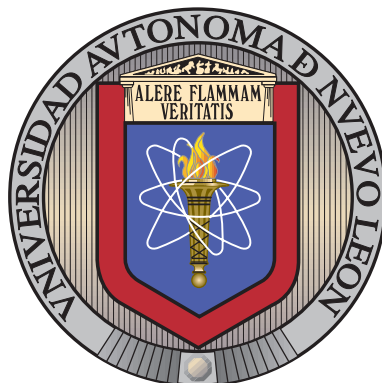


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



AUTOMATIZACIÓN ESBELTA PARA LA CADENA
DE SUMINISTRO 4.0

POR

ALDO PÉREZ SALINAS

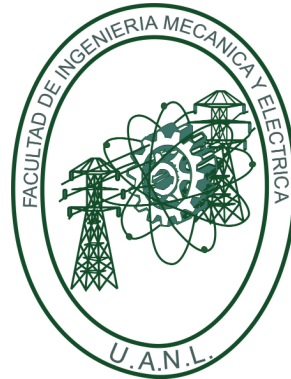
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO

ABRIL 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



AUTOMATIZACIÓN ESBELTA PARA LA CADENA
DE SUMINISTRO 4.0

POR

ALDO PÉREZ SALINAS

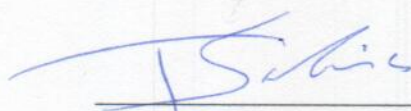
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO

ABRIL 2019

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Subdirección de Estudios de Posgrado

Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la Tesis «Automatización Esbelta para la Cadena de Suministro 4.0», realizada por el alumno Aldo Pérez Salinas, con número de matrícula 1296551, sea aceptada para su defensa como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

El Comité de Tesis




Dr. Tomás Eloy Salais Fierro

Asesor



Dra. Jania Astrid Saucedo Martínez

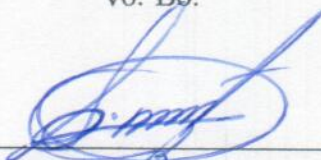
Revisor



MA. CSCP. Manuel Farías Martínez

Revisor

Vo. Bo.



Dr. Simón Martínez Martínez

Subdirección de Estudios de Posgrado



San Nicolás de los Garza, Nuevo León, abril 2019

Para quienes me mostraron la sabiduría y la bondad

A mis abuelos, Oziel y Diana

Para quienes me dieron soporte y apoyo incondicional

A mis padres, Roberto y Diana

*Para el amor de mi vida,
mi mejor amiga y compañera
quien complementa todos mis días*

A mi esposa, Indira

*Para las personas que algún día busco inspirar
para que sepan que no existe ningún obstáculo
que se interponga en alcanzar lo que quieren*

*A mi hija, Ana
y al que viene...*

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos	XI
Resumen	XIII
1. Introducción	1
1.1. Planteamiento del Problema	5
1.2. Objetivo	6
1.3. Hipótesis	7
1.4. Justificación	7
1.5. Metodología	10
1.6. Estructura de Tesis	10
1.7. Alcances y Restricciones	11
2. Antecedentes	13
2.1. Clasificación dentro de una Cadena de Suministro	13
2.2. El movimiento de los Principios Esbeltos	15
2.2.1. Mapas de Valor (VSM)	19

2.2.2. Tiempo de <i>Takt</i> (TT)	20
2.2.3. Manufactura Celular (CM)	20
2.2.4. Sistemas de Manufactura en 'U'	20
2.2.5. Kanban	21
2.2.6. Sistema de Jalar y el <i>One-Piece Flow</i>	22
2.2.7. Single Minute Exchange of Die (SMED)	22
2.2.8. Nivelación de Producción (<i>Heijunka</i>)	23
2.2.9. Mejora Continua (<i>Kaizen</i>)	23
2.2.10. Trabajo Estándar	24
2.3. La versatilidad del Six Sigma	24
2.4. Una nueva revolución tecnológica: Industria 4.0	28
2.5. Aplicaciones de la Automatización Esbelta	30
3. Metodología	37
3.1. Definición	40
3.2. Medición	43
3.3. Análisis	45
3.4. Implementación	47
3.5. Control de Resultados	51
4. Resultados	53
4.1. Caso de Estudio	54

4.2. Inicio de la Evaluación	56
4.3. Recopilación y Presentación de Datos	57
4.4. Creación de los Mapas de Valor	61
4.5. Evaluación de Automatización Esbelta	62
4.6. Presentación de Resultados	65
5. Conclusiones	69
5.1. Aportación Científica	69
5.2. Restricciones y recomendaciones	70
Bibliografía	73
Resumen autobiográfico	77

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1. Ejemplo gráfico de un Cadena de Suministro	13
2.2. Toyota Production System House	16
2.3. Ejemplo de un Mapa de Valor	19
2.4. Ejemplo de una linea en 'U' con sistema de Manufactura Celular . . .	21
2.5. Esquema funcional de sistema de jalar mediante Kanban respetando el principio del flujo	23
2.6. Representación gráfica de una reducción de variabilidad mediante el análisis 6σ	25
2.7. Resultados de investigaciones de aplicación en Automatización Esbelta	35
3.1. Metodología Utilizada	38
3.2. Paso 1 - Identificar el tipo de investigación	41
3.3. Paso 2 - Establecer el alcance de la Cadena de Suministro	43
3.4. Paso 3 - Establecer el costo de la operación	44
3.5. Paso 4 - Evaluación Esbelta a través del Mapa de Valor	46
3.6. Paso 5 - Evaluación de Automatización a través del tabulador LADO	48

3.7. Paso 6 - Evaluación de Escenarios en base a resultados	50
3.8. Paso 7 - Estado Actual contra estado Futuro de resultados	50
3.9. Paso Final - Presentación de Resultados	51
4.1. Carátula de Base de Datos usando MS Excel	58
4.2. VMS General	61
4.3. Evaluación de la tabla de recursos actuales contra el estado futuro esperado	66

ÍNDICE DE TABLAS

4.1. Tabla de Procesos	60
4.2. Tabla LADO	64
4.3. Tabla de Resultados	67

AGRADECIMIENTOS

Agradezco enormemente a las personas e instituciones que hicieron posible esta investigación:

A mi familia, por ser el ejemplo del trabajo y esfuerzo que se necesita en la vida para poder salir adelante; su camino como guía es lo que me ha hecho llegar muy lejos en mi carrera profesional y en mi vida personal.

A todos mis amigos, compañeros de trabajo y futuros colegas que complementaron este logro.

A la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, alma mater que me otorgó mi grado de licenciatura y la que siempre será la base de mi formación profesional.

También al comité doctoral de la Maestría de Logística y Cadena de Suministro de la FIME, quienes con la administración del plan de estudios me dieron el conocimiento, la experiencia y la motivación que me orientaron durante la carrera: Dra. Jania Astrid Saucedo Martínez, Dr. Miguel Mata Pérez, Dra. Edith Lucero Ozuna Espinosa y especialmente a mi Doctor de Tesis, Dr. Tomás Eloy Salais Fierro, por su paciencia y colaboración en esta investigación.

A la empresa Navistar México, en especial al cuerpo directivo de la planta Escobedo por haberme otorgado la beca que hizo posible mi ingreso nuevamente a esta honorable institución, con un agradecimiento especial al Ing. Arturo Camacho Ojeda, a quien admiro no solo por su experiencia profesional, sino como una excelente

persona con una calidad humana inigualable, sin su apoyo moral y profesional no estaría aquí. ¡Muchas gracias!

A mi esposa Indira, a quien extendo un reconocimiento por aguantarme en esta pesada etapa y que fue mi punto de apoyo para salir adelante ante las adversidades.

Y a mi hija Ana, que fue la luz que me permitió continuar sin importar que tan oscuro fuese el camino.

Aldo

RESUMEN

Aldo Pérez Salinas.

Candidato para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Título del estudio: AUTOMATIZACIÓN ESBELTA PARA LA CADENA DE SUMINISTRO
4.0.

Número de páginas: 76.

OBJETIVOS Y MÉTODO DE ESTUDIO: Desarrollar un modelo de evaluación que determine el valor agregado que una implementación de grado tecnológico 4.0 puede aportar a una cadena de suministro, tomando en cuenta herramientas esbeltas que brinden una mayor optimización al proceso desde el punto de vista de la optimización de procesos de la Cadena de Suministro y el retorno de inversión que una herramienta de Automatización Esbelta implica para una compañía.

CONTRIBUCIONES Y CONCLUSIONES: Este método será un proceso de evaluación que dará una mayor certeza en la toma de decisiones para la implementación de proyectos que involucren automatización, dando un marco comparativo general de las necesidades de la operación en cuanto inversión y recursos, además de abrir la puerta a un enfoque que contemple el desarrollo de tecnologías de la Industria 4.0.

Esto da cabida a los profesionales de la industria en tomar en cuenta la introducción de tecnologías de información y comunicación en todos sus procesos, orillando a la investigación del estado del arte y la determinación de soluciones innovadoras que ayuden a una interacción más rápida y sencilla hacia la nueva revolución industrial a la cual nos dirigimos.

Dr. Tomás Eloy Salais Fierro

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

La Cadena de Suministro tiene como principales características el movimiento de materiales, información - y dinero - dentro de un flujo de transacciones el cual se ve afectado por ambientes externos (Ayers, 2006; Ballou, 2004; Plenert, 2010) que se rige en torno a la distribución de bienes y servicios desde un origen de proveeduría hasta un cliente final, y en algunas ocasiones en viceversa.

Es natural que tal responsabilidad dentro de una industria sea factor para mantener un ambiente competitivo global, en la que variables externas establecen como la Cadena de Suministro tiene que estar constituida, tales como: el crecimiento económico de los países emergentes, el desarrollo de nuevos métodos de producción y complejidad de productos, y los cambios en la demanda de las nuevas generaciones que exigen un ciclo de vida de producto corto con sistemas ágiles y flexibles de variedad en los productos (Tyagi *et al.*, 2015).

En este contexto, se determina que la optimización de una Cadena de Suministro dependerá de la creación de valor en sus procesos (Ballou, 2004), no solo para crear una mayor rentabilidad a la compañía, sino también para determinar una preferencia de la demanda en la que el cliente este dispuesto a elegir a la empresa frente a la competencia. Esto es una reacción rápida a los cambios de la demanda y una adaptabilidad al cambio en los procesos de la empresa.

La evolución de los mercados globales abren las puertas a una mayor competencia, la aceleración de la tecnología crece de manera exponencial, lo que conlleva que el alcance de la estructura de una cadena tiene muy pocos límites y se ve restringido por los recursos disponibles que la compañía tiene para adaptarse, crecer y mantenerse en el mercado.

El término creación de valor está constituido para establecer un mayor aprovechamiento de los recursos, esto es el eliminar procesos dentro de la cadena que no generan valor en la distribución y la transformación de los materiales o servicios y que a su vez tengan un costo adicional el cual pudiera no estar considerado en el precio final. Este impacto se refleja en las ganancias y flujo de efectivo de una empresa: a mayor gasto de operaciones, menores ingresos entrarán en la compañía.

En el pasado, el resultado de una compañía se basaba en la calidad de sus productos para establecer una percepción positiva hacia sus consumidores, presentando una ventaja muy grande sobre una de las metodologías más populares que fue el Seis sigma (6σ) cuyo objetivo es mejorar y diseñar productos mediante la reducción de la variabilidad y costos de operación (Gómez *et al.*, 2012).

6σ utiliza un método efectivo para su proceso de implementación, el cual es llamado DMAIC¹ que establece un camino para mejorar el desempeño de un proceso en relación a lo que el cliente considera crítico, apoyándose con herramientas de calidad para determinar un estado ideal del proceso. Este utiliza mediciones para determinar una variabilidad estadística mediante una desviación estándar, la cual representa un nivel de dispersión medida contra una media en la cual se miden la cantidad de defectos de un proceso regular (Youssef *et al.*, 2014).

No es sino a finales del siglo pasado, se introduce en la cultura americana un

1

DEFINICIÓN 1.1 *DMAIC* corresponde por sus siglas en inglés a los pasos del proceso: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar.

método alternativo japonés con excelentes resultados en la creación de valor (Struering, 1997; Womack y Jones, 2003; Monden, 1994) llamado *Lean Manufacturing* o Manufactura Esbelta.

La Manufactura Esbelta maximiza el valor agregado de sus procesos basándose en dos principios: la creación de valor y la reducción de desperdicios (Cortes *et al.*, 2016). Desde sus inicios, Ohno (1988) crea este método como un conjunto de herramientas que determinan desde la cultura organizacional un cambio para eliminar o reducir los desperdicios que implícitamente contiene un proceso, reduciendo los tiempos de ciclo y maximizado el uso de los recursos de la operación para hacerlos más eficientes.

No paso mucho tiempo en el que se tomara en cuenta que el uso de ambas metodologías mostraba mejores resultados (George, 2002; Goldsby y Martichenko, 2005; Youssouf *et al.*, 2014; Cortes *et al.*, 2016) dando una pauta para comenzar a mezclar herramientas con el enfoque de mejorar la calidad en conjunto con la optimización de procesos en relación al costo.

George (2002) define en un inicio la metodología *Lean Six Sigma* ($L6\sigma$) corresponde a la relación que tienen sus herramientas en la aplicación de manufactura y Goldsby y Martichenko (2005) documentan su aplicación para el área de la Logística.

Durante este tiempo, se forma un macro factor el cual impacta en todos los niveles la evolución tecnológica global y nace a principios de siglo la cuarta revolución industrial denominada Industria 4.0, movimiento de innovación con base en las nuevas Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) que impulsa la eficiencia organizacional de la nueva forma en que las industrias operan hoy en día (Barreto *et al.*, 2017)

Este concepto tiene a su vez diferentes herramientas que la complementan y son aplicables a gran escala, es por eso, que un gran número de autores han documentado la inevitable transformación que todas las empresas tendrán que pasar para poder destacar en el mundo informático que acerca cada vez más al cliente con la forma

de como se producen las cosas, un impacto mayor para la creación de estrategias de Cadena de Suministro.

El lado positivo de este efecto es que muchos autores han documentado mediante los casos de aplicación que las bases de Manufactura Esbelta y 6σ pueden converger en el marco de las nuevas tecnologías (Kolberg y Zühlke, 2015; Waurzyniak, 2009; Yamazaki *et al.*, 2016) mostrando grandes beneficios en la integración hacia varias industrias.

El resultado nos brinda metodologías esbeltas aplicadas en la industria en conjunto con sistemas que presentan una autonomía parcial o completa que disminuyen las labores manuales y brindan una mayor responsabilidad a las TIC y que se mantienen en contacto directo con su ambiente físico.

La automatización de procesos a través de máquinas inteligentes no es un término nuevo pero esta teniendo auge en vista de esta nueva revolución industrial y la Cadena de Suministro se ve directamente impactada en la aplicación de las metodologías de optimización de procesos al tratar de obtener menores inventarios en tiempos de ciclo más ágiles que puedan reaccionar a una demanda flexible, por lo que, conforme las tecnologías de la información y comunicaciones evolucionan, se extiende el campo de aplicaciones para poder formar un complemento entre la automatización y la Manufactura Esbelta con herramientas 6σ consolidado por el término de Automatización Esbelta (Waurzyniak, 2009).

Mediante su estudio, Kolberg y Zühlke (2015) nos muestran las aplicaciones que la automatización en puerta de la Industria 4.0 puede estar relacionada con los principios esbeltos que la Cadena de Suministro busca para la optimización de sus procesos y determina resultados positivos con porcentajes elevados de mejora que concluyen con una integración completa de las tecnologías automáticas aplicables hoy en día.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La aplicación de la automatización en cadenas de suministro esbeltas es un tema reciente el cual requiere todavía un marco de referencia para su aplicación. Esta investigación estará centrada en crear un apoyo para que las empresas sean capaces de determinar el grado de automatización que necesitan antes de emitir un juicio premeditado.

La aplicación de la Automatización Esbelta no garantiza la eficiencia, sino que requiere de un estudio detallado para la optimización de un proceso, tomando en cuenta un análisis global en el cual la toma de decisiones se basa en un recurso fijo o limitado, para poder determinar el margen que se pueda generar después de una inversión de capital constituido por los costos de su implementación y el tiempo del desarrollo.

La tecnología está en constante evolución y la necesidad de tener expertos que puedan evaluar dichos impactos en estos tiempos es alta.

Hoy en día existen un sin fin de opciones en el mercado que nos aseguran una optimización de nuestro proceso mediante la automatización, pero muchas de ellas no cuentan con el enfoque completo para dar una solución global a toda la cadena; esto es debido a que los objetivos de la compañía (crecer) no están perfectamente alineados a los del proveedor (vender).

El déficit a atacar corresponde al enfoque estratégico de la planeación de la Cadena de Suministro, la cual requiere de nuevas herramientas para que los profesionales o los equipo de proyectos integrados puedan evaluar de manera precisa los impactos de la digitalización en sus procesos y el resultado de la automatización en la Cadena de Suministro.

Es por ello que nuestra problemática se determina por la dificultad que tienen los profesionales en la Cadena de Suministro en tomar decisiones objetivas que

vayan acorde a las necesidades de empresa para adaptarse a los recursos de capital disponibles que se ofrecen para la implementación de mejoras de la Industria 4.0.

1.2 OBJETIVO

En base a la problemática propuesta, el objetivo de esta investigación se centra en desarrollar un modelo de evaluación para la Cadena de Suministro que permita medir el nivel de automatización actual y que identifique las acciones necesarias para desarrollar las tecnologías en su operación y en su sistema, acorde a los estándares tecnológicos aplicados en la rama de la industria, manteniendo un enfoque esbelto durante el análisis establecido.

Debido a la alta demanda de sistemas industriales 4.0, la evolución de estas tecnologías orillará a los expertos a la actualización de sus sistemas, para lo cual será necesario mantener una base objetiva para determinar la factibilidad de la implementación de proyectos de automatización y así evitar grandes inversiones con pocos resultados o un deterioro de participación de mercado al mantenerse fuera del rango de la calidad de los servicios que brindan sus competidores.

Como puntos clave de esta investigación, se estará buscando que cumplan los siguientes aspectos:

- **Establecer un marco de análisis**

Ser flexible en el rango de la Cadena de Suministro que se desea analizar, así como detallar los indicadores que se quieran optimizar.

- **Contar con herramientas *Lean Six Sigma***

Asegura que la fundación de los procesos en la Cadena de Suministro tengan una base de reducción de desperdicios y altos estándares de calidad, y así evitar automatizar un proceso con defectos.

- **Otorgar un resultado basado en la mejora del proceso y la distribución de capital**

Llegar a un resultado claro y preciso, el cual tome en cuenta a detalle los recursos necesarios para una implementación de Automatización Esbelta y sus repercusiones en cuanto al tiempo de implementación y retorno de inversión.

Para ello, podemos definir que nuestro objetivo será desarrollar un modelo de evaluación que determine el valor agregado que una implementación de grado tecnológico 4.0 puede aportar a una Cadena de Suministro, tomando en cuenta herramientas esbeltas que brinden una mayor optimización al proceso.

1.3 HIPÓTESIS

La hipótesis contenida en este método establece la premisa en la que dicha evaluación dará una mayor certeza en la toma de decisiones para la implementación de proyectos que involucren automatización, dando un marco comparativo general de las necesidades de la operación en cuanto inversión y recursos, además de abrir la puerta a un enfoque que contemple el desarrollo de tecnologías de la Industria 4.0.

Establecerá un punto de partida para que se pueda investigar más a fondo las aplicaciones tecnológicas en diferentes sectores de la industria en las Cadenas de Suministro Globales.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La creciente innovación tecnológica que estamos experimentando hoy en día nos indica que los profesionales de la Cadena de Suministro tendrán que estar preparados para conocer y aplicar soluciones de carácter informático en la cual la automatización este altamente ligada a las operaciones.

Esto da cabida a los profesionales de la industria en tomar en cuenta la introducción de tecnologías de información y comunicación en todos sus procesos, orillando a la investigación del estado del arte y la determinación de soluciones innovadoras que ayuden a una interacción más rápida y sencilla hacia la nueva revolución industrial a la cual nos dirigimos.

Podemos denotar en la problemática que la variable de la tecnología de la información es una nueva revolución industrial dirigida a la flexibilidad de la producción, enfocando la atención a la demanda del cliente, en la cual se ve forzado a utilizar herramientas automáticas sin tanto control humano.

Uno de los factores que empuja esta investigación provienen del las transformaciones que tendrán las industrias a un corto y mediano plazo, para las cuales estar al margen de las nuevas tecnologías será una necesidad para sobrevivir en un ambiente global y competitivo.

Una estudio por Geissbauer *et al.* (2016), miembros de la empresa multinacional PwC dedicada a ofrecer servicios administrativos profesionales, realizó una encuesta global acerca del impacto que tiene la Industria 4.0 en la visión de las empresas de productos industriales. Esta investigación fue conducida entre noviembre del 2015 a enero del 2016 con una participación de más de 2,000 ejecutivos ‘senior’ a lo largo de 26 países de Europa, América, Asia Pacífico, Medio Oriente y África.

La mayoría de los participantes fueron integrados con personas con un nivel de Directores Digitales (CDO, por sus siglas en inglés, Chief Digital Officer) u otros ejecutivos del mismo rango con responsabilidades similares en su compañía a lo que refiere a estrategias y actividades relacionadas con la innovación tecnológica.

Cabe destacar que el resultado de dicha encuesta mostró una certidumbre en la preparación que cuentan las empresas a nivel mundial en cuanto a integración tecnológica se refiere, ya que estiman que para el 2020 la digitalización de la información se encuentre en un 72 % en contraste a su capacidad actual que ronda el 33 %.

La implementación de la digitalización estima ahorros en todas las industrias de hasta 421 billones de dólares e inclusive el 55 % de los encuestados estaban dispuestos a invertir en mejoras desde estos momentos de acuerdo a que el retorno de dichas inversiones se estima obtenerlo en un tiempo menor a dos años.

En el ámbito nacional, México experimenta una disrupción digital que impulsa la innovación y ha transformado la forma en la que se gestionan las empresas, cambiando la manera de operar de diferentes industrias, sin embargo, de acuerdo a una encuesta de KPMG (2015) solo el 36 % de las empresas entrevistadas presentan una estrategia digital en una o más entidades de su negocio y solo el 8 % abarca toda la empresa.

La sugerencia de esta firma es formar a los nuevos directores de empresas con un papel de liderazgo en la transformación hacia negocios digitales ágiles, los cuales tengan una visión general de las tecnologías emergentes para una estrategia digital integral que pueda generar valor a toda la empresa (KPMG, 2015).

La industria 4.0 está avanzando de forma acelerada, y su integración con los procesos que manejamos en la actualidad pueden suceder en cualquier momento, los profesionales en la Cadena de Suministro necesitan un enfoque diferente ante este cambio, por lo que, contar con herramientas de análisis será imperativo en todos los aspectos que conlleven una Cadena de Suministro global.

Mediante estas premisas, justificamos esta investigación para poder brindar una visión estandarizada de la situación actual de una Cadena de Suministro y que un profesional o cualquier ejecutivo con una visión estratégica pueda evaluar sus opciones de inversión hacia un futuro de integración tecnológica tomando en cuenta los valores de mejora continua, eliminación de desperdicios y ahorro de costos que el pensamiento esbelto tiene como base.

1.5 METODOLOGÍA

Este método define primeramente el nivel de aplicación de metodologías esbeltas para la detección de desperdicios en sus procesos de acuerdo con los conceptos de Lean Six Sigma. En segunda instancia, establece un estado del arte en base al nivel de automatización actual con respecto a la disponibilidad de tecnologías Industria 4.0 aplicadas en el ramo industrial. Tercero, se busca una estimación certera del resultado, analizando el estado de operación actual contra el cambio esperado. Por último, realiza un formato que muestra el alcance de automatización del proyecto, incluyendo los resultados esperados, la inversión y el tiempo requerido.

El resultado del método contiene la información suficiente para poder establecer un caso de negocios frente a una junta directiva o potenciales inversionistas que buscan una optimización en uno o más procesos. Cabe destacar que el uso de esta herramienta se centra en profesionales con un alto grado de entendimiento en la industria de aplicación para la cual se realiza el análisis.

1.6 ESTRUCTURA DE TESIS

Esta investigación se compone de cinco capítulos:

1. Introducción

Se establece el marco de investigación, la problemática, el objetivo y la justificación del estudio.

2. Antecedentes

Detallan el marco teórico y las referencias que soportan la investigación

3. Metodología

Se describe el caso de estudio para la aplicación del método, así como el detalle del desarrollo.

4. Resultados

Recopila la salida de la experimentación en base a la metodología planteada y describe los efectos del resultado.

5. Conclusiones

Determinan con objetividad los hallazgos del modelo en las condiciones descritas, seguido por recomendaciones de aplicación y uso.

Con ello esperamos otorgar una herramienta para el profesional de la Cadena de Suministro de nivel administrativo, con conocimientos avanzados en su ramo, que busque determinar proyectos de inversión para la mejora de sus procesos de acuerdo con la evolución tecnológica que experimenta la industria, tomando como base una evaluación objetiva basada en métodos determinados a la optimización de procesos y reducción de costos.

1.7 ALCANCES Y RESTRICCIONES

Es necesario contar con habilidades analíticas para poder estimar el impacto de las herramientas tecnológicas en cada proceso, ya que a pesar de estar soportadas con excelentes resultados dentro de su marco teórico, las aplicaciones y resultados son exclusivos de acuerdo a los parámetros en los que se pongan a prueba.

Este también puede ser utilizado por mandos directivos como un método de evaluación de la estrategia a nivel regional o global de una empresa en cuanto al estado del arte que presente el mercado y sus competidores, si y solo si, se asigne un equipo especial para recabar la información pertinente.

Dentro de las restricciones que se tienen es en relación a la confidencialidad de los datos que se presentan en el caso de estudio, los cuales se presentarán a discreción sin ningún compromiso de comprometer la integridad de la empresa evaluada. El uso de los datos presentados es exclusivamente didáctico e ilustrativo para el soporte de

la investigación y por ningún motivo se deben de tomar en cuenta para usos ajenos a la referencia de esta tesis.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

2.1 CLASIFICACIÓN DENTRO DE UNA CADENA DE SUMINISTRO

El concepto que engloba a la Cadena de Suministro tiene como principales características el movimiento de materiales, información y dinero dentro de un flujo de transacciones el cual se ve afectado por ambientes externos (figura 2.1) en la cual se engloban las prácticas de distribución, almacenamiento y surtido en la producción de bienes y prestación de servicios (Plenert, 2010) .

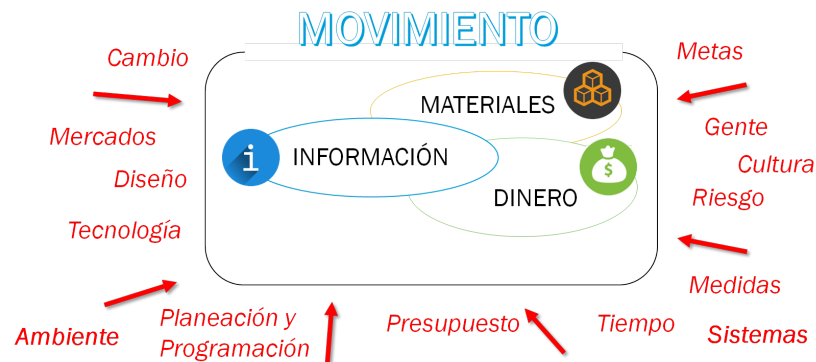


Figura 2.1: Ejemplo gráfico de un Cadena de Suministro; Fuente: Adaptado de Plenert (2010)

Las actividades de la cadena incluyen la gestión de la logística en cada proceso, permitiendo una gestión efectiva durante el flujo de sus componentes (Chopra y Meindl, 2008).

El estudio de la Cadena de Suministro depende de una análisis general de todas su partes, en las cuales se detallan procesos asignados a todos los participantes de la cadena, pero de acuerdo a Tjahjono *et al.* (2017) podemos clasificar estos procesos de manera general:

- Comprar: Todos los procesos y tareas que involucren la compra de productos y servicios a proveedores.
- Crear/Producir: define las operaciones de la transformación de procesos desde la entrada hasta la salida, por lo tanto puede contener actividades de transformación de productos o creación de servicios.
- Almacenar: contempla la administración de almacenes y todos los recursos agregados en su operación.
- Mover: refiere a la logística de transportar y entregar de un lugar a otro.
- Vender/Abastecer: asegura la entrega correcta en tiempo y lugar acordado, con la finalidad de aumentar la confiabilidad con el cliente mediante entregas a tiempo.

Dentro de cada rubro se especifica a detalle las funciones que van desde la comunicación entre las partes, hasta la administración de la transportación y almacenes en el caso de productos; asimismo la misma clasificación se establece para el préstamo de servicios en los cuales no hay un bien material de por medio pero las partes consideran una acción en beneficio del cliente.

No ahondaremos a detalle la composición de la Cadena de Suministro de acuerdo a que el foro destinado de esta investigación lo pudiera encontrar redundante, más

si es necesario especificar que los lineamientos de una cadena dependerán del tipo de industria que se este analizando, es por ello que es recomendable una revisión de literatura previa en caso de no conocer el entorno de aplicación a detalle.

De manera contraria, podemos definir que los impactos que mencionaremos en la cadena son aplicables a nivel global con el fin de que la investigación presente relevancia en cualquier tipo de industria.

2.2 EL MOVIMIENTO DE LOS PRINCIPIOS ESBELTOS

Establecido el marco de referencia en el cual estará asentada la Cadena de Suministro, podemos entrar a detalle a uno de los factores con mayor impacto: la Manufactura Esbelta.

La Manufactura Esbelta se refiere a la metodología diseñada para reducir o eliminar el desperdicio dentro de los sistemas de producción con la visión de minimizar los costos (Womack y Jones, 2003). Diseñado por Ohno (1988) para la empresa Toyota desde principios de los años 50, este se le denominó al conjunto de dichos conceptos como el Sistema de Producción de Toyota (TPS, por sus siglas en inglés *Toyota Production System*) y fue tan eficaz que sus resultados traspasaron el continente hacia la cultura americana en los años 90, cuando Womack y Jones (1990) introducen los conceptos y aplicaciones en el ambiente de la manufactura (figura 2.2).

La Manufactura Esbelta se sostiene a través de dos pilares: los sistemas Justo a Tiempo (JIT, por sus siglas en inglés *Just In Time*) y el *Jidoka* (Autonomía, traducido del japonés).

Monden (1994) definió el JIT refiriéndose a “producir las unidades necesarias en las cantidades necesarias en el tiempo necesario” eliminando los desperdicios como sobreproducción, exceso de inventario, transportación y movimiento; y el *Jidoka*, el

cual refiere a crear controles de defectos autónomos, soportando al JIT para que no permita la producción de unidades defectuosas.

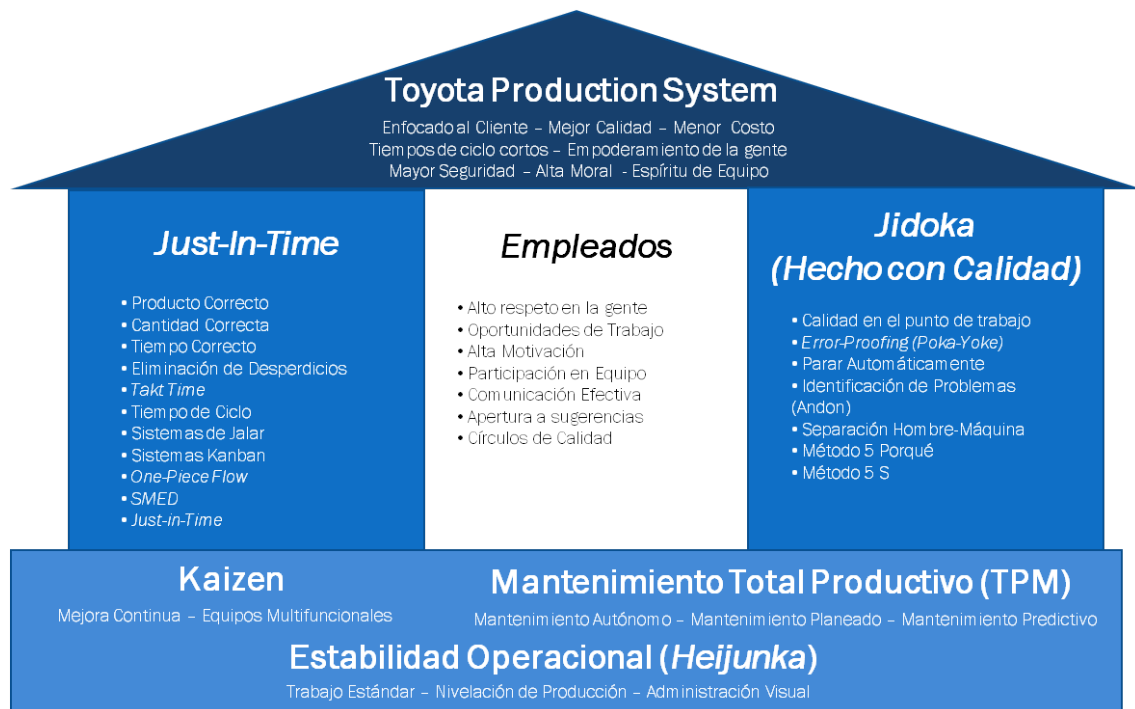


Figura 2.2: Toyota Production System House; Fuente: *Lean Business Club*

Estos conceptos se ven soportados mediante una cultura de mejora continua, el mantenimiento autónomo de sus procesos y una nivelación de las cargas de trabajo a través del trabajo estandarizado y la administración visual (Monden, 1994).

Hoy en día los principios de manufactura o producción esbelta son altamente apreciados ya que se asocian con la eliminación de desperdicios, la simplicidad y un incremento asegurado de un 25% en la productividad de los sistemas de producción (Kolberg y Zühlke, 2015).

Tal vez una de las definiciones más completas la tiene Sundar *et al.* (2014) quien define que los principios esbeltos buscan definir el valor de los productos o servicios percibidos desde la perspectiva del cliente, creando un flujo continuo en línea y al paso de la demanda hacia un proceso perfecto a través de una mejora continua en el orden de eliminar los desperdicios aumentando el valor agregado y

eliminando las actividades que no dan valor.

Los desperdicios o “mudas”, como las definió Ohno (1988) en su momento, se determinan como factores dentro de la cadena que hay que reducir o eliminar si es posible. Hoy en día existen 8 clasificaciones de desperdicio que se detallarán de acuerdo a la recolección de definiciones por Ahuja Sanchez (2015):

- Inventario

Se refiere al exceso de materia prima, materiales y producto en proceso o terminado que ocupa espacio de almacenamiento y por ende un costo por depreciación.

- Transportación

El trabajo de transportar algo de un lado a otro, incluso en distancias cortas.

- Defectos

No conformidades o devoluciones de un cliente, o el resultado de destruir o volver a procesar productos que no reúnen las condiciones óptimas de calidad.

- Tiempo de Espera

Es tiempo no productivo que conlleva la espera de información, materiales o herramientas de trabajo; incluye la espera de ser atendidos, tiempos de procesamiento o maquinaria parada por averías.

- Sobre-Producción

Es el procesamiento de artículos antes de lo estipulado o en mayor cantidad requerida. Este es considerado un desperdicio principal que da pie a la generación de los demás desperdicios.

- Movimientos

Incluye cualquier desplazamiento físico que realice el personal que no agregue valor al producto o servicio dentro o fuera de un proceso productivo.

- Sobre-Proceso

Procedimientos adicionales innecesarios que no agregan valor y que en muchas

de las veces duplican un proceso ya establecido. Utilizar herramental o equipo inapropiado incurre en un proceso extra, así como también el desarrollo de funciones que no tienen valor para el cliente.

- Talento no utilizado

Desperdicio agregado posterior a la publicación de esta metodología, se refiere a no aprovechar el talento y la creatividad de los colaboradores, ignorando su inteligencia y potencial para eliminar desperdicios y resolver problemas.

Los sistemas de producción esbelta están orientados al aprendizaje de una organización en base a la mejora continua, por ende está enfocada a reducir variaciones innecesarias en los procesos y eliminar el desperdicio en cada uno de ellos para dejar solamente las actividades que generan valor en la construcción de un producto o servicio.

La implementación de dicha metodología depende enteramente de la cultura organizacional de la compañía y cabe destacar que no se pueden generalizar las prácticas aplicadas para todas las empresas. Todas son diferentes entre sí, inclusive en una misma rama de la industria, pero presentan en común conceptos generales como son los cuellos de botella (suavización de la producción), manufactura celular, mejores prácticas y mejora continua, nivelación de cargas de trabajo, reducción de ciclos de tiempo e implementación de nuevas tecnologías, entre otros factores. Para trabajarlos se debe de implementar una “caja de herramientas esbelta” con los diferentes principios esbeltos que se aplicarán para la optimización de los procesos (Mrugalska y Wyrwicka, 2017).

A continuación se describen algunos de las herramientas de las cuales se compone la Manufactura Esbelta definidas por Sundar *et al.* (2014):

2.2.1 MAPAS DE VALOR (VSM)

Los Mapas de Valor o VSM por sus siglas en inglés *Value Stream Mapping* se define como el conjunto de acciones requeridas a través de tres procesos críticos de administración en todos los negocios: Resolución de Problemas, Administración de la Información y Administración Física de las partes. Es la representación gráfica del material y el flujo de información requerido para coordinar las actividades realizadas en el proceso de manufactura, en donde proveedores y distribuidores entregan un producto o servicio hacia los clientes (figura 2.3).

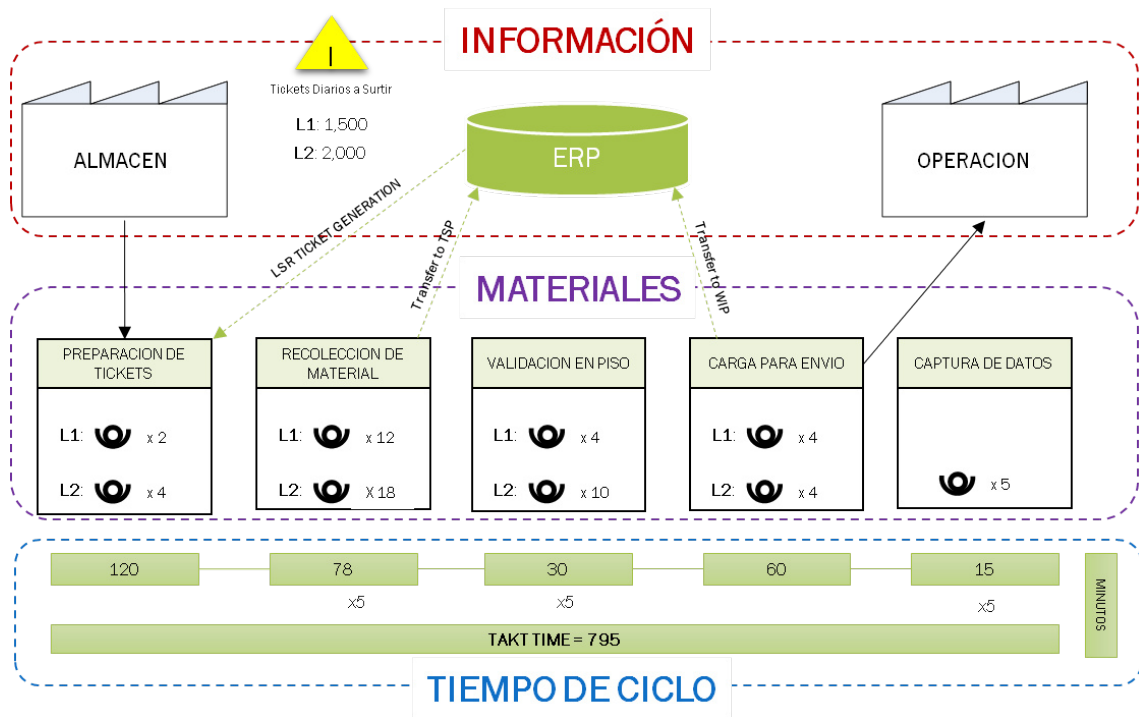


Figura 2.3: Ejemplo de un Mapa de Valor; Fuente: Adaptado de Penfield, D. (2013)

Es el primer eslabón de esta metodología, ya que generalmente se establece el estado inicial del proceso para después dejar a la vista los diferentes tipos de desperdicio que se identifican en la cadena y que representan una oportunidad para su eliminación a través de las diferentes técnicas esbeltas.

2.2.2 TIEMPO DE *Takt* (TT)

Takt Time se refiere a la frecuencia en la que un componente tiene que ser producido para cumplir con las expectativas del cliente. Depende de un programa de producción preestablecido pero tiene una relación directa con la demanda: si la demanda se incrementa, el tiempo de *Takt* disminuye, por ende, el intervalo de salida tiene que ser modificado para aumentar su capacidad de producción o, en su defecto, aumentar el tiempo de producción.

El *Takt Time* puede calcularse fácilmente dividiendo el tiempo disponible de operación diaria en segundos entre el volumen de producción requerido.

$$TaktTime = \frac{Tiempo(seg)}{Volumen(unidades)} \quad (2.1)$$

2.2.3 MANUFACTURA CELULAR (CM)

CM por sus siglas en inglés *Cellular Manufacturing* se basa en agrupar máquinas o procesos en una sola celda continua, ahorrando tiempos de proceso, espacio y recursos de manufactura.

2.2.4 SISTEMAS DE MANUFACTURA EN 'U'

Monden (1994) define estos sistemas como el acomodo de una celda en donde la entrada y la salida son las mismas, pegadas una a la otra, formando una 'U' en la distribución del acomodo de sus partes. La mezcla de este sistema en líneas de manufactura celular (figura 2.4) optimizan el recurso humano requerido manteniendo la distribución de la mano de obra flexible y balanceando las cargas de trabajo.

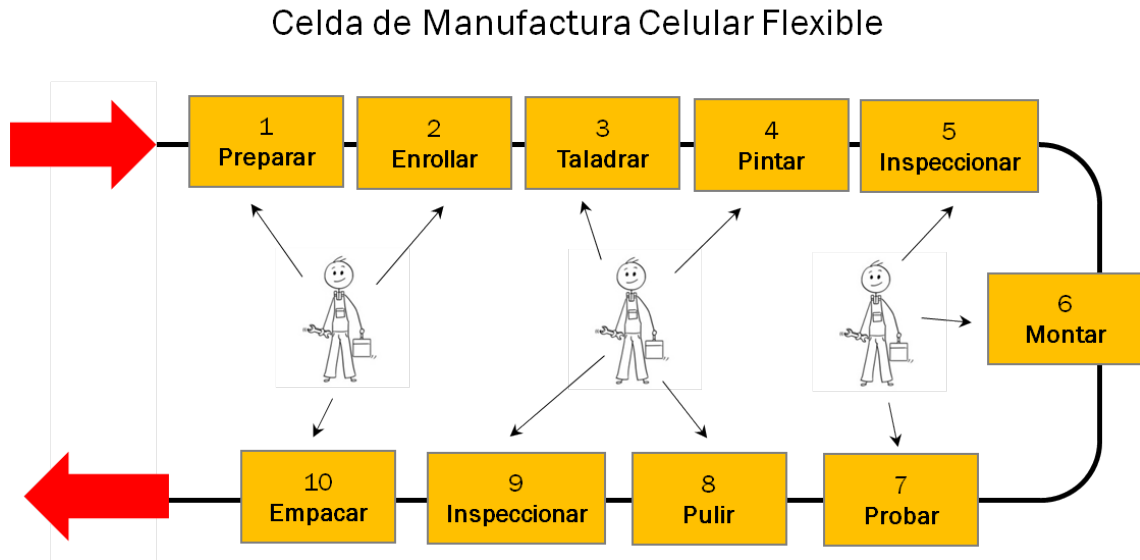


Figura 2.4: Ejemplo de una línea en 'U' con sistema de Manufactura Celular; Fuente: *Production Automation Corporation (2012)*

2.2.5 KANBAN

Kanban es un sistema de surtido mediante el control del inventario requerido en una Cadena de Suministro, fue desarrollado como parte de los sistemas *Just-In-Time* (Ohno, 1988).

Esta herramienta permite mantener bajos niveles de inventario a solo lo necesario; una señal es lanzada para fabricar y entregar un nuevo embarque de material mientras que se siga consumiendo. Estas señales son registradas en un ciclo de surtido, brindando visibilidad tanto a proveedores como a distribuidores (Waldner, 1992).

Las señales pueden determinar el inventario mínimo requerido para lanzar la señal de surtido, dicha señal puede manejarse a través de tarjetas viajeras, contenedores vacíos o en un tablero electrónico, siguiendo el principio del flujo continuo.

2.2.6 SISTEMA DE JALAR Y EL *One-Piece Flow*

Los sistemas de “jalar” (*Pull*) corresponden a una producción basada enteramente en la demanda del cliente; el flujo corresponde a que la señal de producción es activada por un requerimiento del cliente hacia la producción. Este concepto llega a converger con el principio de flujo el cual indica que la implementación exitosa de un sistema *Pull* responde positivamente a los surtidos en pequeñas cantidades, acercándose al flujo de una sola pieza de ser posible, denominándose *One-Piece Flow* por su traducción del inglés.

La combinación reduce considerablemente los inventarios en los puntos de producción, tomando en cuenta el material se envía de forma secuenciada tal como un ambiente *Make-to-Order*¹ considerando un programa de producción establecido. El principio de flujo es un concepto importante que hay que tomar en cuenta de acuerdo a que la disciplina del proceso es necesaria para evitar un desabasto (figura 2.5).

2.2.7 SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIE (SMED)

Single Minute Exchange of Die o *Quick Changeover* se refiere a un cambio rápido el cual se enfoca en reducir el tiempo de preparación de las máquinas, esto se logra al dividir el tiempo de preparación en las actividades que se hacían con la maquina detenida y las que podían realizarse con la maquina en funcionamiento. El objetivo es realizar la mayor cantidad de tiempo de preparación sin detener la máquina, aprovechando el los recursos utilizados al máximo.

1

DEFINICIÓN 2.1 *MTO es un sistema de manufactura en el que la producción no inicia sino hasta que se recibe una orden de un cliente.*

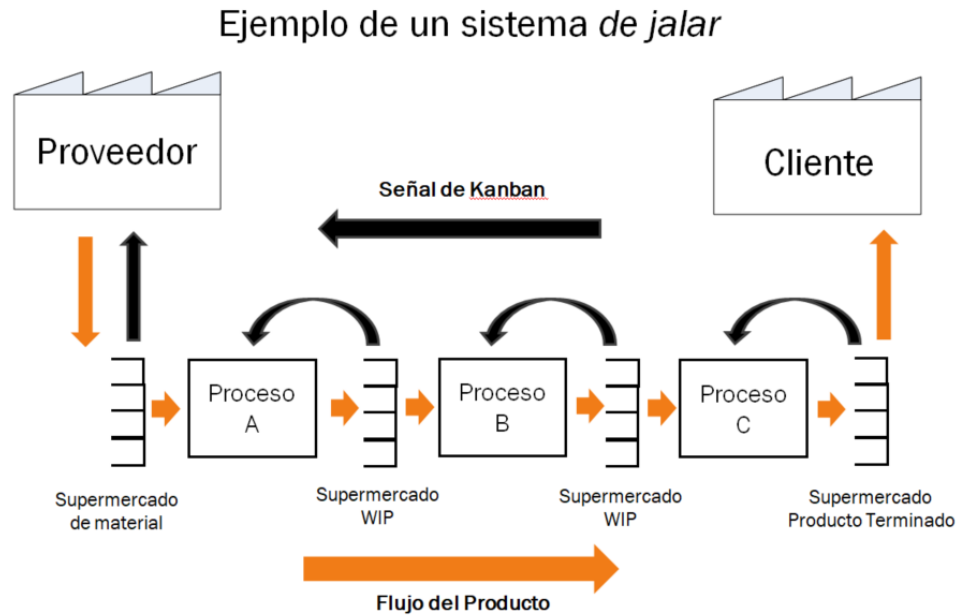


Figura 2.5: Esquema funcional de sistema de jalar mediante Kanban respetando el principio del flujo; Fuente: *Vative Lean Six Sigma Specialists*

2.2.8 NIVELACIÓN DE PRODUCCIÓN (*Heijunka*)

Generalmente las demandas de ciertos productos son volátiles, lo que genera una fluctuación que conduce a una variabilidad en la producción. Para superar esta variabilidad, es necesario nivelar las demandas del cliente para evitar capacidad de producción sub-utilizada, tiempos de inactividad o problemas de calidad por una producción acelerada.

2.2.9 MEJORA CONTINUA (*Kaizen*)

La mejora continua es una filosofía proveniente de W. Edwards Deming (Sundar *et al.*, 2014) descrita simplemente como “iniciativas de mejora que aumentan los éxitos y reducen las fallas”. La mejora continua persigue el cambio cultural en el lugar de trabajo desde sus trabajadores. No hay proceso alguno que llegue a la estabilidad y se mantenga con el tiempo sin una cultura de mejora continua, esto

es vital para determinar ineficiencias, detectar sus causas raíz y aplicar las medidas correctivas necesarias para mitigarlas.

2.2.10 TRABAJO ESTÁNDAR

El Trabajo Estándar se refiere a la manera mas segura y efectiva de realizar un proceso, y es el resultado de un análisis que indica la mejor forma de hacer una actividad, en un tiempo replicable como resultado de la correcta utilización de los recursos involucrados tales como la gente, las máquinas y el material.

Todos estos elementos se complementan por una cultura organizacional en la que la percepción de sus participantes tendrá que ser unánime para una implementación exitosa.

El impacto que tiene el principio esbelto con la Cadena de Suministro es una poderosa herramienta para el funcionamiento eficiente de sus procesos, pero no son exclusivos para el desarrollo de las mismas.

2.3 LA VERSATILIDAD DEL SIX SIGMA

Six Sigma (Seis Sigma o 6σ) es una serie de estrategias, técnicas y herramientas para la optimización de procesos (Tennant, 2001). Desarrollado por Bill Smith para la empresa Motorola en la década de los 80; su base refiere a que el resultado del proceso de un producto o servicio debe de cumplir los requerimientos del cliente con una mínima cantidad de defectos, al nivel en que por cada millón de piezas producidas se tengan solamente 3.4 defectos.

Representado gráficamente observaríamos que el resultado de un proceso debe de encontrarse entre un $\pm 3\sigma$ de desviación estándar, es decir, 6σ (figura 2.6).

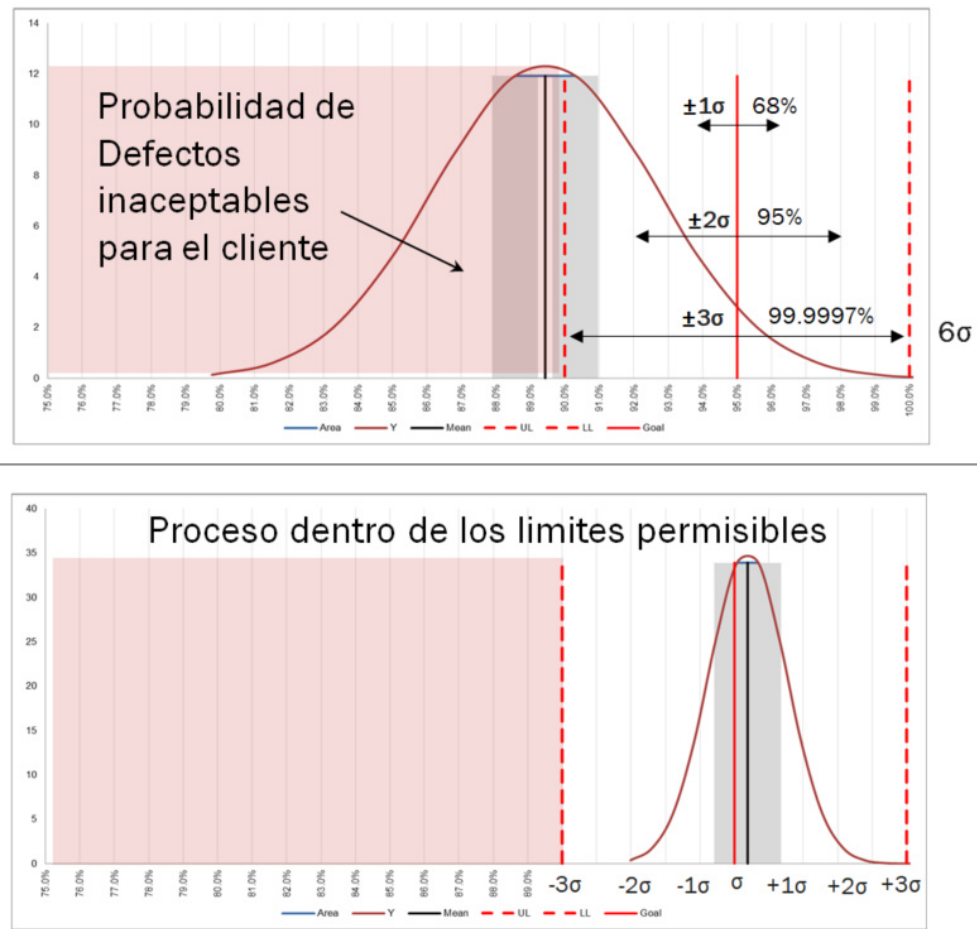


Figura 2.6: Representación gráfica de una reducción de variabilidad mediante el análisis 6σ

Six Sigma utiliza modelos de resolución de problemas estadísticos para controlar sus procesos. Las técnicas utilizadas dentro del análisis de un proyecto de Six Sigma se establecen dentro de la metodología DMAIC las cuales es la base para planear e implementar un proyecto con la finalidad de reducir los defectos y los costos de la operación además de mejorar la productividad de la operación y la calidad del producto (Goldsby y Martichenko, 2005).

Refieren el método DMAIC por sus siglas en inglés *Define-Measure-Analyze-Improve-Check*) es la caja de herramientas para resolver un problema complejo hacia una situación de calidad controlada, Youssouf *et al.* (2014) define cada paso a detalle:

1. Definir - *Define (D)*

En esta fase se clarifica la problemática del proyecto, las necesidades del cliente y las metas designadas por los responsables del proyecto. Durante esta etapa es necesario detallar los procesos en los que se lleva a cabo el producto o servicio.

2. Medir - *Measure (M)*

Esta es la fase de recolección de datos dentro de los parámetros medibles del proceso. El objetivo será determinar la capacidad de entrega del proceso en niveles Sigma. Durante esta etapa es importante enfocarse en factores críticos para la calidad.

3. Analizar - *Analyze (A)*

Esta etapa propone soluciones para remover las causas que ocasionan la variabilidad con el fin de alcanzar los objetivos determinado en base a la información obtenida.

4. Implementar - *Improve (I)*

Las soluciones propuestas son validadas por el equipo y se determina el impacto de la mejora. Durante esta etapa se desarrolla el plan de acción detallando los pasos de la implementación de las diferentes soluciones.

5. Controlar - *Control (C)*

El último paso refiere a controlar el proceso para asegurar que los problemas trabajados estén resueltos y se mantengan en los márgenes de calidad requeridos. Durante este paso se tendrá que estandarizar el proceso para asegurar su beneficio mediante la repetitividad en otras áreas y se determina el impacto financiero positivo que se generó durante esta implementación.

Es recurrente encontrar en la literatura que a este método se le agrega una letra adicional al proceso, refiriéndose a el como DMAICS, señalando que el paso adicional refiere a la Estandarización - *Standardize (S)*, pero la más importante es recalcar que una vez terminado es necesario comenzar de nuevo, ya que la esencia de esta herramienta es mantener un estado de mejora continua.

Ha principios del siglo XXI, George (2002) publica un concepto que detecta las similitudes de aplicación en las herramientas de Six Sigma contra la metodología de Manufactura Esbelta, definiendo así el término de *Lean Six Sigma* como una nueva metodología que maximiza el valor del accionista alcanzando una rápida optimización en satisfacción al cliente, costo, calidad, velocidad del proceso y capital invertido.

De acuerdo con una investigación basada en un estudio en el cual se evaluaron 33 empresas de diferentes industrias, existe un notable beneficio para las compañías que se rigen bajo metodologías *Lean Six Sigma*, a diferencia de las que solo aplican técnicas de producción esbelta y aquellas que no tienen ninguna metodología de aplicación. Se denota que el desarrollo financiero y operacional se ven afectados de manera positiva al tener un mayor rendimiento, incrementando las utilidades, reduciendo los costos de operación, crear una cultura de seguridad en el trabajo y así mejorar la calidad para marcar una diferencia notable ante sus competidores.

El campo de aplicación para obtener una cadena esbelta depende de un análisis general de todas sus partes, por lo cual es difícil establecer una evaluación de la eficiencia de la cadena. Bajo este concepto, nos podemos referir a diferentes técnicas que precisan una aplicación de herramientas esbeltas de orden práctico, sin embar-

go, existen estudios cuantitativos los cuales determinan una mejora cuando se le relaciona en conjunto mediante la formulación del método Six Sigma.

Es imperativo en este caso aplicar los conceptos de manufactura esbelta y Seis Sigma para mantener una Cadena de Suministro esbelta: libre de desperdicios, mejorando continuamente y con la mejor calidad de servicio.

2.4 UNA NUEVA REVOLUCIÓN TECNOLÓGICA: INDUSTRIA 4.0

Industria 4.0 es la nueva tendencia de la automatización y se basa en el intercambio de datos a través de sistemas de monitoreo Ciber-físicos (CPS, por sus siglas en inglés *Cyber-Physical Systems*) creando una copia virtual del mundo, capaz de tomar decisiones descentralizadas mediante una conexión de actuadores en tiempo real a través del Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés *Internet of Things*), las cuales establecen un vínculo entre ellas y los humanos para un monitoreo y administración en toda la cadena de valor (Hermann *et al.*, 2016).

Se puede determinar que existen tecnologías que fueron integrándose en los últimos años y que caracterizan a este movimiento:

- *Blockchain*
- *Internet of Things*
- *Big Data*
- Manufactura Aditiva
- Robótica
- Simulación

- Realidad Virtual y Aumentada
- Materiales Avanzados
- Inteligencia Artificial (*Machine Learning*)

Sus aplicaciones en Manufactura y Cadena de Suministro llevan las innovaciones surgidas de la Industria 4.0 a buscar lo que se llama una “Fábrica Inteligente”.

El Centro de Desarrollo de Inteligencia Artificial de Alemania, a través de su departamento de Sistemas de Innovación de Fábricas identificó cuatro participantes clave para poder llegar a hacer lo que ellos llaman una “Fábrica Inteligente”: un “Producto Inteligente” que conozca su proceso de producción e interactúe con las “Máquinas Inteligentes” que lo ensamblan o transforman, un “Planeador Inteligente” que pueda optimizar los procesos en tiempo real en base a la cambiante demanda, y un “Operador Inteligente” el cual tenga una posición central dentro de todo el proceso y que con la ayuda de las TIC sea participe de supervisar y controlar todas estas actividades (Kolberg y Zühlke, 2015).

La revolución industrial 4.0 es un sinónimo de la transformación que están teniendo las industrias para ser más inteligentes (Weyer *et al.*, 2015), las cuales detectan y resuelven con gran rapidez los retos que se presentan día con día a través de una demanda de ciclos de producción más bajos, productos altamente personalizados hacia los clientes y una competencia a nivel global de acuerdo al fácil alcance de los productos en cualquier lugar.

La visión de integrar tecnologías de la información con la producción esbelta surgió desde principios de los 90’s pero hoy en día las áreas de aplicación que se abren en base a la introducción de la Industria 4.0 brindan un potencial para comenzar dicha integración implementado sistemas flexibles, poderosos y económicos aumentando los beneficios de la producción esbelta a través de los CPS. Sin embargo, desde los inicios de la producción esbelta, esta se definió como una colección de métodos y principios sincronizados independientes de la tecnología, lo que lo ha

llevado al éxito en base a esta simplicidad y alto desempeño en su aplicación.

Actualmente se ve una necesidad más clara del acople de la tecnología, de acuerdo a las fuertes desviaciones de la cambiante demanda global que entra en conflicto con el volumen de capacidad utilizada, así como también la conexión entre la producción y la demanda directa del mercado. Aunque la producción esbelta soporta una gran variedad de productos, está atada a una producción en serie en base a una secuencia con ciclos de tiempo establecidos que no son los óptimos para la producción individual de un producto (Kolberg y Zühlke, 2015).

Es de esperarse que la evolución exponencial de las tecnologías 4.0 nos alcancen al punto de modificar las cadenas de suministro, pero no existe una respuesta clara de como poder adaptar tal avance sin una herramienta guía para su aplicación e implementación en las industrias.

2.5 APLICACIONES DE LA AUTOMATIZACIÓN ESBELTA

Todos los conceptos presentados alrededor de la Cadena de Suministro hasta ahora se ven afectados por la Industria 4.0 pero la idea de combinar la automatización tecnológica con la producción esbelta no es nueva (Kolberg y Zühlke, 2015), ya que el termino se manejó desde principios de los años 90, lamentablemente los avances de la ciencia en ese entonces impedían que tuviera un trasfondo de mayor impacto en la industria. Hoy en día, bajo los elementos que componen la nueva revolución de la Industria 4.0, nuevas soluciones están disponibles para su aplicación.

Actualmente las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) entran como base de aplicación para la Industria 4.0 y pueden soportar un ambiente esbelto de Cadena de Suministro. Inclusive la definición de Industria 4.0 se extendió para incluir la optimización de las cadenas de valor desarrollando sistemas autónomos para una producción dinámica. Los CPS necesitan de controladores, microprocesadores, actuadores, sensores y una interfase de comunicación para poder trabajar de manera

automática y poder interactuar con el ambiente de producción. En este punto es donde el control y la automatización encuentran un nicho de aplicaciones como una oportunidad de mejora en las mejores prácticas del mercado de la producción esbelta, denominado Automatización Esbelta.

La entrada de la Automatización Esbelta en estos tiempos y su afiliación con la logística son inevitables Barreto *et al.* (2017) de acuerdo a los retos de la Cadena de Suministro de una mayor velocidad y transparencia en los datos y el control total de la integridad de los productos y servicios que se ofrecen, por lo que, las variables aplicadas buscan una comunicación continua mediante sistemas ciber-físicos que interactúan en tiempo real para el registro de datos y toma de decisiones, siendo capaces de controlar actuadores en un ambiente industrial, además de realizar predicciones de acuerdo a su alta velocidad de transferencia de información.

Existen varias maneras de integrar dichos conceptos dentro del contexto de la Industria 4.0, como por ejemplo la digitalización del sistema de surtido *Just-In-Time*, el cual utiliza sensores en sus contenedores vacíos para mandar una señal que active un nuevo abasto del material. Usando las nuevas Tecnologías de la Información y Comunicación, un contenedor perdido no causa errores para el control de la producción de acuerdo a que el sistema siempre concuerda con el inventario real. Esto facilita que los cambios en volumen, cantidades y tiempos de ciclo sean más fáciles de cambiar ante los cambios de la demanda.

Tomando en cuenta este y otros ejemplos, podemos definir que la Cadena de Suministro esbelta no excluye directamente la automatización de sus procesos y que apunta a mantener un control entre estructuras descentralizadas en una red de máquinas tan grande y compleja como se requiera, apuntando a mantener el control de operaciones pequeñas con bajos niveles de complejidad.

Se estipula que los sistemas esbeltos buscan la reducción de desperdicios en sus procesos y el incrementar la agilidad y flexibilidad de la producción de sus productos pero estos están centrados en sistemas humanos los cuales requieren entrenamiento

de operadores (Yamazaki *et al.*, 2016), riesgo de operaciones especializadas, dificultad de encontrar calidad en los trabajadores y la inconsistencia del trabajo de cada uno de ellos imposibilitando que pueda ser un proceso sin defectos. Por otro lado, los sistemas automatizados tienen la ventaja de ser más estables en términos de operación y control de calidad, pero requieren grandes inversiones y un mayor tiempo de desarrollo.

La relación que establecemos acerca de la Automatización Esbelta genera diferentes cuestionamientos entre su aplicación y desarrollo en las herramientas de producción y Cadena de Suministro. Existe por naturaleza una contraposición de los principios de manufactura esbelta contra los sistemas que soportan la producción. Tomando como ejemplo los sistemas de Planeación de Recursos Empresariales (ERP, por sus siglas en inglés *Enterprise Resource Planning*) estos son capaces de soportar un plan de producción y generar órdenes de suministro para abastecer una producción en conjunto con la administración financiera y de recursos que esto conlleve. Dependiendo del desarrollador del sistema, este varía en cuanto a las aplicaciones y el alcance que este tiene en cuanto al manejo de una compañía.

La razón de que estos no tengan una cohesión surge debido a que “como los ERP y la producción esbelta han emergido fundamentalmente de diferentes enfoques, de vez en cuando hay una disputa entre si ambas pueden usarse en conjunto” (Powell, 2012) aunado a que la producción esbelta “se describe como un forma independiente de tecnología de como una producción debe estar organizada y como debe de manejar sus procesos para alcanzar el mínimo tiempo de entrega con el mínimo costo y la máxima calidad” (Ohno, 1988).

Mintchell (2012) estudió y desarrollo una serie de niveles en los cuales este desempate se puede conllevar para que el enlace entre producción y sistema sea satisfactorio y ayude a la aplicación de herramientas esbeltas, las cuales segmento en diferentes etapas: la conectividad de controles externos para adquirir retroalimentación de señales en tiempo real, el establecimiento un estado flexible para realizar

cambios en el flujo de la operación, la definición de estados efectivos de equipamientos que indiquen la disponibilidad, desempeño y calidad de los recursos, la visualización de tableros y reportes con la información correcta, para la gente correcta en el tiempo correcto y, por último, la integración del ERP con datos reales de Producción.

Existe la posibilidad de realizar dicha integración una vez que exista una compatibilidad de obtener datos del exterior para procesarlos en tiempo real a través de los sistemas que soportan la producción con el fin de presentar una visión más clara que pueda ayudarnos a una toma de decisiones eficiente.

Al eliminar teóricamente las limitantes de factibilidad, nos preguntamos *¿Es necesaria la aplicación de la Automatización Esbelta en la Cadena de Suministro?*

La Industria 4.0 empuja la integración de la tecnología en los sistemas de producción actuales. Un estudio detallado (Kolberg y Zühlke, 2015) nos presenta una relación directa de las herramientas tecnológicas que se han elaborado como soporte de la Cadena de Suministro mediante la Industria 4.0 y los pilares más importantes de la producción esbelta: el *Just-In-Time* y el *Jidoka*.

Mediante una analogía en dicho estudio, podemos observar que las características de un sistema electrónico Kanban puede resultar en tener un *Operador Inteligente* que a través de la realidad virtual aumentada puede obtener los ciclos de trabajo restantes en el ensamble de un producto, así como también recibir notificaciones de algún fallo o inclusive disparar una alarma en caso de detectar alguno el mismo. También se puede equipar un *Producto Inteligente* el cual contenga información como su destino, la cantidad de partes y su ruta de surtido, la cual interactúa con el entorno para saber cuándo y dónde tiene que encontrarse el material. Una *Máquina Inteligente* sería la que recibiría los datos de dicho producto para procesarlo o dirigirlo hacia la ruta correspondiente o enviarlo a su siguiente proceso, detectando cualquier fallo de calidad que este programado medir. Por último, un *Planeador Inteligente* el cual estaría en contacto directo con la retroalimentación de las tres entidades anteriores y programaría a futuro sus niveles de requerimiento.

Los avances tecnológicos encuentran una aplicación eficiente para la Cadena de Suministro generando una necesidad de poder integrar dicha tecnología en un futuro cercano, sobre todo una vez que varias industrias comiencen a experimentar y aplicar estas innovaciones y se conviertan en sus mejores prácticas.

Estableciendo una necesidad aparente, *¿Cuál es el costo/beneficio de introducir niveles de automatización más robustos para una Cadena de Suministro más eficiente?*

La introducción de nuevas tecnologías hoy en día representa un alto costo de inversión para una empresa y no está al alcance de cualquier pequeña o mediana compañía, estas necesitan invariablemente una evaluación del estado actual de la operación para determinar cuál es el requerimiento de tecnología e innovación que se requiere aplicar.

Powell (2012) determinó un modelo dedicado a la evaluación de un ERP con su relación a los sistemas de producción integrados. Así como Mintchell (2012), definió 5 niveles de compatibilidad de un ERP, más tuvo un enfoque para obtener un nivel de adherencia hacia los “sistemas de jalar”, refiriéndose a los procesos de producción esbelta.





Existen modelos que realizan este tipo de evaluaciones, los cuales son dedicados y muy específicos a los procesos a evaluar, pero son sumamente importantes para emitir un estado actual y poder definir un estado ideal que contemple la integración de tecnologías que poco a poco serán necesarias en las operaciones regulares de la industria. El detalle reside en que dicha evaluación se enfoca en determinar el impacto en los resultados de su implementación, más no contempla los costos de inversión estructurados que se pudieran desembocar de dicha implementación.

Es determinante para una compañía determinar que un sistema de automatización este enfocado en la reducción de desperdicios que incremente la efectividad de la producción distribuyéndola a través de varias estaciones y que mida el valor generado en sus operaciones para así determinar las verdaderas necesidades de una

inversión tecnológica, tomando en cuenta previamente la optimización de procesos y la mejora continua como premisa principal.

Debido a que la visibilidad de una empresa hacia sus proyectos de innovación dependerá de la evaluación del estado actual de la misma, el marco teórico sigue confirmando nuestro problema, el cual define que no existe un método estándar para analizar la capacidad de la integración de la Automatización Esbelta para una Cadena de Suministro con el fin de buscar una mejora continua y que brinde una certeza del riesgo que representa una inversión tecnológica de bajo y alto grado.

En retrospectiva, varios autores atribuyen la necesidad de la aplicación de la automatización esbelta como una necesidad para adaptarse a la evolución tecnológica latente, con casos de éxito comprobados en los que se detallan las bondades de estas aplicaciones en diferentes escenarios (figura 2.7).

Artículo	Autores	Problemática	Metodología	Resultados
<i>Automatización esbelta habilitada para las tecnologías de la industria 4.0*</i> <small>'Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies'</small>	Kolberg y Zühlke (2015)	Probamos la posibilidad de integrar tecnologías de automatización con la producción esbelta	Creación de un sistema e-Kanban mediante la tecnología Pick-by-Visión	Integración 
<i>Hacia la industria 4.0 - estandarización como desafío crucial para sistemas de producción altamente modulares y de múltiples proveedores</i> <small>'Towards Industry 4.0 - Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems'</small>	Weyer et al. (2015)	Determinar el impacto en los sistemas de producción con tecnología de la industria 4.0	Desarrollo de celdas modulares inteligentes llamadas 'SmartFactory'	Flujo Material 
<i>Sistema de automatización esbelta que responde al mercado cambiante</i> <small>'Lean Automation System Responding to the Changing Market'</small>	Yamazaki et al. (2016)	Probamos la adaptabilidad de una empresa contra los cambios tecnológicos que la industria experimenta	Diseño de un sistema de automatización esbelta enfocado a la reducción de desperdicios en procesos	Costo 
<i>Hacia la producción esbelta en la industria 4.0</i> <small>'Towards Lean Production in Industry 4.0'</small>	Mrugalska y Wyrwicka (2017)	Establecer una relación entre la producción esbelta y la industria 4.0 para el futuro	Análisis ventajas/desventajas en la aplicación de industria 4.0	Adaptabilidad 

*Artículo Base

Figura 2.7: Resultados de investigaciones de aplicación en Automatización Esbelta

Es por ello que el éxito comprobado en el marco teórico de la implementación de la Automatización Esbelta dependerá del grado tecnológico en el cual una compañía

estará dispuesta a invertir, que es donde en repetidas ocasiones la información entre el costo y el beneficio de tecnologías innovadoras no es palpable y los proyectos son desechados rápidamente.

El principal detalle emerge al calcular el grado de aplicación de estas soluciones tecnológicas de acuerdo con el impacto que tendrán en cada proceso, el cual puede ser el más eficiente para el mismo, pero sobrepasa los recursos y retorno de inversión necesaria para implementarlo.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

En este capítulo, se detalla el proceso que se diseña para realizar la metodología de esta investigación. Este contempla el desarrollo de la evaluación de la Cadena de Suministro mediante el concepto de la aplicación de nuevas herramientas tecnológicas que contemplen prácticas esbeltas para la optimización de sus procesos y al mismo tiempo establezcan un precedente financiero acerca de las implicaciones de un desarrollo robusto de automatización.

La base de este método se guiará mediante la herramienta principal del Six Sigma para el desarrollo de proyectos a través del proceso DMAIC, definida previamente en el marco teórico, el cual nos brindará el soporte ideal para realizar el análisis y emitir la evaluación de diferentes escenarios debido a su simplicidad.

Cada etapa DMAIC será representada por una fase, la cual comprenderá diferentes pasos dentro de los mismos para el desarrollo de la evaluación (figura 3.1). La definición y medición del proyecto se realizará en la etapa de evaluación, en la cual se determinará el alcance del proyecto tomando en cuenta la distribución de toda la cadena de suministro. El análisis se realizará con el objetivo de enunciar los problemas con los que se cuenta actualmente, así como también determinar que tipo de metodologías esbeltas y herramientas tecnológicas están disponibles para su potencial solución. En la etapa de implementación, se evaluarán los diferentes esce-

narios para la optimización de los procesos, estos pueden ser una serie de diferentes escenas que mejoran el resultado en conjunto, o en su defecto, soluciones integrales que contemplen un impacto general a toda la cadena. Por último, la etapa de control enuncia el escenario a elegir, de acuerdo al nivel de mejora esperado, dejando un mapa estructurado de tiempo de implementación e inversión requerida.



Figura 3.1: Metodología Utilizada

Dicho modelo debe de mantener una metodología sencilla para poder analizar una cadena de suministro parcial o completa y así obtener un estado real del proceso, el cual requerirá una investigación previa del estado del arte para el cual el proceso es capaz de llegar o, en su defecto, es el más eficiente en el mercado.

El enfoque requerido se divide en dos partes:

- Evaluación Esbelta o *Lean Overview*: determina las condiciones del procedimiento de dicho proceso que establezca un juicio de aplicación en base a las metodologías esbeltas.
- Evaluación de Automatización o *Automation Overview*: obtiene las herramientas tecnológicas que soportan dicho proceso en la industria, así como los resultados documentados.

Ambos enfoques serán evaluados tomando en cuenta diferentes variables relacionadas con la implementación de las estrategias, tales como costo de implementación, tiempo de desarrollo, recursos humanos, impactos secundarios en la cadena de suministro entre otros. Con ello se busca mitigar que el desarrollo de cualquier proyecto tenga un impacto negativo en el resto de la cadena de suministro y sea factible implementarlo y operarlo financieramente.

Ambas evaluaciones serán relacionadas entre si para determinar la combinación de factores que pueden tener efecto en las variables determinadas para así emitir un panorama general de las opciones que se tienen para implementar la cadena de suministro, a este paso se le llamara Visión General para el Desarrollo de Automatización Esbelta o *Lean Automation Development Overview (LADO)*.

Cabe destacar que este último paso no estará restringido a aplicaciones conocidas o documentadas en la industria, sino que abre la puerta a la investigación y desarrollo de nuevas aplicaciones que sean eficaces dentro del rango de eficiencia esperado, dando libertad al profesional que se dispone a evaluar la cadena de suministro de innovar hacia las soluciones de un mismo problema.

Es necesario destacar que cada caso dependerá de una considerable interpretación por parte del analista, el cual tendrá que poseer los conocimientos necesarios y oportunos del proceso, así como de la industria en general.

De acuerdo con la complejidad de cada análisis, es recomendable que el analizador este capacitado para realizar una investigación detallada de los procesos de Cadena de Suministro y a su vez tener un alto grado de proceso analítico dentro de la industria en la que se está realizando la mejora. Los resultados dependerán del detalle que complementa la investigación, la cual no asegura tener un alto grado de exactitud, más sin embargo estará respaldado por un grado de confiabilidad en los datos.

Durante el desarrollo del método, esta investigación se complementará con formatos propuestos por el autor para la fácil identificación de conceptos y la concep-

tualización de la metodología propuesta. Este no será exclusivo para su desarrollo, pero es el sugerido para una comprensión exhaustiva de la cadena de suministro a evaluar y los impactos de sus resultados.

A continuación, se explica a detalle el proceso de cada una de las fases, seguido por el resultado final obtenido en cada paso del análisis antes de llegar a la metodología final.

3.1 DEFINICIÓN

Determinar el estado actual de una Cadena de Suministro es vital antes de realizar una implementación de mejora, es por ello que el primer paso será evaluar nuestra cadena para determinar el alcance del proyecto.

Como primer paso, se debe determinar el tipo de investigación que se realizará a partir de la cual determinaremos el perfil de las personas que evaluarán el sistema (figura 3.2). Es importante destacar que una buena clasificación en este punto nos ayudará a establecer los tiempos que se invertirán para el desarrollo de la evaluación, así como las diferentes áreas que tendrán que estar involucradas en su seguimiento.

Se divide de la siguiente manera:

- Investigación Tecnológica - *Technological Research (TR)*

Se establece una necesidad de innovación en relación a la optimización de la Cadena de Suministro, pero no se estipula que tecnología puede aplicarse. Una investigación del estado del arte es necesaria en el ámbito de la industria en cuestión para determinar las mejores prácticas y así evaluar su impacto.

- Evaluación Tecnológica - *Technological Evaluation (TE)*

La compañía o entidad a evaluar ya eligió previamente una herramienta tecnológica que desea implementar, pero no tiene claro el impacto en todas las

ramas de la cadena, o de la forma contraria, quiere establecer el beneficio de dicha implementación.

La diferencia clara entre una y otra se encuentra en el tiempo de evaluación y la certeza de los resultados. Una TR tiene un tiempo mayor debido a la necesidad de investigar sobre los avances de la industria al momento y la documentación de los resultados que estas puedan tener. Ocuparía un mayor equipo enfocado a investigar y validar sobre un espectro mayor los resultados de una aplicación nueva e innovadora. Por el contrario, la TE presenta una solución integral ya planteada, la cual realiza un enfoque directo a la tecnología a investigar y por ende un menor rango de variabilidad al establecer un estado futuro de aplicación.

1 Tipo de Investigación



Figura 3.2: Paso 1 - Identificar el tipo de investigación

Este paso se determinó de acuerdo a que los antecedentes nos indican un margen muy estrecho entre las tecnologías que se aplican actualmente contra las necesidades de las empresas contra su afán de evolucionar para ganar más mercado, es decir, el agregar una TE como parte integral de esta evaluación dará mayor flexibilidad a una empresa a poder innovar ágilmente con la entrada de una nueva solución, y no esperar una investigación completa que pudiera demorar más de lo que sus competidores tienen estipulado.

Una vez determinado el tipo de evaluación, estableceremos un segundo paso dentro de la fase de Definición, el cual evaluará las diferentes etapas de la Cadena de Suministro de acuerdo a la clasificación de Tjahjono *et al.* (2017) mencionada en

le marco teórico, dividiéndola en procesos principales de evaluación que son la base de una Cadena de Suministro global cualquiera:

- Comprar
- Almacenar
- Mover
- Vender/Re-abastecer

Es importante destacar que el proceso de Crear se omitió en esta clasificación, esto al deberse de un proceso más apegado a la Manufactura, para lo cual se sugiere hacer una evaluación individual de dicho proceso.

Este análisis nos ayudará a entender el alcance del proyecto, además de brindar una visión global de la cadena de suministro en la que se tomará en cuenta el impacto de las soluciones propuestas. Se torna evidente que tanto el inicio como el final del proceso analizado será el alcance del proyecto, ya que se tomarán decisiones de manera individual que tendrán o no que ser evaluadas con expertos que conozcan la operación de acuerdo con los procesos que se están integrando.

Se eligió esta clasificación de acuerdo a que su marco es claro y sencillo de trazar, para lo cual es importante saber el tamaño de las cadena que se evaluará. Como se puede observar en la figura 3.3, se vuelve evidente que dentro de cada clasificación podemos acomodar los diferentes procesos que comprende esa Cadena de Suministro para poder determinar visualmente las jerarquías que entran desde la clasificación general del proceso hasta el nombre de la tarea.

Esto nos dará como resultado una tabla base de proceso o *Process table*, la cual servirá de marco de referencia para delimitar el análisis de la evaluación.

1 2 Definir el alcance de la Cadena de Suministro

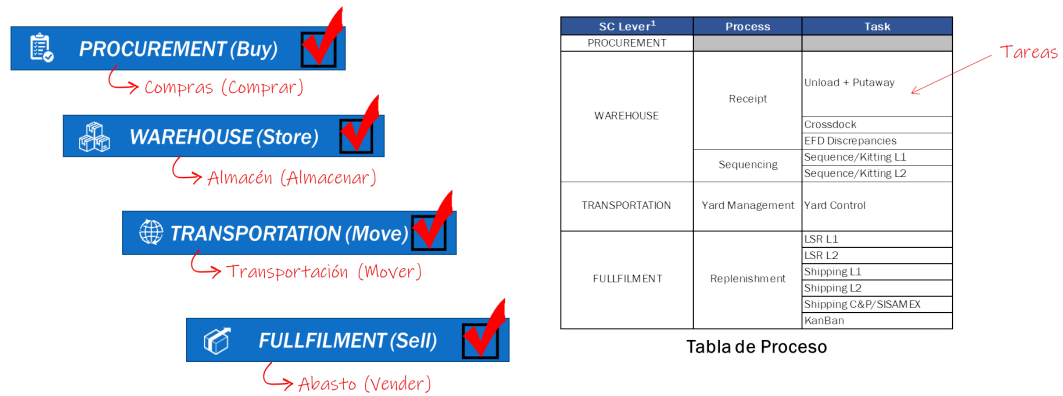


Figura 3.3: Paso 2 - Establecer el alcance de la Cadena de Suministro en base a los procesos a evaluar

3.2 MEDICIÓN

El objetivo de esta fase será contar con un alcance de trabajo correctamente definido, identificando los métricos claves que se estarán tomando en cuenta y que nos ayuden determinar un nivel de optimización. De igual manera los resultados de los métricos no son obligatorios, pero ayudarán a determinar un nivel de mejora más claro.

Es necesario considerar tanto recursos humanos como equipo de trabajo, para poder tener a mayor detalle el impacto de cualquier mejora presentada. Para ello, es necesario una lista detallada de cada proceso que concentre el personal que requiere su operación y el costo anualizado de trabajo, incluyendo equipo móvil y tecnológico, maquinaria y rentas adquiridas de cualquier tipo.

Esto nos dará un análisis financiero a detalle que será la base para un ahorro en potencia para cualquier inversión, por lo que, es imperativo contar con el apoyo de la administración para contar con esta información a detalle. De presentarse la anomalía de una restricción a dichos datos, habrá que buscar alguna clausula de confidencialidad en la cual la información este protegida de agentes externos y sea

SC Lever	SC Area	SC Process	Subprocess	HC Type	HC Unit Wage	Equipmen	Equipment Typ	Equipment Wage				
WAREHOUSE	Receipt	Unload + Putaway	Direct	1 Mat Gen	\$ 5,000.00							
				2 Forklift	\$ 10,000.00	2	Forklift (Electric)	\$ 12,000.00				
						1	Forklift (Gas)	\$ 15,000.00				
						2	Scanners	\$ -				
				1 Clerks	\$ 12,000.00	1	PC	\$ -				
				3 Coordinator	\$ 15,000.00	1	PC	\$ -				
				<hr/>								
						Window Sched	9 Mat Gen	\$ 5,000.00				
							12 Forklift	\$ 10,000.00	3	Forklift (Electric)	\$ 12,000.00	
									1	Forklift (Gas)	\$ 15,000.00	
									3	Scanners	\$ -	
							3 Clerks	\$ 12,000.00	1	PC	\$ -	
							3 Supervisor	\$ 20,000.00	1	PC	\$ -	
				<hr/>								
						Empty Containers	3 Forklift	\$ 10,000.00	1	Forklift (Gas)	\$ 15,000.00	
				<hr/>								
						LLP Consolidation	44 Mat Gen	\$ 5,000.00				
							46 Forklift	\$ 10,000.00	9	Forklift (Electric)	\$ 12,000.00	
									8	Forklift (Gas)	\$ 15,000.00	
									7	Scanners	\$ -	
							15 Clerks	\$ 12,000.00	7	PC	\$ -	
							12 Coordinator	\$ 15,000.00	5	PC	\$ -	
							6 Supervisor	\$ 20,000.00	2	PC	\$ -	
							2 LCS	\$ 25,000.00	2	PC	\$ -	
				<hr/>								
						Crossdock	2 Mat Gen	\$ 5,000.00				
							2 Forklift	\$ 10,000.00	1	Forklift (Gas)	\$ 15,000.00	
									0	Scanners	\$ -	
							2 Clerks	\$ 12,000.00	1	PC	\$ -	
							2 Coordinator	\$ 15,000.00	1	PC	\$ -	
<hr/>												
		EFD Discrepancies	3 Clerks	\$ 12,000.00	1	PC	\$ -					
			1 Supervisor	\$ 20,000.00	1	PC	\$ -					
					4	Scanners	\$ -					
<hr/>												
TOTAL per Area												
	Sequencing	Sequence/Kitting D	45 Mat Gen	\$ 5,000.00								
			33 Forklift	\$ 10,000.00	5	Forklift (Electric)	\$ 12,000.00					
					5	Forklift (Gas)	\$ 15,000.00					
					10	Scanners	\$ -					
			11 Clerks	\$ 12,000.00	6	PC	\$ -					
			2 Coordinator	\$ 15,000.00	1	PC	\$ -					
			4 Supervisor	\$ 20,000.00	2	PC	\$ -					
<hr/>												
		Sequence/Kitting N	38 Mat Gen	\$ 5,000.00								
			19 Forklift	\$ 10,000.00	8	Forklift (Electric)	\$ 12,000.00					
					2	Forklift (Gas)	\$ 15,000.00					
					10	Scanners	\$ -					
			5 Clerks	\$ 12,000.00	5	PC	\$ -					
			4 Coordinator	\$ 15,000.00	4	PC	\$ -					
			5 Supervisor	\$ 20,000.00	5	PC	\$ -					
			1 LCS	\$ 25,000.00	1	PC	\$ -					
<hr/>												
TOTAL per Area												
							Total WAREHOUSE					
TRANSPORTATION	Yard Management	Yard Control	Trailer Control ELD	3 Clerks*	\$ 12,000.00	3	PC	\$ -				
			Trailer Control INW	6 Clerks*	\$ 12,000.00	1	PC	\$ -				
			Gatepass Controller	4 Clerks*	\$ 12,000.00	0	Scanners	\$ -				
				1 Coordinator	\$ 15,000.00	1	PC	\$ -				
				1 Supervisor	\$ 20,000.00	1	PC	\$ -				
						1	YMS Leasing	\$ 50,000.00				
<hr/>												
TOTAL per Area												
							Total TRANSPORTATION					
FULLFILMENT	Replenishment	LSR D	26 Mat Gen	\$ 5,000.00								
			26 Forklift	\$ 10,000.00	6	Forklift (Electric)	\$ 12,000.00					
					2	Forklift (Gas)	\$ 15,000.00					
					10	Scanners	\$ -					
			3 Supervisor	\$ 20,000.00	1	PC	\$ -					
<hr/>												
		LSR N	22 Mat Gen	\$ 5,000.00								
			26 Forklift	\$ 10,000.00	9	Forklift (Electric)	\$ 12,000.00					
					3	Forklift (Gas)	\$ 15,000.00					
					17	Scanners	\$ -					
			3 Clerks	\$ 12,000.00	1	PC	\$ -					
			2 Coordinator	\$ 15,000.00	1	PC	\$ -					
			3 Supervisor	\$ 20,000.00	1	PC	\$ -					
			1 LCS	\$ 25,000.00	1	PC	\$ -					
<hr/>												
		Shipping D	6 Forklift	\$ 10,000.00	4	Forklift (Gas)	\$ 15,000.00					
					2	Tugger	\$ 11,000.00					
					7	Scanners	\$ -					
			1 Coordinator	\$ 15,000.00	1	PC	\$ -					
			1 Supervisor	\$ 20,000.00	1	PC	\$ -					
<hr/>												
		Shipping N	10 Forklift	\$ 10,000.00	4	Forklift (Gas)	\$ 15,000.00					
					2	Tugger	\$ 11,000.00					
					8	Scanners	\$ -					
			1 Clerks	\$ 12,000.00	1	PC	\$ -					
			1 Coordinator	\$ 15,000.00	1	PC	\$ -					
			1 Supervisor	\$ 20,000.00	1	PC	\$ -					
<hr/>												
		Packing	13 Mat Gen	\$ 5,000.00								
					5	Forklift (Gas)	\$ 15,000.00					

Figura 3.4: Paso 3 - Establecer el costo de la operación

utilizada única y exclusivamente por el equipo evaluador. Sin esta información, será imposible obtener los resultados esperados de este método.

Esta información será administrada en forma de tabla, la cual será llamada tabla de Recursos o *Resource table*, esta tabla es de formato libre siempre y cuando presente una estabilidad y coherencia para el analista y sus asociados, pero se ejemplifica en la figura 3.4 para una mayor comprensión de la misma.

3.3 ANÁLISIS

Esta es una de las fases de mayor importancia en el proceso y por lo cual requiere a personas familiarizadas con las técnicas de pensamiento esbelto, especialmente para el desarrollo de mapas de valor en busca de la reducción de desperdicios.

Durante este paso se realiza una evaluación de riesgos contra los desperdicios estipulados en cada operación mediante la técnica del *Value Stream Map (VSM)* determinada en el marco teórico (figura 3.5). Con ello nos centraremos en una evaluación gráfica de toda la Cadena de Suministro representada en la fase de Definición y soportada con los valores de la fase de Medición obtenidos previamente.

A medida de definición, este paso representa la Evaluación Esbelta en la cual vamos a asegurar que nuestra cadena este libre de desperdicios antes de realizar una implementación tecnológica. Es importante eliminar o reducir a medida de lo posible todo desperdicio que se encuentre en este análisis, ya que la automatización no es infalible si sus fundamentos mantienen procesos ineficientes.

Es difícil determinar un tiempo estimado para el desarrollo del VSM, ya que varía de acuerdo al alcance y complejidad de la Cadena de Suministro a evaluar. Es recomendable determinar el VSM de la misma manera que las clasificaciones de mayor a menor para entrar a procesos estructurados de manera ordenada, siempre y cuando el carácter de la investigación lo requiera, es decir, el análisis puede ser tan

1 2 3 4 **Evaluación Esbelta**

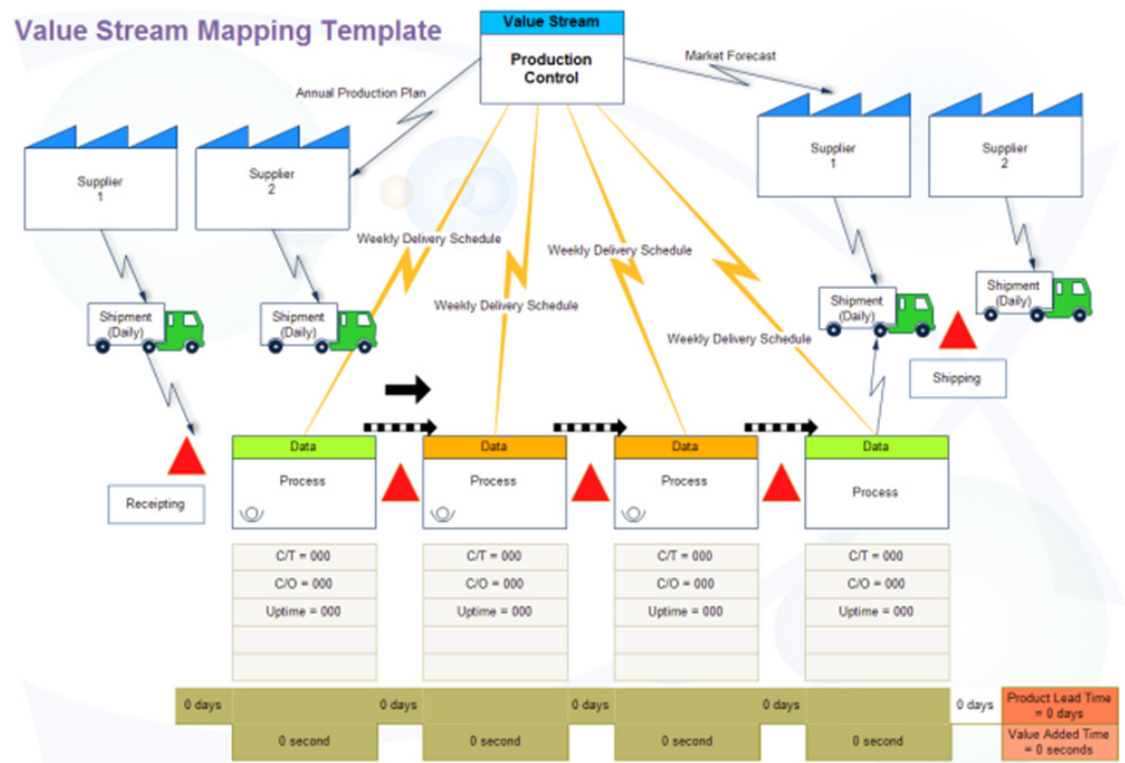


Figura 3.5: Paso 4 - Evaluación Esbelta a través del Mapa de Valor; Fuente: Ejemplo de *EDrawSoft.com*; sin derechos reservados

estricto como se desee a medida del conocimiento que el analista tenga del proceso.

Se podrá determinar un paréntesis en la evaluación para hacer una presentación preliminar de los hallazgos documentados, la cual determinará si se continua con la evaluación o se detiene para hacer las correcciones correspondientes. Es también factible continuar con la evaluación asumiendo que cualquier mejora dentro del proceso será implementada con la inclusión de una herramienta tecnológica a implementar, la cual brindará mayores resultados al análisis, y no mantendrá riesgo alguno debido a que estará cubierto por los pasos posteriores.

De esta manera, estos pasos aseguran que la Cadena de Suministro es evaluada de un estado esbelto antes de pasar a un estado autónomo, lo cual brindará mayor confianza a la compañía en determinar un estado ideal en independencia con las innovaciones tecnológicas que puedan ser implementadas.

3.4 IMPLEMENTACIÓN

Esta fase comprende el estado del arte de los procesos a evaluar en contraste con las tecnologías que están disponibles hoy en día. Consta de dos pasos de acuerdo con el resultado de la Evaluación Esbelta para posteriormente realizar una tabla de de defectos medida contra una tabla de soluciones previamente tabulada con las tecnologías de la Industria 4.0. Es importante destacar que en este punto la evaluación se desprende en dos partes dependiendo de la primera fase, la definición de la investigación, la cual puede dividirse en lo siguiente:

- Si es TR, se realizará una evaluación en un tabulador que funciona como guía para el desarrollo de una investigación de tecnologías disponibles en la industria, bautizado como LADO.
- Si es TE, se omitirá el tabulador LADO y se pasará al detalle de la evaluación del estado futuro de la implementación.

La evaluación LADO se realizó tomando como base la evaluación que hace Tjahjono *et al.* (2017) para la determinación del impacto de las tecnologías a medida en que se mezclan con las herramientas esbeltas, pero se adiciona una ponderación en la cual se evalúan los desperdicios a atacar contra el resultado del VSM.

Como se muestra en la figura 3.6, el diseño de la tabla inicia con los valores que representan el nivel de desperdicios que se detectaron en el VSM y que no fue posible eliminar. Este rango puede ser libre para adaptarse a cualquier rango de evaluación que el analista decida, para lo cual tiene la flexibilidad de adaptarse a cualquier clasificación siempre y cuando esta sea de mayor a menor tomando en cuenta que el numero mas alto en el rango representa el desperdicio de mayor impacto a presentarse en la Cadena de Suministro, esto refiriéndose al de mayor riesgo o al más repetitivo.

En las columnas superiores, se estarán representando las técnicas esbeltas para lo cual los antecedentes nos indican que son efectivos en la mitigación de los desperdicios encontrados. Estos estarán determinados de manera binaria dentro de la tabla, representando un 1 (uno) si representan un beneficio contra el desperdicio y un 0 (cero) en caso de no representar gran impacto en el mismo.

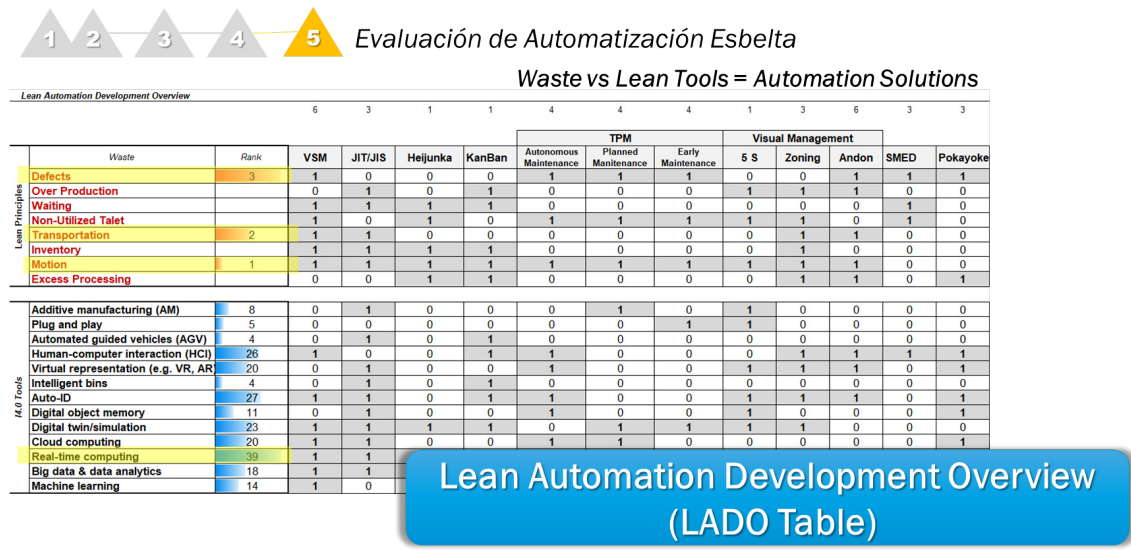


Figura 3.6: Paso 5 - Evaluación de Automatización a través del tabulador LADO

Cada columna obtiene una suma producto en la cual el rango de impacto se

multiplica con los valores binarios para dar un número entero singular, estableciendo el peso de la herramienta esbelta. Por otro lado, las mismas columnas determinan una evaluación contra una tabla inferior en la que se representan las diferentes tecnologías de la industria 4.0 en la que se contienen dichas herramientas, con esto hacemos una suma producto de manera horizontal para cada fila la cual da un rango de aplicación que da un marco de referencia acerca de las tecnologías a buscar.

Se realiza la observación que esta tabla está alineada a los antecedentes y marco teórico descrito por Tjahjono *et al.* (2017) pero es libre de contar con un diseño interno diferente de acuerdo a los resultados de la investigación descrita.

Como paso posterior, se procede a realizar la evaluación de las tecnologías disponibles, apoyado por la guía LADO en caso de una evaluación TR. Del lado contrario, se realiza el estado futuro para la evaluación TE. Se le determinará Escenario a cada evaluación realizada en un estado ideal del proceso implementado, el cual deberá de tomar en cuenta no solo beneficios de su implementación, sino también el tiempo de desarrollo y los costos relacionados con la inversión inicial y gastos recurrentes que cada tecnología conlleva.

Este es un proceso complejo por naturaleza, para lo cual se recomienda el apoyo de diferentes participantes relacionados con el diseño e implementación de sistemas para no depender de la respuesta del proveedor o diseñador de la tecnología. Es importante determinar a un mismo nivel los valores actuales y futuros de cada escenario, para poder proponer la mejor opción de acuerdo a las estimaciones proporcionadas, asimismo evaluar una herramienta de manera objetiva (figura 3.7).

El complemento de la tabla Proceso se tendrá que evaluar contra la tabla de recursos, para lo cual ahora estimaremos el nuevo estado después de la implementación de la tecnología en cada escenario, determinando la reducción (o incremento) de los costos de operación (figura 3.8).

Los formatos siguen siendo libres a discreción del analista, más se realiza un formato sugerido con el cual se puede basar para la recolección de datos y obtención

Selección de Escenarios

SC Level ¹	Process	Task	SubTask	Main KPI	UOM	Actual	Target	
PROCUREMENT								
WAREHOUSE	Receipt	Unload + Putaway	Direct	Trailers per Shift	Trailers	3	> 2	G
			Window Sched	Trailers per Shift	Trailers	103	> 30	G
			Empty Containers	Trailers per Shift	Trailers	1	> 30	R
			LLP Consolidation	Trailers per Shift	Trailers	12	> 15	R
	Crossdock	Shortages Delivery	Parts	13	> 30	R		
	EFD Discrepancies	Disc. Resolve < 72 hrs	%	101	> 100	G		
	Sequencing	Sequence/Kitting L1	Assembly Coverage	Days	2	1.5	R	
	Sequence/Kitting L2	Assembly Coverage	Days	1	1.5	R		
TRANSPORTATION	Yard Management	Yard Control	Trailer Movements INW	Movements per Hour	Trailers	15	> 20	R
			Trailer Movements ELC	Movements per Hour	Trailers	18	> 20	R
			Gatepass Controller	Movements per Hour	Trailers	20	> 20	G
FULLFILMENT	Replenishment	LSR L1	Tickets per Hour	Tickets	15	> 10	G	
		LSR L2	Tickets per Hour	Tickets	13	> 10	G	
		Shipping L1	Wind. Schedule Completion	%	115	> 100	G	
		Shipping L2	Wind. Schedule Completion	%	123	> 100	G	
		Shipping C&P			123	> 100	G	
		KanBan	Wind. Schedule Completion	%	98	> 100	R	

Tabla de Procesos

Figura 3.7: Paso 6 - Evaluación de Escenarios en base a resultados

Estimación de resultados futuros

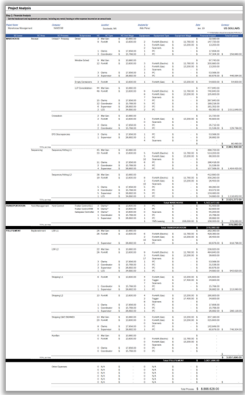
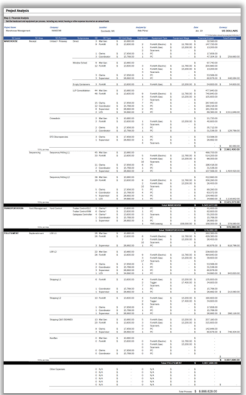


Tabla de Recursos

VS



Resultados Esperados

- Mejora de métricos clave
- Costo Total
- Tiempo de Implementación
- Retorno de Inversión (ROI)

Figura 3.8: Paso 7 - Estado Actual contra estado Futuro de resultados

de resultados tales como: costos totales, tiempos de implementación y retorno de inversión.

Estos pasos comprenden la Evaluación de Automatización que se desprende de un análisis esbelto de la Cadena de Suministro y cuentan con una estimación de los beneficios obtenidos por los mismos, lo cual da pie para la consolidación de los datos para la siguiente fase.

3.5 CONTROL DE RESULTADOS

En base a la evaluación anterior, se elige el mejor escenario (o el único, en caso de que la investigación sea TE) y se consolida la información en un formato sencillo y fácil para presentar. Este esta diseñado para concentrar los resultados de la información en todas sus fases (figura 3.9).



Figura 3.9: Paso Final - Presentación de Resultados

Se diseñó de esta manera para establecer de manera visual los resultados del escenario para lo cual se puede complementar con una presentación introductoria del desarrollo de la evaluación y las tecnologías contempladas, la cual puede ser presen-

tada de manera formal para su evaluación a una junta directiva o al departamento encargado para el desarrollo de estos proyectos.

Podemos concluir que la metodología aquí descrita es consistente con el objetivo trazado, lo cual fue determinante para el desarrollo de la misma. Se determinará su eficacia mediante un caso de estudio de la misma índole para lo cual se establece un escenario de evaluación con el objetivo de poder presentar un resultado viable y real de acuerdo a lo establecido con el marco teórico. La evaluación del mismo será evaluada por la aceptación o rechazo del participante en el caso de estudio para posteriormente poder determinar las conclusiones previstas por el mismo.

Sin embargo, se estima que esta herramienta se presente como precedente de un mejor alcance de evaluación dentro de los marcos establecidos tanto de los principios esbeltos como de la Industria 4.0 en beneficio de la Cadena de Suministro.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

En este capítulo, revisaremos el detalle de la aplicación del método de evaluación a través de un caso de estudio, por el cual se determinará el resultado de las hipótesis previstas. El desarrollo comprende una evaluación detallada a una compañía relacionada a la industria de la Manufactura, la cual busca innovar en su Cadena de Suministro mediante la inclusión de nuevas tecnologías que la hagan más eficiente.

La empresa está decidida en optimizar sus procesos mediante la innovación y desarrollo de nuevas tecnologías en sus plantas de ensamble, es por ello que la evaluación tendrá como objetivo el validar si el sentido de la implementación puede considerarse un buen caso de negocios, tomando en cuenta la mejora de sus procesos y la variable del retorno de inversión como principal factor en la toma de decisiones.

A continuación se detalla el marco del caso de estudio, así como los resultados determinados en cada etapa de evaluación, para posteriormente dar paso a la presentación de datos encontrados por medio del método que se ha creado.

Cabe destacar que los datos utilizados en este ejercicio fueron exactos y detallados por la misma compañía, pero se encontrará que la información mostrada está extrapolada y, en algunos casos, es omitida de acuerdo a la cláusula de confidencialidad prevista por la empresa, a manera tal que el análisis no se vea afectado y

presente una coherencia en el establecimiento de las formas evaluadas.

4.1 CASO DE ESTUDIO

Este escenario esta dedicado a una compañía dedicada al ensamble de vehículos medianos y pesados, los cuales son distribuidos a nivel global, encontrándose entre las 5 empresas más importantes en cuanto a la distribución de mercado.

Cuenta con una gama muy diversa de proveedores para sus varias plantas de ensamble, más su proceso de compras es manejado de manera individual para cada planta de acuerdo a la distribución de la manufactura de sus productos. La mayor partes de sus requerimientos se realizan de manera electrónica directamente hacia sus proveedores mediante el cálculo de sus inventarios contra su plan de producción y utiliza un sistema centralizado ERP que administra el billete de materiales, los consumos, los surtidos, recibos y materiales en tránsito para la administración de la cadena de suministro.

Una vez distribuido el material desde el proveedor, un transportista externo se encarga de la transportación hacia las diferentes plantas, para lo cual se genera un aviso avanzado del embarque para que personal en planta, tanto planeadores como operadores, puedan distribuir los recursos necesarios para el recibo, almacenamiento y surtido a los diferentes puntos de aplicación cubriendo las necesidades de producción.

El sistema ERP cuenta con módulos modificados exclusivamente para esta operación, cubriendo las necesidades de cada planta para la administración de su inventario y producción pero es importante destacar que las soluciones y la creación de dichos módulos no presenta una solución global para todas sus facilidades, en las cuales diferentes plantas presentan diferentes volúmenes de partes a administrar de acuerdo con el incremento de la producción a lo largo de los años.

La empresa esta buscando invertir en capital que les ayude a poder robustecer sus sistemas dedicados al manejo y administración del inventario para así poder obtener mejores resultados en su operación con un menor costo, además de integrarse al desarrollo de tecnologías 4.0 en la que la industria de la manufactura esta incursionado, sin embargo, no existen muchos datos históricos fiables que nos puedan establecer un punto de inicio y es difícil saber el impacto de optimización que dichas herramientas puedan otorgar para este tipo de industria. Esto se debe a que la administración de la cadena de suministro es manejada por una empresa de logística externa, la cual utiliza el mismo ERP de la compañía para realizar todas las transacciones y cálculos de su operación; es por ello que la empresa externa no tiene control total de los resultados obtenidos en años anteriores, las métricas están dedicadas al monitoreo de la calidad del producto y la manufactura del mismo pero carece de un modulo que administre los almacenes y la transportación dentro de la planta.

La administración ha decidido centralizar estos procesos a través de un sistema de administración de almacenes o *Warehouse Management System* (WMS) mediante el cual se piensa será capaz de incrementar la veracidad del inventario, mostrar mayor rastreabilidad en sus operaciones de Cadena de Suministro y evitar el desbaste con un menor costo de operación.

Para Barreto *et al.* (2017), los almacenes siempre han sido un centro vital en el flujo de materiales para la Cadena de Suministro pero de acuerdo al clima económico de hoy en día, estos se han vuelto clave para ser una ventaja competitiva para los proveedores de servicios logísticos. La adopción de la Industria 4.0 introduce la idea de una administración “inteligente” a través de los sistemas WMS, los cuales indica, transformarán las actividades de un almacén en requerimientos para las entradas de la logística adaptadas en un ambiente basado en Industria 4.0.

Para el caso de estudio, este requirió una basta experiencia en la operación de la empresa en la parte logística y de planeación de materiales, su evaluación se centró en el proceso local de la planta en conjunto con las respectivas gerencias del

departamento de Cadena de Suministro para poder hacer un marco de aplicación para el WMS y, posteriormente, realizar el análisis detallado de acuerdo con el modelo desarrollado para la evaluación del mismo, destacando que la planta por analizar es la única en el consorcio que no cuenta con un sistema de administración de inventarios.

En estos casos, se hubiera asignado la labor de una consultoría experta en las operaciones de logística y cadena de suministro para realizar el caso de negocios para determinar si alguna aplicación tecnológica es viable en implementación, brinda una mejora continua al proceso y mantiene un retorno de inversión a corto o mediano plazo para poder tomar una decisión que beneficie a la empresa. Por el contrario, se dio paso a realizar esta evaluación, la cual determina si el proyecto presenta una factibilidad y congruencia con los objetivos buscados por la compañía de una manera condensada y simple.

4.2 INICIO DE LA EVALUACIÓN

La investigación inicia con la propuesta de evaluación hacia la gerencia de Logística y Planeación de Materiales de la planta, en la cual se presentó brevemente el modelo de evaluación y la estimación del tiempo determinado para el mismo. Este paso fue vital para facilitar los recursos necesarios para la evaluación, sin el cual no se hubieran podido obtener los datos de análisis.

De acuerdo con la metodología propuesta, se comenzó por definir el tipo de evaluación requerida para estimar los tiempos requeridos del proyecto. Ya que la compañía ya contaba con un WMS predilecto, la investigación se determino como una Evaluación de Tecnología.

Como segundo paso, fue necesario determinar el marco de referencia del proyecto por el cual estaríamos limitados . Es importante destacar que este paso fue clave para poder determinar el inicio y el final de nuestra cadena de evaluación, para lo cual se hizo un extremo énfasis en el detalle de las operaciones y procesos que

estaban contempladas en el análisis. La investigación de Tjahjono *et al.* (2017) fue en este caso muy efectiva para poder tener la base del análisis y posteriormente un detalle hasta sus procedimientos.

En vista de este ejercicio, se decidió que era necesario un archivo condensado del cual partir para iniciar la investigación y asegurar que toda la información que se fuera acumulando se condensara de manera ordenada y sistémica para posteriormente hacer más sencillo su análisis y presentación hacia los diferentes departamentos involucrados. Por ello, se diseña un archivo en plataforma MS Excel (figura 4.1) el cual servirá como base de datos para nuestro posterior análisis.

El tiempo estimado de esta evaluación fue de 6 meses de acuerdo al tipo de evaluación y marco de referencia de la cadena, tomando en cuenta que la investigación esta dividida en diferentes locaciones para complementar toda la información requerida.

4.3 RECOPIACIÓN Y PRESENTACIÓN DE DATOS

Una vez iniciado el proyecto se procedió a la fase de Definir, donde se recaban los datos para armar el estado inicial de la Cadena de Suministro. De acuerdo al marco establecido, el detalle abarca almacenamiento, transportación y surtido hacia las líneas. No se tomará en cuenta la parte de compras ni la interacción con proveedores y estará limitada hasta el surtido del material al punto de aplicación previo al ensamble de las partes.

El análisis no se inicia en piso ni en la operación, sino con los participantes clave que administran los recursos de los procesos y son responsables de sus resultados. Para ello fue necesario una junta con los diferentes coordinadores y encargados de las áreas para tener una idea del estado actual de las operaciones

Dentro del almacenamiento, se detectan los procesos de Recibo y Secuenciado.

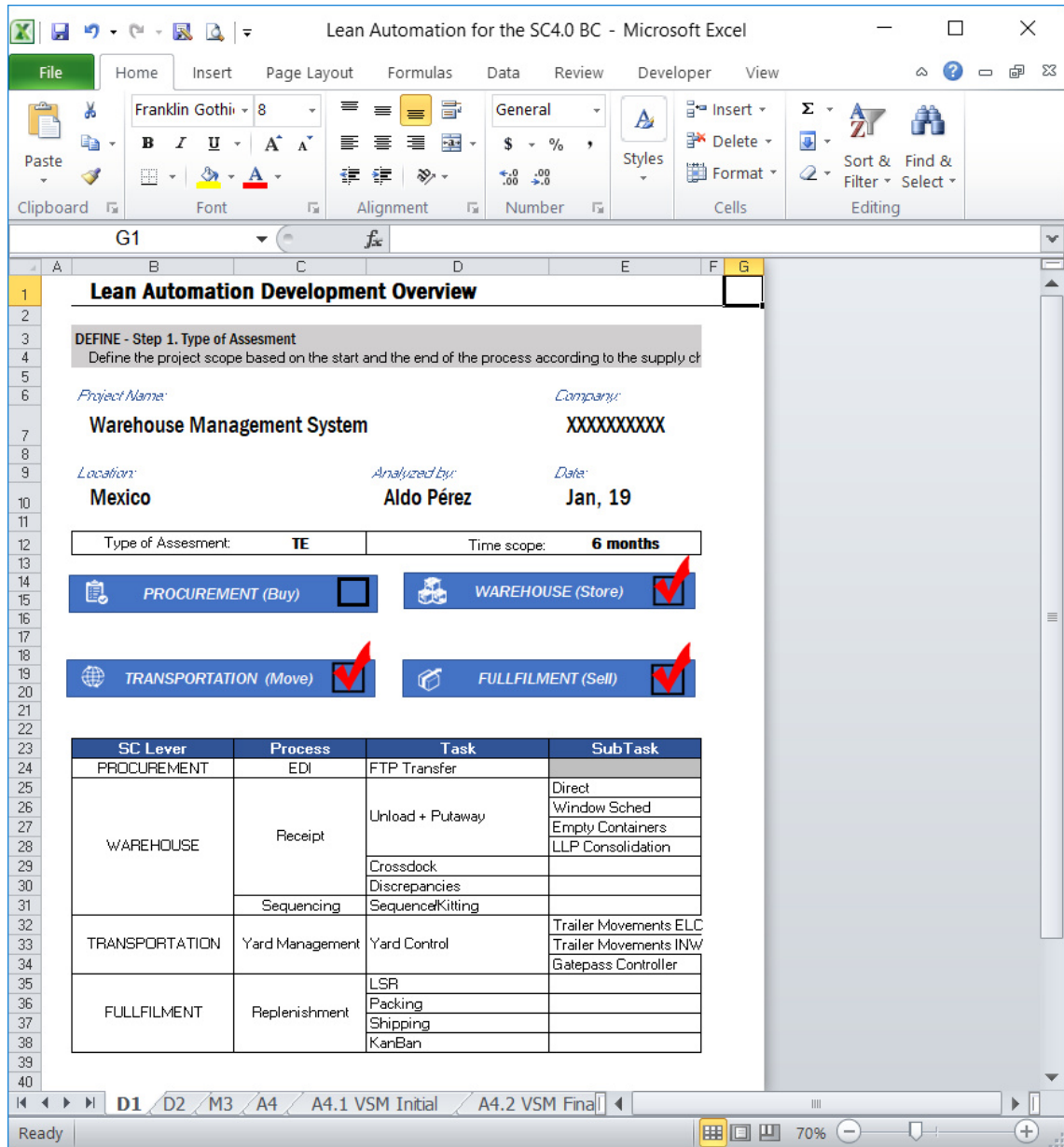


Figura 4.1: Carátula de Base de Datos usando MS Excel

El Recibo presenta un modelo de descargas de proveedores directos y cargas consolidadas, siendo este último el de mayor volumen. Cuenta con un proceso de retorno de contenedores posterior al recibo y adicional a ello una plantilla para distribuir los materiales dentro de sus diferentes ubicaciones dentro y fuera del almacén. Todo el proceso termina una vez que se le da entrada a los materiales en una ubicación específica, para lo cual debieron ya de haber pasado su proceso de validación y etiquetado, estableciendo un paso para el seguimiento y resolución de discrepancias. El área de secuenciado tiene actividad posterior al proceso de recibo y se divide en dos de acuerdo a la distribución de las líneas de ensamble.

Para el Surtido, se distribuyen las actividades dedicadas para cada tipo de proceso, tomando en cuenta que las plantillas realizan una recolección previa del material, lo validan y envían a cada punto de aplicación. La mayor parte del material utiliza un método *PULL* para su surtido, sin embargo, existen materiales de alto volumen que utilizan un método *PUSH* para su abasto.

En el área de Transportación, se centró la atención a la distribución de las cajas que transportan el material del patio al almacén, partiendo de ahí el material se distribuye a los diferentes puntos de aplicación, esto de acuerdo a que los diferentes tipos de transporte dedicado para estos movimientos son realizados por un tercero y dependen de este agente externo para su administración y manejo.

Para todas estas tareas, la empresa nos proporcionó los valores meta y resultados actuales que se presentan actualmente, los cuales se pueden observar en la tabla 4.1.

En la recolección de estos resultados, se destaca que muchos de los procesos se encuentran en control por la empresa y presentan un enfoque adecuado de acuerdo al estado de las operaciones, pero podemos detallar que los métricos fuera de meta se centran en la parte de recibo, la cual fue una de las primeras áreas por la cual la compañía quiso explorar una mayor automatización en sus procesos. De esta manera, no solo se establece de manera gráfica la necesidad de mejora, sino que da la pauta

hacia la empresa de continuar con el análisis.

SC Lever ¹	Process	Task	SubTask	Main KPI	UOM	Actual	Target	
PROCUREMENT								
WAREHOUSE	Receipt	Unload + Putaway	Direct	Trailers per Shift	Trailers	5	> 5	G
			Window Sched	Trailers per Shift	Trailers	28	> 30	R
			Empty Containers	Trailers per Shift	Trailers	30	> 30	G
			LLP Consolidation	Trailers per Shift	Trailers	12	> 15	R
	Sequencing		Crossdock	Shortages Delivery	Parts	13	> 30	R
			EFD Discrepancies	Accuracy	%	94.5	> 95	R
			Sequence/Kitting L1	Assembly Coverage	Days	1.8	> 1.5	G
			Sequence/Kitting L2	Assembly Coverage	Days	2	> 1.5	G
TRANSPORTATION	Yard Management	Yard Control	Trailer Movements L1	Movements per Hour	Trailers	15	> 15	G
			Trailer Movements L2	Movements per Hour	Trailers	18	> 15	G
			Gatepass Controller	Movements per Hour	Trailers	20	> 20	G
FULLFILMENT	Replenishment		LSR L1	Tickets per Hour	Tickets	15	> 10	G
			LSR L2	Tickets per Hour	Tickets	13	> 10	G
			Shipping L1	Wind_Schedule Completion	%	100	> 100	G
			Shipping L2	Wind_Schedule Completion	%	100	> 100	G
			Shipping EXT	Not Defined				
			KanBan	NA				

Tabla 4.1: Tabla de Procesos

Como puntos adicionales, se toma en cuenta que las metas establecidas pueden cambiar y ser más agresivas teniendo un sistema autónomo de por medio, adicionando el valor agregado que esta herramienta de análisis puede dar.

Posteriormente, pasamos a la fase de Medición con el tercer paso de la metodología adquirida, que es la recolección de datos que circundan los procedimientos definidos en la tabla de procesos. Esta actividad requirió un mayor detalle, de acuerdo a que se concentró toda la información prevista de los procesos para hacer una tabla general de recursos que concentrara todo el costo actual de las operaciones.

Una vez mas, el detalle fue concentrado de manera sencilla en la base de datos MS Excel que se diseñó. Este ejercicio se agilizó una vez que fuimos claros en los datos que se requerían y la forma de calcular los costos asignados pero tomó más tiempo del requerido, de acuerdo a que los involucrados generalmente estaban enfocados en las operaciones del día a día y no mostraban importancia a la veracidad de los datos. Fue necesaria la intervención del departamento líder para facilitar y acelerar el flujo de información y restablecer el seguimiento del proyecto.

Una vez concentrada la información, tuvimos una idea de los costos de operación regulares que impactan el marco de referencia estipulado. Es importante destacar que algunas ocasiones se tuvo que recurrir al equipo financiero para la validación de datos pero la mayor parte de la información pudo obtenerse de los responsables de las operaciones.

4.4 CREACIÓN DE LOS MAPAS DE VALOR

Para la fase de Análisis, se procedió con el cuarto paso del método que refiere a la evaluación esbelta. Este paso es muy importante para recalcar que realmente pase lo que los administradores de la operación piensan que sucede.

El análisis se hace en donde se realiza la tarea u operación y se toma el tiempo necesario para poder entender la operación desde el sitio de trabajo para poder documentar mediante un Mapa de Valor sus pasos, observando que actividades generan un valor agregado y cuales representan un desperdicio, esto dentro del marco metodológico de Manufactura Esbelta, el cual será contabilizado para darle un peso mayor de acuerdo a su repetibilidad.

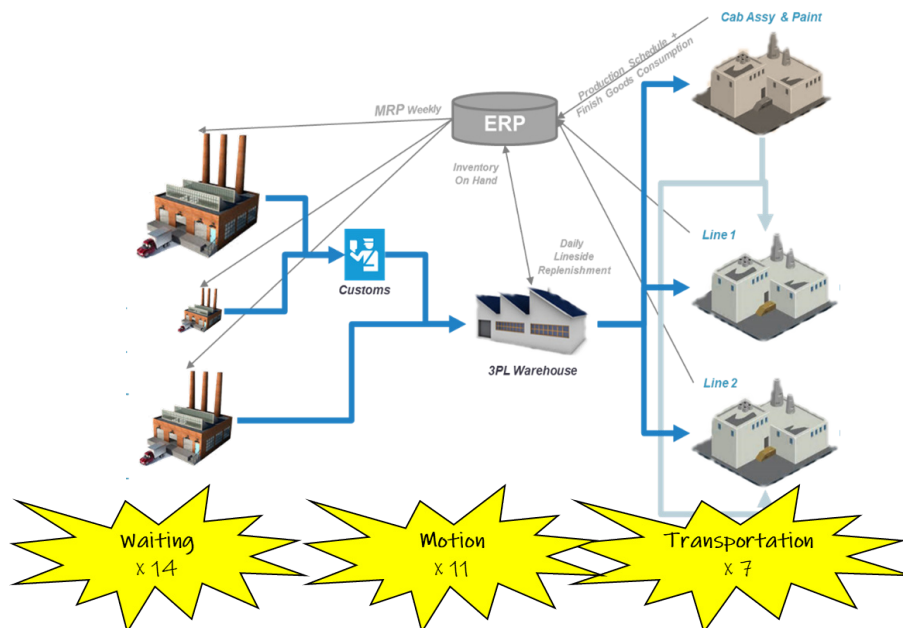


Figura 4.2: Evaluación esbelta a través del VSM

El análisis esbelto puede dividirse en un mapa de valor general (figura 4.2) y después irse desprendiendo en los diferentes procesos que los integra. Para ello, cada documento tendrá que almacenarse para determinar que desperdicios presenta en sus operaciones, a cuales esta más inclinado y cual es el área de oportunidad más grande de acuerdo a esta recolección de procesos.

Es recomendable eliminar cualquier desperdicio obvio previo a pasar al siguiente paso de análisis. Con esto, aseguran que cualquier implementación tecnológica este libre de desperdicios que puedan resolverse a nivel procedimiento y no evitar un costo mayor para tratar de evitarlo.

En estos casos, siempre hay que consultar a la administración para determinar la corrección de estas condiciones antes o después de la implementación, y estarán ya informados y atentos al riesgo que cualquier decisión se tome.

Al final, los desperdicios serán contabilizados; es importante tenerlos a la mano una vez concluido el mapeo de todos los procesos.

4.5 EVALUACIÓN DE AUTOMATIZACIÓN ESBELTA

Ya con la información consolidada, pasamos a la fase de Implementación la cual inicia con el quinto paso de la metodología. Este es el análisis de los resultados contra la investigación del marco teórico que documentamos, dándonos una guía de los tipos de tecnología a utilizar para mejorar las operaciones actuales de acuerdo al tipo de desperdicios que queremos erradicar, usando metodologías esbeltas como punto de conexión entre estos dos factores.

Para ello, se realiza el análisis en la tabla diseñada para el Análisis del Desarrollo de Automatización Esbelta o *Lean Automation Development Overview* (LADO), la cual fue modificada del aporte de Tjahjono *et al.* (2017) y adaptada en esta metodología como punto de referencia para la investigación de tecnologías efectivas e innovadoras.

Por ser una Evaluación de Tecnología, este paso nos sirve para reforzar si las tecnologías disponibles en la Industria 4.0 son las adecuadas para la situación actual de la empresa. De haber recurrido a una Investigación Tecnológica, esta tabla nos da la referencia para la búsqueda de una herramienta con Industria 4.0 en la cual

nos tenemos que enfocar.

En este caso, la tabla nos pide la cantidad de desperdicios que encontramos en el análisis del paso anterior, pero de manera alternativa podemos discutir con los líderes del proyecto cuales son los desperdicios más significativos a tratar. Este último ejercicio descrito fue el utilizado en este caso de estudio, para lo cual se asignó un peso a cada desperdicio enunciado, siendo el más alto el de mayor recurrencia e importancia para la empresa. Los resultados se muestran en la tabla 4.2.

Podemos observar que el resultado de los desperdicios es analizado contra las metodologías esbeltas de manera ponderada utilizando valores binarios; de acuerdo al marco teórico, el uno representa un efecto positivo en la mitigación de ese concepto y, de manera contraria, un cero representa que tiene poco o nulo efecto en el eliminar o reducir ese desperdicio.

Como complemento, las metodologías esbeltas se relacionan con las técnicas y conceptos de la Industria 4.0 que tienen apertura de aplicación esbelta, para lo cual se hace la misma referencia literaria, de acuerdo al estudio de Tjahjono *et al.* (2017), para indicar con un uno el efecto positivo para la herramienta en cuestión y un cero para una relación menor.

Las sumas ponderadas de los defectos se agregan a las sumas ponderadas de las herramientas de la Industria 4.0 para al final tener un número que identifica los conceptos tecnológicos de mayor impacto. El de mayor número será la opción más recomendada, para lo cual la herramienta tecnológica a adquirir deberá de basarse o contener ese concepto para asegurar una optimización esbelta.

El sexto paso consiste en la investigación y selección del sistema que vayamos a implementar. Es importante recalcar que una Investigación de Tecnología TI tomará más tiempo para encontrar el estado del arte utilizado en la industria, tomando en cuenta los conceptos obtenidos de la tabla LADO; sin embargo, para una Evaluación de Tecnología TE, la tabla LADO solo reforzará la selección del sistema previsto para poder iniciar la etapa de evaluación. El analista inclusive podrá determinar si no hay

Lean Automation Development Overview

Waste	Rank	VSM	JIT/JIS	Heijunka	KanBan	TPM			Visual Management			SMED	Pokayoke	
						Autonomous Maintenance	Planned Maintenance	Early Maintenance	5 S	Zoning	Andon			
Defects	3	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	
Over Production	3	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	
Waiting	14	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	
Non-Utilized Talent	2	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	
Transportation	7	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	
Inventory	5	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	
Motion	11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
Excess Processing	5	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	
Lean Principles														
Additive manufacturing (AM)	72	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
Plug and play	32	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Automated guided vehicles (AGV)	78	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Human-computer interaction (HCI)	185	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1
Virtual representation (e.g. VR, AR)	142	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1
Intelligent bins	78	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Auto-ID	222	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1
Digital object memory	80	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1
Digital twin/simulation	238	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0
Cloud computing	122	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
Real-time computing	310	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Big data & data analytics	181	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
Machine learning	82	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1
14.0 Tools														

Tabla 4.2: Evaluación de Desarrollo de Automatización Esbelta (LADO)

otra herramienta que pudiera tener un mayor impacto y presentarla como una opción adicional.

Durante esta tarea, una investigación dependerá enteramente de la habilidad del analista para la recolección de datos de los diferentes proveedores de tecnología disponibles. Es necesario el soporte de las áreas integradas al proyecto desde este paso, tales como el departamento de sistemas o EDI, para asegurar que todas las variables que incurren en la implementación sean tomadas en cuenta.

Para cada herramienta será necesario evaluar que contiene y el alcance de sus operaciones, los métricos que tiende a impactar y un estimado de su nivel de mejora. Una visita a una locación en la cual se encuentre ese sistema en funcionamiento es altamente recomendable.

4.6 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Es necesario tomar en cuenta que escenario cuenta con las mejores características de optimización y costo para proceder, más esto no es un condicionante para hacer este ejercicio con todos los escenarios que la empresa desee incorporar para realizar una comparativa.

Continuamos con la fase de Control, en este séptimo paso se puede utilizar la tabla de procesos de nuestros pasos anteriores para poder estimar el nivel de mejora aplicada en dicho sistema, esta será utilizada como referencia comparativa entre la selección de tecnologías evaluadas.

Será necesario concentrar el costo de implementación y el gasto recurrente que este sistema necesitará para operar, el cual tendrá que ser específico en tiempos de aplicación de acuerdo a la implementación.

Al realizar esta comparación, se vuelven evidentes los beneficios esperados y se pueden asumir reducciones del costo operativo a medida de que el sistema vaya

SC Level ¹	Process	Task	SubTask	Actual HC	Expected HC	HC Reduction	Est. Savings
PROCUREMENT	Receipt	Unload + Putaway	Direct				
			Window Sched				
			Empty Containers				
			LLP Consolidation				
WAREHOUSE	Sequencing	Crossdock	EFD Discrepancies				
			Sequence/Kitting L1				
			Sequence/Kitting L2				
TRANSPORTATION	Yard Management	LSR L1					
			LSR L2				
			Shipping L1				
			Shipping L2				
FULLFILMENT	Replenishment	Shipping C&P/SISAMEX					
			KanBan				
			Investment				
			Other Expenses				
			Total Investment \$	(335,000.00)		Total Savings \$	441,744.00
			Payback Time	0.8	(~10 months)	ROI	31.86%

Tabla 4.3: Tabla de Resultados

tiempos de implementación del sistema, para lo cual los representantes de la empresa tuvieron una retroalimentación corta pero precisa.

Como se estimaba, las preguntas fueron dirigidas hacia un mayor retorno de inversión y las posibilidades de reducir el capital invertido; el resultado de la sesión fue satisfactoria para dar luz verde al proyecto e programar la fecha de inicio dentro de los siguientes meses.

Cabe destacar que este proceso es representado por la idea de la mejora continua, por lo que, las recomendaciones posteriores a la selección del escenario fueron concisas para poder realizar este ejercicio como una validación al final de la implementación del proyecto.

Con esto concluyó mi participación con la empresa, determinando las conclusiones necesarias en base a la premisa estructurada de esta evaluación.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

En este capítulo se presentan las conclusiones definidas para el modelo de evaluación en base a los resultados obtenidos, para lo cual se desarrolla un análisis a través del objetivo y las hipótesis para posteriormente destacar los puntos clave que se detectaron durante la aplicación del caso de estudio.

5.1 APORTACIÓN CIENTÍFICA

Para comenzar, se pudo demostrar que el objetivo fue logrado conforme el marco teórico estructurado al inicio de la investigación; con el desarrollo de la herramienta de evaluación se permitió realizar un análisis con un juicio imparcial para la aplicación de tecnologías de una empresa en busca de una inversión que detallara un beneficio palpable con un buen caso de negocios.

Nuestras premisas en cuanto a la hipótesis que circunda el logro del objetivo recaen en que se pudo lograr el marco de evaluación para el análisis de una Cadena de Suministro, tomando en cuenta que la base de datos creada es una herramienta guía para cualquier analista de Cadena de Suministro que se encuentre dentro o fuera de una compañía que desee incursionar en la automatización de procesos mediante tecnologías de la Industria 4.0.

Los resultados demostraron, de igual manera que el marco teórico, que la Automatización Esbelta permite optimizar una red de procesos definidos, obteniendo excelentes resultados y modificando el perfil de una compañía hacia la tecnología y la mejora continua.

Por último, se demostró la factibilidad de mezclar las herramientas esbeltas con la tecnología 4.0, maximizando los resultados esperados a diferencia de una implementación independiente. La comparación entre ambos requerirá una investigación posterior para poder definir el total de beneficios estipulados por este método, pero es un buen punto de partida para mejorar el proceso de evaluación.

5.2 RESTRICCIONES Y RECOMENDACIONES

Existen algunos puntos clave por definir para poder establecer este proceso de evaluación, sobre todo cuando el objetivo definido es una corporación con presencia a un nivel nacional o internacional, siendo estos el enfoque de mayor categoría al momento del desarrollo de este método.

- **El soporte del líder de la compañía es necesario**

Es sumamente importante contar con el apoyo de la cabeza organizacional, sea alguna persona o junta ejecutiva que este capacitada para hacer una toma de decisiones a nivel macro. Podemos definir que el no tener este soporte, será extremadamente difícil hacer una evaluación de la Cadena de Suministro verás y efectiva.

Durante la investigación se pudo detectar una restricción natural al cambio, con ello se presentan problemas de claridad en los datos y una dificultad para poder continuar los pasos establecidos.

- **El estado inicial escrito en papel puede variar contra lo que sucede en realidad**

Esto fue muy común durante la evaluación esbelta, en donde las coordinaciones tienen una gran cantidad de equipos por cubrir o presentan muchos métricos por seguir.

Lo ideal es abrirse a una idea de revisar de manera detallada si los casos presentados al inicio realmente funcionan como deben, y si existe una diferencia entre lo que esta definido y lo que las condiciones generales de la empresa establece en la operación.

Dependiendo del tamaño de la Cadena de Suministro, se recomienda estar en contacto con los operadores finales, quienes realizan el proceso diariamente y están altamente familiarizados con la operación. Al final, cualquier cambio o modificación será contable para ellos y tendrá repercusiones en la definición de funciones futuras.

- **Los tiempos de análisis no esta establecidos**

Importante es darle un gran peso a este punto, en el cual no se pudo determinar el tiempo ideal de análisis en cada paso del método.

Pudo cumplirse el tiempo estimado de análisis del caso de estudio gracias a la experiencia del investigador y el soporte total de la compañía, pero se puede concluir que sin un equipo investigador dedicado será muy difícil documentar en un tiempo fijo.

La vertiente que se deja en esta investigación es que la restricción de tiempos es vital para una investigación tecnológica en cualquier industria, es por ello que se recomienda una investigación posterior dentro de la aplicación de este método en otros casos de estudio.

- **La tabla LADO puede variar de acuerdo a la industria y al avance tecnológico**

Probablemente un punto adicional de revisión, durante la investigación se acomodo la tabla LADO para analizar un estado basado en el caso de estudio,

pero no se establece que el caso de estudio es una condición general de todas las evaluaciones posibles.

El método recaba información del marco teórico en aplicaciones de la Industria 4.0, para lo que se puede estimar que sus aplicaciones y resultados serán parecidos en la teoría. La restricción de mantener este método de evaluación en una industria que tenga poca o nula documentación al respecto queda a reservad el investigador, el cual puede utilizar como guía este método tomando en cuanta que la distribución del proceso se basará en la innovación de un modelo nuevo o modificado el cual puede no tener referencias anteriores a esa aplicación.

Este último punto lo considero como positivo dentro de las conclusiones analizadas, pero tiene la tendencia a quedarse sin salida de no contar con un apoyo integro para la implementación de tecnologías innovadoras en la compañía en cuestión.

- **Los tiempos de investigación tecnológica serán breves y ágiles, de lo contrario la tecnología puede cambiar**

Como último punto, la restricción del tiempo se mencionó previamente; se tiene que tener en mente que la tecnología esta creciendo exponencialmente en todos los sentidos, nuevas ideas puede cambiar el rumbo de un negocio, pero es necesario hacerlo denotar mediante este tipo de métodos de evaluación para poder establecer o corregir el rumbo de una compañía hacia la evolución de su mercado.

El resultado del caso de estudio fue aceptado por la compañía, más esto no es indicativo de un rotundo éxito. Existen varias restricciones que deben ser seguidas mediante diferentes investigaciones de aplicación para poder determinar un marco de aplicación estable y que pueda ser más sencillo para una futura automatización mediante un algoritmo.

BIBLIOGRAFÍA

- AHUJA SANCHEZ, L. (2015), «Los 8 tipos de Muda o desperdicios», URL <https://lahuja.wordpress.com/2015/05/31/los-8-tipos-de-muda-o-desperdicios/>.
- AYERS, J. B. (2006), *Handbook of supply chain management*, Auerbach Publications.
- BALLOU, R. H. (2004), *Logística: Administración de la cadena de suministro*, Pearson Educación, México.
- BARRETO, L., A. AMARAL y T. PEREIRA (2017), «Industry 4.0 implications in logistics: an overview», *Procedia Manufacturing*.
- CHOPRA, S. y P. MEINDL (2008), *Administración de la cadena de suministro: Estrategia, Planeación y Operación*, tercera edición, Pearson Education, México.
- CORTES, H., J. DAABOUL, J. LE DUIGOU y B. EYNARD (2016), «Strategic Lean Management: Integration of operational Performance Indicators for strategic Lean management», *IFAC-PapersOnLine*, **49**(12), págs. 65–70.
- GEISSBAUER, R., J. VEDSO y S. SCHRAUF (2016), «Industry 4.0: Building the digital enterprise», *Informe técnico*, PwC, URL www.pwc.com/industry40.
- GEORGE, M. L. (2002), *Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Production Speed*, McGraw Hill.

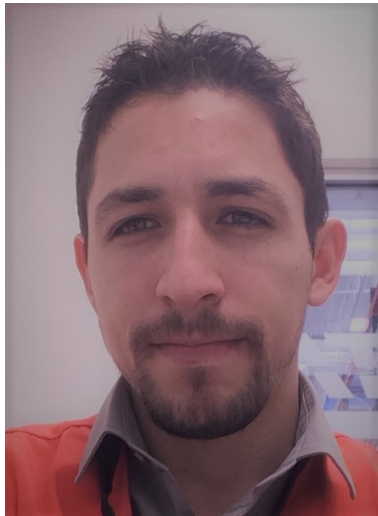
- GOLDSBY, T. J. y R. MARTICHENKO (2005), *Lean Six Sigma Logistics*, J. Ross Publishing, URL www.jrosspub.com.
- GÓMEZ, R. A., P. D. MEDINA y A. A. CORREA (2012), «El Seis Sigma en La Cadena de Suministro», *Entre Ciencia e Ingeniería*, **6**(12), págs. 36–42.
- HERMANN, M., T. PENTEK y B. OTTO (2016), «Design principles for industrie 4.0 escenarios», en *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, IEEE Computer Society, Hawaii, págs. 3928–3937.
- KOLBERG, D. y D. ZÜHLKE (2015), «Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies», en *IFAC-PapersOnLine*, Elsevier, págs. 1870–1875.
- KPMG (2015), «Disrupción digital: nueva forma de hacer negocios e innovar», *Informe técnico*, KPMG, URL <https://home.kpmg/mx/es/home/sala-de-prensa/press-releases/2015/01/cp-disrupcion-digital-nueva-forma-negocios-innovar.print.html>.
- MINTCHELL, G. (2012), «Creating Value in Manufacturing», *Automation World*, URL <http://www.forcam.co.uk>.
- MONDEN, Y. (1994), *Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-In-Time*, Chapman & Hall.
- MRUGALSKA, B. y M. K. WYRWICKA (2017), «Towards Lean Production in Industry 4.0», en *Procedia Engineering*, Elsevier, págs. 466–473.
- OHNO, T. (1988), *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*, illustrated, reprint edición, CRC Press.
- PLENERT, G. (2010), *Reinventing lean: introducing lean management into the supply chain*, Elsevier.
- POWELL, D. (2012), *Investigating ERP Support for Lean Production*, Tesis Doctoral, Norwegian University of Science and Technology.

- STRUEBING, L. (1997), «Kaizen pays off for manufacturers», *Quality Progress*, **30**(4), pág. 16.
- SUNDAR, R., A. N. BALAJI y R. M. SATHEESH KUMAR (2014), «A review on lean manufacturing implementation techniques», en *Procedia Engineering*, Elsevier, págs. 1875–1885.
- TENNANT, G. (2001), *Six Sigma: SPC and TQM in manufacturing and services*, Gower Publishing, Ltd.
- TJAHJONO, B., C. ESPLUGUES, E. ARES y G. PELAEZ (2017), «What does Industry 4.0 mean to Supply Chain?», *Procedia Manufacturing*.
- TYAGI, S., X. CAI, K. YANG y T. CHAMBERS (2015), «Lean tools and methods to support efficient knowledge creation», *Journal of Information Management*, **35**(2), págs. 204–214.
- WALDNER, J.-B. (1992), *Principles of Computer-Integrated Manufacturing*, John Wiley, London.
- WAURZYNIAK, P. (2009), «Lean Automation», *Manufacturing Engineering*, **2**(142), pág. 65, URL <http://www.sme.org/Tertiary.aspx?id=19242&terms=Lean%20Automation>.
- WEYER, S., M. SCHMITT, M. OHMER y D. GORECKY (2015), «Towards industry 4.0 - Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems», en *IFAC-PapersOnLine*, Elsevier, págs. 579–584.
- WOMACK, J. P. y D. T. JONES (1990), *The machine that changed the world*, Simon and Schuster, New York.
- WOMACK, J. P. y D. T. JONES (2003), *Lean thinking—banish waste and create wealth in your corporation*, Productivity Press.

YAMAZAKI, Y., S. TAKATA, H. ONARI, F. KOJIMA y S. KATO (2016), «Lean Automation System Responding to the Changing Market», en *Procedia CIRP*, Elsevier, págs. 201–206.

YOUSSEF, A., C. RACHID y V. ION (2014), «Contribution to the Optimization of Strategy of Maintenance by Lean Six Sigma», en *Physics Procedia*, Elsevier, págs. 512–518.

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO



Aldo Pérez Salinas

Candidato para obtener el grado de
Maestría en Logística y Cadena de Suministro

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Tesis:

AUTOMATIZACIÓN ESBELTA PARA LA CADENA DE SUMINISTRO 4.0

Aldo Pérez Salinas nace en Monterrey, Nuevo León, México el 13 de Noviembre de 1988, primogénito del Lic. Roberto Pérez Gomez y la Lic. Diana G. Salinas Arizpe. Ingres a la Escuela Primaria Prof. Jesús Morelos Garza en 1994 para posteriormente concluir su educación básica en la Escuela Secundaria Pública No.72 Emma Godoy para el 2003, mismo año en el que ingresa a la Escuela Preparatoria No. 15 Unidad Madero perteneciente a la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL).

En 2005 es aceptado en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la UANL en la carrera de Ingeniería en Electrónica y Automatización de la cual obtiene su título de licenciatura en 2010. Sus prácticas profesionales se desempeñaron dentro de la empresa *C&S Mechatronics Technologies*, en la cual brindaba asistencia en el diseño de estaciones de ensamble con herramientas como Auto CAD y Solid Works, así como programación básica para Controladores Lógicos Programables (PLC) de las marcas *Allen Bradley* y *Siemens*.

Su carrera profesional inicia en 2011 en la compañía *Navistar* en el departamento de Logística laborando en planta ubicada en Escobedo, N.L., MX, en la cual se desempeñó como Analista de Auditoría de Inventarios, para después ser promovido a Coordinador de su área. Su trabajo en el control de inventarios para los diferentes almacenes de la planta le dieron reconocimiento para adoptar proyectos locales y corporativos, por lo que pronto creció hacia la Coordinación de Órdenes de Producción para mantener la complejidad de los sistemas de producción en relación a la cadena de suministro de los materiales que la planta administraba.

Sus destacados resultados lo llevaron a ser invitado a adquirir conocimientos diversos relacionados con su rama, siendo reconocido como *Six Sigma Green Belt* por la compañía *Penske Logistics* (Dallas TX, 2012) y certificándose en el curso *Lineback Logistics - Porsche's approach to Lean Manufacturing* otorgado por la compañía *Porsche Consulting* (Atlanta GA, 2016)

En 2017 ingresa al programa de posgrado como estudiante de tiempo parcial a la Maestría de Logística y Cadena de Suministro en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, enfocando su investigación en la inclusión de las tecnologías circundantes a la Industria 4.0 y su impacto en la Cadena de Suministro.

En 2019, el resultado de sus logros profesionales lo guiaron a asumir el puesto de Gerente de Operaciones Regional para la compañía *Optimas OE Solutions*, empresa líder con presencia global dedicada a la optimización de la Cadena de Suministro y enfocada a generar ahorros en la distribución de componentes de sujeción, en la cual es responsable de las operaciones de toda la República Mexicana y la frontera Norte del país.

Actualmente esta en proceso de terminar sus estudios de maestría, para lo cual, una vez concluido, esta invitado como maestro de la Facultad de Ciencias Químicas dentro de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Vive en México con su esposa e hijos.