

**IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS, DESDE LA PERSPECTIVA *LEAN*,  
PARA REDUCIR LOS DESPERDICIOS EN LA ELABORACIÓN DE PLANOS DE  
TUBERÍA DURANTE EL DESARROLLO DE INGENIERÍA DEL SECTOR OIL &  
GAS**

**LUIS ANDRÉS MEZA VÉLEZ**



**UNIVERSIDAD DE LA SABANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**MAESTRÍA EN GERENCIA DE INGENIERÍA**

**CHÍA**

**2019**

**IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS, DESDE LA PERSPECTIVA *LEAN*,  
PARA REDUCIR LOS DESPERDICIOS EN LA ELABORACIÓN DE PLANOS DE  
TUBERÍA DURANTE EL DESARROLLO DE INGENIERÍA DEL SECTOR OIL &  
GAS**

**LUIS ANDRÉS MEZA VÉLEZ**

**Trabajo de grado para optar al título de Magister en Gerencia de Ingeniería**

**DIRECTOR**

**LUIS ALFREDO PAIPA GALEANO, MSc., PhD**

**CODIRECTOR**

**LUIS MAURICIO AGUDELO OTÁLORA, MSc.**

**UNIVERSIDAD DE LA SABANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**MAESTRÍA EN GERENCIA DE INGENIERÍA**

**CHÍA**

**2019**

## TABLA DE CONTENIDO

1. JUSTIFICACIÓN Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....	8
2. OBJETIVOS .....	10
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	10
3. MARCO CONCEPTUAL .....	11
3.1 ESTADO DEL ARTE .....	11
3.2 MARCO TEÓRICO .....	12
3.2.1 Desarrollo de proyectos de ingeniería .....	12
3.2.2 Metodologías para incrementar la productividad y la eficiencia .....	14
3.2.3 Los siete desperdicios <i>Lean</i> .....	15
3.2.4 Métricas para la medición de desperdicios .....	16
3.2.5 Técnicas <i>Lean</i> para la reducción de los desperdicios .....	17
4. METODOLOGÍA.....	23
5. CUANTIFICACIÓN DE LOS DESPERDICIOS .....	25
5.1 IDENTIFICACIÓN Y REGISTROS DE DESPERDICIOS .....	25
5.2 RESULTADOS GENERALES .....	30
5.3 SOBRE PROCESOS.....	31
5.4 TRANSPORTE INNECESARIO.....	33
5.5 ESPERAS .....	37

5.6 ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ UNIFICADO.....	38
6. ACCIONES DE MEJORA.....	40
6.1 ACCIONES PARA LA ELIMINACIÓN DE SOBRE PROCESOS .....	42
6.2 ACCIONES PARA LA ELIMINACIÓN DEL TRANSPORTE INNECESARIO .....	42
6.3 ACCIONES PARA LA ELIMINACIÓN DE LAS ESPERAS .....	43
6.4 SIMULACIÓN .....	45
6.5 TRABAJO FUTURO.....	47
7. CONCLUSIONES.....	48
8. REFERENCIAS.....	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. Principales disciplinas en ingeniería de Oil &amp; Gas.....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 2. Metodología.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 3. Mapa de flujo del proceso. ....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 4. Formato para registro de desperdicios.....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 5. Estaciones de medición sobre mapa de flujo del proceso. ....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 6. Diagrama de causa raíz para sobre procesos.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 7. Diagrama de causa raíz para transporte innecesario.....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 8. Distancias para cuantificación de transportes innecesarios (piso 1). ....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 9. Distancias para cuantificación de transportes innecesarios (piso 2). ....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 10. Diagrama de causa raíz para esperas.....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 11. Diagrama de causa raíz unificado.....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 12. Acciones de mejora sobre diagrama de flujo. ....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 13. Impacto en desperdicios sobre diagrama Ishikawa. ....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 14. Resultados gráficos de las simulaciones.....</b>	<b>46</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. Resultados generales.....</b>	<b>31</b>
<b>Tabla 2. Herramientas, acciones de mejora e impactos esperados.....</b>	<b>40</b>
<b>Tabla 3. Resultados de las simulaciones.....</b>	<b>46</b>

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO 1. Análisis de tiempo para proceso sin desperdicios.....</b>	<b>51</b>
<b>ANEXO 2. Análisis de tiempo para proceso con desperdicios.....</b>	<b>55</b>
<b>ANEXO 3. Análisis de tiempo para proceso con desperdicios reducidos.....</b>	<b>59</b>

## 1. JUSTIFICACIÓN Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

En la empresa estudio de caso, la cual pertenece a un grupo que opera a nivel mundial, se siguen procedimientos establecidos por los principales centros operativos tras años de experiencia adquirida a través de los proyectos realizados. Cuando los mercados se encuentran en equilibrio, los métodos tradicionales (*know-how*) permanecen inalterados, llevando a cabo las actividades de la manera acostumbrada.

Sin embargo, para ACIPET (2015), en el momento que se presentan situaciones de crisis como la que atraviesa la industria petrolera, las compañías deben buscar alternativas para reducir los costos de sus operaciones con el fin de ser competitivas en el mercado, siendo una de las estrategias adoptadas la reducción de recursos, traducida principalmente en recortes de personal y disminución de los tiempos de ejecución. Debido a esto, resulta necesario encontrar alternativas, relacionadas directamente con el uso de recursos, para aumentar la productividad mejorando la eficiencia en los procedimientos utilizados durante el desarrollo de la ingeniería (Hinckeldeyn et al., 2011).

Para este propósito, en el ámbito industrial (manufactura), es común encontrar literatura y casos de estudio que ofrecen metodologías ampliamente probadas como *Kaizen*, *Lean Manufacturing*, *Six Sigma*, entre otras, pero escasa y dispersa para aumentar la productividad y el manejo de los recursos en compañías dedicadas al diseño de productos, más aún cuando tienen que cumplir características específicas planteadas por cada cliente (Hinckeldeyn et al., 2015).

Este es el caso de la disciplina Tubería, cuyos procedimientos establecen la interacción con especialistas de otras disciplinas (Civil, Instrumentación, Eléctrica, Mecánica y Proceso) con el fin de diseñar un producto único. Como resultado del ejercicio se generan altos e intrincados flujos de información (Liao, 2008) y la posibilidad de presentar actividades repetitivas, pérdida de información, así como



dificultades en la trazabilidad. Condiciones que podrían disminuir la productividad, afectar la eficiencia, ocasionar sobrecostos etc.

La disciplina Tubería constituye una porción significativa de los costos relacionados con los entregables en proyectos de facilidades industriales que involucran Proceso (transformación fisicoquímica de fluidos), como aquellos del sector Oil & Gas. Es un componente esencial en el desarrollo de ingeniería para proyectos de esta clase y a menudo se considera el conductor de la productividad en general (Kim, 2007).

El presente proyecto, pretende ser un estudio de caso en donde se hace una aproximación de los conceptos y metodologías del pensamiento *Lean* para la identificación y evaluación de los desperdicios presentes en los procedimientos utilizados en el proceso de desarrollo de ingeniería, lo que puede conducir a un ajuste del *know-how*, así como a una mejora de la rentabilidad, los márgenes de ganancia y la competitividad en el mercado.

Específicamente, se busca aportar evidencia teórica y empírica en lo que se refiere a alternativas que aumenten la productividad partiendo del incremento en la eficiencia a través de la perspectiva *Lean Thinking* aplicada a procesos de ingeniería, un área que carece de este tipo de certidumbres (Hinckeldeyn et al., 2015).

Tomando en cuenta lo anterior, con el desarrollo del presente proyecto se pretende dar respuesta a las siguientes preguntas:

¿Qué tipo de desperdicios, desde la perspectiva *Lean*, están presentes en el proceso de desarrollo de ingeniería del sector Oil & Gas?

¿Cuáles indicadores clave (KPI) pueden ser aplicados en la compañía para cuantificar el nivel de los desperdicios presentes?

¿Qué acciones de mejora pueden ser implantadas en la empresa con el fin de reducir los niveles de desperdicio identificados?

¿Las acciones propuestas guardan relación alguna con los incrementos de la productividad, eficiencia y reducción de costos para la empresa?

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Identificar alternativas, desde la perspectiva *Lean*, para reducir los desperdicios en la elaboración de planos de tubería durante el desarrollo de ingeniería del sector Oil & Gas.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Identificar los desperdicios presentes en la elaboración de planos de tubería durante el desarrollo de ingeniería del sector Oil & Gas.

Reconocer los KPI involucrados en la elaboración de planos de tubería que permitan la cuantificación de cada uno de los desperdicios identificados.

Determinar las acciones de mejora que pueden contribuir a la disminución de los desperdicios en el área seleccionada.

Establecer una relación entre la eliminación de los desperdicios y los incrementos de productividad, eficiencia y reducción de costos.

### 3. MARCO CONCEPTUAL

#### 3.1 ESTADO DEL ARTE

A través de la historia, la ingeniería industrial se ha extendido a varios sectores de la actividad humana desde sus inicios en la manufactura tradicional, logrando un desarrollo significativo en la industria automotriz por medio del pensamiento *Lean*, más conocido como *Lean Thinking* (Womack & Jones, 2003; Liker & Hoseus, 2008). De manera gradual, este pensamiento comenzó a emerger en el sector de servicios conociéndose como *Lean Service*, y a principios del siglo XXI ya era usado en el manejo de la salud, administración pública e incluso tecnología informática (TI) (Kadarova & Demecko, 2016).

De acuerdo con Suárez-Barraza et al. (2012), el término *Lean Service*, puede ser visto como una derivación de *Lean Thinking* y es de gran ayuda para las organizaciones del sector de servicios, al ser usado como una herramienta para la mejora e innovación en los procesos de trabajo, al tiempo que busca reducir los desperdicios a través de un cambio en la cultura, enfocándose en la mejora continua más que en corregir las fallas. Según Dombrowski y Malorny (2018), los sistemas de producción *Lean*, orientados al incremento de valor para el cliente a través de la eliminación de los desperdicios, pueden adaptarse para la mejora de los procesos en servicios, denominados sistemas *Lean Service*. Para Andrés-López et al. (2015) el pensamiento *Lean*, aplicado ampliamente en sistemas de manufactura puede ser transferido y utilizado en servicios dejando de lado los dogmas de la manufactura a través de un cambio en la mentalidad operativa, representando un reto para las organizaciones que decidan adoptarlo.

A través de un estudio bibliográfico realizado por Leite (2012) a más de 70 artículos con relación a *Lean Thinking* enfocado a servicios, el autor expone que *Lean Service* no tiene un modelo específico de herramientas, prácticas o estándares, se trata de una mezcla de herramientas y prácticas que se deben aplicar de manera diferente para cada caso a resolver. Igualmente, el autor sostiene que aún sin contar con un

estándar o metodología para su uso en servicios, mediante la implementación de sus mejores prácticas se puede obtener grandes resultados económicos y financieros.

Por su parte, Sobek & Lang (2010) identificaron más de 60 artículos que describían la aplicación de herramientas y conceptos *Lean* en hospitales y otras entidades de este sector de la salud. Los autores mostraron que para casi todos los casos se reportaron mejoras en los desempeños organizacionales sobre una o varias dimensiones, sin embargo, son pocos los casos que detallan la manera en que fueron usados, así como los resultados que pueden ser atribuidos a determinada herramienta. De igual manera, los autores sostienen que muchos de los casos carecen de mediciones cuantitativas que den soporte a los resultados, además de no tener estudios investigativos precisos que realicen comparaciones de la implementación *Lean* a través de múltiples organizaciones.

En este orden de ideas, el presente proyecto constituye un aporte como caso de estudio de la aplicación de conceptos y prácticas *Lean* en el sector de los servicios, específicamente en ingeniería de la industria Oil & Gas.

## **3.2 MARCO TEÓRICO**

### **3.2.1 Desarrollo de proyectos de ingeniería**

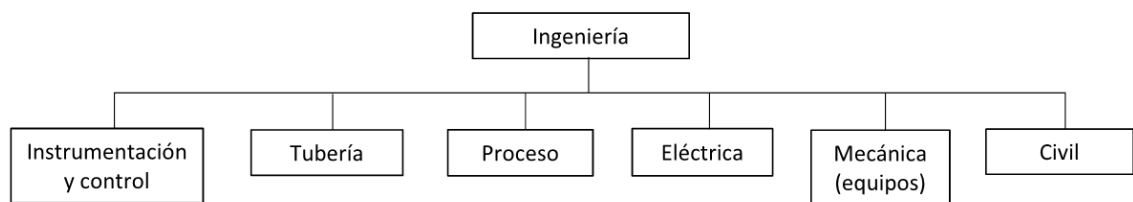
Para poner en contexto lo que supone el desarrollo de un proyecto de ingeniería en el sector de la industria Oil & Gas, a continuación, se hace referencia a los principales conceptos que se relacionan.

Los proyectos de ingeniería de gas o petróleo se caracterizan por requerir constantes interacciones entre las diferentes disciplinas (ver figura 1) que forman parte de su ejecución, las cuales generalmente corresponden a Proceso, Tubería, Civil, Instrumentación y Control, Mecánica (equipos) y Eléctrica (Kim, 2007). Durante sus dos fases de desarrollo, Ingeniería Básica o *Front End Engineering*

*Design* (FEED) e Ingeniería de Detalle, se establecen flujos y grandes volúmenes de información que deben ser tenidos en cuenta e involucrados en los diseños de cada disciplina. Por ejemplo, los estudios geotécnicos de suelos, las topografías y características sísmicas del sitio, datos necesarios para el diseño de las fundaciones y estructuras por parte de Civil (Hervé, 2010).

Al inicio del proyecto de ingeniería, partiendo de los requerimientos establecidos por el cliente, Proceso diseña la planta en sus diagramas de tubería e instrumentación (PIDs) haciendo uso de modelos termodinámicos para simular el comportamiento de los fluidos bajo las diferentes operaciones del proceso (separación, compresión, transferencia de calor etc.). Estos diagramas son entradas para las disciplinas de Tubería e Instrumentación y Control. Además, Proceso genera las hojas de datos para que Mecánica seleccione y diseñe los distintos equipos que se necesitan. Por su parte, Tubería genera información de entrada para todas las estructuras a ser diseñadas por Civil, disposición de espacios en la planta, accesos, áreas de mantenimiento y operación, ubica los equipos en las posiciones previamente establecidas y diseña los arreglos de líneas (tuberías) que interconectan los equipos y facilidades dentro de la planta previamente determinados (Hervé, 2010).

**Figura 1. Principales disciplinas en ingeniería de Oil & Gas.**



Por otra parte, para guiar el desarrollo de los proyectos y el proceso de diseño, se tienen establecidos procedimientos específicos para cada disciplina. Los procedimientos son guías que contienen pasos a seguir con el fin de asegurar la calidad de los entregables, procurando que las operaciones se realicen de la misma

forma por cualquier persona (Oliveira et al., 2017). En ellos, se determinan todas las entradas requeridas para cualquier elemento a diseñar y se establecen responsabilidades en las revisiones interdisciplinarias, ya sean sobre planos constructivos, hojas de datos para compra, memorias de cálculo etc. Estos procedimientos forman parte del *know-how* empresarial y muchas de las instrucciones dependen de la experiencia adquirida a través del tiempo realizando diferentes proyectos en múltiples etapas de ingeniería.

### **3.2.2 Metodologías para incrementar la productividad y la eficiencia**

De acuerdo con la literatura, autores recomiendan la aplicación de prácticas de gerencia de producción para incrementar la productividad y la eficiencia en los proyectos que se desarrollan, tales como la planificación y el control, manejo de cuellos de botella, ingeniería simultánea, gestión de la calidad, lecciones aprendidas, procedimientos estándar, mejora continua y *Lean Thinking* o *Lean Management* (Hinckeldeyn et al., 2015), siempre y cuando se cumplan ciertos prerrequisitos para su aplicación, así como los principios y métodos de ingeniería industrial (Satya et al., 2017). Por otra parte, otros autores concuerdan con la importancia que tienen el manejo de la información, los procedimientos estandarizados y la mejora continua, como estrategias que conducen a mejorar la productividad en el desarrollo de ingeniería (Davis & Ryan, 2013).

Concretamente, dentro de las prácticas de gerencia de producción, el concepto *Lean* fue desarrollado durante la década de los noventa a partir del *Toyota Production System*, basado en el artículo "*Triumph of the Lean Production System*" por Taiichi Ohno y John Krafcik (Kiran, 2017). A través de su implementación se pueden reducir los costos y tiempos, desarrollar liderazgo, mejorar las ganancias, disminuir defectos, aumentar la satisfacción del cliente y alcanzar la sostenibilidad de la mejora continua a largo plazo (Liker, 2008).

Para Sobek II & Lang (2010), *Lean* es un enfoque de gerencia de operaciones que considera cualquier recurso gastado en actividades que no agregan valor al cliente

final como un desperdicio. Se basa en varias herramientas que permiten identificar y eliminar las fuentes de desechos, obteniendo mejoras a través de rediseños. La metodología propone formular retos a los procesos existentes, mantener estabilidad en el ambiente cambiante, promover el liderazgo *Lean* en todos los niveles, involucrar al personal en la mejora diaria, generar relaciones basadas en la confianza mutua y compromiso, tomar decisiones al nivel más bajo posible, medir las cosas correctas, hacer los resultados visibles, optimizar la capacidad y utilización de la gente y originar un ambiente de aprendizaje (Kiran, 2017).

### **3.2.3 Los siete desperdicios *Lean***

Taiichi Ohno (1912 – 1990), identificó siete tipos de desperdicios o “*muda*” relacionados con procesos de manufactura, siendo estos:

- a) Sobreproducción, considerado la mayor fuente de desperdicios. Es la producción de artículos antes de ser requeridos debido principalmente a la forma en la que se planean las actividades ocasionando altos tiempos de espera y costos de almacenamiento.
- b) Tiempos de espera, se refiere a materiales que están en cola para ser procesados, o personal a la espera de entradas necesarias para realizar una labor. También, puede representar el tiempo en que un operario espera a que se termine una actividad para poder iniciar la siguiente.
- c) Transporte innecesario, desplazamiento de elementos sin que sea requerido, ya que no son modificados ni se les agrega valor en el proceso. Estos desplazamientos pueden implicar organizar, acomodar y trasladar los artículos producidos o durante su ciclo de producción.
- d) Procesamiento innecesario o sobre proceso, actividades sobre un producto para corregir los defectos a causa de procedimientos inadecuados, ocasionando la repetición del trabajo previamente realizado.

- e) Inventarios, acumulación de productos que no tienen salida. Estos artículos requieren ser mantenidos, almacenados y clasificados generando costos, así como problemas de trazabilidad.
- f) Movimientos innecesarios, actividad ineficiente del personal dentro y fuera del puesto de trabajo. En ocasiones puede poner en riesgo la salud de las personas y contribuir con una baja productividad.
- g) Artículos o servicios defectuosos, que son rechazados por no cumplir las especificaciones y requerimientos de calidad de los clientes.

Finalmente se agregó un octavo desperdicio, desuso del capital intelectual de las personas involucradas en los procesos que puedan contribuir con la eliminación de los desperdicios (Womack & Jones, 2003).

### **3.2.4 Métricas para la medición de desperdicios**

En la empresa *Lean*, las ventas y la programación de producción deben permitir que las órdenes y el producto fluyan de manera adecuada desde la venta hasta la entrega (Womack & Jones, 2003). El concepto *Takt time* permite sincronizar el ritmo de producción con el ritmo de ventas a los clientes y así evitar la sobreproducción:

$$Takt\ time = \frac{Tiempo\ de\ producción\ disponible}{Cantidad\ total\ demandada}$$

El ratio de valor añadido (RVA) indica la proporción entre el tiempo en el que a un producto en proceso se le agrega valor, contra el tiempo en el que no se le agrega ningún valor. El tiempo que no agrega valor corresponde a los tiempos de esperas, sobre procesamiento y transporte innecesario, principalmente.

$$RVA = \frac{Tiempo\ de\ valor\ añadido}{Tiempo\ de\ valor\ no\ añadido}$$

El transporte innecesario debe tomar en cuenta las distancias recorridas por los elementos terminados o en proceso:



$$\sum D; D = \text{Distancia recorrida}$$

En la cuantificación del procesamiento innecesario puede utilizarse el indicador bien a la primera vez FTT (*First Time Through*):

$$FTT = \frac{\text{Unidades totales} - \text{Desechos} - \text{Unidades retrabajadas}}{\text{Unidades totales}}$$

El índice de rotación de inventario permite determinar el número de veces que el inventario ha sido repuesto durante un periodo de tiempo:

$$\text{Índice de rotación} = \frac{\text{Coste de los productos vendidos}}{\text{Inventario Promedio del periodo}}$$

Los movimientos innecesarios dentro del puesto de trabajo durante el desarrollo de las actividades pueden cuantificarse a través del registro del tiempo total requerido para realizar dicha actividad:

$$\sum T; T = \text{Tiempo empleado para realizar una actividad}$$

Por medio del índice de calidad es posible establecer o determinar el impacto generado por los artículos defectuosos producidos:

$$\text{índice de calidad} = \frac{\text{Unidades sin defectos}}{\text{Total de unidades producidas}}$$

### 3.2.5 Técnicas *Lean* para la reducción de los desperdicios

De acuerdo con Hernández & Vizán (2013) las diferentes técnicas *Lean* han sido empleadas de manera exitosa en empresas de distintos tamaños y sectores, ya sea de manera individual o conjunta, de acuerdo con las necesidades específicas de cada caso. A continuación, se resumen las principales técnicas *Lean*:

### 3.2.5.1. Las 5 S

Corresponde a la aplicación sistemática de los principios de orden y aseo en las áreas o puestos de trabajo. Permite dejar atrás los hábitos y viejos procedimientos, adoptando una nueva cultura basada en la limpieza, la seguridad y la calidad como factores esenciales dentro del proceso productivo. El acrónimo tiene como origen cinco palabras en japonés de las que se compone la herramienta: *Seiri*, *Seiton*, *Seiso*, *Seiketsu* y *Shitsuke*.

- a) *Seiri* (Eliminar), Significa seleccionar y clasificar todos los objetos en necesarios y no necesarios para realizar las actividades del día a día. Los objetos innecesarios deberán ser eliminados del área de trabajo.
- b) *Seiton* (Ordenar), Consiste en ordenar los elementos necesarios para realizar las labores y designar un sitio para su fácil localización, lugar al que serán devueltos luego de ser utilizados.
- c) *Seiso* (Limpieza e Inspección), Limpiar el área de trabajo mientras se inspecciona para poder identificar las posibles causas de la suciedad o desorden y, posteriormente, corregirlas. De esta forma se pueden prevenir futuros defectos o errores.
- d) *Seiketsu* (Estandarizar), Establecer métodos para realizar cada labor dentro de la compañía, en los que el orden y el aseo sean fundamentales. Los estándares, presentados en forma de procedimientos, guías o dibujos, facilitan la correcta ejecución de los trabajos.
- e) *Shitsuke* (Disciplina), Mantener los hábitos y procedimientos establecidos a través del tiempo.

### 3.2.5.2. SMED

La herramienta SMED (*Single-Minute Exchange of Die*) es una técnica que busca reducir los tiempos de preparación mediante la modificación de las máquinas, herramientas o el producto mismo. Hace uso de métodos de calidad como análisis

de Pareto para identificar causas raíz y de esta forma simplificar, cambiar o eliminar las tareas de preparación.

### **3.2.5.3. Estandarización**

Es una de las herramientas fundamentales del pensamiento *Lean* y ha sido uno de los pilares de la mejora continua en la producción japonesa. Un estándar brinda la información necesaria respecto a máquinas, herramientas, materiales, mediciones, métodos y personas para realizar las labores con calidad, de manera segura, a bajo costo y de forma rápida.

### **3.2.5.4. Control visual**

Son medidas de control y comunicación para reconocer el estado actual del proceso haciendo énfasis en los desperdicios. Busca identificar oportunidades de mejora y ser la herramienta para la gestión de los especialistas, involucrando a todo el personal de manera activa. El control visual es la herramienta *Lean* que expone la importancia de mantener motivado al personal cuando se involucran en el proceso de mejora continua, compartiendo la información y reconociendo sus aportes.

### **3.2.5.5. Jidoka**

“*Jidoka*” es una palabra en japonés que significa automatización con toque humano. Establece que el proceso debe tener una forma de autocontrol para evitar que los productos defectuosos avancen hasta el final del proceso. De esta forma se incrementa la calidad y se evitan sobre procesos y correcciones sobre los productos.

Por medio de esta herramienta se busca que los involucrados actúen como inspectores de calidad, asegurando que su trabajo se realiza bien a la primera vez. Así, las inspecciones se enfocan en prevenir y no en corregir. Un elemento clave de las técnicas *Jidoka* son los sistemas de autoinspección, conocidos por el término *poka-yoke*. Estos mecanismos deben ser sencillos, prácticos, innovadores,

económicos, y en lo posible, diseñados por las personas que forman parte del proceso productivo.

#### **3.2.5.6. Técnicas de calidad**

De acuerdo con el pensamiento *Lean* las compañías deben enfocar sus esfuerzos en elevar la calidad de sus productos y conseguir la plena satisfacción del cliente. Para conseguirlo, cada trabajador involucrado en el proceso actuará como un inspector de calidad realizando su labor bien a la primera, y actuando a tiempo cuando se identifiquen errores que afecten los productos en etapas posteriores. Por otra parte, también plantea el uso de las técnicas TQM (*Total Quality Management*) como el autocontrol, la Matriz de Autocalidad, el análisis PHVA (Planear, Hacer, Verificar, Actuar), los planes de cero defectos y 6 sigma.

- a) Autocontrol, esta técnica se utiliza cuando no es posible hacer uso de otro tipo de mecanismos para la identificación de errores. Para ello se deben establecer de dos a tres puntos de chequeo, en los cuales el personal que ejecuta la labor procederá a realizar las revisiones. Para una correcta formación del personal en el autocontrol, se recomienda enseñar los estándares sobre los cuales se basa la producción, diseñar un sistema de respuesta rápida que permita la retroalimentación y distribución de la información, llevar registros de los problemas, y detectar agentes externos que generen impactos.
- b) Matriz de Autocalidad, es una herramienta que permite rastrear en qué parte del proceso se generan los errores y hasta qué punto avanzan. Su finalidad es analizar los problemas en el punto de ocurrencia y proponer acciones encaminadas a mitigarlos o eliminarlos. La matriz se genera a partir de las fases que componen el proceso y los datos consignados en los registros de defectos.
- c) Ciclo PHVA, también conocido como ciclo de Deming, es una de las técnicas más importantes para la identificación y corrección de los errores. Se compone de los siguientes cuatro elementos: **Planear**, consiste en identificar problemas, objetivos y plan de acción para su tratamiento; **Hacer**, ejecutar el plan; **Verificar**,

analizar los impactos generados; **Actuar**, concluir a partir de los impactos generados y de ser necesario, reiniciar el ciclo.

- d) Planes de cero defectos, constituyen el objetivo final del uso o implementación de las técnicas *Lean* en los planes de calidad en las compañías.
- e) 6 sigma, es una técnica para la reducción de defectos en los productos o servicios que se entregan a los clientes, a través de métodos estadísticos para la caracterización de la variabilidad en los procesos y atacar su causa raíz. El objetivo es conseguir 3.4 defectos por cada millón de oportunidades (DPMO). Su nombre tiene relación con seis desviaciones estándar entre la media de un proceso y el límite de especificación del cliente, lo que equivale a una tasa de eficiencia del 99.99966%. El proceso para su aplicación se resume en: Definir, Medir, Analizar, Introducir Mejoras y Controlar.

### **3.2.5.7. Sistemas de participación del personal**

Se definen como las actividades que permiten identificar oportunidades de mejora que contribuyan con el crecimiento de las organizaciones a través de la participación e iniciativas del personal. Para ello, se debe ubicar al individuo como parte central del sistema, reconociendo su importancia, ya que muchas de las técnicas que se utilizan están enfocadas a él.

Un sistema *Lean* de mejora continua debe cumplir los siguientes requerimientos, establecidos de manera secuencial:

- Instaurar normas de seguridad en el trabajo.
- Garantizar un ambiente laboral adecuado.
- Formar de manera continua el personal.
- Promover la comunicación a través de todos los niveles sin importar la jerarquía.
- Buscar la participación del personal en la mejora continua aprovechando su experiencia.
- Involucrar a todos, desde la gerencia hasta el personal productivo.

A manera de ejemplo se describen algunos sistemas de participación del personal en el pensamiento *Lean*:

- a) Equipos de mejora (equipos *Kaizen*): grupos multidisciplinarios conformados por personal de diferentes departamentos y cargos, con conocimientos en técnicas encaminadas a la eliminación de los desperdicios. Se encargan de afrontar problemas específicos y fomentar la mejora continua.
- b) Grupos autónomos de producción (GAP): grupos de personas encargadas de implementar y mantener las nuevas metodologías establecidas por medio del pensamiento *Lean*.
- c) Programas de sugerencias: programas dirigidos al aprovechamiento de las iniciativas del personal enfocadas a contribuir con la mejora de la organización y conseguir una reducción de costes.

#### **3.2.5.8. Heijunka**

Es una técnica que permite planificar la demanda y variabilidad de pedidos de los clientes, para ser atendida por medio de una producción continua y nivelada generando el menor número desperdicios. A través del uso de técnicas como las células de trabajo, flujo continuo pieza a pieza, producir de acuerdo con el *Takt time*, nivelar la variabilidad y volumen de producción.

#### **3.2.5.9. Kanban**

Es un sistema para programar y sincronizar la producción por medio de tarjetas, las cuales se transforman en el mecanismo de comunicación entre las diferentes estaciones de trabajo y las órdenes de producción.

#### 4. METODOLOGÍA

El presente estudio de caso fue llevado a cabo en una empresa de servicios de ingeniería del sector Oil & Gas ubicada en Bogotá, Colombia, y que ha tenido presencia en el mercado por más de 40 años. Específicamente, el proyecto se desarrolló en el proceso de elaboración de planos de tubería.

La metodología se desarrolló bajo el enfoque de estudio de caso. Esta metodología permite analizar un fenómeno y describir la relación existente con el contexto en el que ocurre a través de información cualitativa y cuantitativa (Yin, 2009). Particularmente, para este proyecto se usaron datos cuantitativos derivados de la medición de los niveles de desperdicio identificados, que fueron contrastados con los resultados obtenidos después de aplicar técnicas *Lean* para su reducción. Igualmente, los resultados obtenidos se compararon con índices de eficiencia, calidad y costes que tiene la compañía. La investigación fue desarrollada durante un periodo de 10 meses comprendido entre los años 2018 y 2019.

Concretamente, para cada uno de los objetivos específicos se desarrollaron las actividades que a continuación se relacionan:

***Identificar los desperdicios presentes en la elaboración de planos de tubería durante el desarrollo de ingeniería del sector Oil & Gas.***

- Mapeo y caracterización del proceso objeto de estudio mediante el uso el software Bizagi.
- Identificación de los 7 tipos de desperdicios en el proceso.

***Reconocer los KPI involucrados en la elaboración de planos de tubería que permitan la cuantificación de cada uno de los desperdicios identificados.***

- Identificación de los indicadores clave y diseño del plan de medición para cuantificación de desperdicios identificados.

- Aplicación del plan de medición sobre un isométrico de tubería para construcción.

***Determinar las acciones de mejora que pueden contribuir a la disminución de los desperdicios en el área seleccionada.***

- Identificación de técnicas Lean para la reducción de actividades que no agregan valor.
- Simulación del proceso redefinido a través del software Bizagi.

***Establecer una relación entre la eliminación de los desperdicios y los incrementos de productividad, eficiencia y reducción de costos.***

- Evaluación y selección de las alternativas encaminadas a impactar de manera positiva la productividad en el desarrollo de ingeniería.

En la figura 2 puede apreciarse la metodología utilizada, descrita de manera secuencial.

**Figura 2. Metodología.**





## 5. CUANTIFICACIÓN DE LOS DESPERDICIOS

### 5.1 IDENTIFICACIÓN Y REGISTROS DE DESPERDICIOS

A partir del mapeo y caracterización del proceso (ver figura 3), se identificaron los principales desperdicios que ocurren durante el ciclo de producción de isométricos, siendo éste entregable el más representativo en cuanto a cantidad y consumo de recursos para la disciplina de Tubería. Los desperdicios identificados se ubican en las distintas interacciones entre actividades y actores involucrados en el proceso productivo. Para su medición, fueron creados registros de toma de datos (ver ejemplo figura 4) y se establecieron estaciones representadas en el mapa de flujo del proceso desarrollado (ver figura 5), logrando dar mayor claridad durante el ejercicio de cuantificación de desperdicios.

A manera de ejemplo y para una mayor comprensión, la figura 4 representa un formato típico que consta de los siguientes campos:

- Título: hace referencia al punto sobre el diagrama en el que se hará la medición.
- Tipo de desperdicio: especifica la clase del desperdicio identificado
- Estación de medida: número único de la estación de medida (se utilizaron números romanos)
- Fecha: día y mes en que se inicia la actividad
- Rev: código de revisión o versión del plano que se rastrea
- Repro: campo que indica si la revisión o versión del plano que se rastrea corresponde o no a un reproceso.
- Definición: explicación corta del tipo de desperdicio
- Cómo medir: procedimiento establecido para llevar a cabo la medición
- Periodo de evaluación: ventana de tiempo que abarca el proceso de medición
- Notas y posibles causas: espacio para registrar posibles causas asociadas a la presencia del desperdicio.

- Toma de datos: campo para registrar los datos, se incluye el número de la línea (identificación del isométrico), el área a la que corresponde dentro de la planta o facilidad que se diseña, el número de planos que la componen y en el caso del ejemplo de la figura 4, el tiempo medido para cada espera.

Figura 3. Mapa de flujo del proceso.

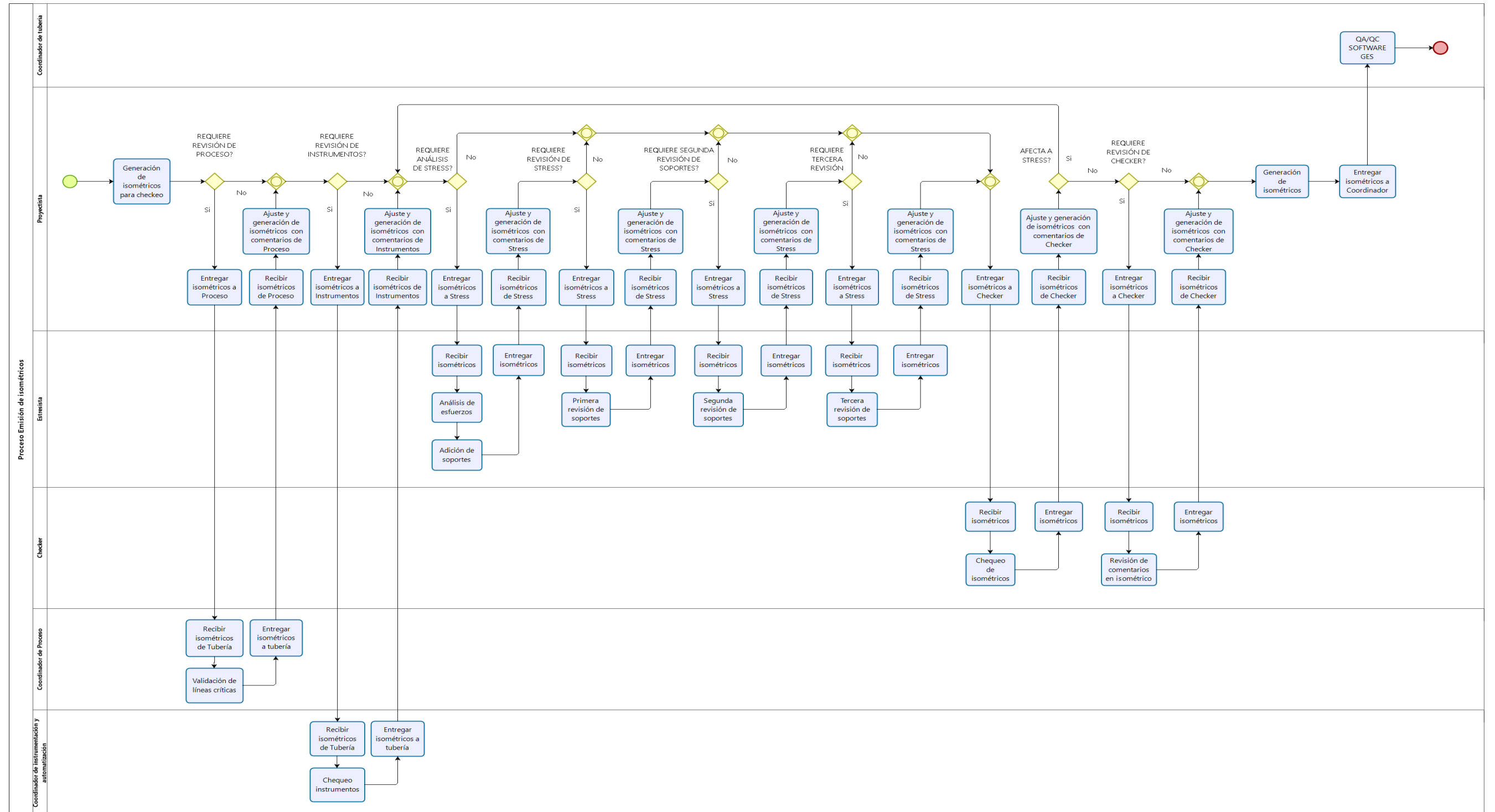


Figura 4. Formato para registro de desperdicios.

TÍTULO		TIPO DE DESPERDICIO	ESTACIÓN DE MEDIDA		
PARA PRIMEROS COMENTARIOS (diseño)		ESPERA	VII		
			FECHA	Rev.	REPRO.
			1-Apr	AX	No
DEFINICIÓN	Tiempo que tarda en empezarse a ser procesado un plano luego de ser entregado a los diseñadores				
CÓMO MEDIR?	Tomar el tiempo transcurrido desde que se entrega un plano hasta que se empieza a trabajar sobre él.				
PERIODO DE EVALUACIÓN	1 SEMANA				
NOTAS Y POSIBLES CAUSAS	Recurso ocupado. Recurso no disponible.				

DPTO	TUBERÍA - DISEÑO			LOCALIZACIÓN	EDIFICIO CORPORATIVO	
No	LINE ID	AREA	# ISOS	FECHA	t (HH)	OBSERVACIÓN
1	502601	101	4	1-Apr	26.85	
2	400201	101	1	1-Apr	37.85	
3	503005	101	1	1-Apr	37.85	
4	301202	101	1	1-Apr	26.85	
5	502701	101	4	1-Apr	37.85	
6	502401	101	1	1-Apr	26.85	
7	502501	101	2	1-Apr	37.85	
8	503205	101	2	1-Apr	37.85	
9	503305	101	2	1-Apr	37.85	
10	401001	101	1	1-Apr	37.85	
11	501601	101	3	1-Apr	37.85	
12	500801	101	1	1-Apr	26.85	
13	503405	101	3	1-Apr	37.85	
14	502805	101	1	1-Apr	26.85	
15	400101	101	1	1-Apr	26.85	
16	600206	101	4	1-Apr	37.85	
17	302702	101	2	1-Apr	37.85	
18	503605	101	2	1-Apr	37.85	
19	301802	101	3	1-Apr	37.85	
20	302102	101	1	1-Apr	37.85	
21	302402	101	4	1-Apr	37.85	

PUNTO DE MEDICIÓN SOBRE DIAGRAMA DE FLUJO

REVISIÓN DE LAS LÍNEAS

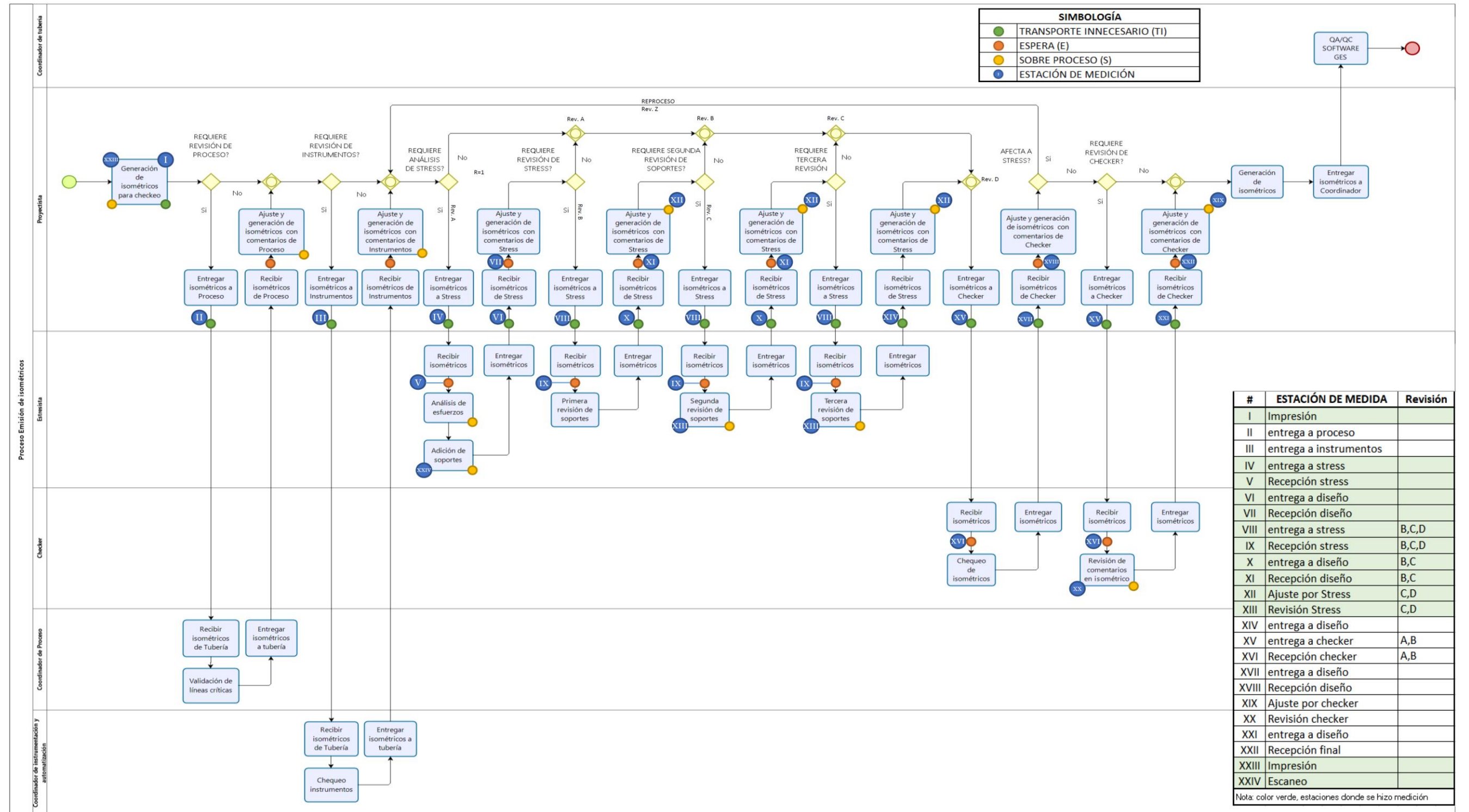
FECHA DE TOMA DE DATOS

DEFINICIÓN DEL DESPERDICIO

TÍTULO DE ACUERDO A UBICACIÓN EN EL DIAGRAMA DE FLUJO

CORRESPONDE A UN REPROCESO?

Figura 5. Estaciones de medición sobre mapa de flujo del proceso.



## 5.2 RESULTADOS GENERALES

Uno de los principales objetivos del estudio de caso es reconocer los diferentes tipos de desperdicios y, a partir de indicadores clave, realizar su cuantificación haciendo uso de los formatos para el registro de los desperdicios, anteriormente explicado. Una vez terminado este ejercicio de evaluación sobre un proyecto previamente seleccionado, se concluye que los desperdicios presentes en el proceso de producción de isométricos de tubería corresponden a sobre procesamiento, transporte innecesario y esperas.

En la siguiente tabla se muestran los resultados generales obtenidos por tipo de desperdicio, así como la forma en la que fueron cuantificados. Considerando que cada desperdicio tiene su propia unidad de medida, en la misma tabla, las dos últimas columnas representan la una métrica equivalente. Esta métrica permite sumar los diferentes desperdicios. Para este caso de estudio se determinó que la métrica equivalente se puede expresar en horas de trabajo hombre (H.H.) y distancia total en metros (m).

**Tabla 1. Resultados generales.**

TIPO DE DESPERDICIO	PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DEL DESPERDICIO	INDICADOR EMPLEADO	PROCEDIMIENTO DE VALORACIÓN DEL DESPERDICIO	TIEMPO TOTAL (H.H.)	DISTANCIA TOTAL (m)
Sobre procesos	Medición del tiempo requerido para el reproceso de planos que sufren dos o más revisiones.	Bien a la primera vez (FTT) <b>FTT = 40%</b>	Horas hombre requeridas para comentar y revisar planos reprocesados.	41.3	37.1
Transporte innecesario	Medición del tiempo y la distancia recorrida de los planos entre los puestos de trabajo de los especialistas	Distancias recorridas por el producto a lo largo del proceso productivo	Horas hombre y distancia totales requeridas para el transporte de los planos	0.2	488
Esperas	Cuantificación del tiempo total de esperas	Ratio de valor añadido <b>RVA = 0.42</b>	Tiempo de valor no agregado, transcurrido desde que se entrega un plano hasta que se empieza a trabajar sobre él.	1045	-
<b>TOTALES</b>				<b>1086.5</b>	<b>525.1</b>

A continuación, se explica en detalle el proceso de evaluación de cada uno de los desperdicios identificados y la determinación de causas de su ocurrencia.

### 5.3 SOBRE PROCESOS

Son considerados sobre procesos todos los trabajos llevados a cabo que no agregan ningún valor al producto elaborado, actividades innecesarias que podrían no existir. Dentro de dichas actividades se encuentran las operaciones adicionales que deben realizarse a un isométrico de tubería para que cumpla con las características deseadas. Adicionalmente, se efectúan actividades de impresión y escaneo para la trazabilidad de los planos, dejando registros de las modificaciones que se han realizado, acciones que no tienen incidencia sobre el valor de los isométricos producidos. A este tipo de desperdicio se le asignó el indicador bien a la primera vez “*First Time Through*”, definido como FTT por sus siglas en inglés, que establece la relación existente entre el total de productos producidos y los productos reprocesados.

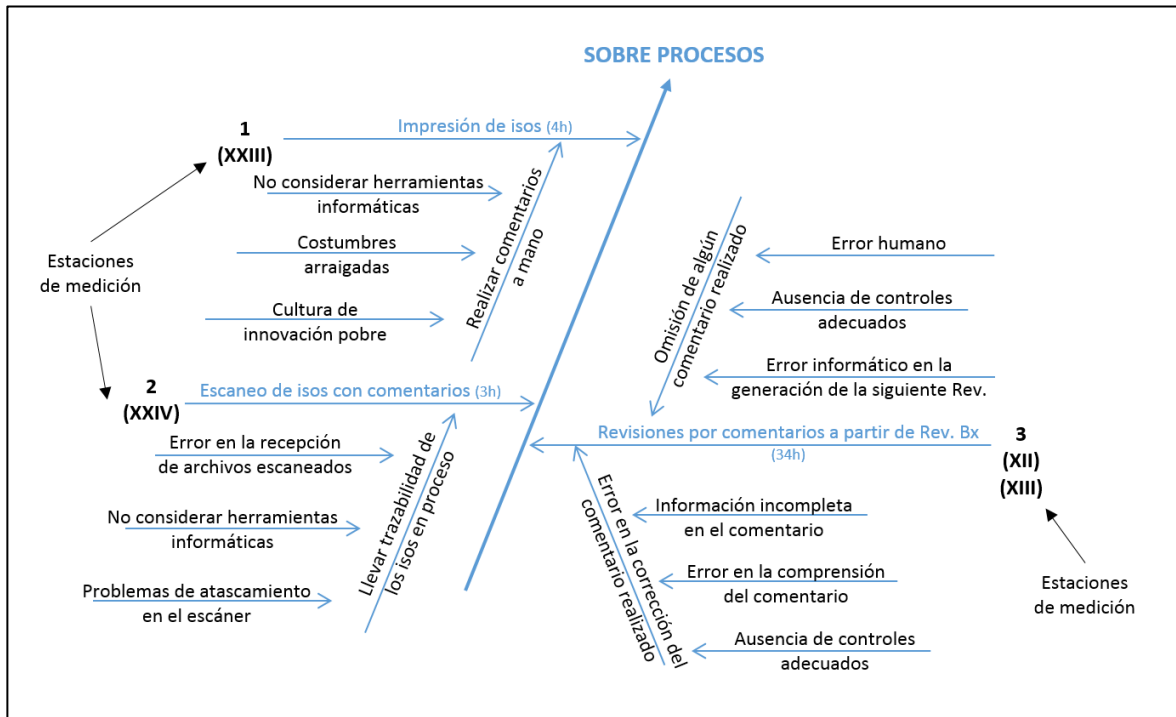
Las mediciones se realizaron tomando los tiempos invertidos en el reproceso y distancia recorrida por los planos entre los dos pisos en los que se ubican los especialistas involucrados en la actividad (ver figuras 8 y 9). El reproceso es considerado a partir de la tercera revisión (código C) dado que el indicador bien a la primera incluye las revisiones tipo A y B como norma de control.

Como se evidencia en la tabla 1, el índice FTT se encuentra alejado del valor ideal (igual a uno) ubicándose en 0.40, esto quiere decir que el 60% de los isométricos han sido sometidos a reprocesamiento. En términos de la distancia recorrida por los isométricos esta corresponde a un total de 37.1 metros.

Un análisis de causas, a través del diagrama de Ishikawa o espina de pescado (figura 6), muestra que este desperdicio se da, principalmente, por no aprovechar las herramientas informáticas disponibles, costumbres arraigadas, cultura pobre de innovación, errores humanos, errores informáticos, ausencia de controles adecuados e información incompleta. También es posible concluir que los errores humanos, la información incompleta y la ausencia de controles adecuados son las causas de mayor peso según los datos obtenidos.



**Figura 6. Diagrama de causa raíz para sobre procesos.**



## 5.4 TRANSPORTE INNECESARIO

Este desperdicio corresponde al transporte de productos en proceso o terminados, sin recibir ningún tipo de transformación. Para el caso de estudio, los planos se desplazan desde el punto dónde son generados por los diseñadores (impresos) hasta la ubicación de los especialistas que realizan las revisiones. Posteriormente, estos son transportados de vuelta a los diseñadores para que apliquen los cambios y entren de nuevo en el ciclo de revisión y aprobación.

Las mediciones se realizaron tomando tiempo y distancia de los recorridos a los que se someten los isométricos cuando no se les realizan modificaciones. Del ejercicio de cuantificación (ver tabla 1) se obtuvieron tiempos invertidos en desplazamientos de 0.2 horas (12 minutos) y, las distancias recorridas sumaron un total de 488

metros. En las figuras 8 y 9 se detallan las distancias recorridas entre los puestos de trabajo dentro del edificio de la compañía. Las causas más representativas, producto del ejercicio de cuantificación, corresponden a la ubicación de los especialistas en diferentes pisos (ver figura 7). Así mismo, dado que las revisiones se realizan sobre copias duras (documentos impresos), esto obliga a realizar los desplazamientos para su distribución.

**Figura 7. Diagrama de causa raíz para transporte innecesario.**

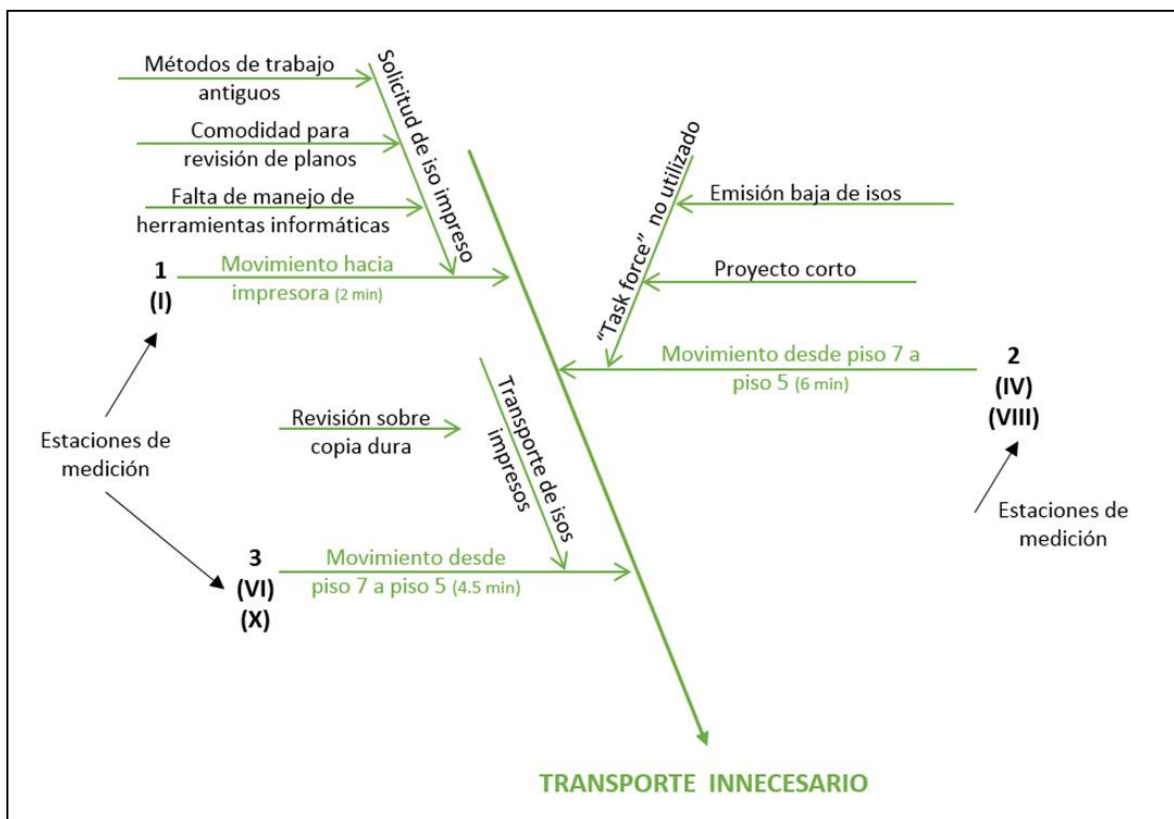


Figura 8. Distancias para cuantificación de transportes innecesarios (piso 1).

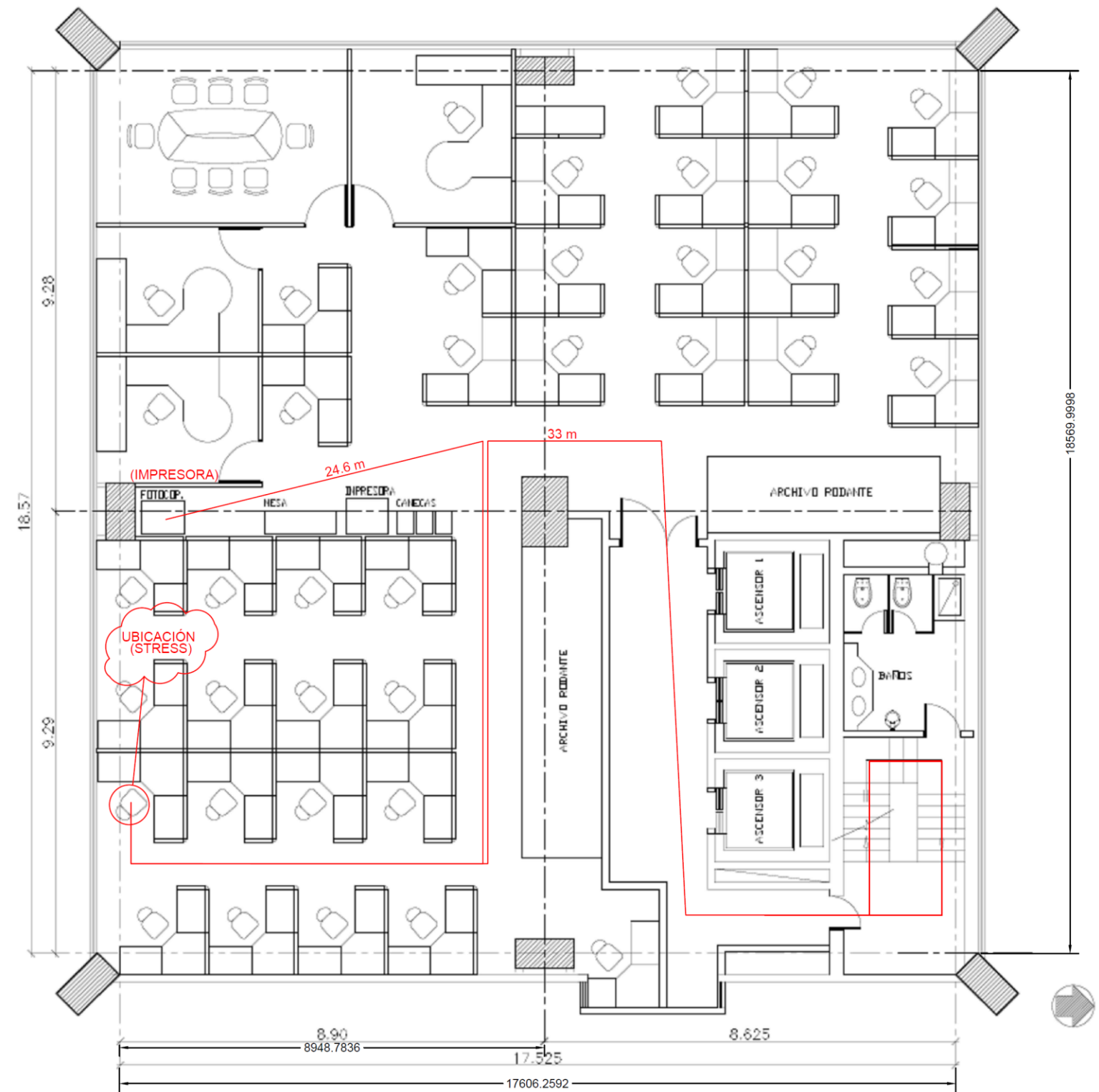
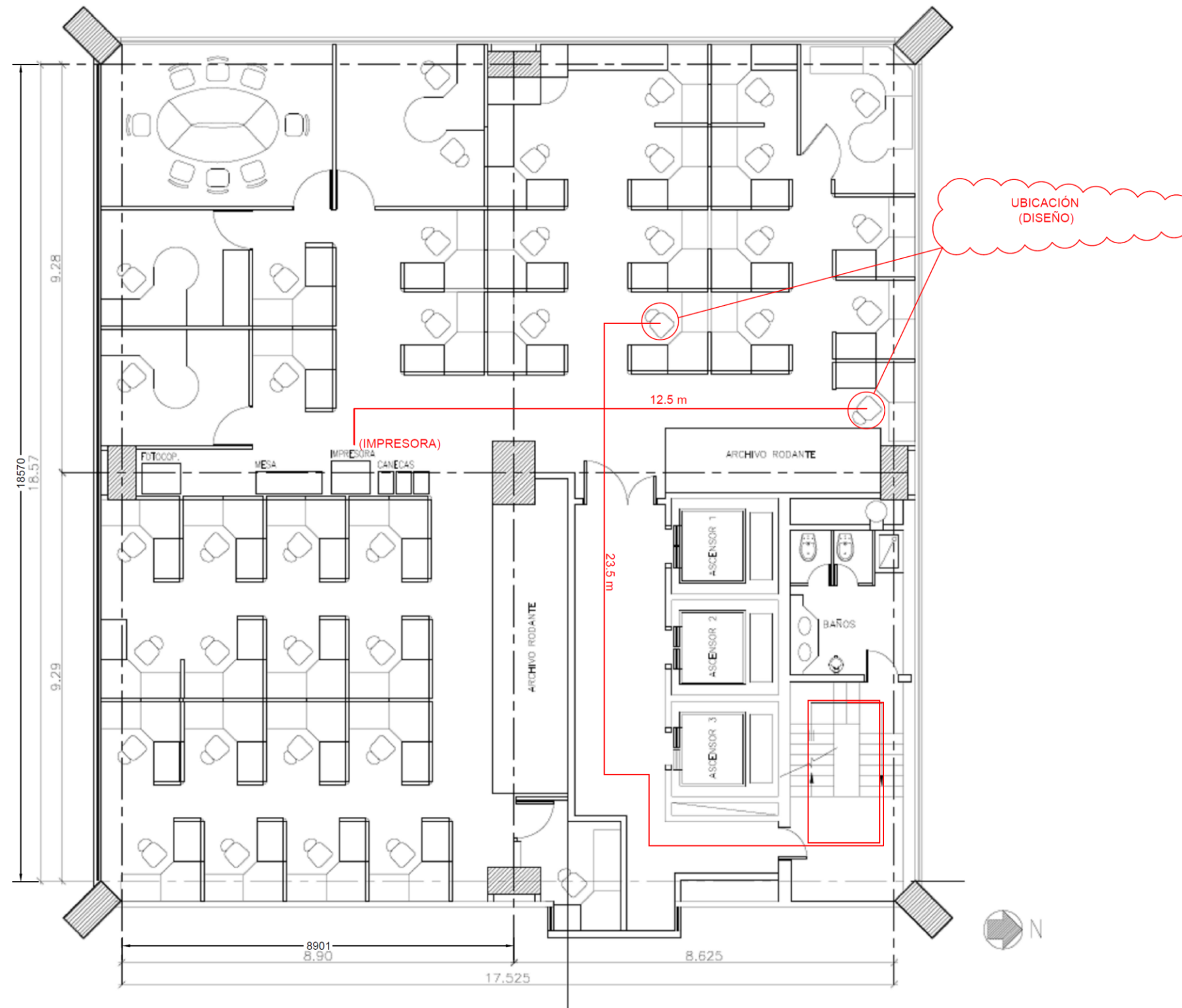


Figura 9. Distancias para cuantificación de transportes innecesarios (piso 2).



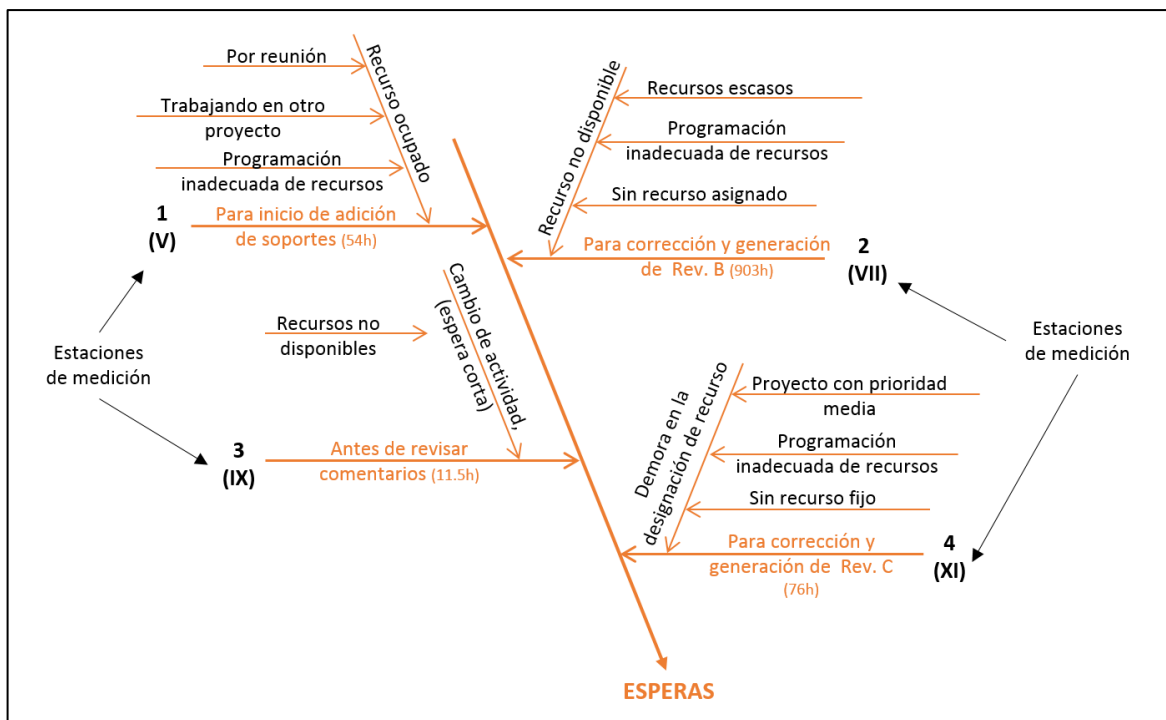
## 5.5 ESPERAS

Las esperas corresponden al tiempo en el que los planos permanecen inalterados, a la espera de ser modificados y continuar su proceso. Para la cuantificación de dichas esperas, se midieron los tiempos desde que los planos eran entregados al responsable de la siguiente actividad contemplada en el proceso, hasta que el plano era efectivamente procesado. Las horas totales de esperas en este caso, como se evidencia en la tabla 1, fueron 1045.

A este desperdicio le fue asignado el indicador ratio de valor añadido, RVA, que establece la proporción entre el tiempo en el que a los productos se les agrega valor, sobre el tiempo en el que no se les agrega valor alguno. Para su cálculo se tomaron las horas del proyecto correspondientes a la macro actividad de generación de isométricos (440 H.H. asumiendo que en ese tiempo sólo se agrega valor) y el tiempo total que los planos esperaron sin ser procesados. El resultado del RVA fue de 0.42.

Las principales causas de las esperas, resultado de su cuantificación, corresponden a la escasez de recursos disponibles para continuar con las actividades y una programación inadecuada (ver figura 10).

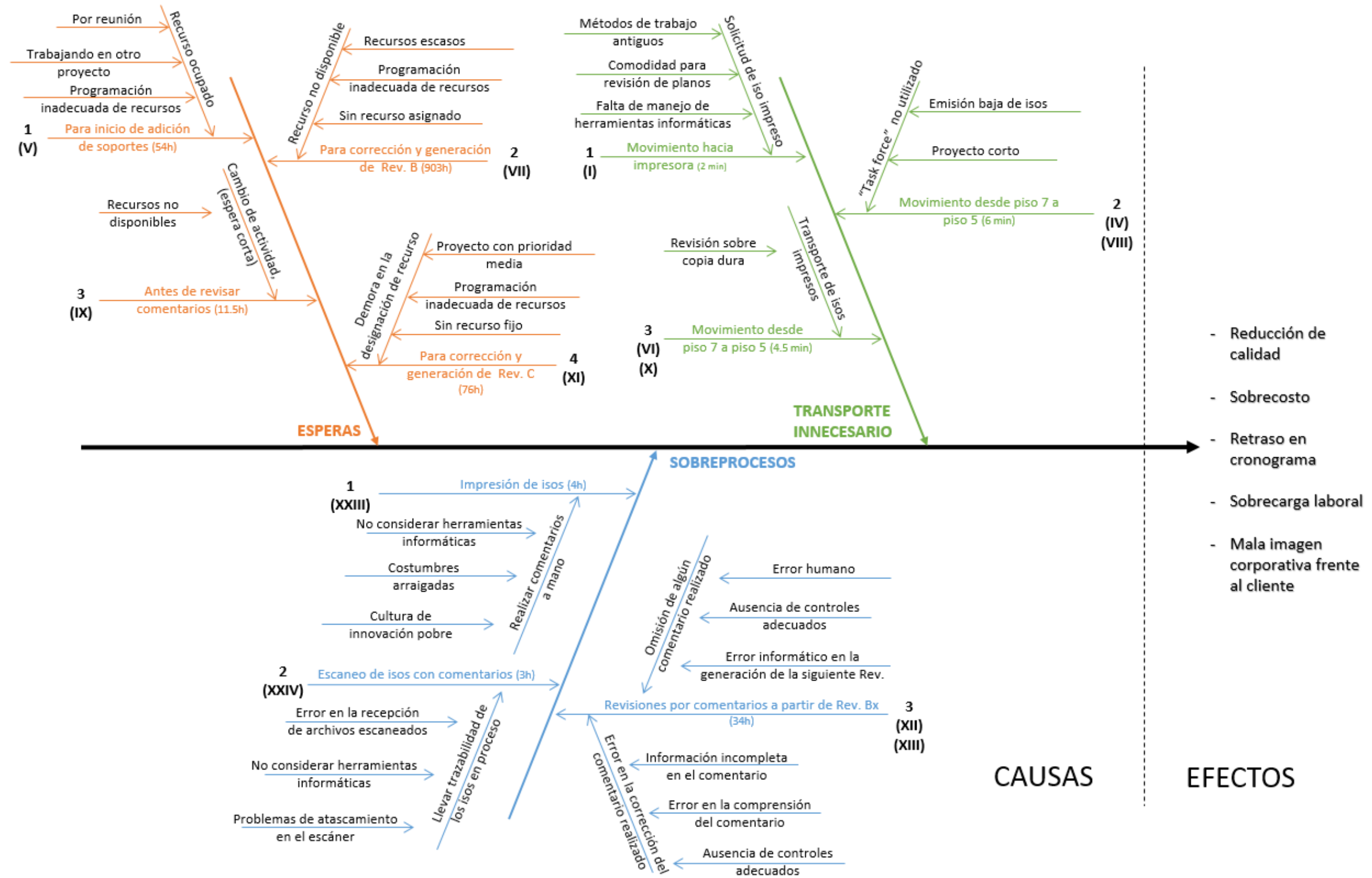
**Figura 10. Diagrama de causa raíz para esperas.**



## 5.6 ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ UNIFICADO

Durante el ejercicio de cuantificación, para todos los tipos de desperdicios identificados, se buscaron sus posibles causas raíz haciendo uso del mapa del proceso en cada estación dónde se tomaban medidas. En estos puntos se incluían las causas detectadas al momento de la toma de datos y de esta forma se establecía el porqué del desperdicio. Como se muestra en la figura 11, los resultados de los análisis individuales de causa fueron utilizados para estructurar un diagrama Ishikawa de causa raíz unificado. Este diagrama muestra las consecuencias o efectos negativos sobre la compañía, como lo son la reducción en la calidad de los entregables, sobrecostos en los proyectos desarrollados, retrasos en los cronogramas, sobrecarga laboral y mala imagen frente a los clientes.

Figura 11. Diagrama de causa raíz unificado.



## 6. ACCIONES DE MEJORA

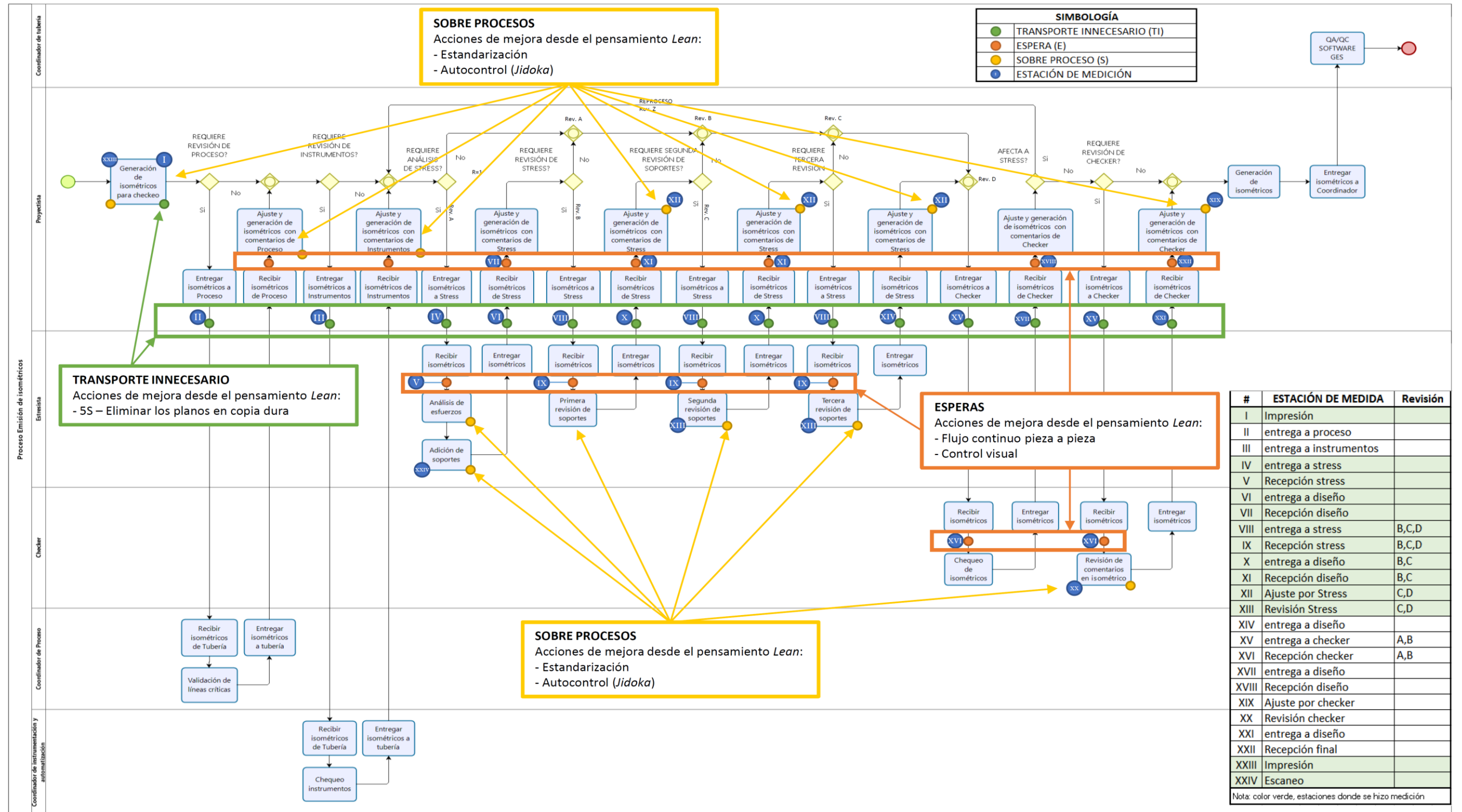
Con los resultados obtenidos en la identificación y cuantificación de los desperdicios presentes en el proceso de producción de isométricos de tubería, así como el análisis de causas desarrollado, el presente estudio plantea la selección de herramientas *Lean* (figura 12) que puedan conducir a la reducción o eliminación de las actividades que no agregan valor. En la tabla 2 se presentan de manera resumida las herramientas seleccionadas, acciones para su implementación e impactos esperados.

**Tabla 2. Herramientas, acciones de mejora e impactos esperados.**

DESPERDICIO	HERRAMIENTA LEAN A UTILIZAR	ACCIONES	IMPACTO ESPERADO	PROPUESTA PARA VALORACIÓN DEL IMPACTO
Sobre procesos	Estandarización	Configurar un diagrama del proceso de producción sencillo, de fácil interpretación y divulgado a todas las personas involucradas	El personal operativo reconoce la manera correcta en la que fluye el valor a través del proceso productivo, identifica la información que se requiere como entrada y comprende lo que se espera a la salida de su actividad	Alcanzar un indicador Bien a la primera vez FTT del 90%
	Autocontrol ( <i>Jidoka</i> )	Implementar un autocontrol más estricto sobre las acciones desarrolladas, procurando que el trabajo se realice bien a la primera.	Incremento en el grado de responsabilidad y reducción del número de puntos de chequeo	
Transporte innecesario	5S, Eliminar ( <i>Seiri</i> )	Eliminar los planos impresos. Haciendo uso de las herramientas con las que cuenta la compañía, es posible realizar las revisiones de forma electrónica, con archivos ubicados en los servidores, ubicaciones a las cuales tendrán acceso las personas involucradas	Eliminación de tiempos y costos de impresión, así como tiempos y distancias por desplazamiento de las copias duras sobre las que se realizan los comentarios y revisiones	Eliminar el 100% de transportes innecesarios
Esperas	Flujo continuo, Control visual	Incluir un sistema de control visual que permita identificar el momento en el que es oportuno producir un plano. Realizar programaciones de actividades efectivas basadas en el flujo de valor.	Disminución de los tiempos de productos detenidos dentro del ciclo productivo sin que se les agregue valor.	Alcanzar una disminución de las esperas del 50%



Figura 12. Acciones de mejora sobre diagrama de flujo.



## **6.1 ACCIONES PARA LA ELIMINACIÓN DE SOBRE PROCESOS**

Por medio de los resultados obtenidos, se propone como primera medida hacer uso de la estandarización para configurar un diagrama del proceso de producción de isometría que sea sencillo, de fácil interpretación y divulgado a todas las personas involucradas. Así, el personal operativo reconoce la manera correcta en la que fluye el valor a través del proceso productivo, identifica la información que se requiere como entrada y comprende lo que se espera a la salida de su actividad.

Adicionalmente, se propone implementar un autocontrol (*Jidoka*) mucho más estricto sobre las acciones desarrolladas, procurando que el trabajo se realice bien a la primera, incrementando el grado de responsabilidad y reduciendo el número de puntos de chequeo.

El resultado esperado con la adopción de las técnicas anteriormente seleccionadas es conseguir elevar el indicador FTT (bien a la primera vez) del 40% al 90% (ver figura 13). Este impacto, se simula con ayuda del software Bizagi en un modelo que muestra los desperdicios reducidos si se utilizaran las herramientas *Lean* elegidas para atacar las causas raíz del desperdicio.

Por último, se exponen tanto los resultados de las simulaciones, como las propuestas de acciones de mejora ante la compañía quién será la encargada de decidir si son implementadas en su proceso productivo.

## **6.2 ACCIONES PARA LA ELIMINACIÓN DEL TRANSPORTE INNECESARIO**

Para eliminar el transporte innecesario, es preciso entender que los isométricos no requieren ser impresos y trabajados sobre copias duras como parte de su proceso productivo. Aplicando el primer principio de las 5S, *Seiri* (Eliminar) se propone descartar los planos impresos al hacer uso de las herramientas con las que cuenta la compañía. De esta manera, es posible realizar las revisiones de forma electrónica, con archivos ubicados en los servidores, ubicaciones a las que tendrán

acceso las personas involucradas, suprimiendo tiempos y costos de impresión. Aún más importante, eliminando tiempos y distancias por motivo del desplazamiento de las copias duras sobre las que se realizan los comentarios y revisiones.

Como resultado de esta alternativa, se pretende conseguir una reducción del 100% de los transportes innecesarios asociados al proceso productivo (figura 13). Este impacto también es incluido en el modelo con desperdicios reducidos para la simulación a través de Bizagi.

De igual forma, una vez expuestos los resultados, la propuesta de implementación se deja a consideración de la compañía.

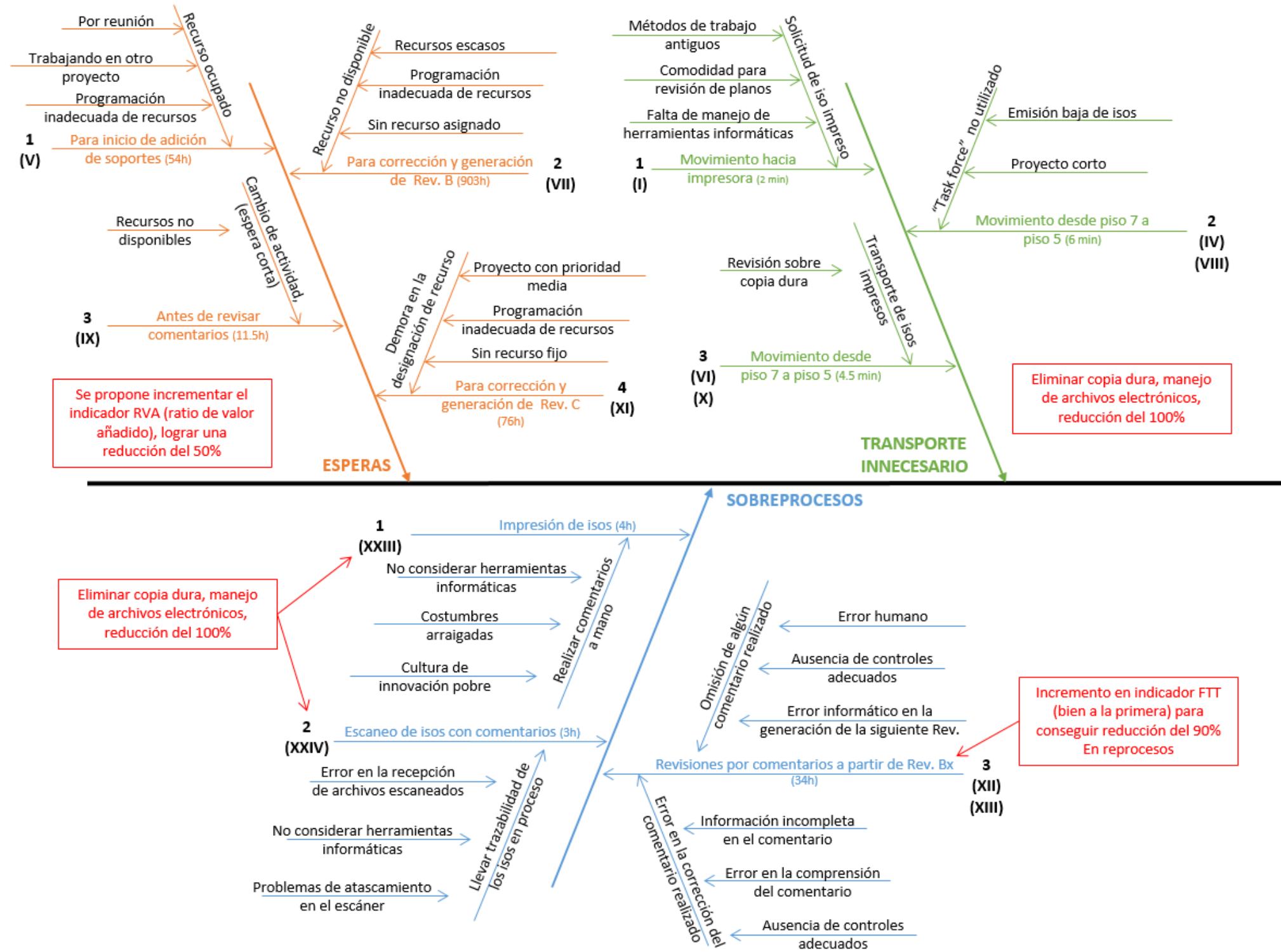
### **6.3 ACCIONES PARA LA ELIMINACIÓN DE LAS ESPERAS**

En el tratamiento de las esperas, debe tenerse en cuenta el concepto de flujo continuo pieza a pieza o flujo de valor. Bajo este concepto, los productos no deben estar detenidos dentro del ciclo productivo sin que sean transformados. Para impactar las causas raíz de este tipo de desperdicio, pueden usarse controles visuales que permitan identificar el momento en el que es oportuno producir un plano para que sea efectivamente procesado por la siguiente estación de trabajo. También es posible obtener mejoras a través de programaciones de actividades efectivas basadas en el flujo de valor.

Bajo estas acciones de mejora, el objetivo es conseguir una reducción del 50% en las esperas evidenciadas en el proceso productivo y un incremento del indicador ratio de valor añadido (ver figura 13). Haciendo uso de Bizagi, las esperas se modifican en el modelo con desperdicios reducidos.

Finalmente, los resultados obtenidos por medio de las simulaciones son expuestos y las acciones de mejora a ser implementadas quedan a consideración de la compañía.

Figura 13. Impacto en desperdicios sobre diagrama Ishikawa.



## 6.4 SIMULACIÓN

A cada uno de los roles dentro del proceso productivo, se le asignó un valor en unidades de acuerdo con las bases salariales de la compañía, manteniendo las relaciones correspondientes. Los valores fueron dispuestos de la siguiente forma:

- Proyectista: 1 Unidad.
- “Estresista” (Especialista de análisis de esfuerzos): 2 Unidades.
- *Checker*: 3 Unidades.
- Coordinador de Tubería: 3 Unidades.
- Coordinador de Proceso: 3 Unidades.
- Coordinador de Instrumentación y Automatización: 3 Unidades.

Para la evaluación de los impactos que se pretenden lograr con el uso de las técnicas o herramientas *Lean*, se realizaron tres modelos de simulación estableciendo una base comparativa. Adicionalmente, se fija un valor promedio de 30 *USD* como el precio de una hora de ingeniería en el sector Oil & Gas. A continuación, se presenta una descripción breve de cada modelo:

- Modelo 1: evaluación del proceso sin desperdicios: tomando los tiempos promedio con los que cuenta la compañía como KPI para las distintas actividades. También se obtuvieron tiempos más precisos para las dichas tareas, mientras se realizaba el ejercicio de medición de desperdicios.
- Modelo 2: evaluación del proceso con desperdicios: incluyendo los tiempos correspondientes a los desperdicios identificados por medio de las mediciones realizadas al proceso.
- Modelo 3: evaluación del proceso ajustado: en este caso, y a partir de las acciones de mejora anteriormente descritas, se modela el proceso con impacto sobre los desperdicios

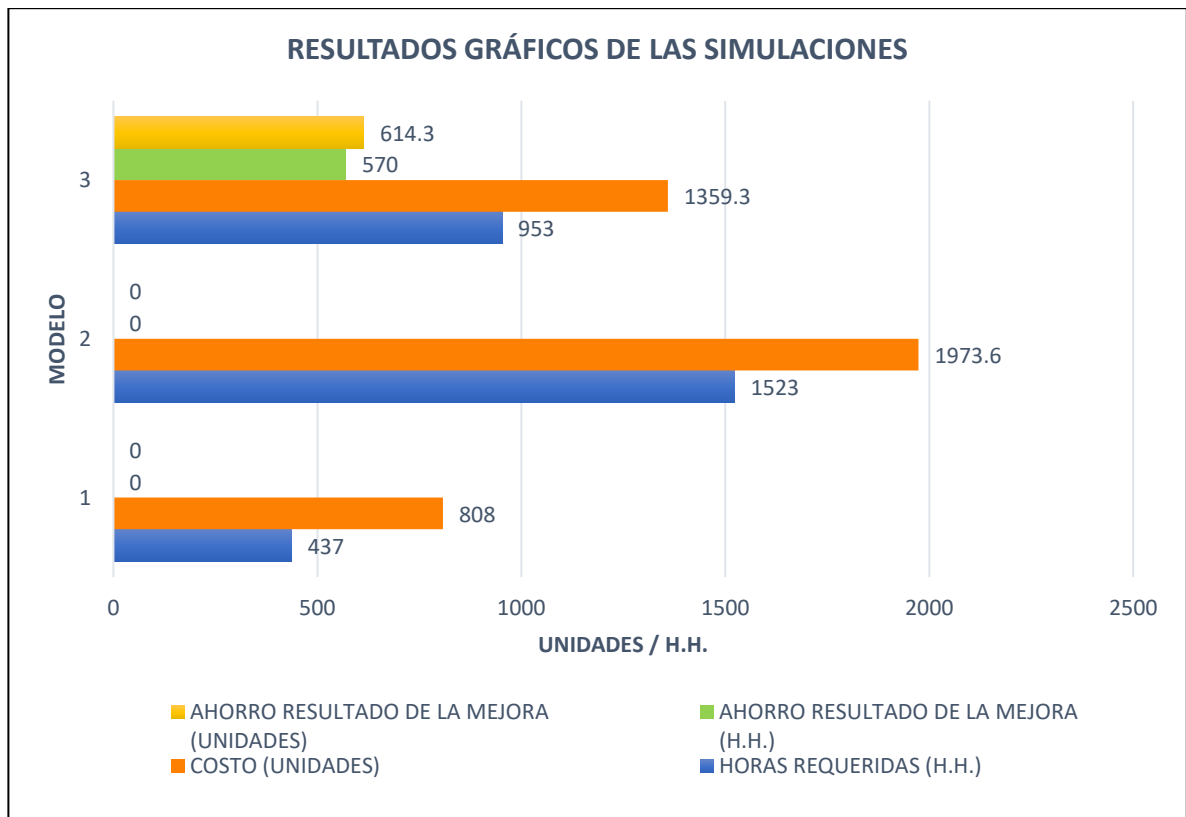
Con el fin de facilitar la interpretación de las simulaciones realizadas y los resultados obtenidos, en la tabla 3 y figura 14 se presentan los resultados de los tres modelos

descritos a manera de resumen. Se utilizan horas de trabajo hombre (H.H.) en el caso de las horas requeridas para el proceso y unidades para exponer los costos asociados:

**Tabla 3. Resultados de las simulaciones.**

MODELO	DESCRIPCIÓN	HORAS REQUERIDAS (H.H.)	COSTO (UNIDADES)	AHORRO RESULTADO DE LA MEJORA (H.H.)	AHORRO RESULTADO DE LA MEJORA (UNIDADES)
1	Modelo sin desperdicios (Situación ideal, empleando KPI de compañía)	437	808	-	-
2	Modelo con desperdicios (situación actual)	1523	1973.6	-	-
3	Modelo con desperdicios reducidos (propuesta con herramientas <i>Lean</i> )	953	1359.3	570	614.3

**Figura 14. Resultados gráficos de las simulaciones.**



A partir de los resultados de la simulación del modelo sin desperdicios y utilizando los KPI de las actividades desarrolladas, se tiene un tiempo total de 18 días con 5 horas (ver Anexo 1). Esto corresponde a 437 H.H., un valor alineado con la cantidad de horas presupuestadas, ya que se tenían 440 H.H. asignadas al proceso de generación de isométricos. Los costos, calculados en unidades, tienen un total de 808.

La simulación del proceso con desperdicios arrojó un tiempo total de 63 días con 11 horas, esto equivale a 1523 H.H. (ver anexo 2). Al restar las horas obtenidas del proceso sin desperdicios, se tienen 1086 H.H., valor total resultado de las mediciones. En este caso los costos fueron de 1973.6 unidades.

En el modelo con desperdicios reducidos, se obtuvo un tiempo de 39 días con 17 horas, que corresponde a 953H.H. (ver anexo 3). Su costo fue de 1359.3 unidades. Para este caso es posible apreciar una reducción de 570 H.H. y 614.3 unidades en comparación con el modelo 2, el cual incluye la totalidad de los desperdicios cuantificados. Esto corresponde a un ahorro del 31% sobre el estado actual del proceso.

## **6.5 TRABAJO FUTURO**

Recae sobre la compañía la implementación a futuro de las alternativas y acciones de mejora expuestas, las cuales se encuentran soportadas con los resultados obtenidos a través de las mediciones y simulaciones realizadas. Es de suma importancia resaltar que el proceso al que se le hizo seguimiento corresponde a una serie de actividades que se desarrollan de forma muy similar dentro de los diferentes departamentos que componen la división de producción. Por lo tanto, el ejercicio puede extenderse a todas las disciplinas dónde se generen planos (isométricos, *layouts*, diagramas, hojas de datos, dibujos, etc.).

## 7. CONCLUSIONES

Resultado de la investigación, y a pesar del alto grado de complejidad que supuso el ejercicio, puede afirmarse que haciendo uso de la metodología *Lean* es posible identificar oportunidades de mejora sobre los procesos productivos de las empresas de servicios, como lo son las compañías de ingeniería.

La investigación, permitió la identificación y cuantificación de los desperdicios presentes, los cuales fueron fundamentales para plantear alternativas operativas que pretenden impactar las distintas causas raíz y de esta forma aumentar, no sólo la productividad y la eficiencia, sino también la calidad de los entregables, el ambiente laboral y la imagen frente a los clientes.

A partir de la simulación del proceso con desperdicios reducidos (Modelo 3), se aprecia una disminución del 31% en los costos con respecto al estado actual en el que opera la empresa. En términos de horas de ingeniería, lo anterior representa un ahorro de 17,100 *USD*.

El ejercicio de medición de desperdicios, así como las alternativas propuestas para conseguir su reducción o eliminación en el proceso seleccionado, pueden extenderse a los diferentes procesos productivos de la compañía y contribuir de manera más eficaz con la mejora continua.

La cultura de identificación y medición de los desperdicios, sobre los procesos de las organizaciones de servicios, debe adoptarse como un elemento de primordial importancia y aplicación constante para generar impactos positivos a través del tiempo.



## 8. REFERENCIAS

- ACIPET. (2015). Impacto laboral de la crisis petrolera. Retrieved from <https://acipet.com/impacto-laboral-de-la-crisis-petrolera/>
- Andrés-López, E., González-Requena, I., & Sanz-Lobera, A. (2015). Lean Service : Reassessment of Lean Manufacturing for Service Activities. *Procedia Engineering*, 132, 23–30.
- Davis, J., & Ryan, M. (2013). Productivity and the role of industrial engineering techniques. *Management Services*, 57(4), 17–19.
- Dombrowski, U., Malorny, C., Conference, C. D., Dombrowski, U., Malorny, C., Ali, L. K., & Etienne, A. (2018). Methodological approach for a process-orientated Lean Service implementation, 1–6.
- Hernández Matías, Juan Carlos / Vizán Idoipe, A. (2013). *Lean manufacturing*. Madrid: Fundación Escuela de Organización Industrial.
- Hervé, B. (2010). *The oil & gas engineering guide*. (Editions TECHNIP, Ed.). Paris.
- Hinckeldeyn, J., Dekkers, R., Altfeld, N., & Kreutzfeldt, J. (2011). A systematic selection of production management methods for productivity improvement in engineering. *21st International Conference on Production Research: Innovation in Product and Production, ICPR 2011*.
- Hinckeldeyn, J., Dekkers, R., & Kreutzfeldt, J. (2015). Productivity of product design and engineering processes. *International Journal of Operations & Production Management*, 35(4), 458–486.
- Kadarova, J., & Demecko, M. (2016). New Approaches in Lean Management. *Procedia Economics and Finance*, 39(November 2015), 11–16.
- Kim, I. (2007). Development and Implementation of an Engineering Productivity

Measurement System (Epms) for Benchmarking. *Review Literature And Arts Of The Americas*.

Kiran, D. R. (2017). Chapter 25 - Lean Management. In *Total Quality Management* (pp. 363–372). Butterworth-Heinemann.

Leite, H. (2012). Lean philosophy and its applications in the service industry: a review of the current knowledge, (September). <https://doi.org/10.1590/0103-6513.079012>

Liao, P.-C. (2008). Influence Factors of Engineering Productivity.

Liker, J. K., & Hoseus, M. (2008). *Toyota Culture : the heart and soul of the Toyota way / Jeffrey K. Liker, Michael Hoseus y the Center for Quality People and Organizations*.

Oliveira, J., Sá, J. C., & Fernandes, A. (2017). Continuous improvement through “Lean Tools”: An application in a mechanical company. *Procedia Manufacturing*, 13, 1082–1089.

Satya, V., Narayana, S., & Kambhampati, R. (2017). Principles of Industrial Engineering.

Suárez-Barraza, M. F., Smith, T., & Dahlggaard-Park, S. M. (2012). Lean Service: A literature analysis and classification. *Total Quality Management*, 23, 359–380.

Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*. New York: Free Press.

Yin, R. K. (2009). *Case Study Research: Design and Methods* (4th Ed.). SAGE Publications.

# ANEXO 1. Análisis de tiempo para proceso sin desperdicios.

Simulatuion Results Print Preview

Page 1 of 4

## Proceso Emisión de isométricos

Nombre	Tipo	Instancias completadas	Instancias iniciadas	Tiempo mínimo	Tiempo máximo	Tiempo promedio	Tiempo total
Proceso Emisión de isométricos	Proceso	30	30	12h 30m	15h 10m	14h 34m	18d 5h
NoneStart	Evento de inicio	30					
Generación de isométricos para chequeo	Tarea	30	30	0	0	0	0
REQUIERE REVISIÓN DE PROCESO?	Compuerta	30	30				
REQUIERE REVISIÓN DE INSTRUMENTOS?	Compuerta	30	30				
Análisis de esfuerzos	Tarea	30	30	5h 40m	5h 40m	5h 40m	7d 2h
Chequeo de isométricos con PID y modelo 3D	Tarea	30	30	1h 30m	1h 30m	1h 30m	1d 21h
Generación de isométricos para emisión	Tarea	30	30	0	0	0	0
QA/QC SOFTWARE GES	Tarea	30	30	20m	20m	20m	10h
Adición de soportes	Tarea	30	30	2h	2h	2h	2d 12h
Entregar isométricos a Proceso	Tarea	0	0	0	0	0	0
Recibir isométricos de Tubería	Tarea	0	0	0	0	0	0
Entregar isométricos a tubería	Tarea	0	0	0	0	0	0
Ajuste y generación de isométricos con comentarios de Proceso	Tarea	0	0	0	0	0	0
Recibir isométricos de Proceso	Tarea	0	0	0	0	0	0
Recibir isométricos de Tubería	Tarea	0	0	0	0	0	0
Entregar isométricos a tubería	Tarea	0	0	0	0	0	0
Entregar isométricos a Instrumentos	Tarea	0	0	0	0	0	0
Recibir isométricos de Instrumentos	Tarea	0	0	0	0	0	0
Ajuste y generación de isométricos con comentarios de Instrumentos	Tarea	0	0	0	0	0	0

6/6/2019

Nombre	Tipo	Instancias completadas	Instancias iniciadas	Tiempo mínimo	Tiempo máximo	Tiempo promedio	Tiempo total
Entregar isométricos a Stress	Tarea	30	30	0	0	0	0
Recibir isométricos	Tarea	30	30	0	0	0	0
Entregar isométricos	Tarea	30	30	0	0	0	0
Recibir isométricos de Stress	Tarea	30	30	0	0	0	0
Entregar isométricos	Tarea	25	25	0	0	0	0
Recibir isométricos de Stress	Tarea	25	25	0	0	0	0
Primera revisión de soportes	Tarea	25	25	1h	1h	1h	1d 1h
Entregar isométricos a Stress	Tarea	25	25	0	0	0	0
Recibir isométricos	Tarea	25	25	0	0	0	0
Entregar isométricos a Stress	Tarea	18	18	0	0	0	0
Ajuste y generación de isométricos con comentarios de Stress	Tarea	30	30	2h	2h	2h	2d 12h
Ajuste y generación de isométricos con comentarios de Stress	Tarea	25	25	1h	1h	1h	1d 1h
Recibir isométricos	Tarea	18	18	0	0	0	0
Segunda revisión de soportes	Tarea	18	18	20m	20m	20m	6h
Entregar isométricos	Tarea	18	18	0	0	0	0
Recibir isométricos de Stress	Tarea	18	18	0	0	0	0
Tercera revisión de soportes	Tarea	0	0	0	0	0	0
Recibir isométricos de Stress	Tarea	0	0	0	0	0	0
Entregar isométricos a Stress	Tarea	0	0	0	0	0	0
Recibir isométricos	Tarea	0	0	0	0	0	0
Entregar isométricos	Tarea	0	0	0	0	0	0
NoneEnd	Evento de Fin	30					
Entregar isométricos a Checker	Tarea	30	30	0	0	0	0

Nombre	Tipo	Instancias completadas	Instancias iniciadas	Tiempo mínimo	Tiempo máximo	Tiempo promedio	Tiempo total
Recibir isométricos	Tarea	30	30	0	0	0	0
Recibir isométricos de Checker	Tarea	30	30	0	0	0	0
Ajuste y generación de isométricos con comentarios de Stress	Tarea	18	18	20m	20m	20m	6h
Ajuste y generación de isométricos con comentarios de Stress	Tarea	0	0	0	0	0	0
Ajuste y generación de isométricos con comentarios de Checker	Tarea	30	30	1h	1h	1h	1d 6h
Entregar isométricos	Tarea	30	30	0	0	0	0
REQUIERE REVISIÓN DE STRESS?	Compuerta	30	30				
Validación de líneas críticas	Tarea	0	0	0	0	0	0
Chequeo instrumentos	Tarea	0	0	0	0	0	0
InclusiveGateway	Compuerta	30	30				
InclusiveGateway	Compuerta	30	30				
InclusiveGateway	Compuerta	5	5				
InclusiveGateway	Compuerta	12	12				
InclusiveGateway	Compuerta	30	30				
InclusiveGateway	Compuerta	30	30				
Entregar isométricos a Coordinador	Tarea	30	30	0	0	0	0
AFECTA A STRESS?	Compuerta	30	30				
REQUIERE REVISIÓN DE CHECKER?	Compuerta	30	30				
Entregar isométricos a Checker	Tarea	0	0	0	0	0	0
Recibir isométricos	Tarea	0	0	0	0	0	0
Revisión de comentarios en isométricos	Tarea	0	0	0	0	0	0
Entregar isométricos	Tarea	0	0	0	0	0	0

Nombre	Tipo	Instancias completadas	Instancias iniciadas	Tiempo mínimo	Tiempo máximo	Tiempo promedio	Tiempo total
Recibir isométricos de Checker	Tarea	0	0	0	0	0	0
InclusiveGateway	Compuerta	30	30				
Ajuste y generación de isométricos con comentarios de Checker	Tarea	0	0	0	0	0	0
REQUIERE ANÁLISIS DE STRESS?	Compuerta	30	30				
REQUIERE TERCERA REVISIÓN DE SOPORTES?	Compuerta	18	18				
REQUIERE SEGUNDA REVISIÓN DE SOPORTES?	Compuerta	25	25				

## ANEXO 2. Análisis de tiempo para proceso con desperdicios.

Simulatuion Results Print Preview

Page 1 of 4

### Proceso Emisión de isométricos

Nombre	Tipo	Instancias completadas	Instancias iniciadas	Tiempo mínimo	Tiempo máximo	Tiempo promedio	Tiempo total
Proceso Emisión de isométricos	Proceso	30	30	1d 20h 38m 12s	2d 5h 6m 38s	2d 2h 45m 19s	63d 10h 39m 34s
NoneStart	Evento de inicio	30					
Generación de isométricos para chequeo	Tarea	30	30	8m 4s	8m 4s	8m 4s	4h 2m
REQUIERE REVISIÓN DE PROCESO?	Compuerta	30	30				
REQUIERE REVISIÓN DE INSTRUMENTOS?	Compuerta	30	30				
Análisis de esfuerzos	Tarea	30	30	7h 28m	7h 28m	7h 28m	9d 8h
Chequeo de isométricos con PID y modelo 3D	Tarea	30	30	1h 30m	1h 30m	1h 30m	1d 21h
Generación de isométricos para emisión	Tarea	30	30	0	0	0	0
QA/QC SOFTWARE GES	Tarea	30	30	20m	20m	20m	10h
Adición de soportes	Tarea	30	30	2h 6m	2h 6m	2h 6m	2d 15h
Entregar isométricos a Proceso	Tarea	0	0	0	0	0	0
Recibir isométricos de Tubería	Tarea	0	0	0	0	0	0
Entregar isométricos a tubería	Tarea	0	0	0	0	0	0
Ajuste y generación de isométricos con comentarios de Proceso	Tarea	0	0	0	0	0	0
Recibir isométricos de Proceso	Tarea	0	0	0	0	0	0
Recibir isométricos de Tubería	Tarea	0	0	0	0	0	0
Entregar isométricos a tubería	Tarea	0	0	0	0	0	0
Entregar isométricos a Instrumentos	Tarea	0	0	0	0	0	0
Recibir isométricos de Instrumentos	Tarea	0	0	0	0	0	0
Ajuste y generación de isométricos con comentarios de Instrumentos	Tarea	0	0	0	0	0	0

6/6/2019

Nombre	Tipo	Instancias completadas	Instancias iniciadas	Tiempo mínimo	Tiempo máximo	Tiempo promedio	Tiempo total
Entregar isométricos a Stress	Tarea	30	30	4s	4s	4s	2m
Recibir isométricos	Tarea	30	30	0	0	0	0
Entregar isométricos	Tarea	30	30	4s	4s	4s	2m
Recibir isométricos de Stress	Tarea	30	30	0	0	0	0
Entregar isométricos	Tarea	25	25	5s	5s	5s	2m 5s
Recibir isométricos de Stress	Tarea	25	25	0	0	0	0
Primera revisión de soportes	Tarea	25	25	1h 27m 36s	1h 27m 36s	1h 27m 36s	1d 12h 30m
Entregar isométricos a Stress	Tarea	25	25	5s	5s	5s	2m 5s
Recibir isométricos	Tarea	25	25	0	0	0	0
Entregar isométricos a Stress	Tarea	18	18	7s	7s	7s	2m 6s
Ajuste y generación de isométricos con comentarios de Stress	Tarea	30	30	1d 8h 6m	1d 8h 6m	1d 8h 6m	40d 3h
Ajuste y generación de isométricos con comentarios de Stress	Tarea	25	25	2h 58m 12s	2h 58m 12s	2h 58m 12s	3d 2h 15m
Recibir isométricos	Tarea	18	18	0	0	0	0
Segunda revisión de soportes	Tarea	18	18	57m 47s	57m 47s	57m 47s	17h 20m 6s
Entregar isométricos	Tarea	18	18	7s	7s	7s	2m 6s
Recibir isométricos de Stress	Tarea	18	18	0	0	0	0
Tercera revisión de soportes	Tarea	0	0	0	0	0	0
Recibir isométricos de Stress	Tarea	0	0	0	0	0	0
Entregar isométricos a Stress	Tarea	0	0	0	0	0	0
Recibir isométricos	Tarea	0	0	0	0	0	0
Entregar isométricos	Tarea	0	0	0	0	0	0
NoneEnd	Evento de Fin	30					
Entregar isométricos a Checker	Tarea	30	30	0	0	0	0



Nombre	Tipo	Instancias completadas	Instancias iniciadas	Tiempo mínimo	Tiempo máximo	Tiempo promedio	Tiempo total
Recibir isométricos	Tarea	30	30	0	0	0	0
Recibir isométricos de Checker	Tarea	30	30	0	0	0	0
Ajuste y generación de isométricos con comentarios de Stress	Tarea	18	18	3h 4m 27s	3h 4m 27s	3h 4m 27s	2d 7h 20m 6s
Ajuste y generación de isométricos con comentarios de Stress	Tarea	0	0	0	0	0	0
Ajuste y generación de isométricos con comentarios de Checker	Tarea	30	30	1h	1h	1h	1d 6h
Entregar isométricos	Tarea	30	30	0	0	0	0
REQUIERE REVISIÓN DE STRESS?	Compuerta	30	30				
Validación de líneas críticas	Tarea	0	0	0	0	0	0
Chequeo instrumentos	Tarea	0	0	0	0	0	0
InclusiveGateway	Compuerta	30	30				
InclusiveGateway	Compuerta	30	30				
InclusiveGateway	Compuerta	5	5				
InclusiveGateway	Compuerta	12	12				
InclusiveGateway	Compuerta	30	30				
InclusiveGateway	Compuerta	30	30				
Entregar isométricos a Coordinador	Tarea	30	30	0	0	0	0
AFECTA A STRESS?	Compuerta	30	30				
REQUIERE REVISIÓN DE CHECKER?	Compuerta	30	30				
Entregar isométricos a Checker	Tarea	0	0	0	0	0	0
Recibir isométricos	Tarea	0	0	0	0	0	0
Revisión de comentarios en isométricos	Tarea	0	0	0	0	0	0
Entregar isométricos	Tarea	0	0	0	0	0	0

Nombre	Tipo	Instancias completadas	Instancias iniciadas	Tiempo mínimo	Tiempo máximo	Tiempo promedio	Tiempo total
Recibir isométricos de Checker	Tarea	0	0	0	0	0	0
InclusiveGateway	Compuerta	30	30				
Ajuste y generación de isométricos con comentarios de Checker	Tarea	0	0	0	0	0	0
REQUIERE ANÁLISIS DE STRESS?	Compuerta	30	30				
REQUIERE TERCERA REVISIÓN DE SOPORTES?	Compuerta	18	18				
REQUIERE SEGUNDA REVISIÓN DE SOPORTES?	Compuerta	25	25				

## ANEXO 3. Análisis de tiempo para proceso con desperdicios reducidos.

Simulatuion Results Print Preview

Page 1 of 4

### Proceso Emisión de isométricos

Nombre	Tipo	Instancias completadas	Instancias iniciadas	Tiempo mínimo	Tiempo máximo	Tiempo promedio	Tiempo total
Proceso Emisión de isométricos	Proceso	30	30	1d 4h 25m	1d 8h 53m 56s	1d 7h 45m 45s	39d 16h 52m 31s
NoneStart	Evento de inicio	30					
Generación de isométricos para chequeo	Tarea	30	30	0	0	0	0
REQUIERE REVISIÓN DE PROCESO?	Compuerta	30	30				
REQUIERE REVISIÓN DE INSTRUMENTOS?	Compuerta	30	30				
Análisis de esfuerzos	Tarea	30	30	6h 32m	6h 32m	6h 32m	8d 4h
Chequeo de isométricos con PID y modelo 3D	Tarea	30	30	1h 30m	1h 30m	1h 30m	1d 21h
Generación de isométricos para emisión	Tarea	30	30	0	0	0	0
QA/QC SOFTWARE GES	Tarea	30	30	20m	20m	20m	10h
Adición de soportes	Tarea	30	30	2h	2h	2h	2d 12h
Entregar isométricos a Proceso	Tarea	0	0	0	0	0	0
Recibir isométricos de Tubería	Tarea	0	0	0	0	0	0
Entregar isométricos a tubería	Tarea	0	0	0	0	0	0
Ajuste y generación de isométricos con comentarios de Proceso	Tarea	0	0	0	0	0	0
Recibir isométricos de Proceso	Tarea	0	0	0	0	0	0
Recibir isométricos de Tubería	Tarea	0	0	0	0	0	0
Entregar isométricos a tubería	Tarea	0	0	0	0	0	0
Entregar isométricos a Instrumentos	Tarea	0	0	0	0	0	0
Recibir isométricos de Instrumentos	Tarea	0	0	0	0	0	0
Ajuste y generación de isométricos con comentarios de Instrumentos	Tarea	0	0	0	0	0	0

6/6/2019

Nombre	Tipo	Instancias completadas	Instancias iniciadas	Tiempo mínimo	Tiempo máximo	Tiempo promedio	Tiempo total
Entregar isométricos a Stress	Tarea	30	30	0	0	0	0
Recibir isométricos	Tarea	30	30	0	0	0	0
Entregar isométricos	Tarea	30	30	0	0	0	0
Recibir isométricos de Stress	Tarea	30	30	0	0	0	0
Entregar isométricos	Tarea	25	25	0	0	0	0
Recibir isométricos de Stress	Tarea	25	25	0	0	0	0
Primera revisión de soportes	Tarea	25	25	1h 14m 6s	1h 14m 6s	1h 14m 6s	1d 6h 52m 30s
Entregar isométricos a Stress	Tarea	25	25	0	0	0	0
Recibir isométricos	Tarea	25	25	0	0	0	0
Entregar isométricos a Stress	Tarea	18	18	0	0	0	0
Ajuste y generación de isométricos con comentarios de Stress	Tarea	30	30	17h 3m	17h 3m	17h 3m	21d 7h 30m
Ajuste y generación de isométricos con comentarios de Stress	Tarea	25	25	1h 34m 43s	1h 34m 43s	1h 34m 43s	1d 15h 27m 55s
Recibir isométricos	Tarea	18	18	0	0	0	0
Segunda revisión de soportes	Tarea	18	18	31m 40s	31m 40s	31m 40s	9h 30m
Entregar isométricos	Tarea	18	18	0	0	0	0
Recibir isométricos de Stress	Tarea	18	18	0	0	0	0
Tercera revisión de soportes	Tarea	0	0	0	0	0	0
Recibir isométricos de Stress	Tarea	0	0	0	0	0	0
Entregar isométricos a Stress	Tarea	0	0	0	0	0	0
Recibir isométricos	Tarea	0	0	0	0	0	0
Entregar isométricos	Tarea	0	0	0	0	0	0
NoneEnd	Evento de Fin	30					
Entregar isométricos a Checker	Tarea	30	30	0	0	0	0

Nombre	Tipo	Instancias completadas	Instancias iniciadas	Tiempo mínimo	Tiempo máximo	Tiempo promedio	Tiempo total
Recibir isométricos	Tarea	30	30	0	0	0	0
Recibir isométricos de Checker	Tarea	30	30	0	0	0	0
Ajuste y generación de isométricos con comentarios de Stress	Tarea	18	18	1h 8m 27s	1h 8m 27s	1h 8m 27s	20h 32m 6s
Ajuste y generación de isométricos con comentarios de Stress	Tarea	0	0	0	0	0	0
Ajuste y generación de isométricos con comentarios de Checker	Tarea	30	30	1h	1h	1h	1d 6h
Entregar isométricos	Tarea	30	30	0	0	0	0
REQUIERE REVISIÓN DE STRESS?	Compuerta	30	30				
Validación de líneas críticas	Tarea	0	0	0	0	0	0
Chequeo instrumentos	Tarea	0	0	0	0	0	0
InclusiveGateway	Compuerta	30	30				
InclusiveGateway	Compuerta	30	30				
InclusiveGateway	Compuerta	5	5				
InclusiveGateway	Compuerta	12	12				
InclusiveGateway	Compuerta	30	30				
InclusiveGateway	Compuerta	30	30				
Entregar isométricos a Coordinador	Tarea	30	30	0	0	0	0
AFECTA A STRESS?	Compuerta	30	30				
REQUIERE REVISIÓN DE CHECKER?	Compuerta	30	30				
Entregar isométricos a Checker	Tarea	0	0	0	0	0	0
Recibir isométricos	Tarea	0	0	0	0	0	0
Revisión de comentarios en isométricos	Tarea	0	0	0	0	0	0
Entregar isométricos	Tarea	0	0	0	0	0	0

Nombre	Tipo	Instancias completadas	Instancias iniciadas	Tiempo mínimo	Tiempo máximo	Tiempo promedio	Tiempo total
Recibir isométricos de Checker	Tarea	0	0	0	0	0	0
InclusiveGateway	Compuerta	30	30				
Ajuste y generación de isométricos con comentarios de Checker	Tarea	0	0	0	0	0	0
REQUIERE ANÁLISIS DE STRESS?	Compuerta	30	30				
REQUIERE TERCERA REVISIÓN DE SOPORTES?	Compuerta	18	18				
REQUIERE SEGUNDA REVISIÓN DE SOPORTES?	Compuerta	25	25				