquier componente que no agregue valor (Zahrotun & Taufiq, 2018).
- f. **Defectos**, productos terminados que tienen algún defecto generando un nuevo trabajo costoso y demorado (Zahrotun & Taufiq, 2018).
- g. **Movimiento innecesario**, estaciones de trabajo mal organizadas ocasionando una ergonomía muy pobre que no añade valor al proceso (Zahrotun & Taufiq, 2018).

A su vez, se han identificado que dentro de los procesos de servicios se pueden encontrar generalmente los siguientes tipos de desperdicios:

- a. **Diseño de servicio**, no responde a las necesidades del cliente teniendo algunas características innecesarias (Vignesh et al., 2016).
- b. **Artículos del servicio**, fallas en el proceso del servicio (Vignesh et al., 2016).
- c. **Disponibilidad del servicio**, cuando no se hace uso de toda la capacidad del servicio (Vignesh et al., 2016).
- d. **Proceso del servicio**, baja eficiencia de trabajo (Vignesh et al., 2016).

- e. **Demora del servicio**, cuando el cliente debe esperar más de lo planificado (Vignesh et al., 2016).

Para poder identificar los desperdicios existentes dentro de un proceso, existe la herramienta Value Stream Map (VSM), que es un método visual mediante el cual se puede mapear el proceso dentro de cada estación de trabajo y permite categorizar las actividades dentro de un proceso, para después eliminar todas aquellas que no agreguen valor al producto o servicio. (Zahrotun & Taufiq, 2018). Existen dos tipos de *Value Stream Map*: el primero se llama VSM actual que muestra la manera en la que funciona el proceso, incluye íconos específicos y terminologías para facilitar la identificación de desperdicios (Zahrotun & Taufiq, 2018). El segundo se conoce como VSM futuro que básicamente pretende ilustrar la transformación del proceso una vez que los desperdicios fueron eliminados (Zahrotun & Taufiq, 2018).

Otra herramienta muy utilizada es el Diagrama de Pescado conocido también como Ishikawa (Zahrotun & Taufiq, 2018). Este diagrama es usado para identificar y buscar causas posibles a problemas existentes dentro de un proceso (Zahrotun & Taufiq, 2018). Especialmente es muy aplicable cuando un equipo de trabajo tiende a caer en una *rutina* que no permite tener una claridad sobre la manera en la cual se está trabajando (Zahrotun & Taufiq, 2018).

Para analizar un proceso detalladamente, se hace uso de la herramienta llamada Diagrama de Flujo (Utureanu & Dragomir, 2015). Este diagrama muestra una representación visual del proceso que facilita analizar a profundidad cada actividad permitiendo identificar de cuellos de botella, ya que brinda una visibilidad de los pasos, secuencias, y tiempos de ciclo de cada tarea específica (Utureanu & Dragomir, 2015). El análisis de los cuellos de botella determina qué parte del proceso está limitando el flujo para que esta pueda ser mejorada (Utureanu & Dragomir, 2015).

Entre los resultados que se han obtenido después de aplicar herramientas Lean dentro de un proceso están: reducción de tiempos de entrega, generación de un proceso robusto y confiable, alta calidad, niveles de inventario bajo, y mayor satisfacción del cliente (Alvarez, Aldas, & Reyes, IEEE).

Para medir de una manera objetiva la evolución de un proceso, es necesario establecer indicadores de desempeño (AEC, 2019). Los KPI's, que viene de sus siglas en inglés: *Key Performance Indicator*, representan una medida gerencial que permite analizar el desempeño de cualquier área dentro de una empresa y, a su vez; verificar el cumplimiento de los mismos a través de sus resultados (AEC, 2019). Existen diferentes clasificaciones de KPI's:

*Indicadores de cumplimiento:* indican el grado de cumplimiento de las tareas o trabajos (AEC, 2019).

*Indicadores de evaluación:* tienen que ver con el rendimiento obtenido de una tarea, trabajo o actividad; ayudan a identificar fortalezas, debilidades y nuevas oportunidades de mejora (AEC, 2019).

*Indicadores de eficiencia:* están ligados con la capacidad de llevar a cabo una tarea o trabajo, se busca encontrar las razones por las que los recursos son usados para llevar a cabo cierta actividad (AEC, 2019).

*Indicadores de eficacia:* muestran el acierto con el que se da una consecución de tareas (AEC, 2019).

*Indicadores de gestión:* están relacionados con los motivos / razones que permiten la administración de un proceso (AEC, 2019)

Por lo expuesto con anterioridad, la aplicación de herramientas Lean para la disminución de desperdicios dentro de un proceso que no sea de manufactura es viable, ya que sus resultados permiten llegar a construir un proceso robusto, bajo control y con tiempos de ciclo correctos que permitan un flujo continuo (Vignesh et al., 2016).

#### **1.4 Metodología**

Problemas que abarcan implementación de herramientas Lean emplean la metodología DMAIC, cuyo significado es: Definir, Medir, Analizar, Implementar y Controlar (Metrics & Diversity, 2010). Esta metodología es el método más utilizado cuando se busca tener una mejora continua en un proceso (Metrics & Diversity, 2010), ya que combina las técnicas de Lean Manufacturing y Six Sigma para ayudar a que las empresas puedan aumentar el valor dentro de sus procesos, disminuir los desperdicios, y agilizar las operaciones (Zahrotun & Taufiq, 2018). Se escoge esta metodología porque tiene un enfoque que se basa en la voz del cliente, lo que facilita el entendimiento de las necesidades y posterior priorización de actividades dentro de un proceso (Knowles, 2011).

*Fase Definir*, en esta fase se identifica el proceso en el cual existen oportunidades de mejora (Metrics & Diversity, 2010). Se debe establecer claramente el propósito y el alcance para que todos los involucrados tengan conocimiento de lo que se va a realizar en el proyecto (A, Alejandro, & Casares, 2017). Dentro de esta fase se utiliza el Diagrama de Pareto y el Mapeo de Proceso Nivel 0 y Nivel 1 con el objetivo de entender el funcionamiento actual del proceso y todos los involucrados del mismo, además se fijan indicadores de desempeño que van a ser medidos durante el proyecto (Metrics & Diversity, 2010).

*Fase Medir*, en esta fase se recolecta información (datos) a través de un tamaño de muestra que se obtiene de acuerdo con las características de la población, se mide el funcionamiento actual del proceso, y se traduce el mismo a una forma cuantificable para poder establecer métricas claras (Metrics & Diversity, 2010). Para esto, es importante primero entender el flujo de trabajo para poder establecer métricas de desempeño que ayuden a cuantificar la situación actual del proceso (A, Alejandro, & Casares, 2017). La herramienta que se va a utilizar dentro de esta fase va a ser el Value Stream Map, ya que permite obtener los tiempos de ciclo de cada una de las actividades del proceso, y principalmente; ayuda a visualizar el flujo y a identificar los desperdicios (Metrics & Diversity, 2010).

*Fase Analizar*, en esta fase se identifican las causas raíz de los problemas determinados y se analizan las medidas de desempeño (Metrics & Diversity, 2010). Esta fase es muy importante ya que sus resultados brindan los parámetros para distinguir las actividades críticas dentro de un proceso (A, Alejandro, & Casares, 2017). Se usan las herramientas de los 5 porqués y el diagrama de causa y efecto también conocido como Ishikawa, con el objetivo de identificar la causa primaria de cada uno de los problemas identificados para poder plantear soluciones a cada una de ellas (Metrics & Diversity, 2010). Una vez que se han reconocido los problemas del proceso, el siguiente paso es la elaboración de una matriz de causa raíz en la cual se puedan identificar los niveles de cada una. (A et al., 2017).

*Fase Implementar*, en esta fase se buscan alternativas para solucionar los problemas identificados en las fases previas, se determina la mejor solución y se implementan las mismas en el proceso con el objetivo de eliminar las causas raíz de los defectos encontrados. Una vez que las mejoras han sido implementadas se verifica si las soluciones tuvieron un efecto en el proceso (Metrics & Diversity, 2010).

*Fase Controlar*, en esta fase se busca estandarizar las soluciones y tener un monitoreo constante que permita generar una mejora continua del proceso (Metrics & Diversity, 2010). Este paso de la metodología no será realizado ya que no se encuentra dentro del alcance del proyecto.

## **CAPÍTULO II: RECOLECCIÓN DE DATOS Y ANÁLISIS**

### **2.1 Antecedentes**

Es importante primero explicar la importancia del por qué una broca perforadora de pozos petroleros debe estar en buen estado al momento de operar. Para esto, se explica el *Anexo A*, en el cual se muestra un estimado del tiempo de perforación de un pozo petrolero graficando el tiempo de perforación (días) vs profundidad (pies). Para que estos tiempos se cumplan es fundamental que todas las herramientas que participan en este proceso se encuentren en óptimas condiciones, y las brocas son una herramienta fundamental en este procedimiento debido a que deben perforar las diferentes capas o conglomerados presentes en la tierra en un tiempo óptimo para cumplir con los tiempos de entrega acordados previamente con el cliente (Schlumberger, 2019).

Después de perforar un pozo petrolero, la broca necesita someterse a una inspección visual y prueba técnica para determinar si esta puede ser asignada a un nuevo proyecto. En caso de que la broca se encuentre en mal estado, debe ser enviada a Houston (USA) para recibir su reparación. En el *Anexo B* se puede observar la diferencia de una broca nueva vs una broca que ha perforado un pozo y necesita recibir una reparación.

Actualmente no se conoce el tiempo que toma a una broca pasar por el proceso de reparación, debido a que no se lo ha medido. Esto afecta directamente la planificación de proyectos futuros de perforación ya que se necesita tener fechas certeras de disponibilidad de brocas para poder licitar nuevos proyectos.

## 2.2 Fase Definir

Lo primero que se realiza es un levantamiento macro del proceso que hace referencia al flujo logístico por el que tiene que pasar una broca para salir y retornar a su lugar de origen. Todo comienza desde la base ubicada en Coca de donde se tienen que movilizar las brocas que se desean reparar hacia una bodega que está ubicada en la ciudad de Quito. Desde aquí se realizan los trámites legales para enviar la broca vía aérea directo a Houston. Una vez en Houston, la broca es trasladada a la planta de reparación y al estar lista regresa a Ecuador pasando por los mismos puntos especificados con anterioridad. En el *Anexo C*, se muestra el macroproceso del flujo por el que debe pasar una broca para recibir su reparación.

Entendido el flujo, se define el alcance del proyecto. Esto se hizo a través de una reunión con los empleados del área que está a cargo del control de brocas, a partir de la cual se llega a tres conclusiones:

- 1) No se incluirá en el proyecto ninguna actividad de la que no se tenga un control directo desde el departamento. Esto engloba a procesos como la aduana que ocurre tanto en Ecuador y Estados Unidos, traslados aéreos de las brocas, y la misma reparación que se realiza en Houston debido a que no se puede tener un control y observación directa de la misma. En el *Anexo D* se puede observar el flujo nuevamente, pero esta vez con una “X” sobre los procesos que serán excluidos del proyecto por las razones especificadas con anterioridad.
- 2) Se realiza un análisis de Pareto de frecuencia de reparaciones de cada tipo de broca con el objetivo de identificar cuál es la broca que más veces se envía a reparar. Para la elaboración de este gráfico se usan datos históricos de octubre 2019 a enero 2020. Como se puede observar en el *Anexo E* existe un tipo de broca llamada Z519

que representa el 80% de las reparaciones, razón por la cual se decide tomar tiempos solamente de esta broca.

3) Una vez entendido el proceso por el que debe pasar una broca para recibir su reparación, se decide dividir a todo el proceso en cuatro partes o subprocesos: uno de exportación y otro de importación con el objetivo de levantar a detalle las actividades que deben desarrollarse dentro de cada proceso. Estos procesos son:

- Base Coca – Bodega Quito
- Base Quito – Bodega Houston
- Bodega Houston – Bodega Quito
- Bodega Quito – Base Coca

### **2.2.1 Base Coca – Bodega Quito**

Este proceso hace referencia al traslado de la broca desde su base Coca hasta la bodega Quito. Existen 5 participantes o áreas que interactúan: BDT, Bodega Coca, Manejo de Materiales y Logística. El proceso comienza con la selección y listado de brocas que deben ser reparadas, una vez seleccionadas se inicia la preparación de estas para que puedan ser trasladadas a su destino final. El proceso culmina una vez que la broca sea recibida en el inventario de la bodega en Quito tanto en el sistema como físicamente. En *Anexo F*, se puede observar el flujograma detallado que muestra las actividades que deben realizarse dentro de este proceso.

### **2.2.2 Bodega Quito – Houston**

Este proceso se enfoca en todas las actividades que deben ser realizadas dentro de la bodega en Quito para que la broca pueda volar a Houston. El proceso inicia con la

validación de la requisición de entrega que viene del inglés *Shipping Request* (SR) por parte del equipo Táctico. Después, el equipo de Logística trabaja en conjunto con el equipo exportaciones conocido como LCT por sus siglas en inglés *Logistics Center Control* para realizar el plan de documentación con el objetivo de obtener la aprobación para transportar el bien hacia Estados Unidos. Culminada esta etapa el siguiente paso son los trámites de aduana de exportación y todo concluye con el arribo de la broca a Houston. En el *Anexo G* se puede observar el flujograma que detalla a profundidad cada actividad que debe ser realizada.

### **2.2.3 Houston – Bodega Quito**

Una vez que la broca ha sido reparada, el proceso inicia con la creación de la requisición de entrega para traerla de vuelta al país; esto lo realiza el equipo de logística quienes también se encargan de completar toda la información. Una vez creado la requisición, el proceso es muy similar al proceso para exportar una broca con la diferencia que ahora el área de logística es la encargada de realizar las aprobaciones. En el *Anexo H* se puede observar un gráfico que detalla las actividades que deben realizarse en este tramo del proceso.

### **2.2.4 Bodega Quito – Base Coca**

En este proceso se realiza el traslado de la broca reparada una vez que todos los procedimientos de aduana fueron realizados. Es importante mencionar que a este proceso no se le aplicarán herramientas Lean ya que de acuerdo con la información obtenida; solamente representa un 4% del tiempo total. Además, la gran mayoría de actividades son de transporte o procesos de aduana de los cuales no se tiene un control directo.

### **2.2.5 Indicador de Desempeño**

Una vez levantados los flujogramas de cada proceso, se pudo identificar que el proceso logístico de reparación de brocas perforadoras de pozos petroleros actual no es estandarizado, lo que impide cumplir con los tiempos de planificación y también dificulta el control de los costos operativos. Por esta razón, es necesario establecer un indicador de desempeño que faciliten cuantificar la manera en la cual el proceso está trabajando. El indicador de desempeño para este proyecto será el tiempo que tarda cada uno de los procesos antes mencionados.

## **2.3 Fase Medir**

### **2.3.1 Tamaño de muestra**

Con el objetivo de determinar cuál es la situación actual de los indicadores determinados con anterioridad, es necesario determinar el tamaño de muestra que cumpla con las especificaciones de nivel de confianza, error, y tamaño de la población.

Debido a que no se tiene información o datos históricos sobre el tiempo que tarda un proceso de reparación, se toma como tamaño de la población a procesos levantados por el autor desde el 27 de octubre 2018 hasta el 20 de diciembre 2018 (34 en total) a los cuales se les va a sacar un tamaño de muestra debido a que no es posible tomar tiempos de los 34 procesos por el tiempo que se tardan.

Es importante destacar que existen dos tipos de envíos al momento de reparar las brocas: los procesos estándar y los procesos críticos. Dentro de este cálculo de tamaño de muestra se excluyen a los procesos críticos debido a que estos procesos son especiales y causarían datos atípicos ya que sus tiempos de ciclo siempre serán menores a los de un proceso estándar.

Para la obtención de un tamaño de muestra se va a utilizar la fórmula del tamaño de muestra por medias conociendo el tamaño de la población. A continuación, en la Fórmula 1 se puede observar la fórmula a utilizar:

$$n = \frac{Z_{\frac{\alpha}{2}} * \sigma^2 * N}{Z_{\frac{\alpha}{2}}^2 * \sigma^2 + e^2(N - 1)}$$

Ecuación 1. Tamaño de muestra para medias con población finita

donde:

N = tamaño de la población

Z = nivel de confianza

e = margen de error máximo

$\sigma^2$  = varianza

El valor de alpha y error que se fijan para este cálculo es 0,05 para ambos debido a dos razones. Una es porque en estudios anteriores que la empresa ha realizado para tomar muestras en otros proyectos se utilizó este valor, por lo que se decide utilizar el mismo para mantener los estándares de los proyectos (Schlumberger, 2019). Dos, el nivel de alpha y error de 0,05 ha sido utilizado por muchos investigadores, entre ellos Montgomery, y desde allí formó parte de la literatura; por esta razón también se utilizan estos valores en este proyecto (Casares, 2017).

En la Tabla 2 se puede observar el cálculo del tamaño de muestra con el valor de cada variable necesaria. Se puede observar que la población es igual a 20,29.

Tabla 1. Tamaño de muestra

Cálculo del tamaño de muestra	
n	20,29
N	34,00
Z	1,96
Z <sup>2</sup>	3,84
$\alpha$	0,05
$\alpha/2$	0,025
Des. Est.	17,83
Varianza	317,91
Error	5,00
Error <sup>2</sup>	25,00
N-1	33,00

### 2.3.2 Tipo de muestreo

El muestro que va a ser utilizado en este proyecto será el muestro no probabilístico. Dentro de este tipo de muestro existen algunas técnicas o formas para poder determinar la población objetivo, entre las más conocidas están: por juicio u opinión, por cuotas, por bola de nieve, y por conveniencia.

Se utiliza el muestreo por selección intencionada o también llamada muestreo por conveniencia. Este tipo de muestreo consiste en la elección de una muestra basándose en un muestreo que no es aleatorio, se escoge de acuerdo con características que sean similares a la de la población objetivo, ya que en el proyecto se van a considerar solamente las brocas de tipo Z519, serán elegidas solamente estas brocas porque son las que se van a analizar.

### 2.3.3 Toma de datos

En la Tabla 2 se puede observar la manera en la cual se realiza la toma de datos:

Tabla 2. Toma de tiempos

<b>Explicación de la toma de tiempos</b>				
<b>¿Qué tiempos se tomarán?</b>	<b>¿Quién tomará los tiempos?</b>	<b>¿Cómo se tomarán los tiempos?</b>	<b>¿Cuándo se tomarán los tiempos?</b>	<b>¿Dónde se tomarán los tiempos?</b>
De cada uno de los procesos explicados se tomarán los tiempos desde que inicia la actividad hasta que la misma concluya. Dentro de estos tiempos se consideran todas las demoras o cualquier factor que dan variabilidad al desarrollo del proceso.	El observador de los tiempos será el autor de este proyecto, sin embargo; por políticas de la empresa no fue posible realizar un viaje al Coca; razón por la cual, los tiempos en este lugar fueron tomados con el apoyo de la persona encargada de bodega bajo instrucciones y control continuo del observador.	Se toman con el uso de cronómetros en el celular y cuando los tiempos son largos, se usa la plataforma interna de la empresa en la cual se muestra la hora y minuto en la cual una orden de importación o exportación es actualizada o creada en la plataforma.	Para identificar el estado actual del proceso, se lo realizará a partir de mediados de marzo. Por otro lado, para los nuevos procesos ya mejorados, se procede a tomar tiempos a partir de finales de mayo	Todos los tiempos serán tomados en las instalaciones de la empresa, a excepción de los tiempos que se realizan en Coca debido a que no se autoriza un viaje a esta parte de la empresa.

### 2.3.4 Estado Actual del Proceso

Es importante mencionar que para el estado actual de cada proceso se decide realizar una clasificación para dividir el proceso en 4 partes, esto realiza con el objetivo de segmentar de una mejor manera la toma de datos para poder realizar análisis estadísticos más objetivos después de realizar la implementación de mejoras en el proceso.

En base a la toma de tiempos realizada de acuerdo con el tamaño de muestra antes explicado, se presenta a continuación una *Tabla de Resumen* en la cual se puede observar el estado actual de los procesos junto con cada uno de sus indicadores.

Tabla 3. Estado actual de los procesos

Proceso	Indicador	Tiempo actual (días)	Desv. Estándar (días)
Coca - Quito	Tiempo del proceso	12,2	5,1
Quito - Houston		27,3	7,8
Houston - Quito		30,5	6,5
Quito - Coca		3,3	1,2

## 2.4 Fase Analizar

Como se explica con anterioridad, el objetivo de esta fase es encontrar las causas raíz a los problemas de cada proceso que se está analizando y plantear soluciones a los problemas encontrados. Para poder cumplir con este objetivo, se hace uso de las herramientas: Causa y Efecto (Ishikawa), Matriz de causa raíz, y Pareto.

Antes de ir a cada uno de los procesos para analizarlos a detalle, es importante primero realizar el cálculo del takt time para poder identificar los cuellos de botella en cada uno de los procesos. Para este cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$Takt\ Time = \frac{\text{tiempo disponible del proceso}}{\text{demanda del cliente}}$$

Ecuación 2. takt time

donde:

$$\text{tiempo disponible} = 20 \text{ días laborales por mes}$$

$$\text{demanda del cliente} = 34 \text{ brocas} / 4 \text{ meses} \rightarrow 8 \text{ brocas mensuales}$$

reemplazando estos datos en la fórmula, se obtiene como resultado:

$$Takt\ Time = \frac{20 \text{ días/mes}}{8 \text{ brocas/mes}} = 2,5 \text{ días}$$

Obtenido el takt time, lo siguiente que se realiza es un Mapa de Flujo de la Cadena de Valor con el objetivo de tener una visibilidad más amplia del proceso. En este diagrama

se encierran las actividades a la cuáles se les aplicaron herramientas Lean. En la Figura 1 se puede visualizar el diagrama.

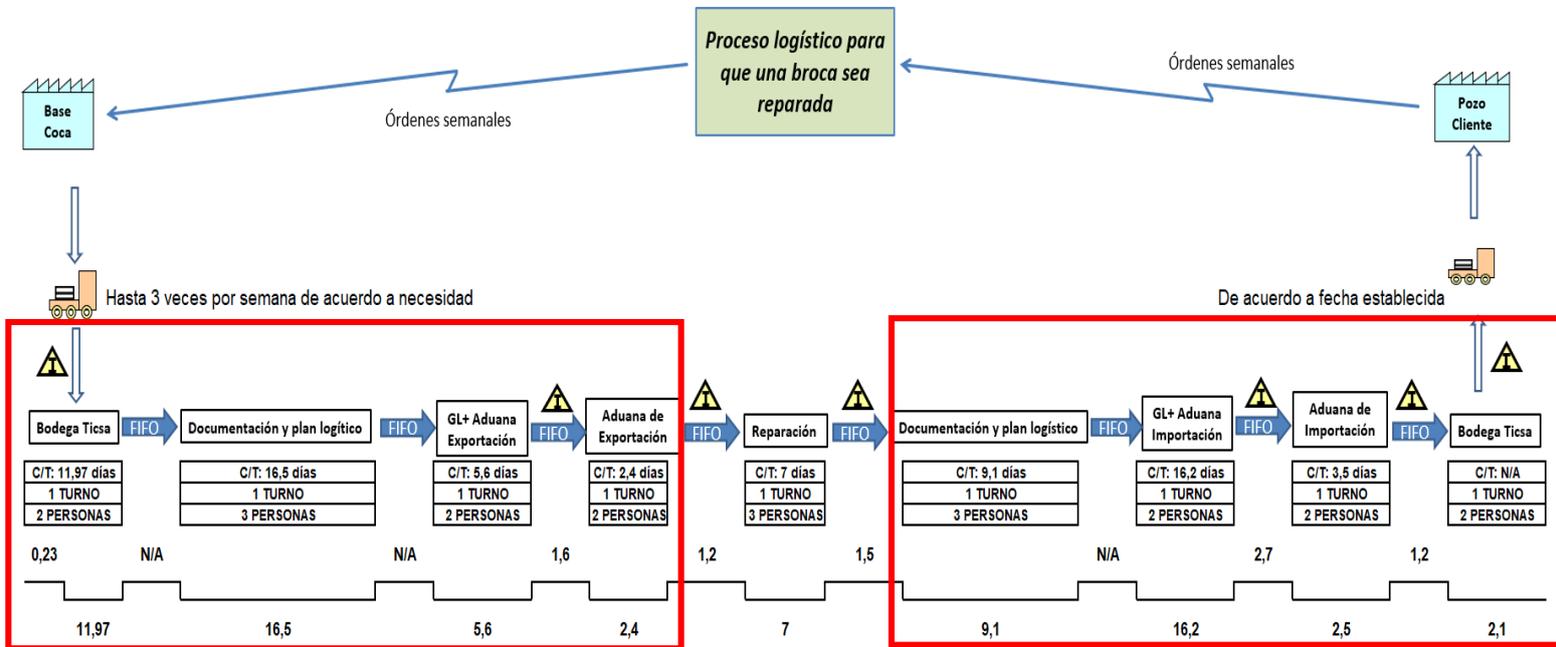


Figura 1. Mapa de la Cadena de Valor

### 2.4.1 Análisis Bodega Coca – Base Quito

Una vez que se levanta el proceso, se analiza el por qué trasladar una broca desde la base en Coca hasta la bodega en Quito está tomando un tiempo de 12,2 días con una desviación estándar de 5,1 días, si en términos logísticos el movimiento de este bien tarda máximo 3 días. Para esto, se realiza un diagrama de flujo en el cual se identifica el tiempo que toma realizar cada una de las actividades. A cada uno de estos tiempos se los compara con los 2,5 días que es el *takt time* calculado, si el tiempo es mayor a este valor entonces el proceso es clasificado como un cuello de botella y se analizan las razones. En el Anexo I se puede observar el flujograma con sus respectivos tiempos y cuellos de botella identificados. Se pueden identificar dos cuellos de botella: uno es la creación de STO

(*Ship to Order*) que es un código que debe ser generado para que el proceso inicie, y el segundo es generación código OBD (*Out Bound Delivery*) que es el que permite realizar el movimiento físico ya que con este código se puede asignar un vehículo que transporte a la broca.

### **Creación de STO**

Para este cuello de botella se identifica que para crear un STO primero se realizaba una comprobación física de que la broca efectivamente se encuentre en la bodega en Coca. Cuando se validaba que la broca estaba físicamente en el inventario de la base, se procede a dar luz verde para que se genere el código de STO en SAP. Entonces la causa de este cuello de botella era un inventario desactualizado.

### **Generación de código OBD**

En el momento que se quería generar el código OBD, en el sistema existía un error debido a que la broca no constaba dentro del inventario del sistema, razón por la cual el proceso debía volver a iniciarse para que se pueda ingresar la broca dentro del inventario del sistema y con esto evitar el error. Además, se pudo identificar cuando una broca era enviada a un pozo, esta debía tener en su historial de asignaciones del sistema todos los traslados que tuvo desde la Base en Coca hacia cada pozo que fue asignada. En caso de que no los tenía este seguimiento no se reflejaba en el sistema, se lo debía realizar para que el OBD pueda ser generado sin errores.

A continuación, se muestra un cuadro de resumen en el cual se evidencian las causas y problemas que se pudieron identificar; con su respectiva propuesta de solución:

Tabla 4. Causas y soluciones Coca - Quito

Causa	Solución
Verificación de inventario en físico	Levantamiento de inventario
Códigos SAP con error	Poka Yoke en Sistema
No fluye información	Reestructura de asignación de responsabilidades

#### 2.4.2 Análisis Bodega Quito – Houston

Para este proceso se decide identificar cada una de las actividades que deben realizarse con sus respectivos tiempos para poder identificar los cuellos de botella de acuerdo con valor de takt time de 2,5 días. En el *Anexo J* se puede observar el proceso con los tiempos que tarda cada una de sus actividades.

Existen 3 actividades que son mayores al takt time calculado de 2,5 días. Sin embargo, al momento de tomar los tiempos de cada actividad se pudo obtener la información de cuáles son los problemas que ocurren con mayor frecuencia para enfocarse en estos. Por esta razón, se realiza un análisis de Pareto a partir de la información recolectada para de esta manera priorizar los problemas y enfatizar las actividades que sean afectadas por estas. En el *Anexo K* se muestra el Pareto.

Del análisis del Pareto se puede concluir que existen tres causas principales que representan el 80% de la demora del proceso, las cuales son: problemas de creación de orden de compra, documentos incompletos, y asignación de vuelo. De estas tres opciones no se puede tener influencia en la asignación de vuelos debido a que este proceso depende de una empresa que es tercera, por esta razón; solamente se va a poner énfasis en los otros dos procesos antes mencionados.

Al momento de ir al detalle dentro de estas causas, se pudo identificar que el problema de creación de las PO's estaba ligado a inconsistencias en la base de datos del inventario de brocas. Cada broca tiene 4 informaciones que son muy importantes, estas son: tamaño,

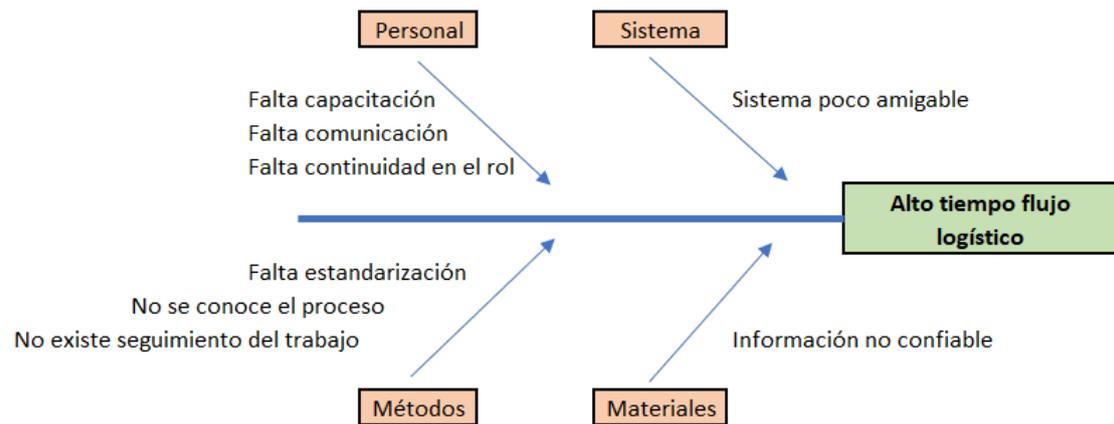
tipo, serial, y BOM (*Boom of Material*) que en español es el código del material . La persona que estaba encargada de verificar la información para crear la PO, comparaba los datos contra una base maestra de la empresa para asegurar que todo esté correcto. Si alguno de los datos mencionados con anterioridad no coincidía, el proceso debía ser iniciado desde el comienzo para que este error se pueda corregir. La solución que se propone para este problema es levantar un inventario confiable en el cual se valide que cada broca tenga ingresada la información correcta para que no existan reprocesos en el flujo.

#### **2.4.3 Análisis Houston – Bodega Quito**

De igual manera, se levantó el proceso con los tiempos de duración de cada una de las actividades con el objetivo de identificar los cuellos de botella. Como se puede observar en el *Anexo L*, existen dos actividades que duran más de 2,5 días por lo que se aplicarán herramientas Lean a estas para identificar la razón de estos tiempos altos.

Se realiza primero un Diagrama de Causa y Efecto, también conocido como Ishikawa para identificar las posibles razones que causan que estas actividades duren más tiempo del común. Se realiza cuatro clasificaciones de los problemas: personal, sistema, métodos, y materiales. En el *Anexo M* se pueden observar este diagrama. Para encontrar la causa raíz de cada una de las razones identificadas en el diagrama anterior, se realiza una Matriz de Causa Raíz, en la cual se pueden identificar en color rojo la causa primaria de cada una de las razones. En el *Anexo N* se muestra la matriz de causa raíz o 5 Por qué's.

A continuación, se muestra el diagrama de Causa y Efecto:



*Figura 2. Diagrama de Causa y Efecto*

Dentro de Personal se identifica que los empleados no conocían a profundidad el funcionamiento del proceso, lo cual complicaba el flujo de las actividades. Además, no se tenía un responsable fijo para llevar a cabo las actividades de un proceso específico debido a la existencia de turnos de trabajo diferente, esto ocasionaba que en ciertas ocasiones los procesos se estancan porque se debía esperar a que una persona sea asignada a un proceso.

En la categoría de Sistema se identifica que entre Ecuador y Estados Unidos se utilizan dos sistemas diferentes, por lo que las transacciones entre ambos países tomaban un poco más de tiempo.

Para la categoría de Métodos se tiene que no existe una estandarización del proceso, es decir, no existen tiempos establecidos para cada una de las actividades y tampoco existe un seguimiento y control del mismo lo cual no genera indicadores que brinde información del estado del proceso.

Finalmente, en la categoría de Materiales se tiene que la información que se envía entre las diferentes áreas no es confiable generando cuellos de botella porque se deben realizar reprocesos para poder corregir errores y continuar con el proceso.

## **2.5 Fase Implementar**

El objetivo de esta fase es implementar cada una de las soluciones propuestas en la Fase Analizar, y volver a tomar tiempos a las mismas brocas para poder determinar si en efecto las soluciones obtenidas con el uso de herramientas Lean refleja una mejora en el tiempo del proceso.

### **2.5.1 Mejora 1: Inventario confiable y actualizado**

Se realiza el levantamiento de inventario de brocas que la empresa posee y se hace una verificación de los códigos de serie, código de material, tamaño y tipo de cada una de estas. Para esta implementación se trabajó directamente con la persona encargada de manejar el inventario en la bodega Coca. Lo que se busca implementar es un listado de brocas en el cual se tenga información confiable y actualizada para que en futuros procesos se eviten problemas de información que retrasen el procedimiento de reparación. Para esto, se hizo un conteo y validación física de cada una de las brocas que se encontraban en la bodega Coca; y también, se levantó la información de las brocas que estaban en otras ubicaciones que no sean la base, con el fin de entregar un listado de inventario completo. En el *Anexo O*, se puede observar una captura de pantalla en la cual se muestra el documento que fue levantado durante esta mejora.

### **2.5.2 Mejora 2: Restructura proceso Bodega Coca – Bodega Quito**

Como se menciona en la fase analizar, una de las oportunidades de mejora identificadas fue que el proceso carecía de un flujo de información debido a que el área de *Bits & Drills Tools* (BDT) era la encargada de recibir la información y de canalizar la misma para que el proceso continúe, es decir, si BDT no respondía alguna solicitud el proceso no continuaba. Esta manera de trabajar no daba flexibilidad al proceso y ocasionaba que los tiempos se alarguen. Por esta razón, se decide realizar una restructura

del proceso en la cual se asignan nuevamente las actividades a cada una de las áreas con el objetivo de generar un flujo continuo. El nuevo proceso se puede observar en el *Anexo P*, en el que se muestra la manera en la que se va a manejar la información. Cada departamento genera un código que está enlazado directamente con su responsabilidad y ya no es necesario pedir que BDT autorice la continuación del proceso debido que ya este departamento es el único que tiene accesos para generar el STO, por lo que cada broca ya está autorizada por ellos con este proceso.

### **2.5.3 Mejora 3: Restructura proceso Houston – Bodega Quito**

Este proceso tenía una oportunidad de mejora al momento de iniciar el proceso de importación de la broca reparada. La manera en la que funcionaba es que una vez que la broca estaba lista, las personas encargadas de iniciar el proceso para traer la broca de vuelta a la Base Coca, esperaban la factura para iniciar el proceso de creación de la PO; lo cual era un tiempo no aprovechado debido a que esta factura en algunas ocasiones podría demorarse algunos días, y si a esto sumamos el tiempo que toma la generación de la PO, ahí tenemos como resultado que esta actividad demore más tiempo del que debería de acuerdo al takt time.

Por esta razón, se hace un cambio en el proceso, en el cual se da la dirección de que la PO debe iniciarse el momento que la broca salga reparada, de esta manera; hasta que la factura sea emitida y la broca sea recibida físicamente en las bodegas para iniciar el proceso de exportación, ya la PO se encuentre lista y se ahorra este tiempo de espera. Esta nueva propuesta se muestra en un flujograma que puede ser observado en el *Anexo Q*. En este se puede observar la idea de realizar tareas simultáneamente.

## CAPÍTULO III: RESULTADOS

### 3.1 Comparación estadística de resultados

A cada uno del set de datos recolectados por cada proceso, se realiza una prueba de normalidad para determinar si estos siguen una distribución normal (Gaussiana) ya que, dependiendo de este resultado, se escoge el tipo de prueba estadística que se aplicará para determinar si existe una diferencia estadística de la media de datos. Para la prueba de normalidad, se hace uso del software de Minitab para cada set de datos, se plantea la hipótesis nula y alternativa:

Ho: set de datos sigue una distribución normal

Ha: set de datos no sigue una distribución normal

Más adelante en las *Figura 3 a 7* se pueden observar cada una de las pruebas de normalidad que se realizan en cada uno de los procesos. Ya que ninguno de estos sigue una distribución normal se debe usar un tipo de prueba estadística no paramétrica para poder realizar las comparaciones de medias para poder concluir sobre los resultados obtenidos.

La prueba que se decide utilizar es la Prueba Wilcoxon, ya que esta prueba permite comparar dos medias de muestras que estén relacionadas para concluir si ambas son estadísticamente iguales o diferentes (Hayes, 2019). Para esta prueba igual se definen dos hipótesis, las cuales son:

Ho: Medias son iguales

Ha: Medias no son iguales

### 3.2 Base Coca – Bodega Quito

#### 3.2.1 Prueba de normalidad datos antes

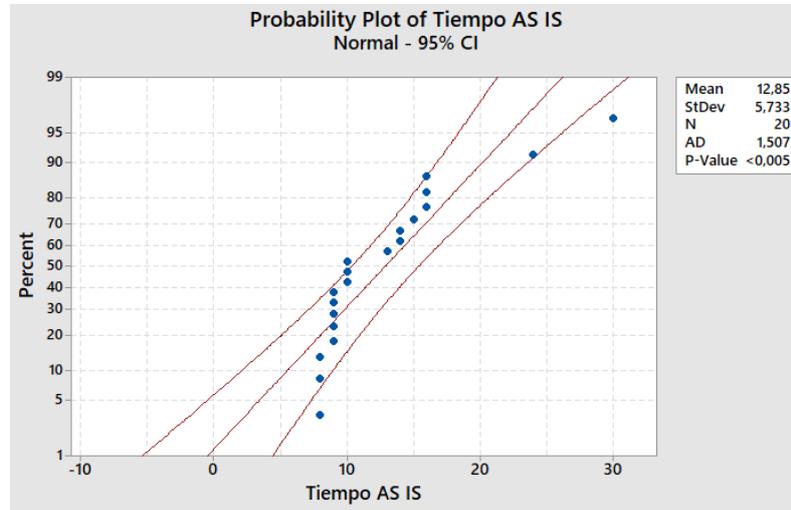


Figura 3. Prueba normalidad Base Coca - Bodega Quito antes

#### 3.2.2 Prueba de normalidad datos nuevos

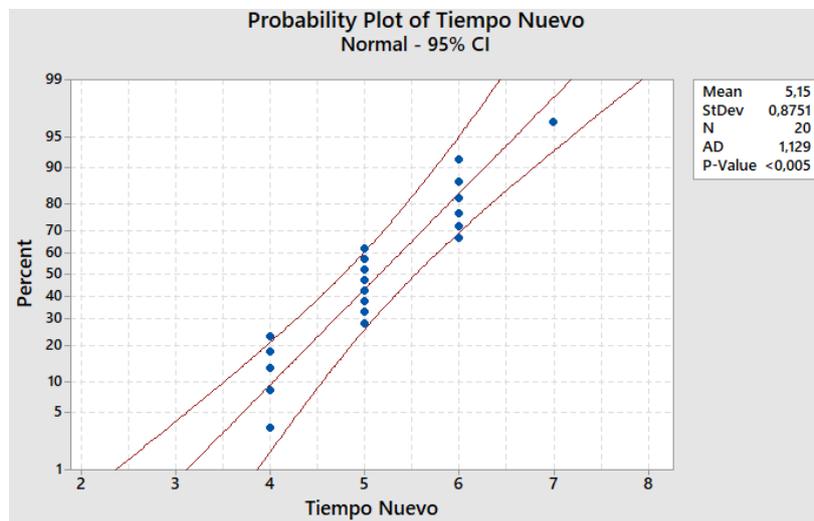


Figura 4. Prueba normalidad Base Coca - Bodega Quito después

### 3.2.3 Comparación estadística AS IS vs Nuevos

**Prueba Wilcoxon**

		N	Mean Rank	Sum of Ranks
TiempoNuevo - TiempoASIS	Negative Ranks	20 <sup>a</sup>	10,50	210,00
	Positive Ranks	0 <sup>b</sup>	,00	,00
	Ties	0 <sup>c</sup>		
	Total	20		

a. TiempoNuevo < TiempoASIS

b. TiempoNuevo > TiempoASIS

c. TiempoNuevo = TiempoASIS

**Test Statistics<sup>a</sup>**

		TiempoNuevo - TiempoASIS
Z		-3,927 <sup>b</sup>
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000

a. Wilcoxon Signed Ranks Test

b. Based on positive ranks.

Figura 5. Prueba Wilcoxon tiempos Base Coca - Bodega Quito

De acuerdo con esta prueba, se puede observar que el valor p es menor al valor de significancia de 0,05 que fue definido con anterioridad. Por esta razón, no existe suficiente evidencia estadística para aceptar la hipótesis nula; por lo que se concluye que la media de los datos difiere estadísticamente.

### 3.3 Quito – Houston

#### 3.3.1 Prueba de normalidad entre datos

Para esta prueba, lo que se analiza es la diferencia que existe entre los tiempos antes de aplicar las herramientas Lean contra los nuevos tiempos obtenidos una vez que se implementaron las mejoras propuestas. A cada pareja de tiempos se los resta uno del otro para obtener la diferencia que existe entre ambos, y a este valor se le realiza una

prueba de Kolmogorov-Smirnov para comprobar si estas siguen una distribución normal.

En la *Figura 6* podemos observar la prueba.

**One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test**

		Tiempo_Antes	Tiempos_De spués	Diferencia
N		20	20	20
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	27,2500	14,4500	-12,8000
	Std. Deviation	3,49247	1,05006	3,66491
Most Extreme Differences	Absolute	,285	,250	,328
	Positive	,141	,166	,328
	Negative	-,285	-,250	-,155
Test Statistic		,285	,250	,328
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000 <sup>c</sup>	,002 <sup>c</sup>	<b>,000<sup>c</sup></b>

a. Test distribution is Normal.  
 b. Calculated from data.  
 c. Lilliefors Significance Correction.

Figura 6. Prueba Kolmorov Smirbov tiempos Quito – Houston

De acuerdo con el valor p (encerrado en recuadro rojo) que es menor al valor de significancia de 0,05, se concluye que los datos relacionados no siguen una distribución normal. Razón por la cual se necesita realizar una prueba no paramétrica.

### 3.3.2 Comparación estadística AS IS vs Nuevos

Al igual que en el caso anterior, como el objetivo es comparar la media de ambas muestras relacionadas, se aplica la prueba de Wilcoxon.

### Wilcoxon Signed Ranks Test

		Ranks		
		N	Mean Rank	Sum of Ranks
Tiempos_Despues - Tiempo_Antes	Negative Ranks	20 <sup>a</sup>	10,50	210,00
	Positive Ranks	0 <sup>b</sup>	,00	,00
	Ties	0 <sup>c</sup>		
	Total	20		

a. Tiempos\_Despues < Tiempo\_Antes

b. Tiempos\_Despues > Tiempo\_Antes

c. Tiempos\_Despues = Tiempo\_Antes

### Test Statistics<sup>a</sup>

	Tiempos_De spues - Tiempo_Ante s
Z	-3,941 <sup>b</sup>
Asymp. Sig. (2-tailed)	.000

a. Wilcoxon Signed Ranks Test

b. Based on positive ranks.

Figura 7. Prueba Wilcoxon tiempos Quito – Houston

Al valor p obtenido en la prueba de Wilcoxon anterior se lo compara con el valor de significancia de 0,05 y al ser este menor se concluye que las medias entre el tiempo anterior contra el nuevo tiempo obtenido después de las mejores son diferentes.

### 3.4 Bodega Houston – Bodega Quito

Es importante mencionar que debido a la fecha límite que la empresa autorizó al autor para la obtención de información, no se alcanzó a tomar 20 procesos completos dentro de esta fase, solamente se pudieron tomar 5 muestras en total. Por esta razón, no se pudo realizar una comparación estadística para esta etapa ya que por falta de datos ninguna prueba era robusta.

### 3.5 Resumen de resultados

En la tabla a continuación, se puede observar una comparación entre los tiempos antes y después de aplicar herramientas Lean.

Tabla 5. Causas y soluciones Coca - Quito

Proceso	Indicador	Tiempo inicial (días)	Tiempo después (días)	Diferencia (días)
Coca - Quito	Tiempo del proceso	12,2	5,1	7,1
Quito - Houston		27,3	14,5	12,8
Houston - Quito		30,5	23,8	6,7
<b>TOTAL DIAS</b>		<b>70,00</b>	<b>43,40</b>	<b>26,60</b>

### 3.6 Análisis financiero

Es importante mencionar que la información y estimaciones utilizadas es propia del autor del proyecto. Para este análisis, se utiliza la información que se obtuvo a lo largo del proyecto. Lo que se busca es cuantificar el impacto económico que genera la reducción del tiempo en el proceso. Para esto, se inicia calculando el porcentaje de días que disminuye en el proceso después de implementar las mejoras y se los compara con los tiempos anteriores. En la Tabla 4 se puede observar estos datos:

Tabla 6. Porcentaje de disminución de tiempo del proceso

Tiempo antes (días)	Tiempo actual (días)	Diferencia (días)	Diferencia %
73,3	46,7	26,6	36,28%

A ambos tiempos se le suman los 8,5 días que hacen referencia al tiempo aproximado que se demora una broca en repararse y al tiempo aproximado de movilización de la broca hacia la planta de reparación:

Tiempo total antes:  $73,3 + 8,5 = 81,8$  días

Tiempo total después:  $46,7 + 8,5 = 55,2$  días

El siguiente paso es calcular la disponibilidad por año que tiene una broca para cada uno de los tiempos. Para este cálculo lo que se hace es dividir los 365 días del año para el número de días que se demora cada proceso:

Disponibilidad antes:  $365 / 55,2 = 6,61$  **proyectos por año**

Disponibilidad después:  $365 / 81,8 = 4,46$  **proyectos por año**

Con este dato obtenido se puede decir que con el nuevo tiempo que tarda el proceso, una broca puede estar disponible para 2 proyectos más por año. Tomando esta información como base, se realizará el siguiente análisis:

#### **ESTADO DE GANANCIAS Y PERDIDAS**

Renta broca (sección)	\$ 60.000,00
Costo reparación	\$ 7.000,00
<b>UTILIDAD BRUTA</b>	<b>\$ 53.000,00</b>
Gastos administrativos (30%)	\$ 18.000,00
Otros	\$ 5.000,00
<b>UTILIDAD OPERATIVA</b>	<b>\$ 30.000,00</b>
Impuesto a la renta (20%)	\$ 6.000,00
<b>UTILIDAD NETA</b>	<b>\$ 24.000,00</b>

Los \$24.000,00 que se muestran al final de este análisis deben ser multiplicados por 2 que es el número de proyectos extra que podrían ser asignados por año a una broca de acuerdo con el análisis realizado con anterioridad, esto da como resultado \$48.000,00 por año. Este monto significa que cada broca Z519 podría generar una utilidad de \$48mil dólares al año siempre y cuando existan proyectos que den la rentabilidad suficiente para correr esta broca en un proyecto.

## CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES

### 4.1 Conclusiones

- La aplicación de herramientas Lean eliminaron actividades que no agregan valor en el proceso, y se identificaron oportunidades de mejora en cada uno de los cuellos de botella identificados. Se priorizan las mejoras encontradas en base a la necesidad del proceso y se realiza un plan de implementación. En conjunto con las áreas de la empresa se hace una reestructuración de los procesos para que los mismos tengan un flujo más constante.
- Se logra disminuir el tiempo del proceso en un 36% lo cual aumenta la disponibilidad de brocas perforadoras de pozos petroleros, creando la oportunidad de generar más ingresos ya que ahora las brocas pueden perforar más pozos por año.
- El tiempo que antes invertían los empleados en el proceso no agregaba valor a este procedimiento. Con el nuevo proceso se puede liberar recursos como el tiempo de trabajo de los empleados, para que estos puedan invertirlo ahora en estrategias que ayuden a aumentar la rentabilidad de la empresa mediante la mejora continua de otros procedimientos dentro de cada área.
- El resultado obtenido a partir de las pruebas estadísticas realizadas muestra que existe una diferencia en las medias de tiempo de los procesos, razón por la cual la aplicación de herramientas Lean dentro de los cuellos de botella fue exitosa.

## **4.2 Limitaciones**

Una limitación dentro de este proyecto fue que no existía información histórica de un seguimiento del proceso de reparación de brocas, razón por la cual se invirtió más tiempo del planificado en levantar el proceso y tomar información durante este lapso con el objetivo de utilizar estos datos como históricos para el cálculo del tamaño de muestra. Esto también generó que al final del proyecto no se alcance a tomar los 20 datos necesarios al final del proceso de retorno de las brocas reparadas, teniendo como consecuencia una restricción al momento de realizar la prueba estadística para comparar la diferencia entre las medias de tiempo antes y después de aplicar herramientas Lean.

## **4.3 Recomendaciones**

- Tomar más datos ya que el tamaño de muestra es muy pequeño. Esto dará más fiabilidad al proyecto y va a disminuir el porcentaje de error en los resultados.
- Establecer planes de control y mejora continua del proceso para poder mantener un registro que permita poder realizar más mejoras al mismo.
- Aplicar esta metodología a los procesos que no fue posible realizarlo debido a que no se podía tener información de estos. De esta manera, se pueden encontrar más oportunidades de mejora que van a causar un mayor impacto en el proceso.

## CAPÍTULO V: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### 5.1 REFERENCIAS

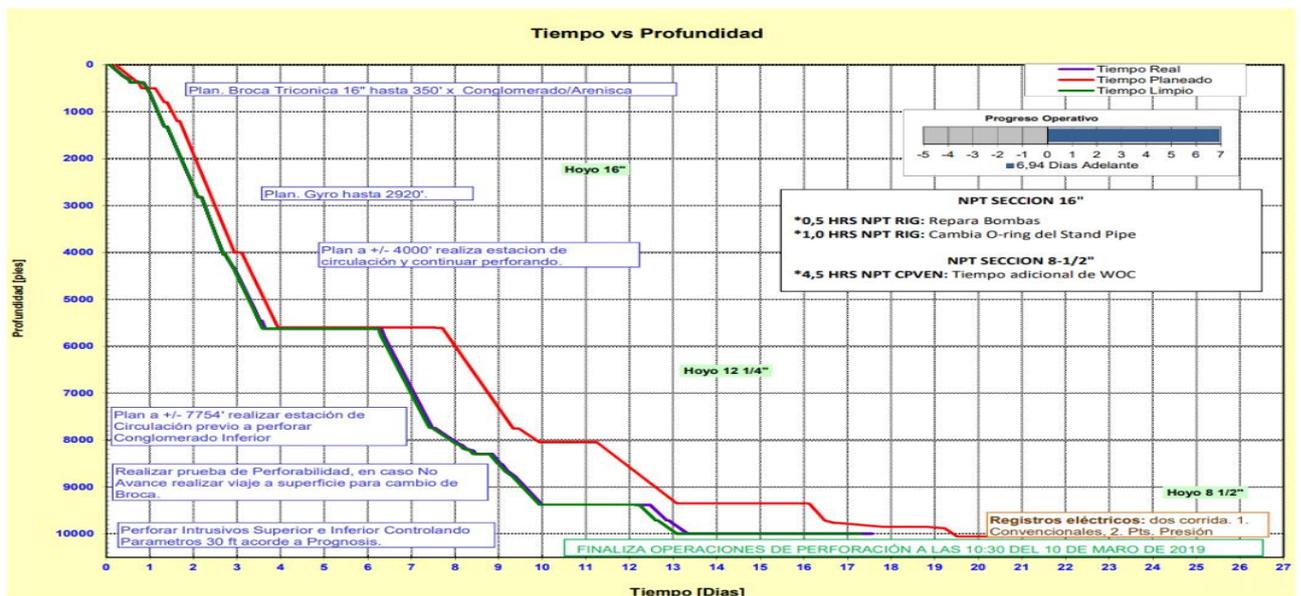
- A, P. D. P. C., Alejandro, G., & Casares, L. (2017). *Ciclo de mejora DMAIC aplicado en el Taller de Servicio Pablo Sebastián Guerrero Estrella Pablo Sebastián Guerrero Estrella Gabriel Alejandro León Casares*.
- Atanas, J. P., Rodrigues, C., & Simmons, R. J. (2015). *Lean Six Sigma Applications in Oil and Gas Industry: Case Studies*. 6(5), 540–544. <https://doi.org/10.2523/iptc-18475-ms>
- Cerón, J., Madrid, J., & Gamboa, A. (2015). Desarrollo y casos de aplicación de Lean Manufacturing. *Magazín Empresarial*, 11(28), 33–44. Retrieved from [http://revistas.usc.edu.co/index.php/magazin/article/view/659#.WMpkzIU1\\_IV](http://revistas.usc.edu.co/index.php/magazin/article/view/659#.WMpkzIU1_IV)
- Hayes, A. (2019, April 25). Wilcoxon Test. Retrieved from Wilcoxon Test: <https://www.investopedia.com/terms/w/wilcoxon-test.asp>
- Metrics, O., & Diversity, F. O. R. (2010). Applying Six Sigma and DMAIC to diversity initiatives .( Define , measur ... Applying Six Sigma and DMAIC to diversity initiatives .( Define , measur ... *Journal of Healthcare Management*, 4–6.
- Pallares, R. A. (n.d.). *Robots en la industria del petróleo y del gas*. 100–101. Retrieved from [http://www.petrotecnica.com.ar/octubre2014/Pdfs\\_SIN\\_Public/Robots.pdf](http://www.petrotecnica.com.ar/octubre2014/Pdfs_SIN_Public/Robots.pdf)
- Rachman, A., & Chandima Ratnayake, R. M. (2016). Implementation of lean knowledge work in oil and gas industry - A case study from a Risk-Based Inspection project. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2016-Decem*, 675–680. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2016.7797961>
- Ritchie, R., Angelis, J., Ritchie, R., Angelis, J., Lean, I., Environment, S., & Vallespir, B. (2014). *Implementing Lean into a Servicing Environment To cite this version :* HAL Id : hal-01055806.
- Utureanu, S., & Dragomir, C. (2015). Review on Lean Tools used in Manufacturing Process Improvement (I). *Ovidius University Annals, Series Economic Sciences*,

15(1), 642–647.

Vignesh, V., Suresh, M., & Aramvalathan, S. (2016). Lean in service industries: A literature review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 149(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/149/1/012008>

Zahrotun, N., & Taufiq, I. (2018). Lean Manufacturing: Waste Reduction Using Value Stream Mapping. *E3S Web of Conferences*, 73, 07010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20187307010>

### 5.2 ANEXOS



Anexo A. Plan (simulación) de perforación de pozo petrolero

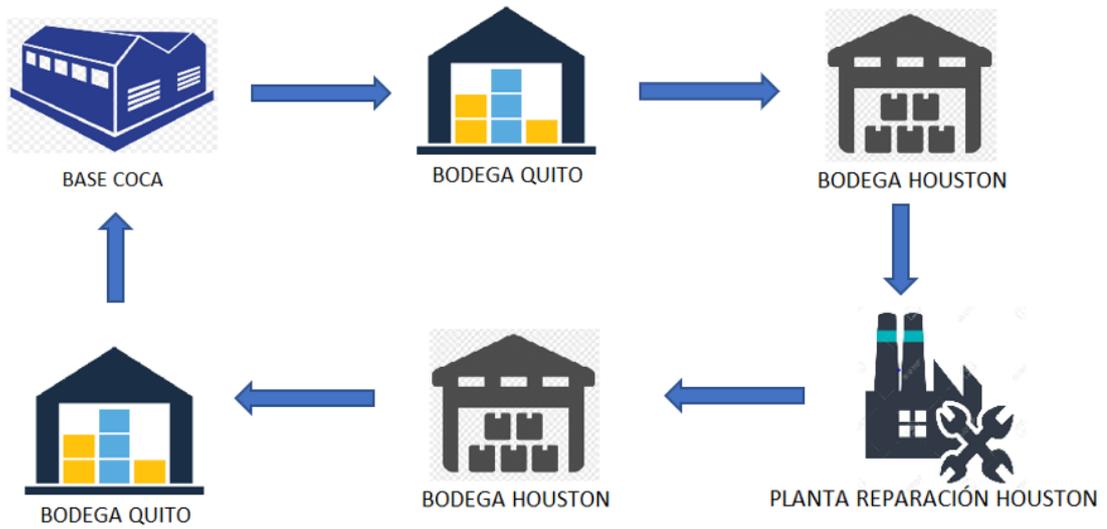
Antes de perforar



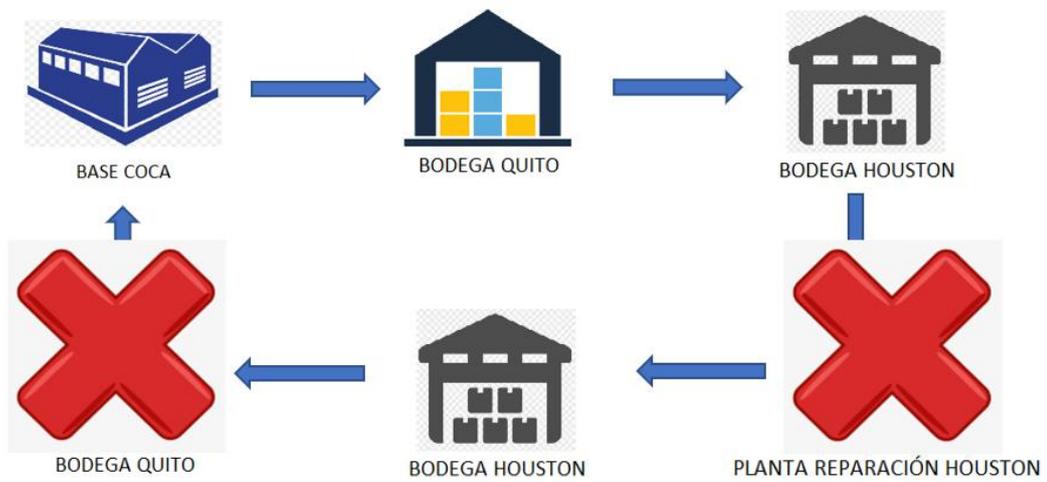
Después de perforar



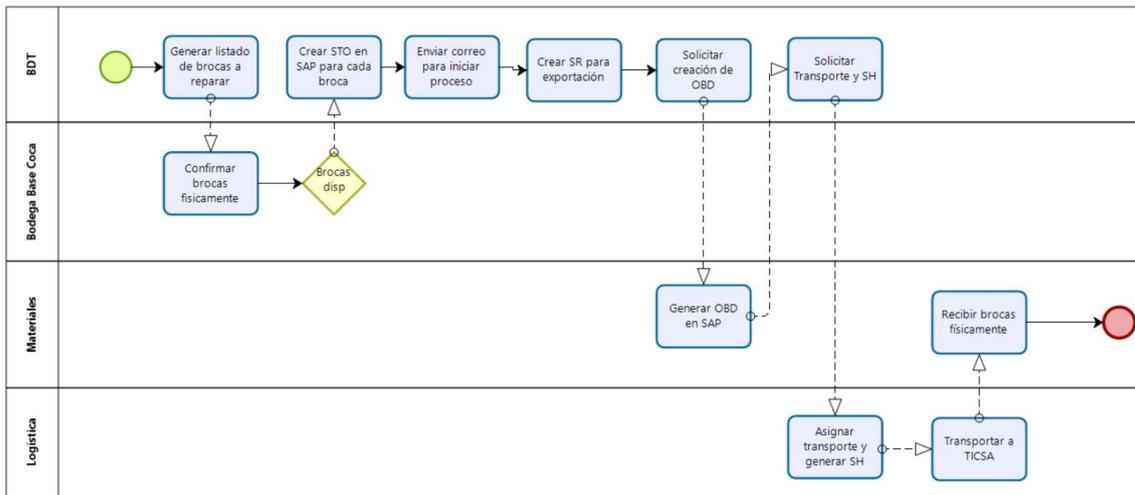
Anexo B. Broca antes de perforar pozo vs después de perforar



Anexo C. Flujo logístico de reparación para las brocas



Anexo D. Procesos que no serán considerados en el proyecto



Anexo E. Proceso traslado base Coca – Bodega Quito

1. Creación Orden
2. Completar información e iniciar proceso de exportación
3. Validar información
4. Documentación de exportación
5. Luz verde exportación
6. Aduana exportación
7. Vuelo internacional
8. Adana importación
9. Envío a destino

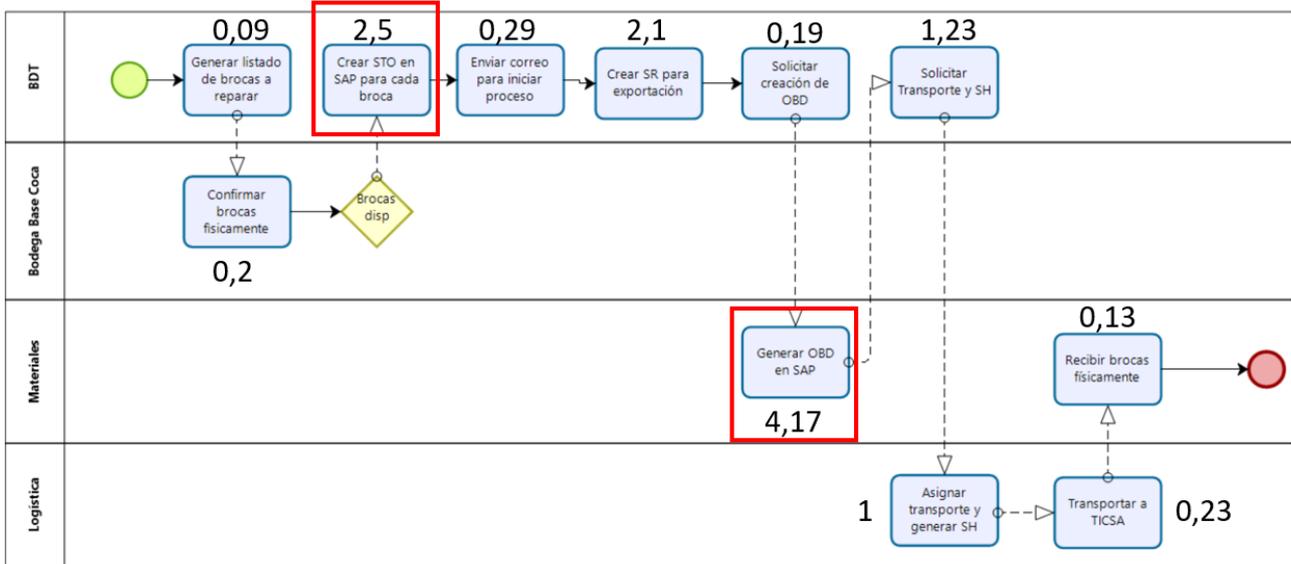


Anexo F. Proceso traslado Bodega Quito - Houston

1. Creación Orden
2. Completar información e iniciar proceso de exportación
3. Validar información
4. Documentación de exportación
5. Luz verde exportación
6. Aduana exportación
7. Vuelo internacional
8. Adana importación
9. Envío a destino



Anexo G. Proceso traslado Houston - Bodega Quito

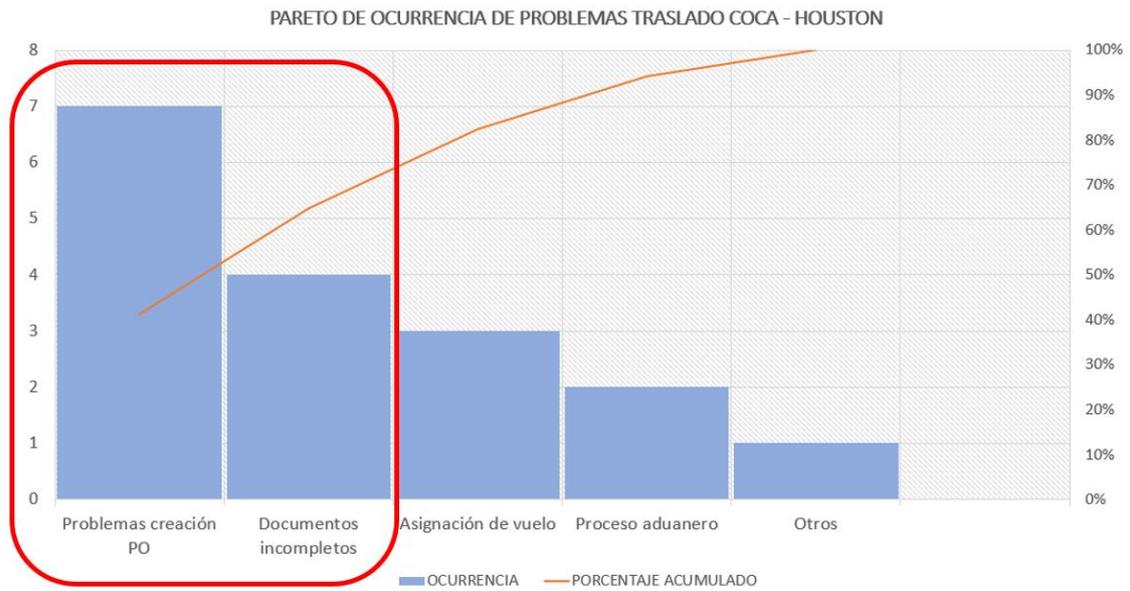


Anexo H. Cuellos de botella proceso Base Coca - Bodega Quito

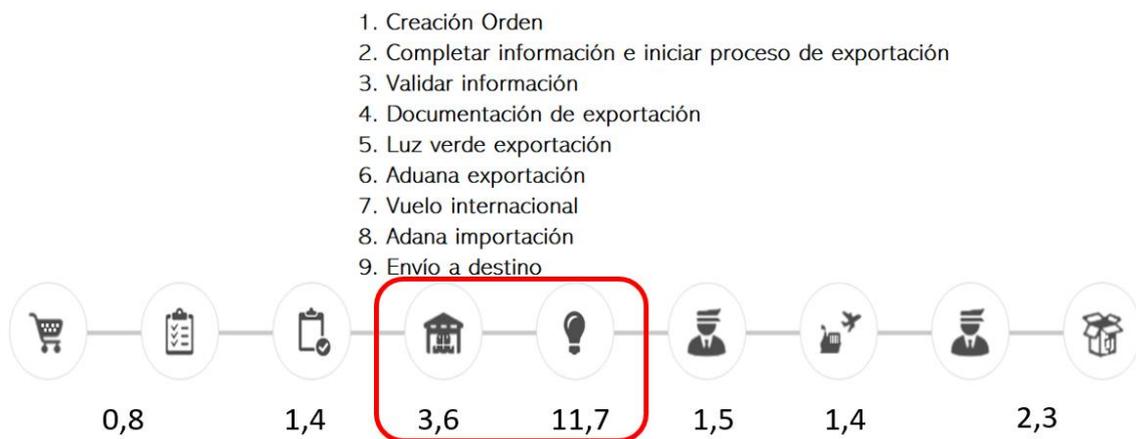
1. Creación Orden
2. Completar información e iniciar proceso de exportación
3. Validar información
4. Documentación de exportación
5. Luz verde exportación
6. Aduana exportación
7. Vuelo internacional
8. Adana importación
9. Envío a destino



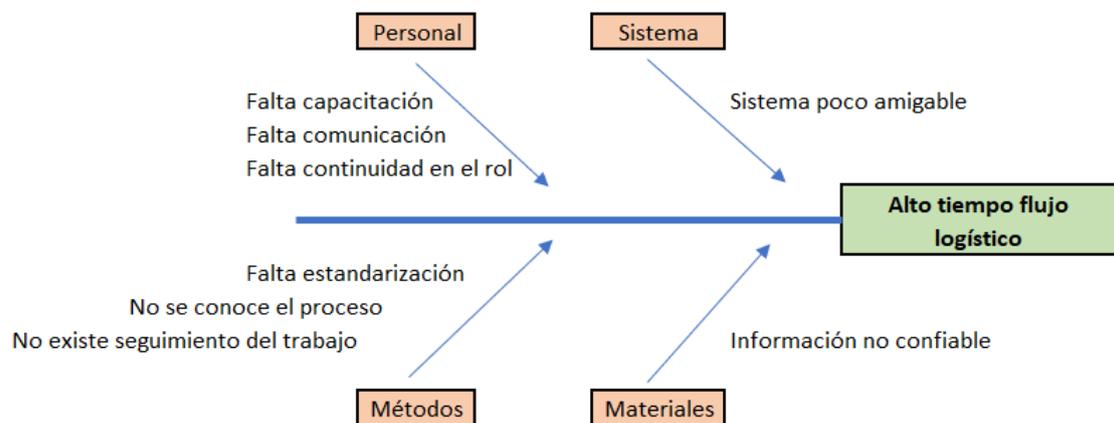
Anexo I. Tiempos proceso Bodega Quito - Houston



Anexo J. Pareto Proceso Bodega Quito - Houston



Anexo K. Tiempos proceso Houston – Quito



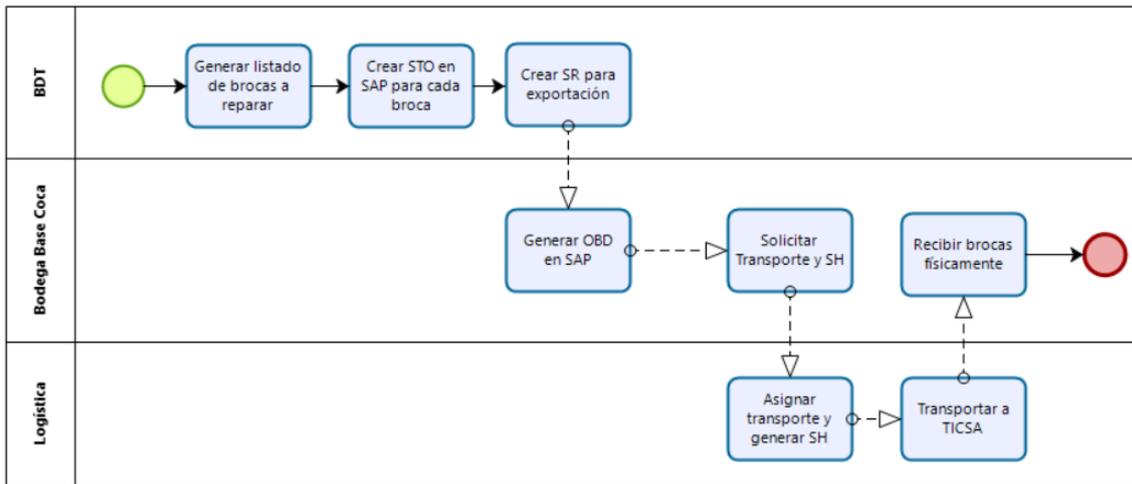
## Anexo L. Diagrama Ishikawa proceso Houston – Quito

Efecto: Tiempo de flujo logístico de reparación de broca alto					
Categoría	Causa 1	Causa 2	Causa 3	Causa 4	Causa 5
PERSONAL	Falta de conocimiento	Entrenamiento insuficiente	Falta de capacitación	No hay material de inducción al personal	
	Comunicación escasa	Roles y responsabilidades no están claros	Carencia de herramienta de tracking		
	Disponibilidad del personal	Turnos que no coinciden			
SISTEMA	No existe dominio del sistema SAP	Necesidad de escalar el soporte	Tiempo de respuesta de área de soporte es alto		
	Falta estandarización en el proceso	No existe proceso definido	No se ha priorizado la definición del proceso	No hay conciencia del impacto del proceso	No hay tiempo objetivo
MÉTODOS	No existe seguimiento del trabajo	No se han definido tiempos parciales máximos			
	Documentación dispersa e incompleta	Demasiados correos de un mismo caso	No existe un flujo de documentos definido (Workflow)		
MATERIALES	Falta detalle en el control de inventario	Stock no incluye estado de broca (impresiones)	Validación física del estado de la broca		

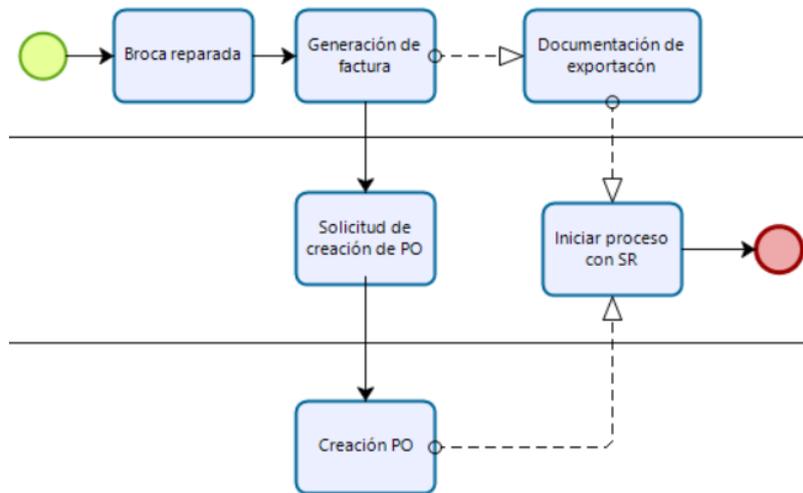
## Anexo M. Matriz 5 por qué's proceso Houston – Quito

SIZE	TYPE	SERIAL	ASIGNACION	CONDITION	UBICACION ACTUAL	BOM
12 1/4	MSI519LMHSBPXX	JG6083		PARA REPARACION	BODEGA HOUSTON	65440A0011
12 1/4	MSI519LMHSBPXX	JH5562	ENVIADO A REPARAR	PARA REPARACION	BODEGA HOUSTON	65440A0402
12 1/4	MSI519LMHSBPXX	JG8888		PARA REPARACION	BODEGA HOUSTON	65440A0011
12 1/4	MSI519LMHSBPXX	JH2406		PARA REPARACION	BODEGA HOUSTON	65440A0011
12 1/4	MSI619LVBPX	JD9005		REPAIRED	BASE COCA	64562A0208
12 1/4	MSI619LVBPX	JD6374		USED / MANTENIMIENTO	BASE COCA	64562A0105
12 1/4	MSI519LMHSBPXX	JJ5051		PARA REPARACION	BODEGA HOUSTON	66271A0004
12 1/4	SD419HBPX	JD8908		REPAIRED	BASE COCA	64628B0101
12 1/4	SD419HBPX	JG2130		USED	BASE COCA	64628B0103
12 1/4	SD419HBPX	JG0614		USED	BASE COCA	64628B0106
12 1/4	SDI519	JM0304	En el cliente PAM (Venta)	PARA REPARACION	BASE COCA	64495T0004
12 1/4	XR+CP5	RG6368		USED	BASE COCA	0057389061
12 1/4	XZ616	JN0296		REPAIRED	TICSA	67263A0001
12 1/4	XZ616	JM9093		USED	BASE COCA	64791A0108
12 1/4	XZ616	JN3091		REPAIRED	HOUSTON "HOLD"	67263A0001
12 1/4	XZ616	JN2008		REPAIRED	BASE COCA	67263A0001
12 1/4	Z519	JN7478		PARA REPARACION	EN TRANSITO A HOUSTON	66867A0301
12 1/4	Z519	JP1055		PARA REPARACION	EN TRANSITO A HOUSTON	67510A0001
12 1/4	Z519	JM8787		PARA REPARACION	BASE COCA	66867B0005
12 1/4	Z519	JN9355		PARA REPARACION	EN TRANSITO A HOUSTON	67510A0001
12 1/4	Z519	JN7045	RESERVADA ENAP MDC - 38	USED / MANTENIMIENTO	BASE COCA	66867A0201
12 1/4	Z519	JP1455	RESERVADA SHAYA CLBC 040 WIW	REPAIRED	BASE COCA	67510A0001
12 1/4	Z519	JM7757	RESERVADA SHAYA CLBC 040 WIW	REPAIRED	BASE COCA	66867B0006
12 1/4	Z519	JM7756	PARA PARAHUACU	PARA REPARACION	BODEGA HOUSTON	66867B0005
12 1/4	Z519	JM6918	RESERVADA PETROSUD	REPAIRED	ADUANA QUITO	66867B0005
12 1/4	Z519	JM8183	PARA ENAP MDC-39H	PARA REPARACION	BODEGA HOUSTON	66867B0005
12 1/4	Z519	JN7882	SHAYA CLBC 041H	REPAIRED	BASE COCA	66867A0202
12 1/4	Z519	JM6189	RESERVADA CUYABENO 074	PARA REPARACION	BODEGA HOUSTON	66867B0005

## Anexo N. Levantamiento de inventario Base Coca



Anexo O. Restructura proceso Base Coca – Bodega Quito



Anexo P. Restructura proceso Houston – Bodega Quito

