

UNIVERSIDAD DE LA SABANA



FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN GERENCIA DE INGENIERÍA

Trabajo de Grado  
Evaluación de Herramientas Lean Aplicadas al Proceso de Ingeniería de  
Schneider Electric de Colombia –SEC-

Autores

Olga Liliana Gutiérrez Monsalve  
Jhon Jairo Orejuela Córdoba

Tutor

Carlos Alberto Aponte

Co-Tutor

William Zuluaga Muñoz

Chía, abril de 2018

## **Dedicatoria**

A nuestras familias porque siempre nos motivan a emprender nuevos retos y de igual manera a culminarlos. A nuestros amigos por acompañarnos.

## **Agradecimientos**

A Dios por la sabiduría, alegría y la salud que nos ha dado al iniciar y culminar esta etapa adicional de aprendizaje y de crecimiento personal como profesional.

A nuestras familias por el apoyo incondicional y permanente, por sus consejos para perseverar en los momentos de temor y desánimo, por su motivación y constante comprensión.

A nuestro tutor, Ing. Carlos Alberto Aponte por sus consejos y orientación para el desarrollo de este trabajo.

A nuestro co-tutor, Ing. William Zuluaga por su emotiva dedicación e interés, y por retornos de vez en cuando a dar más de lo que le presentábamos, para que nuestro trabajo fuera exitoso.

Al director industrial de Schneider Electric de Colombia, Ing. Gustavo Gómez, colaboradores del proceso de ingeniería y a la compañía en general por su disponibilidad, atención, tiempo y acompañamiento durante el desarrollo de este trabajo de grado.

A nuestros amigos por tolerar nuestra ausencia en algunas ocasiones y por su apoyo emocional.

## Resumen

Desde los años 90, a nivel mundial, la metodología Lean ha sido implementada por compañías dedicadas a la manufactura para aplicar sus beneficios en la eliminación de desperdicios y mejorar la productividad. La metodología Lean ha sido empleada bajo el modelo de producción MTO (*Make To Order*), es decir, producción en alto volumen con alto nivel de estandarización. Sin embargo, organizaciones dedicadas a modelos de producción ETO (*Engineering To Order*) y empresas dedicadas a prestación de servicios también han comenzado a implementar la metodología Lean de una manera adaptable y organizada. En este tipo de empresas, obtener productos que cumplan las especificaciones particulares de los clientes, con corto plazo para entrega, se convierte en un gran desafío. Con este proyecto se propone un plan de mejora para el proceso de ingeniería de la Compañía Schneider Electric de Colombia (SEC), a partir de la evaluación de herramientas Lean y el análisis de indicadores de productividad y *lead time* del proceso. Para el desarrollo de este proyecto, se parte de la revisión bibliográfica de documentos relacionados con la implementación de herramientas Lean en procesos de servicios, de esta manera se hace un análisis descriptivo e inferencial de los indicadores del proceso, para lo cual se propone un plan de mejora para implementar las herramientas Lean en el proceso de ingeniería de La Compañía Schneider Electric de Colombia-SEC-.

**Palabras clave:** Herramientas Lean, productividad, *Process Lead Time*, servicios, desperdicio, *Key Performance Indicator*, proceso de ingeniería, Schneider Electric de Colombia.

## Abstract

Since the 90s, Lean methodology has been applied globally by manufacturing companies, to provide its benefits in waste disposal and productivity improvement. This methodology has been applied mainly by manufacturing companies under the MTO (Make To Order) production model, that is, companies with a high volume production and a high level of standardization. However, organizations dedicated to ETO (Engineering To Order) production models and service companies have also begun to implement the Lean methodology in an adaptive and refined manner. In this kind of companies, obtaining products that meet customers' particular specifications, with short delivery times becomes a great challenge. This project proposes an improvement plan for the engineering process of Schneider Electric of Colombia, based on the evaluation of Lean tools, and the analysis of productivity and Lead Time KPI's from the process. For the development of this project, a bibliographical review of documents related to the implementation of Lean tools for service processes has been carried out, and from the descriptive and inferential analysis of the process indicators, an improvement plan has been proposed to implement the Lean tools to Schneider Electric of Colombia engineering process.

**Keywords:** Lean Tools, productivity, *Process Lead Time*, services, waste, *Key Performance Indicator*, Engineering Process, Schneider Electric de Colombia.



## Contenido

1.	Introducción .....	15
2.	Glosario y definiciones .....	18
3.	Antecedentes del proceso de ingeniería SEC.....	23
4.	Ubicación del problema .....	26
4.1.	Ubicación geográfica e histórica de SEC.....	26
4.2.	Sistema de gestión SPS de SEC (Schneider Performance System) .....	27
5.	Justificación .....	29
6.	Formulación del problema - Pregunta.....	31
7.	Objetivos .....	31
7.1.	Objetivo general.....	31
7.2.	Objetivos específicos .....	31
8.	Hipótesis .....	32
9.	Revisión bibliográfica.....	33
9.1.	Clasificación de la literatura .....	34
9.2.	Revisión del estudio de las herramientas Lean aplicadas a servicios, en los grupos de investigación de la Universidad de La Sabana.....	41
10.	Marco teórico de las herramientas Lean .....	43
10.1.	Lean.....	49
10.2.	Principios Lean .....	49
10.3.	Metodología Lean aplicada al sector servicios .....	50
10.4.	Que es PLT “Process Lead Time” .....	51
10.5.	Desperdicios de un proceso .....	51
10.6.	Desperdicios en los procesos de ingeniería .....	51
10.6.1.	Defectos .....	52
10.6.2.	Sobreproducción .....	52
10.6.3.	Inventario .....	52
10.6.4.	Transporte .....	52
10.6.5.	Espera.....	53

10.6.6. Movimiento.....	53
10.6.7. Sobreprocesamiento.....	53
10.7. Herramientas Lean aplicables a un proceso de servicios.....	53
10.7.1. VSM “Value Stream Mapping” .....	53
10.7.2. 5S .....	54
10.7.3. JIT “Just in Time” .....	55
10.7.4. Estandarización del trabajo “Standard work” .....	55
10.7.5. Gestión visual.....	55
10.7.6. Jidoka y prueba de error.....	56
10.7.7. Heijunka.....	56
10.7.8. Kanban .....	56
10.7.9. Hoshin Kanri.....	56
10.7.10. Descripción de la implementación de Hoshin Kanri en una organización. ....	57
10.7.11. KPI “Key Performance Indicator” .....	58
10.7.12. Kaizen .....	58
10.7.13. Obeya .....	58
10.7.14. Sistema de producción Pull.....	59
10.7.15. Dojo y círculos de calidad.....	59
10.7.16. Flujo de una sola pieza “One Piece Flow” .....	59
10.7.17. SMED “Single Minute Exchange of Die” .....	59
10.7.18. Manufactura por células “Cellular manufacturing” .....	60
10.7.19. Sistemas de sugerencias .....	60
10.7.20. Compartir conocimientos.....	60
10.7.21. Reuniones diarias .....	60
10.8. FMEA “Failure Mode Effects Analysis” .....	61
10.9. Formatos A3.....	61
10.10. Cartas de control .....	61
10.11. Metodología AHP para la toma de decisiones .....	62
10.12. Importancia de la productividad en las organizaciones .....	65
10.12.1. Cálculo de la productividad en las organizaciones.....	65

10.12.2. Productividad de la mano de obra en los proyectos de ingeniería.....	66
10.12.3. Factores que afectan la productividad en ingeniería.....	66
11. Metodología de investigación del trabajo de grado .....	70
12. Evaluación de las herramientas Lean que pueden ser implementadas en el proceso de ingeniería de SEC .....	73
12.1. Objeto del proceso de análisis jerárquico AHP en la selección de herramientas Lean para el proceso de ingeniería de SEC .....	73
12.1.1. Criterios para la selección de herramientas Lean que pueden ser implementadas al proceso de ingeniería de SEC .....	73
12.2. Árbol de jerarquías.....	73
12.2.1. Evaluación del modelo propuesto para la implementación de herramientas Lean, usando el método AHP .....	74
12.2.2. Definición de escala de preferencias o prioridades entre criterios .....	75
12.2.3. Emisión de juicios y evaluación de criterios de selección de herramientas .....	75
12.2.4. Evaluación de las herramientas Lean de acuerdo con su importancia en relación con los criterios de selección definidos para su evaluación.....	76
12.3. Herramientas seleccionadas luego de aplicar la metodología AHP.....	81
13. Análisis estadístico de la productividad y el PLT del proceso de ingeniería de SEC .....	82
13.1. Cálculo de la productividad en el proceso de ingeniería de SEC .....	83
13.2. PLT en el proceso de ingeniería de SEC .....	83
13.2.1. Técnicas y herramientas estadísticas para diferentes tipos de datos.....	83
13.3. Prueba de normalidad de los datos.....	88
13.3.1. Prueba de normalidad de los datos de horas asignadas y ejecutadas por celda .....	88
13.4. Análisis de estadística descriptiva .....	89
13.4.1. Análisis de estadística descriptiva para los datos de horas asignadas y ejecutadas por celda.....	90
13.5. Análisis de estadística descriptiva de los datos de productividad.....	91
13.6. Análisis de capacidad del proceso de ingeniería de SEC .....	92
13.6.1. Cálculo del indicador de desempeño sigma.....	94
13.7. Análisis inferencial de la productividad en el proceso de ingeniería de SEC .....	94
13.7.1. Análisis inferencial correspondiente a la familia de producto.....	95
13.7.2. Análisis inferencial correspondiente al nivel de dificultad del producto.....	98

13.7.3. Análisis inferencial correspondiente a las especificaciones técnicas por segmento de mercado .....	101
13.8. Análisis inferencial de los factores relacionados con el recurso humano.....	105
13.9. Análisis causal de los factores que afectan la productividad en el proceso de ingeniería de SEC .....	107
13.9.1. Resultados del análisis causal .....	111
13.10. Análisis de los factores que afectan el PTL del proceso de ingeniería en SEC.....	112
13.10.1. Resultados del VSM actual del proceso de ingeniería de SEC.....	114
14. Implementación de herramientas Lean evaluadas, al proceso de ingeniería de SEC .....	119
14.1. Aplicación de un sistema Pull en el proceso de ingeniería de SEC.....	119
14.1.1. JIT .....	119
14.1.2. Flujo de una sola pieza “One Piece Flow” .....	120
14.2. Aplicación de 5S en el proceso de ingeniería de SEC.....	121
14.3. Aplicación del standard work en el proceso de ingeniería de SEC .....	122
14.4. VSM futuro del proceso de ingeniería de SEC a partir de la implementación de las herramientas Lean seleccionadas con la metodología AHP .....	123
14.5. Simulación del VSM actual del proceso de ingeniería de SEC, en el Software de programación ARENA.....	125
14.6. Simulación del VSM futuro del proceso de ingeniería de SEC, en el Software de programación ARENA.....	130
15. Propuesta de mejora al proceso de ingeniería de SEC.....	135
15.1. Plan para la implementación de las acciones de mejora Lean al proceso de ingeniería de SEC .....	135
15.1.1. Implementación Hoshin Kanri en la propuesta de mejora.....	138
15.1.2. Implementación del A3 en la propuesta de mejora.....	139
15.1.3. Implementación de Cartas de Control en la propuesta de mejora .....	140
16. Conclusiones .....	142
17. Recomendaciones .....	145
18. Propuesta de futuras líneas de investigación .....	146
19. Limitaciones y barreras en el desarrollo del trabajo .....	147
20. Anexos .....	148
20.1. Anexo A. Entrevista 1 Gustavo Gómez.....	148

20.2.	Anexo B. Entrevista 2 Glenn Ballard .....	151
20.3.	Anexo C. Plan de recolección de datos.....	154
20.4.	Anexo D. Tablas para definir los niveles de severidad, ocurrencia y no detección al desarrollar un FMEA. ....	158
20.5.	Anexo E. FMEA realizado para el proceso de ingeniería de SEC.....	159
20.6.	Anexo F. Tabla indicador sigma vs. DPMO.....	160
20.7.	Anexo G. Descripción de elaboración de un FTA.....	161
20.8.	Anexo H. Niveles de calificación de las causas de falla.....	162
20.9.	Anexo I. Las figuras 20.4, 20.5 y 20.6 corresponden al FTA de las fases de ingeniería que son: (ingeniería detallada, ingeniería preliminar e ingeniería para fabricación) .....	163
20.10.	Anexo J. Mapa de flujo de valor del proceso actual (VSM) .....	166
20.11.	Anexo K. Registro fotográfico de algunas reuniones de los autores del trabajo de grado y la participación del grupo de ingeniería de SEC .....	167
21.	Bibliografía .....	168

### **Lista de Tablas**

Tabla 3-1	Project Charter del plan de implementación de herramientas Lean al proceso de ingeniería de SEC .....	25
Tabla 10-1	Artículos recientes Uwe Dombrowski.....	43
Tabla 10-2	Artículos recientes Tommelein.....	44
Tabla 10-3	Artículos recientes Antony Jiju .....	45
Tabla 10-4	Artículos recientes Glenn Ballard .....	45
Tabla 10-5	Artículos recientes Ahmed Al-Ashaab.....	46
Tabla 10-6	Libro Michael L. George.....	47
Tabla 10-7	Libro Locher Drew .....	47
Tabla 10-8	Libro Bohdan W. Oppenheim .....	48
Tabla 10-9	Libro Andrea Chiarini .....	48
Tabla 10-10	Resumen de metodología 5S .....	54
Tabla 11-1	Desarrollo metodológico para el trabajo de grado .....	70
Tabla 12-1	Escala numérica de intensidad.....	75
Tabla 12-2	Matriz de priorización de criterios para la selección de herramientas aplicadas al proceso de diseño SEC.....	76

Tabla 12-3 Evaluación de herramientas vs el criterio 1, herramientas enfocadas a eliminar desperdicios en un proceso de diseño .....	77
Tabla 12-4 Evaluación de herramientas vs el criterio 2, herramientas que ayudan a optimizar el Lead Time .....	78
Tabla 12-5 Evaluación de herramientas vs el criterio 3, facilidad de implementación de la herramienta .....	79
Tabla 12-6 Matriz de sintetización .....	80
Tabla 12-7 Herramientas seleccionadas utilizando el método AHP.....	81
Tabla 13-1 Resumen definición operacional de los datos.....	82
Tabla 13-2 Técnicas estadísticas para análisis de datos.....	84
Tabla 13-3 Resultados de la prueba de hipótesis de 2 muestras por familia de producto. ....	97
Tabla 13-4 Resultado del análisis de varianza productividad vs nivel de dificultad .....	100
Tabla 13-5 Resultados análisis de varianza productividad vs segmento de mercado.....	104
Tabla 13-6 Resultado prueba de Tukey productividad vs segmento de mercado.....	105
Tabla 13-7 Resumen del FMEA realizado al Proceso de Ingeniería de SEC.....	108
Tabla 13-8 Resumen de las posibles causas raízales de los factores relacionados con la fase de ingeniería detallada .....	109
Tabla 13-9 Resumen de las posibles causas raízales de los factores relacionados con la fase de ingeniería preliminar.....	110
Tabla 13-10 Resumen de las posibles causas raízales de los factores relacionados con la fase de ingeniería de fabricación.....	111
Tabla 13-11 Datos para calcular el Takt Time y Takt Rate del proceso de ingeniería de SEC..	113
Tabla 13-12 Resumen datos VSM actual del proceso de ingeniería de SEC .....	115
Tabla 14-1 Resultados de la simulación del VSM actual .....	128
Tabla 14-2 Resultados de ARENA de la simulación del VSM actual.....	129
Tabla 14-3 Resultados de la simulación del VSM futuro .....	132
Tabla 14-4 Resultados de ARENA de la simulación del VSM futuro .....	133
Tabla 15-1 Plan para la implementación de las acciones de mejora Lean al proceso de ingeniería de SEC .....	136
Tabla 15-2 Formato para identificar o presentar propuestas y problemas en un proceso.....	139
Tabla 20-1 Definición operacional de los datos .....	156
Tabla 20-3 Fault Tree Analysis for Investigation on the Causes of Project Problems .....	162

## Lista de Figuras

Figura 1.1 Visión actual de los KPI del proceso de ingeniería SEC.....	16
Figura 3.1 Diferentes modelos en la organización de SEC .....	23
Figura 3.2 Mapeo del proceso de ingeniería de Schneider Electric de Colombia SIPOC.....	24
Figura 4.1 Plantas de ensamble de SEC.....	26

Figura 4.2 Plan estratégico de SEC.....	27
Figura 4.3 Principios del SPS .....	28
Figura 9.1 Conjunto de referencias bibliográficas según la ecuación de búsqueda.....	34
Figura 9.2 Cantidad de publicaciones vs año de publicación .....	35
Figura 9.3 Cantidad de publicaciones vs autor .....	36
Figura 9.4 Cantidad de documentos publicados vs país .....	37
Figura 9.5 Cantidad de publicaciones vs fuente de publicación.....	38
Figura 9.6 Cantidad de publicaciones vs tipo de documento.....	39
Figura 9.7 Cantidad de publicaciones vs área objetivo.....	40
Figura 9.8 Ecuaciones de búsqueda en el área de ingeniería, (Lean AND tools) AND ( LIMIT- TO ( SUBJAREA, "ENGI" ) .....	41
Figura 10.1 Matriz-X para coordinación dinámica de Figura procesos.....	57
Figura 10.2 Mapa de las herramientas Lean .....	64
Figura 10.3 Representación del cálculo de la productividad .....	65
Figura 10.4 Factores que afectan la productividad .....	67
Figura 10.5 Factores de entrada y proceso que afectan la productividad .....	69
Figura 12.1 Árbol de jerarquías para la selección de prioridades en la evaluación de las herramientas Lean aplicadas al proceso de ingeniería SEC.....	74
Figura 13.1 Modelo para la selección de técnicas estadísticas utilizadas en el análisis descriptivo e inferencial.....	85
Figura 13.2 Aplicación de la función Ramdon Data de Minitab .....	87
Figura 13.3 Prueba de normalidad, horas asignadas y ejecutadas por celda .....	88
Figura 13.4 Resumen descriptivo de horas asignadas por celda.....	90
Figura 13.5 Resumen descriptivo de horas ejecutadas por celda.....	91
Figura 13.6 Resumen descriptivo de los datos de productividad.....	92
Figura 13.7 Análisis de capacidad del proceso de ingeniería de SEC .....	93
Figura 13.8 Boxplot familia de producto- productividad .....	95
Figura 13.9 Resumen gráfico de la prueba de hipótesis de 2 muestras .....	97
Figura 13.10 Boxplot nivel de dificultad- productividad.....	98
Figura 13.11 Resumen gráfico análisis de varianza nivel de dificultad - productividad.....	101
Figura 13.12 Boxplot productividad- segmento de mercado.....	102
Figura 13.13 Intervalos de confianza prueba Tukey productividad vs segmento de mercado ...	105
Figura 13.14 Diagrama años de experiencia del diseñador vs productividad.....	106
Figura 13.15 Diagrama de Pareto fases del proceso de ingeniería de SEC .....	107
Figura 13.16 Porcentajes de actividades de valor agregado y no valor agregado en el PLT del proceso de ingeniería de SEC .....	115
Figura 13.17 Porcentajes de las actividades que generan tiempo de valor no agregado o tiempos rojos.....	116
Figura 13.18 VSM actual del proceso de ingeniería de SEC identificando las propuestas de mejora .....	117

Figura 14.1 Implementación de "One Piece Flow " en un proceso de servicios .....	120
Figura 14.2 Clasificación de unidades funcionales.....	121
Figura 14.3 Estándar para mantener la disciplina en la organización de la información .....	122
Figura 14.4 Propuesta de VSM futuro para el proceso de ingeniería de SEC .....	124
Figura 14.5 Configuración del VSM actual del proceso de ingeniería.....	127
Figura 14.6 Configuración del VSM futuro del proceso de ingeniería.....	131
Figura 15.1 Relación entre las herramientas Lean aplicadas al proceso de ingeniería y el SPS de SEC .....	137
Figura 15.2 Propuesta de mejora Hoshin Kanri.....	138
Figura 15.3 Carta de Control para validar el plan de implementación. ....	141
Figura 15.4 Carta de control para validar el plan de implementación antes y después .....	141
Figura 20.1 Imagen de plantilla SAP donde los diseñadores registran las horas trabajadas en un proyecto.....	155
Figura 20.2 Representación de la construcción de un Fault Tree Analysis .....	161
Figura 20.3 Fault Tree Analysis correspondiente a la fase de ingeniería preliminar .....	163
Figura 20.4 Fault Tree Analysis correspondiente a la fase de ingeniería detallada.....	164
Figura 20.5 Fault Tree Analysis correspondiente a la fase de ingeniería de fabricación .....	165
Figura 20.6 VSM Actual del proceso de ingeniería de SEC.....	166

## 1. Introducción

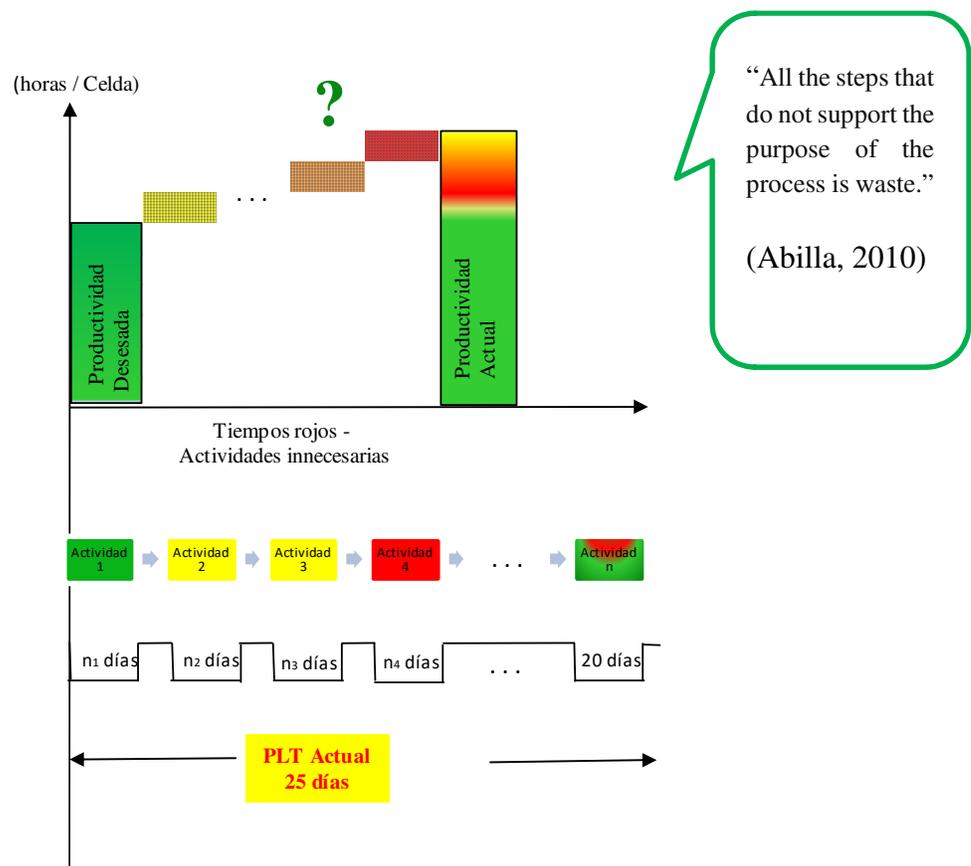
En el mundo de los negocios, las empresas están obligadas a alinear sus procesos y actividades con tiempos de entrega cortos y alto nivel de servicio al cliente que generen ventajas competitivas y de supervivencia (Nallusamy, 2017); son concientes de la importancia del factor tiempo para ser competitivos en el mercado e intentan reducir el periodo de entrega como un esfuerzo para cumplirles a los clientes lo antes posible (Jaggi, Ali, & Arneja, 2016).

En el entorno de la ingeniería, la medición de la productividad es esencial para supervisar la correcta ejecución de un proyecto y es de crítica importancia para la rentabilidad de la mayoría de los proyectos de ingeniería, que posteriormente pueden afectar el desempeño de la empresa y la economía general del país (Mengistu, Quezon, & Kebede, 2016). Por otro lado, el costo de la mano de obra en los proyectos de ingeniería suele representar entre el 30 % y el 50 % del costo total del proyecto (Liao *et al.*, 2012), por lo tanto, existe un creciente interés en la gestión de los factores que contribuyen a la mejora de la productividad de la mano de obra en los proyectos de este tipo (Azadeh & Zarrin, 2016), por tal razón, las organizaciones están desarrollando modelos gerenciales para gestionar la productividad y los plazos de entrega (PLT), representados en indicadores desempeño (KPI) dentro de sus actividades (Florez & Cortissoz, 2016). En ese orden de ideas, diferentes compañías eligen introducir Lean con el objetivo de mejorar la competitividad, bajo el concepto de generar valor para el cliente, eliminando cualquier tipo de desperdicio en la organización e introducen los conceptos Lean en diferentes áreas de la economía, esto convierte la metodología en una estrategia para mantener la competitividad (Lodgaard, Ingvaldsen, Aschehoug, & Gamme, 2016).

El caso de estudio desarrollado en este trabajo de grado corresponde a la *Evaluación de herramientas Lean aplicadas al proceso de ingeniería de Schneider Electric de Colombia (SEC)*. Esta compañía es una multinacional de origen francés con presencia en Colombia desde 1977, dedicada la gestión de proyectos en el sector de la energía eléctrica a nivel industrial. Uno de los pilares del plan estratégico para la calidad y servicio al cliente, se fundamenta en el SPS (*Schneider Performance System*), sistema a través del cual se pretende alinear todos los procesos de la cadena de valor, y en este caso específico, el proceso de ingeniería. El proceso de ingeniería de SEC corresponde a un proceso de prestación de servicios, se considera que la mayoría de sus actividades

(análisis de especificaciones técnicas y desarrollo de diseños eléctricos y mecánicos, entre otros) son intangibles, inseparables, heterogéneas, no precederas y sus entregables corresponden a la transformación de los requerimientos de los clientes en productos tangibles, que sí se ajusten a sus necesidades. Considerando los indicadores de desempeño del proceso, se presume que actualmente el proceso contiene algunos de los tipos de desperdicios que afectan la productividad y PLT en los procesos de servicios y que pueden estar ocasionando que en algunas oportunidades no se cumpla con la oferta logística, como se ilustra en la Figura 1.1.

Figura 1.1 Visión actual de los KPI del proceso de ingeniería SEC



El desarrollo del proyecto tiene como objetivo, formular un plan de mejora para el proceso de ingeniería de SEC, a partir de la selección de herramientas Lean, medición y análisis indicadores de proceso y aplicación de las herramientas Lean para optimizar la productividad y el Lead Time del proceso y surge como una oportunidad para presentar una propuesta académica y práctica en una empresa multinacional como SEC, pues hay una aparente escasez de documentación

académica, de ejemplos de aplicación del uso de las herramientas Lean en procesos de ingeniería similares al de SEC de acuerdo con su naturaleza de servicios. Con el desarrollo de este proyecto también puede ser posible aportar al estado del arte de temas relacionados con la metodología para la implementación de herramientas Lean en procesos de ingeniería eléctrica y mecánica. Y desde el punto de vista empresarial, presentar un análisis de los factores que pueden estar afectando los indicadores del proceso (PLT, productividad) y en consecuencia afectando la fidelidad de los clientes. El desarrollo del proyecto se ve como oportunidad para la mejora de la gestión integral y comercial de la compañía.

Para alcanzar el objetivo presentado, el documento se desarrolla a través de los siguientes criterios:

- Selección de herramientas Lean que se pueden aplicar al proceso de ingeniería de SEC, desde la revisión bibliográfica de fuentes secundarias y la evaluación de su conveniencia.
- Análisis de desempeño del proceso de ingeniería en SEC, determinando posibles factores que impacten los indicadores de productividad y PLT actuales.
- Implantación de las herramientas Lean, a los factores de impacto de los indicadores de productividad, y PLT del proceso de ingeniería en SEC.
- Presentación y recomendación de un plan de mejora que ayude a los líderes del proceso de ingeniería de SEC a mantener el proceso alineado con la estrategia de mejora continua de SEC.

## 2. Glosario y definiciones

**Atributo:** Es una característica común de todas las entidades, pero con un valor específico que puede diferir de una entidad a otra (Sarmiento, 2016).

**Actividades de valor agregado:** Corresponde a actividades que generan valor como el trabajo que contribuye a que los clientes quieran el servicio que ofrece una compañía. Las actividades que no generan valor, corresponde a las actividades por las que un cliente no quiere pagar pues no añaden valor para satisfacer sus requerimientos, estas actividades son: firmas, configuración, tiempo de inactividad, movimientos, esperas retrasos (George, 2003).

**BLOKSET:** Es un equipamiento de alto desempeño para aplicaciones de baja tensión, en sistemas donde se requiere un alto nivel de confiabilidad. Blokset está compuesto por componentes prefabricados estandarizados, lo que facilita la modificación y extensión (Schneider Electric, 2017)

**Celda:** Unidad de producto PIX o Blokset, un grupo de n celdas conforma técnicamente un proyecto en SEC.

**Cliente:** “Individuos, grupos de individuos, empresas, sistemas y procesos posteriores que reciben los productos.” (Dorin, Irme, Astrid, & Maier, 2017).

**CTO (*Configured To Order*):** Producto base que puede ser del tipo MTO o MTS, es configurado con parámetros de variables predefinidos, basados en una orden de compra del cliente o una cotización (Schneider Electric, 2017).

**Entidades:** Son objetos dinámicos en la simulación. La mayoría de las veces representan cosas reales en una simulación como: personas, piezas, camiones, etc. Las entidades se mueven en el modelo, cambian de estatus, afectan y son afectadas por otras entidades y por el estado del sistema. También afectan las medidas de desempeño del sistema (Sarmiento, 2016).

**Entrada:** “Materiales, información y otros recursos proporcionados por los proveedores que son consumidos o transformados en el proceso”(Dorin et al, 2017).

**ETO (*Engineering To Order*):** Los productos se diseñan y construyen según las especificaciones del cliente, implica una cantidad significativa de tiempo y costo en la etapa de ingeniería y diseño del proyecto (Rauch, Dallasega, & Matt, 2015).

**GSC (*Global Supply Chain*):** Concepto de cadena de abastecimiento de Schneider Electric, a nivel global y las estrategias que involucra (Schneider Electric, 2017).

**Herramienta:** En el contexto de la mejora continua, una herramienta está relacionada con la mejora de la calidad, como los objetos utilizados para la construcción de un edificio. Una sola herramienta puede describirse como un dispositivo que tiene un papel claro y una aplicación definida. Por otro lado, una técnica puede verse como una colección de herramientas. Sin la capacitación y la aplicación adecuadas, las herramientas y las técnicas no pueden ser efectivas (Ron Basu, 2009).

**Heterogeneidad:** Característica de los servicios que requieren mucha colaboración humana: por lo general, la prestación varía de un empleado a otro, de un usuario a otro y de un día a otro, por lo que la interacción es difícil de estandarizar dentro de normas que permitan asegurar su calidad, como puede hacerse en una planta de productos manufacturados (Duque Oliva, 2005).

**Hit rate:** Se define como el número de muestras que cumplen con los criterios de actividad preestablecidos como una fracción del número total de muestras analizadas (Schneider Electric, 2017).

**Ingeniería:** Corresponde a la transformación de especificaciones de requerimientos específicos del cliente en otra información que satisfice las necesidades del cliente. Ejemplo: planos, planes de trabajo, descripción de procesos, etc. (Rauch, Dallasega, & Matt, 2015).

**Inseparabilidad:** Es la relación que tiene la producción y el consumo, en servicios, a menudo tiene lugar una interacción entre el cliente y la persona de contacto de la empresa de servicios, que afecta considerablemente la calidad y su evaluación (Duque Oliva, 2005).

**Intangibilidad:** Corresponde a la característica que hace difícil establecer especificaciones precisas para la elaboración de los servicios, que permitan estandarizar su calidad, así que los resultados de los servicios no se pueden medir, comprobar o verificar para asegurar su calidad antes de la entrega al usuario, a su vez también indica que los criterios que utilizan los usuarios para evaluar un servicio pueden ser muy complejos y difíciles de establecer con precisión (Valentín Merino Estrada, et al, 2003).

**KPI (*Key Performance Indicators*):** Indicadores clave de rendimiento, se centran en los aspectos del rendimiento organizacional más críticos para el éxito actual y futuro de la organización (Roubtsova Ella; Vaughn Michell, 2013).

**Lluvia de ideas (*brainstorming*):** “Es una técnica de creatividad grupal mediante la cual se realizan esfuerzos para encontrar una conclusión para un problema específico, recopilando una

lista de ideas espontáneamente aportadas por sus miembros” (Litcanu, Prostean, Oros, & Mnerie, 2015).

**Metodología:** Método sistemático de abordar la resolución de un problema (Metodología del análisis estructurado de sistemas, “Conjunto de métodos, técnicas e instrumentos” es el método apoyado en una concepción teórica y en una opción metodológica”(Cuzzocrea et al, 2017).

**MTO (*Make to Order*):** Fabricación de un producto por pedido (Schneider Electric, 2017).

**No perecederos:** Hace referencia a los servicios no perecederos. Los servicios no pueden ser producidos y almacenados para ser vendidos en una etapa posterior (Andrés-López, González-Requena, & Sanz-Lobera, 2015).

**OL:** Documento que corresponde a la oferta logística, donde se establece el tiempo de entrega ofrecido para el suministro de los productos PIX y Blokset, desde que entra la orden de compra hasta la entrega en el sitio acordado (Schneider Electric, 2017).

**PIX:** La gama PIX es la solución internacional y universal para el aparellaje aislado en aire extraíble. Es de diseño compacto que utiliza interruptores automáticos de dos tecnologías de corte, en vacío o en gas SF6 (Schneider Electric, 2017).

**PLT:** El tiempo necesario para que un producto se mueva a lo largo de un proceso o un flujo de valor desde el principio hasta el final. Tiempo necesario para que un diseño progrese de principio a fin en el desarrollo de productos o para que un producto proceda de materias primas hasta el cliente. (Lean Enterprise Institute, 2014).

**Proceso:** Cualquier actividad, o conjunto de actividades, que utiliza recursos para transformar elementos de entrada en resultados (ISO, 2008). “Conjunto de acciones y actividades que transforman insumos o entradas en salidas.”(Dorin et al., 2017)

**Proceso de ingeniería eléctrica y mecánica en SEC:** En Schneider Electric de Colombia el proceso de ingeniería corresponde a la transformación de especificaciones técnicas de un cliente en un diseño que las represente y que son limitadas por una oferta previamente aceptada por el cliente (Schneider Electric, 2017).

**Proveedores:** “Sistemas, personas, organizaciones u otras fuentes de material, información u otros recursos que se consumen o transformen en el proceso.” (Dorin et al., 2017).

**Salidas de un proceso:** “Productos o servicios que el proceso produce y el cliente utiliza.”

**SEC:** Schneider Electric de Colombia S.A

**Servicio:** Aquello que tiene un valor económico, pero carece de una consistencia material. Se concreta en intenciones de coproducción de materiales y/o de realización de acciones conjuntamente entre los proveedores y los receptores. Estas intenciones se reflejan en un hecho contractual en donde se especifican la forma de repartir riesgos, tareas, información y activos, así como el proceso de gestión de tal contrato, toma de decisiones, formas de pago, penalizaciones, etc. (Ángel Martínez, 2007). Según lo define Ángel Martínez (2007), el servicio es la aplicación de disciplinas científicas, de gestión y de ingeniería a los trabajos que una organización (la proveedora de los servicios) realiza para y con otra organización (la receptora de los mismos).

**SIM (*Short Interval Management*):** Proceso estructurado que consiste en reuniones de 15 minutos, periódicas, mínimo una a la semana, para identificar y actuar sobre las oportunidades para mejorar la eficacia y la eficiencia del proceso, involucra a los miembros del equipo para revisar los indicadores de rendimiento y evaluar dónde necesitan concentrar sus esfuerzos para mejorar el rendimiento (Schneider Electric, 2017).

**Simulación:** Es la técnica para imitar o replicar el comportamiento de sistemas a través del tiempo, mediante un modelo con el soporte de una computadora. Sirve para evaluar el desempeño de un sistema bajo diferentes condiciones mediante la realización de un conjunto de experimentos sobre los modelos (Sarmiento, 2016).

**SIPOC:** Corresponde a un acrónimo para definir Proveedores (Suppliers), Entradas (Inputs), Proceso (Process), Salidas (Outputs), y Clientes (Customers) (Mishra & Kumar Sharma, 2014), el diagrama SIPOC identifica todos los elementos que hacen parte del proceso, da una comprensión profunda del proceso actual y ayuda a definir en alcance real del proceso (Hassan, Marimuthu, & Mahinderjit-Singh, 2016), el SIPOC es una herramienta eficaz para analizar los procesos organizacionales y ayudar a mejorar su desempeño (Dorin et al, 2017)

**SPS (*Schneider Performance System*):** Es el modelo de excelencia operacional de Schneider, corresponde a la principal estrategia para mejorar la calidad y productividad mediante la eliminación sistemática de desperdicios en toda la cadena de valor (Schneider Electric, 2017).

**Takt Time:** El tiempo de producción disponible dividido por la demanda del cliente. El propósito del tiempo takt es igualar la producción con la demanda (Arbós, Cuatrecasass, 2002).

**Técnica:** Hace referencia a los procedimientos o formas de realizar las distintas actividades en una forma estandarizada; al modo de utilización de los instrumentos y máquinas que se usan para la

realización de las tareas particulares, así como a la preparación de tales instrumentos. También se define como los procedimientos mediante los cuales se generan informaciones validas y confiables para ser utilizadas como datos científicos (Yuni & Urbano, 2006).

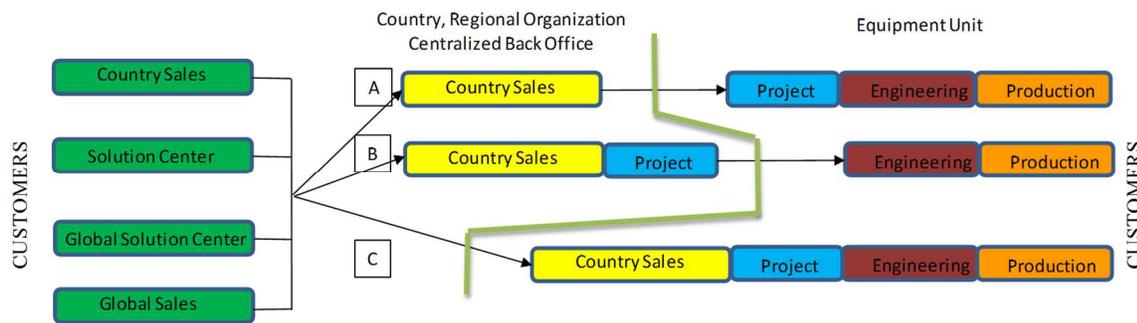
**Unidad Funcional:** “Comprende todos los elementos eléctricos y mecánicos de un ensamble, incluidos los dispositivos de conmutación que contribuyen al cumplimiento de la misma función” (International & Commission, 2004).

**WIP (*Work In Process*):** Es la cantidad de trabajo que está en el proceso y que aún no ha sido completado. Medir o calcular el WIP es fundamental. WIP es un indicador importante en el proceso. Eliminar el WIP significa hacer el trabajo más rápido (George, 2003).

### 3. Antecedentes del proceso de ingeniería SEC

En 2011, antes de la fusión de las compañías, Areva T&D y Schneider Electric, los procesos de compras, ofertas y diseño de ingeniería hacían parte de la dirección de proyectos y servicios, los demás procesos, como producción, almacén y control de calidad eran liderados por la dirección industrial, como indica el modelo tipo B de la Figura 3.1.

Figura 3.1 Diferentes modelos en la organización de SEC



Fuente: Repositorio de SEC / Global Supply Chain

Después de la fusión entre Areva y Schneider Electric la compañía realizó cambios en su estructura interna con el fin de alinear todos los procesos de la cadena de valor; ingeniería, compras, producción y control calidad, bajo un esquema denominado *Global Supply Chain* que consiste en la integración de todos los procesos involucrados en el desarrollo del producto bajo las directrices de una sola dirección, es decir, el modelo tipo C que indica la Figura 3.1. El caso de estudio corresponde al proceso de ingeniería eléctrica y mecánica de SEC, el cual se dedica al diseño de tableros eléctricos de baja y media tensión (PIX y Blokset).

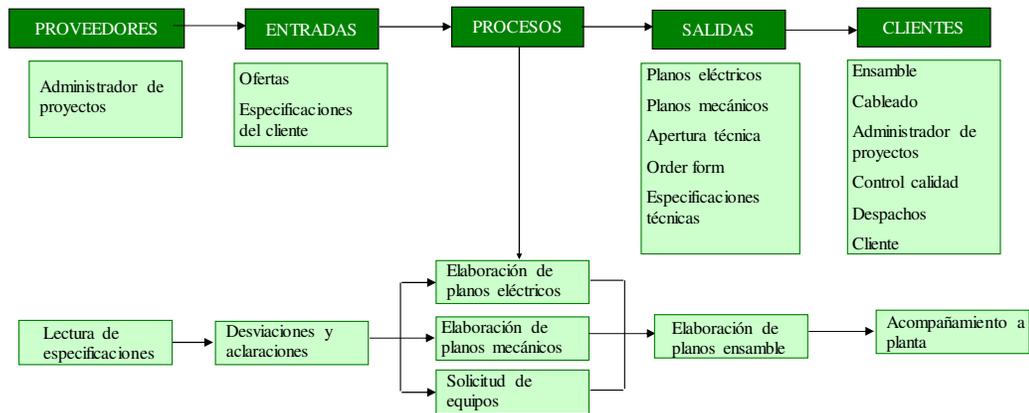
El proceso, corresponde a una cadena interrelacionada de actividades que inician cuando el proceso de ofertas hace una reunión de transferencia de información de un proyecto, de acuerdo con los procedimientos establecidos por la compañía, en la reunión se entrega al gerente de proyectos y al proceso de ingeniería los documentos requeridos para el desarrollo del mismo, entre ellos la oferta, las especificaciones técnicas del cliente, el acta de constitución del proyecto y el

costeo. Las actividades principales del proceso de ingeniería dentro de los proyectos en SEC son las siguientes:

1. Recepción de la información de entrada y documentación de desviaciones y aclaraciones técnicas por parte del diseñador eléctrico y mecánico,
2. Realización de diseño preliminar eléctrico y mecánico,
3. Compra de equipos principales,
4. Realización diseño eléctrico y mecánico definitivo y detallado,
5. Compra de equipos secundarios y
6. Entrega de información a proceso de ensamble y cableado de los tableros, verificación del producto por control calidad, y despacho del producto.

El tiempo de ejecución para el desarrollo de la ingeniería corresponde al tiempo estimado desde la oferta logística con la cual se definen los compromisos contractuales con el cliente. Actualmente la oferta logística indica 10 días. A través del mapeo de las actividades principales, en la Figura 3.2 se presenta el SIPOC de la cadena de valor del proceso, para identificar los elementos que lo conforman y permitir la comprensión del mismo.

Figura 3.2 Mapeo del proceso de ingeniería de Schneider Electric de Colombia SIPOC



Fuente: Elaboración propia

Para propósitos del presente proyecto se desarrolló el Project Charter de la Tabla 3-1 en el cual se definen los objetivos y beneficios del proyecto desde el punto de vista del negocio. “El Project Charter es un documento que hace parte de los elementos esenciales e importantes para definir el alcance y objetivos de un proyecto” (Ryan, 2011).

Tabla 3-1 Project Charter del plan de implementación de herramientas Lean al proceso de ingeniería de SEC

<b>Project Charter / Acta de constitución</b>
<b>Implementación de herramientas de fabricación ligera al proceso de ingeniería de SEC</b>
<b>Caso de negocio</b>
<p>Con este proyecto se pretende proponer herramientas para mejorar la productividad del proceso de ingeniería eléctrica y mecánica en un 7% y reducir el Lead Process Time (PLT) del proceso en 10 días.                      Actualmente la productividad del proceso es -15 % y el PLT del proceso esta en 22 días                      Productividad= -15 %                      PLT impacta directamente la competitividad de la compañía y el "hit rate" de la misma pero no es medible en dinero (\$).</p>
<b>Opportunity Statement / Declaración de oportunidad</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite ser competitivos en plazos de entrega con respecto a la competencia.</li> <li>• Generar una cultura de aproximación a la metodología "Lean " al proceso de diseño eléctrico y mecánico.</li> <li>• Mejorar el margen de los proyectos con relación a costos de mano de obra del proceso de diseño.</li> <li>• Mejorar el CNPS (Customer Net Promotor Score), clientes promotores de los servicios.</li> <li>• Viabilidad para replicar el estudio en los procesos de diseño de otras plantas de la compañía.</li> <li>• Adaptar la oferta logística a la necesidad del cliente.</li> </ul>
<b>Project Scope / Alcance del proyecto</b>
<p>El proceso de ingeniería se enfoca en recibir las especificaciones técnicas del cliente para validarlas de acuerdo a las especificaciones de diseño del producto, luego plasmarlas en un diseño que a su vez debe ser validado por el cliente, después debe entregar el diseño al proceso de producción y finalmente garantizar que el producto obtenido corresponda a los requerimientos del cliente.</p>
<b>Workgroup / Grupo de trabajo</b>
<p>Jefe diseño eléctrico y mecánico                      Diseñador eléctrico                      Diseñador mecánico                      Controlling</p>
<b>Busieness Goals / Objetivo del negocio</b>
<p>Mejorar el PLT del proceso de ingeniería eléctrica y mecánica a 10 días.                      Mejorar la productividad del proceso de ingeniería eléctrica y mecánica en un 7%.                      Mejorar el "hit rate" de la compañía de 4 a 5 ordenes de compra.                      Contribuir positivamente en la desviación del margen de los proyectos (<math>\Delta</math> margen) en 1 %.</p>

Fuente: Elaboración propia

El *Project Charter* contiene la declaración del problema, objetivos que se pretenden alcanzar desde el punto de vista del negocio, define el alcance y otros beneficios que se pueden obtener con el desarrollo del proyecto.

## 4. Ubicación del problema

### 4.1. Ubicación geográfica e histórica de SEC

Schneider Electric de Colombia es una empresa multinacional de origen francés, especialista en la gestión de la energía, está presente en 100 países entre ellos Colombia. Desde 1974, Schneider Electric se estableció en la ciudad de Cali y en el año 2000 se trasladó para la ciudad de Bogotá. Actualmente cuenta con tres plantas industriales, dos centros de distribución en Bogotá y seis agencias comerciales en las principales ciudades: Bogotá, Barranquilla, Medellín, Bucaramanga, Cali, Manizales y representantes en el resto del país (Schneider Electric, 2017).

SEC está ubicada en el departamento de Cundinamarca, en el parque industrial Celta Trade Park del municipio de Funza, allí están ubicadas las dos plantas industriales, que corresponden a ensamble de tableros de baja tensión (Blokset), ensamble de celdas de media tensión (PIX). En la Figura 4.1 se muestran sus instalaciones.

Figura 4.1 Plantas de ensamble de SEC



Fuente: Repositorio de SEC

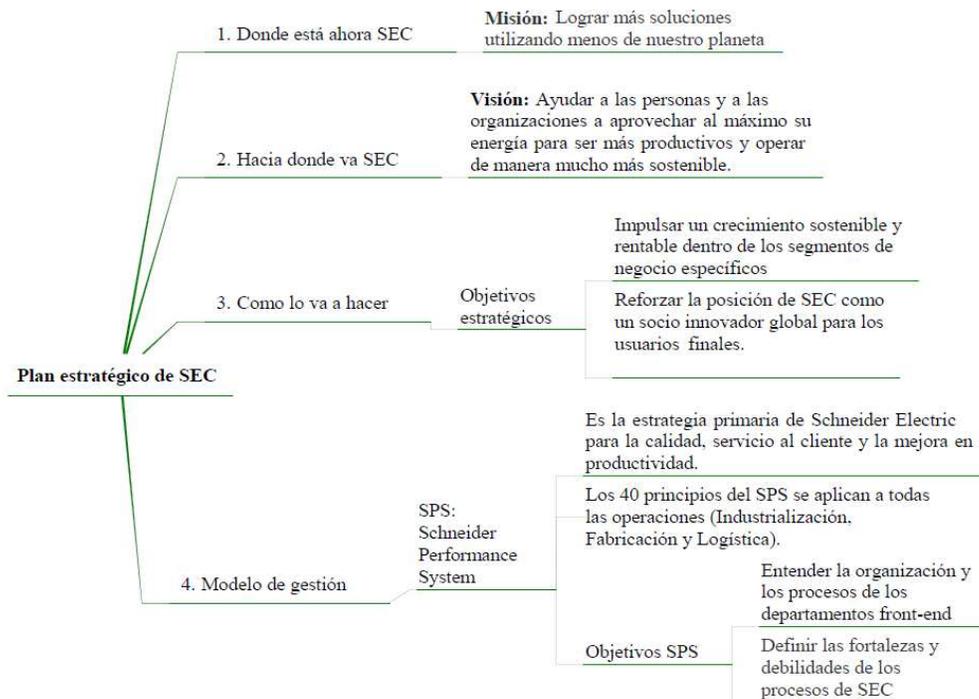
En 2010, como estrategia de crecimiento global, Schneider Electric adquirió a Areva Distribución, una empresa multinacional, también de origen francés, dedicada a la misma actividad económica de Schneider Electric.

Localmente las plantas ubicadas en Funza - Cundinamarca, se dedican al ensamble de tableros eléctricos de media y baja tensión, venta de productos de la marca y venta de servicios, para solucionar necesidades específicas del mercado de Latinoamérica.

## 4.2. Sistema de gestión SPS de SEC (*Schneider Performance System*)

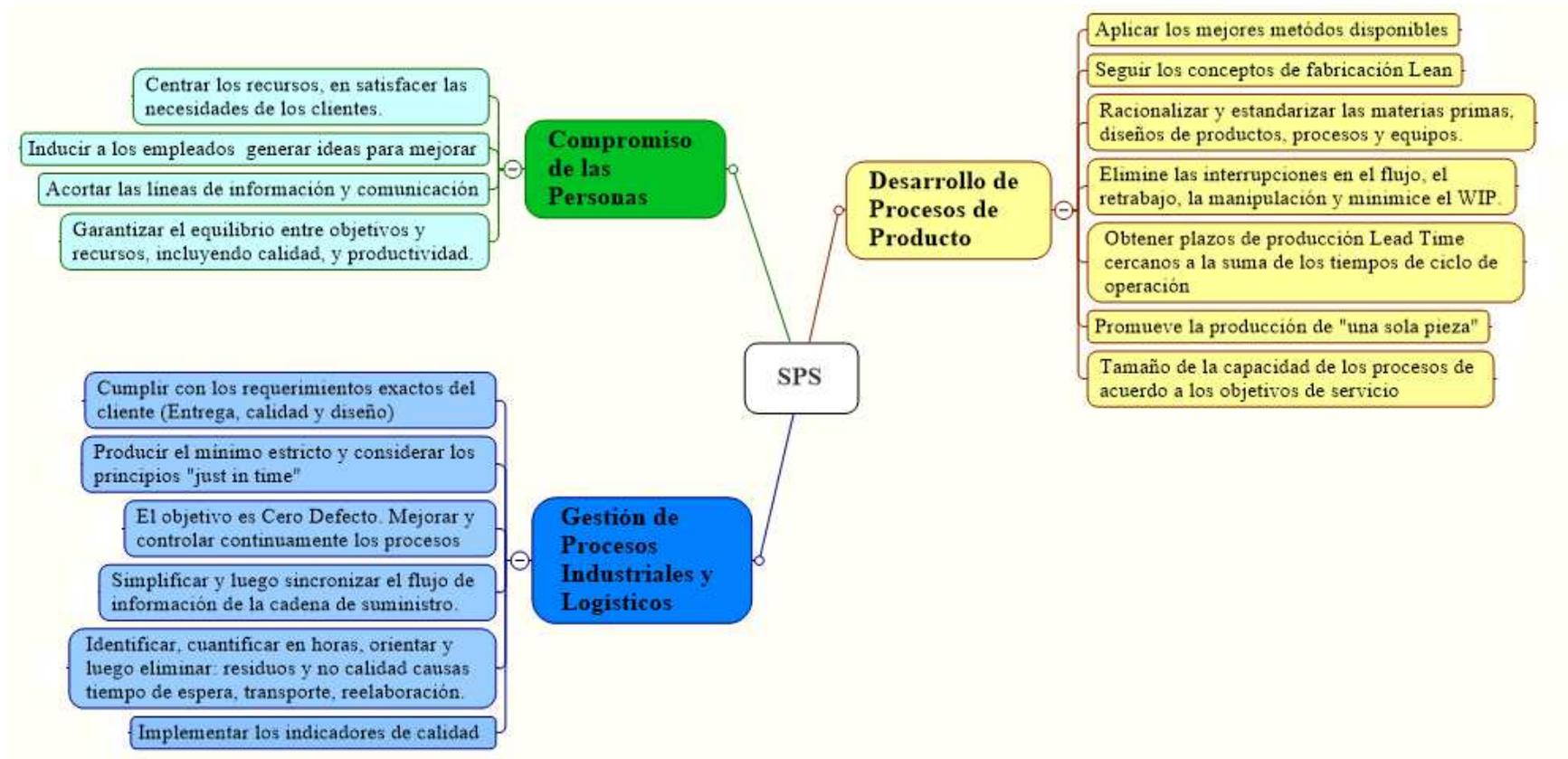
El SPS es la estrategia primaria de Schneider Electric para la calidad, servicio al cliente y la mejora en productividad. El SPS se aplica a todas las operaciones de Schneider Electric (Industrialización, Fabricación y Logística) y da soporte a la ejecución de las prioridades de Global Supply Chain, en torno a 3 pilares: Compromiso de las personas, desarrollo de procesos de producto, gestión de procesos industriales y logísticos. La Figura 4.2 resume el plan estratégico de SEC. Y la Figura 4.3 resume el SPS.

Figura 4.2 Plan estratégico de SEC



Fuente : Elaboración propia

Figura 4.3 Principios del SPS



Fuente: Elaboración propia tomando como referencia los principios del SPS.

## 5. Justificación

El proyecto “Evaluación de Herramientas Lean Aplicadas al Proceso de Ingeniería de Schneider Electric de Colombia” surge como una oportunidad para desarrollar una propuesta académica y práctica en una empresa multinacional como SEC, en atención que:

- a) A partir de la revisión bibliográfica, se observa una aparente escasez de documentación académica de ejemplos de aplicación del uso de herramientas Lean en procesos de ingeniería similares al de SEC, ya que en las bases de datos consultadas (Science Direct, Academic Search Premier, Research, Scopus, entre otros) no se encontraron referencias relacionadas con un proceso de ingeniería eléctrica y mecánica como el de SEC; con algún acercamiento académico se encontró a Rodríguez Méndez y Sánchez Partida, quienes presentan una propuesta de implementación de la metodología Lean en el proceso de producción de Schneider Electric México para mejorar el plazo de entrega de productos, el nivel de servicio al cliente y reducción del inventario (Sánchez-Partida, Arvizu-Barrón, & Santiago, 2015) . La mayoría de literatura corresponde a la aplicación, estudio y análisis de las herramientas Lean a otras ramas de la ingeniería, se presume que a nivel empresarial las herramientas Lean sí son aplicadas, pero no se documenta, ni se publica para uso de la academia. Esto lo sugiere la revisión de la bibliografía recolectada de documentos (artículos, libros, trabajos de grado, conferencias, notas) relacionados con asuntos Lean aplicados a procesos servicios de ingeniería eléctrica.
- b) El uso concreto de herramientas Lean aplicables en un proceso de servicios como es el de ingeniería en SEC, permitiría contrastarse contra otros casos de aplicación de herramientas que generalmente están enfocados a procesos de fabricación (López et al, 2015).
- c) Con el desarrollo de este proyecto, puede ser posible aportar al estado del arte de temas relacionados con la metodología para la implementación de herramientas Lean en procesos de ingeniería eléctrica y mecánica como el de SEC.
- d) Se propondrán formas de integrar armónicamente las herramientas Lean con modelos de gestión tales como el modelo de excelencia operacional industrial de SEC conocido como

SPS, el cual busca alcanzar un PLT ajustado a las necesidades del cliente y mantener una dinámica de productividad fuerte y constante en los procesos.

- e) El documento final generado puede ser de utilidad para SEC, pues se busca proponer un plan de mejora que sea aplicable al mismo proceso a partir de analizar algunos de los factores que afectan los KPIs del proceso de ingeniería y podrá ser compartido como buena práctica con otras filiales de Schneider Electric en Suramérica, para obtener resultados de mejora que beneficien a la compañía.
- f) La gestión comercial en empresas como SEC, depende del éxito en la consecución de proyectos (*Hit rate*). Entre los muchos factores que contribuyen a la consecución de estos proyectos se incluye el tiempo de entrega a los clientes (OTDC) siendo el tiempo de ingeniería un componente relevante en el cumplimiento de los tiempos de entrega (PLT). En este sentido, proponer mejoras al PLT del proceso de ingeniería de SEC, puede conllevar a mejoras en la gestión comercial de la compañía.

## **6. Formulación del problema - Pregunta**

¿Cómo formular un plan de mejora para el proceso de ingeniería de SEC, a partir de, A) Selección de herramientas Lean, B) Medición y análisis indicadores de proceso y C) Aplicación de herramientas para optimizar la productividad y el Lead Time del proceso?

## **7. Objetivos**

### **7.1. Objetivo general**

Proponer un plan de mejora para el proceso de ingeniería de SEC, a partir de la evaluación de herramientas Lean, el análisis de indicadores de productividad y el Lead Time del proceso.

### **7.2. Objetivos específicos**

- Seleccionar las herramientas Lean que se pueden aplicar al proceso de ingeniería de SEC, desde la revisión bibliográfica de fuentes secundarias y la evaluación de su conveniencia.
- Analizar el desempeño del proceso de ingeniería en SEC, determinando posibles factores que impacten los indicadores de productividad y PLT actuales.
- Aplicar las herramientas Lean seleccionadas, a los factores de impacto de los indicadores de productividad y PLT del proceso de ingeniería en SEC.
- Proponer un plan de mejora que ayude a los líderes del proceso de ingeniería de SEC a mantener el proceso alineado con la estrategia de mejora continua de SEC.

## 8. Hipótesis

Utilizando los conceptos, propuestas y recomendaciones que han desarrollado diferentes autores, sobre la implementación de herramientas Lean a procesos de servicios, y de los resultados del análisis descriptivo e inferencial realizado a las variables de entrada y salida del proceso de ingeniería de SEC, se puede proponer un plan de mejoramiento continuo, que ayude a la optimización del desempeño de los indicadores del proceso, medido en función de la productividad y el PLT. Como lo propone (Andrés-López et al., 2015) en su artículo “*Lean Service: Reassessment of Lean Manufacturing for Service Activities*”, se inicia con la revisión de conceptos para asegurar la implementación adecuada de las herramientas Lean a procesos de servicios y posteriormente se propone un ciclo práctico para asegurar que los conceptos Lean se implementen en objetivos útiles, coherentes con la metodología Lean.

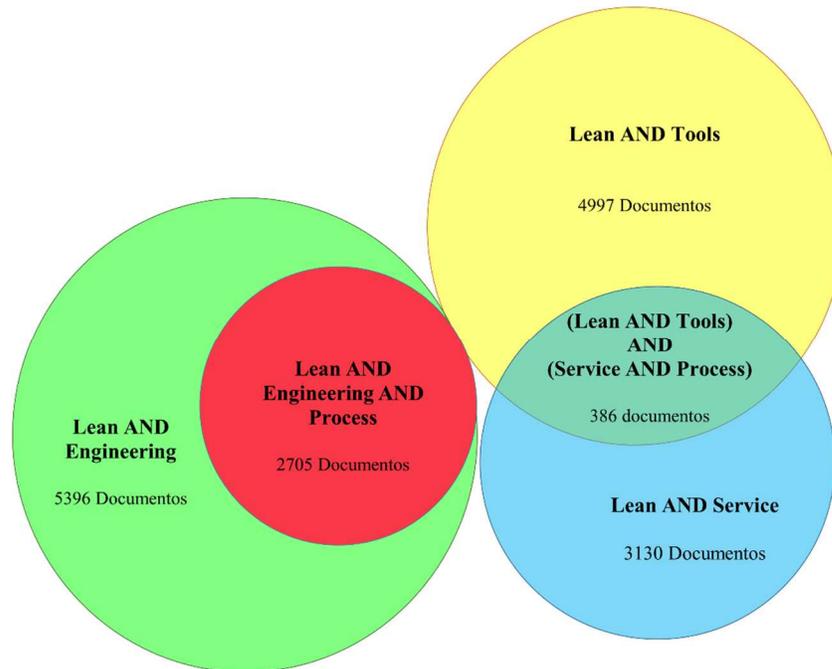
## 9. Revisión bibliográfica

Para el análisis y medición de las referencias bibliográficas utilizadas en el desarrollo de este trabajo de grado, se utilizó la herramienta Scopus, la cual permite obtener datos cuantitativos, entre ellos: la información más relevante, autores y artículos que han sido los más citados y análisis del ranking de las mejores revistas a nivel mundial de acuerdo con el área de conocimiento en el que se investigue. Scopus reúne características, tales como: perfil de autor, perfil de institución, rastreador de citas, índice h y analizador de revistas científicas.

La revisión bibliográfica también se complementó con la búsqueda de información en las bases de datos institucionales como: Science Direct, Proquest – Ciencia y Tecnología, EBSCO, Academic Search Premier, entre otras.

La búsqueda de la información y análisis de la misma se realizó utilizando las siguientes ecuaciones, en la base de datos de Scopus: Lean AND Tools, Lean AND Service, Lean AND Engineering, Lean AND engineering AND Process, (Lean AND Tools) AND (Service AND Process), como se observa en la Figura 9.1.

Figura 9.1 Conjunto de referencias bibliográficas según la ecuación de búsqueda



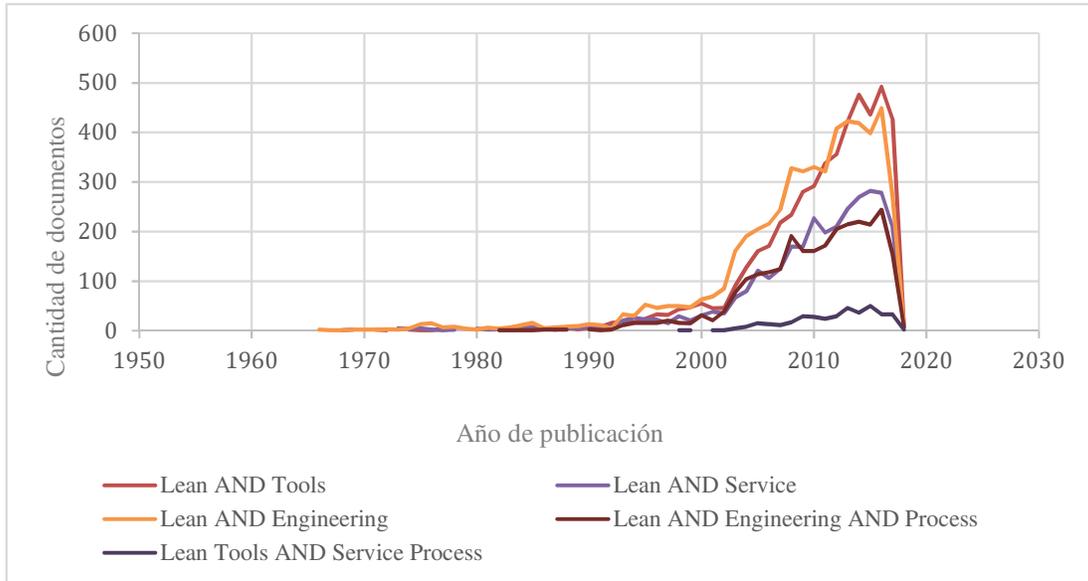
Fuente: Elaboración propia

La búsqueda se realizó en idioma inglés, y surge de relacionar términos fundamentales de la metodología Lean, como son: definición de herramientas Lean, aplicación de las herramientas Lean en la ingeniería, aplicación de herramientas Lean en procesos de servicios, para después relacionarlos con otros términos propios del proceso del caso de estudio (ingeniería eléctrica y mecánica, proceso). Posteriormente de cada conjunto de documentos se hizo una revisión general de los resúmenes, que por su título resultaron afines con la intención del proyecto de grado. Cabe resaltar que al adicionar los términos de búsqueda ingeniería eléctrica y/o mecánica, a la ecuación *(Lean AND Tools) AND (Service AND Process)* la búsqueda arrojó solo dos resultados que no están relacionados con el propósito del caso de estudio.

### 9.1. Clasificación de la literatura

A continuación, se presenta el resultado y análisis de cada búsqueda.

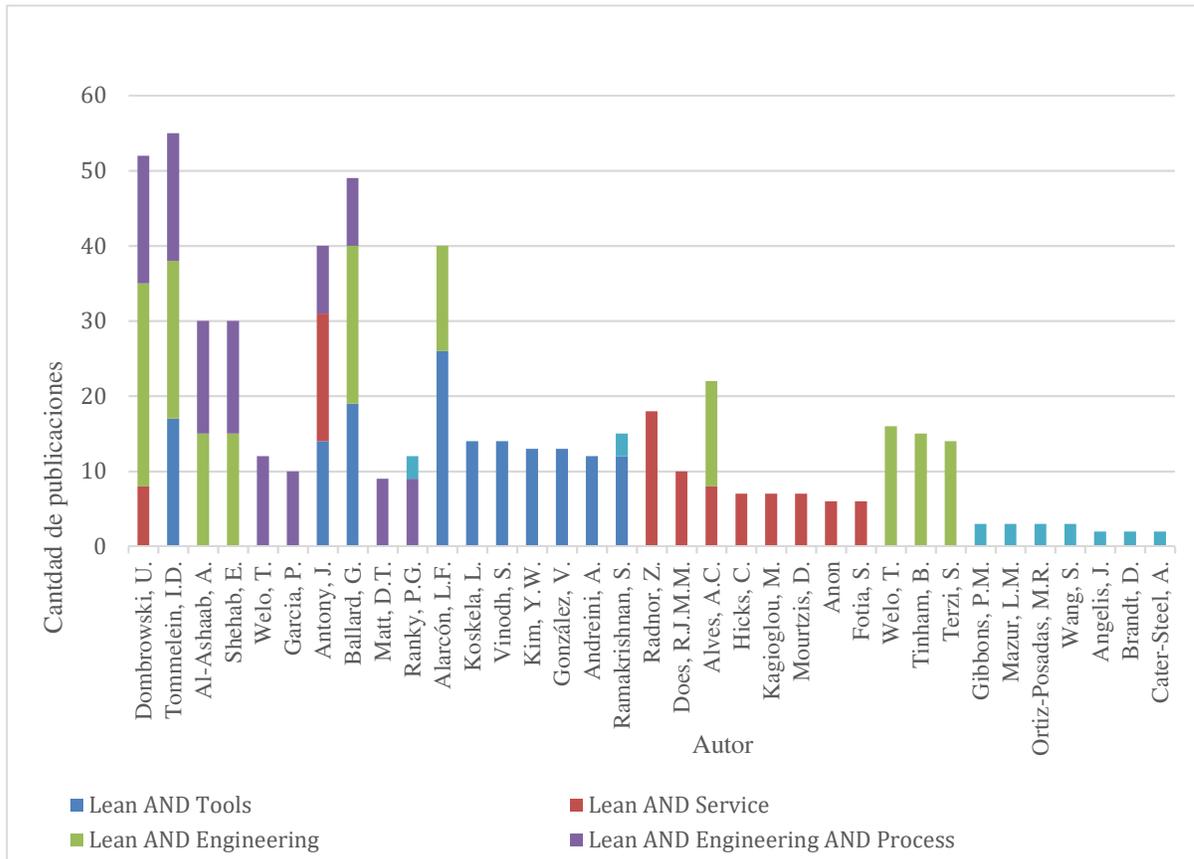
Figura 9.2 Cantidad de publicaciones vs año de publicación



Fuente: Elaboración propia

De la Figura 9.2, se observa que la mayoría de las publicaciones se han presentado a partir del año 1990, la mayoría de ellas entre los años 2010 y 2018 y son publicaciones relacionadas con el término de búsqueda herramientas Lean, Lean en procesos de ingeniería, y Lean en procesos de servicios.

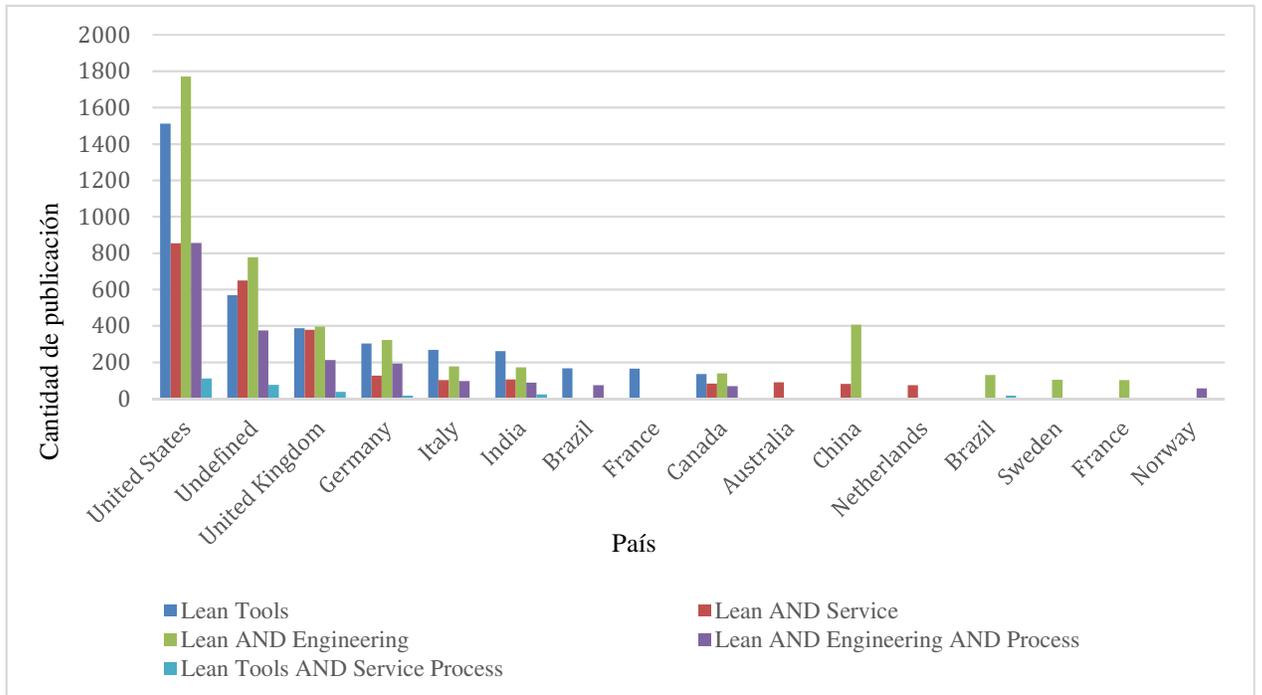
Figura 9.3 Cantidad de publicaciones vs autor



Fuente: Elaboración propia

De la Figura 9.3, se observa que los autores más relevantes son Dombrowski U., Tommelein I.D, Antony J., Ballard G., Alarcon L.F, Al-Ashaab A., Shehab E., Alves A.C., y Radnor Z., quienes representan la mayoría de las publicaciones en relación a todas las ecuaciones de búsqueda que abarcan los temas relacionados con la aplicación de herramientas Lean, Lean en ingeniería y Lean en procesos de ingeniería; pero representan una mínima aplicación al sector de ingeniería eléctrica y mecánica. También, se observa que se presenta menor cantidad de publicaciones por autores que concentren su interés en el tema Lean aplicado a servicios, entre ellos están: Radnor Z., Does RJMM, Alves A.C, Hicks C., Kagioglou M., Mourtzis D., Anon, Fotia S.

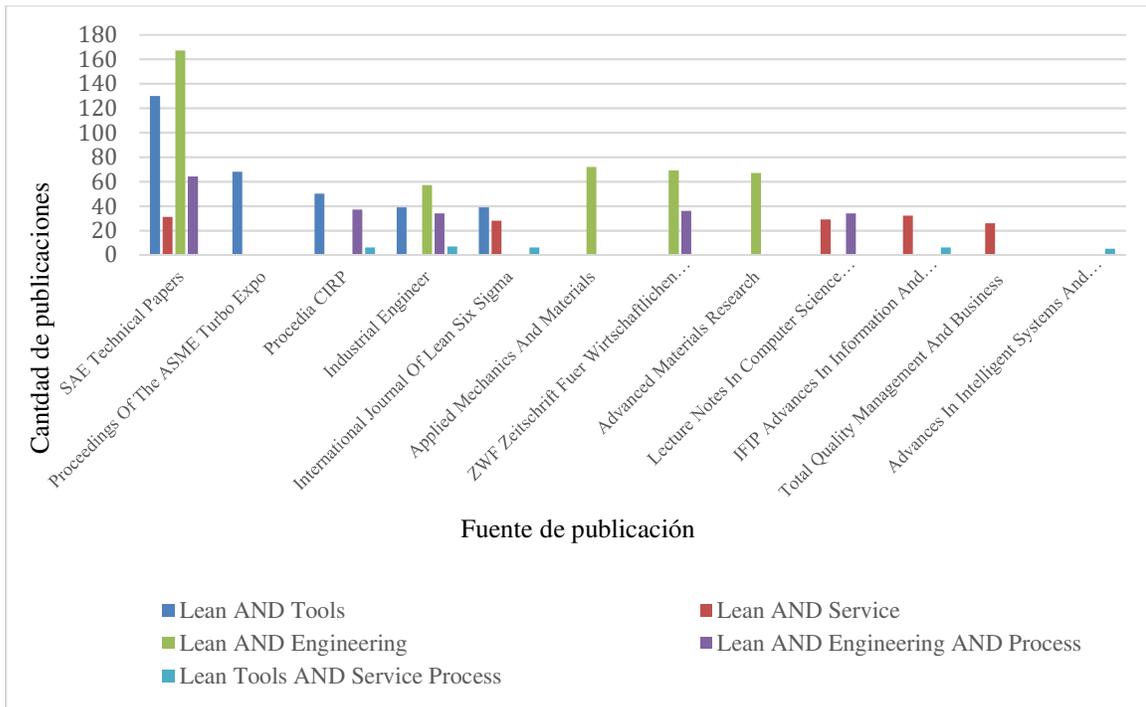
Figura 9.4 Cantidad de documentos publicados vs país



Fuente: Elaboración propia

De la Figura 9.4, se observa que Estados Unidos es el país donde se publica mayor cantidad de documentos, con mayor interés el tema de las herramientas Lean en los procesos de servicios y de ingeniería. También, se nota que gran cantidad de publicaciones no han reportado el origen.

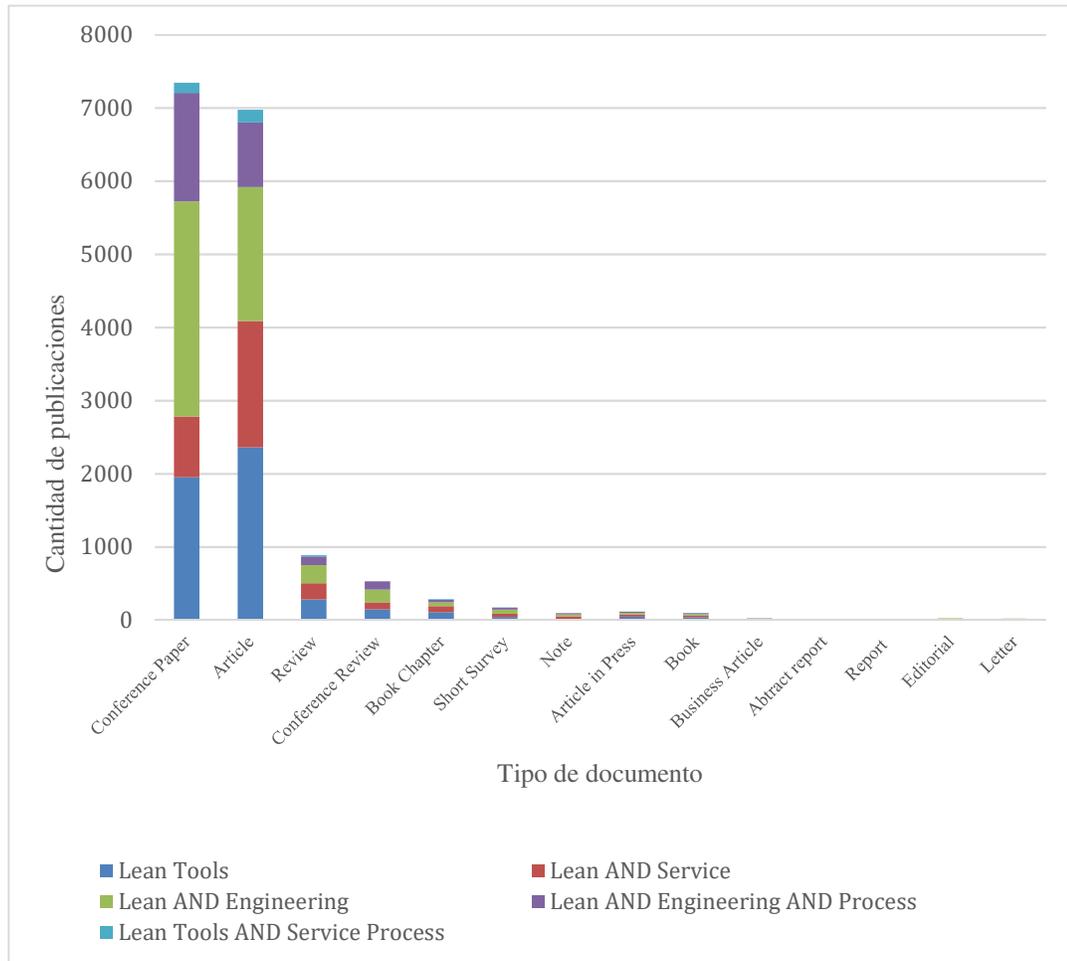
Figura 9.5 Cantidad de publicaciones vs fuente de publicación



Fuente: Elaboración propia

De la Figura 9.5 se observa que principalmente la fuente SAE Technical Papers es quien presenta mayor cantidad de publicaciones relacionadas con el tema Lean, Lean en los procesos y Lean en ingeniería, SAE corresponde a Sociedad de Ingenieros Automotrices, con sede en Estados Unidos, activa en todo el mundo y organización de desarrollo de normas para profesionales de la ingeniería en diversas industrias. Las demás fuentes de publicación hacen relación al tema Lean en menor medida y solo en algunas áreas de aplicación.

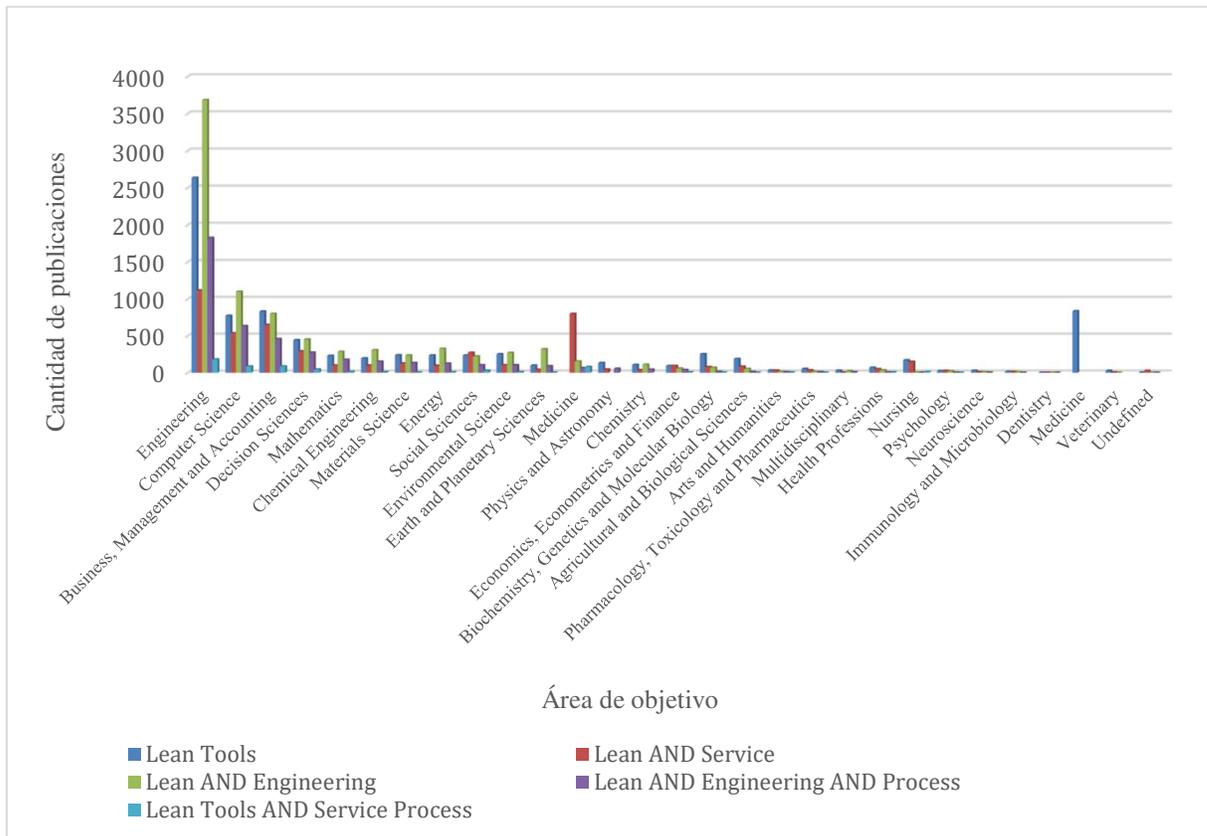
Figura 9.6 Cantidad de publicaciones vs tipo de documento



Fuente: Elaboración propia

De la Figura 9.6 se observa que la mayoría de la información publicada sobre el tema Lean se hace a través de resúmenes de conferencias y artículos, en menor cantidad se publica en revistas.

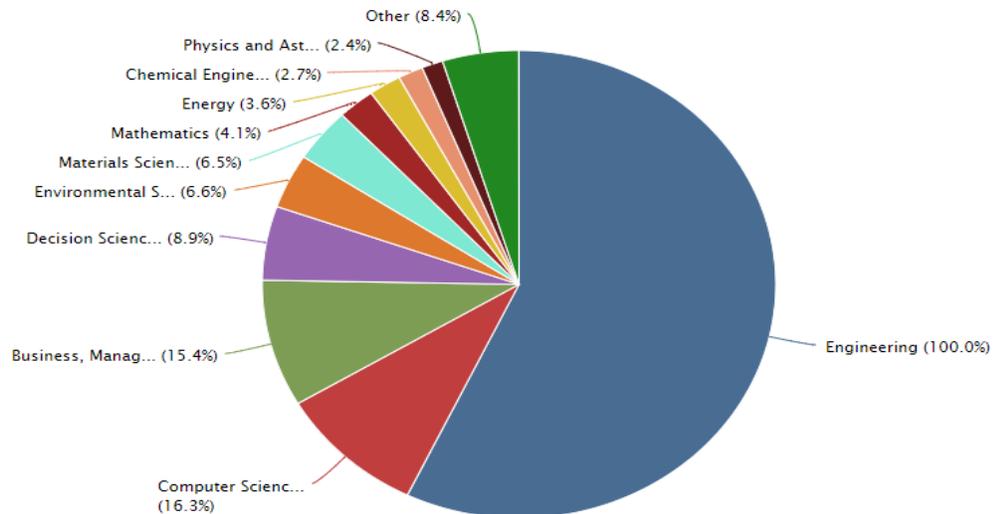
Figura 9.7 Cantidad de publicaciones vs área objetivo



Fuente: Elaboración propia

De la Figura 9.7, se observa que la mayoría de las publicaciones relacionadas con el tema Lean se realizan en el sector de la ingeniería. Pero, al filtrar la búsqueda por: *Lean AND Tools*, se observa que el 52 % de las publicaciones corresponden al asunto Lean en la ingeniería que corresponde a 2637 documentos y se distribuyen como ilustra la Figura 9.8

Figura 9.8 Ecuaciones de búsqueda en el área de ingeniería, (Lean AND tools) AND ( LIMIT-TO ( SUBJAREA, "ENGI" ) )



Fuente: Scopus

En la figura 9.8, se evidencia que el uso de herramientas Lean en el campo de la ingeniería no hace referencia al uso de herramientas Lean en el sector de la ingeniería eléctrica y/o mecánica. Así mismo, se nota que el uso de las herramientas Lean en el sector energético es mínimo, solo representa el 3.6% en el sector de la ingeniería.

## 9.2. Revisión del estudio de las herramientas Lean aplicadas a servicios, en los grupos de investigación de la Universidad de La Sabana.

La Facultad de Ingeniería de la Universidad de La Sabana cuenta con siete grupos de investigación. Al revisar el enfoque de cada uno de ellos se observa que al menos dos grupos están interesados en la mejora y optimización de procesos para las empresas, soportados por el doctorado en *Logística y Gestión de Cadenas de Suministro*, cuyas principales áreas estratégicas coinciden en las organizaciones y desarrollo tecnológico. Entre ellos, se resalta el grupo de investigación en *Sistemas Logísticos*, su propuesta de valor se fundamenta en la aplicación de métodos cuantitativos para la toma de decisiones enfocado en los procesos de las organizaciones, para que sean más efectivos; y el grupo *Operations and Global Supply Chain Management* cuyas líneas de

investigación son las operaciones, logística y calidad, en las organizaciones de manufactura, servicios y empresas industriales (Repositorio Universidad de la Sabana, 2017).

La propuesta de este trabajo presenta afinidad con los grupos de investigación mencionados, porque al igual que estos, busca analizar la relación existente entre las diferentes actividades de un proceso de servicios de una organización industrial, analizarlos y proponer acciones de mejora con el fin de aumentar su productividad y tiempos de proceso. Sin embargo, se observa que, de los proyectos publicados por estos grupos, no se hace referencia al uso específico de las herramientas Lean como metodología para la mejora de procesos de ingeniería; aunque en el repositorio de la universidad sí se evidencian trabajos de grado con el enfoque Lean, y es en este sentido donde se presenta la oportunidad de aportar académicamente con nuestro trabajo.

## 10.Marco teórico de las herramientas Lean

A continuación, se resumen las publicaciones más relevantes de los autores que en la actualidad presentan mayor influencia en el tema.

Tabla 10-1 Artículos recientes Uwe Dombrowski

Autor	Biografía	Título	Resumen	Año
Uwe Dombrowski	22 de mayo de 1950 - Hamburgo, Alemania. Director ejecutivo del Institute for Advanced Industrial Management - presidente del simposio de Braunschweig sobre Lean Production Systems y miembro de la junta en la conferencia alemana para la planificación de fábricas.	Dynamic coordination within a Lean Enterprise	Este documento describe un enfoque para determinar los objetivos de la estrategia empresarial corporativa para el proceso de todas las unidades de la empresa, a través de la cadena de valor. y señala que los procesos se pueden adaptar rápidamente para tratar dinámicas y mercados impredecibles.	2017
		Interdependencies of Industrie 4.0 & Lean Production Systems - a use cases analysis -	En el documento se realiza un análisis detallado de las interdependencias entre "Lean Production System" y Industri 4.0, basándose en 260 casos de uso de tecnologías Industrie 4.0 aplicadas en la industria alemana y también se analizan casos relacionados con las interdependencias entre Industrie 4.0 y los principios de "Lean Production Systems".	2017
		Lean Product Development for Small and Medium-Sized Suppliers	Este artículo persigue la pregunta de ¿Cómo debería diseñarse un "Lean Development" para proveedores pequeños y medianos, para desarrollar y presentar un concepto comparativo, que destaca las diferencias y se adapta específicamente a los requisitos de SMSSes (Small and Medium-Sized suppliers).	2017
		Service planning as support process for a Lean After Sales Service	Presenta una revisión a la literatura de los procesos de planificación de servicios y presenta una metodología de enfoque	2017
		Lean Stress Sensitization in Learning Factories	El documento se basa en un proyecto de investigación financiado por la Fundación de Investigación Alemana "Adaptación sistemática de Lean" Principios del sistema de producción para el servicio postventa para el enfoque del cliente y la reducción de desechos "	2017

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos Scopus.y (Institute for Advanced Industrial Management, 2017).

Tabla 10-2 Artículos recientes Tommelein

Autor	Biografía	Título	Resumen	Año
Tommelein I.D.	profesora de Ingeniería y Gestión de Proyectos, en el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de California. enseña y realiza investigaciones para desarrollar y avanzar la teoría y los principios de la gestión de producción basada en proyectos, aplicada a la industria de la arquitectura, la ingeniería y la construcción (AEC), lo que se denomina 'Lean Construction'.	Understanding the role of “tasks anticipated” in lookahead planning through simulation	Este documento se refiere al nivel llamado planificación anticipada, durante el cual los planificadores hacen que su plan sea más realista a medida que las tareas de construcción se aproximan a la ejecución.	2015
		A New Set of Principles for Pursuing the Lean Ideal in Engineer-to-Order	Presenta un examen a los principios lean más prevalentes en la literatura existente, aplica el análisis de contenido cualitativo para proponer un nuevo conjunto de principios en el contexto de dos entornos diferentes de ingeniería ETO.	2014
		Consequences of competitive bidding in project-based production	Este documento analiza las consecuencias que tienen las ofertas competitivas en el tiempo de entrega en la producción basada en proyectos, como la construcción, la relación entre las ofertas competitivas y el tiempo de entrega, reducción del tiempo de entrega analizar qué es lo que contribuye a largos plazos de entrega.	2006
		DePlan: a tool for integrated design management	Este paper propone DePlan como un método para la gestión integrada del diseño durante la fase de diseño de detalle. DePlan integra dos técnicas, a saber, Técnica de Planificación de Diseño Analítico (ADePT) y planificación de acuerdo con Last Planner, cada una de ellas involucrada una herramienta de software.	2004

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos Scopus y (Department of Civil and Environmental Engineering & College of Engineering, 2017)

Tabla 10-3 Artículos recientes Antony Jiju

<b>Autor</b>	<b>Biografía</b>	<b>Título</b>	<b>Resumen</b>	<b>Año</b>
Antony Jiju (Six Sigma)	El profesor Jiju Antony es reconocido mundialmente como un líder en la metodología Six Sigma para lograr y mantener la excelencia de los procesos. Es profesor de Gestión de calidad en la Escuela de Administración e Idiomas de la Universidad Heriot-Watt, Edimburgo, Escocia. Fundó el Centro de Investigación en Seis Sigma y Excelencia de Procesos (CRISSPE) en 2004.	Lean Six Sigma for Small and Medium Sized Enterprises	El libro trata sobre la metodología Lean Six Sigma integrada a las pequeñas y medianas empresas.	2016
		World Class Applications of Six Sigma	Este libro muestra como Six Sigma se puede aplicar o se ha aplicado en un entorno industrial real, es una colección de estudios de casos tomados de la fabricas multinacionales y corporaciones de servicios, el libro permite al lector apreciar algunas de las complejidades y problemas asociados con la implementación de la metodología Six Sigma, algunos de las herramientas y técnicas clave de Six Sigma en organizaciones contemporáneas.	2006

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos Scopus. Y (Heriot-Watt University, 2017).

Tabla 10-4 Artículos recientes Glenn Ballard

<b>Autor</b>	<b>Biografía</b>	<b>Título</b>	<b>Resumen</b>	<b>Año</b>
Glenn Ballard	Actualmente miembro de la facultad del programa de ingeniería y gestión de la construcción de la Universidad de Berkeley. Su principal interés de investigación es adaptar la teoría de la producción Lean de la fabricación a la práctica de gestión de la construcción. Con ese fin, ha desarrollado un modelo para la entrega ajustada de proyectos de instalaciones de capital, el Lean Project Delivery System™. El Dr. Ballard también es miembro fundador del Grupo Internacional de	Why Lean Projects Are Safer	El objetivo de este artículo es responder a la pregunta" ¿ Por que los proyectos administrados sobre una base Lean son más seguros que aquellos manejados con prácticas tradicionales?.	2017
		Consequences of competitive bidding in project-based production	Este documento analiza las consecuencias que tienen las ofertas competitivas en el tiempo de entrega en la producción basada en proyectos, como la construcción, la relación entre las ofertas competitivas y el tiempo de entrega, reducción del tiempo de entrega analizar qué es lo que contribuye a largos plazos de entrega.	2006
		DePlan: a tool for integrated design management	Este paper propone DePlan como un método para la gestión integrada del diseño durante la fase de diseño de detalle. DePlan integra dos técnicas, a saber, Técnica de Planificación de Diseño Analítico (ADePT) y planificación de acuerdo con Last Plannerk, cada una de ellas involucrada una herramienta de software.	2004

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos Scopus y (Citris Banatao Institute, 2017).

Tabla 10-5 Artículos recientes Ahmed Al-Ashaab

Autor	Biografía	Título	Resumen	Año
Ahmed Al-Ashaab (desarrollo de producto)	Ha sido un investigador activo en las áreas de desarrollo de productos colaborativos, ingeniería simultánea, ingeniería basada en el conocimiento y desarrollo de productos lean. Sus proyectos de investigación tienen un fuerte enfoque en aplicaciones industriales. Estuvo involucrado en varios proyectos de transferencia de conocimiento con empresas de PYMES en el área de desarrollo de productos y reducción de costos de fabricación. El Dr. Al-Ashaab ha enseñado en México, Colombia, Francia y el Reino Unido.	Define value: Applying the first lean principle to product development	Este documento demuestra la necesidad de identificar y representar el valor de la aplicación de Lean thinking al desde una perspectiva del Desarrollo de Producto, a través de una revisión de literatura y una encuesta industrial.	2015
		Development and application of lean product development performance measurement tool	Este documento presenta el desarrollo y la aplicación de una herramienta que ayuda a identificar el estado real de la organización en relación con los principios Lean.	2015
		A3 thinking approach to support knowledge-driven design	Este artículo presenta el modelo A3, como enfoque de pensamiento para la resolución de problemas en el diseño de productos, y proporciona una plantilla A3 que está estructurada desde combinación de elementos personalizados (por ejemplo, las 8 disciplina enfoque) y práctica de reflexión.	2013
		Towards lean product and process development	Este artículo presenta la metodología adoptada para allanar el camino hacia una inclinación coherente Modelo PD (desarrollo de producto) que combina las lecciones del sistema de desarrollo de productos Toyota (TPDS) con otras mejores prácticas.	2011
		Critical Success Factors for Lean Manufacturing: A Systematic Literature Review An International Comparison between Developing and Developed Countries	El propósito de este documento es determinar los factores de éxito críticos lean para organizaciones de fabricación en países en desarrollo.	2013
		The transformation of product development process into lean environment using set-based concurrent	Este documento presenta un proceso de transformación hacia el desarrollo de productos Lean en una industria aeroespacial. Esta transformación se logró en dos etapas principales: la primera fue integrar los principios de la Ingeniería Concurrente Basada en Conjunto (SBCE) en un modelo de desarrollo de producto existente de una compañía aeroespacial.	2013
		Lean Product Development Performance Measurement Tool	Este documento presenta una herramienta que ayuda a definir el estado real de las organizaciones en relación con los principios lean. La extensa literatura destacó la necesidad de desarrollar una herramienta centrada en la evaluación de la implementación de los principios lean en sí mismos, en lugar de cuantificar las métricas.	2013

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos Scopus y (Sanya, Shehab, Lowe, Maksimovic, & Al-Ashaab, 2011).

Tabla 10-6 Libro Michael L. George

Autor	Biografía	Título	Resumen	Año
Michael L. George	Michael George, presidente y CEO de George Group Consulting, ha trabajado personalmente con CEOs y equipos ejecutivos en empresas como ITT Industries, Caterpillar, Colgate-Palmolive, Xerox, Johns Manville (una compañía de Berkshire Hathaway) e Ingersoll-Rand. Su énfasis principal está en la creación de valor para los accionistas a través de la aplicación de iniciativas de mejora de procesos que incluyen Lean Six Sigma, Lean Manufacturing y Reducción de complejidad.	Lean Six Sigma for Service - How to Use Lean Speed and Six Sigma Quality to Improve Services and Transactions Michael	El libro trata sobre como las herramientas Lean clásicas, como "Pull" los sistemas "y" reducción de configuración "se están utilizando en compras, llamadas centros, salas quirúrgicas, oficinas gubernamentales, I + D, etc. (Aquellos que quieren Las aplicaciones de fabricación de estos temas pueden encontrar ejemplos en Lean Six Sigma.)	2003

Fuente: Elaboración propia y (George, 2003).

Tabla 10-7 Libro Locher Drew

Autor	Biografía	Título	Resumen	Año
Locher Drew	Durante la década de 1980, cuando trabajaba para General Electric, Drew comenzó a desarrollar e implementar iniciativas de mejora continua. Desde que dejó GE en 1990, ha ayudado a una variedad de compañías industriales y de servicios con el desarrollo organizacional y las implementaciones Lean. Drew ayudó al Instituto Nacional de Estándares y Tecnologías Manufacturing Extension Partnership (MEP) a desarrollar Lean University.	Lean Office and Service Simplified The Definitive. How-to Guide	Corresponde a un excelente libro para aquellos que comienzan o aquellos que hacen la transición con la oficina o el servicio Lean. Es una encuesta sucinta de aplicaciones Lean en entornos administrativos, técnicos, profesionales y de servicios. Debería servir como base desde la cual los profesionales nuevos o en transición puedan encontrar su camino a través de una implementación Lean.	2011

Fuente: Elaboración propia, con referencia en (Lean Enterprise Institute, 2016).

Tabla 10-8 Libro Bohdan W. Oppenheim

Autor	Biografía	Título	Resumen	Año
Bohdan W. Oppenheim	Bohdan W. Oppenheim nació en 1948 en Varsovia. Es el Fundador y Copresidente del Grupo de Trabajo de Ingeniería de Sistemas Lean de INCOSE y líder del equipo de Prototipos que desarrolla Lean Enablers para ingeniería de Sistemas; Su experiencia profesional incluye servir como Director del Departamento de los EE. UU. del Energy Industrial Assessment Center	Lean For Systems Engineering with Lean Enablers for Systems Engineering	El libro expone los fundamentos del Lean Thinking y cómo se aplica a la ingeniería de sistemas. El libro es rico en citas de literatura clásica y reciente, y proporciona una base académica para el producto principal Lean Enablers para Ingeniería de Sistemas (LEfSE). LEfSE es una compilación de mejores prácticas o "lo que se debe y no se debe hacer" para complementar las prácticas establecidas de ingeniería de sistemas.	2011

Fuente: Elaboración propia y (INCOSE, 2012)

Tabla 10-9 Libro Andrea Chiarini

Autor	Biografía	Título	Resumen	Año
Andrea Chiarini	Andrea Chiarini es directora general de Chiarini & Associates, una firma de consultoría europea especializada en Lean Six Sigma y profesora visitante en la Universidad de Ferrara, Italia. Obtuvo un doctorado y una maestría en artes de la Universidad Sheffield Hallam, Reino Unido. También	Lean Organization: from the Tools of the Toyota Production System to Lean Office	Este es un libro sobre Lean Thinking derivado del sistema de producción de Toyota. El libro presenta un recorrido completo, de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba, para implementar Lean dentro de una organización con el objetivo de lograr resultados económicos y financieros. El libro intenta proponer un patrón completo, comenzando desde los objetivos estratégicos hasta la producción.	2013

Fuente: Elaboración propia y (Chiarini, 2011).

## **10.1. Lean**

Lean es una filosofía, cultura, modelo que sirve para mejorar y optimizar los procesos operativos de cualquier empresa (Toledano de Diego, & Mañes Sierra, 2009) que se ha convertido en un paradigma dominante, impulsando muchas de las mejoras de rendimiento que se llevan a cabo en todo el mundo (Oppenheim, 2011). Las aplicaciones de Lean comenzaron en el área de fabricación y se ha extendido a lo largo de la cadena de valor desde las ventas, la logística, fabricación, compras, administración, diseño y desarrollo de productos.

Los conceptos de producción Lean tuvieron su máxima aceptación y acogida durante los años noventa por las empresas manufactureras. Como aproximación a la organización de compañías dedicadas a la producción en masa, Lean ofrece una alternativa entre un grupo de métodos altamente efectivos que permiten a las empresas prosperar en un mercado global competitivo (Powell, Strandhagen, Tommelein, Ballard, & Rossi, 2014).

## **10.2. Principios Lean**

La teoría Lean tiene sus raíces en el Sistema de Producción Toyota (SPT) y lo describe con 14 principios que se enfocan hacia una filosofía de gestión general (Asier Toledano de Diego, Nagore Mañes Sierra, 2009). De acuerdo con Usier y Nagore los 14 principios Lean son los siguientes:

1. Basar las decisiones de gestión en una filosofía a largo plazo, a expensas de lo que suceda con los objetivos financieros a corto plazo.
2. Crear procesos de flujo continuo para hacer que los problemas sean visibles.
3. Utilizar sistemas *Pull* para evitar la sobreproducción.
4. Nivelar la carga de trabajo.
5. Crear una cultura de parar, a fin de resolver los problemas para lograr una buena calidad al primer intento.
6. Estandarizar las tareas y procesos, como base para la mejora continua y el empoderamiento de los empleados.
7. Utilizar controles visuales para que no se oculten problemas.

8. Utilizar solamente tecnología confiable, probada a fondo que sirva a su gente y a sus procesos.
9. Hacer crecer líderes que entiendan completamente el trabajo, vivan la filosofía y la enseñen a otros.
10. Desarrollar personas y equipos excepcionales que sigan la filosofía de su empresa.
11. Respetar su red extendida de socios y proveedores, desafiándolos y ayudándolos a mejorar.
12. Ir a verlo por sí mismo para comprender a fondo la situación.
13. Tomar decisiones por consenso lentamente, considerando concienzudamente todas las opciones, para implementarlas rápidamente.
14. Convertirse en una organización que aprende mediante la reflexión constante y la mejora continua.

### **10.3. Metodología Lean aplicada al sector servicios**

Después del despliegue y el impacto que tuvo el término “*Lean Production*” en los años noventa, los conceptos Lean han encontrado su camino para su aplicación en los procesos de servicios. Sin embargo, su aplicación directa al área de los servicios ha generado algunos cuestionamientos, debido a la falta de visibilidad de los conceptos de flujo de valor y eliminación de desperdicios, conceptos que son menos tangibles para un servicio que para un proceso de fabricación (Bonaccorsi, Carmignani, & Zammori, 2011).

La tendencia de servitización, que se refiere a las estrategias de las empresas industriales de ir basando sus negocios de forma creciente en los servicios, ha ganado popularidad en la última década como medio para generar nuevos flujos de ingresos (Bertoni et al, 2015). Es en la relación producto-servicios donde las empresas buscan formas de mejorar sus procesos para mantenerse competitivas dentro del mercado, reducir costo, reducir tiempos de proceso y mejorar la productividad, y es en este contexto donde la aplicación de las herramientas de la metodología Lean toma una relevancia importante (Ghaleb, 2017).

#### **10.4. Que es PLT “Process Lead Time”**

En el mundo de los negocios, para que las empresas tengan ventajas competitivas y aseguren su supervivencia, están obligadas a alinear sus procesos y actividades con tiempos de entrega cortos, y alto nivel de servicio al cliente (Nallusamy, 2017). Las empresas son conscientes de la importancia del factor tiempo para ser competitivas en el mercado, por consiguiente, cada empresa intenta reducir el tiempo de entrega como un esfuerzo para llegar a los clientes lo antes posible (Jaggi, Ali, & Arneja, 2016).

El PLT, corresponde al tiempo transcurrido desde la llegada de una orden de compra o solicitud de un producto o servicio, hasta que la solicitud del producto o servicio es entregado completamente al cliente (Sheng, 2002). El PLT es una variable esencial y crítica en las negociaciones con los clientes dentro de un proceso productivo o de servicios, ya que puede impactar positivamente o negativamente las relaciones comerciales (Hermela Salomon, Kassu Jilcha, 2015).

#### **10.5. Desperdicios de un proceso**

Corresponde a todas aquellas situaciones, actividades o procedimientos que no aportan valor al proceso y a través de la eliminación paulatina de estos, la empresa se vuelve cada vez más eficiente, lo que mejora la calidad, los procesos y los productos (Carlos, Rodríguez Álvarez, & De, 2015). Según TPS, los desperdicios en una compañía son siete: defectos, sobreproducción, espera, transporte, sobreprocesamiento, exceso de inventario y movimiento; sin embargo, define un octavo desperdicio que corresponde a los defectos y creatividad y/o experiencia no utilizada de los empleados (Chroner & Wallstrom, 2016).

#### **10.6. Desperdicios en los procesos de ingeniería**

La identificación y eliminación de desperdicios es una iniciativa clave en el proceso de ingeniería (Simms, 2007). En algunas actividades de los procesos de ingeniería, es difícil observar los desperdicios porque no se observan movimientos físicos, aún más si las actividades en el proceso operan de manera aislada entre ellas, la clasificación puede ser compleja considerando que es un proceso intangible porque puede suceder que se formulen desperdicios adicionales o

diferentes a los tradicionales (Andrés-López et al, 2015). De acuerdo con Simms los siete desperdicios que se presentan en un proceso de diseño de ingeniería son los siguientes:

#### **10.6.1. Defectos**

Hace referencia a los defectos de calidad, los cuales impiden que el cliente acepte el producto producido. La información inadecuada sobre un dibujo, las vistas erradas y la información incompleta son todos los defectos que pueden evitarse mediante la estandarización de documentos y la formación adecuada del personal de ingeniería (Simms, 2007).

#### **10.6.2. Sobreproducción**

Es la producción o adquisición de artículos antes de que sean realmente requeridos. Para el departamento de ingeniería, corresponde a la documentación innecesaria (modelado o dibujo) de una pieza antes de que se necesite. A menudo ocurre debido al interés de hacer una biblioteca completa de partes iguales (Simms, 2007).

#### **10.6.3. Inventario**

Todos los dibujos o modelos son inventario. Si se invierte tiempo para hacerlos, actualizarlos y gestionarlos sin que todavía sea necesario, se convierten en desperdicio, pues ese mismo tiempo podría haber sido gastado reduciendo la carga de trabajo del momento (Simms, 2007).

#### **10.6.4. Transporte**

La documentación de una orden de cambio de ingeniería, o el proceso de aprobación de productos nuevos o modificados puede a menudo tomar más tiempo que el propio tiempo de ingeniería. Ejemplo, enviar un correo electrónico que detiene el proceso de diseño y añade tiempo al ciclo general del mismo (Simms, 2007).

### **10.6.5. Espera**

Se refiere al tiempo que pasan los ingenieros esperando que llegue la información para iniciar un diseño o esperando las aprobaciones del diseño antes de que el modelo completo pueda ser enviado para la producción. (Simms, 2007).

### **10.6.6. Movimiento**

En el proceso de ingeniería, el movimiento normalmente corresponde a la eficiencia del software. El número de acción sobre un botón del *mouse*, o el número de rutinas que se tarda en construir una parte. Incluso el proceso de imprimir a un PDF y enviarlo por correo electrónico como un archivo adjunto es una operación que se puede considerar como innecesaria (Simms, 2007).

### **10.6.7. Sobreprocesamiento**

Desperdicio relacionado con el software o con el diseño. Corresponde a subdimensionar la capacidad del software que realmente se requiere para el cumplimiento al cliente y/o las habilidades de los diseñadores, el sobreprocesamiento también puede ser la creación de diseños que son demasiado complejos (Simms, 2007).

## **10.7. Herramientas Lean aplicables a un proceso de servicios**

### **10.7.1. VSM “Value Stream Mapping”**

El mapa de flujo de valor es una herramienta que sirve para ver y entender un proceso e identificar sus desperdicios, lo que permite detectar fuentes de ventaja competitiva y ayuda a establecer un lenguaje común entre todos los usuarios del mismo y comunicar ideas de mejora enfocadas a la reducción del PLT. El mapeo de flujo de valor es un método efectivo para reducir el desperdicio en los procesos de Servicio, permite identificar procesos que no agregan valor y eliminarlos, con el VSM es posible enfocarse sobre las necesidades del cliente para aumentar la eficiencia en los procesos de servicios (Uwe Dombrowski & Malorny, 2016). La técnica consiste

en dibujar un “mapa” o diagrama de flujo, que muestre cómo los materiales e información fluyen “puerta a puerta” desde el proveedor hasta el cliente, para reducir y eliminar desperdicio.

### 10.7.2. 5S

La metodología de las 5S es una nueva forma de lograr que un espacio se vuelva un área perfectamente ordenada y limpia, en la cual se puedan llevar a cabo las diferentes actividades diarias para aumentar su productividad, además, facilita el aumento de la calidad y la competitividad de la organización y se fomenta el trabajo en equipo (Sousa Combe, 2014).

A continuación, se presenta la Tabla 10-10 con los cinco pasos. Según (Smith, 2013) se debe considerar la sexta S, que corresponde a la seguridad, debido a la importancia que juega en todos los procesos.

Tabla 10-10 Resumen de metodología 5S

	<b>Nombre japonés</b>	<b>Concepto en español</b>	<b>Frase en español</b>	<b>Objetivo</b>
1.	<i>Seiri</i>	Clasificación, Selección	Separar innecesarios	Eliminar del espacio o área de trabajo que no sea necesaria.
2.	<i>Seiton</i>	Orden, Organización	Ubicar lo necesario	Organizar u ordenar el área de manera eficiente
3.	<i>Seiso</i>	Limpieza	Suprimir la suciedad	Realizar la limpieza del lugar adecuadamente
4.	<i>Seiketsu</i>	Normalización, Estandarización Sistematización, Control visual	Señalizar anomalías	Estandarizar los procesos que permitan prevenir el desorden y la falta de limpieza
5.	<i>Shitsuke</i>	Unificación, mantener la limpieza y compromiso	Seguir mejorando	Asegurarse de que se mantengan los pasos anteriores
6.		Seguridad	Seguridad en todos los procesos	Hacer un ambiente de trabajo seguro para todos

Fuente: (Sousa Combe, 2014)

### **10.7.3. JIT “Just in Time”**

Corresponde a un sistema de producción que produce y entrega exactamente lo que se necesita, justo cuando se necesita y solo en la cantidad necesaria. JIT es uno de los pilares del Sistema de Producción de Toyota. JIT apunta a la eliminación de todos los residuos para lograr la mejor calidad posible, el menor costo posible y el uso de los recursos y los plazos de producción y entrega más cortos. Aunque es simple en principio, el JIT exige disciplina para una implementación efectiva (Lean Enterprise Institute, 2014).

### **10.7.4. Estandarización del trabajo “Standard work”**

Drew Locher en su libro *Lean office and service simplified* afirma que el trabajo estándar o *standard work* es la forma más eficiente y eficaz para realizar una actividad. El trabajo estándar define la secuencia deseada de pasos y otros elementos que aseguren que una actividad se realiza de manera consistente en el tiempo. Locher indica que las condiciones no estándar pueden generar fallas en el desempeño de una actividad, incumplimiento de una actividad en un momento requerido, tomar más tiempo en una actividad del que se debería, realizar una actividad de manera que impacte en forma negativa algún KPI (Locher, 2011).

### **10.7.5. Gestión visual**

Considerando que los procesos de servicio no son físicamente observables, la gestión visual es esencial para el desarrollo de estándares de trabajo y la creación de un entorno visual útil como guía para las actividades del proceso. Por lo tanto, las condiciones fuera de la norma se destacan mediante una serie de técnicas visuales, como los cuadros publicados en el lugar de trabajo o las hojas coloreadas adjuntas para llamar la atención sobre su importancia. Normas visuales claras permiten distinguir situaciones normales de anormales (Andrés-López et al., 2015).

Bohdan W. Oppenheim en su libro *Lean for Systems Engineering with Lean Enablers for Systems Engineering* sostiene que la experiencia de las empresas que han aplicado las herramientas Lean indica que la visibilidad del estado de trabajo y las barreras que se presentan durante el desarrollo del mismo, conducen a un mejor flujo del proceso (Oppenheim, 2011).

#### **10.7.6. Jidoka y prueba de error**

Proporciona a los diseñadores la capacidad de detectar cuando una condición anormal ha ocurrido y detener automáticamente el trabajo, permite descubrir, desde el principio, las causas de los problemas porque la detección se efectúa inmediatamente después de que ocurre un problema por primera vez (Lean Enterprise Institute, 2014).

En entornos de servicio, la aplicación de Jidoka debe implicar sistemas de alerta que detecten fallas en el servicio y detener su suministro cuando esto ocurra.

#### **10.7.7. Heijunka**

Permite que el proceso pueda cumplir eficientemente con la demanda del cliente minimizándose los inventarios, la mano de obra y los plazos de entrega en todo el flujo de valor (Lean Enterprise Institute, 2008). La aplicación de Heijunka a las actividades de servicios puede llevarse a cabo teniendo en cuenta que los servicios también pueden agruparse en familias de servicios, que se distinguen por la complejidad del sistema y por etapas similares del proceso (Andrés-López et al., 2015).

#### **10.7.8. Kanban**

Dispositivo de señalización que da instrucciones y autoriza la producción en un sistema *pull*. A menudo son tarjetas de cartón, que contienen información: el código de referencia, el proveedor externo o interno, el proceso proveedor, la cantidad, las direcciones de almacenamiento y del proceso que los consume (Lean Enterprise Institute, 2014).

#### **10.7.9. Hoshin Kanri**

Es un proceso japonés equivalente al despliegue de políticas; este es gestionado por varios equipos, desde la alta dirección hasta el nivel de operación, llegando a toda la fuerza de trabajo, a través de un proceso cíclico que nunca termina. Hay dos elementos clave que definen Hoshin Kanri; por un lado, el proceso implica una estructura muy clara y bien definida de roles, responsabilidades

y métricas. Por otra parte, debe concentrarse en el desarrollo del conocimiento laboral y habilidades de los empleados (Chiarini, 2013).

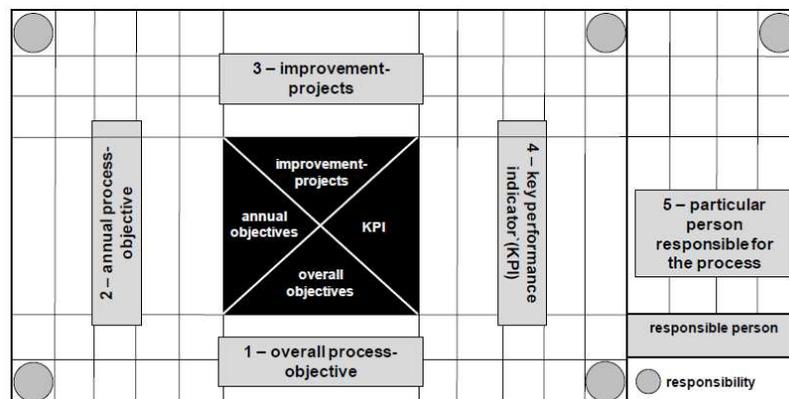
### 10.7.10. Descripción de la implementación de Hoshin Kanri en una organización.

El despliegue de políticas se desarrolla a través de una matriz, que permite alinear las políticas con la estrategia, convirtiéndolas en prioridades, las prioridades en acciones, las acciones en resultados y resultados exitosos en estandarización. La coordinación de procesos a través de la matriz de despliegue permite la consideración de la estructura operacional orientada al proceso con objetivos consistentemente variables (Uwe Dombrowski, Krenkel, & Richter, 2017).

Para documentar la metodología y los diferentes niveles de objetivos se necesita recorrer cuatro cuadrantes como se muestra en la Figura 10.1, documentándolos con la siguiente información:

1. Objetivos generales del proceso
2. Objetivos anuales del proceso
- 3.Cuál es el indicador clave de rendimiento
4. Quiénes son las personas responsables en particular para las mejoras del proceso

Figura 10.1 Matriz-X para coordinación dinámica de Figura procesos



Fuente: Elaboración (Uwe Dombrowski et al., 2017)

Esta Matriz debe llevarse a cabo para cada nivel de proceso, en función de los objetivos del proceso comercial y de la empresa, por lo que se produce una superposición a través de la cual los

"objetivos del proceso anual" y los "proyectos de mejora" del nivel superior del proceso se convierten en el "objetivo del proceso general" y los "objetivos del proceso anual" en el siguiente nivel del proceso. Con eso, se produce una coordinación de procesos y la orientación de todas las actividades a un objetivo de una organización.

#### **10.7.11. KPI “Key Performance Indicator”**

El desarrollo de KPIs es posible a través del análisis de los datos recolectados en el VSM. Se pueden dividir en funcionamiento (cuantificar las características de los procesos de la actividad de servicios), enfocados al cliente (a través de pruebas del rendimiento operativo en el cliente) y KPI comerciales (para mostrar el impacto del rendimiento de la actividad de servicio en la empresa). Las mejoras en los indicadores operacionales deben dar como resultado un mejor servicio al cliente. Posteriormente, las mejoras en los indicadores de los clientes deben mejorar el rendimiento comercial. Los dos primeros indicadores pueden ser útiles para que la alta dirección pueda vincular las mejoras operativas y los imperativos comerciales y de los clientes (Andrés-López et al., 2015).

#### **10.7.12. Kaizen**

*Kaizen* es un método estándar para la mejora de procesos basada en la conformación de equipos de trabajo multidisciplinarios, incluye métodos estructurados para buscar mejoras, definir sugerencias, eliminar desperdicios, activar e implementar ideas elegidas, recibir retroalimentación y medir sus efectos. (Andrés-López et al., 2015).

#### **10.7.13. Obeya**

El término japonés *obeya* significa simplemente “sala grande”. Se utiliza especialmente para lograr una comunicación eficaz y a tiempo en el desarrollo del proyecto, contiene mapas y gráficos de gran tamaño que muestran la programación del proyecto, hitos y progreso actualizado, así como las contramedidas para los problemas que surjan, sean técnicos o de tiempo (Lean Enterprise Institute, 2008).

#### **10.7.14. Sistema de producción *Pull***

La aplicación del sistema *pull* a las actividades de servicio consiste en adaptar el servicio a la demanda del cliente (Andrés-López et al., 2015). Un sistema *pull* es un método de control de procesos en el cual la materia prima, la información o los productos que pasan a través del flujo de valor, no dependen de una previsión de la demanda (Chiarine, 2013), sino de la necesidad y capacidad de los puestos de trabajo, es decir, los puestos de trabajo de las actividades sucesoras comunican sus necesidades en términos de productos o materia prima a las actividades o puestos de trabajo anteriores (Lean Enterprise Institute, 2008).

#### **10.7.15. Dojo y círculos de calidad**

Dojo es un método de entrenamiento en entornos Lean que consiste en compartir el conocimiento a través de todos los empleados, fomentando su capacidad multihabilidades. Los círculos de calidad animan a los empleados a mejorar las actividades de servicio a través de sus propias propuestas (López et al., 2015).

#### **10.7.16. Flujo de una sola pieza “*One Piece Flow*”**

La información es procesada o el servicio es prestado de forma continua, con pocas colas o ninguna. La consecuencia es un tiempo de espera abreviado o nulo para realizar un proceso o prestar un servicio. Según la naturaleza del proceso o servicio, se debe definir una unidad de referencia que represente una pieza en el proceso (MacInnes, 2002).

#### **10.7.17. SMED “*Single Minute Exchange of Die*”**

Proceso para cambiar un equipo de producción a otro en el menor tiempo posible. SMED se refiere al objetivo de reducir los tiempos de cambio a un solo dígito, o menos de 10 minutos (Lean Enterprise Institute, 2008).

#### **10.7.18. Manufactura por células “*Cellular manufacturing*”**

A veces es posible configurar el equipo de trabajo, para que los grupos de productos similares puedan manufacturarse sin perder mucho tiempo en proceso de desarrollo del producto. Cada célula se diseña y se especializa en producir una variedad limitada de las configuraciones de partes determinadas (Chiarini, 2013).

#### **10.7.19. Sistemas de sugerencias**

El sistema de sugerencias estimula el desarrollo de los empleados y aumenta la conciencia del problema y las habilidades de resolución de problemas. El sistema de sugerencias da lugar a un cuestionamiento permanente de las prácticas actuales y permite al personal de la organización de servicios aportar sugerencias para la mejora continua. Esta es una herramienta para el desarrollo de la capacidad de los empleados para visualizar nuevas formas de realizar sus trabajos, de acuerdo con los objetivos generales de la empresa (López et al., 2015).

#### **10.7.20. Compartir conocimientos**

Algunas herramientas de intercambio de conocimientos son: creación de bases de datos de conocimiento, demostraciones y simulaciones, listas de control, matriz y diagramas de flujo para guiar la toma de decisiones y la búsqueda de datos; compartir eventos en equipo como reuniones, conferencias internas, sesiones con expertos (López et al., 2015).

#### **10.7.21. Reuniones diarias**

Las reuniones diarias sirven para detectar problemas, desarrollar contramedidas y comunicar mejoras al resto de la organización para evitar repetir errores (Lean Enterprise Institute, 2008) de manera que haya una mayor proximidad entre personas, productos, equipos productivos y procesos orientados hacia una mayor eficiencia (Lean Enterprise Institute, 2008).

### **10.8. FMEA “Failure Mode Effects Analysis”**

La técnica FMEA contribuye a la mejora de la fiabilidad y del mantenimiento óptimo de un producto o sistema a través de la investigación de los puntos de riesgo, para reducirlos a un mínimo mediante acciones apropiadas. Para el desarrollo de cualquier FMEA son necesarios la coordinación y el entendimiento de todos los procesos afectados (Geum, Cho, & Park, 2011).

### **10.9. Formatos A3**

Es una metodología simple, estandarizada y práctica para documentar y reportar soluciones a problemas en cualquier área de la organización, tiene dos funciones básicas, una como un método para hacer propuestas y el otro como un medio para informar sobre las propuestas aprobadas. El formato A3 propone condensar las ideas en una sola hoja, y no invertir mucho tiempo en leer gran cantidad de información (Matthews, 2011). Según Matthews existen varios beneficios al usar el formato A3 como se resume a continuación:

- Proporciona un enfoque metódico para la resolución de problemas.
- Proporciona un formato sucinto para presentar o reportar hechos a terceras personas.
- Documenta situaciones que otros pueden seguir y usar para entender el problema, acciones y resultados de solución.
- Proporciona un lenguaje y un método comunes dentro de una organización.
- Crea una cultura propicia para mantener los conceptos Lean.
- Proporciona una base y establece las bases para el cambio futuro.

El formato A3 se presenta como una propuesta a la gerencia y debe ser aprobada antes de que la implementación pueda comenzar, el formato se convierte en un informe cuando el propietario comienza a ver los resultados de las contramedidas (Matthews, 2011).

### **10.10. Cartas de control**

Las cartas de control se especializan en la variabilidad de los datos y su objetivo básico es observar y analizar el comportamiento de un proceso a través del tiempo. Así, es posible distinguir

entre variaciones por causas comunes y especiales. Lo que ayuda a caracterizar el funcionamiento del proceso (variables de salida) y decidir las mejores acciones de control y de mejora. Lo anterior es básico para mejorar los procesos a través de tres actividades (Gutiérrez Pulido, 2009):

- a) Estabilizar los procesos (lograr control estadístico) mediante la identificación y eliminación de causas especiales.
- b) Mejorar el proceso, reduciendo la variación debido a causas comunes.
- c) Monitorear el proceso para asegurar que las mejoras se mantienen y detectar oportunidades adicionales de mejora.

Existen dos tipos generales de cartas de control: de variables y atributos. Las cartas de control para variables se aplican a características de calidad de tipo continuo, que intuitivamente son aquellas que requieren un instrumento de medición. Se recomienda usar cartas de control del tipo variables para analizar indicadores y tomar decisiones.

#### **10.11. Metodología AHP para la toma de decisiones**

El AHP (*Analysis Hierarchy Process*), es un proceso de análisis jerárquico, desarrollado por Thomas L. Saaty en 1980, para resolver problemas de criterios múltiples y requiere que quien toma las decisiones proporcione evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios para después especificar su preferencia con respecto a cada una de las alternativas de decisión y para cada criterio (Saaty & Wiley, 2009) para estructurar la jerarquía de un problema y de la lógica e intuición para emitir juicios.

El proceso de análisis AHP se fundamenta en:

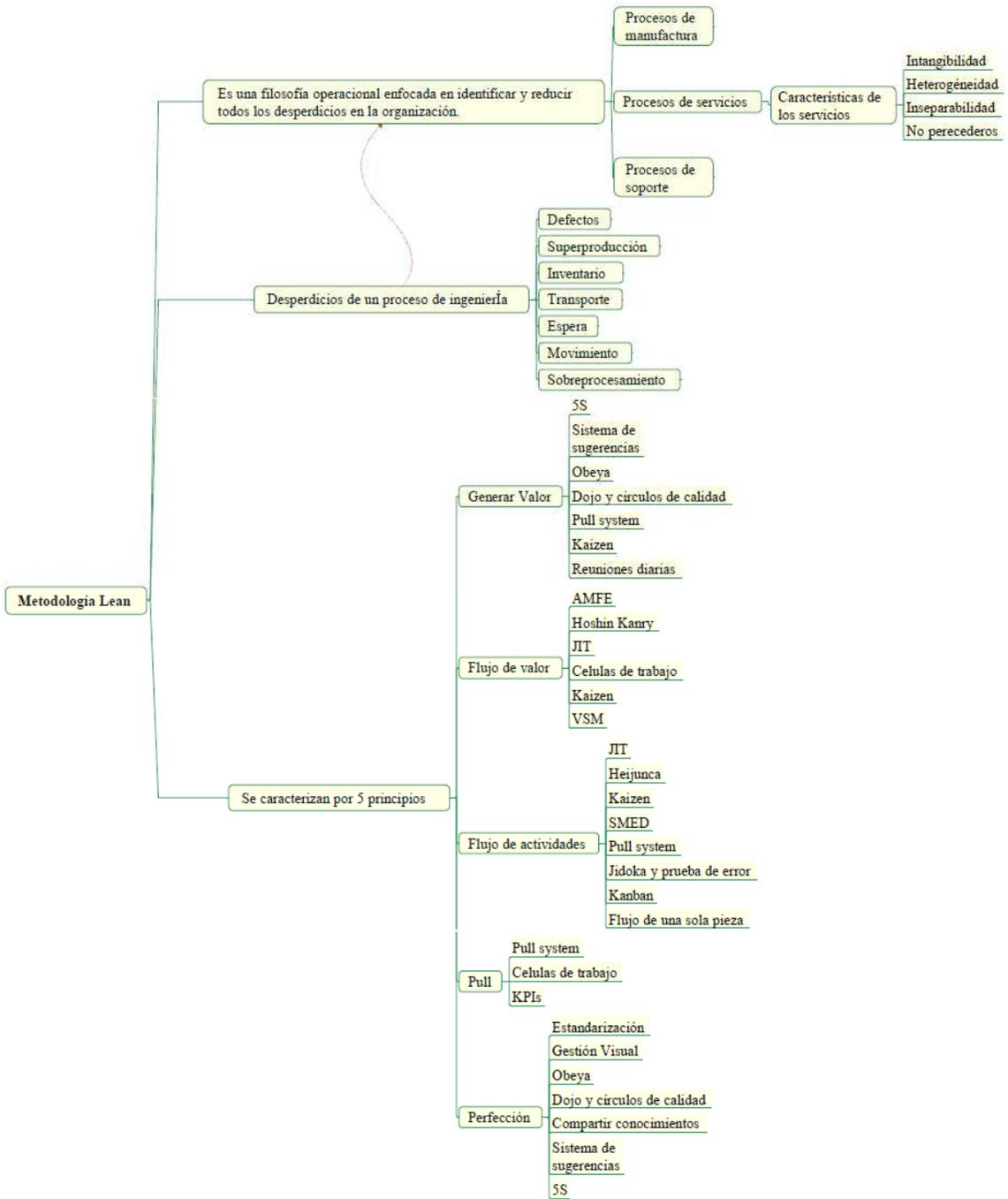
- La estructuración del modelo jerárquico (representación del problema mediante identificación de meta, criterios, subcriterios y alternativas).
- Priorización de los elementos del modelo jerárquico o comparaciones binarias entre los elementos.
- Evaluación de los elementos mediante asignación de “pesos” o ranking de las alternativas de acuerdo con los pesos dados.

- Síntesis.
- Análisis de Sensibilidad.

La base matemática del AHP trata directamente con pares ordenados de prioridades de importancia, preferencia o probabilidad de pares de elementos en función de un atributo o criterio común representado en la jerarquía de decisión. El AHP hace posible la toma de decisiones grupal mediante el agregado de opiniones, de tal manera que satisfaga la relación recíproca al comparar dos elementos, luego toma el promedio geométrico de las opiniones. El método pide a quien toma las decisiones señalar una preferencia o prioridad con respecto a cada alternativa de decisión en términos de la medida en la que contribuya a cada criterio. Teniendo la información sobre la importancia relativa y las preferencias, se utiliza el proceso matemático denominado síntesis, para resumir la información y para proporcionar una jerarquización de prioridades de las alternativas, en términos de la preferencia global. Como resultado se obtiene una jerarquización con prioridades que muestran la preferencia global para cada una de las alternativas de decisión (Saaty & Wiley, 2009).

En la Figura 10.2, se presenta el resumen del marco teórico de la metodología Lean, en relación a los desperdicios que se presentan en un proceso de ingeniería y un proceso de producción, y se presentan las herramientas Lean definidas en relación a cada uno de los cinco principios Lean.

Figura 10.2 Mapa de las herramientas Lean



Fuente: Elaboración propia

## 10.12. Importancia de la productividad en las organizaciones

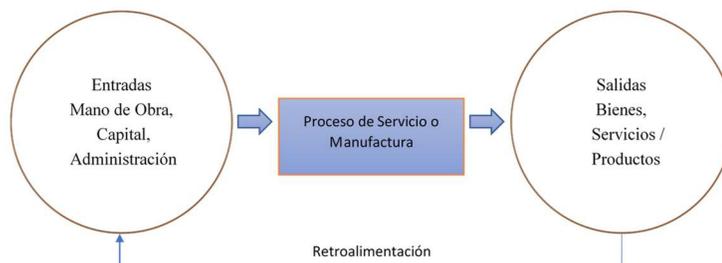
La productividad puede definirse de manera diferente para cada sector de la industria, para el sector de la salud, la productividad se puede definir como el número de pacientes atendidos por turno, para una planta de producción como el número de partes o productos por hora de producción, todo lo anterior se reduce al simple concepto de lograr más con menos (Forcke, 2014).

La productividad es uno de los aspectos y parámetros más importantes en la determinación de las ganancias, beneficios y el éxito de los negocios (Nagarale, Shweta V., Abhishek K. Patil (M.Tech.Industrial, Rajesh J. Dhake, 2017) es considerada como un indicador importante para mostrar el desempeño en una industria (Chan Sin et al., 2014). La mejora de la productividad comenzó a ser prioridad en las organizaciones en la década de los ochenta porque se consideraba un concepto que podía relacionarse con temas importantes como la posición competitiva, la supervivencia de las organizaciones y la calidad de vida de los individuos (Sparrow, 2016).

### 10.12.1. Cálculo de la productividad en las organizaciones

De acuerdo con Mohammed Sarhan Al *et al.*, es difícil definir una medida estándar de productividad, esto debido a que las empresas utilizan sus sistemas internos que no están estandarizados. En general, el consenso es definir la productividad como una relación entre las salidas de un proceso de producción y las entradas requeridas, bajo ciertas condiciones de producción (Mohammed Sarhan Al - Zwainy, Abed - Alla Eiada, & Abed - Almajed Khaleel, 2016). La Figura 10.3 representa la productividad en un proceso de servicio o manufactura.

Figura 10.3 Representación del cálculo de la productividad



Fuente: (Mohammed Sarhan Al - Zwainy, Abed - Alla Eiada, & Abed - Almajed Khaleel, 2016)

La productividad se puede determinar mirando la producción obtenida (efectividad) frente al esfuerzo invertido para alcanzar el resultado (eficiencia), es decir, si podemos alcanzar más con menos esfuerzo, el nivel de productividad aumenta, por lo tanto la productividad se podría calcular como la relación entre la eficiencia y efectividad de la organización (Azadeh, & Zarrin, 2016), o como la relación entre la producción en un periodo de tiempo y la cantidad de productos o bienes y servicios que se pueden obtener en el periodo de tiempo (Ewing, & Thompson, 2007).

### **10.12.2. Productividad de la mano de obra en los proyectos de ingeniería**

La productividad de la mano de obra significa la medida de la forma como una entidad utiliza sus recursos para producir sus productos, bienes o servicios (Paul Sparrow, 2016). La productividad de la mano de obra en los proyectos de ingeniería se puede calcular como el crecimiento del producto real, en relación con el crecimiento de las horas trabajadas (Eldrige, 2016). El costo de la mano de obra suele representar entre el 30 y el 50 % del costo total del proyecto (Liao et al., 2012), por lo tanto existe un creciente interés en la gestión de los factores que contribuyen a la mejora de la productividad de la mano de obra en los proyectos de ingeniería (Azadeh & Zarrin, 2016).

Según Aynur Kazaz *et al*, La productividad de la mano de obra se convirtió en un tema crucial para la rentabilidad de los proyectos. Del mismo modo, debido al tamaño económico de la industria, el aumento de la productividad de la mano de obra también contribuye significativamente al ingreso nacional (Kazaz, Ulubeylø, Acikara, & Er, 2016).

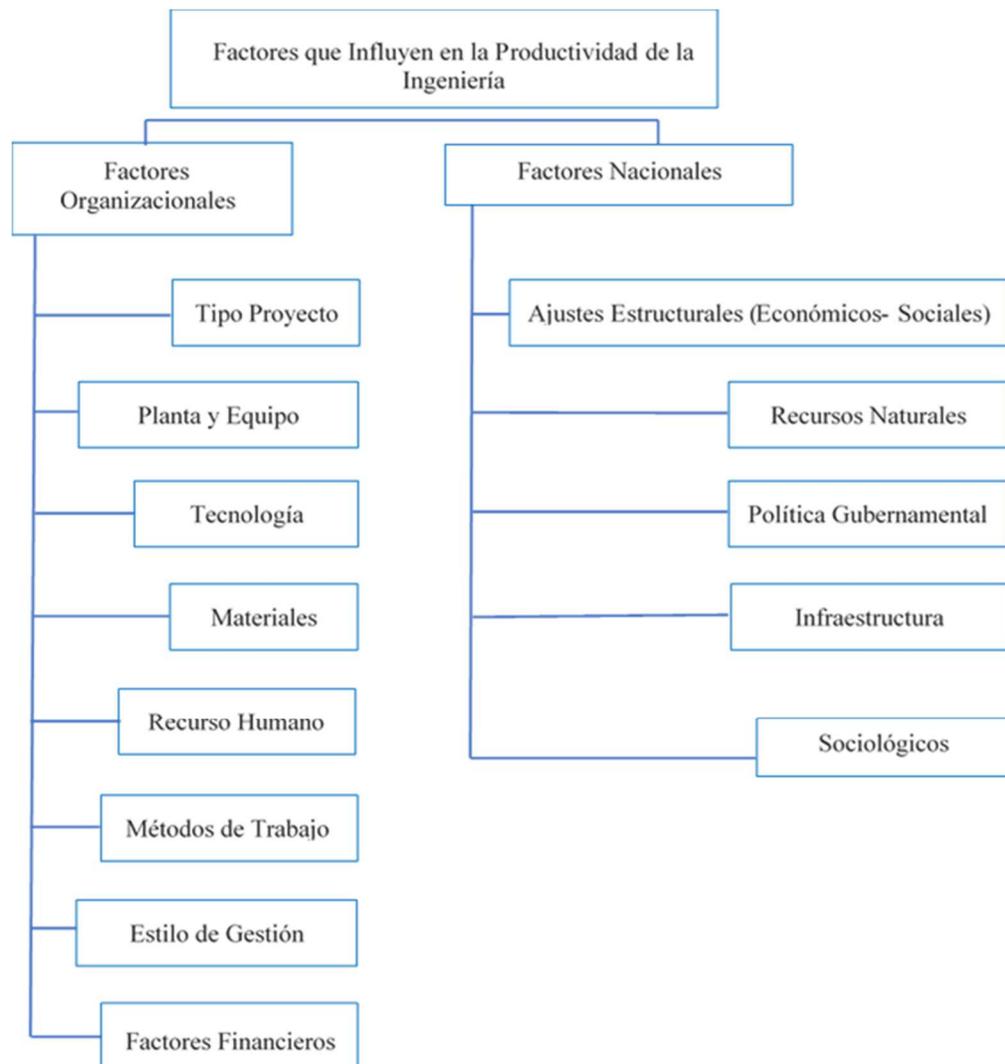
### **10.12.3. Factores que afectan la productividad en ingeniería**

De acuerdo con Faiq Mohammed Sarhan Al-Zwainy *et al*, señalan que los factores que influyen en la productividad de la mano de obra en la ingeniería han sido objeto de diferentes investigaciones y se ha concluido que para mejorar la productividad es necesario un estudio de los factores que la afectan negativamente. Según J.K Yates en su libro *Productivity improvement for construction and engineering*, plantea que los resultados adversos de la productividad en los proyectos de ingeniería pueden explicarse sobre la base de los siguientes factores (Yates, 2014): Factores relacionados con la tecnología, factores relacionados con el material e información,

factores relacionados con el recurso humano, factores sociales y factores relacionados con ajustes estructurales.

La Figura 10.4, corresponde a los factores que pueden afectar la productividad, de acuerdo con el planteamiento de J.K Yates se han clasificado en factores organizacionales y factores relacionados con políticas gubernamentales.

Figura 10.4 Factores que afectan la productividad



Fuente: Elaboración propia, basado en "Productivity Improvement for Construction and Engineering" (Yates, 2014)

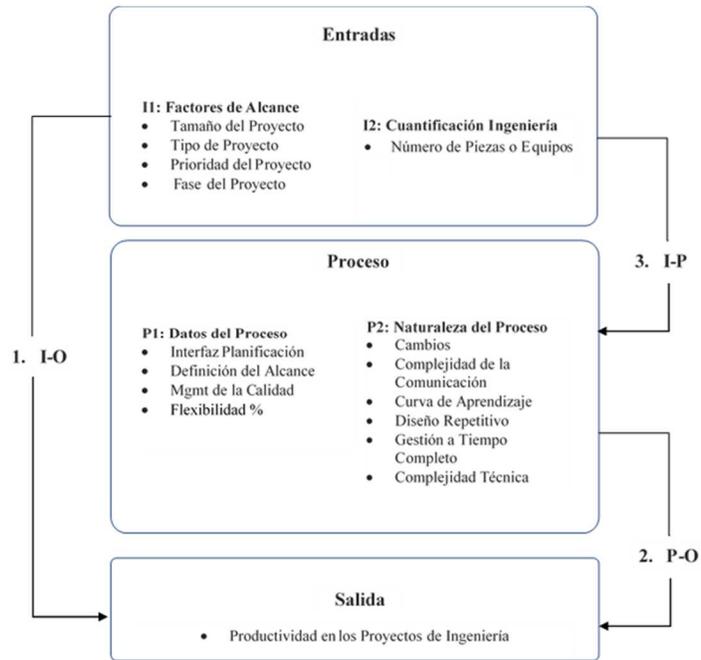
Según Aynur Kazaz *et al*, Existen 37 factores que afectan la productividad, a continuación, se mencionan los factores más relevantes:

- a) Experiencia y competencias de los trabajadores:
- b) Falta de un esquema de incentivo financiero para el trabajador.
- c) Retrabajos relacionados con la gestión de cambios del proyecto.
- d) Competencias del gerente del proyecto.
- e) Disponibilidad del material en el lugar de trabajo.
- f) Claridad en las especificaciones técnicas

Autores como Pin-Chao Liao *et al*, han identificado otros factores que afectan la productividad de la mano de obra en la ingeniería y las han clasificado en 2 categorías: entradas y procesos (Liao *et al*, 2011).

La Figura 10.5 representa el modelo de sistema con los factores, que según Pin-Chao Liao *et al*, Tienen impacto sobre la productividad. Las características del proyecto se clasifican como variables de entrada y la gestión de las operaciones son clasificadas como variables de procesos, factores que afectan la variable de salida identificada como productividad en los proyectos de ingeniería (Liao *et al*, 2011).

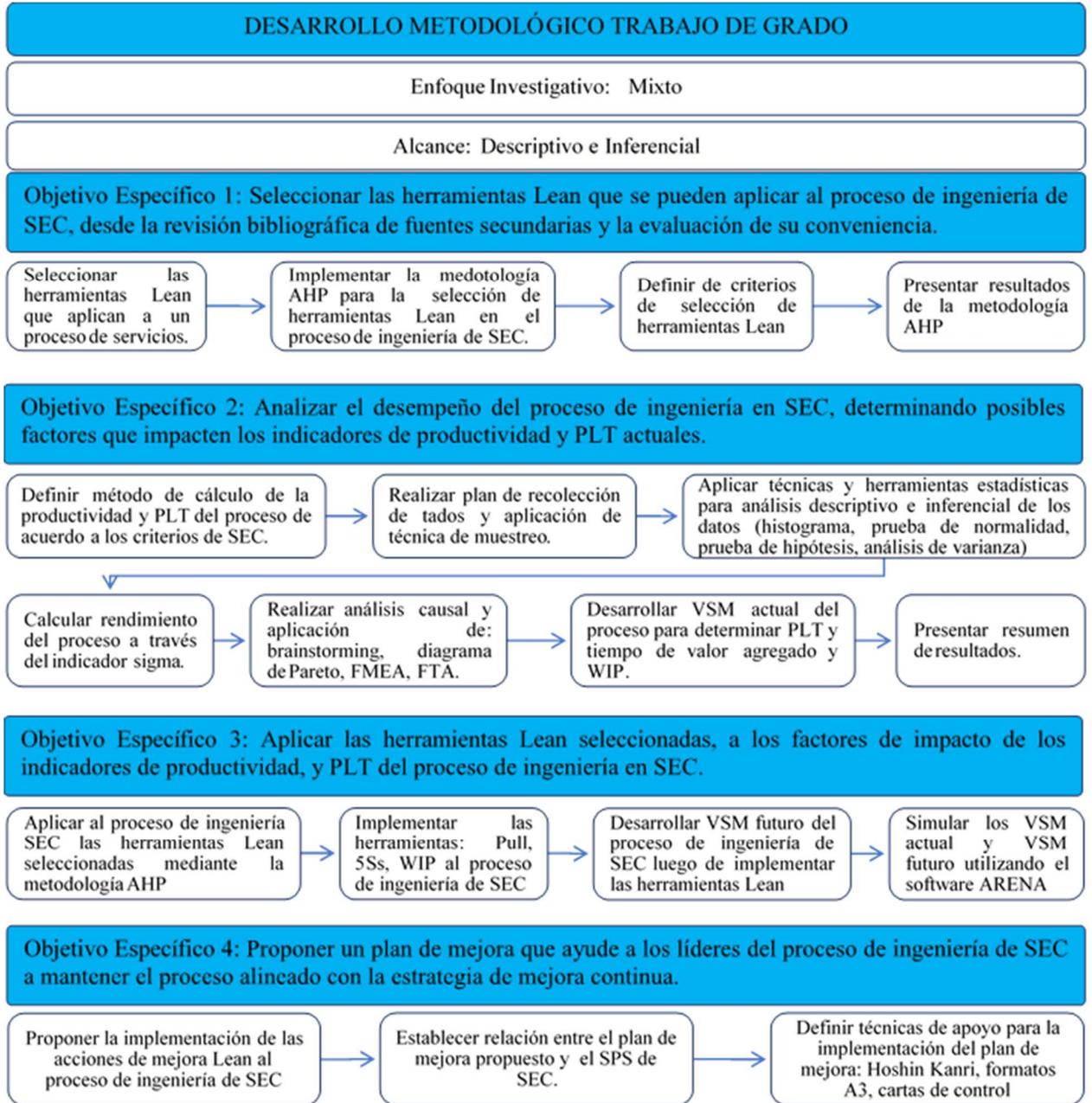
Figura 10.5 Factores de entrada y proceso que afectan la productividad



Fuente: Elaboración propia basada en el artículo *Factors Affecting Engineering Productivity* (Liao et al., 2011.)

# 11. Metodología de investigación del trabajo de grado

Tabla 11-1 Desarrollo metodológico para el trabajo de grado



Fuente: Elaboración propia

La metodología utilizada para el desarrollo del presente proyecto de grado se basa en un enfoque investigativo mixto, donde se combinan algunos componentes del enfoque cuantitativo y cualitativo para desarrollar los objetivos específicos. El alcance del enfoque investigativo será descriptivo e inferencial. A continuación, se indican las principales actividades a realizar para el desarrollo de cada uno de los objetivos específicos, y que se resumen en la Tabla 11-1.

### **Actividades para desarrollar objetivo Especifico 1**

Seleccionar las herramientas Lean de acuerdo con la revisión bibliográfica realizada de autores, entrevista a fuentes expertas consultadas, artículos y libros relacionada con lean engineering, lean service y su aplicación en empresas bajo un modelo de producción ETO. La selección de las herramientas se realiza por medio de la metodología AHP.

### **Actividades para desarrollar objetivo Especifico 2**

Analizar el desempeño del proceso de ingeniería de SEC para determinar posibles factores que impacten negativamente los KPI de productividad y PLT por medio de:

- Definir método de cálculo de la productividad y el PLT del proceso de ingeniería de acuerdo con los criterios SEC.
- Realizar un plan de recolección de datos, y definición operacional de los datos del proceso de ingeniería de SEC.
- Aplicar técnica de muestreo para el análisis de una muestra representativa de los datos del proceso.
- Aplicar técnicas y herramientas de estadística descriptiva como, histogramas y prueba Anderson- Darling para determinar normalidad de los datos.
- Realizar análisis inferencial aplicando técnicas estadísticas como Boxplot pruebas de hipótesis, análisis de varianza (Anova) y método Tukey.
- Determinar el rendimiento actual del proceso de ingeniería de SEC por medio de análisis de capacidad discreto e indicador sigma del proceso.

- Realizar análisis causal a través de la aplicación de técnicas cualitativa como FMEA, FTA, diagrama de Pareto, para identificar posibles factores que impacten la productividad del proceso de ingeniería de SEC.
- Desarrollar el VSM actual de proceso para determinar el PLT actual, tiempos de valor agregado, tiempos de valor no agregado y WIP del proceso.

### **Actividades para desarrollar objetivo Especifico 3**

Aplicar al proceso de ingeniería de SEC las herramientas Lean seleccionadas mediante la metodología AHP, como alternativas de solución para los factores y posibles causas raizales que estén afectando los KPI de productividad y PLT del proceso.

- Desarrollar VSM futuro recomendado para el proceso de ingeniería de SEC.
- Realizar simulación del VSM actual y futuro para la validación de las alternativas de mejoras seleccionadas.

### **Actividades para desarrollar objetivo Especifico 4**

Proponer un plan de implementación de la metodología Lean para el proceso de ingeniería de SEC, soportados en técnicas como PHVA, Hoshin Kanri, cartas de control y aplicación del formato A3.

## **12. Evaluación de las herramientas Lean que pueden ser implementadas en el proceso de ingeniería de SEC**

Para la evaluación de las herramientas Lean que pueden ser aplicadas a un proceso de servicios como lo es el proceso de ingeniería de SEC, se implementa la metodología AHP.

### **12.1. Objeto del proceso de análisis jerárquico AHP en la selección de herramientas Lean para el proceso de ingeniería de SEC**

Evaluar e identificar las herramientas Lean que por sus características aportan a la mejora continua de la productividad y el PLT del proceso de ingeniería de SEC, considerando como referencia los criterios de selección que se presentan a continuación.

#### **12.1.1. Criterios para la selección de herramientas Lean que pueden ser implementadas al proceso de ingeniería de SEC**

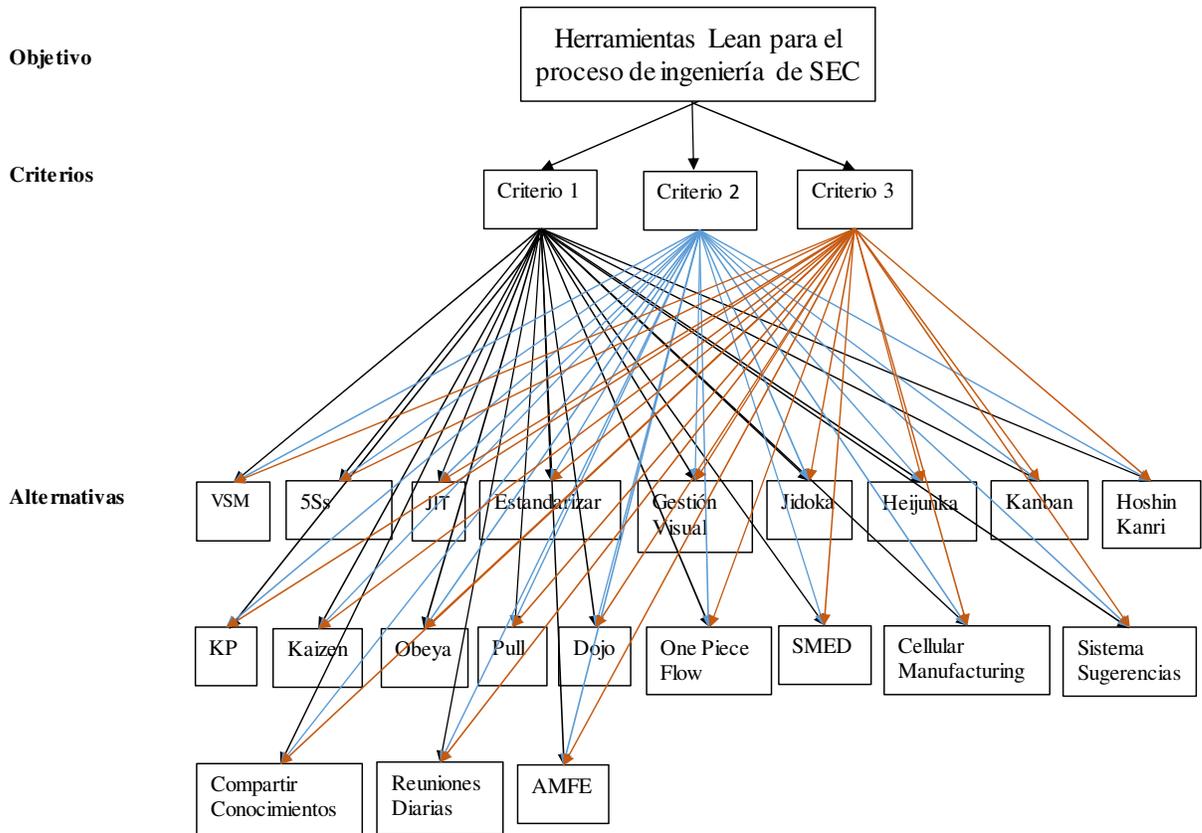
Los criterios de selección de las herramientas Lean evaluadas en este trabajo de grado, se definen teniendo en cuenta el interés de Schneider Electric en la implementación de las mismas al proceso de ingeniería, y considerando la opinión de algunos expertos en metodología Lean en la industria y la academia (ver anexo A. Entrevista 1 Gustavo Gómez, y Anexo B. Entrevista 2 Glenn Ballard) con el objetivo de mejorar la productividad y PLT del proceso. Se proponen los siguientes tres criterios:

1. Herramientas Lean enfocadas a la eliminación de desperdicios en un proceso de diseño.
2. Herramientas que ayudan a optimizar el PLT
3. Facilidad de implementación con relación al costo y tiempo requerido.

### **12.2. Árbol de jerarquías**

A través del árbol de jerarquías de la Figura 12.1, se representan: el objetivo del caso de estudio, los criterios de selección de las herramientas Lean definidas y la relación de cada una de las herramientas con cada uno de los criterios de selección.

Figura 12.1 Árbol de jerarquías para la selección de prioridades en la evaluación de las herramientas Lean aplicadas al proceso de ingeniería SEC.



Fuente: Elaboración propia

### 12.2.1. Evaluación del modelo propuesto para la implementación de herramientas Lean, usando el método AHP

Luego de realizar el análisis de cada una de las herramientas propuestas por su viabilidad para ser implementadas en un proceso de servicios como el proceso de ingeniería de SEC, se procede a establecer la matriz de prioridades de acuerdo con la metodología AHP.

### 12.2.2. Definición de escala de preferencias o prioridades entre criterios

Para realizar las comparaciones entre criterios, se debe considerar una escala numérica de referencia que permita indicar cuantas veces es más importante un criterio respecto de otro, en relación con el criterio de nivel superior al que ambos se vinculan. Para ello Saaty propone una escala fundamental, con valores del uno al nueve, cuyo significado se recoge en la Tabla 12-1. En situaciones donde el criterio que se compara con el resto de criterios asociados a un atributo en común, de un nivel superior, no presente dominación sobre ellos, sino que sea dominado, la escala fundamental se interpreta a la inversa con valores que van de 1 a 1/9 (Saaty & Wiley, 2009).

Tabla 12-1 Escala numérica de intensidad

Escala Numérica Intensidad o importancia	Escala Verbal Definición	Explicación
1	Misma importancia	Los dos criterios contribuyen en igual medida
2	Leve importancia	
3	Importancia o preferencia moderada	Se prioriza moderadamente un criterio sobre el otro, basándose en la experiencia y el razonamiento
4	Mayor que moderada	
5	Importancia o preferencia fuerte	Se prioriza fuertemente un criterio sobre el otro, basándose en la experiencia y el razonamiento
6	Mayor que fuerte	
7	Importancia o preferencia muy fuerte	Se prioriza muy fuertemente un criterio sobre el otro, esta dominancia está demostrada en la práctica
8	Realmente fuerte	
9	Importancia o preferencia extremadamente fuerte	La priorización de un criterio sobre el otro alcanza el mayor valor posible

Fuente: (Saaty & Wiley, 2009)

Para el análisis de este caso de estudio se evalúan los criterios y herramientas considerando las intensidades numéricas de mayor peso (1, 5, 9) de la escala de intensidades de priorización.

### 12.2.3. Emisión de juicios y evaluación de criterios de selección de herramientas

En la Tabla 12-2, se presentan los criterios de selección de herramientas Lean, los cuales son evaluados de acuerdo con la escala de Saaty, bajo las preferencias establecidas por el equipo de trabajo.

Tabla 12-2 Matriz de priorización de criterios para la selección de herramientas aplicadas al proceso de diseño SEC

Matriz de prioridades o criterios					
	1. Herramientas Lean enfocadas a la eliminación de desperdicios en un proceso de diseño	2. Herramientas que ayudan a optimizar el PLT	3. Facilidad de implementación de la herramienta Lean con relación al costo y tiempo requerido	Suma	Porcentaje
1. Herramientas Lean enfocadas a la eliminación de desperdicios en un proceso de diseño		9	5	14,000	0,598
2. Herramientas que ayudan a optimizar el PLT	1/9		9	9,111	0,389
3. Facilidad de implementación de la herramienta Lean con relación al costo y tiempo requerido	1/5	1/9		0,311	0,013
<b>TOTAL</b>				<b>23,422</b>	<b>1</b>

Fuente: Elaboración propia con referencia de (Saaty & Wiley, 2009) (Pérez, 2016)

#### 12.2.4. Evaluación de las herramientas Lean de acuerdo con su importancia en relación con los criterios de selección definidos para su evaluación

En las tablas 11.5, 11.6 y 11.7 se presentan las matrices de comparación pareada, es decir las calificaciones numéricas expresadas por el equipo decisor. En esta etapa cada miembro del equipo de trabajo otorga una calificación numérica a cada una de las herramientas. Compara una herramienta con las demás opciones de la lista, de acuerdo con la escala de preferencias le da mayor o menor influencia, lo cual se traduce numéricamente, esto es el aporte de la herramienta para lograr el objetivo del criterio evaluado.

Tabla 12-3 Evaluación de herramientas vs el criterio 1, herramientas enfocadas a eliminar desperdicios en un proceso de diseño

Criterio 1. Herramientas Lean enfocadas a la eliminación de desperdicios en un proceso de diseño																					Suma de filas	Ponderado
	VSM / SVSM	5S y 6S	JIT	Estandarización	Gestión Visual	Jidoka y Prueba de error	Heijunka	Kanban	Hoshin Kanri	KPI	Kaizen	Obeya	Pull System	Dojo y Circuitos de calidad	One Piece Flow	SMED	Cellular Manufacturing	Suggestion Systems	Compartir conocimientos	Reuniones diarias		
VSM y/o SVSM	1,0	5,0	5,0	9,0	9,0	9,0	5,0	9,0	1,0	1,0	9,0	5,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	1,0	5,0	128,0	0,11
5S	1,0	1,0	9,0	9,0	5,0	5,0	5,0	9,0	9,0	1,0	9,0	5,0	9,0	1,0	5,0	9,0	9,0	9,0	9,0	5,0	120,0	0,11
Justo a Tiempo	0,2	1,0	9,0	9,0	9,0	1,0	1,0	9,0	9,0	1,0	9,0	1,0	9,0	9,0	5,0	9,0	9,0	9,0	5,0	5,0	119,2	0,10
Estandarización	0,2	0,1	0,1	9,0	9,0	5,0	5,0	5,0	5,0	9,0	5,0	1,0	9,0	5,0	5,0	9,0	9,0	9,0	5,0	5,0	109,4	0,10
Gestión Visual	0,1	0,1	0,1	0,1	9,0	0,2	0,1	1,0	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,2	10,6	0,01
Jidoka y Prueba de error	0,1	0,2	0,1	0,1	5,0	9,0	0,2	0,2	9,0	5,0	0,2	5,0	0,2	5,0	0,2	5,0	5,0	5,0	5,0	0,2	50,7	0,04
Heijunka	0,1	0,2	1,0	0,2	9,0	5,0	9,0	0,2	5,0	5,0	0,2	5,0	0,2	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	0,2	61,3	0,05
Kanban	0,2	0,2	1,0	0,2	9,0	5,0	5,0	9,0	9,0	1,0	9,0	1,0	9,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	0,2	83,8	0,07
Hoshin Kanri	0,1	0,1	0,1	0,2	1,0	0,1	0,2	0,1	9,0	0,1	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,2	9,5	0,01
Key Performance Indicator KPI	1,0	0,1	0,1	0,2	1,0	0,2	0,2	0,1	9,0	0,1	1,0	0,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	5,0	0,2	24,2	0,02
Kaizen	1,0	1,0	1,0	0,1	5,0	5,0	5,0	1,0	5,0	5,0	5,0	0,2	9,0	5,0	9,0	9,0	9,0	9,0	5,0	5,0	94,3	0,08
Obeya	0,1	0,1	0,1	0,2	1,0	0,2	0,2	0,1	1,0	1,0	0,1	9,0	0,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,2	1,0	11,5	0,01
Pull System	0,2	0,2	1,0	1,0	5,0	5,0	5,0	1,0	9,0	9,0	5,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	5,0	5,0	114,4	0,10
Dojo y Circuitos de calidad	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0	0,2	0,2	0,1	1,0	1,0	0,1	1,0	0,1	9,0	0,2	1,0	1,0	1,0	0,2	0,2	9,5	0,01
One Piece Flow	0,1	1,0	0,1	0,2	5,0	5,0	0,2	0,2	5,0	1,0	0,1	1,0	0,1	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	0,2	0,2	44,2	0,04
SMED	0,1	0,2	0,2	0,2	1,0	0,2	0,2	0,2	1,0	1,0	0,1	1,0	0,1	1,0	0,2	1,0	1,0	1,0	0,2	0,2	9,9	0,01
Cellular Manufacturing	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0	0,2	0,2	0,2	1,0	1,0	0,1	1,0	0,1	1,0	0,2	1,0	1,0	1,0	1,0	0,2	10,4	0,01
Suggestion Systems	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0	0,2	0,2	0,2	1,0	1,0	0,1	1,0	0,1	1,0	0,2	1,0	1,0	1,0	1,0	0,2	10,4	0,01
Compartir conocimientos	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0	0,2	0,2	0,2	1,0	1,0	0,1	1,0	0,1	1,0	0,2	1,0	1,0	1,0	1,0	0,2	10,4	0,01
Reuniones diarias	1,0	0,2	0,2	0,2	1,0	5,0	5,0	5,0	1,0	0,2	0,2	5,0	0,2	5,0	5,0	5,0	1,0	1,0	1,0	0,2	42,4	0,04
AMFE	0,2	0,2	0,2	0,2	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	0,2	1,0	0,2	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	67,2	0,06
<b>TOTAL</b>																					<b>1141,30</b>	<b>1,00</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12-4 Evaluación de herramientas vs el criterio 2, herramientas que ayudan a optimizar el Lead Time

Criterio 2.Herramientas que ayudan a optimizar el PLT																					Suma de filas	Ponderado	
	VSM / SVSM	5S y 6S	JIT	Estandarización	Gestión Visual	Jidoka y Prueba de error	Heijunka	Kanban	Hoshin Kanri	KPI	Kaizen	Obeya	Pull System	Dojo y Circulos de calidad	One Piece Flow	SMED	Cellular Manufacturing	Suggestion Systems	Compartir conocimientos	Reuniones diarias			AMFE
VSM y/o SVSM	9,0	5,0	5,0	9,0	5,0	0,2	9,0	9,0	9,0	1,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	5,0	9,0	9,0	9,0	1,0	5,0	135,2	0,11
5S	0,1	1,0	1,0	5,0	9,0	9,0	5,0	5,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	1,0	9,0	9,0	9,0	5,0	5,0	135,1	0,11
Justo a Tiempo	0,2	1,0	5,0	9,0	9,0	1,0	5,0	9,0	9,0	1,0	9,0	9,0	9,0	9,0	5,0	9,0	9,0	9,0	9,0	5,0	5,0	127,2	0,10
Estandarización	0,2	0,2	0,2	9,0	9,0	9,0	0,2	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	5,0	9,0	9,0	5,0	9,0	9,0	9,0	0,2	5,0	124,0	0,10
Gestión Visual	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0	0,1	0,1	1,0	1,0	0,1	1,0	0,2	1,0	1,0	0,1	1,0	1,0	1,0	0,2	0,1	0,1	10,3	0,01
Jidoka y Prueba de error	0,2	0,1	0,1	0,1	1,0	0,1	0,1	1,0	1,0	0,1	1,0	0,2	1,0	1,0	0,1	1,0	1,0	1,0	0,2	0,2	0,2	10,5	0,01
Heijunka	5,0	0,2	1,0	0,1	9,0	9,0	5,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	1,0	9,0	9,0	9,0	5,0	1,0	1,0	126,3	0,10
Kanban	0,1	0,2	0,2	5,0	9,0	9,0	0,2	10,0	5,0	0,2	5,0	5,0	5,0	5,0	1,0	5,0	5,0	5,0	0,2	0,2	0,2	75,3	0,06
Hoshin Kanri	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0	1,0	0,1	0,1	1,0	0,1	1,0	0,2	1,0	0,2	0,2	1,0	1,0	1,0	0,1	0,2	0,2	9,6	0,01
Key Performance Indicator KPI	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0	1,0	0,1	0,2	1,0	0,1	1,0	0,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,1	1,0	1,0	12,1	0,01
Kaizen	1,0	0,1	1,0	0,1	9,0	9,0	0,1	5,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	1,0	5,0	5,0	121,3	0,10
Obeya	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0	1,0	0,1	0,2	1,0	1,0	0,1	1,0	1,0	1,0	0,2	1,0	1,0	1,0	0,1	0,2	0,2	11,3	0,01
Pull System	0,1	0,1	0,2	5,0	5,0	0,2	0,2	9,0	9,0	0,2	9,0	0,2	9,0	5,0	5,0	0,2	5,0	5,0	0,2	5,0	5,0	68,5	0,05
Dojo y Circulos de calidad	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0	1,0	0,1	0,2	1,0	1,0	0,1	1,0	0,2	1,0	0,2	1,0	1,0	1,0	0,1	0,2	0,2	10,5	0,01
One Piece Flow	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0	1,0	0,1	0,2	5,0	1,0	0,1	1,0	0,2	1,0	5,0	5,0	5,0	5,0	0,1	5,0	5,0	36,1	0,03
SMED	0,2	1,0	0,2	0,2	9,0	9,0	1,0	1,0	5,0	1,0	0,1	5,0	5,0	5,0	0,2	5,0	5,0	5,0	0,1	0,2	0,2	58,2	0,05
Cellular Manufacturing	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0	1,0	0,1	0,2	1,0	1,0	0,1	1,0	0,2	1,0	0,2	0,2	1,0	1,0	0,1	5,0	5,0	14,5	0,01
Suggestion Systems	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0	1,0	0,1	0,2	1,0	1,0	0,1	1,0	0,2	1,0	0,2	0,2	1,0	1,0	0,1	5,0	5,0	14,5	0,01
Compartir conocimientos	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0	1,0	0,1	0,2	1,0	1,0	0,1	1,0	0,2	1,0	0,2	0,2	1,0	1,0	0,1	0,2	0,2	9,7	0,01
Reuniones diarias	1,0	0,2	0,2	5,0	5,0	5,0	0,2	5,0	9,0	9,0	1,0	9,0	5,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	0,2	0,2	0,2	108,8	0,09
AMFE	0,2	0,2	0,2	0,2	9,0	5,0	1,0	5,0	5,0	1,0	0,2	5,0	0,2	5,0	0,2	5,0	0,2	5,0	5,0	5,0	5,0	52,8	0,041515962
<b>TOTAL</b>																					<b>1271,8</b>	<b>1</b>	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12-5 Evaluación de herramientas vs el criterio 3, facilidad de implementación de la herramienta

Criterio 3. Facilidad de implementación con relación al costo y tiempo requerido.																					Suma de filas	Ponderado	
	VSM / SVSM	5S & 6S	JIT	Estandarización	Gestión Visual	Jidoka y Prueba de error	Heijunka	Kanban	Hoshin Kanri	KPI	Kaizen	Obeya	Pull System	Dojo y Círculos de calidad	One Piece Flow	SMED	Cellular Manufacturing	Suggestion Systems	Compartir conocimientos	Reuniones diarias			AMFE
VSM y/o SVSM	9.0	9.0	9.0	5.0	9.0	9.0	9.0	9.0	1.0	5.0	1.0	5.0	1.0	9.0	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	5.0	1.0	104.00	0.10
5S	0.1	5.0	5.0	1.0	5.0	5.0	5.0	5.0	1.0	5.0	9.0	5.0	0.2	1.0	1.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.0	55.10	0.05
Justo a Tiempo	0.1	0.2	1.0	1.0	5.0	5.0	1.0	1.0	1.0	0.2	1.0	0.1	1.0	0.2	1.0	1.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	19.80	0.02
Estandarización	0.1	0.2	1.0	9.0	1.0	1.0	9.0	1.0	0.2	9.0	9.0	5.0	9.0	9.0	1.0	0.1	0.1	0.1	1.0	1.0	0.1	65.90	0.06
Gestión Visual	0.2	1.0	0.2	0.1	5.0	9.0	5.0	5.0	5.0	9.0	1.0	0.2	1.0	5.0	9.0	1.0	1.0	1.0	0.1	0.1	0.1	58.80	0.06
Jidoka y Prueba de error	0.1	0.2	0.2	1.0	0.2	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	9.0	1.0	9.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.2	0.1	0.1	50.90	0.05
Heijunka	0.1	0.2	1.0	1.0	0.1	0.2	1.0	1.0	1.0	1.0	0.2	1.0	0.2	1.0	1.0	0.2	0.2	0.2	1.0	0.1	0.1	11.60	0.01
Kanban	0.1	0.2	1.0	0.1	0.2	0.2	1.0	1.0	1.0	1.0	9.0	1.0	9.0	5.0	5.0	5.0	5.0	9.0	1.0	0.2	0.2	55.00	0.05
Hoshin Kanri	0.1	0.2	1.0	1.0	0.2	0.2	1.0	1.0	1.0	1.0	9.0	0.2	1.0	5.0	5.0	1.0	1.0	1.0	9.0	0.2	0.2	43.10	0.04
Key Performance Indicator KPI	1.0	1.0	5.0	5.0	0.2	0.2	1.0	1.0	1.0	1.0	9.0	5.0	9.0	9.0	5.0	1.0	5.0	5.0	5.0	5.0	1.0	70.40	0.07
Kaizen	0.2	0.2	1.0	0.1	0.1	0.2	1.0	1.0	0.2	1.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	1.0	0.2	0.2	7.10	0.01
Obeya	1.0	0.1	9.0	0.1	1.0	0.1	5.0	0.1	0.1	0.1	9.0	5.0	5.0	1.0	5.0	1.0	1.0	1.0	9.0	1.0	1.0	50.60	0.05
Pull System	0.2	0.2	1.0	0.2	5.0	1.0	1.0	5.0	0.2	9.0	0.2	9.0	0.2	9.0	1.0	9.0	5.0	1.0	1.0	9.0	0.1	59.10	0.06
Dojo y Círculos de calidad	1.0	5.0	5.0	0.1	1.0	0.1	5.0	0.1	1.0	0.1	9.0	1.0	0.1	9.0	5.0	1.0	1.0	1.0	0.2	1.0	1.0	42.70	0.04
One Piece Flow	0.1	1.0	1.0	0.1	0.2	1.0	1.0	0.2	0.2	0.1	9.0	1.0	1.0	0.2	1.0	1.0	0.2	0.2	0.2	5.0	0.1	22.80	0.02
SMED	0.2	1.0	1.0	1.0	0.1	1.0	1.0	0.2	0.2	0.2	5.0	0.2	0.1	0.2	1.0	0.1	0.1	0.1	5.0	0.2	0.2	17.90	0.02
Cellular Manufacturing	1.0	5.0	5.0	9.0	1.0	1.0	5.0	0.2	1.0	1.0	9.0	1.0	0.2	1.0	5.0	9.0	1.0	1.0	9.0	1.0	1.0	66.40	0.06
Suggestion Systems	1.0	5.0	5.0	9.0	1.0	1.0	5.0	0.2	1.0	0.2	9.0	1.0	1.0	1.0	5.0	9.0	1.0	1.0	9.0	1.0	1.0	66.40	0.06
Compartir conocimientos	1.0	5.0	5.0	9.0	1.0	1.0	5.0	1.0	1.0	0.2	9.0	1.0	1.0	1.0	5.0	9.0	1.0	1.0	9.0	1.0	1.0	67.20	0.06
Reuniones diarias	0.2	5.0	5.0	1.0	9.0	5.0	1.0	1.0	0.1	0.2	1.0	0.1	0.1	5.0	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	1.0	1.0	35.40	0.03
AMFE	1.0	1.0	5.0	9.0	9.0	9.0	9.0	5.0	5.0	1.0	5.0	1.0	9.0	1.0	9.0	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	88.00	0.08
<b>TOTAL</b>																					<b>1058.20</b>	<b>1</b>	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12-6 Matriz de sintetización

	1. Herramientas Lean Manufacturing enfocadas a la eliminación de desperdicios en un proceso de diseño	2. Herramientas que ayudan a optimizar el tiempo en proceso "Lead Time"	3. Facilidad de implementación con relación al costo y tiempo requerido
VSM y/o SVSM (Scott Smith, Andres Lopez)	0.11	0.10	0.10
5Sy & 6S (Scott Smith, Andres Lopez)	0.11	0.10	0.05
Justo a Tiempo (M. Frater)	0.11	0.10	0.02
Estandarización (Andres Lopez)	0.10	0.09	0.06
Gestión Visual (Andres Lopez)	0.01	0.01	0.06
Jidoka y Prueba de error (Andres Lopez)	0.04	0.01	0.05
Heijunka (Andres Lopez)	0.05	0.09	0.01
Kanban (Andres Lopez)	0.07	0.06	0.05
Hoshin Kanri (Andres Lopez)	0.01	0.01	0.04
Key Performance Indicator KPI (Andres Lopez)	0.02	0.01	0.07
Kaizen (M. Frater, Andres Lopez)	0.08	0.08	0.01
Obeya (Toyota)	0.01	0.01	0.05
Pull System (Andres Lopez, )	0.11	0.10	0.06
Dojo y Circulos de calidad (Andres Lopez)	0.01	0.01	0.04
One Piece Flow (Scott Smith)	0.04	0.03	0.02
SMED (Scott Smith)	0.01	0.04	0.02
Cellular Manufacturing (Scott Smith)	0.01	0.01	0.06
Suggestion Systems (M.Frater)	0.01	0.01	0.06
Compartir conocimientos (Andres Lopez)	0.01	0.01	0.06
Reuniones diarias (Becoming a Lean Service Busin	0.03	0.09	0.03
AMFE	0.06	0.04	0.08

Fuente: Elaboración propia

### 12.3. Herramientas seleccionadas luego de aplicar la metodología AHP

La prioridad global para cada alternativa de decisión se resume en el vector columna al inicio de la Tabla 12-7, resulta del producto de la matriz de prioridades con el vector de prioridades de los criterios de la matriz. Luego de organizar según su puntuación se tiene:

Tabla 12-7 Herramientas seleccionadas utilizando el método AHP

VSM y/o SVSM	0.113
5S	0.107
Justo a Tiempo	0.105
Estandarización	0.098
Pull System	0.088
Kaizen	0.082
Heijunka	0.071
Kanban	0.067
Reuniones diarias	0.056
AMFE	0.050
One Piece Flow	0.033
Jidoka y Prueba de error	0.029
SMED	0.023
Key Performance Indicator KPI	0.017
Cellular Manufacturing	0.010
Suggestion Systems	0.010
Obeya	0.010
Gestión Visual	0.009
Compartir conocimientos	0.009
Dojo y Círculos de calidad	0.008
Hoshin Kanri	0.008

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, luego de aplicar la metodología AHP a la lista de herramientas Lean identificadas y propuestas como viables para ser implementadas al proceso de ingeniería de SEC, se tiene que las herramientas seleccionadas corresponden a:

- VSM
- 5S
- Justo a Tiempo (JIT)
- Estandarización
- Pull System

### 13. Análisis estadístico de la productividad y el PLT del proceso de ingeniería de SEC

De acuerdo con lo indicado en el Manual de Calidad de SEC, durante los últimos diez años la compañía ha llevado a cabo planes corporativos innovadores que le han permitido implementar estrategias ambiciosas (Schneider Electric, 2014). SEC establece indicadores clave de desempeño para gestionar la satisfacción del cliente, la productividad y el desarrollo sostenible. Estos indicadores están vinculados directamente a las actividades y procesos claves de la organización, actúan como un instrumento para asegurar la cultura de la mejora continua y mantener una dinámica de productividad constante (Schneider Electric, 2017).

El análisis estadístico de los KPI de productividad y PLT del proceso de ingeniería de SEC se inicia estableciendo un plan de recolección de datos, que incluye la definición operacional de los mismos (ver Anexo C. Plan de recolección de datos). El plan de recolección de datos establecido ayuda a reunir y a clasificar los datos necesarios para desarrollar el análisis correspondiente, así mismo, permite establecer si los datos utilizados son significativos para el propósito del proyecto, es decir, que los datos sean suficientes, y que ayuden a entender y a precisar el problema (Hassan et al., 2016). En la Tabla 13-1 se muestra un resumen de la definición operacional de los datos.

Tabla 13-1 Resumen definición operacional de los datos

Datos		
Que?	Tipo de variable	Tipo de dato
Horas asignadas por celda.	Entrada	Continuo
Horas ejecutadas por celda.	Proceso	Continuo
Productividad	Salida	Continuo
PLT	Salida	Discreto - Atributo
Tipo de producto	Entrada	Discreto - Atributo
Nivel de dificultad	Entrada	Discreto - Atributo
Segmento de mercado	Entrada	Discreto - Atributo
Experiencia del diseñador	Proceso	Discreto - Conteo

Fuente: Elaboración propia

### **13.1. Cálculo de la productividad en el proceso de ingeniería de SEC**

La productividad del área de ingeniería de SEC hace referencia a la productividad en la mano de obra y se calcula como un porcentaje dado por la división entre: las horas asignadas para la elaboración de la ingeniería de una unidad de producto o celda y el tiempo invertido real o tiempo de ejecución para realizar dicho diseño (Schneider Electric, 2017).

$$\text{Productividad (\%)} = \{(H.A/H.E) - 1\} \times 100$$

Donde:

H.A: Corresponde a las horas de costo variable directo asignadas por celda según la oferta logística.

H.E: Corresponde a las horas de costo variable directo ejecutada por celda y reportadas en el sistema ERP (*Enterprise Resource Planning*) utilizado en SEC.

### **13.2. PLT en el proceso de ingeniería de SEC**

El desempeño del proceso de ingeniería tiene un gran impacto en las fases posteriores del proyecto, por lo tanto, tiene el potencial de afectar el resultado general del proyecto (Liao et al., 2011). De acuerdo con la OL, para realizar la ingeniería del producto, se ha establecido un PLT de 10 días laborales. Conforme a lo indicado por el personal de ingeniería el PLT establecido en la OL es resultado del *benchmarking* realizado con otras plantas de Schneider Electric de la región. En los 10 días establecidos como PLT los Ingenieros asignados al proyecto, deben desarrollar la ingeniería de las celdas y entregar la información requerida a los procesos subsecuentes para inicio de las compras y fabricación del producto final. Los 10 días asignados al proceso de ingeniería corresponde a un 10 % del PLT total de la cadena de valor.

#### **13.2.1. Técnicas y herramientas estadísticas para diferentes tipos de datos**

Tomando en cuenta la clasificación del tipo de dato, realizada durante la definición operacional de los datos, se definen algunas de las técnicas y herramientas estadísticas apropiadas (Kubiak & Benbow, 2009), para el análisis descriptivo e inferencial realizado a los KPI del proceso

de ingeniería de SEC. La Tabla 13-2 indica algunas de las técnicas estadísticas que se pueden utilizar cuando se tienen datos continuos y/o discretos.

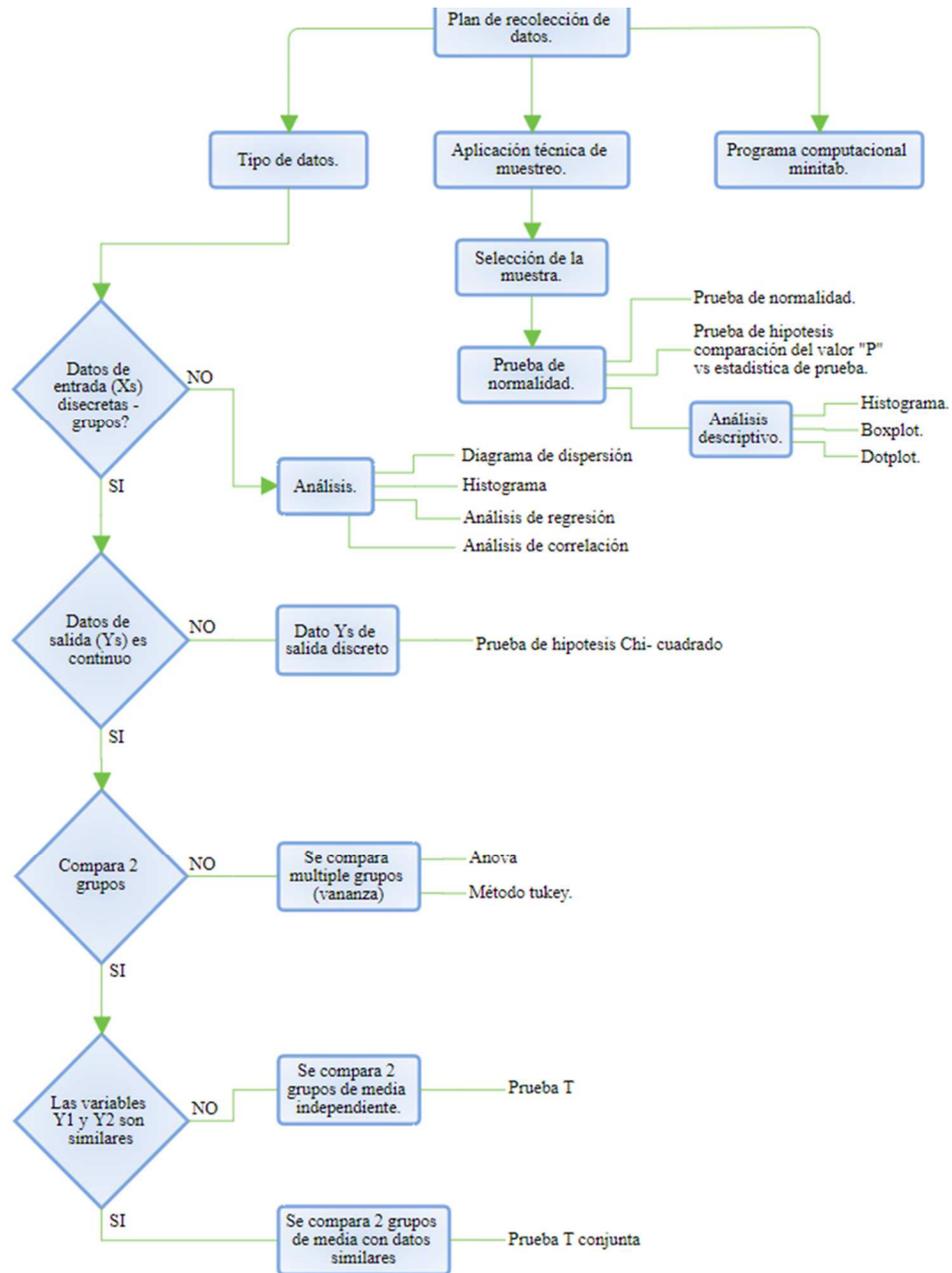
Tabla 13-2 Técnicas estadísticas para análisis de datos  
DATOS X

		Continuos	Discretos
DATOS Y	Continuos	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Diagrama de dispersión</li> <li>➤ Análisis de regresión</li> <li>➤ Análisis de correlación</li> <li>➤ Histogramas</li> <li>➤ Cartas de control para datos continuos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Histogramas estratificados.</li> <li>➤ Boxplot</li> <li>➤ Dotplot</li> </ul>
	Discretos	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Histogramas estratificados.</li> <li>➤ Boxplot</li> <li>➤ Dotplot</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tablas de resultados.</li> <li>➤ Análisis de capacidad. (Discreto)</li> <li>➤ Rendimiento del proceso. Indicador sigma</li> <li>➤ Gráfico de control para datos discreta</li> <li>➤ Diagrama de Pareto.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia basado en el libro “The Certified Six Sigma Blackbelt Handbook”(Kubiak & Benbow, 2009)

La Figura 13.1 muestra el modelo utilizado para la selección de las técnicas estadísticas utilizado para el análisis descriptivo e inferencial de los indicadores de productividad y PLT.

Figura 13.1 Modelo para la selección de técnicas estadísticas utilizadas en el análisis descriptivo e inferencial



Fuente: Elaboración propia basado en el libro "The Certified Six Sigma Blackbelt Handbook"(Kubiak & Benbow, 2009)

Conforme a lo indicado por Gupta *et al.*, resulta importante el cálculo de una muestra que represente adecuadamente a la población de la que se extraen los datos, para que se pueda realizar verdaderas inferencias sobre la población (Gupta, Attri, Singh, Kaur, & Kaur, 2016). En el desarrollo del plan de recolección de datos se calcula una muestra de los diseños realizados por el área de ingeniería de SEC, desde el año 2014 hasta el año 2016. Para el cálculo de la muestra de los proyectos requeridos, para el análisis de productividad y PLT se utiliza la siguiente expresión:

$$\eta: \frac{N \times Z\alpha^2 \times P \times q}{e^2(N-1) + Z\alpha^2 \times P \times q} \quad (1)$$

La expresión anterior calcula una muestra a partir del número de población conocida, donde:

$\eta$ : Tamaño de la muestra requerida

$N$ : Tamaño de la población

$Z \alpha$ : Factor probabilístico dado por el nivel de confianza

$e$ : Error máximo permitido

$p, q$ : Varianza de la proporción

⇒

$N$  : 495 proyectos entre los años 2014 – 2016.

$Z \alpha$  : Nivel de confianza del 95%  $Z \alpha = 1,960$

$e$  : 3% = 0,03

$p$  : Probabilidad esperada 80 %

$q$  :  $(1 - 0,8) = 0,2$

Reemplazando en la formula (1)

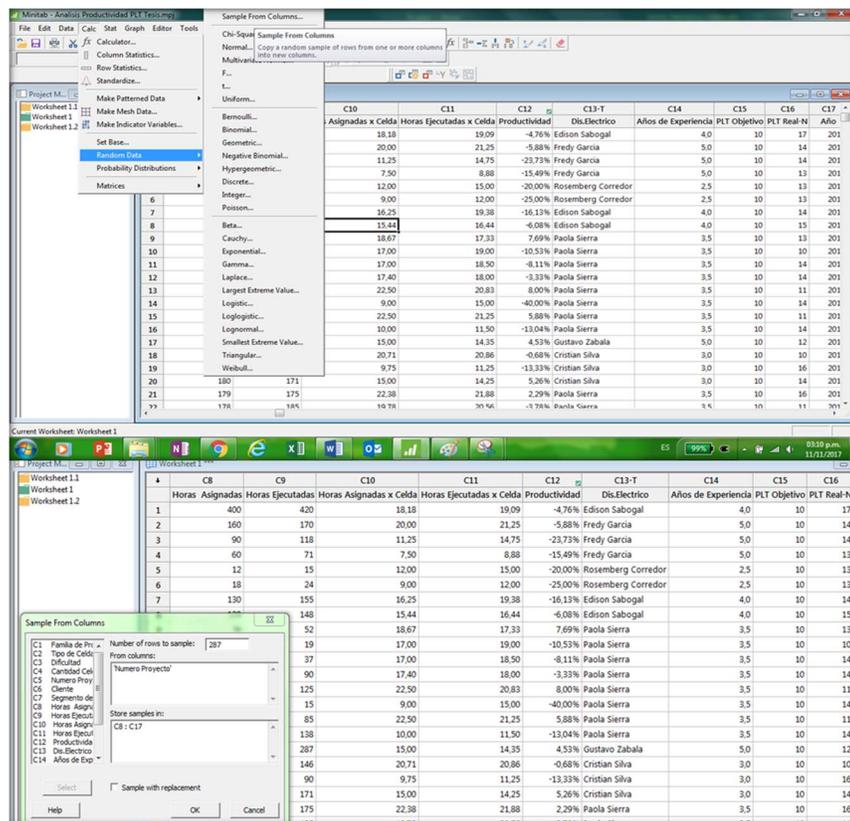
---

<sup>1</sup> Fórmula tomada del Libro “Applied Statistics and Probability for Engineers” (Montgomery & Runger, 2003)

$$n = \frac{495 \times 1,96^2 \times 0,8 \times 0,2}{0,03^2(495-1)+1,96^2 \times 0,8 \times 0,2} = 287$$

El tamaño de la muestra es de 287 proyectos. Los 287 datos son seleccionados aleatoriamente a través de la función *Random Data* del Software Minitab. La figura 13.2 es una imagen tomada del Software en el momento de la selección aleatoria de los datos con ayuda de la función mencionada. Conforme a lo indicado por Averill Law y David W. Kelton (1991), los comandos para la generación de números aleatorios de los programas de simulación, como el comando *Random Data* de Minitab, es una función generada por los algoritmos de programación. Los números generados por estas funciones se les conoce como números pseudo-aleatorios ya que son generados a partir de funciones determinísticas (Law & Kelton, 1991).

Figura 13.2 Aplicación de la función Random Data de Minitab



Fuente: Elaboración propia

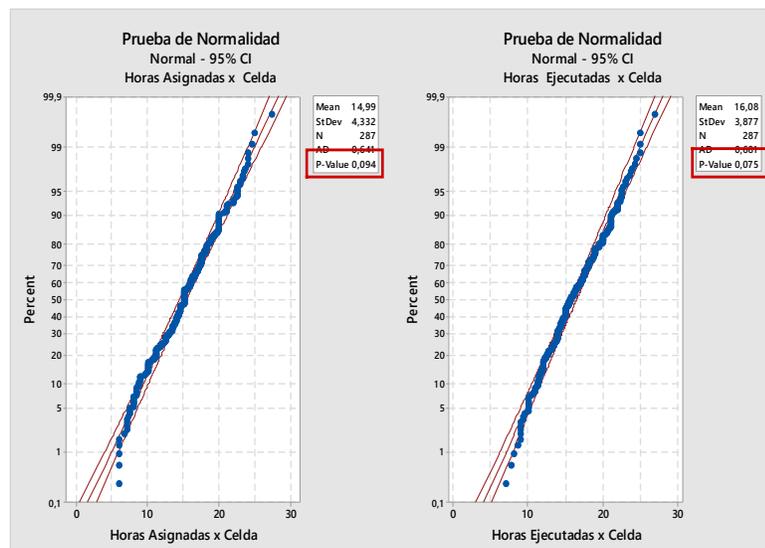
### 13.3. Prueba de normalidad de los datos

Para hacer inferencia estadística varias suposiciones sobre los datos deben ser cumplidas, una de ellas es el supuesto de normalidad. Dado que la aceptación de la normalidad de los datos es indispensable en cualquier estudio o investigación que use procedimientos estadísticos (Alizadeh Noughabi & Reza Arghami, 2013), el primer paso realizado después del plan de recolección de datos es comprobar el supuesto de normalidad para los datos de la muestra aleatoria seleccionada.

#### 13.3.1. Prueba de normalidad de los datos de horas asignadas y ejecutadas por celda

La prueba de normalidad de los datos se realiza con el software Minitab, con el cual se ejecutan un de las pruebas más comunes y útiles como lo es la prueba de normalidad de Anderson – Darling (Alizadeh Noughabi & Reza Arghami, 2013). En la Figura 13.3 se representan las pruebas de normalidad Anderson – Darling, realizadas para los datos de horas asignadas y ejecutadas por celda.

Figura 13.3 Prueba de normalidad, horas asignadas y ejecutadas por celda



Fuente: Elaboración propia

Para aceptar el supuesto de normalidad de los datos de las horas asignadas y horas ejecutadas por celda, se realiza una prueba de hipótesis, que es una de las técnicas de inferencia estadística generalmente utilizada (Montgomery et al., 2009).

Para esta prueba de hipótesis se compara el nivel de significancia o valor  $\alpha$  especificado, con el valor P. Para el presente análisis, de acuerdo con lo recomendado por Montgomery *et al.*, el valor  $\alpha$  es del 0,05 y el intervalo de confiabilidad utilizado del 95 %. Por consiguiente:

$H_0$  = Hipótesis nula

$H_1$  = Hipótesis alternativa

$H_0$  = Los datos siguen una distribución normal

$H_1$  = Los datos no siguen una distribución normal

Si el valor P o “*P- value*” es menor que el nivel de significancia o valor  $\alpha$  se rechaza la hipótesis.

valor  $P < \alpha$  se rechaza la hipótesis nula

Debido a que el valor P para las horas asignadas y horas ejecutadas por celda es de 0,094 y 0,075 respectivamente, se concluye que no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, dado que los valores P son mayores que el nivel de significancia, esto indica que los datos de horas asignadas y ejecutadas por celda siguen una distribución normal (Montgomery *et al.*, 2009), y son apropiados para hacer inferencia estadística.

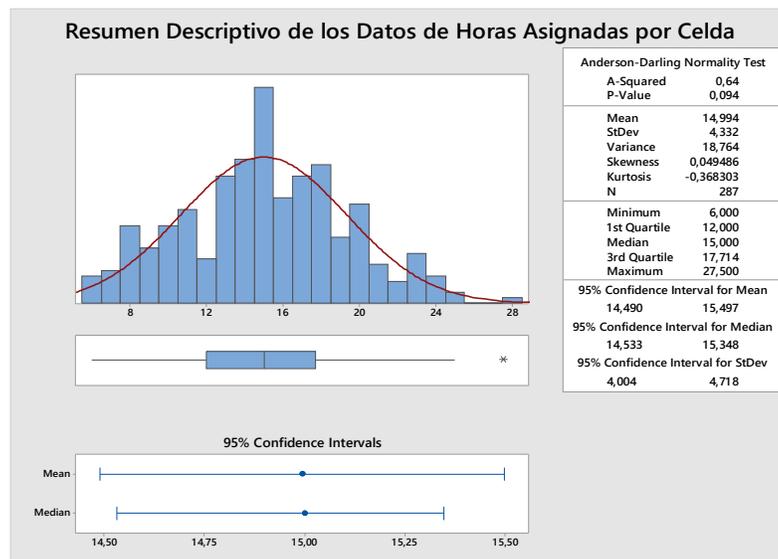
#### **13.4. Análisis de estadística descriptiva**

La estadística descriptiva se refiere a la recolección, presentación, descripción, análisis e interpretación de una colección de datos y consiste en resumir las medidas descriptivas de datos muestrales que caracterizan la totalidad de los mismos (Montgomery *et al.*, 2009). A continuación, se presenta el resumen de estadística descriptiva realizado para los datos de horas asignadas por celda, horas ejecutadas por celda y productividad del proceso de ingeniería de SEC.

### 13.4.1. Análisis de estadística descriptiva para los datos de horas asignadas y ejecutadas por celda

La Figura 13.4 y la figura 13.5 indican que la distribución de los datos de horas asignadas y ejecutadas por celdas, tienen una forma aproximadamente simétrica, el coeficiente de asimetría (*Senes*) es de 0,04994 y 0,182840 respectivamente, cuando el valor del coeficiente de asimetría se encuentra entre -1 y 1, la distribución de probabilidad es simétrica (Albert, Spriestersbach; Bernd, Röhrig; Jean-Baptist, du Prel; Aslihan, Gerhold-Ay; Maria, 2009), lo que indica que las horas asignadas para desarrollar el diseño de cada una de las celdas que conforman los proyectos, no presentan sesgo hacia ninguno de los dos lados de la distribución. De acuerdo con la Figura 13.4, para las horas asignadas por celda se tiene una media de 14,99 horas, con una desviación estándar de 4,33 horas. La tendencia central o mediana de las horas por celda son 15 horas.

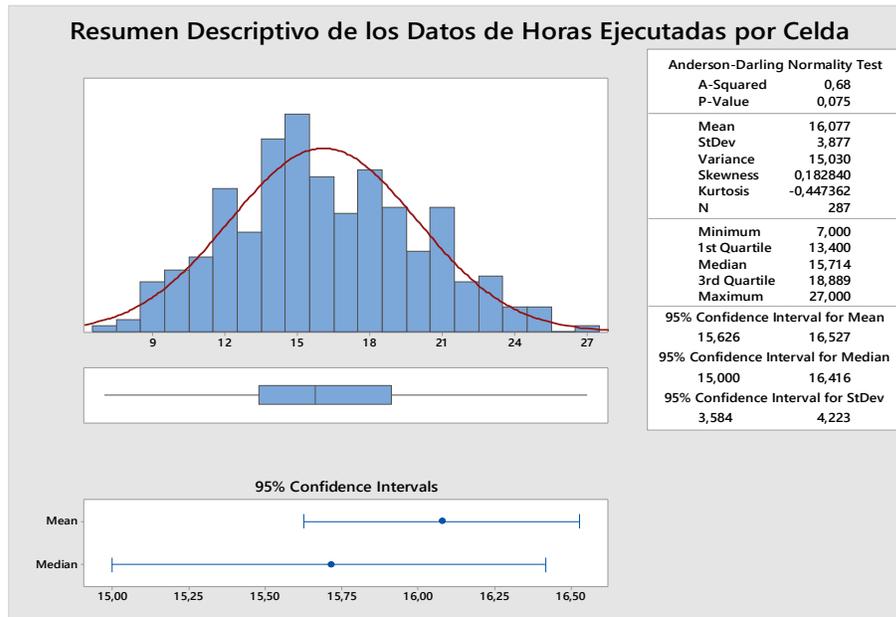
Figura 13.4 Resumen descriptivo de horas asignadas por celda



Fuente: Elaboración propia

Para las horas ejecutadas por celda, la figura 13.5, indica una media de 16,07 y una desviación estándar de 3,87 horas, con una mediana o tendencia central de 15,71 horas por celda.

Figura 13.5 Resumen descriptivo de horas ejecutadas por celda



Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta la media de los datos de horas asignadas por celda y horas ejecutadas por celda, y aplicando la fórmula para el cálculo de la productividad del proceso de ingeniería de SEC, se tiene un valor de - 6,73 %, valor que está por debajo de la meta establecida para el KPI de productividad en el proceso de ingeniería de SEC, que es del 7 %.

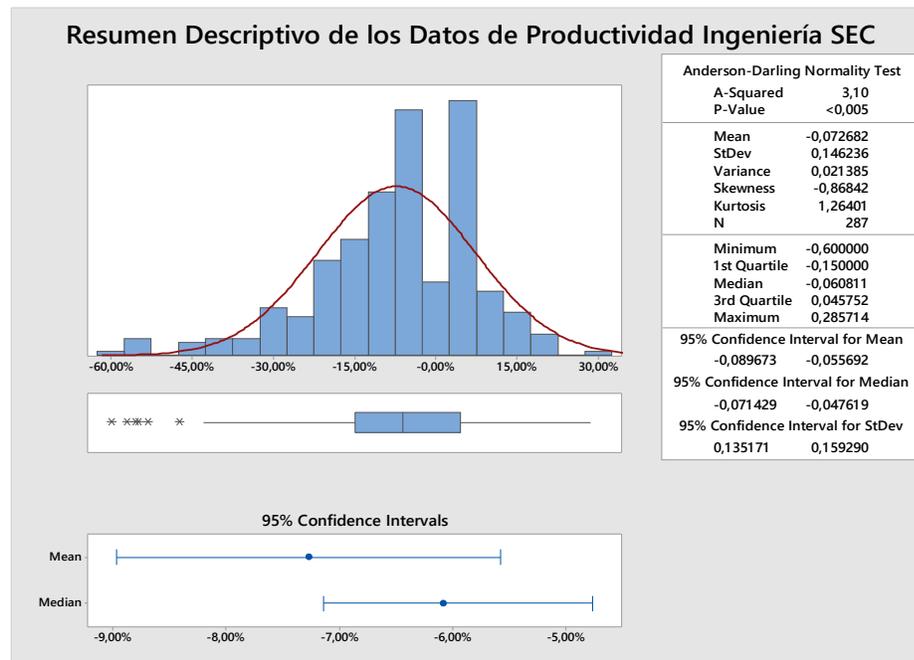
$$\text{Productividad (\%)} = \{(14,994/16,077) - 1\} \times 100 = -6,73\%$$

### 13.5. Análisis de estadística descriptiva de los datos de productividad

El Histograma de la Figura 13.6 indica que la distribución de los datos de productividad del proceso de ingeniería de SEC, tiene una forma aparentemente simétrica, no hay demasiada variabilidad de los datos con respecto a la tendencia central, se evidencian puntos atípicos también conocidos como “outsider”(Albert, Spriestersbach; Bernd, Röhrig; Jean-Baptist, du Prel; Aslihan, Gerhold-Ay; Maria, 2009), entre -43,37 % y -60 %, valores de productividad que de acuerdo con las fuentes de información de SEC, no son comunes en el proceso de ingeniería de SEC y se

pueden considerar causas especiales de variación y por lo tanto estos valores no se tendrán en cuenta para en el análisis inferencial.

Figura 13.6 Resumen descriptivo de los datos de productividad



Fuente: Elaboración propia

### 13.6. Análisis de capacidad del proceso de ingeniería de SEC

Douglas C. Montgomery plantea que es conveniente contar con una forma cuantitativa para expresar la capacidad que tiene un proceso para cumplir con una especificación. Una manera de hacerlo es a través de los índices de capacidad del proceso, que es la forma como se compara la variabilidad propia de un proceso con las especificaciones o requerimientos de un producto o servicio (Montgomery, 2003). Para variables continuas las expresiones matemáticas para determinar los índices de capacidad están dadas por:

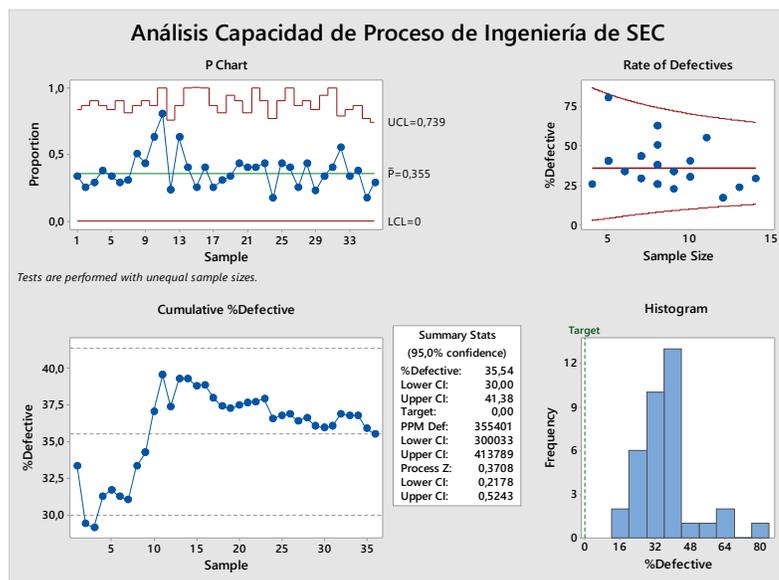
$$C_p = \frac{USL-LSL}{6\sigma} \text{ y } C_{pk} = \min \left\{ \frac{USL-\mu}{3\sigma}, \frac{\mu-LSL}{3\sigma} \right\} \quad 2$$

<sup>2</sup> Formula tomadas del artículo “A Proposal for a Management-oriented Process Capability Index” (Baciarrello & Schiraldi, 2015)

El análisis de la capacidad del proceso de ingeniería de SEC se realiza determinando la cantidad de diseños que cumplen con un PLT menor o igual a 10 días. Dado que el cumplimiento del PLT, se valida a través del nivel de servicio (ver Anexo C. Plan de recolección de datos), se realiza un análisis de capacidad discreto binomial, análisis que mide la probabilidad de que una muestra tomada de una población cumpla o no con un atributo determinado (Montgomery et al., 2009). La

Figura 13.7 corresponde al resultado del análisis de capacidad discreto binomial del proceso de ingeniería, en ella se observa que el porcentaje de diseños que no cumplen con el PLT es de 35,54 %, valor que corresponde a 355401 ppm (defectos por millón de oportunidades). En la misma figura, también se observa una carta de control por atributos tipo P (Montgomery & Runger, 2003), que indica una fracción disconforme muestral del 0,355 y un límite de control superior UCL de 0,739, estos valores no cumplen con la fracción de diseños por fuera del PLT establecida por SEC (ver Plan de recolección de datos numeral 5) que es 0,04. Por lo anterior se debería tomar las acciones necesarias para llevar los límites de control a valores cercanos de los límites de especificación dados por SEC.

Figura 13.7 Análisis de capacidad del proceso de ingeniería de SEC



Fuente: Elaboración propia

### 13.6.1. Cálculo del indicador de desempeño sigma

Otro procedimiento para determinar la capacidad de un proceso es a través del indicador de desempeño sigma, también conocido como sigma del proceso, expresión que describe la capacidad de un producto o servicio para alcanzar consistentemente los requerimientos o expectativas del cliente (Goldsby, Martichenko, & Goldsby, 2005). Según Thomas J. Goldsby y Robert Martichenko, se puede obtener el indicador de desempeño sigma con base en el número de defectos por millón de oportunidades (DPMO). La expresión para el cálculo de los DPMO se define:

$$\text{DPMO} = (\text{Defectos} / \text{Oportunidades}) \times 1,000,000 \quad ^3$$

Teniendo en cuenta que el nivel de servicio de ingeniería deber ser del 96 %, es decir, solo el 4% de los diseños elaborados deberían estar por fuera del PLT establecido y de acuerdo con lo planteado por Thomas J. Goldsby y Robert Martichenko se espera un rendimiento del proceso de ingeniería de SEC expresado en defectos por millón de oportunidades como sigue:

$$\text{DPMO} = (4/100) \times 10^6 = 40000 \text{ ppm}$$

Conforme a lo indicado por Thomas J. Goldsby y Robert Martichenko el valor de 40000 ppm corresponde a un rendimiento del proceso que puede estar entre 3,2 y 3,3 sigmas (ver anexo F. Tabla indicador sigma vs. DPMO) que son valores de desempeño aceptables, es decir, es el rendimiento esperado para el proceso de ingeniería de SEC. De acuerdo con el análisis de capacidad discreto binomial la tasa de defectos por millón de oportunidades actual del proceso de ingeniería es 355401 ppm, lo cual corresponde a un rendimiento de 1,9 sigma no aceptable, porque es un valor bajo de desempeño del proceso (Goldsby et al, 2005.)

### 13.7. Análisis inferencial de la productividad en el proceso de ingeniería de SEC

Conforme a lo indicado por Douglas C. Montgomery, el objetivo de la inferencia estadística es sacar conclusiones o tomar decisiones acerca de una población con base en una muestra

---

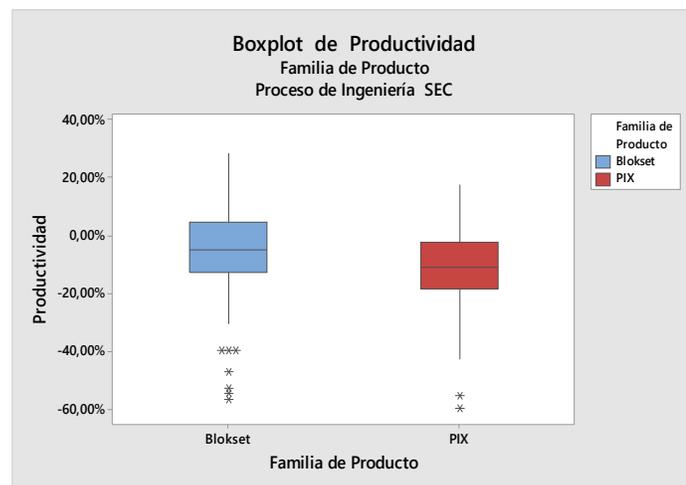
<sup>3</sup> Expresión tomada del libro "Lean- Six Sigma Logistics"(Goldsby et al., 2005.)

seleccionada de la población (Montgomery et al, 2003). Para el análisis inferencial de la productividad del proceso de ingeniería de SEC se toman en cuenta factores relacionados con el producto como familia de producto, nivel de dificultad, especificaciones técnicas del segmento del mercado, y factores relacionados con el recurso humano, como lo es la experiencia del diseñador que se mide en función de los años que lleva desempeñando el cargo en el área de ingeniería de SEC.

### 13.7.1. Análisis inferencial correspondiente a la familia de producto

Si bien la familia de producto Blokset en el diagrama Complot de la Figura 13.8 tiene más puntos atípicos que la familia PIX, no hay evidencia estadística para concluir que hay diferencia entre la productividad de las 2 familias de producto, ya que las medianas de los datos se superponen (Montgomery & Runger, 2003).

Figura 13.8 Boxplot familia de producto- productividad



Fuente: Elaboración propia

En resumen y conforme a lo indicado por Douglas C. Montgomery y George C. Jünger, para validar si existe diferencia estadística entre las medias de un conjunto de datos, se debe verificar la variabilidad entre las medias (Montgomery & Runger, 2003). Para verificar la variabilidad entre 2 conjuntos de datos se plantea una prueba de hipótesis de 2 muestras:

$H_0 =$  Hipótesis nula

$H_1 =$  Hipótesis alternativa

$H_0 =$  las medias de las poblaciones son iguales

$H_1 =$  las medias de las poblaciones son diferentes

Para validar la diferencia estadística de la productividad entre las familias de producto se plantea:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

Donde:

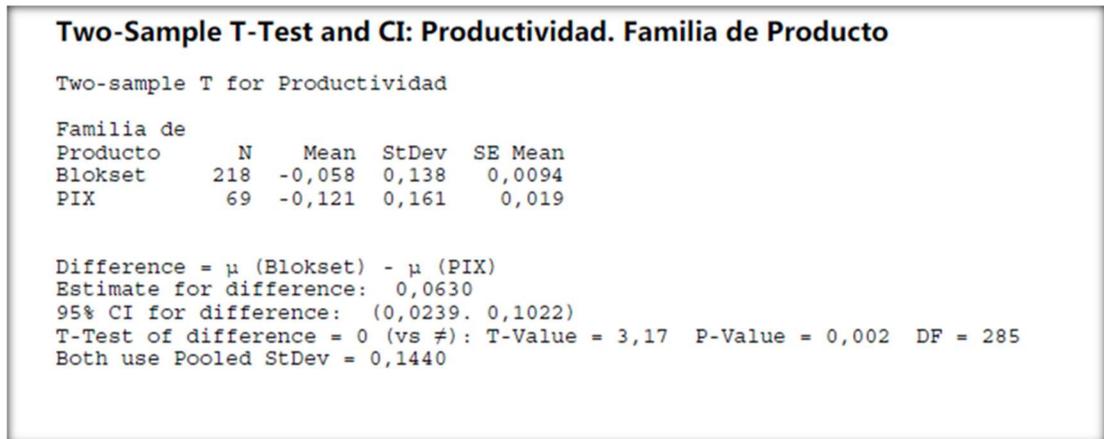
$\mu_1$  Corresponde a la media de la productividad para la familia de celdas Blokset

$\mu_2$  Corresponde a la media de la productividad para la familia de celdas PIX

Para la prueba de hipótesis el nivel de significancia seleccionado fue:  $\alpha = 0.05$ , con un nivel de confianza del 95 %. Para el caso de la prueba T de 2 muestras, el valor de significancia es de  $\alpha/2$ , lo que implica que tomando el valor P como el estadístico de prueba, la hipótesis nula no será rechazada cuando el valor P sea mayor a 0.025 (Montgomery & Runger, 2003.).

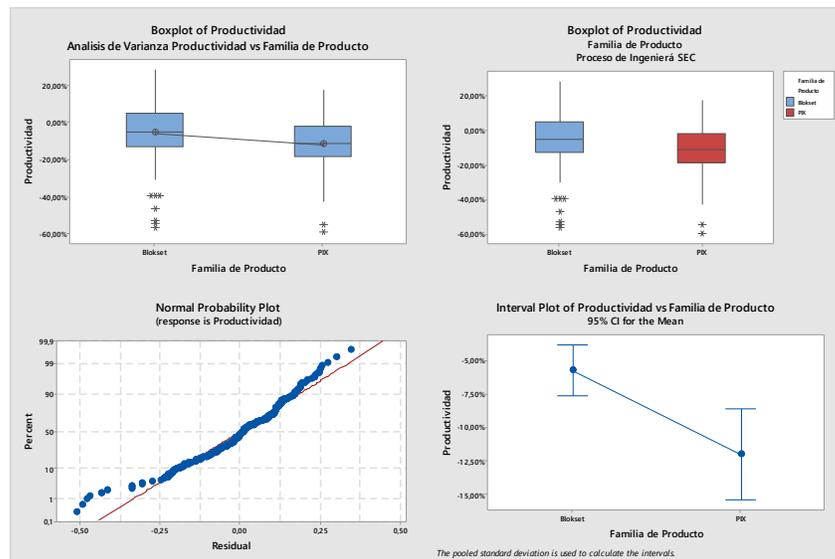
La tabla 13-3 muestra los resultados de la prueba de hipótesis, de acuerdo al valor P de 0.002, se puede inferir que existe evidencia para rechazar la hipótesis nula, la cual plantea que las medias de la productividad del proceso de ingeniería de SEC son igual cuando se diseñan diferentes familias de producto. En consecuencia, se concluye que hay diferencia estadística entre la productividad de las celdas Blokset y las celdas PIX y que la familia de producto es un factor que posiblemente tiene un impacto en la productividad del proceso de ingeniería de SEC.

Tabla 13-3 Resultados de la prueba de hipótesis de 2 muestras por familia de producto.



Fuente: Elaboración propia

Figura 13.9 Resumen gráfico de la prueba de hipótesis de 2 muestras



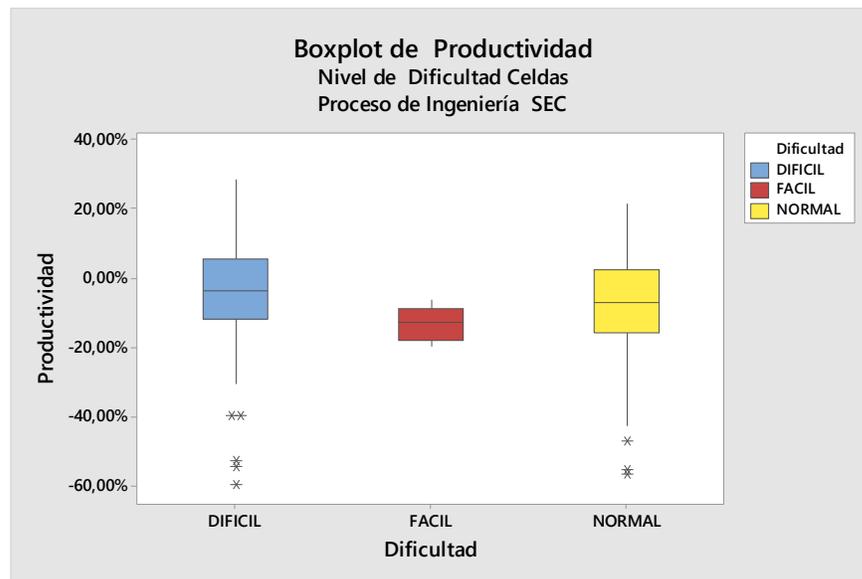
Fuente: Elaboración propia

En el resumen gráfico de la prueba de hipótesis de la Figura 13.9 se evidencia con el recorrido intercuartílico, que si bien la media de la productividad de la familia de producto Blokset, es mayor, la productividad que presenta mayor variabilidad corresponde a la familia de producto PIX, ratificando la diferencia estadística entre las medias de los datos analizados y una posible causalidad entre productividad vs familia de producto.

### 13.7.2. Análisis inferencial correspondiente al nivel de dificultad del producto

Otros de los factores relacionados con el producto, que según Andrew S. Chang y Shu-Hua Chiu, puede afectar negativamente la productividad en la ingeniería, es el grado de dificultad del diseño (Chang & Chiu, 2005). De acuerdo con la OL en SEC se ha clasificado el nivel de complejidad técnica del diseño en tres niveles, fácil, normal y difícil. Con el diagrama Boxplot de la Figura 13.10, no se puede definir si hay diferencia estadística entre las medias de la productividad teniendo en cuenta el nivel de dificultad.

Figura 13.10 Boxplot nivel de dificultad- productividad



Fuente: Elaboración propia

Para validar si existe diferencia estadística entre las medias de 3 grupos de datos se realiza un análisis de varianza Anova, (Montgomery & Runger, 2003), y establecer si la complejidad del proyecto podría tener un impacto sobre la productividad del proceso de ingeniería de SEC. Para el planteamiento de la prueba de hipótesis con Anova se tiene que:

$H_0$  = Hipótesis nula

$H_1$  = Hipótesis alternativa

$H_0 =$  Todas las medias de las poblaciones son iguales

$H_1 =$  Al menos una de las medias de las poblaciones es diferente

Para validar la diferencia estadística de la productividad entre la complejidad del producto se plantea:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$$

Donde:

$\mu_1$  : Corresponde a la media de la productividad para clasificación difícil

$\mu_2$  : Corresponde a la media de la productividad para Clasificación fácil

$\mu_3$  : Corresponde a la media de la productividad para Clasificación normal

De acuerdo con lo recomendado por Douglas C. Montgomery y George C. Runger, para la prueba de hipótesis con Anova, el nivel de significancia seleccionado fue  $\alpha = 0.05$ , con un nivel de confianza del 95 % (Montgomery & Runger, 2013). Para este caso si el valor P es menor que el nivel de significancia, la hipótesis nula es rechazada:

Valor  $P < \alpha$  se rechaza la hipótesis nula

En los resultados del análisis de varianza Anova mostrados en la Tabla 13-4 se obtuvo un valor P de 0.046, valor menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). Por lo tanto, hay evidencia para rechazar la hipótesis nula, y aceptar la hipótesis alternativa, la cual plantea que por lo menos una de las medias de la productividad del proceso de ingeniería de SEC es estadísticamente diferente, tomando como factor el nivel de dificultad del producto.

Tabla 13-4 Resultado del análisis de varianza productividad vs nivel de dificultad

```

One-way ANOVA: Productividad versus Dificultad

Method
Null hypothesis          All means are equal
Alternative hypothesis    At least one mean is different
Significance level        $\alpha = 0,05$ 

Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information
Factor      Levels  Values
Dificultad      3  DIFICIL. FACIL. NORMAL

Analysis of Variance
Source      DF  Adj SS  Adj MS  F-Value  P-Value
Dificultad  2  0,1311  0,06556  3,11    0,046
Error      284  5,9850  0,02107
Total      286  6,1161

Model Summary
          S  R-sq  R-sq(adj)  R-sq(pred)
0,145169  2,14%  1,45%     0,61%

Means
Dificultad  N    Mean  StDev  95% CI
DIFICIL    110  -0,0467  0,1560  (-0,0739. -0,0194)
FACIL      5    -0,1336  0,0507  (-0,2614. -0,0058)
NORMAL    172  -0,0876  0,1393  (-0,1093. -0,0658)

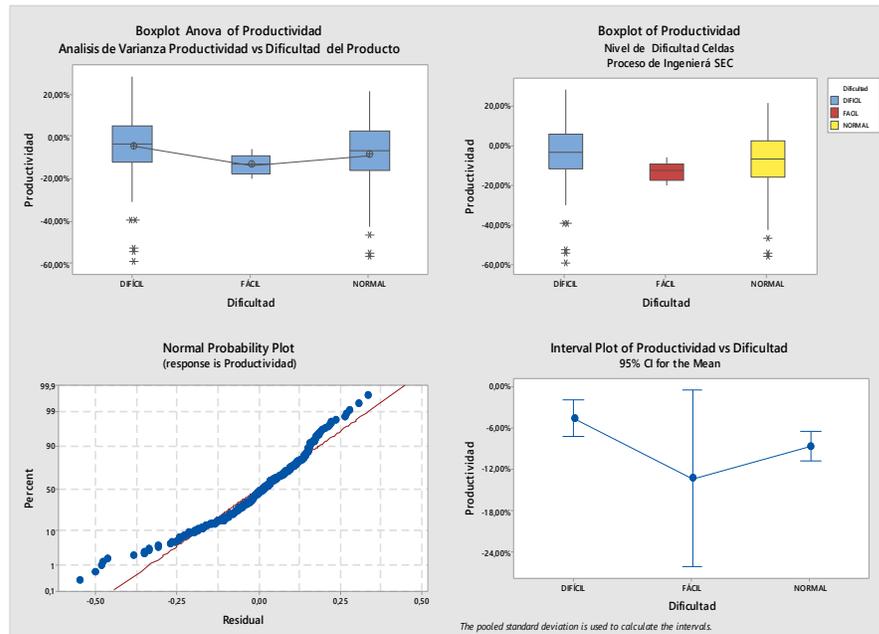
Pooled StDev = 0,145169
    
```

Fuente: Elaboración propia

Si bien, con el análisis de varianza, se valida lo indicado por Pin-Chao Liao et al, Con respecto a que el factor complejidad o dificultad del proyecto, tiene un impacto sobre la productividad (Liao et al, 2011), en el caso del proceso de ingeniería de SEC no hay evidencia de causalidad entre el nivel de dificultad y la productividad del proceso, ya que se espera que entre menor sea el nivel de dificultad, los valores de productividad deben ser mayores.

En el resumen gráfico del análisis de varianza de la Figura 13.11 se observa en el recorrido intercuartilico de las medias, que la productividad es menor cuando se diseñan productos con clasificación fácil, que cuando se diseñan productos con clasificación normal o difícil. Por lo anterior, no se puede concluir que el nivel de dificultad en el diseño de las celdas tenga un efecto negativo sobre la productividad en el proceso de ingeniería de SEC como lo sugiere Pin-Chao Liao et al, (Liao et al., 2011), por lo tanto, el factor complejidad no se tendrá en cuenta en el análisis causal.

Figura 13.11 Resumen gráfico análisis de varianza nivel de dificultad - productividad



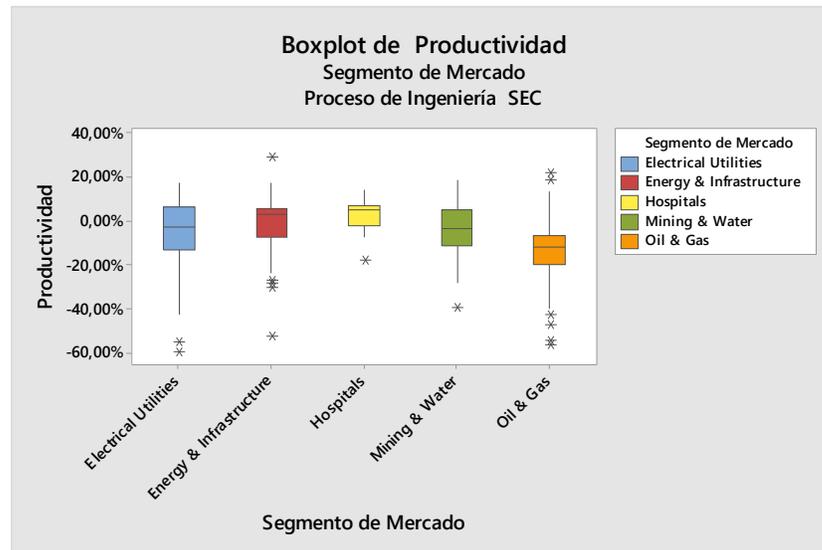
Fuente: Elaboración propia

### 13.7.3. Análisis inferencial correspondiente a las especificaciones técnicas por segmento de mercado

El área de ingeniería de SEC realiza el diseño para cinco diferentes segmentos de mercado, “Oil & Gas”, “Electrical Utilities”, “Energy & Infrastructure”, “Mining & Water” y “Hospitals”, cada segmento con requerimientos técnicos particulares. Con el análisis de varianza se determinó si podría existir una posible causalidad entre la productividad del proceso de ingeniería de SEC y las especificaciones técnicas solicitadas por el cliente para el diseño de las celdas.

En el diagrama Boxplot de la Figura 13.12, visualmente se podría inferir que la productividad del proceso de ingeniería de SEC muestra un mejor desempeño cuando se diseñan celdas para el segmento de mercado de “Hospitals”.

Figura 13.12 Boxplot productividad- segmento de mercado



Fuente: Elaboración propia

Para validar diferencia estadística entre la especificación técnica del producto por segmento de mercado y la productividad, se realiza un análisis de varianza Anova, para el planteamiento del análisis de varianza se tiene que:

$H_0$  = Hipótesis Nula

$H_1$  = Hipótesis Alternativa

$H_0$  = Todas las medias de las poblaciones son iguales

$H_1$  = Al menos una de las medias de las poblaciones es diferente

Para validar la diferencia estadística de la productividad por segmento de mercado, se plantea:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$$

Donde  $\mu$  corresponde a la media de los datos de productividad por cada uno de los segmentos de mercado:

$\mu_1$  : Media de la productividad para segmento de mercado " *Electrical Utilities*"

$\mu_2$  : Media de la productividad para segmento de mercado " *Energy & Infrastructure*"

$\mu_3$  : Media de la productividad para segmento de mercado " *Hospitals*"

$\mu_4$  : Media de la productividad para segmento de mercado " *Mining & Water*"

$\mu_5$  : Media de la productividad para segmento de mercado " *Oil & Gas*"

La hipótesis nula será rechazada si se cumple que:

$$\text{Valor P} < \alpha$$

En los resultados del análisis de varianza indicados en la Tabla 13-5 se obtuvo un valor P de 0.001, resultado menor al valor del nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ); por lo tanto, hay evidencia para rechazar la hipótesis nula, y aceptar la hipótesis alternativa, la cual plantea que por lo menos una de las medias de la productividad del proceso de ingeniería de SEC es estadísticamente diferente, tomando como factor el segmento de mercado.

Tabla 13-5 Resultados análisis de varianza productividad vs segmento de mercado

**One-way ANOVA: Productividad versus Segmento de Mercado**

Method

Null hypothesis All means are equal  
 Alternative hypothesis At least one mean is different  
 Significance level  $\alpha = 0,05$

Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
Segmento de Mercado	5	Electrical Utilities. Energy & Infraestructure. Hospitals. Mining & Water. Oil & Gas

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Segmento de Mercado	4	0,3524	0,08810	5,17	0,001
Error	185	3,1525	0,01704		
Total	189	3,5049			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,130540	10,05%	8,11%	5,13%

Means

Segmento de Mercado	N	Mean	StDev	95% CI
Electrical Utilities	38	-0,0271	0,1368	(-0,0689. 0,0147)
Energy & Infraestructure	38	-0,0093	0,1341	(-0,0511. 0,0325)
Hospitals	38	-0,0011	0,1322	(-0,0429. 0,0407)
Mining & Water	38	-0,0033	0,0779	(-0,0451. 0,0385)
Oil & Gas	38	-0,1154	0,1580	(-0,1572. -0,0737)

Pooled StDev = 0,130540

Fuente: Elaboración propia

Cuando el análisis de varianza Anova indica que existe una diferencia entre las medias de los datos, se recomienda realizar algunas pruebas de seguimiento para aislar las diferencias específicas. Para el caso del presente análisis, el método de comparación múltiple usado para encontrar la diferencia significativa entre la productividad es la prueba de Tukey, ya que es una de las pruebas más comunes para encontrar diferencias estadísticas significativas entre medias de un conjunto de datos (Montgomery & Runger, 2003).

Con los resultados de la prueba de Tukey, indicados en la Tabla 13-6 y se utiliza el criterio de evaluación de agrupación de datos y de análisis de los intervalos (Montgomery & Runger, 2003), y se confirma que la productividad del proceso de ingeniería de SEC es significativamente diferente cuando se diseñan celdas para el segmento de mercado "Oil & Gas".

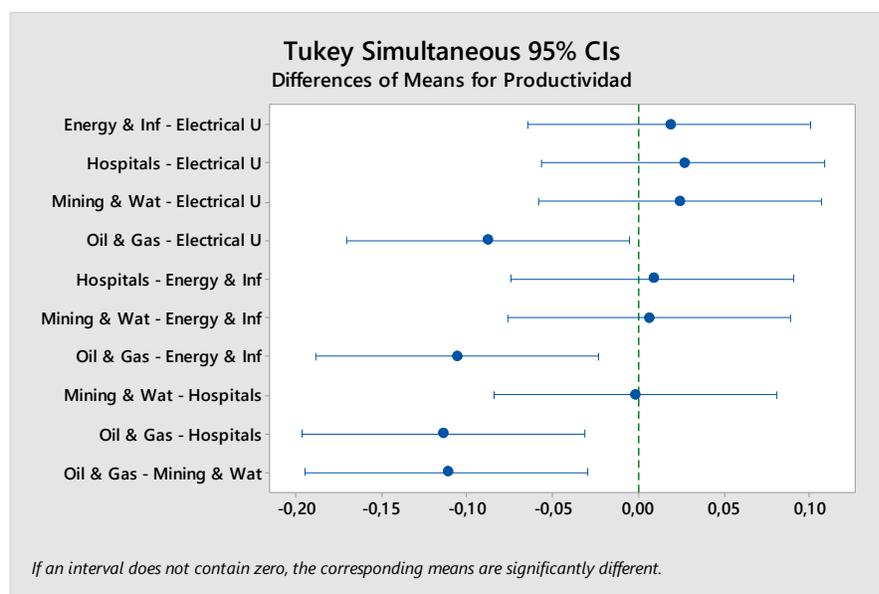
Tabla 13-6 Resultado prueba de Tukey productividad vs segmento de mercado

Tukey Pairwise Comparisons			
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence			
Segmento de Mercado	N	Mean	Grouping
Hospitals	38	-0,0011	A
Mining & Water	38	-0,0033	A
Energy & Infrastructure	38	-0,0093	A
Electrical Utilities	38	-0,0271	A
Oil & Gas	38	-0,1154	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Fuente: Elaboración propia

Figura 13.13 Intervalos de confianza prueba Tukey productividad vs segmento de mercado



Fuente: Elaboración propia

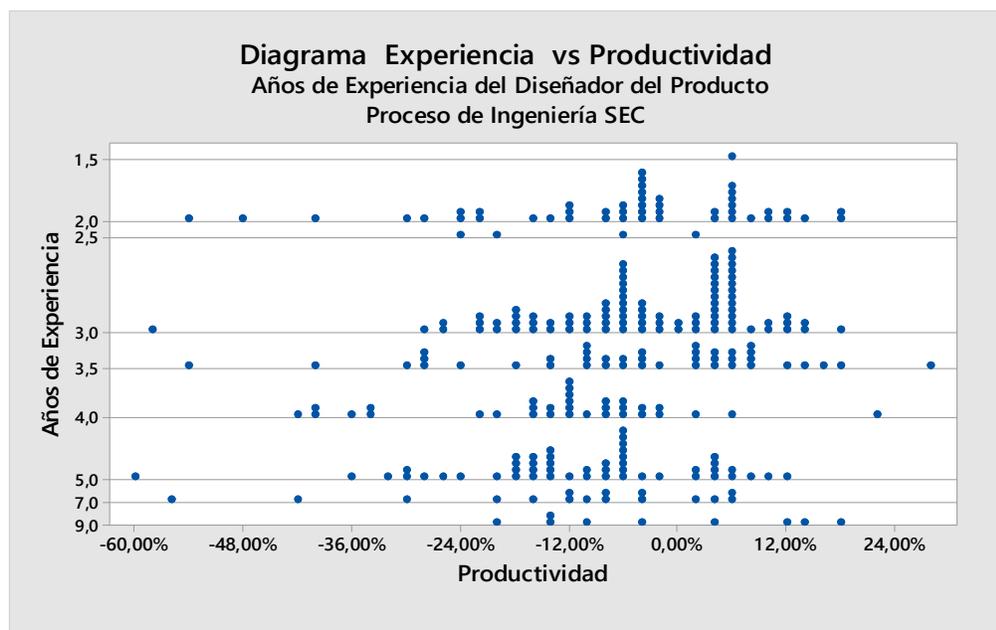
### 13.8. Análisis inferencial de los factores relacionados con el recurso humano

Abdulaziz M. Jarkas, plantea que varias investigaciones han demostrado la importancia de la teoría de la curva de aprendizaje para la productividad en la mano de obra, por lo tanto el

concepto de esta curva se basa en una premisa básica de que los individuos u organizaciones se vuelven más productivos al realizar una tarea, cuando esta se realiza repetidamente por un tiempo determinado (Jarkas & Eng, 2010).

Para el caso del proceso de ingeniería de SEC, siendo consecuente con lo planteado por Abdulaziz M. Jarkas, se espera que entre mayor sea la cantidad de años de experiencia del diseñador su desempeño en términos de productividad sea mejor. Con la forma de dispersión de los datos que muestra la Figura 13.14, se podría inferir que en el proceso de ingeniería de SEC, aparentemente no hay una relación positiva, entre los años de experiencia del diseñador y la productividad.

Figura 13.14 Diagrama años de experiencia del diseñador vs productividad



Fuente: Elaboración propia

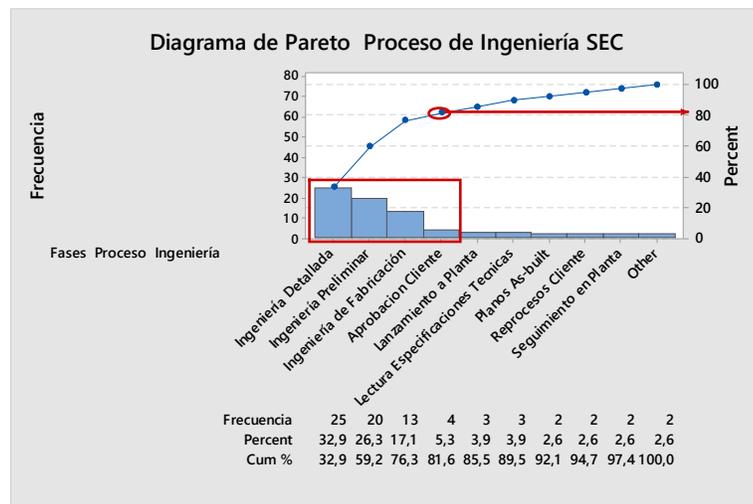
De acuerdo con los datos analizados, en el proceso de ingeniería de SEC no existe evidencia de que la experiencia del diseñador influya de forma positiva o negativa en la productividad del proceso.

### 13.9. Análisis causal de los factores que afectan la productividad en el proceso de ingeniería de SEC

De acuerdo a Béatrix Barafort *et al*, plantean que la aplicación de un análisis causal en entornos de ingeniería permite realizar un análisis sistemático de los defectos para identificar posibles causas raízales y tomar las contramedidas necesarias que conlleven a la mejora del proceso (Cuzzocrea et al., 2017).

El análisis causal inicia con un “*brainstorming*” realizado con el equipo de diseñadores de SEC, con el fin de priorizar los posibles factores que afectan la productividad del proceso de ingeniería de SEC, con base en los datos obtenidos del “*brainstorming*”, se realiza un gráfico de Pareto para buscar y dar prioridad a posibles causas raízales (Kubiak & Benbow, 2009). De acuerdo con el gráfico de Pareto de la Figura 13.15, las fases del proceso de ingeniería de SEC que representan el 81,6% de los factores que pueden afectar la productividad del proceso son: ingeniería detallada, ingeniería preliminar e ingeniería para fabricación.

Figura 13.15 Diagrama de Pareto fases del proceso de ingeniería de SEC



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se utiliza el FMEA para identificar el índice de priorización del riesgo RPN (*Risk Priorization Number*) de las actividades asociadas a cada fase del proceso de ingeniería de SEC, que podrían tener un impacto sobre la productividad el proceso. Este índice se calcula como el

producto entre la severidad, probabilidad de ocurrencia y la facilidad de detección ( $RPN = S \times O \times D$ ) (Câdea, Kifor, & Constantinescu, 2014).

Para el desarrollo del FMEA del proceso de ingeniería de SEC, la definición de los valores correspondiente a la severidad, probabilidad de ocurrencia y facilidad de detección de las actividades del proceso involucradas en el análisis, se realiza de acuerdo con las escalas indicadas en el Anexo D. Tablas para definir los niveles de severidad, ocurrencia y no detección al desarrollar un FMEA (Geum et al., 2011). En la Tabla 13-7 se resume el FMEA con las actividades del proceso de ingeniería que presentan mayor índice de priorización del riesgo (RPN). (ver Anexo E. FMEA realizado para el proceso de ingeniería de SEC).

Tabla 13-7 Resumen del FMEA realizado al Proceso de Ingeniería de SEC

Análisis FMEA Proceso Ingeniería de SEC				
Actividad	SEV	OCU	DET	NPR
¿Cual es la actividad del proceso?	¿Qué tan severo es el efecto?	¿Cuál es la probabilidad de ocurrencia de la causa de la falla?	¿Qué tan bien son detectadas la fallas de proceso y/o sus efectos por los controles actuales?	Risk Priority Number
Desarrollo de la ingeniería preliminar.	5	8	4	<b>160</b>
Desarrollo de la ingeniería de detalle.	6	8	4	<b>192</b>
Desarrollo de la ingeniería de fabricación.	4	8	4	<b>128</b>

Fuente: Elaboración propia basada (Geum et al, 2011)

A partir de las actividades del proceso de ingeniería de SEC con el mayor índice de priorización del riesgo PNR se desarrolla el FTA, que conforme a lo indicado por T. M. Kubiak y Donald W. Benbow, es utilizado una vez se ha identificado un fallo que requiere un estudio adicional (Kubiak & Benbow, 2009).

La construcción del FTA se indica en el Anexo G. Descripción de elaboración de un FTA.

La asignación de las probabilidades en la construcción del FTA del proceso de ingeniería de SEC se realiza en conjunto con los ingenieros de diseño del proceso, tomando como base la tabla 1 del artículo “*Fault Tree Analysis for Investigation on the Causes of Project Problems*” (Mahandeka & Rosyid, 2015a) (Ver anexo H. Niveles de calificación de las causas de falla).

Tabla 13-8 corresponde al resumen de las posibles causas raízales de los factores relacionados con la ingeniería detallada. El FTA de la fase de ingeniería de detalle tiene una probabilidad estimada total de 0,5073. De acuerdo con Mahandeka & Rosyid, este valor tiene una alta probabilidad de afectar la productividad del proceso de ingeniería de SEC (Mahandeka & Rosyid, 2015a).

Tabla 13-8 Resumen de las posibles causas raízales de los factores relacionados con la fase de ingeniería detallada

<b>Número de piezas desarrolladas en la ingeniería detallada para cumplimiento de especificaciones técnicas de acuerdo con el segmento del mercado.</b>	<b>Probabilidad</b>
<b>Causa Raíz Potencial</b>	<b>Probabilidad</b>
Por la característica ETO del producto no se ha desarrollado un procedimiento para modificar U.F.	0,20
El diseño del producto debe ser adaptado a las especificaciones técnicas.	0,20
No hay claridad de cómo aplicar las U.F en el diseño de producto bajo un modelo ETO.	0,20
No existe un estándar para reducción de partes y componentes en la U.F.	0,20
No hay aplicación de trabajo estándar en una U.F.	0,20
El diseñador modifica a su criterio la U.F para adaptarlo a la especificación del segmento del mercado.	0,15
No existe un proceso que permita evidenciar aplicaciones específicas solicitados.	0,15
No se contempla dentro de la información de entrada para el proceso de ingeniería.	0,15
No se especifica un requerimiento específico de la oferta.	0,0001

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 13-9 corresponde al resumen de las posibles causas raízales de los factores relacionados con la ingeniería preliminar. El FTA de la fase de ingeniería preliminar tiene una probabilidad estimada total de 0,081. De acuerdo con Mahandeka & Rosyid, con este valor los

eventos identificados en el FTA tienen una baja probabilidad de afectar la productividad del proceso de ingeniería de SEC.

Tabla 13-9 Resumen de las posibles causas raízales de los factores relacionados con la fase de ingeniería preliminar

<b>Organización de la información en la base de datos de diseño previos de producto no permite ser utilizada.</b>	<b>Probabilidad</b>
	0,0181
<b>Causa Raíz Potencial</b>	<b>Probabilidad</b>
Se requieren muchos pasos para encontrar la información requerida.	0,15
Cada diseñador guarda la información a su criterio.	0,15
El cliente requiere diseños ETO.	0,10
No se tiene un procedimiento para guardar la información en los servidores.	0,010
No existe un patrón para identificar las piezas o componentes ya elaborados.	0,010
No se tiene un estándar para identificar diseño de piezas y guardar piezas diseñadas.	0,0001

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 13-10 corresponde al resumen de las posibles causas raízales de los factores relacionados con la ingeniería para fabricación. El FTA de la fase de ingeniería para fabricación tiene una probabilidad estimada total de 0,1992. De acuerdo con Mahandeka & Rosyid, con este valor los eventos identificados en el FTA tienen una probabilidad media de afectar la productividad del proceso de ingeniería de SEC.

Tabla 13-10 Resumen de las posibles causas raíz de los factores relacionados con la fase de ingeniería de fabricación

Sobre procesamiento durante el desarrollo de la ingeniería para fabricación.	Probabilidad
	0,1992
Causa Raíz Potencial	Probabilidad
No se han identificado los desperdicios en el proceso.	0,40
No es fácil identificar las tareas que no AV en el proceso de ingeniería.	0,40
No se ha optimizado el proceso para eliminar pasos innecesarios.	0,40
No se entrega el 100% de los requerimientos al proceso de ingeniería.	0,15
Se adelanta ingeniería con información incompleta.	0,10
No se aclaran todos los requerimientos en la reunión de transferencia.	0,10
Se realizan por requerimiento especial del gerente del proyecto.	0,01
No se gestiona la respuesta del administrador del proyecto de acuerdo con las fechas establecidas.	0,01
No se tiene en cuenta las especificaciones por parte del diseñador.	0,0001
No hay respuesta por parte del cliente.	0,0001
No se consulta la normativa para incluir notas, detalles en los planos.	0,0001
No existe procedimiento para acotado de planos.	0,0001

Fuente: Elaboración propia

### 13.9.1. Resultados del análisis causal

Michael L. George plantea la relación causa y efecto como: “Y” función de la ecuación “X”, que relaciona la salida del proceso “Y” con las entradas o variables del proceso “Xs” (George, 2003). Donde, “Y” es la productividad el proceso de ingeniería y “Xs” son los factores identificados en el FTA.

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots) \quad 4$$

<sup>4</sup> Expresión tomada del libro “Lean Six Sigma for Service” (George, 2003)

Para el caso del proceso de ingeniería de SEC se plantea la siguiente expresión:

$$Y_1 = f(X_1, X_2, X_3) \quad 5$$

Donde:

$Y_1$  = Productividad del Proceso de Ingeniería de SEC

$$X_1 = \sum_{j=1}^m X_{1j}$$

Donde “j” corresponde a los factores relacionados con la fase de ingeniería detallada y “m” el número de eventos identificados en el FTA.

$$X_2 = \sum_{i=1}^n X_{2i}$$

Donde “i” corresponde a los factores relacionados con la fase de ingeniería preliminar y “n” el número de eventos identificados en el FTA.

$$X_3 = \sum_{l=1}^o X_{3l}$$

Donde “l” corresponde a los factores relacionados con la fase de fabricación y “o” el número de eventos identificados en el FTA.

### **13.10. Análisis de los factores que afectan el PTL del proceso de ingeniería en SEC**

Para el análisis de los factores que afecta el PLT del proceso de ingeniería de SEC, se inicia con la construcción del VSM actual del proceso, el primer paso para la construcción del VSM es seleccionar la familia de producto (Rohani & Zahraee, 2015).

---

<sup>5</sup> Elaboración Propia basado en el libro “Lean Six Sigma for Service” (George, 2003)

De acuerdo con el planteamiento de Jafri Mohd Rohani y Seyed Mojid Zahraee, el objetivo principal de desarrollar el VSM actual del proceso, es capturar la imagen de la forma cómo se está desarrollando cada uno de los pasos del proceso, para identificar los diferentes tipos de desperdicio e intentar eliminarlos (Rohani & Zahraee, 2015) para lo cual Dombrowski argumenta que es esencial tener trabajadores directamente involucrados en el proceso para recoger los datos y el flujo de actividades que componen el servicio (U. Dombrowski & Mielke, 2013). Para cada etapa del proceso Michael L. George recomienda analizar los siguientes datos:

- WIP (*Work in process*): Son las actividades que están en el proceso y no están finalizadas.
- Delay/tiempo en cola: Siempre que existe un WIP existe un tiempo en cola y este tiempo siempre será contado como un retraso.
- Tiempo del proceso (C/T): Tiempo de valor agregado por el servicio.
- Takt Time: Tasa de demanda de los clientes por producto o servicio.
- Takt Rate: Tiempo establecido para procesar una orden.

La Tabla 13-11 muestra los datos de “*Takt Time*” y “*Takt Rate*”. Valores tomados de la OL de SEC.

Tabla 13-11 Datos para calcular el Takt Time y Takt Rate del proceso de ingeniería de SEC

Valores de <i>Takt Time</i> y <i>Takt Rate</i> del Proceso de Ingeniería de SEC		
Número de Unidades Producidas al Año	400	Unidades /año
Días de Trabajo Hábiles 2017	243	Días/año
Producción Diaria	1,65	Unidades /día
Turnos	1	Turno/ día
Tiempo de Trabajo	8,50	Horas/turno
Takt Time	5,16	Horas
Takt Rate	1,65	Unidades /día

Fuente: Elaboración propia

Con el VSM actual del proceso de ingeniería de SEC del Anexo J. Mapa de flujo de valor del proceso actual (VSM), se identifican las actividades que generan valor y las que no generan valor al proceso. Con base en lo indicado por Michael L. George, se definió la medida crítica del desperdicio, que está dado por el porcentaje del tiempo total del ciclo que se gasta en actividades

de valor agregado. La medida utilizada es el “*Process Cycle Efficiency*” (PCE) que relaciona la cantidad de tiempo de valor agregado y el PLT total del proceso (George, 2003).

$$PCE = \frac{\text{Value add time}}{\text{Total lead time}} \quad 6$$

Igualmente, se tuvo en cuenta la expresión conocida como “*Little’s Law*”, la cual indica cuánto tiempo tomará cualquier producto o servicio en ser terminado, relacionado con las actividades que están esperando a ser ejecutadas WIP y cuántas partes, productos o servicios pueden ser completados cada día, semana, etc. (George, 2003).

$$PLT = \frac{\text{Amount of work in process}}{\text{Average completion rate}} \quad 7$$

### 13.10.1. Resultados del VSM actual del proceso de ingeniería de SEC

Los siguientes son los resultados obtenidos del VSM para del proceso de ingeniería de SEC:

- Tiempo total de las actividades de valor agregado (C/T) es de 101 horas que corresponden a 11,882 días, teniendo en cuenta día laborable de 8.5 horas
- Tiempo de espera o de cola generado por el trabajo en proceso (WIP): 13,56 días
- PLT total que corresponde a la suma de C/T + WIP = 11,882 + 13,56 s = 25,442 días

El PCE del proceso fue  $PCE = \frac{11,88}{25,44} * 100 = 46,76\%$ .

La Tabla 13-12 muestra el resumen de los datos obtenidos en el desarrollo del VSM actual del proceso de ingeniería de SEC.

---

<sup>6</sup> Expresión Tomada del Libro “Lean Six Sigma for Service”(George, 2003)

<sup>7</sup> *Ibíd.*

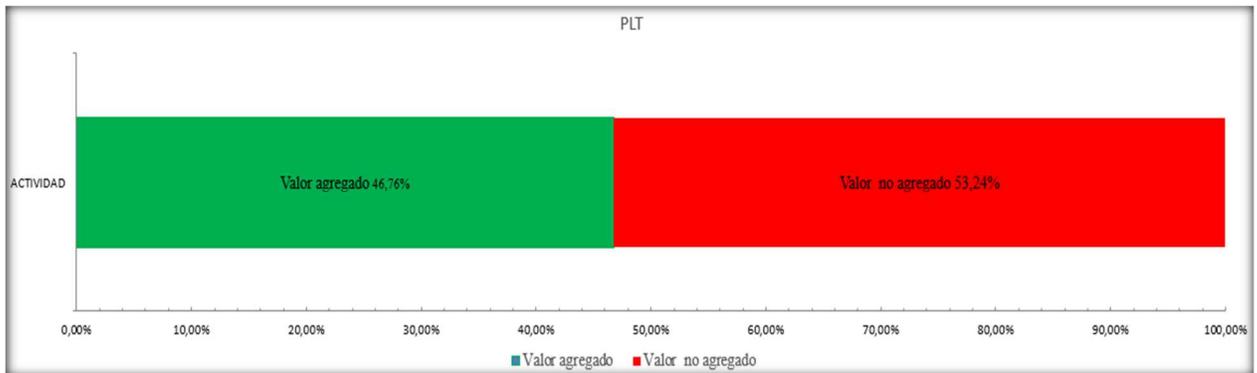
Tabla 13-12 Resumen datos VSM actual del proceso de ingeniería de SEC

Resultados del VSM Actual del Proceso de Ingeniería de SEC		
PLT	25,44	Días
C/T	11,88	Días
WIP	13,56	Días
% de Actividades de Valor Agregado	46,76	% Tiempo Verde
% de Actividades de No Valor Agregado	53,24	% Tiempo Rojo

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 13.16, se indica el porcentaje de los tiempos de valor agregado y no valor agregado dentro del PLT del proceso.

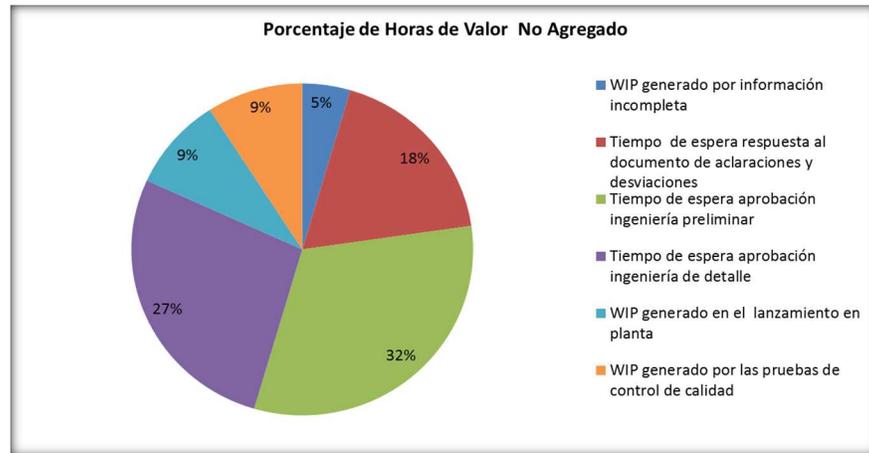
Figura 13.16 Porcentajes de actividades de valor agregado y no valor agregado en el PLT del proceso de ingeniería de SEC



Fuente: Elaboración propia

La Figura 13.17 muestra como están distribuidos los tiempos de valor no agregado en el proceso de ingeniería de SEC.

Figura 13.17 Porcentajes de las actividades que generan tiempo de valor no agregado o tiempos rojos



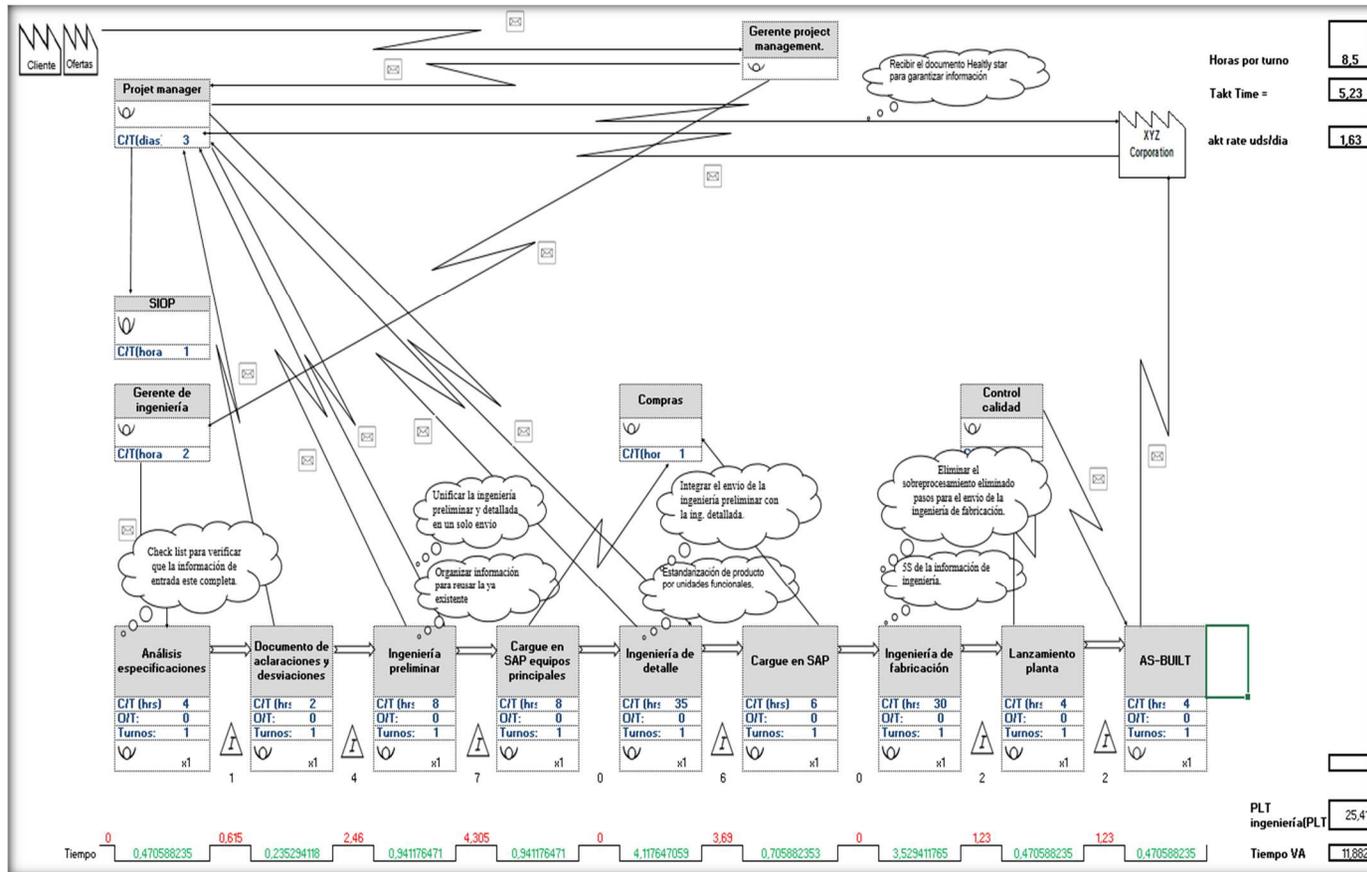
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con lo planteado por Mike Simms en el artículo “*The Seven Wastes in Engineering Design*”, algunos de los desperdicios identificados durante en el VSM actual del proceso de ingeniería de SEC son: Sobreprocesamiento, espera, inventario y sobre producción. Los desperdicios como la espera, el inventario y el sobre procesamiento están relacionados directamente con la generación de WIP (Chiarine, 2013). Para el caso del proceso de ingeniería de SEC, de acuerdo con el VSM actual realizado, se identifican cuatro posibles fuentes generadores de WIP:

- WIP generado por información incompleta a la entrada del proceso para iniciar las fases de ingeniería preliminar y detallada.
- WIP generado por el tiempo de espera en la aprobación de información o planos.
- WIP generado por las actividades adicionales que se deben realizar para encontrar información de diseños previos que podrían ser reutilizados.
- WIP generado por reprocesos en los entregables de cada una de las fases del proceso cuando no se tiene los requerimientos o especificaciones del cliente, en el tiempo y fecha requerida.

La Figura 13.18 muestra posibles fuentes generadoras de WIP y las acciones que se podrían implementar en el proceso de ingeniería de SEC para mejorar el PLT del proceso.

Figura 13.18 VSM actual del proceso de ingeniería de SEC identificando las propuestas de mejora



Fuente: Elaboración propia basado en el libro "Mapping The Total Value Stream" (Nash, Mark Poiling, 2008)

De acuerdo con la expresión conocida como “*Little’s Law*” que plantea Michael L. George, se tiene que con la reducción del WIP, se puede tener una reducción en el PLT del proceso. Por lo tanto, definiendo la expresión que relaciona variables de salida y entradas del proceso de ingeniería de SEC, para el caso del PLT se establece que:

$$Y_2 = f(X_{12}, X_{22},) \quad ^8$$

Donde:

$$Y_2 = \text{PLT del Proceso de Ingeniería de SEC}$$

$$X_{12} = \sum_{j=1}^4 X_{12j} = \text{Donde "j" corresponde a los desperdicios identificados en el VSM Actual}$$

j = 1 Sobreproducción, j = 2 Inventario, j = 3 Espera, j = 4 Sobreprocesamiento

$X_{22}$  = Actividades que no generan valor

---

<sup>8</sup> Elaboración propia tomando como base la expresión indicada en “Lean Six Sigma for Service” (George, 2003)

## **14. Implementación de herramientas Lean evaluadas, al proceso de ingeniería de SEC**

A partir de los resultados de implementar la metodología AHP, se determina que las herramientas Lean que pueden ser aplicadas al proceso de ingeniería de SEC son:

- *Pull System* (Sistema Pull)
- Justo a Tiempo (JIT)
- 5S
- Standard Work
- Value Stream Mapping (VSM)

### **14.1. Aplicación de un sistema *Pull* en el proceso de ingeniería de SEC**

En las organizaciones orientadas a proyectos se puede establecer un sistema *pull* con respecto a la fecha de vencimiento de las actividades (Locher, 2008). Con la implementación de un sistema *pull* se podrían gestionar las variables de entradas que afectan el PLT del proceso de ingeniería de SEC, como los son la falta de información y la aprobación de la ingeniería por parte de los clientes. Por lo anterior, se sugiere la aplicación de un sistema *pull* en el proceso de ingeniería SEC con la implementación de JIT y *One Piece Flow*.

#### **14.1.1. JIT**

Con la implementación de JIT en el proceso de ingeniería de SEC podría garantizar que la información de entrada para la fase de “lectura de especificaciones y documento de desviaciones y aclaraciones”, así como en las aprobaciones de la ingeniería estén en la fechas requeridas, así mismo, se podría disminuir el impacto del desperdicio de espera y gestionar el WIP que genera la sobre producción cuando se adelanta la elaboración de la ingeniería, y la aprobación del cliente no están dentro de los tiempos esperados. La implementación de JIT se podría realizar con una lista

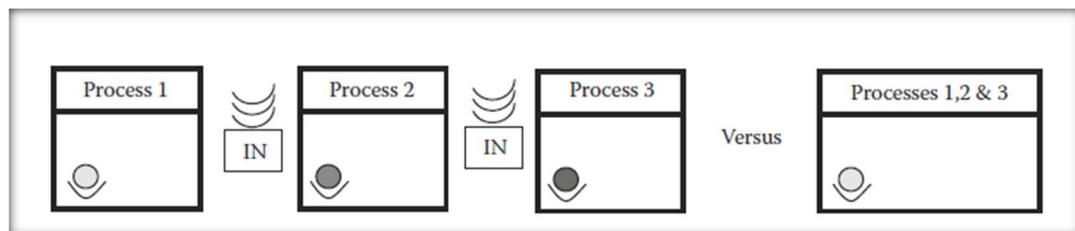
de chequeo en la que se indiquen los documentos e información mandatoria para iniciar con la primera fase del proceso de ingeniería.

Otra de las fases del proceso de ingeniería de SEC que genera el desperdicio de “espera”, y por consiguiente aumenta el WIP, es la aprobación de ingeniería preliminar e ingeniería detallada por parte los clientes. Para este caso, se propone realizar la aprobación a través de una reunión virtual con el cliente, mediante el uso de herramientas TIC (Tecnología de la Información y Comunicación) disponibles en SEC. De esta manera se podría garantizar que la aprobación de la ingeniería se realice en las fechas comprometidas, siendo consecuente con la aplicación del JIT.

#### 14.1.2. Flujo de una sola pieza “*One Piece Flow*”

En términos Lean, el ideal para el flujo de un proceso es que fluya una sola pieza, ya que se procesa la información sin interrupción y da como resultado un PLT corto (Locher, 2011). La Figura 14.1 corresponde a una de las alternativas que recomienda Drew Locher de implementar “*One Piece Flow*” en un proceso de servicios, a través de la unificación de actividades.

Figura 14.1 Implementación de “*One Piece Flow*” en un proceso de servicios



Fuente: “Lean Office and Service Simplified” (Locher, 2011)

Para el caso del proceso de ingeniería de SEC se propone crear “*One Piece Flow*” realizando la unión de las actividades: lectura de especificaciones y documento de aclaraciones, también consolidar la ingeniería básica e ingeniería de detalle en una sola ingeniería. Con la propuesta de la implementación del “*Just In Time*” y el “*One Piece Flow*” para el proceso de ingeniería de SEC se estaría mitigando el impacto de las variables  $X_{12(j)}$ , donde “j” corresponde al desperdicio de espera y procesamientos.

## 14.2. Aplicación de 5S en el proceso de ingeniería de SEC

Para la implementación de 5S al proceso de ingeniería se propone:

**Clasificación:** Crear carpetas para clasificar la información por partes y componentes del producto de acuerdo con la especificación técnicas de los segmentos de mercado, tal como lo indica la Figura 14.2, con el fin de facilitar la ubicación rápida de los diseños y hacer el re-uso de los mismos.

Figura 14.2 Clasificación de unidades funcionales



Fuente: Elaboración propia

**Organización:** Crear subcarpetas para asociar las piezas y los planos, previa clasificación de las unidades funcionales, y evitar desperdicios de sobre procesamientos en la búsqueda de los diagramas o planos de ingeniería para fabricación.

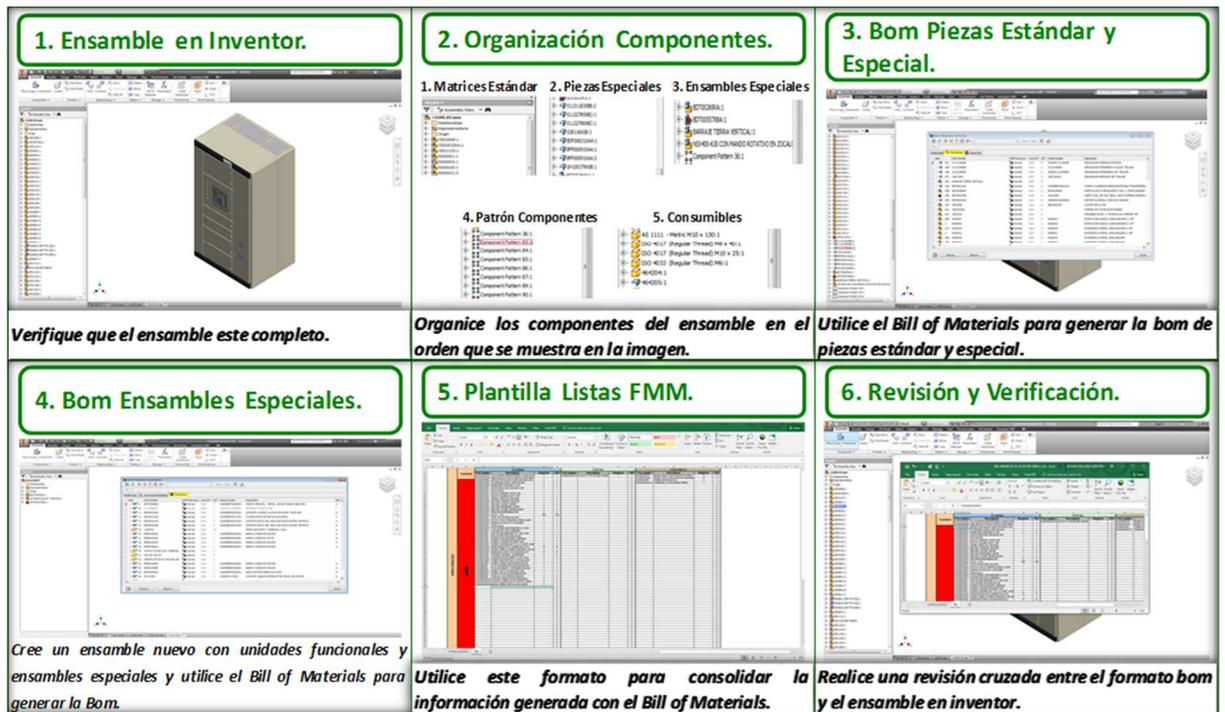
**Limpieza:** Eliminar diseños y planos que no puedan ser adaptadas en el diseño de un producto Blokset o piezas que se hayan reutilizado en los últimos proyectos. Con la propuesta se mejoraría la velocidad en la búsqueda de los diseños evitando el sobre procesamiento en la búsqueda de información.

**Estandarización:** Crear unidades funcionales tomando como base los diseños más utilizados para el segmento “*Oil & Gas*”, segmento que presenta mayor variabilidad de acuerdo con el análisis de varianza (Anova), realizado en el análisis inferencial.

**Mantenimiento de la disciplina:** Para la última etapa del 5S se propone implementar un formato estándar con un paso a paso de las actividades a realizar para mantener la organización de la información en el diseño de piezas, planos y ensambles que pueden ser utilizados durante el desarrollo del diseño del producto, tal como se muestra en la Figura 14.3.

Con la prepuesta de la implementación del 5S para el proceso de ingeniería de SEC se pretende mitigar el impacto sobre la productividad de las variables de entrada  $X_1$  y  $X_2$ , con sus respectivos eventos, identificados en el FTA.

Figura 14.3 Estándar para mantener la disciplina en la organización de la información



Fuente: Elaboración propia

### 14.3. Aplicación del *standard work* en el proceso de ingeniería de SEC

El primer elemento del “*standard work*” es el “qué”, en otras palabras, corresponde a la definición de las tareas a realizar. El segundo elemento para la implementación del “*standard work*” es el “cómo” realizar una actividad dentro de un proceso. El “cómo”, hace referencia al conocimiento trivial o conocimiento que las personas poseen, pero no comparten adecuadamente

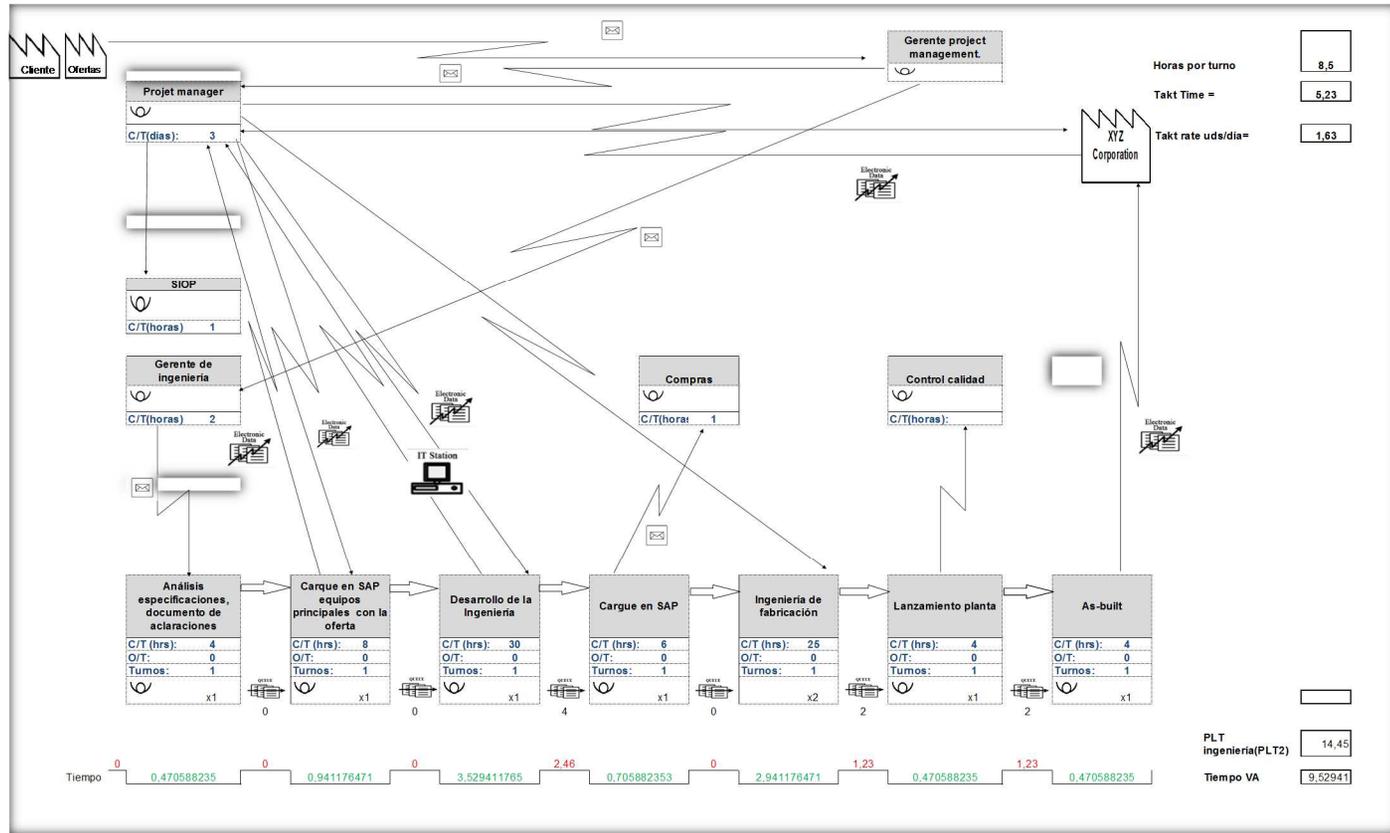
con los demás y es requerido para realizar correctamente una tarea (Locher, 2011). De acuerdo con lo anterior se propone la generación de documentos estándar, implementando las mejores prácticas entre diseñadores para la generación de planos y diagramas durante el desarrollo de la ingeniería.

Con la propuesta de la implementación del “*Standard Work*” para el proceso de ingeniería de SEC se pretende mitigar el impacto sobre la productividad que generan el sobre procesamiento en las actividades de la ingeniería detallada e ingeniería para fabricación.

#### **14.4. VSM futuro del proceso de ingeniería de SEC a partir de la implementación de las herramientas Lean seleccionadas con la metodología AHP**

El VSM futuro propuesto con las mejoras que podrían ser implementadas, se construye utilizando íconos estándar para las necesidades de la industria de servicios, de acuerdo con lo indicado en el artículo “*Service Value Stream Management (SVSM): Developing Lean Thinking in the Service Industry*” (Bonaccorsi et al., 2011). La figura 14.4 corresponde al VSM futuro recomendado para el proceso de ingeniería partiendo del supuesto de la implementación de las herramientas Lean en el proceso ingeniería.

Figura 14.4 Propuesta de VSM futuro para el proceso de ingeniería de SEC



Fuente: Elaboración propia, basado en el artículo “Service Value Stream Management (SVSM): Developing Lean Thinking in the Service Industry” (Bonaccorsi et al., 2011)

#### **14.5. Simulación del VSM actual del proceso de ingeniería de SEC, en el Software de programación ARENA**

Se presenta la simulación del VSM del proceso del caso de estudio, para lo cual se utilizó el software ARENA, a partir de los conceptos y conocimientos obtenidos en la materia “Estadística y Simulación” de la Maestría. El software de simulación ARENA es una herramienta que permite construir el modelo del sistema a estudiar de manera gráfica, mediante la utilización de una serie de módulos. Estos módulos representan los diversos tipos de procesos agrupados en categorías en función de su complejidad. Los módulos se enlazan para representar el flujo de entidades entre ellos. La intención de esta simulación es validar el análisis realizado a los KPIs del proceso de ingeniería de SEC, con respecto a los resultados que se obtienen al simular el VSM actual. Para la simulación del VSM actual, se toma como referencia VSM realizado (Ver anexo J. Mapa del flujo de valor del proceso actual VSM).

De acuerdo con (Tayfur Altiok, 2007), la simulación en ARENA parte del modelamiento del sistema que se va a estudiar y distingue los siguientes pasos principales:

1. **Análisis del problema:** Reunir la información estructural que se tiene sobre el problema y representarla convenientemente, lo cual incluye la identificación de parámetros de entrada, medidas de rendimiento de interés, relaciones entre parámetros y variables, y reglas que rigen el funcionamiento de los componentes del sistema.
2. **Recopilación de datos:** Consiste en formular suposiciones sobre la distribución de variables aleatorias en el modelo para validar el modelo. Aun cuando falten datos, es posible designar rangos de parámetros y simular el modelo para todos o algunos parámetros de entrada en esos rangos.
3. **Construcción del modelo:** Una vez que el problema está completamente estudiado y los datos requeridos se han recolectado, se puede proceder a construir un modelo e implementarlo en el programa ARENA.
4. **Verificación del modelo:** El propósito de la verificación es asegurarse de que el modelo se ajusta a la especificación y hace lo que se supone debe hacer. La verificación se hace en gran parte por inspección, que consiste en comparar lo requerido contra lo construido.

5. Validación del modelo: Cada modelo debe ser visto inicialmente como una propuesta, sujeta a validación. La validación se realiza a través de las medidas de rendimiento establecidas, las cuales deben coincidir razonablemente con sus contrapartes observadas en el sistema de la vida real, si existe.
6. Diseñar experimentos de simulación: El analista selecciona un número de escenarios y ejecuta la simulación para obtener información sobre el rendimiento en relación con los escenarios, cada escenario se replica y los resultados son promediados para reducir la variabilidad estadística.
7. Análisis de las salidas: Las medidas de rendimiento estimadas se pueden someter al análisis lógico y estadístico.

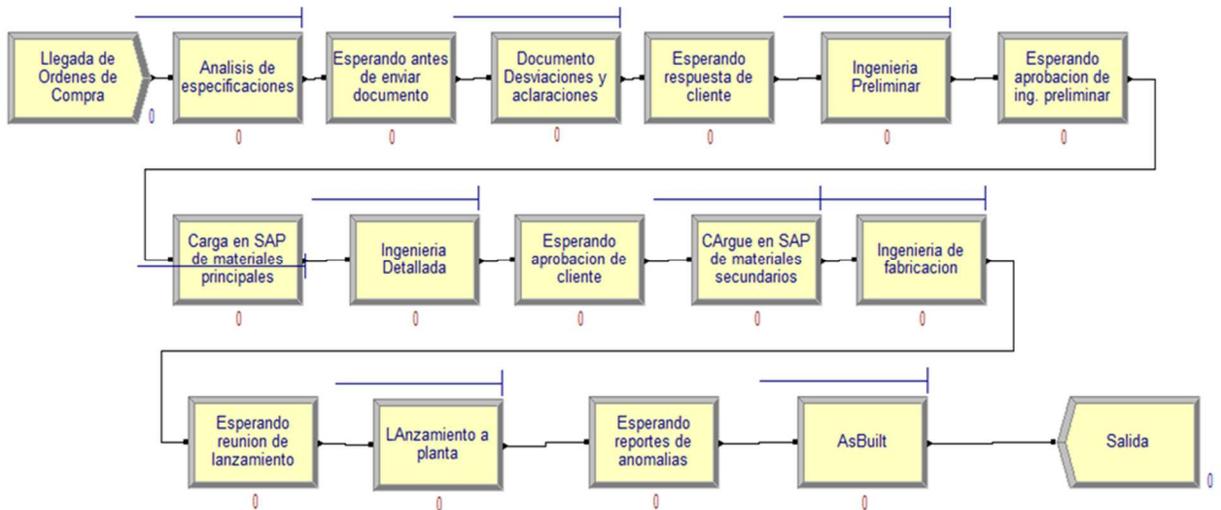
Para la simulación el valor de tiempo medio de las funciones de probabilidad asignadas a cada proceso, y tiempos de espera entre procesos, corresponden a los valores asignados en el VSM teóricamente. Para el modelamiento del sistema estudiado se tuvo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se designó la distribución de probabilidad exponencial para generar las entidades a procesar en el sistema (número de proyectos que entran a ejecución del proceso de ingeniería de SEC), donde la ocurrencia entre eventos de llegada de ordenes de compra corresponde a intervalos continuos. De acuerdo con la temática vista en la materia de estadística y simulación, la distribución de probabilidad que representa este comportamiento corresponde a una distribución exponencial (Sarmiento, 2016).
- Se designó una distribución de probabilidad triangular para el cálculo de tiempos que toma realizar cada actividad del proceso, pues, a partir del análisis del VSM actual realizado, es razonable suponer un intervalo de tiempo para la ocurrencia de cada actividad, es decir, se puede estimar un valor mínimo y un máximo dentro del cual se realizará cada actividad. Según (Tayfur Altioç, 2007) se usa una variable triangular aleatoria, cuando la distribución subyacente es desconocida.
- Cada entidad es atendida por un solo ingeniero de diseño, es decir, un módulo “*Process*” tipo Seize Delay Release, con un solo recurso.

- Número de horas por día: 8,5 h
- Número de replicaciones: 10
- Longitud de cada replicación: 720 horas
- Se considera que cada orden de compra (proyecto) se compone en promedio de 10 UN de celdas PIX o Blokset. En el caso de la simulación, la validación de los KPIs del caso de estudio se hizo tomando como referencia los resultados que arrojó el software: tiempo en proceso, WIP y colas del proceso.

En la Figura 14.5 se muestra la construcción del modelo del VSM actual del proceso de ingeniería de SEC.

Figura 14.5 Configuración del VSM actual del proceso de ingeniería.



Fuente: Elaboración propia

Verificación y validación del modelo y resultados de la figura anterior, obtenidos de la simulación, como se muestra en la Tabla 14-1:

Tabla 14-1 Resultados de la simulación del VSM actual

Resultados	
Número Ordenes de compra que ingresaron al proceso (clientes)	4
Número Ordenes de compra (clientes)	3
PLT total (horas)	213.73
PLT total (días)	25.14470588
WIP	1
Tiempo promedio de espera agregado por los procesos actuales (h)	40.12
Porcentaje de utilización del diseñador	45%
Tiempo de espera promedio en cola para ingresar al proceso de ingeniería (h)	29.54

Fuente: Elaboración propia

Análisis de los resultados de la simulación del VSM actual:

1. WIP en la simulación en Arena indica que de los cuatro proyectos que teóricamente ingresaron al proceso durante el período de tiempo de la simulación, 1(UN) proyecto no terminó el proceso de actividades de ingeniería, lo cual no afecta los resultados de la simulación, respecto al análisis del VSM analizado. Al calcular el WIP del proceso considerando el porcentaje de utilización se obtiene que es de 13, 86 días.
2. El tiempo promedio que dura cada entidad en el sistema simulado, corresponde al PLT del proceso, el valor arrojado por la simulación es aproximado al PLT del proceso real; sin embargo, el “*wait time client*” hace suponer que el desarrollo de las actividades en cada proceso está generando tiempos rojos al PLT total, adicionales a las esperas entre procesos, pero estos no son identificados en el VSM.
3. El ingeniero de diseño (recurso) presenta un porcentaje de utilización del 45%, es decir, del PLT total, el 45% hace referencia a las actividades que generan valor por parte del recurso, lo cual está de acuerdo con el PCE calculado en el VSM actual. Se deduce que el porcentaje restante corresponde a las actividades que no generan valor, ocasionados por el WIP y los desperdicios del proceso.

Se evidencia un “*wait time client*”, justo antes de que la entidad entre al proceso de ingeniería. Este tiempo depende de la función de probabilidad que representa el ingreso de los clientes o entidades al sistema; para el caso de estudio, este “*wait time client*” no fue tenido en cuenta en el análisis del VSM actual, ya que este fue realizado considerando un momento en el tiempo del estudio.

Tabla 14-2 Resultados de ARENA de la simulación del VSM actual

<b>Entity</b>				
<b>Time</b>				
VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Ciente	213.73	0.83	211.73	214.92
NVA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Ciente	0.00	0.00	0.00	0.00
Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Ciente	29.5454	16.00	0.00	64.7435
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Ciente	0.00	0.00	0.00	0.00
Other Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Ciente	0.00	0.00	0.00	0.00
Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Ciente	243.28	16.04	211.73	278.23

**Other**

<b>Queue</b>				
<b>Time</b>				
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Analisis de especificaciones.Queue	3.5853	3.43	0.00	15.1282
AsBuilt.Queue	5.5878	5.05	0.00	20.5520
Carga en SAP de materiales principales.Queue	5.2430	5.22	0.00	17.8885
CArgue en SAP de materiales secundarios.Queue	3.3419	3.57	0.00	15.5128
Documento Desviaciones y aclaraciones.Queue	3.3553	3.38	0.00	13.7403
Ingenieria de fabricacion.Queue	2.3301	2.91	0.00	13.2965
Ingenieria Detallada.Queue	4.6631	4.10	0.00	13.9781
Ingenieria Preliminar.Queue	5.1360	3.48	0.00	10.9050
LAnzamiento a planta.Queue	6.9185	4.87	0.00	17.4580

Resource				
Usage				
Instantaneous Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Disenador	0.4540	0.12	0.2689	0.6999
Number Busy	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Disenador	0.4540	0.12	0.2689	0.6999

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de la simulación en Software Arena

#### 14.6. Simulación del VSM futuro del proceso de ingeniería de SEC, en el Software de programación ARENA

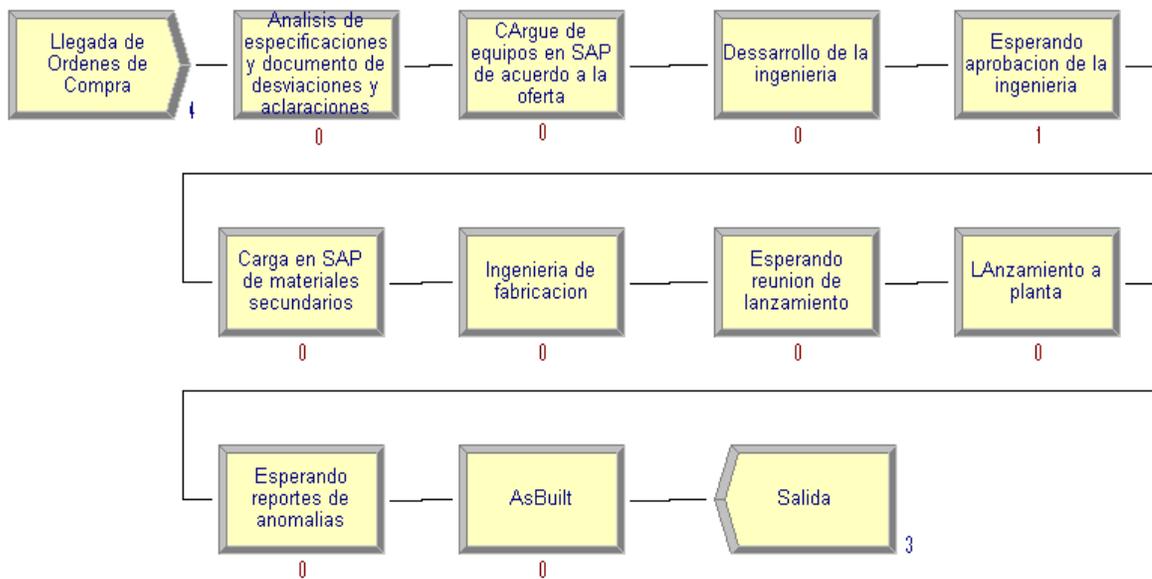
La intención de esta simulación es validar el análisis realizado a los KPIs del proceso de ingeniería de SEC, con respecto a los resultados que se obtienen al simular el VSM futuro, es decir, los resultados luego de la implementación de las acciones de mejora propuestas en el desarrollo del proyecto de grado y que surgieron de la evaluación de las herramientas Lean que pueden ser implementadas en un proceso de servicios como es el proceso de ingeniería de SEC.

- Para la simulación del VSM futuro del proceso de ingeniería de SEC, se consideró la implementación de las herramientas Lean evaluadas, (*JIT, Standard Work, Sistema Pull, 5Ss, flujo de una sola pieza, gestión visual*), las cuales se reflejarón en la eliminación de tiempo de espera de las actividades que precedían: documento de desviaciones y aclaraciones, ingeniería preliminar, carga de materiales principales en el ERP utilizado por la compañía; también en la unificación de las actividades: análisis de especificaciones técnicas, documento de desviaciones y aclaraciones, ingeniería preliminar e ingeniería de detalle.
- Los valores medios de tiempo, de las funciones de probabilidad asignadas a cada proceso y los tiempos de espera entre procesos, corresponden a los valores asignados en el VSM teóricamente, y se tuvo en cuenta las siguientes consideraciones.
- Se designó distribución de probabilidad tipo exponencial para generar las entidades a procesar en el sistema (número de proyectos que entran a ejecución del proceso de ingeniería de SEC).
- Se designó distribuciones de probabilidad triangular para la asignación de tiempos de cada proceso.

- Cada entidad es atendida por un solo ingeniero de diseño, es decir, un módulo “Process” tipo Seize Delay Release, con un solo recurso.
- Número de horas por día: 8,5 h.
- Número de replicaciones: 10
- Longitud de cada replicación: 720 horas
- Se considera que cada orden de compra (proyecto) se compone en promedio de 10 UN de celdas PIX o Blokset.

En la Figura 14.6 se ilustra la construcción del modelo del VSM futuro del proceso de ingeniería de SEC.

Figura 14.6 Configuración del VSM futuro del proceso de ingeniería



Fuente: Elaboración propia

Verificación y validación del modelo y resultados obtenidos de la simulación, como se muestra en la Figura 14.6 y presentados en la Tabla 14-3:

Tabla 14-3 Resultados de la simulación del VSM futuro

Resultados	
Número Ordenes de compra que ingresaron al proceso (clientes)	4
Número Ordenes de compra atendidas	3
PLT total (horas)	122.36
PLT total (días)	14.36
WIP	1
Tiempo promedio de espera agregado por los procesos (h)	21.38
Porcentaje de utilización del diseñador	37%
Tiempo de espera promedio en cola para ingresar al proceso de ingeniería (h)	19.76

Fuente: Elaboración propia

Análisis de los resultados de la simulación del VSM futuro:

1. WIP en la simulación en Arena indica que de los cuatro proyectos que teóricamente ingresaron al proceso durante el período de tiempo de la simulación, 1(un) cliente no terminó el proceso de actividades de ingeniería, lo cual no afecta los resultados de la simulación, respecto al análisis del VSM futuro analizado. Al calcular el WIP del proceso considerando el porcentaje de utilización se obtiene que es de 9.04 días.
2. El tiempo promedio que dura cada entidad en el nuevo sistema simulado corresponde al PLT del proceso, ya que el valor arrojado por la simulación es aproximadamente igual al PLT del proceso futuro que se calculó teóricamente en el capítulo anterior; sin embargo, el “*wait time client*” permite suponer que el desarrollo de las actividades en cada proceso, continúa aportando tiempos rojos al PLT total, adicionales a las esperas entre procesos, pero en menor proporción que los identificados en la simulación del VSM considerado como actual.
3. Luego de las mejoras propuestas en el proceso, el recurso presenta un porcentaje de utilización del 37%, es decir, hay una relación directa entre la reducción del PLT y la reducción del tiempo de desarrollo de las actividades, tal como lo plantea “*The Little Law*”.

4. Igual que en el caso anterior, se presenta un “*wait time client*” que está por fuera del proceso del caso de estudio y depende de la función de probabilidad que representa el ingreso de los clientes o entidades al sistema; sin embargo, como el desarrollo de la ingeniería de los proyectos se agiliza dentro del proceso, el tiempo de espera tiende a mejorar con la implementación de las herramientas Lean.

Tabla 14-4 Resultados de ARENA de la simulación del VSM futuro

<b>Entity</b>				
<b>Time</b>				
<b>VA Time</b>	<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum Average</b>	<b>Maximum Average</b>
Ciente	122.36	0.78	120.17	123.69
<b>NVA Time</b>	<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum Average</b>	<b>Maximum Average</b>
Ciente	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Wait Time</b>	<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum Average</b>	<b>Maximum Average</b>
Ciente	19.7695	12.42	0.00	54.3705
<b>Transfer Time</b>	<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum Average</b>	<b>Maximum Average</b>
Ciente	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Other Time</b>	<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum Average</b>	<b>Maximum Average</b>
Ciente	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Total Time</b>	<b>Average</b>	<b>Half Width</b>	<b>Minimum Average</b>	<b>Maximum Average</b>
Ciente	142.13	12.66	121.06	176.97

## Queue

### Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Analisis de especificaciones y documento de desviaciones y aclaraciones.Queue	3.7977	3.18	0.00	12.0598
AsBuilt.Queue	2.8679	3.28	0.00	10.5817
Carga en SAP de materiales secundarios.Queue	4.1234	4.35	0.00	16.8659
CArgue de equipos en SAP de acuerdo a la oferta.Queue	1.8187	2.44	0.00	10.8534
Dessarrollo de la ingenieria.Queue	2.3562	2.51	0.00	11.3427
Ingenieria de fabricacion.Queue	1.4436	2.29	0.00	10.1837
LAnzamiento a planta.Queue	4.8394	3.67	0.00	13.4162

## Resource

### Usage

Instantaneous Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Disenador	0.3727	0.10	0.2177	0.6105

Number Busy	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Disenador	0.3727	0.10	0.2177	0.6105

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de la simulación Software Arena.

## **15. Propuesta de mejora al proceso de ingeniería de SEC**

Es importante reconocer que no es suficiente solo implementar metodologías de mejora para solucionar los problemas existentes en el proceso; también se necesita mantener los resultados. Como bien lo afirma Dombrowski, la optimización de procesos a través de las técnicas Lean como VSM, 5S, JIT, trabajo estándar, sistema *Pull*, es muy eficaz para lograr mejoras a corto plazo, pero si no se cuenta con una implementación adecuada de los programas de Lean, podría no cumplir las expectativas (U. Dombrowski, 2014). Se presenta un plan que permita mantener las herramientas Lean evaluadas en el proceso de ingeniería de SEC, en armonía con la estrategia de excelencia operacional de SEC, fundamentada en el SPS.

### **15.1. Plan para la implementación de las acciones de mejora Lean al proceso de ingeniería de SEC**

La propuesta de mejora para la implementación de las herramientas Lean al proceso de ingeniería de SEC se recomienda realizarlo a través del ciclo PHVA (Aliena, 2007).

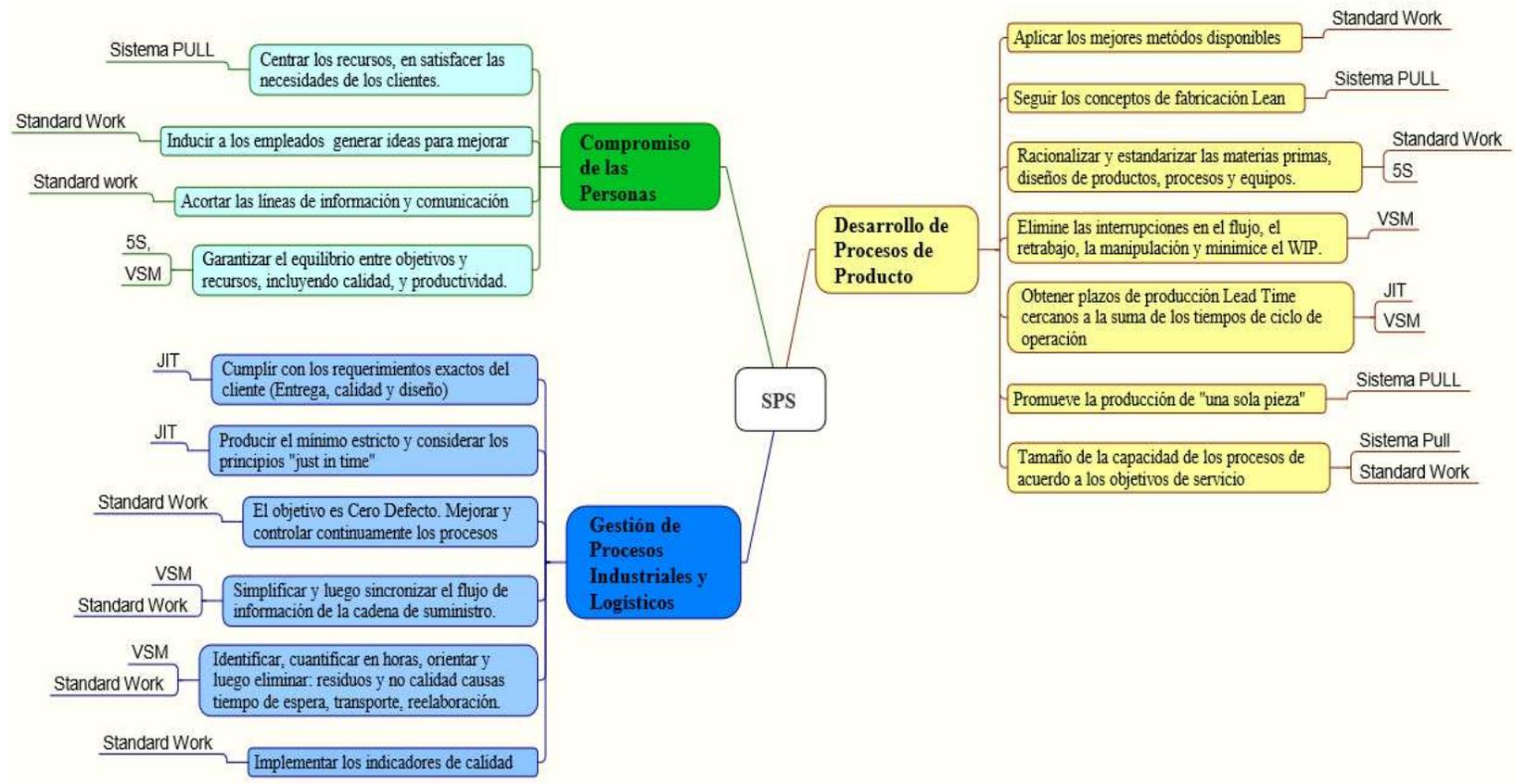
La Tabla 15-1 presenta la hoja de ruta del plan de mejora en relación con los pilares del SPS de la Figura 15.1, se indican las actividades a realizar, se recomiendan las herramientas y medios, se especifican los resultados esperados y se presenta el vinculo de cada fase respecto a los pilares del sistema de gestión SPS de SEC.

Tabla 15-1 Plan para la implementación de las acciones de mejora Lean al proceso de ingeniería de SEC

Fases de implementación	Ruta para la implementación del plan de mejora	Herramientas / Medios	Resultado esperado	Responsable	Relación con el SPS
<b>P</b>	Definir el equipo de trabajo Definir los roles en el equipo de trabajo donde se identifique el sponsor y los roles de cada integrante. Definir actividades Definir los recursos Definir costos de la implementación Definir tiempo para la ejecución Planificar entrenamientos requeridos para el personal de la compañía relacionado con metodología Lean Definir métricas para verificar el avance de la implementación del plan de mejora	Project charter, matriz de responsabilidades, diagrama de Gantt, reuniones periódicas.	Equipo de trabajo conformado que sea eficaz y eficiente, definir cronograma global de actividades que permita identificar los objetivos del proceso e identificar los costos y los recursos para desarrollarlo.	Sponsor del equipo de implementación	Pilar 1. Compromiso de las personas
<b>H</b>	Implementación de herramientas Lean en el proceso de ingeniería Implementación de JIT Implementar Pull Implementar Standard Work Implementar 5S	Hoshin Kanri, tableros Scrum.	Implementación de las herramientas Lean seleccionadas, en el proceso de ingeniería de SEC	Equipo de trabajo	Pilar 3. Gestión de procesos industriales y logísticos
<b>V</b>	Revisar resultados y avance del plan de mejora Seguimiento periódico y actualización al VSM del proceso	KPIs, cartas de control, A3	Verificar el avance del plan de mejora de acuerdo con lo planificado, validar el impacto positivo de la implementación del plan en el VSM del proceso	Equipo de trabajo	Pilar 3. Gestión de procesos industriales y logísticos
<b>A</b>	Realizar ajustes al plan y reasignar recursos. Fomentar y fortalecer el liderazgo Lean en la organización Implementar herramientas de análisis y acciones correctivas	A3, registro de lecciones aprendidas, FMEA, 5 porque.	Asegurar efectividad del plan de mejora a través del tiempo	Directivas de la organización, Sponsor del proceso, equipo de trabajo	Pilar 1. Compromiso de las personas Pilar 2. Ingeniería de procesos de producto Pilar 3. Gestión de procesos industriales y logísticos

Fuente: Elaboración propia con referencia en (Locher, 2011), (Geraldine Fisk/Ann Butler, 2013).

Figura 15.1 Relación entre las herramientas Lean aplicadas al proceso de ingeniería y el SPS de SEC



Fuente: Elaboración propia



### 15.1.2. Implementación del A3 en la propuesta de mejora

La Tabla 15-2 corresponde a la implementación del caso de estudio de este trabajo de grado en el formato A3. En éste, se presenta un resumen ejecutivo a las partes interesadas sobre el estado actual del plan de implementación de herramientas Lean en el proceso de ingeniería.

Tabla 15-2 Formato para identificar o presentar propuestas y problemas en un proceso

<b>A3</b> <b>Plantilla para informe de estado</b>					<b>Estado: Desarrollo</b>			
<b>Tema</b>					<b>Efecto Total</b>			
Reporte de avance de la implementación de las herramientas Lean: VSM, sistema Pull, 5S, trabajo estandar, JIT.								
<b>Antecedentes</b>								
Actualmente los indicadores de productividad y PLT del proceso de ingeniería no alcanzan los valores establecidos por la compañía, lo cual está impactando la competitividad y el "hit rate" de la misma.								
<b>Objetivos</b>								
Mejorar el PLT del proceso de ingeniería a 10 días								
Mejorar la productividad del proceso de ingeniería a 7%								
<b>Implementación</b>					<b>Acciones futuras para los problemas no resueltos</b>			
<b>Propuesta</b>	<b>Quién</b>	<b>Cuando</b>	<b>Estado</b>	<b>Impacto</b>	<b>Que</b>	<b>Quién</b>	<b>Cuando</b>	<b>Estado</b>
Crear unidades funcionales clasificandolas por segmento de mercado	Ingenieros de diseño	Junio 2018	Desarrollo	Productividad	Implementación de tablero de control visual	Ingenieros de diseño	Septiembre 2018	Por implementar
Eliminar partes de diseño que no han sido utilizadas en el último año		Junio 2018		Productividad	Implementar lista de chequeo para validar la información de entrada		Septiembre 2018	Por implementar
Implementar un solo lugar para guardar información		Junio 2018		Productividad				
Realizar solo una ingeniería para aprobación de cliente		Junio 2018		PLT				
Implementar aprobación de diseños de manera virtual.		Junio 2018		PLT				

Fuente: Elaboración propia usando como referencia el libro (Matthews, 2011)

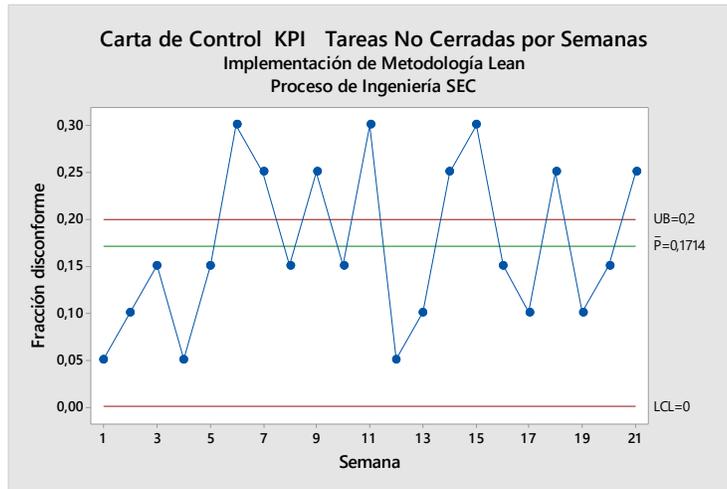
### 15.1.3. Implementación de Cartas de Control en la propuesta de mejora

Dentro de la hoja de ruta propuesta para la implementación de la metodología Lean en el proceso de ingeniería de SEC, se recomienda el uso de cartas de control para hacer seguimiento a los indicadores que se definan para validar el avance de la implementación. La aplicación de una carta de control permite evidenciar si el plan está acorde a lo definido por el equipo de trabajo.

Uno de los KPI que se propone para verificar la efectividad de la implementación de la metodología Lean en el proceso de ingeniería de SEC es el número de tareas que se deben terminar por semana de acuerdo con el cronograma de implementación que se establezca. El seguimiento a KPI se podría realizar a través de la aplicación de una carta de control, como en este caso no se mide una característica de calidad específica, si no el número de tareas cerradas a tiempo, se puede aplicar una carta de control por atributos tipo P (Montgomery & Runger, 2003). Como se verificó en el análisis de capacidad binomial una carta de control por atributos tipo P, que permite determinar la fracción disconforme, que es el cociente entre las tareas que no se terminaron en el tiempo y el total de tareas.

La Figura 15.3 representa una carta de control tipo P donde ha definido como límite de control superior (UB), una fracción disconforme de 0,2 que corresponde al número de tareas que no se terminan dentro del periodo de tiempo acordado, este valor corresponde a la meta del KPI. En la carta de control se observan algunos datos por fuera del límite de control superior (UB), tomando como referencia los patrones para la interpretación de la cartas de control (Montgomery & Runger, 2003), el plan de implementación de la herramientas Lean en el proceso de ingeniería de SEC no estaría bajo control y se debe tomar acciones para mejorar la efectividad del plan de implementación.

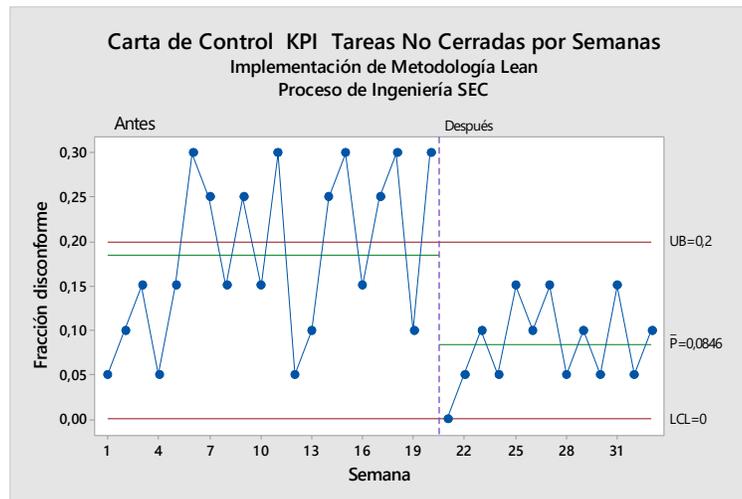
Figura 15.3 Carta de Control para validar el plan de implementación.



Fuente: Elaboración propia

Igualmente, la carta de control permite validar si los ajustes o acciones correctivas ejecutadas para mejorar el KPI dieron los resultados esperados. La Figura 15.4 muestra el compartiendo del KPI antes y después, partiendo del supuesto que se tomaron las acciones correctivas para alinear el plan de implementación de acuerdo con lo requerido.

Figura 15.4 Carta de control para validar el plan de implementación antes y después



Fuente: Elaboración propia

## 16. Conclusiones

Con relación a la revisión bibliográfica:

1. A partir de la revisión bibliográfica se identificó que nuestro trabajo es innovador ya que aporta al estado del arte y la generación de nuevo conocimiento en relación con la implementación de las herramientas Lean a un proceso de servicios de ingeniería eléctrica y mecánico en una empresa. Pues, a partir del análisis bibliométrico se observa que desde el año 2000 las herramientas Lean aplicadas a procesos de servicios han ganado un alto interés; pero en sectores diferentes al tratado en el desarrollo de este trabajo de grado.
2. En cuanto al análisis de los autores más relevantes que han publicado documentos relacionados con la metodología Lean en servicios, identificados en Scopus, destacamos una sinergia entre el estudio de las herramientas Lean en la academia y su aplicación al sector empresarial e industrial. Por lo anterior, toma relevancia el desarrollo de este trabajo en función de ser aplicado de manera real al proceso de ingeniería de SEC.

Con relación a la selección y evaluación de herramientas Lean

3. Teniendo en cuenta que la mayoría de las técnicas y herramientas Lean aplicadas a la industria manufacturera son aplicadas también en el sector servicios (Valverde & Saul, 2016), y de que la literatura no indica como establecer los criterios de selección de una herramienta Lean para mejorarlo. Consideramos que este trabajo es el marco de referencia para definir criterios de selección de herramientas Lean a un proceso de ingeniería como el de SEC.
4. En relación con el método utilizado para evaluar las herramientas Lean propuestas, la utilización del AHP fue acertada, porque permitió identificar las herramientas más apropiadas para implementar en el proceso de ingeniería de SEC, de una manera sencilla y contando con la participación del grupo de ingenieros de diseño.

Con relación al análisis de indicadores de productividad y PLT:

5. Para determinar la relación entre la baja productividad en el área de ingeniería de SEC y los factores que la causan, fue necesario interrelacionar diferentes técnicas y herramientas

de tipo cuantitativo y cualitativo, lo cual fue complejo debido a las características de los datos tomados del proceso de ingeniería. Lo anterior, lo confirma Carlos Henrique Cabral Duarte, quien indica que la medición de la productividad está rodeada de muchas dificultades, que comienzan con la naturaleza de las variables que deben observarse, y que son de naturaleza intangible en un proceso de servicios (Cabral, 2016).

6. Los resultados del análisis descriptivo, inferencial y causal realizados, indican que las características de la familia y las especificaciones técnicas del producto son los factores que impactan negativamente la productividad y el PLT del proceso de ingeniería de SEC. No obstante, en la interacción con los diseñadores de ingeniería, se encontraron otros factores provenientes de procesos externos al estudiado que afectan la productividad y PLT del mismo, los cuales deben ser gestionados aplicando la metodología Lean.
7. Del resultado del análisis inferencial realizado no se encontró evidencia para concluir que la experiencia de los diseñadores tenga un impacto sobre la productividad del proceso de ingeniería de SEC, sin embargo, autores como J.K Yates, Abdulaziz M. Jarkas, Pin-Chao Liao, Andrew S. Chang, Aynur Kazaz, plantean la importancia del recurso humano en términos de experiencia, conocimiento y habilidades para obtener niveles de productividad aceptables en las organizaciones, por esta razón concluimos que gestionando el conocimiento de los ingenieros de diseño de SEC a través de técnicas Lean se logran mejoras adicionales a la productividad del proceso.
8. A partir del análisis del VSM del proceso de ingeniería de SEC, se calculó que el PLT actual del proceso es de 25,44 días, donde el 53 % del tiempo corresponde a actividades que no generan valor, generados por desperdicios como tiempos de espera y sobreprocesamiento. Lo anterior valida lo expuesto por Andrea Chiarini quien indica que la espera y el sobreproceso son los desperdicios que mayor impacto producen sobre el PLT.

En relación con la implementación de herramientas Lean al proceso de ingeniería de SEC:

9. A partir de los resultados de la simulación del modelo del proceso, fue posible determinar que la implementación adecuada de herramientas Lean para eliminar los desperdicios en algunas actividades del proceso de ingeniería de SEC permiten disminuir el PLT de 25,144 días a un PLT de 14,36 días, es decir, el tiempo del proceso se disminuye en 10,78 días, los

cuales corresponden a un WIP generado por esperas entre actividades de 4,78 días, y una reducción de 6 días en relación con sobreprocesamiento de actividades.

10. Con relación a la productividad del proceso, a partir de la simulación se obtuvo que los porcentajes de utilización de los diseñadores en el proceso son: del 45 % en el VSM actual y del 37 % en el VSM futuro, por lo cual concluimos que la implementación de las herramientas Lean permite mejorar la productividad del proceso estudiado en 8 puntos porcentuales.

En relación con la propuesta de un plan de mejora para el proceso de ingeniería de SEC:

11. Para la implementación de las herramientas Lean es importante contar con el compromiso y la participación de las personas involucradas en el proceso, por lo tanto, el entrenamiento y capacitaciones que debe tener el personal acerca de la metodología y sus herramientas es un factor crítico para garantizar el éxito en la implementación.
12. Se confirma que las diferentes técnicas y herramientas utilizadas para el mejoramiento de un proceso son complementarias, lo que conlleva a una oportunidad de explorar metodologías de mejora utilizadas en otros entornos, como alternativas para ser aplicadas en la solución a los problemas en procesos de ingeniería.
13. La aplicación de los principios Lean en un proceso de ingeniería, confirma la importancia de promover una cultura que permita mejorar las habilidades, el conocimiento y la experiencia de los ingenieros de diseño, para identificar nuevas formas de desarrollar las actividades y estandarizar los procesos.
14. Concluimos que este trabajo de grado está alineado con los objetivos de la Maestría en Gerencia de Ingeniería porque nos permitió desarrollar destrezas y competencias para liderar iniciativas de gestión e innovación de procesos y gestión de equipos interdisciplinarios, a fin de contribuir a la competitividad empresarial e industrial de una importante empresa como lo es SEC.

## **17. Recomendaciones**

1. Se recomienda que las facultades de ingeniería de las universidades colombianas implementen el estudio de la metodología Lean a sus programas, para fortalecer la relación entre la academia y la industria.
2. Se recomienda a SEC implementar la metodología Lean en otros procesos como el de ofertas y ejecución de proyectos, ya que son procesos que introducen factores que afectan los indicadores del proceso de ingeniería.
3. Se recomienda a SEC involucrar a la alta dirección en la toma de decisiones y asignación de recursos para garantizar el éxito de la implementación de la metodología Lean.
4. Se recomienda a SEC fortalecer la cultura organizacional en relación con la implementación de la metodología Lean en los procesos administrativos, a través de un plan de entrenamiento periódico.
5. Se recomienda a SEC medir el impacto económico que genera para SEC la mejora de sus indicadores de productividad y PLT.

## **18. Propuesta de futuras líneas de investigación**

1. Estudiar cual es la relación entre investigación y desarrollo, con la productividad de los proyectos de ingeniería en Colombia.
2. Investigar cual es el impacto de la definición del alcance y gestión de control integrado de cambio en los proyectos, como un factor de influencia en la productividad y PLT en los proyectos de ingeniería.
3. Investigar la pertinencia de la implementación de algunas herramientas Lean a la gerencia de proyectos.
4. Se considera pertinente investigar la aplicación del VSM (*Viable System Model*), en los proyectos de ingeniería para mejorar la productividad.

## **19. Limitaciones y barreras en el desarrollo del trabajo**

1. Se presentó dificultad para determinar los desperdicios del proceso de ingeniería.
2. Se presentó dificultad para encontrar información documentada de fuentes bibliográficas relacionadas con la implementación de la metodología Lean en procesos de servicios de ingeniería como el de SEC. En general, la mayoría de la información publicada corresponde a otros temas de ingenierías como la civil, IT, y áreas de la medicina.
3. No se validó en qué medida las mejoras propuestas impactan positivamente en el indicador Sigma del proceso.
4. Se presentó dificultad en la disponibilidad de los ingenieros del proceso de ingeniería de SEC para lograr la participación en el desarrollo de este trabajo.

## 20. Anexos

### 20.1. Anexo A. Entrevista 1 Gustavo Gómez



UNIVERSIDAD DE LA SABANA

MAESTRÍA EN GERENCIA DE INGENIERÍA

**Título del proyecto de grado: EVALUACIÓN DE HERRAMIENTAS LEAN APLICADAS AL PROCESO DE INGENIERÍA DEL SECTOR ELÉCTRICO EN COLOMBIA.**

Partiendo del hecho de que un proceso de ingeniería, en una empresa industrial, puede considerarse como un proceso de prestación de servicios, que se caracteriza porque la mayoría de sus actividades son intangibles; y de que las herramientas Lean pueden ser implementadas a cualquier proceso, desde su experiencia, se pregunta lo siguiente:

1. ¿Cómo considera que ha sido la evolución de la metodología Lean como cátedra en la academia en Colombia? Lean ya es una asignatura que está presente en la mayoría de los posgrados de operaciones y producción. Sin embargo, en otros posgrados como Calidad, MBA es algo que no siempre se enseña.
2. ¿Como ha visto la implementación de la metodología Lean en Colombia, aplicada a procesos de servicios respecto a la implementación en procesos de manufactura?, ¿en que sectores de Colombia ha sido aplicada la metodología? R/Cada vez veo más empresas de servicios aplicando Lean y en los mismos posgrados de operaciones las personas de servicios son mayoría en relación a manufactura. Los servicios tienen un gran potencial para la aplicación de Lean, si bien no están tan avanzados como en manufactura, creo que ya es algo normal.



3. ¿Considera que la incursión de las herramientas Lean como cátedra dentro de las universidades ha ayudado a mejorar la productividad de las empresas colombianas o en el exterior? R/Sin duda que ha contribuido. Estamos en un país que necesita ser más productivo tanto en manufactura como en servicios y veo que por lo menos en las empresas grandes ya se aplica algo de Lean, especialmente en las multinacionales. Me preocupa mucho que en las Pymes se aplica poco de Lean, creo que es un gap importante que hay que mejorar.
4. Partiendo del concepto del modelo triple hélice (academia, industria, gobierno) ¿considera usted que el gobierno en Colombia realmente está interesado en fortalecer a la academia para que sus cátedras se enfoquen en conceptos aplicables a la industria? ¿en el exterior? R/Creo que se hace cierto esfuerzo para que lo que se enseña en la academia sea aplicable, sin embargo, no es un esfuerzo donde los 3 participen de forma simultánea. No veo mucha presencia de personas de empresa dictando cátedra en las universidades, ni veo muchas personas de las universidades colaborando con investigaciones en las empresas. El gobierno está preocupado por la Paz, no lo veo participando en este modelo de forma activa.
5. ¿Que considera usted que se debe tener en cuenta para que el éxito de la implementación de Lean en la manufactura sea igualmente exitoso en los demás procesos de la cadena de valor de una compañía, diferentes al proceso de producción? Los factores son similares a manufactura: Liderazgo, entrenamiento, recursos, visión sistémica, visión de largo plazo, ejecución y resultados.
6. ¿Cuáles considera que son las dificultades para implementar la metodología Lean a procesos de servicios? R/Los conceptos son los mismos, pero hay que hacer pequeñas adaptaciones a estos conceptos para aplicarlos en servicios, a veces se falla en esto. También hace falta más material y casos de estudio. Pero en general veo pocas barreras.



para aplicar en servicios, creo que si no se aplica es más por falta de visión y de voluntad de cambio.

7. En la búsqueda de la mejora continua en los procesos de servicios, como el de ingeniería de SEC, ¿considera adecuado implementar no solo la metodología Lean, sino también Six sigma, kaizen, Kanban, SMED, grupos de trabajo? La mejora continua es un toolbox de herramientas donde se debe escoger la herramienta adecuada para cada problema, así como un médico selecciona la medicina correcta para cada enfermedad, la mejora continua funciona de una forma similar. Todas las herramientas Lean sin duda son aplicables en un mayor o menor grado a servicios.

Respondido por:

Gustavo Gómez

Director Industrial Schneider Electric de Colombia

Ingeniero Industrial, Especialista en Producción, MBA y especialista en Innovación.

Docente universitario de posgrado en Producción y Operaciones: Universidad Sergio Arboleda-Escuela Colombiana de Ingeniería. Conferencista Internacional en temas de Lean.

Celular: 3102227633

## 20.2. Anexo B. Entrevista 2 Glenn Ballard

**De:** Herman Glenn BALLARD [mailto:gballard@berkeley.edu]

**Enviado el:** Saturday, February 3, 2018 2:47 PM

**Para:** Olga Liliana Gutierrez Monsalve <olgagumo@unisabana.edu.co>

**CC:** Jhon Jairo Orejuela <jhonor@unisabana.edu.co>; JHON OREJUELA CORDOBA <jhon.orejuela@schneider-electric.com>

OLGA LILIANA GUTIERREZ MONSALVE <liliana.gutierrez@schneider-electric.com>

**Asunto:** Re: Lean Service Process

Hi All.

I've interleaved responses to your questions on the attached. Also attached is the paper describing how one company got everyone involved in improving their own work processes.

Good luck on your lean journey!

Glenn Ballard  
Project Production Systems Laboratory  
212 McLaughlin Hall  
University of California Berkeley  
415-710-5531

On Sat, Feb 3, 2018 at 9:05 AM, Olga Liliana Gutierrez Monsalve <olgagumo@unisabana.edu.co> wrote:

<https://outlook.office.com/owa/?realm=unisabana.edu.co&vd=mail&path=/mail/search>



**Universidad de la Sabana, Chía - Colombia**

**ENGINEERING MANAGEMENT MASTER**

**Title of the degree project: EVALUATION OF LEAN TOOLS APPLIED TO THE ELECTRICAL AND MECHANICAL ENGINEERING PROCESS OF SCHNEIDER ELECTRIC COLOMBIA**

We consider an engineering process in an industrial company, as a ETO service process, where a lot of its activities are intangible, and that the Lean tools could be implemented to any process. From your experience, May you help us answering the following questions?

1. Last decade around the world, how do you consider the implementation of the Lean methodology into service processes has evolved? *Electrical and mechanical engineering companies have been among the first to adopt the lean philosophy.*

2. Around the world, in which engineering areas has the Lean methodology been applied as an improvement methodology to service processes? I am most familiar with developments in the United States and the U.K., where the Lean methodology has been applied in both the design and construction phases of projects, and also in fabrication shops for sheet metal ductwork, plumbing trees, and piping. Crown House Engineering in the U.K. (now a subsidiary of Laing/O'Rourke) and Southland Industries in the U.S. are among the most advanced practitioners.
3. Do you know some electrical and mechanical engineering companies' sector that have implemented the Lean methodology? If you're asking for specific companies, I've noted two above.
4. What do you consider are the biggest difficulties to implement the Lean methodology to service processes? I'm not aware of major difficulties, except when the electrical or mechanical firms are the only ones practicing lean on a project. Even then, there are cases where they have been successful. In one case, TD Industries was the mechanical contractor on DMOS 6, a wafer fabrication plant for Texas Instruments, in the 1995-6



period. As a result of implementing the Last Planner System, during the time when the mechanical trade leads, other trades attended their weekly lookahead meetings in order to see what they planned to do, then aligned their own work around them. TD Industries completed their contract with a 31% gross margin.

5. In our work, we have evaluated the Lean tools that could be implemented into the electrical and mechanical engineering process of Schneider Electric of Colombia, we also have proposed as an improvement plan, implementing Hoshin Kanri, control charts and A3 formats to help the taking of decisions of the process leaders. What is your opinion or suggestion about? The choice of objectives should precede the choice of methods. One objective should be to engage the people in your company in improving their own work processes. I've attached a paper describing what one company did.

Respondido por:

Glenn Ballard  
Project Production Systems Laboratory  
212 McLaughlin Hall  
University of California Berkeley  
415-710-5531

### 20.3. Anexo C. Plan de recolección de datos

Para el plan de recolección de datos cuantitativos se tomó como referencia el procedimiento descrito por Roberto Sampieri en su libro *Metodología de la investigación* y T. M. Kubiak, Donald W. Benbow en su libro *The Certified Six Sigma Blackbelt Handbook*.

1. Definir la fuente de la que se obtendrán los datos
  2. Definir donde se localiza la fuente
  3. Definir la forma como se recolectarán los datos: Matriz de datos
  4. Seleccionar el método para recolectar los datos requeridos
  5. Obtener los datos
  6. Codificar los datos
  7. Archivar los datos y prepararlos para su análisis por computadora
- 
1. Se medirán datos continuos correspondientes a tiempo de proceso (PLT del proceso de ingeniería), a partir de las horas asignadas para desarrollar un diseño y de los datos históricos (tiempos) registrados en SAP (Sistema de administración de recursos utilizado por SEC).
  2. El plan de recolección de datos incluirá el desglose de la información de tiempo invertido para el diseño de un requerimiento, teniendo en cuenta el tipo de producto diseñado, cantidad de productos, tiempo real trabajado, tiempos rojos y tiempos verdes.
  3. La fuente de recolección de datos corresponde a los ingenieros de diseño del proceso de ingeniería de SEC, localizados en las plantas de producción de SEC en el municipio de Funza. La fuente directa proveedora de los datos es el sistema SAP.

- Se descarga la información que ha ingresado cada uno de los diseñadores eléctricos y mecánicos semanalmente en SAP en la transacción CAT2, entre los años 2014 y 2016, que corresponde a hoja de trabajo actual, donde la información se registra en horas.

Figura 20.1 Imagen de plantilla SAP donde los diseñadores registran las horas trabajadas en un proyecto

**Hoja horario trabajo: Vista entrada**

Ce.coste

Período de entrada 16.02.2015 - 22.02.2015 Semana 08.2015

Pool trabajo

CIAct	Grafo	Op...	PstoTbjo	Texto breve operación
CVD	40137864	0151	AE30ICMT	Calidad / Pruebas
CVD	40074858	0151	AE30ICMT	Calidad / Pruebas
CVD	40178912	0151	AE30ICMT	Calidad / Pruebas

Área de entrada

TL	CeCo emis.	CIAct	CeCo rec.	Grafo	Op...	PstoTbjo	C	D	UM	Total	LU	MA	MI	JU	VI	SA	DO
									H	40,00	8,00	8,00	8,00	0,00	0,00	8,00	8,00
									H	42,50	9,00	9,00	9,00	9,00	6,50	0,00	0,00
	AE50006	R. RUTA	AE50006						H	2,75	0,50	0,50	0,50	0,75	0,50		
	AE50006	CAPA	AE50006						H	2,00				2,00			
	AE50006	MEJ	AE50006						H	1,00	1,00						
	AE50006	DIS EL		40142302	0150	AE30IDMT			H	36,75	7,50	8,50	8,50	6,25	6,00		

Fuente: Plantilla SAP de SEC.

5. La información se descarga en tabla de Excel, es organizada y es filtrada. La unidad de los datos es la hora (h).

Tabla 20-1 Definición operacional de los datos

Datos			Definición Operacional		
Que?	Tipo de medida	Tipo de dato	Unidad de medida	Definición conceptual	Condiciones relacionadas
Horas asignadas por Celda.	Entrada	Continuo	Tiempo en horas	Tiempo de ciclo teórico asignado para el desarrollo del diseño de una celda.	El tiempo de ciclo teórico asignado en la OL para el cumplimiento de todas las actividad del proceso de ingeniería de SEC durante el diseño de una celda.
Horas ejecutadas por celda.	Proceso	Continuo	Tiempo en horas	Tiempo de ciclo ejecutado durante del desarrollo del diseño de una celda.	El tiempo de ciclo ejecutado durante el desarrollo de las actividades de diseño de una celda. Tiempo tomado del ERP de SEC.
Productividad	Salida	Continuo	Porcentaje	La relación entre las horas asignadas y las horas ejecutadas para el desarrollo del diseño de una celda.	Ahorro en horas durante el desarrollo del diseño de una celda. Es la relación entre las horas asignadas y horas ejecutadas.
PLT	Salida	Discreto - Atributo	Días	Numero de días para la entrega del diseños de una celda.	Diseños elaborados por el área de Ingeniería que cumplen con un PLT de 10 días. Se validan a través de nivel de servicio establecido por SEC que es el 96 % (4 de cada 100 diseños no cumplen con el PLT establecido).
Tipo de producto	Entrada	Discreto - Atributo	2 tipos de productos	Tipo de producto de definido en la OL	Diseños de celdas clasificadas como Blokset o PIX, definidos por la OL de SEC.
Nivel de dificultad	Entrada	Discreto - Atributo	3 niveles de dificultad	Complejidad del diseño	Definidos por el numero de parte o componentes que se debe diseñar, la nivel de dificultad esta definido en la OL de SEC.
Segmento de Mercado	Entrada	Discreto - Atributo	4 segmentó de mercado	Diseños elaborados por el proceso de Ingeniería de SEC que van dirigidos a los diferentes segmento de mercado.	Especificaciones técnicas del producto definido en la OL de SEC.
Experiencia diseñador	Proceso	Discreto - Conteo	Números de años	Corresponde a la curva de aprendizaje del recurso humano	Años de experiencia del ingeniero asignado al diseño de una celda, trabajando en el proceso de ingeniería de SEC.

Fuente: Elaboración propia

6. Las personas que recolectarán los datos son Olga Liliana Gutiérrez y Jhon Orejuela, y se solicita soporte al personal que controla las bases de datos de SEC.
7. Las horas se clasifican por proyecto, de acuerdo con las siguientes características:
  - Fecha
  - Tipo de diseño (eléctrico o mecánico)
  - Tipo de actividad realizada
  - Costo del recurso
  - Tipo de producto
8. Se realizan los siguientes análisis a los datos:
  - Selección de la muestra
  - Prueba de normalidad
  - Gráficas y distribuciones
  - Box plot
  - Análisis Anova
  - Pruebas de hipótesis

Y las siguientes mediciones específicas del proceso

- “Lead Time”
- Tiempos de ciclo
- Tiempos de cola
- “Takt time”
- WIP

**20.4. Anexo D. Tablas para definir los niveles de severidad, ocurrencia y no detección al desarrollar un FMEA.**

<b>Table A.1</b> Qualitative scale for the severity index (adapted from [1]).		
No	Level	Criteria
1	No	No effect
2	Very slight	Customer not annoyed. Very slight effect on product or system performance.
3	Slight	Customer slightly annoyed. Slight effect on product or system performance.
4	Minor	Customer experiences minor nuisance. Minor effect on product or system performance.
5	Moderate	Customer experiences some dissatisfaction. Moderate effect on product or system performance.
6	Significant	Customer experiences discomfort. Product performance degraded, but operable and safe. Partial failure, but operable.
7	Major	Customer dissatisfied. Product performance severely affected but functioning and safe. System impaired.
8	Serious	Customer very dissatisfied. Product inoperable but safe. System inoperable.
9	Extreme	Potential hazardous effect. Able to stop service. Compliance with government regulation is in jeopardy.

<b>Table B.2</b> Qualitative scale for the occurrence index (adapted from [1]).		
No	Level	Criteria
1	No	Failure unlikely. History shows no failure.
2	Very slight	Rare number of failures likely.
3	Slight	Very few failures likely.
4	Minor	Few failures likely.
5	Moderate	Occasional number of failures likely.
6	Significant	Medium number of failures likely.
7	Major	Moderately high number of failures likely.
8	Serious	High number of failures likely.
9	Extreme	Very high number of failures likely.

<b>Table C.3</b> Qualitative scale for the detection index (adapted from [1]).		
No	Level	Criteria
1		Proven detection methods available in concept stage.
2		Proven computer analysis available in early design stage.
3		Simulation and/or modeling in early stage.
4		Tests on early prototype system elements.
5		Tests on preproduction system components.
6		Tests on similar system components.
7		Tests on product with prototypes with system components installed.
8		Only unproven or unreliable technique(s) available.
9		No known techniques available.

Fuente: “A systematic approach for diagnosing service failure: Service-specific FMEA and grey relational analysis approach” (Geum et al., 2011)

## 20.5. Anexo E. FMEA realizado para el proceso de ingeniería de SEC

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (FMEA)									
Nombre del Proceso - Línea									
Responsable del Proceso - Línea									
Responsable de FMEA (Equipo de Trabajo)		Liliana Gutiérrez- Jhon Orejuela - Diseñadores del proceso de Ingeniería de SEC							
Actividad	Función	Modo de Falla	Efecto	SEV	Causas	OCU	DET	NPR INICIAL	Priority Number
Cual es la actividad del proceso	Cual es la función de la actividad del proceso	¿Qué puede ir mal en esta actividad?	¿Cuál es el efecto potencial? ¿Llegará hasta el cliente o aguas abajo a los siguientes procesos?	¿Que tan severo es el efecto?	¿Cual es la causa de la falla?	¿Cuál es la probabilidad de ocurrencia de la causa de la falla?	¿Que tan bien son detectadas la fallas de los procesos por los controles actuales?	Risk	Priority Number
1. Análisis de la información de entrada.	1.1 Análisis de las especificaciones del cliente y oferta.	Analizar las especificaciones técnicas exigidas por el cliente, en contraste con las especificaciones del producto y la oferta.	1. No se garantiza un análisis al 100%. 2. No se cuenta con especificaciones técnicas del cliente.	1. Cliente no conforme. 2. Retrasos en el diseño por falta de especificaciones. 3. Retrasos en control calidad por no cumplimiento de especificaciones.	7	1. Lectura incompleta de especificaciones. 2. Oferta sin especificaciones. 3. Falta de control sobre la tarea por parte del ingeniero de diseño.	4	4	112
	1.2 Análisis de diagramas unifilares y/o tablas de cargas.	Garantizar que la información de entrada sea coherente y viable.	1. No se garantiza un análisis al 100%. 2. Se pueden presentar diferencias entre la información del cliente y la oferta. 3. No se cuenta con información del cliente.	1. Cliente no conforme. 2. Retrasos en el diseño por falta de información.	2	1. No se circula la información del cliente a tiempo. 2. La oferta no corresponde a lo requerido por el cliente.	2	3	12
2. Reunión Diseñador eléctrico y mecánico.	Revisión del alcance del proyecto, documento de desviaciones y aclaraciones técnicas. Ingeniería básica y de detalle.	1. Errores en la concepción del diseño.	1. No conformidades del cliente. 2. Retraso en la entrega del proyecto. 3. No conformidades control calidad.	6	1. Errores de comunicación diseñador Eléctrico y mecánico. 2. Información de entrada incompleta.	4	3	72	
3. Desarrollo de la ingeniería Preliminar	3.1 Verificar información de diseños previos del producto para el re-uso de la Ingeniería	Buscar información disponible de diseños previos que pueda ser re-usada en la Ingeniería preliminar para y disminuir el tiempos de ejecución de la ingeniería del producto.	1. No tener la información disponible para re-usar el desarrollo de la ingeniería del producto.	1. Pérdida de tiempos en búsqueda de la información afectando La productividad del proceso.		1. La organización de la información en la base de datos de la información de diseños previos del producto no permite ser re-usada			
	3.2 Revisión, verificación y validación de la ingeniería básica	Generar las vistas frontales y fundamentos. Primer cague de materiales y listado de componentes estándar.	1. Vistas frontales y fundamentos incoherentes. 2. Cargue de materiales insuficiente. 3. Listado de componentes estándar incompleto.	1. Insatisfacción del cliente. 2. Retraso en el ensamble del proyecto. 3. Piezas y/o consumibles incompletos.	5	1. Información de entrada incompleta. 2. Falta de revisión en la vista frontal y fundamentos. 3. Falta de revisión en los listados de consumibles y piezas.	8	4	160
4. Desarrollo de Ingeniería de detalle.	Generar piezas y ensambles especiales.	1. Distribución de equipos errónea 2. Especificaciones técnicas no contempladas. 3. Dimensiones de las celdas incorrectas. 4. Guías civiles incompletas o erróneas. 5. Relación de transformadores mal seleccionada. 6. Relés de protección que no cumplen las especificaciones. 7. Modulación inconsistente.	1. Equipos mal solicitados. 2. Piezas metalmecánicas mal fabricadas. 3. Reprocesos en planta. 4. Sobrante de equipos.	6	1. Cantidad de piezas para cumplir con la especificaciones del segmento del mercado.	8	4	192	
5. Planos piezas especiales y planos de ensamble, Bom.	Realizar planos y diagramas de ensamble y de piezas especiales para el proyecto (Planos corte de manguera, fabricación y ensamble)	1. Planos erróneos. 2. Faltantes de planos. 3. Planos desactualizados.	1. Errores en el ensamble. 2. Retrasos en la fabricación y/o ensamble. 3. Sobrecostos proyectos.	4	1. No se pasan los planos de ensamble a tiempo. 2. Mal uso de las herramientas de diseño. 3. Falta de revisión durante el desarrollo de los planos.	7	3	84	
6. Implantación de equipos de control.	Hacer la distribución en 3D de los equipos de control por celda.	1. Implantaciones incompletas. 2. Espacio insuficiente para el control. 3. Reprocesos en CBT para instalación de equipos de control.	1. Insatisfacción del cliente. 2. Retraso en el ensamble del proyecto. 3. Reprocesos en ensamble y cableado. 4. Sobrecostos proyectos.	4	1. Planos de control incompletos. 2. Cambios a ultimo minuto en equipos de control 3. Implantaciones mal realizadas.	8	3	96	
7. Desarrollo de la Ingeniería de fabricación.	Circular las listas de fabricación estándar y especial para el proyecto.	1. listas de fabricación incompletas. 2. Piezas con problemas de diseño. 3. Inconsistencias en pintura y tratamientos.	1. Retraso en el ensamble del proyecto. 2. Reprocesos en ensamble y cableado. 3. Sobrecostos proyecto.	4	1. Sobre procesamiento para realizar planos diagramas, ensambles, BOM, etc.	8	4	128	
8. Alocación de consumibles.	Cargar en SAP y circular a compras las necesidades de consumibles para el proyecto.	1. Falta de elementos consumibles para el ensamble. 2. Inconsistencias en la compra de materiales.	1. Retraso en el ensamble del proyecto. 2. Sobrecostos proyecto.	4	1. Matrices incompletas. 2. Problemas de versión en planos Proveedores.	4	4	64	
9. Reunión de lanzamiento a planta y control de calidad.	Entregar la información necesaria para el ensamble & cableado y pruebas control calidad del proyecto.	1. Información incompleta y/o defectuosa. 2. Personal de planta no asociado al proyecto.	1. Retraso en el ensamble del proyecto. 2. Sobrecostos proyecto.	4	1. Información de entrada incompleta. 2. Inconsistencias en el diseño.	5	4	80	
10. Seguimiento en planta.	Hacer seguimiento y control en planta durante el ensamble del proyecto.	1. No se da respuesta oportuna a a las dudas de ensamble. 2. No se identifiquen los reprocesos.	1. Retraso en el ensamble del proyecto. 2. Sobrecostos por re trabajos en el proyecto.	4	1. El ingeniero de diseño no da la vuelta a planta.	6	4	96	

Fuente: Elaboración propia

**20.6. Anexo F. Tabla indicador sigma vs. DPMO**

Tabla 20-2 Tabla Tabla indicador sigma vs. DPMO

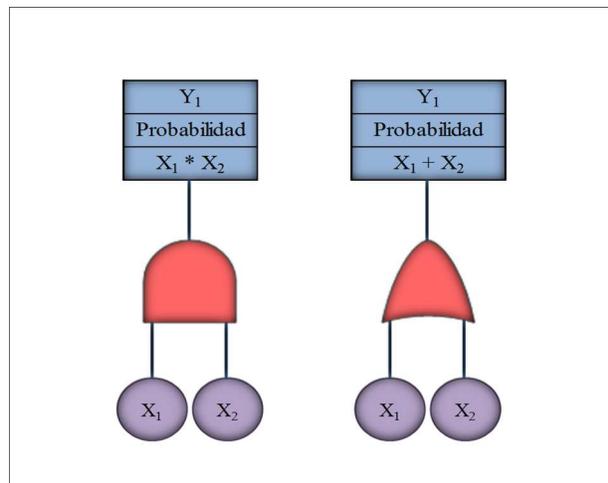
Sigma	DPMO	Rendimiento	Sigma	DPMO	Rendimiento
6	3.4	99.99966%	2.9	80,757	91.9%
5.9	5.4	99.99946%	2.8	96,801	90.3%
5.8	8.5	99.99915%	2.7	115,070	88.5%
5.7	13	99.99866%	2.6	135,666	86.4%
5.6	21	99.9979%	2.5	158,655	84.1%
5.5	32	99.9968%	2.4	184,060	81.6%
5.4	48	99.9952%	2.3	211,855	78.8%
5.3	72	99.9928%	2.2	241,964	75.8%
5.2	108	99.9892%	2.1	274,253	72.6%
5.1	159	99.984%	2	308,538	69.1%
5	233	99.977%	1.9	344,578	65.5%
4.9	337	99.966%	1.8	382,089	61.8%
4.8	483	99.952%	1.7	420,740	57.9%
4.7	687	99.931%	1.6	460,172	54.0%
4.6	968	99.90%	1.5	500,000	50.0%
4.5	1,350	99.87%	1.4	539,828	46.0%
4.4	1,866	99.81%	1.3	579,260	42.1%
4.3	2,555	99.74%	1.2	617,911	38.2%
4.2	3,467	99.65%	1.1	655,422	34.5%
4.1	4,661	99.53%	1	691,462	30.9%
4	6,210	99.38%	0.9	725,747	27.4%
3.9	8,198	99.18%	0.8	758,036	24.2%
3.8	10,724	98.9%	0.7	788,145	21.2%
3.7	13,903	98.6%	0.6	815,940	18.4%
3.6	17,864	98.2%	0.5	841,345	15.9%
3.5	22,750	97.7%	0.4	864,334	13.6%
3.4	28,716	97.1%	0.3	884,930	11.5%
3.3	35,930	96.4%	0.2	903,199	9.7%
3.2	44,565	95.5%	0.1	919,243	8.1%
3.1	54,799	94.5%			
3	66,807	93.3%			

Fuente: tomada del libro "Lean- Six Sigma Logistics"(Goldsby et al., 2005.)

## 20.7. Anexo G. Descripción de elaboración de un FTA

La Figura 20.4 representa un FTA, donde la variable  $Y_1$  corresponde a una situación indeseada, como consecuencia de los eventos  $X_1$  y  $X_2$ , donde la probabilidad de que se presente la situación indeseada depende de las probabilidades asignadas a los eventos  $X_1$  y  $X_2$ . Cuando la operación lógica de las factoras  $X_1$  y  $X_2$  corresponde a “AND” indica que los dos eventos deben estar presentes para que se presente la variable  $Y_1$ , y la probabilidad asignada a la variable  $Y_1$ , en este caso será el producto entre las probabilidades de  $X_1$  y  $X_2$ . En caso de que la operación lógica de los factores  $X_1$  y  $X_2$  sea una “OR” indica que cualquiera de los dos eventos debe estar presente para que se presente la variable  $Y_1$ , con una probabilidad que es la suma entre la probabilidades de  $X_1$  y  $X_2$  (Zhou & Zhang, 2017).

Figura 20.2 Representación de la construcción de un Fault Tree Analysis



Fuente: Elaboración propia basada en el artículo “Fault Tree Analysis Based on Dynamic Uncertain Causality Graph”(Zhou & Zhang, 2017)

Tabla “Table 1 Frequency index” del artículo “Fault Tree Analysis for Investigation on the Causes of Project Problems” fue la referencia para la asignación de la probabilidad estimada en la construcción de los FTA de las actividades de proceso de ingeniería con el mayor índice de priorización del riesgo (RPN).

## 20.8. Anexo H. Niveles de calificación de las causas de falla

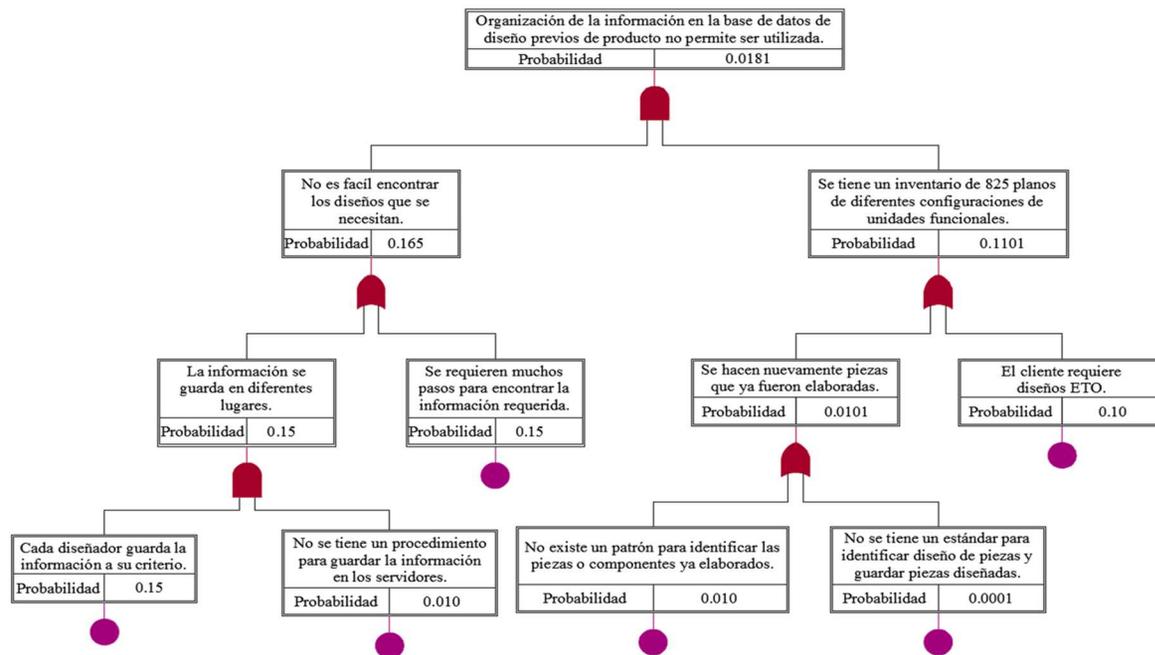
Tabla 20-3 Fault Tree Analysis for Investigation on the Causes of Project Problems  
Table 1 Frequency index

No.	Frequency Index	Probability	
		Quantitative	Qualitative
1	$\leq 20\%$	$10^{-5}$	Rare
2	$> 20\% - 40\%$	$10^{-4}$	Unlikely
3	$> 40\% - 60\%$	$10^{-3}$	Possible
4	$> 60\% - 80\%$	$10^{-2}$	Likely
5	$> 80\% - 100\%$	$10^{-1}$	Almost Certain

Fuente: Libro, "Fault Tree Analysis for Investigation on the Causes of Project Problems" (Mahandeka & Rosyid, 2015b).

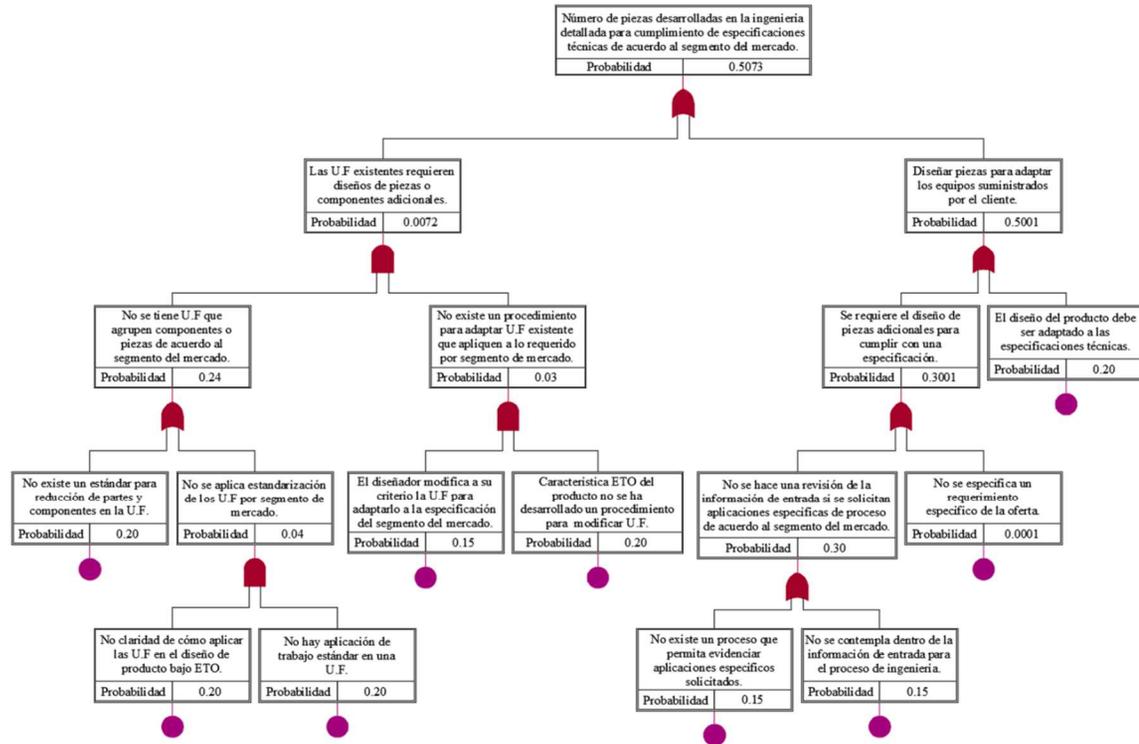
**20.9. Anexo I. Las figuras 20.4, 20.5 y 20.6 corresponden al FTA de las fases de ingeniería que son: (ingeniería detallada, ingeniería preliminar e ingeniería para fabricación)**

Figura 20.3 *Fault Tree Analysis* correspondiente a la fase de ingeniería preliminar



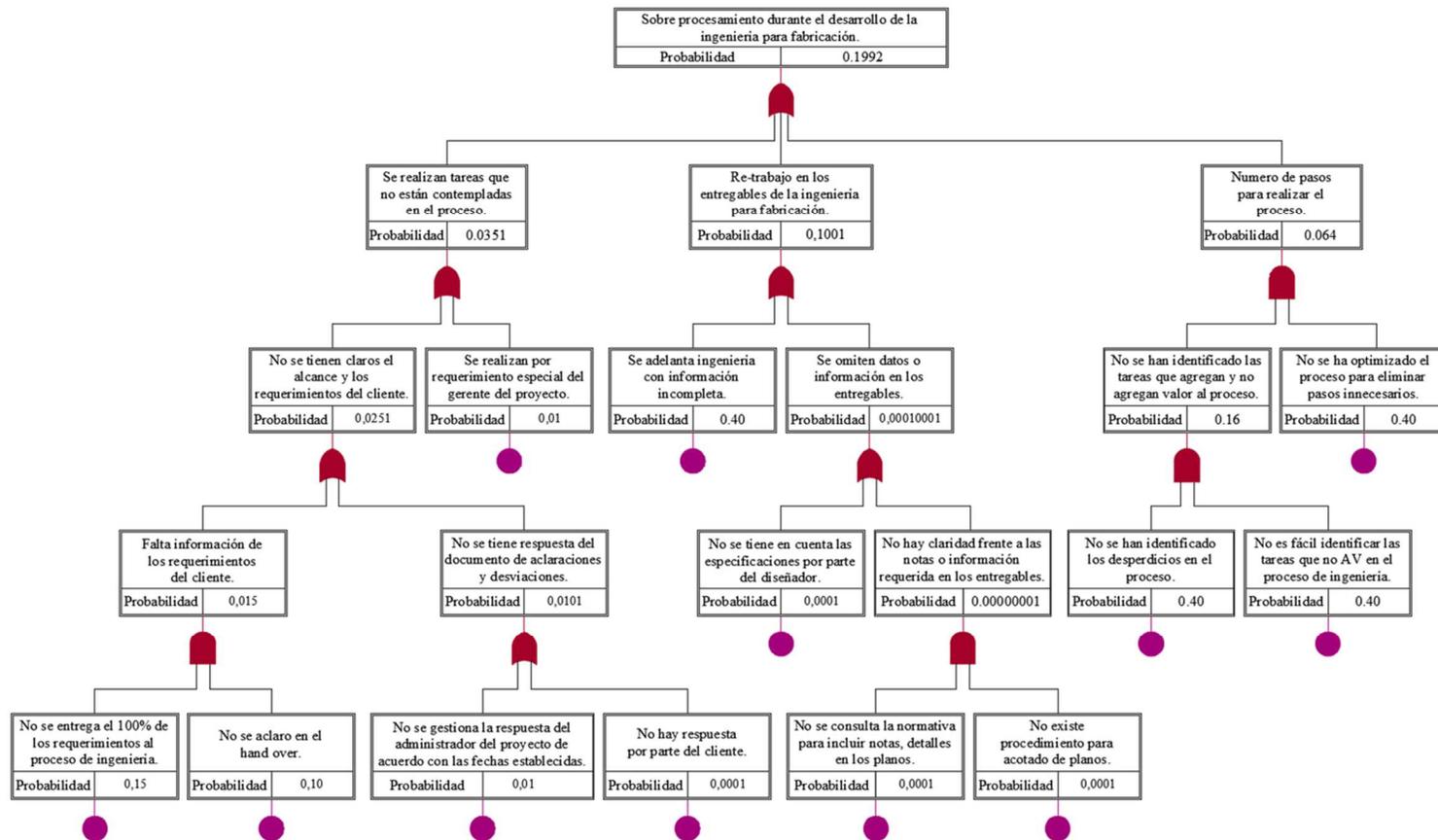
Fuente: Elaboración propia basada en artículo “*Fault Tree Analysis for Investigation on the Causes of Project Problems*” (Mahandeka & Rosyid, 2015)

Figura 20.4 *Fault Tree Analysis* correspondiente a la fase de ingeniería detallada



Fuente: Elaboración propia basada en artículo “*Fault Tree Analysis for Investigation on the Causes of Project Problems*” (Mahandeka & Rosyid, 2015)

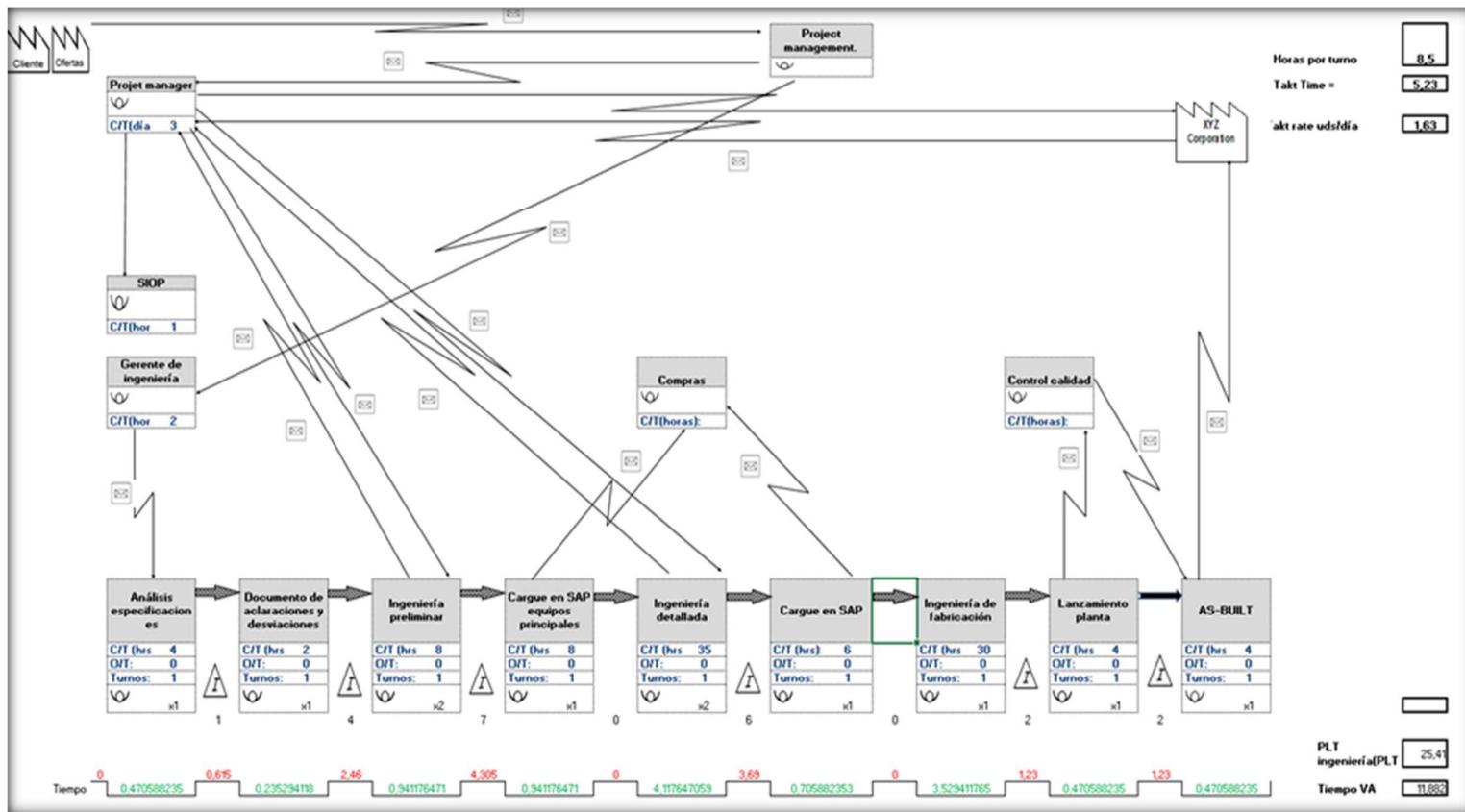
Figura 20.5 *Fault Tree Analysis* correspondiente a la fase de ingeniería de fabricación



Fuente: Elaboración propia basada en artículo “*Fault Tree Analysis for Investigation on the Causes of Project Problems*” (Mahandeka & Rosyid, 2015)

## 20.10. Anexo J. Mapa de flujo de valor del proceso actual (VSM)

Figura 20.6 VSM Actual del proceso de ingeniería de SEC



Fuente: Elaboración propia basada en el Libro "Mapping The Total Value Stream" (Nash, Mark Poiling, 2008)

**20.11. Anexo K. Registro fotográfico de algunas reuniones de los autores del trabajo de grado y la participación del grupo de ingeniería de SEC**



## 21. Bibliografía

- Abilla, P. (2010). The 7 Forms of Waste The Shmula.com Guide to The 7 Forms of Waste. Retrieved from [www.shmula.com](http://www.shmula.com)
- Albert, Spriestersbach; Bernd, Röhrig; Jean-Baptist, du Prel; Aslihan, Gerhold-Ay; Maria, B. (2009). Descriptive\_Statistics\_The\_Specification\_of\_Statist. *Deutsches Ärzteblatt International*, (Medicine), 7.
- Aliena, R. (2007). *Las Esferas de la Calidad, Volume 19*. Madrid, España: Caritas.
- Alizadeh Noughabi, H., & Reza Arghami, N. (2013). Communications in Statistics - Theory and Methods Testing Normality Using Transformed Data Testing Normality Using Transformed Data. *Communications in Statistics - Theory and Methods Communications in Statistics—Theory and Methods*, 42(42), 2365–2375.
- Andrés-López, E., González-Requena, I., & Sanz-Lobera, A. (2015). Lean Service: Reassessment of Lean Manufacturing for Service Activities. *Procedia Engineering*, 132, 23–30. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.463>
- Ángel Martínez, P. L. (2007). La Ciencia de los Servicios: un nuevo enfoque para la innovación en compañías de servicios. EBSCOhost. Retrieved February 6, 2017, from <http://web.b.ebscohost.com.ez.unisabana.edu.co/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=b42ea269-f961-48b0-be3f-f3a4e34f2d8e%40sessionmgr102&vid=1&hid=129>
- Arbós, Cuatrecasass, L. (2002). Design of a rapid response and high efficiency service by lean production principles: Methodology and evaluation of variability of performance. *International Journal of Production Economics*, 80(2), 169–183. [http://doi.org/10.1016/S0925-5273\(02\)00316-X](http://doi.org/10.1016/S0925-5273(02)00316-X)
- Asier Toledano de Diego, Nagore Mañes Sierra, S. J. G. (2009). «Las claves del éxito de Toyota». LEAN, más que un conjunto de herramientas y técnicas. Nº, 9(2), 111–122. Retrieved from <http://www.ehu.es/cuadernosdegestion/documentos/926.pdf>
- Azadeh, A., & Zarrin, M. (2016). An intelligent framework for productivity assessment and analysis of human resource from resilience engineering, motivational factors, HSE and ergonomics perspectives. *Safety Science*, 89, 55–71. <http://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.06.001>
- Baciarello, L., & Schiraldi, M. M. (2015). A proposal for a management-oriented process capability index. *International Journal of Engineering Business Management*. <http://doi.org/10.5772/62185>
- Bertoni, A., Bertoni, M., Panarotto, M., Johansson, C., Larsson, T., Boucher, X., & Brissaud, D. (2015). Expanding Value Driven Design to meet Lean Product Service Development. *Procedia CIRP*, 30, 197–202. <http://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.153>
- Bonaccorsi, A., Carmignani, G., & Zammori, F. (2011). Service Value Stream Management (SVSM): Developing Lean Thinking in the Service Industry. *Journal of Service Science and Management*, 4, 428–439. <http://doi.org/10.4236/jssm.2011.44048>
- Cabral, C. H. (2016). Assessing the Relationship between Quality Maturity Levels and, (Productivity), 30.
- Cândeia, G., Kifor, S., & Constantinescu, C. (2014). Usage of case-based reasoning in FMEA-driven software. In *Procedia CIRP*. <http://doi.org/10.1016/j.procir.2014.10.016>
- Carlos, Y., Rodríguez Álvarez, A., & De, -.Planta. (2015). *Metodología de implementación de Kaizen y 7 desperdicios para Tablemac S.A.-Planta de Yarumal*. Retrieved from

- [https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/8300/CarlosAlberto\\_RodriguezAlvarez\\_2015.pdf?sequence=2](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/8300/CarlosAlberto_RodriguezAlvarez_2015.pdf?sequence=2)
- Chan Sin, T., Usubamatov, R., Amin Hamzas, M. F. B. M., Kin Wai, L., Keat Yao, T., & Bahari, M. S. (2014). Parameters Investigation of Mathematical Model of Productivity for Automated Line with Availability by DMAIC Methodology. *Journal of Applied Mathematics*, 2014(October 2015), 1–7. <http://doi.org/10.1155/2014/206717>
- Chang, A. S. ., & Chiu, S.-H. . (2005). Nature of Engineering Consulting Projects. *Journal of Management in Engineering*, 21(4), 179–188. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0742-597X\(2005\)21:4\(179\)](http://doi.org/10.1061/(ASCE)0742-597X(2005)21:4(179))
- Chiarine, A. (2013). *Lean Organization: from the Tools of the Toyota Production System to Lean Office*.
- Chiarini, A. (2011). Integrating lean thinking into ISO 9001: a first guideline. *International Journal of Lean Six Sigma*, 2(2), 96–117. <http://doi.org/10.1108/20401461111135000>
- Chiarini, A. (2013). *Perspectives in Business Culture Lean Organization: from the Tools of the Toyota Production System to Lean Office*. <http://doi.org/10.10007/978-88-470-2510-3>
- Chroner, D., & Wallstrom, P. (2016). Exploring Waste and Value in a Lean Context. *International Journal of Business and Management*, 11(10). <http://doi.org/10.5539/ijbm.v11n10p282>
- Citris Banatao Institute. (2017). Dr. Glenn Ballard - CITRIS and the Banatao Institute. Retrieved March 24, 2018, from <http://citris-uc.org/person/dr-glenn-ballard/>
- Cuzzocrea, A., Ślęzak, D., Yang, X., Diniz, S., Barbosa, J., Chen, P., ... Sivalingam, K. M. (2017). *Communications in Computer and Information Science 724 Editorial Board*.
- Department of Civil and Environmental Engineering, & College of Engineering. (2017). Iris D. Tommelein | Civil and Environmental Engineering. Retrieved March 24, 2018, from <https://www.ce.berkeley.edu/people/faculty/tommelein>
- Dombrowski, U., Krenkel, P., & Richter, T. (2017). Dynamic Coordination within a Lean Enterprise. *Procedia Manufacturing*. <http://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.360>
- Dombrowski, U., & Malorny, C. (2016). Process Identification for Customer Service in the field of the after Sales Service as a Basis for “lean after Sales Service.” In *Procedia CIRP*. <http://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.030>
- Dombrowski, U., & Mielke, T. (2013). Lean Leadership - Fundamental principles and their application. In *Procedia CIRP*. <http://doi.org/10.1016/j.procir.2013.06.034>
- Dombrowski, U., Mielke, T., & Engel, C. (2012). Knowledge management in lean production systems. In *Procedia CIRP*. <http://doi.org/10.1016/j.procir.2012.07.075>
- Dorin, A. M., Irme, S.-J., Astrid, F., & Maier. (2017). DEVELOPMENT AND OPERATIONALIZATION OF A MODEL OF INNOVATION MANAGEMENT SYSTEM AS PART OF AN INTEGRATED QUALITY-ENVIRONMENT-SAFETY SYSTEM.
- Duque Oliva, E. J. (2005). Revisión del concepto de calidad del servicio y sus modelos de medición. *INNOVAR, Revista de Ciencias Administrativas Y Sociales. Universidad Nacional de Colombia*. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/inno/v15n25/v15n25a04.pdf>
- Ewing, B. T., & Thompson, M. A. (2007). Symmetric and Asymmetric Stationarity Tests of Productivity. *The Engineering Economist*, 52(4), 355–365. <http://doi.org/10.1080/00137910701675254>
- Florez, L., & Cortissoz, J. C. (2016). ScienceDirect Defining a mathematical function for labor productivity in masonry construction: A case study. *Procedia Engineering*, 164(164), 42–48. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.590>

- Forcke, E. (2014). Productivity Less Waste Less Time. *Emerging Technologies*, (Productivity), 3.
- George, M. . (2003). *Lean Six Sigma for Service 2003*.
- Geraldine Fisk/Ann Butler, J. G. (2013). Becoming a Lean Service Business. *Enterprice Ireland*.
- Geum, Y., Cho, Y., & Park, Y. (2011). A systematic approach for diagnosing service failure: Service-specific FMEA and grey relational analysis approach. *Mathematical and Computer Modelling*. <http://doi.org/10.1016/j.mcm.2011.07.042>
- Ghaleb, A. A. (2017). Implementation of Lean Six Sigma (LSS) Techniques in Small and Medium Enterprises (SMEs) to Enhance Productivit. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 14(2), 14–22. <http://doi.org/10.9790/1684-1402021422>
- Goldsby, T., Martichenko, R., & Goldsby, T. J. (2005). LEAN SIX SIGMA LOGISTICS Library of Congress Cataloging-in-Publication Data.
- Gupta, K., Attri, J., Singh, A., Kaur, H., & Kaur, G. (2016). Basic concepts for sample size calculation: Critical step for any clinical trials! *Saudi Journal of Anaesthesia*. <http://doi.org/10.4103/1658-354X.174918>
- Hassan, R., Marimuthu, M., & Mahinderjit-Singh, M. (2016). Application of Six-Sigma for Process Improvement in Manufacturing Industries: A Case Study. *International Business Management*, 10(5), 676–691.
- Heriot-Watt University. (2017). Prof. Jiju Antony | Heriot-Watt University. Retrieved March 24, 2018, from <https://www.hw.ac.uk/staff/uk/soss/jiju-antony.htm>
- Hermela Salomon, Kassu Jilcha, E. B. (2015). Lead Time Prediction Using Simulation in Leather Shoe Manufacturing, (Lead time).
- Humberto Gutiérrez Pulido, R. de la V. S. (2009). *Control estadístico de la calidad y seis sigma* (Segunda Ed). Mexico D.F: Mc Graw Hill.
- INCOSE. (2012). January 2012 – Lean Enablers for Systems Engineering (Virtual Lecture) : Incose NorthTexas. Retrieved March 24, 2018, from <http://incosenorthtexas.org/january-2012-lean-enablers-for-systems-engineering-virtual-lecture-incose-northtexas-2/>
- Institute for Advanced Industrial Management. (2017). Univ.-Prof. Dr.-Ing. Uwe Dombrowski @ TU Braunschweig. Retrieved March 24, 2018, from <https://www.tu-braunschweig.de/ifu/institut/mitarbeiter/dombrowski/index.html;jsessionid=TRIFORK471359118876>
- International, C., & Commission, E. (2004). Internationale International. *Policy*.
- ISO. (2008). Norma Internacional ISO 9001. Sistemas de gestión de la calidad-Requisitos, 41.
- Jaggi, C. K., Ali, H., & Arneja, N. (2016). A technical note on periodic inventory model with controllable lead time under service level constraint. *Electronic Journal of Applied Statistical Analysis*, 9(1), 83–94. <http://doi.org/10.1285/i20705948v9n1p83>
- Jarkas, A. M. (2010). Critical Investigation into the Applicability of the Learning Curve Theory to Rebar Fixing Labor Productivity. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(12), 1279–1288. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000236](http://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000236)
- Kazaz, A., Ulubeylø, S., Acikara, T., & Er, B. (2016). ScienceDirect FACTORS AFFECTING LABOR PRODUCTIVITY : PERSPECTIVES OF CRAFT WORKERS. *Procedia Engineering*, 164, 28–34. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.588>
- Kubiak, T. M., & Benbow, D. W. (2009). THE CERTIFIED SIX SIGMA BLACKBELT HANDBOOK SECOND EDITION Library of Congress Cataloging-in-Publication Data.
- Law, A. M., & Kelton, D. W. (1991). *McGraw-Hili Series in Industrial Engineering and Management Science' Consulting Editor Huchingson: New Horizons for Human Factors in Design*.

- Lean Enterprise Institute, I. (2008). *Léxico Lean*. (P. (n. d. ). L. L. (4 T. Lean, Ed.) (Cuarta Edi). Cambridge, MA, EUA: Lean Enterprise Institute.
- Lean Enterprise Institute, I. (2014). *Lean Lexicon* (5 th). Retrieved from <http://www.lean.org/lexicon/muda-mura-muri>
- Lean Enterprise Institute, I. (2016). Lean People - Drew Locher. Retrieved March 24, 2018, from <https://www.lean.org/WhoWeAre/LeanPerson.cfm?LeanPersonId=59>
- Liao, P.-C., O'brien, W. J., Asce, M., Thomas, S. R., Dai, J., & Mulva, S. P. (2011). Factors Affecting Engineering Productivity. *Journal of Management in Engineering*. <http://doi.org/10.1061/>
- Liao, P.-C., Thomas, S. R., O'brien, W. J., Dai, J., Mulva, S. P., & Kim, I. (2012). BENCHMARKING PROJECT LEVEL ENGINEERING PRODUCTIVITY, *18*(2), 235–244. <http://doi.org/10.3846/13923730.2012.671284>
- Litcanu, M., Prostean, O., Oros, C., & Mnerie, A. V. (2015). Brain-Writing Vs. Brainstorming Case Study For Power Engineering Education. *Procedia -Social and Behavioral Sciences*, *191*, 387–390. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.04.452>
- Locher, D. (2008). Lean Thinking in the Offices.
- Locher, D. (2011). *Lean Office and Service Simplified - The definitive how-to guide*. CRC Press - Taylor & Francis Group (Vol. 1). <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Lodgaard, E., Ingvaldsen, J. A., Aschehoug, S., & Gamme, I. (2016). Barriers to Continuous Improvement: Perceptions of Top Managers, Middle Managers and Workers. *Procedia CIRP*, *41*, 1119–1124. <http://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.012>
- MacInnes, R. L. (2002). *The Lean Enterprise: Create Value and Eliminate Waste throughout Your Company*. Retrieved from [www.goalqpc.com](http://www.goalqpc.com)
- Mahandeka, D. S., & Rosyid, D. M. (2015a). ScienceDirect Fault Tree Analysis for Investigation on the Causes of Project Problems. *Procedia Earth and Planetary Science*, *14*, 213–219. <http://doi.org/10.1016/j.proeps.2015.07.104>
- Mahandeka, D. S., & Rosyid, D. M. (2015b). ScienceDirect Fault Tree Analysis for Investigation on the Causes of Project Problems. *Procedia Earth and Planetary Science*, *14*, 213–219. <http://doi.org/10.1016/j.proeps.2015.07.104>
- Matthews, D. D. (2011). *The A3 workbook : unlock your problem-solving mind*. Retrieved from <https://books.google.es/books?id=V6TMBQAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=the+a3+workbook&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj2qtD2w5jWAhXGPBQKHUXIAJAQ6AEIJzAA#v=onepage&q=the+a3+workbook&f=false>
- Mengistu, M., Quezon, E. T., & Kebede, G. (2016). Assessment of Factors Affecting Labor Productivity on Road Construction Projects in Oromia Region , Bale Zone. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, *7*(11).
- Mishra, P., & Kumar Sharma, R. (2014). A hybrid framework based on SIPOC and Six Sigma DMAIC for improving process dimensions in supply chain network. *International Journal of Quality & Reliability Management*. <http://doi.org/10.1108/IJQRM-06-2012-0089>
- Mohammed Sarhan Al - Zwainy, F., Abed - Alla Eiada, A., & Abed - Almajed Khaleel, T. (2016). Application Intelligent Predicting Technologies in Construction Productivity. *American Journal of Engineering and Technology Management*, *1*(3), 39–48. <http://doi.org/10.11648/j.ajetm.20160103.13>
- Montgomery, D. C., Montgomery, D. C., Runger, G. C., Hubele, N. F., Hines, W. W., Goldsman, D. M., ... Vining, G. G. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control*.
- Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2003). *Applied Statistics and Probability for Engineers*

*Library of Congress Cataloging-in-Publication Data.*

- Nagarale, Shweta V., Abhishek K. Patil (M.Tech.Industrial, Rajesh J. Dhake, G. M. G. (2017). Productivity Improvement in Forging Industry Using Industrial Engineering, (October 2016).
- Nallusamy, S. A. A. (2017). Nallu-Adil-JERA (2017-Mar)- Implementation of Lean Tools in an Automotive Industry for Productivity Enhancement - A Case Study, (Productivity), 12.
- Nash, Mark Poiling, S. (2008). *Mapping the Total Value Stream*.
- Oppenheim, B. W. (2011). *Lean for Systems Engineering with Lean Enablers for Systems Engineering*. *Lean for Systems Engineering with Lean Enablers for Systems Engineering*. <http://doi.org/10.1002/9781118063996>
- P.Eldrige, L. (2016). measuring-quarterly-labor-productivity-by-industry. *Monthly Labor Review*, (Labor Productivity), 26.
- Paul Sparrow, L. O. (2016). 2016 CPHR 16-1 PRODUCTIVITY CHALLENGE FOR HRM WHITE PAPER, (Productivity), 43.
- Powell, D., Strandhagen, J. O., Tommelein, I., Ballard, G., & Rossi, M. (2014). A new set of principles for pursuing the lean ideal in engineer-To-order manufacturers. *Procedia CIRP*. <http://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.137>
- Rauch, E., Dallasega, P., & Matt, D. T. (2015). Synchronization of engineering, manufacturing and on-site installation in lean ETO-enterprises. In *Procedia CIRP*. <http://doi.org/10.1016/j.procir.2015.08.047>
- Repositorio Universidad de la Sabana. (2017). <https://www.unisabana.edu.co/biblioteca/bases-de-datos/eicea/>.
- Rohani, J. M., & Zahraee, S. M. (2015). Production line analysis via value stream mapping: a lean manufacturing process of color industry. *Procedia Manufacturing Jafri Mohd Rohani and Seyed Mojib Zahraee / Procedia Manufacturing*, 2(2), 6–10. <http://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.002>
- Ron Basu. (2009). *Implementing Six Sigma and Lean: A Practical Guide to Tools and Techniques*. (ELSEVIER, Ed.) (primera ed). Hungría.
- Roubtsova Ella ; Vaughn Michell. (2013). MODELLING AND VALIDATION OF KPIs.
- Ryan, M. J. (2011). On the Use of a Project Purpose Statement in Developing Stakeholders Requirements.
- Saaty, T. L., & Wiley, J. (2009). Capítulo Iii Proceso De Análisis Jerárquico (Ahp). *Revista Digital UMMSM*.
- Sánchez-partida, D., Arvizu-barrón, E., & Santiago, D. (2015). ScienceDirect case study : JIT methodologies methodologies to stamped A case study : Electric Tlaxcala. *IFAC-papersOnLine 48-3 (2015)*, (Conference Paper Archive), 1399–1404. <http://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.282>
- Sanya, I., Shehab, E., Lowe, D., Maksimovic, M., & Al-Ashaab, A. (2011). Towards a Semantic Knowledge Life Cycle Approach for Aerospace Design Engineering (pp. 285–292). [http://doi.org/10.1007/978-0-85729-799-0\\_33](http://doi.org/10.1007/978-0-85729-799-0_33)
- Sarmiento, A. T. (2016). Simulacion en Arena. Retrieved from <http://es.slideshare.net/rilarfer/simulacion-en-arena>
- Schneider Electric. (2014). Manual de Calidad Schneider Electric.
- Schneider Electric. (2017). <https://spiceportal.schneider-electric.com/web/guest/home>.
- Sheng, Y. W. M. A. C. Y.-S. Z. (2002). Differentiating Coustomer Service on the Basic of Delivery Lead-Time, 13.

- Simms, M. (2007). The Seven Wastes in Engineering Design. *KETIV Technologies*, (1.866.465, 1–5.
- Smith, S. (2013). Revolutionizing support services with lean. *Industrial Engineer*, 42–47.
- Sousa Combe, L. (2014). Eficiencia con las 5'S Limpieza y orden eficientes, clave del desarrollo japonés. (Spanish). *Efficiency With the 5's: Clean and Efficient Order, Key to Japanese Development*. (English), (25), 33–53.
- Tayfur Altiok, B. M. (2007). *Simulation Modeling and Analysis with Arena*.
- U. Dombrowski, T. M. (2014). Lean Leadership – 15 Rules for a sustainable Lean Implementation. *ELSEVIER*, (“The 47th CIRP Conference on Manufacturing Systems”). Retrieved from [http://ac.els-cdn.com/S2212827114004259/1-s2.0-S2212827114004259-main.pdf?\\_tid=57c53d6e-18e5-11e7-8bb2-00000aacb35f&acdnat=1491276075\\_6f4db695eaa59953c46fe6795d49a010](http://ac.els-cdn.com/S2212827114004259/1-s2.0-S2212827114004259-main.pdf?_tid=57c53d6e-18e5-11e7-8bb2-00000aacb35f&acdnat=1491276075_6f4db695eaa59953c46fe6795d49a010)
- Valentín Merino Estrada D Fernando Gaytán Trigueros Antonio Garzón Ramos D Ricardo Villanueva Puertollano, D. D., Francisco Candela, D., Valentín Merino Estrada, D., Juan José Totoricagüena Arrarte Hilario Llavador Cisternes, D. D., & Jorge de la Rosa de Prado, D. (2003). PROCESOS DE MEJORA CONTINUA Revisión 01 FEDERACION ESPAÑOLA DE MUNICIPIOS Y PROVINCIAS. Retrieved from <http://www.aciamericas.coop/IMG/mejoracontinua.pdf>
- Valverde, C., & Saul, H. (2016). *Propuesta de mejora de la calidad mediante la implementación de técnicas Lean Service en el área de servicio de mecánico de una empresa automotriz*. UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS. Retrieved from [file:///C:/Users/olgaliliana/Downloads/CABRERA\\_VH.pdf](file:///C:/Users/olgaliliana/Downloads/CABRERA_VH.pdf)
- Yates, J. . (2014). *Productivity Improvement for Construction and Engineering*.
- Yuni, J. ., & Urbano, C. . (2006). Técnicas para investigar: recursos metodológicos para la preparación de proyectos. *V I*. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Zhou, Z., & Zhang, Q. (2017). FAULT TREE ANALYSIS BASED ON DYNAMIC UNCERTAIN CAUSALITY GRAPH.