

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**ESTUDIO DE HERRAMIENTAS DE LEAN SIX SIGMA Y GESTIÓN
DE INVENTARIOS PARA EL DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE
MEJORA EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE DECORACIÓN Y
PRODUCCIÓN DE TEXTILES UTILITARIOS**

**Trabajo de investigación para la obtención del grado de BACHILLER EN
CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

AUTOR

Carlos Salvador Trujillo Delgado

Andrea Caballero Castillo

ASESOR:

Eduardo Carbajal López

Lima, Agosto, 2020

RESUMEN EJECUTIVO

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2019), la industria textil y de confecciones cuenta con una participación del 1,1% en el Producto Bruto Interno del país y 8,6% en el PBI industrial. Según el testimonio de Leandro Mariátegui para El Comercio (2017), presidente del comité textil de la SNI (Sociedad Nacional de Industrias), en el país existen alrededor de 90 mil empresas textiles que concentran el 80% de las exportaciones. El resto lo conforman las micro y pequeñas empresas que, al no poder competir con los productos asiáticos de bajo precio que adquiere el 90% de las cadenas de *retail* del país, están desertando en la producción para cambiarse de rubro o dedicarse solo a importar. Sin embargo, de acuerdo con declaraciones de Raúl Pérez-Reyes para el Diario Correo (2019), exministro de la Producción, las micro y pequeñas empresas tienen una participación significativa en la economía del Perú ya que aportan el 85% del empleo en el país. Por lo tanto, este grupo es el que debería tener la atención del Gobierno para brindarle herramientas de planificación y control que les permitan subsistir y competir en el sector. Por ello, el presente trabajo de investigación se centra en el desarrollo de un marco teórico para elaborar el diagnóstico de los procesos y plantear propuestas de mejora para dicho grupo de empresas, que se sustentan en las metodologías de *Lean Manufacturing*, *Six Sigma* y Gestión de Inventarios a través de las técnicas que cada una abarca. Al culminar la investigación, se concluyó que, en base a los casos de estudio, dichas herramientas resultan efectivas para empresas del rubro con procesos manuales y baja estandarización dado que eliminan desperdicios, mejoran la calidad y disminuyen los costos en la cadena de suministro.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	iii
1. Marco Teórico	1
1.1. Herramientas de Diagnóstico	1
1.1.1. Mapa de procesos.....	1
1.1.2. Matriz de priorización.....	2
1.1.3. Flujograma	2
1.2. Herramientas de Modelo de Mejora.....	7
1.3. Estudio de casos.....	28
1.3.1 Caso de estudio 1: “Lean Six Sigma Implementation in Textile Industry”	28
1.3.2 Caso de estudio 2: “Mejora de los Indicadores de productividad en una empresa textil mediante la sinergia de herramientas de Lean Manufacturing y el enfoque Sociotécnico”.....	29
1.3.3 Caso de estudio 3: “Sales demand forecasting in a textile factory using artificial neural network”	31
1.3.4 Caso de estudio 4: “Proposed Inventory Management Model To Improve The Supply Chain Efficiency And Surplus In Textile Industry”	32
1.3.5 Caso de estudio 5: “Aggregate Planning and Inventory Management in Textile Industry”	33
1.3.6 Caso de estudio 6: “A Study on Inventory Control Techniques in Apparel Industry”	35
1.3.7 Caso de estudio 7: “Application of Six Sigma in Clothing SMEs: A case study”	36
1.3.8 Caso de estudio 8: “Lean Manufacturing Application in Textile Industry”	39
1.3.9 Caso de estudio 9: “Implementation of Six Sigma to Minimize Defects in Sewing Section of Apparel Industry in Bangladesh”	42
1.4. Conclusiones	44
1.5. Bibliografía	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de procesos.	1
Figura 2. Matriz de priorización.	2
Figura 3. Símbolos de flujograma.	2
Figura 4. Flujograma.	3
Figura 5. Tolerancias Típicas para valor del ERI.	4
Figura 6. Error en un modelo de Regresión Lineal.	5
Figura 7. Diagrama de Pareto.	6
Figura 8. Diagrama Causa-Efecto.	6
Figura 9. Técnica de los 5 Porqués.	7
Figura 10. Proceso de 5S.	8
Figura 11. Pasos para estandarización.	9
Figura 12. Análisis de carga.	10
Figura 13. VSM.	11
Figura 14. Pasos para implementación de Poka Yoke.	12
Figura 15. Ejemplo de Poka Yoke.	13
Figura 16. Project Charter.	14
Figura 17. Medición de la capacidad del proceso.	14
Figura 18. Análisis de causas.	15
Figura 19. Carta de control.	16
Figura 20. Fórmula de Cp.	17
Figura 21. Fórmula de CPU para Cpk.	17
Figura 22. Fórmula de CPU para Cpk.	17
Figura 23. Gráfica de control.	18
Figura 24. Patrones de demanda.	19
Figura 25. Método simple de promedios móviles.	19
Figura 26. Método de promedios móviles ponderados.	20
Figura 27. Método de suavización exponencial.	20
Figura 28. Descomposición de suavización exponencial.	20
Figura 29. Método de Holt.	21
Figura 30. Método de Winters.	21
Figura 31. Promedio móvil centrado de dos lados.	22
Figura 32. Promedio móvil de tipo 2 x k.	22
Figura 33. Clasificación ABC.	23
Figura 34. Criterios comunes para el análisis ABC.	23
Figura 35. Cantidad económica de pedido.	24
Figura 36. Stock de seguridad.	25
Figura 37. Sistema de revisión continua.	26
Figura 38. Sistema de revisión periódica.	27
Figura 39. Cantidad de defectos por tipo.	28
Figura 40. Diagrama de Pareto de defectos por tipo.	29
Figura 41. Tiempo de ciclo de cada proceso contra Takt Time.	30
Figura 42. Herramienta a implementar por cada problema.	30

Figura 43. Gráfico de accuracy para el método tradicional.	31
Figura 44. Gráfico de accuracy para el método con ENN estático.	31
Figura 45. Gráfico de accuracy para el método con ENN dinámico.	32
Figura 46. Gráfico de inventarios.	32
Figura 47. Modelo de inventarios para manufactura con déficit.	34
Figura 48. Expresiones requeridas para el cálculo del EOQ y Déficit Óptimo.	34
Figura 49. Resultados obtenidos para el modelo de inventario propuesto.	34
Figura 50. EOQ por material.	35
Figura 51. Stock de seguridad por material.	35
Figura 52. Punto de reorden por material.	36
Figura 53. Análisis ABC y VED.	36
Figura 54. Ranking de herramientas según el cuestionario.	37
Figura 55. PDCA aplicado a Six Sigma.....	37
Figura 56. Diagrama causa-efecto.	38
Figura 57. Curva de valores óptimos de parámetros.....	38
Figura 58. Resultados obtenidos con la propuesta.....	39
Figura 59. Diagrama causa-efecto.	40
Figura 60. Value Stream Map actual.	40
Figura 61. Matriz de Brainstorming.....	41
Figura 62. Celda de Manufactura propuesta para la Costura.....	41
Figura 63. Evolución de indicadores tras la mejora.....	42
Figura 64. Value Stream Map tras la mejora.	42
Figura 65. Diagrama Causa-Efecto.....	43
Figura 66. Cuadro Causa-Solución.....	43
Figura 67. Cuadro Acción correctiva-Cantidad.....	44

1. Marco Teórico

En el Capítulo 1 se definen los conceptos, teoremas y metodologías utilizados tanto en la etapa de diagnóstico de la empresa como en el planteamiento de contramedidas y desarrollo de propuestas de mejora. De manera complementaria, se revisan fuentes secundarias que emplean herramientas similares en el rubro de la empresa en estudio con el objetivo de analizar su replicabilidad y resultados obtenidos.

1.1. Herramientas de Diagnóstico

A continuación, se describen las herramientas utilizadas para el análisis de la situación actual de la empresa y que permitirán, en base a los resultados obtenidos de cada una de manera secuencial, plantear propuestas de mejora.

1.1.1. Mapa de procesos

Para definir los procesos de mayor relevancia para el negocio, se realizó un mapa de procesos. Según Yolanda Gil y Eva Vallejo (2008), esta herramienta evidencia la interrelación de todos los procesos que realiza una empresa. Asimismo, Yolanda y Eva plantean una división de los procesos en tres niveles:

- Procesos estratégicos: son los procesos que, como menciona su clasificación, brindan soporte a las estrategias del negocio y sus políticas.
- Procesos operativos o claves: son los procesos centrales de la empresa cuya naturaleza es generar los productos o servicios que esta brinda a través del uso de recursos. En este tipo de procesos intervienen diversas áreas funcionales.
- Procesos de soporte: son necesarios para la óptima ejecución de los anteriores dos tipos de procesos.

En la Figura 1 se ejemplifica un mapa de procesos para una institución que financia proyectos de desarrollo de competencias para el empleo.



Figura 1. Mapa de procesos.

Fuente: Fondo Nacional de Capacitación Laboral y Promoción del Empleo (2018)

1.1.2. Matriz de priorización

Con la finalidad de facilitar el análisis y la toma la decisión, se planteará utilizar una matriz de priorización. De acuerdo a la Escuela de Negocio Cerem (2018), es un sistema que garantiza la generación de acciones basadas en criterios de utilidad objetiva. Para su desarrollo se siguen los siguientes pasos:

- Se acuerda el objetivo deseado.
- Listar los criterios y características necesarias para cumplir el objetivo.
- Comparación de la importancia relativa del criterio para definir el factor de ponderación de cada uno.
- Evaluar el cumplimiento de las opciones con respecto a los criterios definidos.
- Se comparan las opciones entre ellas según los criterios definidos.
- Finalmente, se suman las ponderaciones de los factores con el puntaje de cada opción respecto a cada criterio y elige aquella de mayor valor.

En la Figura 2 se visualiza un ejemplo de una matriz de priorización para elegir la localización de un apartamento.

Criterio Opción	Ubicación			Precio de alquiler			Número de m ²			Vista			Estado			Total
	Peso	Total	Peso	Total	Peso	Total	Peso	Total	Peso	Total	Peso	Total				
Apto en el barrio centro	3	35%	1,05	4	25%	1	20%	0,4	1	15%	0,15	2	5%	0,1	2,7	
Apto ubicado en ciudad vieja	5	35%	1,75	3	25%	0,75	3	20%	0,6	5	15%	0,75	3	5%	0,15	4
Apto en el barrio cordón	3	35%	1,05	3	25%	0,75	4	20%	0,8	3	15%	0,45	3	5%	0,15	3,2
Apto en tres cruces	3	35%	1,05	5	25%	1,25	2	20%	0,4	4	15%	0,6	2	5%	0,1	3,4

Figura 2. Matriz de priorización.
Fuente: Betancourt, D. F. (2018)

1.1.3. Flujograma

Martins R. (2018) define el flujograma como una herramienta utilizada para representar la secuencia e interacción de las actividades de un proceso mediante símbolos gráficos. De igual forma, Martins considera que el objetivo de un flujograma es garantizar la calidad y aumentar la productividad de la mano de obra cuando el flujo es documentado y mejorado periódicamente.

En la Figura 3 se describen los símbolos utilizados para la elaboración de los flujogramas.








	Indica el inicio o fin de un proceso
	Indica cada actividad que necesita ser ejecutada
	Indica un punto de toma de decisión
	Indica la dirección de flujo
	Indica los documentos utilizados en el proceso
	Indica una espera
	Indica que el flujograma continua a partir de ese punto en otro círculo, con la misma letra o número, que aparece en su interior

Figura 3. Símbolos de flujograma.
Fuente: Rosemary Martins (2018)

Cabe resaltar que, dependiendo del proceso, la estructura del flujo puede ser diferente; sin embargo, la estructura válida para cualquier flujograma es la que se muestra en la Figura 4.

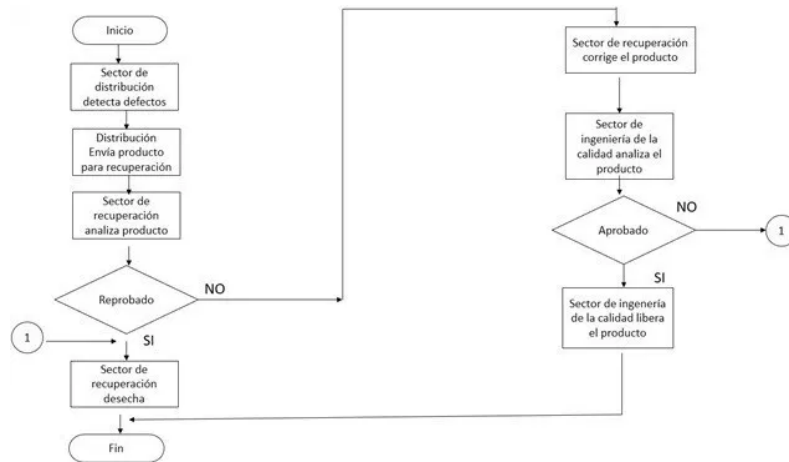


Figura 4. Flujograma.
Fuente: Rosemary Martins (2018)

1.1.4. Indicadores clave de performance

En este acápite se describirán los indicadores a utilizar para elaborar el diagnóstico de la empresa.

a) Eficiencia

Banton C. (2019) define la eficiencia como un nivel de performance que se eleva a medida que se utiliza la menor cantidad de *inputs* para generar la cantidad más alta de *outputs*. La eficiencia conlleva a reducir recursos innecesarios utilizados en los procesos y minimizar el desperdicio de los necesarios. Para su cálculo, se usa la siguiente expresión:

$$\%Eficiencia = (Recursos\ utilizados / Recursos\ programados) \times 100\%$$

b) First Pass Yield

El indicador *First Pass Yield* (FPY), según Thompson J. (2018), es una fórmula matemática que mide la calidad y *performance* de la producción, dado que evidencia la cantidad de productos que presentan problemas y, por lo tanto, excederán en costos debido a que deberán ser desechados o necesitarán ser reprocesados.

$$\%FPY = (Número\ de\ unidades\ buenas\ de\ producto\ terminadas / Total\ de\ unidades\ terminadas) \times 100\%$$

c) Productividad

De acuerdo con Krugman, P. (1994), la productividad mide qué tan eficiente están siendo los recursos, como la mano de obra y el capital, para un nivel de producción dado. El indicador es considerado como una fuente clave de crecimiento económico y

competitividad. La productividad es definida como un ratio entre el volumen de salida y el volumen de entrada.

$$Productividad = (Productos\ terminados / Recursos\ disponibles) \times 100\%$$

d) Takt time

En un artículo publicado por la Universidad ESAN (2015), el Takt Time es el ritmo en el que se deben producir las unidades para cumplir con las exigencias de tiempo de los consumidores. El cálculo se realiza en base al tiempo disponible y a las unidades demandadas en ese periodo, resultando en unidades de tiempo.

$$Takt\ Time = (Tiempo\ disponible\ para\ producción / Pedidos\ de\ clientes)$$

e) Exactitud en el Registro de Inventarios

Quarterman Lee (2006) define que el *Inventory Record Accuracy* (ERI, por sus siglas en español) representa una medida de qué tan cercano son los registros oficiales de inventario respecto al inventario físico. Este indicador puede definirse en base a una unidad de medida monetaria o de cantidad, cuyo propósito resulta diferente y, además, pueden brindar resultados diferentes por un amplio margen. La expresión para su cálculo es la siguiente:

$$ERI = \text{Número de registros correctos} / \text{Número de Registros Revisados} \times 100\%$$

Para finalizar, cabe recalcar que existen tolerancias para su magnitud, las cuales se basan en una clasificación ABC y los valores típicos se presentan en la Figura 5.

Class	Typical Tolerances
A+	(+/-) 0%
A	(+/-) 0%-1%
B	(+/-) 3%-5%
C	(+/-) 10%-15%

Figura 5. Tolerancias Típicas para valor del ERI.

Fuente: Quarterman Lee (2006)

f) Rotura de stock

De acuerdo con Francisco Lobato y Fernando L. Villagrà (2010), una rotura de stock hace referencia a “la situación generada dado el agotamiento súbito de un activo o materia prima que debía utilizarse con normalidad en el proceso productivo de un bien o de la prestación de un servicio”. Adicionalmente, el factor que tiende a generar dicho incidente es la insuficiencia del stock de seguridad e implica el desabastecimiento y, por ende, un menor nivel de servicio al cliente.

g) Utilización de la Capacidad de Almacenamiento

Según Don Benson (2014), dicha métrica se focaliza en analizar qué tan bien se emplea la capacidad de almacenamiento existente y permite cuantificar el impacto de las elecciones sobre equipos de manejo de materiales, mano de obra, métodos, procedimientos y el soporte brindado por los sistemas de información. Este indicador se calcula como el uso porcentual del espacio disponible teórico en unidades volumétricas.

h) Mean Absolute Percentage Error

Lee J. Krajewski, Larry P. Ritzman y Manoj K. Malhotra (2018) hacen mención del *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) como una medida que vincula el error de pronóstico con el nivel de demanda y resulta útil para situar el desempeño de las previsiones en una perspectiva adecuada. En consecuencia, sea Et el error obtenido en cada periodo como la diferencia entre el nivel real y proyectado, Dt la demanda real de cada periodo y n la cantidad de periodos en análisis, la fórmula requerida para su cálculo es la siguiente:

$$MAPE = \frac{\sum [|Et|/Dt] * 100\%}{n}$$

Asimismo, se define que los principales criterios al implementar un método de pronósticos y elección de parámetros incluyen la minimización del sesgo, la minimización del MAPE, ser acorde a las expectativas gerenciales de patrones de demanda y la minimización del error en el último periodo. Finalmente, se representa el concepto de error en un pronóstico en base a lo apreciado en la Figura 6.

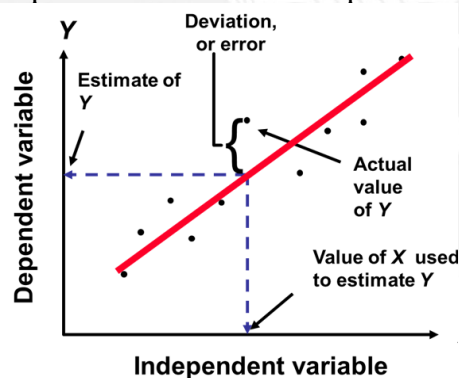


Figura 6. Error en un modelo de Regresión Lineal.
Fuente: Krajewski, Ritzman & Malhotra (2018)

1.1.5. Diagrama de Pareto

Según Ken Boyer y Rohit Verma (2009), el análisis de Pareto es una técnica estadística para identificar y categorizar datos a partir de su frecuencia absoluta y relativa de ocurrencia. Dicho enfoque es nombrado de tal manera debido a que el economista italiano Vilfredo Pareto fue el primero en identificar el concepto según el cual el 80% de problemas son originados por el 20% de causas en variadas aplicaciones. El término fue acuñado por Joseph M. Juran a inicios de la década de 1950 y permite establecer la distinción entre los “pocos vitales” y los “muchos útiles”. De acuerdo a Tim Menzies, Christian Bird y Thomas Zimmermann (2016), el Diagrama de Pareto consiste en un gráfico de barras ordenado de forma descendente de acuerdo a la frecuencia de ocurrencia de cada ítem de interés, los cuales se sitúan en el eje de

las abscisas. En consecuencia, este tipo de análisis indica las pocas problemáticas que cubren la mayoría de casos a partir de la ojiva o polígono de frecuencias como la línea acumulativa porcentual de su participación relativa. Asimismo, es usado como el punto inicial para la solución de problemáticas, seguimiento a cambios o la identificación de la causa básica de un problema. Se puede apreciar la representación gráfica de lo mencionado anteriormente en la Figura 7.

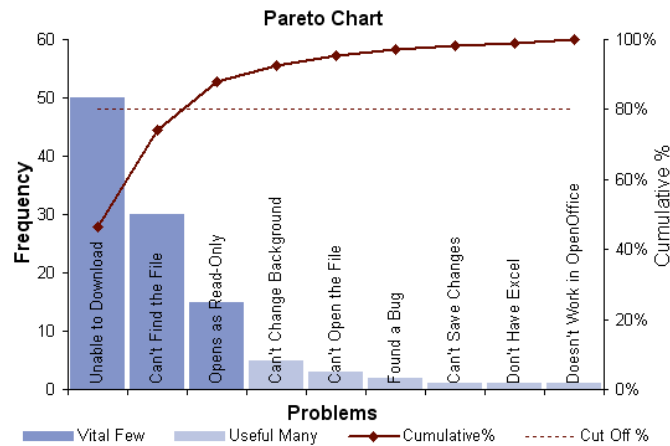


Figura 7. Diagrama de Pareto.

Fuente: Minnesota Department of Health (2018)

1.1.6. Diagrama de Causa-Efecto

De acuerdo con Marvin Rausand y Arnljot Hoyland (2004), el diagrama de causa-efecto es una herramienta que permite identificar, explorar y presentar gráficamente todas las posibles causas relacionadas con un problema específico. Se encuentra basado en la técnica de creatividad grupal denominada “*brainstorming*” y fue creado por Kaoru Ishikawa en 1943. Requiere la identificación, descripción y delimitación del problema principal; consideración de 4 a 7 categorías principales de causas; identificación de factores que pueden contribuir al problema principal por cada categoría; y, sub-factores que pueden contribuir a cada factor. Las principales categorías empleadas en la industria manufacturera son: maquinaria (tecnología), métodos (proceso), materiales, mano de obra, medición (inspección), entorno, organización y mantenimiento. Resulta preciso destacar que genera una lista estructurada de posibles causas para el problema especificado, las cuales pueden ser priorizadas. Asimismo, su forma gráfica es ideal para la presentación de sus resultados e incentiva la participación grupal al hacer uso del conocimiento de cada actor involucrado. Para finalizar, se presenta un ejemplo del diagrama causa-efecto en la Figura 8.

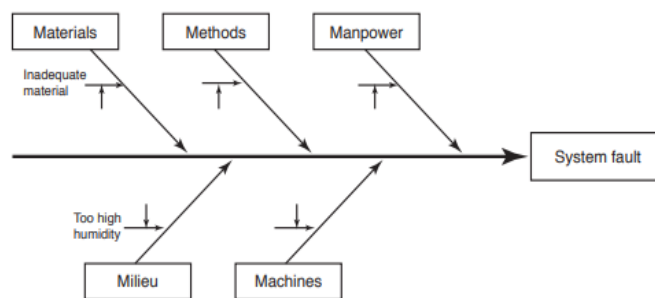


Figura 8. Diagrama Causa-Efecto.

Fuente: Marvin Rausand y Arnljot Hoyland (2004)

1.1.7. Los 5 Porqués

Conforme a lo mencionado por Bjørn Andersen y Tom Natland Fagerhaug (2014) en “*The ASQ Pocket Guide to Root Cause Analysis*”, la técnica de los 5 porqués cuenta con una naturaleza inherente de penetrar de forma cada vez más profunda en las causas raíces subyacentes de una problemática. Su principal propósito es preguntar constantemente “¿Por qué?” para asegurar que no se detendrá hasta descubrir la verdadera causa raíz. Utiliza los siguientes pasos:

- a) Determinar el punto inicial, es decir, una supuesta causa raíz.
- b) Preguntar “¿Por qué ocurrió la causa raíz?”. Si surge una respuesta, la verdadera causa raíz no ha sido hallada ya que se trataba de una causa próxima.
- c) Colocar la nueva causa raíz debajo de la asumida inicialmente.
- d) Repetir la interrogante y continuar hasta no obtener resultados. La última respuesta tiende a ser la verdadera causa raíz (desde el evento inicial, el método usualmente requiere 5 rondas hasta que la cadena logre llegar al final, pero ello no representa un límite).

A continuación, se presenta un ejemplo de la aplicación de la técnica en la Figura 9.

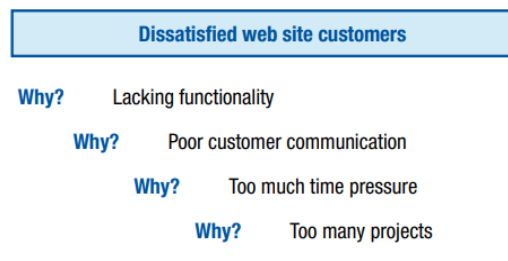


Figura 9. Técnica de los 5 Porqués.

Fuente: Bjørn Andersen y Tom Natland Fagerhaug (2004)

1.2. Herramientas de Modelo de Mejora

En este acápite se desarrollarán los conceptos que engloban las herramientas de mejora potenciales a usar para las propuestas a la empresa.

a) *Lean Six Sigma*

La metodología híbrida *Lean Six Sigma*, de acuerdo al autor Michael L. George (2002), maximiza el valor para el accionista dado que logra mejoras rápidas en cuanto a la satisfacción del consumidor, costo, calidad, velocidad de proceso e inversión de capital. Además, la fusión de *Lean Six Sigma* se requiere debido a las siguientes deficiencias de las metodologías por separado: *Lean* no facilita el desarrollo de un control estadístico de proceso, y *Six Sigma* no logra una mejora significativa en cuanto velocidad de proceso o disminución de la inversión de capital.

i. *Lean Manufacturing*

Según Luis Socconini (2019), *Lean Manufacturing* se puede definir como un proceso sistemático y continuo que identifica y elimina los desperdicios o excesos, donde el exceso hace referencia a toda actividad que no genera valor agregado a un

proceso, pero sí costo y trabajo. Dicha eliminación lo realizan equipos de trabajo organizados y capacitados. Esta metodología engloba un conjunto de herramientas para su implementación, entre las cuales se encuentran:

i.1. 5S

F. C. Filip y V. Marascu-Klei (2015) determinan que el método 5S es uno de los pasos esenciales para poner en marcha y lograr la cultura *Lean*, siendo uno de los métodos más adoptados de *Lean*. Se le considera un concepto básico, ya que genera estabilidad operativa para realizar y mantener mejoras continuas. El proceso de 5S se muestra en la Figura 10. Las 5S son cinco palabras japonesas que engloban, cada una, conceptos del mantenimiento.

- Seiri (Seleccionar): decidir y separar o eliminar las cosas innecesarias con las herramientas necesarias.
- Seiton (Ordenar): poner en orden cada elemento utilizado con mayor frecuencia en un lugar adecuado y almacenarlos en un lugar establecido.
- Seiso (Limpiar): realizar y mantener una limpieza profunda, eliminar fuentes de suciedad y simplificar el proceso de limpieza.
- Seiketsu (Estandarizar): establecer reglas y áreas de almacenamiento haciendo controles visuales simples para reducir el tiempo de búsqueda y evitar errores,
- Shitsuke (Sostener): las actividades deben ser monitoreadas, evaluadas y mejoradas continuamente para mantener los resultados obtenidos a través de la implementación del método 5S. Esta debe comenzar a partir de la realización de capacitaciones para trabajadores productivos acerca de 5S y las ventajas de su uso. La evaluación del nivel de madurez de las 5S se realiza a través de una auditoría cuya periodicidad debe ser semanal.

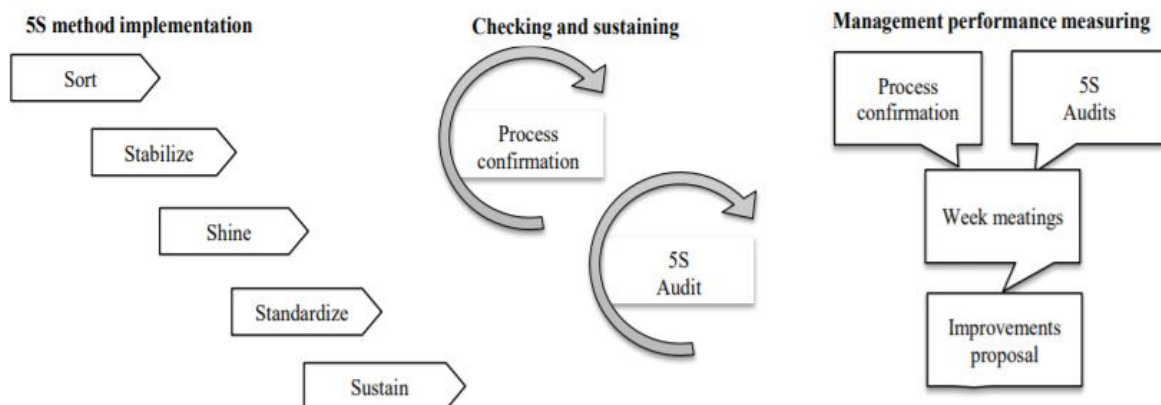


Figura 10. Proceso de 5S.
Fuente: F. C. Filip y V. Marascu-Klei (2015)

i.2. Estandarización de trabajo

Es una herramienta eficaz para la mayoría de los casos de fabricación, independientemente del nivel de automatización, de acuerdo con Jiunn-Chenn Lua y Taho Yangb (2015). La estandarización de trabajo es una herramienta eficiente que documenta la secuencia de trabajo del operador, movimiento del operador y trabajo de la máquina que es requerido para producir una unidad de producto dentro de su

tiempo de ciclo. La estandarización mantiene la variabilidad fuera del proceso y permite que ingenieros, gerentes, supervisores y operadores trabajen juntos siguiendo el mismo procedimiento de operación. Los autores proponen una metodología sistemática como se muestra en la Figura 11.

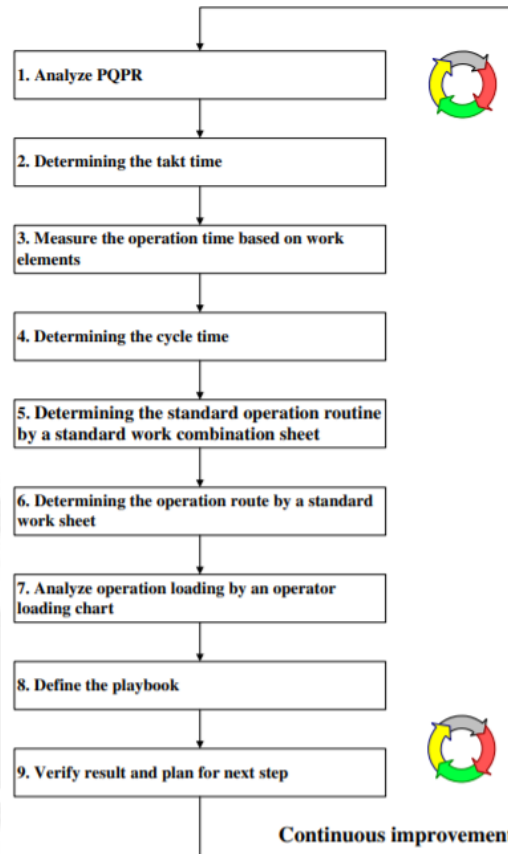


Figura 11. Pasos para estandarización.

Fuente: Jiunn-Chenn Lua y Taho Yangb (2015)

- Analizar la cantidad de piezas y la ruta del proceso: identificar las familias de productos y el flujo del proceso y seleccionar uno de las familias de productos como objetivo inicial de mejora.
- Determinar el *takt time*: La operación del trabajo debe ser estandarizable, observable y repetitiva para que coincidan la tasa de salida del producto con la tasa de compra de los clientes. El *takt time* se calcula de la siguiente manera:

$$Takt\ time = \text{Tiempo disponible de un día de trabajo} / \text{Demanda diaria}$$

- Medir el tiempo de operación basado en elementos de trabajo: El trabajo debe desglosarse en elementos, que son el incremento más pequeño de trabajo que podría trasladarse a otra persona para identificar y eliminar el desperdicio de los detalles.
- Determinar el tiempo de ciclo: El tiempo del ciclo debe ser menor que el *takt time* para que se pueda satisfacer la demanda del cliente. El *takt time* y el tiempo de la observación del elemento trabajo ayuda a distribuir el trabajo en función del *takt time* para determinar el número de operadores necesario para el personal de la línea o estación de trabajo.

- Determinar la rutina de operación estándar: Después de determinar el tiempo de operación manual y el tiempo de ciclo para cada operación, se calcula el número de operaciones que se debe asignar a cada trabajador.
- Determinar la ruta de la operación: las asignaciones de las operaciones entre los trabajadores deben ser tales que cada trabajador pueda terminar todas sus operaciones dentro del tiempo de ciclo determinado.
- Analizar la carga de operación con un gráfico de carga por operador: Un gráfico de carga del operador es una herramienta visual cuantitativa simple para eliminar el desperdicio, equilibrar la carga de trabajo y establecer un nuevo escenario de trabajo estándar, como se muestra en la Figura 12. Esta herramienta toma el *takt time* como el umbral para comparar los tiempos de ciclo y brinda una representación visual de cuán equilibrada es la carga de trabajo del operador en una línea de producción.

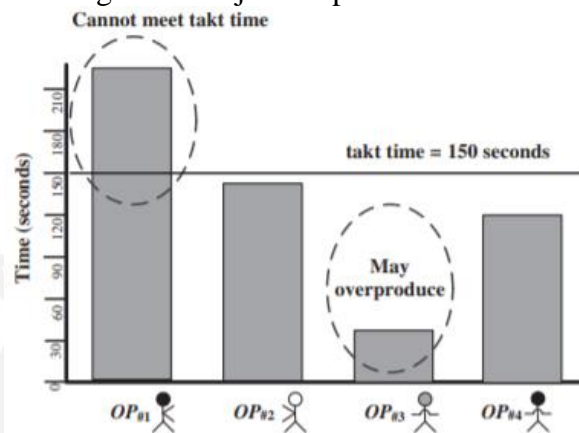


Figura 12. Análisis de carga.

Fuente: Jiunn-Chenn Lua y Taho Yangb (2015)

- Definir el libro de jugadas: Debido a que siempre hay incertidumbre en la demanda, la estandarización debe identificar y mejorar los tiempos de respuesta de producción a cambios en la demanda. Se utilizan diferentes perfiles para crear diferentes libros de jugadas para reaccionar a la volatilidad de la demanda.
- Verificar el resultado y planificar el siguiente paso: Formar un ciclo de mejora continua.

i.3. Value Stream Mapping (VSM)

Es el proceso de mapeo de los flujos de material e información necesarios para coordinar las actividades realizadas por fabricantes, proveedores y distribuidores para entregar productos a clientes. A diferencia del mapeo de procesos tradicional, el VSM es una herramienta que mapea no solo los flujos de material sino también de información que señalan y controlan los flujos de material. Esta mejorada representación visual facilita la identificación de los pasos para agregar valor en un flujo y eliminar las actividades sin valor agregado, o desechos (muda). Con el uso de VSM, se han cambiado los diseños de sus instalaciones existentes, así como sistemas existentes para manejo de materiales, control de inventario, compras y programación, reducir los tiempos de producción totales de pedidos y los niveles actuales de inventario en proceso. Un proyecto de VSM implica el desarrollo de dos mapas: un mapa del estado actual y uno o más mapas de estado futuro que representan mejoras progresivas en el mapa actual. En el VSM actual, se comienza mapeando una familia de productos que representa una proporción significativa de la producción anual total

en volumen y ganancias de ventas (o incluso margen de beneficio) de la empresa. Por lo general, el flujo del material se grafica usando los íconos apropiados. Este se remonta desde la operación final de su despacho hasta la ubicación de almacenamiento para la materia prima. Los datos relevantes para cada operación, como la programación actual (*push*, *pull* y las políticas de inventario en cualquier proceso ej. FIFO) y la cantidad de inventario en varias colas, se registra en el mapa. Los flujos de información también son incorporados para proporcionar información de demanda. Después de que los flujos de material e información hayan sido mapeados, se realiza una línea de tiempo en la parte inferior del mapa que muestra el tiempo de procesamiento para cada operación y los retrasos de transferencia entre operaciones. La línea de tiempo se utiliza para identificar los pasos de valor agregado y los desechos en el sistema actual. Idealmente, el tiempo de ciclo para cada operación en un flujo de valor debe ser menor o igual al *takt time*.

Basado en el VSM actual, el VSM futuro se genera mejorando las actividades que añaden valor y eliminando aquellas que no generan valor añadido en el sistema actual. Esto se puede realizar a través de siete pasos:

- Producir al ritmo *takt time*
- Desarrollar un flujo continuo
- Usar supermercados para controlar la producción donde el flujo continuo no se extiende hacia arriba.
- Horario basado en la operación cuello de botella.
- Producir diferentes productos a una misma tasa (flexibilidad).
- Nivelar la carga de producción de acuerdo al cuello de botella.
- Desarrollar la capacidad de hacer cualquier parte en cualquier momento.

A continuación, en la Figura 13. se muestra un ejemplo de la estructura de un VSM.

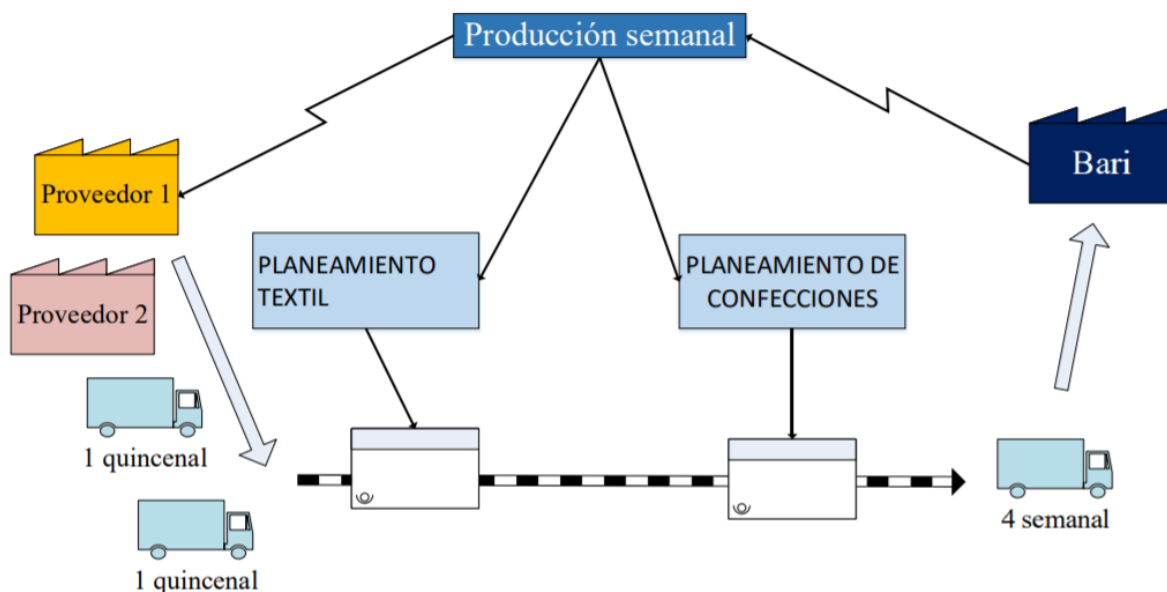


Figura 13. VSM.

Fuente: José Vásquez, Jonatán Rojas y Alexia Cáceres (2018)

i.4. Poka Yoke

Parikshit S. Patil, Sangappa P. Parit y Y.N. Burali (2013) Es una estrategia de mejora japonesa a prueba de errores para evitar defectos (o no conformidades) que surgen durante los procesos de producción. El Poka Yoke es una acción preventiva que se enfoca en identificar y eliminar las causas de variación en los procesos productivos, que son, justamente, las que producen las no conformidades o defectos. Las soluciones que brinda la herramienta no solo son eficientes (bajas en costo) sino también fáciles de entender y aplicar.

El concepto Poka Yoke se generó a mediados de la década de 1960 por Shigeo Shingo, un ingeniero industrial japonés. Shingo desarrolló sistemas de producción completos enfocados en lograr cero defectos en producción y dio a luz a esta obra revolucionaria. El concepto básico detrás de Poka Yoke es que no es aceptable o permitido producir incluso una pequeña cantidad de producto no conforme. Un dispositivo o solución Poka Yoke es cualquier mecanismo o idea que evita que se cometa el error o hace que el error se detecte fácilmente de un vistazo. Los autores plantean una metodología de implementación de Poka Yoke basada en siete pasos, que se listan en la Figura 14.

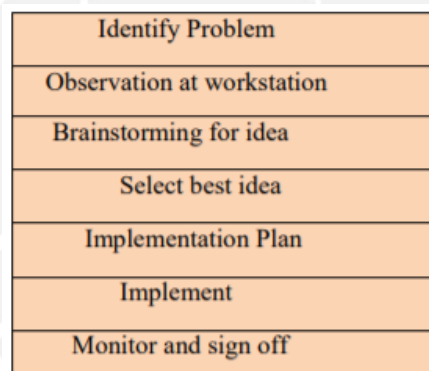


Figura 14. Pasos para implementación de Poka Yoke.

Fuente: Parikshit S. Patil, Sangappa P. Parit y Y.N. Burali (2013)

- Identificar el problema: Se recolectan las quejas por parte de los clientes, y de estos, calcular la frecuencia de cada defecto.
- Observación en la estación de trabajo: Se realiza un diagrama Ishikawa para definir las posibles causas.
- Lluvia de ideas: Cada uno de los miembros que estudia el problema sugiere alternativas.
- Selección de ideas: Los criterios de selección pueden ser el costo, el tiempo requerido, los cambios en el sistema existente, la oportunidad de desarrollar nuevas soluciones, simplicidad en la operación, etc.
- Implementación de plan: Abarca los requisitos de material y su procesamiento.
- Implementar: el mecanismo, finalmente fabricado, se implementa en el sitio de trabajo.
- Monitorear: Para la mejora continua.

En la Figura 15. se aprecia un ejemplo de la implementación de Poka Yoke.

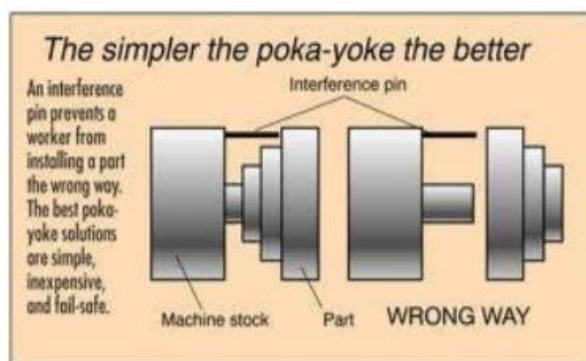


Figura 15. Ejemplo de Poka Yoke.

Fuente: Parikshit S. Patil, Sangappa P. Parit y Y.N. Burali (2013)

ii. Six Sigma

Adan Valles, Jaime Sanchez, Salvador Noriega y Berenice Gómez (2009) definen *Six Sigma* como una metodología que sigue una estrategia de enfoque al cliente y busca minimizar los defectos de los productos y la variación de sus especificaciones, de manera que se alcance el valor de 3.4 defectos por millón de oportunidades en el diseño del producto. Al igual que la metodología *Lean*, la implementación de *Six Sigma* es a través de herramientas como las mencionadas a continuación:

ii.1. DMAIC

La herramienta proporciona un proceso metódico que define cómo deben abordarse los problemas, de acuerdo con Marcia Gonçalves (2008). Define una rutina estandarizada para la resolución de problemas que ha sido efectiva para diferentes empresas. A continuación, se describe cada paso que conforma DMAIC:

- Definir

Según Jean Ann Larson (2001), es una de las etapas más críticas del flujo de DMAIC. El propósito de esta fase es entender el problema y construir bases que aseguren un resultado exitoso. Es importante que esta fase se mantenga orientada al problema, dado que las causas raíces y las soluciones son identificadas posteriormente en el proceso. Se desarrolla un documento que resume los descubrimientos de la etapa de definición y sirve como referencia en otras etapas del proyecto llamado *Project Charter*, la Figura 16. es un ejemplo de este.

Project Charter				
Project Title: Preventing avoidable utilization of acute care services				
Project Team		Project Plan		
Sponsor:	David Fonseca	<i>Milestone</i>	<i>Target</i>	<i>Actual</i>
Champion:	Cecilia Forero	Start of Project	1/9/2012	1/13/2012
Leader:	Sarah Clifford	End of Define	1/20/2012	1/19/2012
Team Members:	Marcos Year	End of Measure	2/2/2012	2/6/2012
	Catherine Smith	End of Analyze	2/24/2012	2/23/2012
	Brad Johnson	End of Improve	3/16/2012	3/23/2012
	Angelina Braun	End of Control	4/6/2012	4/11/2012
Problem Statement: Chart audits of patients discharged between 7/1/11 and 9/30/11 demonstrate that 35% of patients who used acute care services postdischarge (emergency room or/and hospitalization) could have been prevented.				
Goal Statement: Reduce the percentage of patients who experience a decompensation postdischarge that results in the utilization of acute care services. From 15% to 10% by 3/16/12.				
Business Case: Designing targeted and effective interventions that aid in preventing decompensations can improve quality of life for patients and reduce healthcare costs.				
Scope: All patients discharged from the hospital excluding those who have transitioned to hospice care or are in a transplant registry.				
Customers and Stakeholders: Patients, family, providers, insurance				
Signatures:				
Sponsor _____				
Champion _____				
Leader _____				

Figura 16. Project Charter.
Fuente: Jean Ann Larson (2001)

- Medir

La misma Jean Ann Larson (2001) comenta que el enfoque de esta fase es desarrollar sistemas de medición para obtener una línea base del *performance* del proceso. Para determinar los *Key Performance Indicators* (KPIs) es importante identificar lo que el consumidor o cliente considera crítico respecto a la calidad, y obtener los datos necesarios para obtenerlos. Se debe asegurar que los datos recolectados sean válidos y precisos, para lo que se utiliza un análisis del sistema de medición (MSA). Un ejemplo del gráfico de KPI se visualiza en la Figura 17.

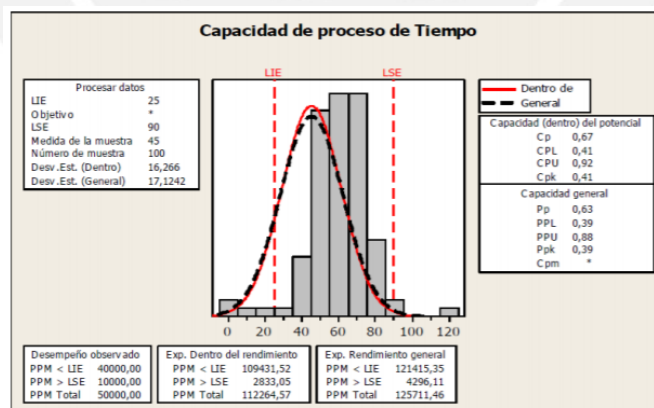


Figura 17. Medición de la capacidad del proceso.
Fuente: Jean Ann Larson (2001)

- Analizar

Jared R. Ocampo y Aldo E. Pavón (2012) mencionan que esta etapa tiene como propósito analizar los datos obtenidos del estado actual del proceso y determinar las causas de este y las oportunidades de mejora. En esta fase se determina si el problema es real o es solo un evento aleatorio que no puede ser solucionado usando DMAIC. En esta etapa se seleccionan y se aplican herramientas de análisis a los datos

recolectados en la etapa de Medir y se estructura un plan de mejoras potenciales a ser aplicado en el siguiente paso. Esto se hace mediante la formulación de diferentes hipótesis y la prueba estadística de las mismas para determinar qué factores son críticos para el desempeño final del proceso. Una de las herramientas para el análisis es el diagrama Ishikawa como se observa en la Figura 18.

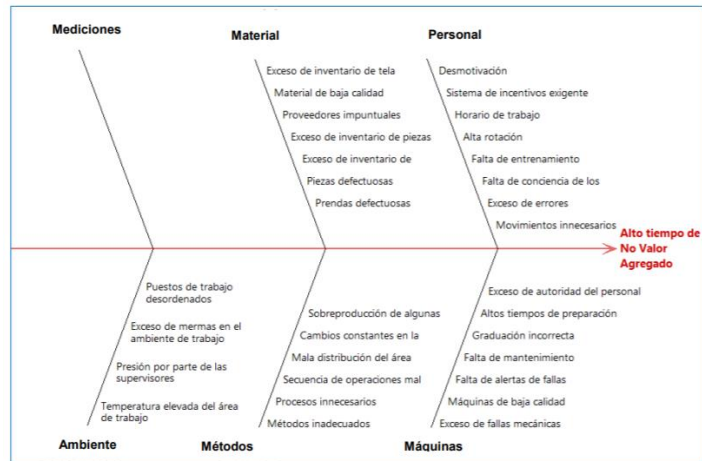


Figura 18. Análisis de causas.

Fuente: Jared R. Ocampo y Aldo E. Pavón (2012)

- Mejorar

Los mismos Jared y Aldo comentan que una vez que se ha determinado que el problema es real y no un evento aleatorio, se deben identificar posibles soluciones. En esta etapa se desarrollan, implementan y validan alternativas de mejora para el proceso. Para hacer esto se requiere de una lluvia de ideas que genere propuestas. La habilidad de dichas propuestas para producir mejoras al proceso debe ser validada para asegurar que la mejora es viable. De estas pruebas y experimentos se obtiene una propuesta de cambio en el proceso, es en esta etapa en donde se entregan soluciones al problema.

- Controlar

Finalmente, según los mismos autores, una vez que encontrada la manera de mejorar el desempeño del sistema, se necesita encontrar como asegurar que la solución pueda sostenerse sobre un período largo de tiempo. Para esto debe de diseñarse e implementarse una estrategia de control que asegure que los procesos sigan corriendo de forma eficiente.

ii.2. Control estadístico de Procesos (SPC)

El Dr. Carlos Hernández y el Ing. Filipe Da Silva (2016) definen el SPC como la rama de calidad que consiste en la colecta, análisis e interpretación de datos, establecimiento de calidades, comparación de desempeños, verificación de desvíos, todo eso para su utilización en las actividades de mejoría y control de calidad de productos, servicios y diagnóstico de defectos.

Para Samohyl, R. W (2009) Además de obtener productos con mejor calidad, la utilización del SPC genera costos menores y eso disminuye principalmente en función

de dos razones: la inspección por muestreo y la reducción de rechazo. Donde la selección de muestras es de tamaño mucho menor que la población, disminuyendo consecuentemente los costos y representando mejor las características de la población, otra ventaja en la reducción de costos es que el número y porcentaje de piezas defectuosas producidas en la fábrica van a disminuir con las mejoras en la línea de producción.

- Carta de Control

Ribeiro, J. L.; Caten (2012), define que un gráfico de control consiste en una línea central, un par de límites de control, uno de los cuales se localiza abajo y el otro arriba de la línea central, y valores característicos marcados en el gráfico representando el estado de un proceso. Si todos esos valores marcados están dentro de los límites de control, sin cualquier tendencia particular, el proceso se considera bajo control, mientras que, si los puntos inciden fuera de los límites de control o presentan una disposición atípica, el proceso es considerado fuera de control. En la Figura 19. se muestra un ejemplo de carta de control.

Existen dos tipos de causas para las variaciones en un proceso o producto:

Causa especial: Es una variación inevitable y fatalmente ocurre en un proceso, aun cuando la operación sea ejecutada con el uso de materias primas y métodos estandarizados.

Causa común: Es la variación debida a una causa que se puede particularizar, significa que existen factores relevantes que deben ser investigados, es eludible pero no debe ser subvalorada. Cuando inciden puntos fuera de los límites de control o muestran una tendencia particular, decimos que el proceso está fuera de control.

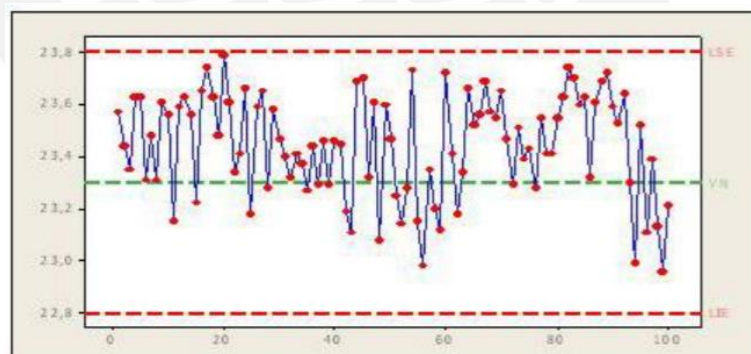


Figura 19. Carta de control.
Fuente: Ribeiro, J. L.; Caten (2012)

- Capacidad del proceso

Siguiendo lo publicado por el Dr. Carlos Hernández y el Ing. Filipe Da Silva, el índice de capacidad del proceso es una función adimensional de los parámetros del proceso (μ , σ) y de la especificación del proceso (LSE, VN, LIE), donde:

$$\begin{aligned} \mu &= \text{media del proceso} \\ \sigma &= \text{varianza de las variables de calidad del proceso} \\ \text{LSE} &= \text{límite superior de especificación} \end{aligned}$$

LIE = límite inferior de especificación
VN = valor nominal

El índice Cp, llamado Índice de Capacidad Potencial del Proceso, fue creado para predecir de manera más acertada cuántos de los productos van a satisfacer a las especificaciones, de manera que mide la dispersión permitida del proceso por la medida de la real dispersión del proceso que se calcula como se muestra en la Figura 20:

$$C_p = \frac{\text{Dispersión permitida del proceso}}{\text{Dispersión real del proceso}} = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

Figura 20. Fórmula de Cp.
Fuente: Dr. Carlos Hernández y el Ing. Filipe Da Silva (2016)

La dispersión real del proceso generalmente se asume de 6σ , lo que representa la anchura del intervalo que contiene el 99,73 % de la población. La dispersión permitida del proceso es considerada fija, mientras que la dispersión real del proceso debe ser estimada. Como el Cp mide la dispersión del proceso con relación a los límites de especificación sin contar con la localización media del proceso, es posible que con un valor de Cp alto, hayan productos fuera de la especificación, debido a que la media del proceso está suficientemente próxima a los límites de especificación. Por eso fue introducido el índice Cpk, que lleva en cuenta la variabilidad del proceso y su ubicación con relación a los límites.

Para la especificación superior, la fórmula es como se muestra en la Figura 21:

$$CPU = \frac{LSE - \mu}{3\sigma}$$

Figura 21. Fórmula de CPU para Cpk.
Fuente: Dr. Carlos Hernández y el Ing. Filipe Da Silva (2016)

Mientras que para la especificación inferior, la ecuación cambia a cómo se visualiza en la Figura 22.

$$CPU = \frac{\mu - LIS}{3\sigma}$$

Figura 22. Fórmula de CPU para Cpk.
Fuente: Dr. Carlos Hernández y el Ing. Filipe Da Silva (2016)

Finalmente, la gráfica de control es como se muestra en la Figura 23.

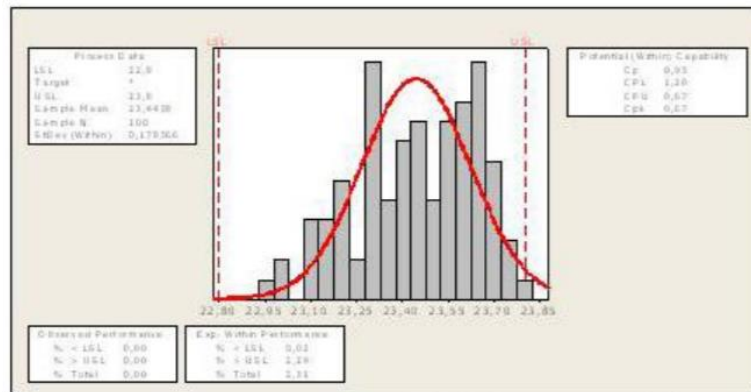


Figura 23. Gráfica de control.

Fuente: Dr. Carlos Hernández y el Ing. Filipe Da Silva (2016)

b) Gestión de Inventarios

De acuerdo con Ronald Ballou (2004), los inventarios son acumulaciones de materias primas, provisiones, componentes, trabajo en proceso y productos terminados que aparecen en numerosos puntos a lo largo del canal de producción y de logística de una empresa. Su manejo implica equilibrar la disponibilidad del producto, por una parte, con los costos de suministrar un nivel determinado de disponibilidad del producto, por la otra. Asimismo, Lee J. Krajewski, Larry P. Ritzman y Manoj K. Malhotra (2018) indican que la gestión de inventarios se focaliza en el planeamiento y control de existencias con el objetivo de alinearse a las prioridades competitivas de una organización y resulta esencial para concretar todo el potencial de cualquier cadena de valor.

En consecuencia, la gestión de inventarios requiere información acerca de las expectativas de demanda y cantidades disponibles y ordenadas para todos los artículos almacenados, lo cual, además, involucra la determinación del tiempo y tamaño apropiados de reorden. A continuación, se detallarán las principales herramientas de mejora asociadas a dicho proceso:

i. Pronóstico de la demanda

James D. Blocher (2004) menciona que el planeamiento de la cadena de suministro inicia con los pronósticos debido a que la mayoría de los sistemas de producción no pueden responder a la demanda de sus consumidores inmediatamente, por lo que algún estimador de la demanda futura es requerido para poder elaborar planes operacionales eficientes y efectivos.

Asimismo, cabe recalcar que las observaciones de demanda para un producto o servicio en su orden de ocurrencia se pueden visualizar mediante series de tiempo, cuyos patrones pueden contar con 5 tipos básicos de comportamiento que se describen a continuación y se presentan en la Figura 24:

- Horizontal: Fluctuación en torno a una media constante.
- Con tendencia: Incremento o decremento sistemático en la media de la serie a lo largo del tiempo.

- Estacional: Patrón repetido de incrementos o decrementos que dependen del día, semana, mes o temporada.
- Cíclico: Incrementos o decrementos graduales con menor predictibilidad sobre periodos largos de tiempo (años o décadas).
- Aleatorio: Variación impredecible en la demanda.

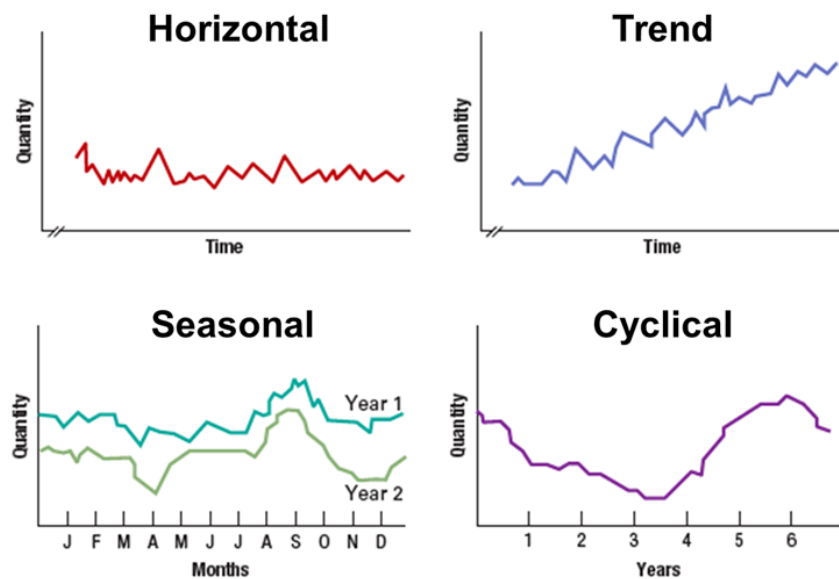


Figura 24. Patrones de demanda.
Fuente: Krajewski, Ritzman & Malhotra (2018)

Entre los tipos de técnicas cuantitativas para su desarrollo se encuentra el método causal y el análisis de series de tiempo. Respecto a ellos, el primero hace uso de información histórica sobre variables independientes, tales como campañas promocionales, condiciones económicas o acciones de competidores, para predecir la demanda. Mientras tanto, la segunda se define como un enfoque estadístico que confía en la demanda histórica para proyectar el nivel de demanda futuro y reconoce tendencias y patrones estacionales. Por lo tanto, a continuación, se profundizará en los métodos correspondientes a la última técnica mencionada.

i.1. Método de promedios móviles

Para Lee J. Krajewski, Larry P. Ritzman y Manoj K. Malhotra (2018), el método simple de promedios móviles es usado para estimar el promedio de una serie de tiempo de demanda mediante la obtención del valor medio de la demanda para los n periodos más recientes. En consecuencia, elimina el efecto de fluctuaciones aleatorias y resulta más útil cuando la demanda no posee una tendencia pronunciada o influencias estacionales. La expresión requerida para el cálculo de este estimador se aprecia en la Figura 25, donde F_{t+1} corresponde a la demanda futura para el instante $t+1$ y D_t corresponde al valor real de la demanda en el instante t .

$$F_{t+1} = \frac{D_t + D_{t-1} + D_{t-2} + \dots + D_{t-n+1}}{n}$$

Figura 25. Método simple de promedios móviles.
Fuente: James D. Blocher (2004)

Por otro lado, de acuerdo con James D. Blocher (2004), el método de promedios móviles ponderados permite brindarle más énfasis a la información más reciente. De manera intuitiva, se espera que la información más reciente sea valorada con un mayor peso respecto a la antigua. Para finalizar, se presenta la expresión requerida para el pronóstico de la demanda de acuerdo a este método en la Figura 26, donde F_{t+1} corresponde a la demanda futura para el instante $t+1$, D_t corresponde al valor real de la demanda en el instante t y w_t corresponde al factor de ponderación aplicado a la demanda obtenida en el instante t .

$$F_{t+1} = L_t = \frac{w_t D_t + w_{t-1} D_{t-1} + w_{t-2} D_{t-2} + \dots + w_{t-n+1} D_{t-n+1}}{w_t + w_{t-1} + w_{t-2} + \dots + w_{t-n+1}}$$

Figura 26. Método de promedios móviles ponderados.
Fuente: James D. Blocher (2004)

i.2. Método de suavización exponencial

Según Lee J. Krajewski, Larry P. Ritzman y Manoj K. Malhotra (2018), el método de suavización exponencial es un método sofisticado de promedios móviles ponderados que calcula el promedio de una serie de tiempo al otorgar preponderancia a los valores recientes respecto a los anteriores. En busca de ello, emplea un factor alfa (α) como parámetro de suavización con un valor entre 0 y 1. La expresión utilizada para el cálculo de la proyección correspondiente se presenta en la Figura 27, donde F_{t+1} corresponde a la demanda futura para el instante $t+1$ y D_t corresponde al valor real de la demanda en el instante t .

$$F_{t+1} = L_t = \alpha D_t + (1 - \alpha) F_t$$

Figura 27. Método de suavización exponencial.
Fuente: James D. Blocher (2004)

James D. Blocher (2004) presenta la demostración de que este método resulta equivalente a un método de promedios móviles ponderados con factores que decrecen exponencialmente al ser aplicados a periodos más lejanos del instante actual. En consecuencia, se demuestran las igualdades presentadas en la Figura 28.

$$F_{t+1} = \alpha D_t + \alpha(1 - \alpha) D_{t-1} + \alpha(1 - \alpha)^2 D_{t-2} + \alpha(1 - \alpha)^3 D_{t-3} + \dots$$

$$\alpha + \alpha(1 - \alpha) + \alpha(1 - \alpha)^2 + \alpha(1 - \alpha)^3 + \dots = 1$$

Figura 28. Descomposición de suavización exponencial.
Fuente: James D. Blocher (2004)

Se estima conveniente destacar que se han desarrollado variantes respecto al modelo básico de suavización exponencial a fin de establecer métodos multi-factor que permitan incluir patrones como tendencias o estacionalidad. Por consiguiente, sus fundamentos serán detallados a continuación.

- Método de Holt

James D. Blocher (2004) indica que este método emplea dos factores: de nivel (α) y de tendencia (β), los cuales son actualizados cada periodo al disponer de más

información. El segundo parámetro de suavización (β) es requerido para determinar la cantidad de suavizado a efectuar en el factor de tendencia y su valor fluctúa entre 0 y 1. Las ecuaciones de actualización para el estimador de la demanda se presenta en la Figura 29, donde Ft corresponde a la demanda futura para el instante, Dt corresponde al valor real de la demanda en el instante t , r representa al r -ésimo periodo en el futuro sobre el cual se desea pronosticar la demanda, L_t es el componente de nivel en el instante t y T_t es el componente de tendencia en el instante t .

$$F_{t+r} = L_t + rT_t$$

$$L_t = \alpha D_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1})$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$

Figura 29. Método de Holt.
Fuente: James D. Blocher (2004)

- Método de Winters

Según James D. Blocher (2004), es posible la inclusión de 3 factores: de nivel, de tendencia y de estacionalidad. El modelo más común y conocido es el método de Winters, el cual asume un factor de tendencia aditiva y de estacionalidad multiplicativa. El factor de estacionalidad para el instante $t+r$ (denotado como S_{t+r}) es aquel calculado para el r -ésimo periodo en el futuro y la cantidad de factores depende de la frecuencia de la estimación, ya que, por ejemplo, si esta se realiza mensualmente, existirán 12 factores. De manera adicional respecto al método anterior, se agrega el parámetro de suavización γ , el cual es requerido para la estacionalidad. Las ecuaciones de actualización para el estimador de la demanda se presenta en la Figura 30, donde Ft corresponde a la demanda futura para el instante, Dt corresponde al valor real de la demanda en el instante t , r representa al r -ésimo periodo en el futuro sobre el cual se desea pronosticar la demanda, L_t es el componente de nivel en el instante t , T_t es el componente de tendencia en el instante t y p es el número de estaciones.

$$F_{t+r} = (L_t + rT_t) \times S_{t+r}$$

$$L_t = \alpha \frac{D_t}{S_t} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1})$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$

$$S_{t+p} = \gamma \frac{D_t}{L_t} + (1 - \gamma)S_t$$

Figura 30. Método de Winters.
Fuente: James D. Blocher (2004)

Asimismo, de acuerdo con R. Hyndman (2008), resulta vital estimar los parámetros del modelo de Winters, por lo que se debe particionar la data en tres *sets*: uno de entrenamiento, uno de inicialización y otro de prueba. Por lo tanto, para la versión multiplicativa anteriormente expuesta, un procedimiento idóneo se basa en la

descomposición de los componentes de nivel, tendencia y estacionalidad, el cual es descrito a continuación:

- Ajustar un suavizador de promedios móviles de tipo $2 \times k$ a los primeros 2 o 3 años de data, el cual es denotado por R. Hyndman (2009) como $f(t)$ con k observaciones en cada lado y se calcula de acuerdo con lo presentado en la Figura 31.

$$\hat{f}(t) = \frac{1}{2k+1} \sum_{j=-k}^k y_{t+j}, \quad t = k+1, k+2, \dots, n-k.$$

Figura 31. Promedio móvil centrado de dos lados.
Fuente: Rob J. Hyndman (2009)

- Cabe aclarar que esto requiere un número impar de observaciones a fin de asegurar que el promedio se encuentre centrado. No obstante, en caso se desee efectuar el cálculo con un número par de observaciones, $f(t)$ puede ser calculado, por ejemplo, para un valor de k igual a 4 según lo visualizado en la Figura 32.

$$\begin{aligned} \hat{f}(t) &= \frac{1}{2} [(y_{t-2} + y_{t-1} + y_t + y_{t+1})/4] + \frac{1}{2} [(y_{t-1} + y_t + y_{t+1} + y_{t+2})/4] \\ &= \frac{1}{8} y_{t-2} + \frac{1}{4} y_{t-1} + \frac{1}{4} y_t + \frac{1}{4} y_{t+1} + \frac{1}{8} y_{t+2}. \end{aligned}$$

Figura 32. Promedio móvil de tipo $2 \times k$.
Fuente: Rob J. Hyndman (2009)

- Dividir la data original entre la tendencia suavizada ($f(t)$) para obtener datos sin tendencia. Luego, calcular los factores estacionales de cada periodo como el promedio de los valores de cada periodo, denotados como S_t .
- Dividir la data original entre los factores estacionales S_t calculados previamente para obtener datos desestacionalizados.
- Ajustar un modelo de regresión lineal a la data desestacionalizada para obtener el componente inicial de nivel (L_0) y la tendencia inicial T_0 equivalente a la pendiente.

ii. Clasificación ABC

Según Ronald Ballou (2004), el análisis ABC de los inventarios es una práctica común con el propósito de aplicar un control agregado de inventarios dado que no todos los productos poseen la misma importancia para una empresa en función de su volumen de ventas, margen bruto, participación de mercado o competitividad. El principio 80-20 es empleado como base de la clasificación, aunque no se suele cumplir a cabalidad que el 20% de los ítems de un portafolio de productos represente el 80% del valor de uso total. Los artículos A son los que rotan con mayor facilidad, los artículos B lo hacen en término medio y los artículos C lo realizan en menor medida, tal como se aprecia en la Figura 33. Los niveles de servicio se fijan para estas categorías según la importación de cada una para la compañía y sus clientes.

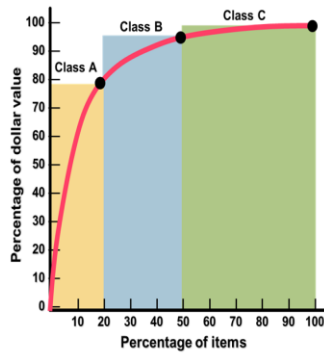


Figura 33. Clasificación ABC.
Fuente: Krajewski, Ritzman & Malhotra (2018)

Por otro lado, de acuerdo a Carlos A. Castro, Jaime A. Castro y Mario C. Vélez (2011), el análisis ABC puede incluir dos o más criterios, lo cual condujo a la creación del término “Clasificación Multicriterio del Inventario” (MCIC o MCABC). Entre los métodos empleados para su resolución se encuentran los siguientes: Análisis Multivariado de Clusters, mediante la agrupación de ítems con atributos similares para su clasificación; Proceso Analítico Jerárquico, para obtener una medida escalar que represente la importancia de cada artículo; uso de metaheurísticos como los algoritmos genéticos y redes neuronales artificiales; la optimización lineal ponderada; y, clasificación mediante lógica difusa. Finalmente, desarrollaron una tabla de los criterios aplicables de acuerdo al tipo de ítem que se desee controlar y su unidad de medida correspondiente, la cual se sitúa en la Figura 34. En el primer caso, el costo anual de demanda/ventas resulta preponderante, mientras que para la clasificación de materias primas y repuestos se considera el costo anual de consumo/utilización.

Criterios	Unidad de Medida	Entrada		Salida	
		Materias Primas	Repuestos	Fabricante	Comercializadora
Demanda/ Ventas Anual	unidades/año			X	X
Consumo/ Utilización Anual	unidades/año	X	X		
Inventario Promedio	unidades/año	X	X	X	X
Costo Unitario	\$/unidad	X	X	X	X
Volumen	m3/unidad	X	X	X	X
Criticidad	0, 1, 2, 3, 4, 5	X	X		
Costo Anual del Inventario	\$/año	X	X	X	X
Costo Anual Demanda/Ventas	\$/año			X	X
Costo Anual Consumo/Utilización	\$/año	X	X		
Tiempo de Entrega	unidades de tiempo	X	X		X
Tiempo de Producción por lote	unidades de tiempo			X	
Escasez	1, 2, 3, 4, 5	X	X		
Durabilidad	1, 2, 3, 4, 5	X	X	X	X
Sustituibilidad	1, 2, 3, 4, 5	X	X		
Reparabilidad	1, 2, 3, 4, 5		X	X	X
Número de Proveedores	Cantidad	X	X		X
Almacenabilidad	1, 2, 3, 4, 5	X	X	X	X
Tamaño de lote	Unidades	X		X	X

Figura 34. Criterios comunes para el análisis ABC.
Fuente: Carlos A. Castro, Jaime A. Castro y Mario C. Vélez (2011)

iii. Cantidad Económica de Pedido

De acuerdo con Donald J. Bowersox (2012), la cantidad económica de pedido (EOQ, por sus siglas en inglés) es la práctica de reposición que minimiza el costo compuesto del manejo y órdenes asociado al nivel de inventario. La identificación de dicha cantidad asume que la demanda y los costos permanecen relativamente estables a lo largo del año. Adicionalmente, dado que el EOQ es calculado para un producto individual, la formulación básica no considera el impacto de órdenes conjuntas. La Figura 35 ilustra el concepto asociado a este modelo.

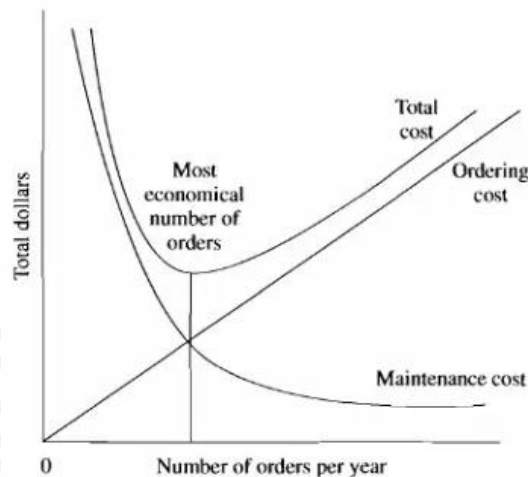


Figura 35. Cantidad económica de pedido.
Fuente: Donald J. Bowersox (2012)

A fin de efectuar los cálculos apropiados, la formulación estándar utiliza como parámetros al costo de ordenar (C_o), el costo de manejo del inventario en términos porcentuales respecto al valor de las existencias (C_i), el volumen de ventas en unidades (D) y el costo unitario (U). La expresión se presenta a continuación:

$$EOQ = \sqrt{(2C_o * D)/(C_i * U)}$$

Por otra parte, se estima conveniente recalcar que el modelo requiere ciertas asunciones y los principales supuestos considerados son:

- El nivel de demanda es constante y conocido con certeza.
- No hay restricciones en cuanto al tamaño de lote.
- Los únicos costos relevantes son los de mantenimiento y orden/preparación.
- Las decisiones para cada artículo pueden ser tomadas de manera independiente respecto al resto de ítems.
- El tiempo de entrega es constante y conocido con certeza.

Para finalizar, al aplicar su cálculo en un escenario real, se deben considerar ciertas extensiones a la formulación, las cuales hacen referencia a ajustes necesarios para aprovechar condiciones especiales de adquisición y consolidación de cargas, tales como las economías de transporte, descuentos por volumen, tamaño de lote de producción, compra de múltiples artículos, capital limitado y transporte privado.

iv. Stock de Seguridad

Según Alin Constantin Rădășanu (2015), el stock de seguridad es definido como un inventario que es mantenido para prevenir roturas de stock y, además, brinda cobertura ante variaciones en la fecha de entrega (cuando el tiempo de reposición no es constante), en los requerimientos (cuando el pronóstico de demanda no es eficaz), cantidades de entrega (cuando el proveedor no entrega suficientes materiales o estos son de pobre calidad) y en inventario (cuando se reconoce una desviación entre el inventario planeado y real). En pos de calcularlo mediante un modelo estadístico, el término se vincula a un nivel de servicio $(1-\alpha)$, el cual hace referencia a la probabilidad deseada de no sufrir agotamientos en cualquier ciclo de orden cuyo inicio está marcado por la realización de una orden y finaliza cuando esta llega.

En consecuencia, si se asume un tiempo de reposición (LT) determinístico y un consumo estocástico, el cálculo del stock de seguridad se puede realizar de la siguiente manera:

$$SS = Z(1 - \alpha) * \sigma d * \sqrt{LT/T}$$

Este caso se ilustra a través de la Figura 36.

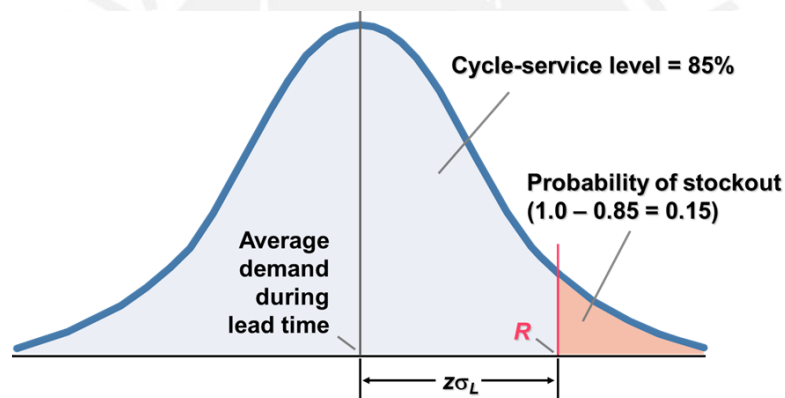


Figura 36. Stock de seguridad.
Fuente: Krajewski, Ritzman & Malhotra (2018)

Mientras tanto, si la variabilidad en el tiempo de reposición fuera la principal preocupación, el cálculo se realizaría de la siguiente manera:

$$SS = Z(1 - \alpha) * \sigma_{LT} * Demanda\ promedio$$

Finalmente, cuando ambos son aleatorios e independientes entre sí, se puede estimar mediante la siguiente expresión:

$$SS = Z(1 - \alpha) * \sqrt{(LT/T) * \sigma^2 d + (\sigma_{LT} * Demanda\ promedio)^2}$$

v. Sistemas de Control de Inventarios

Lee J. Krajewski, Larry P. Ritzman y Manoj K. Malhotra (2018) mencionan que los sistemas de control de inventarios nos indican cuánto ordenar y cuándo realizar la orden de ítems con demanda independiente, es decir, aquellos cuya demanda es

influenciada por condiciones de mercado y no está vinculada a decisiones de inventario para otro artículo almacenado.

El cálculo común entre los sistemas a analizar es el de estimación del nivel de inventario (IP), el cual se presenta a continuación:

$$IP = \text{Inventario inicial} + \text{Órdenes programadas} - \text{Pedidos recibidos}$$

Se dispone de los 2 siguientes tipos de sistema:

- Sistema de revisión continua (Q)

Este sistema también es denominado “sistema de punto de reorden (ROP)” y ha sido diseñado para brindarle seguimiento al inventario excedente de un artículo cada vez que se produce una salida para determinar si es necesario reordenar. Las ventajas que posee son: asignación de una frecuencia de revisión específica para cada material, posibles descuentos por volumen y un stock de seguridad menor y menos costoso.

El punto de reorden asociado a este sistema se calcula de la siguiente manera:

$$ROP = \text{Demanda promedio durante el tiempo de entrega} + \text{Stock de seguridad}$$

$$ROP = \text{Demanda promedio diaria} * TE + Z(1 - \alpha) * \sigma t * \sqrt{TE}$$

La dinámica asociada a este sistema se ejemplifica a través de la Figura 37.

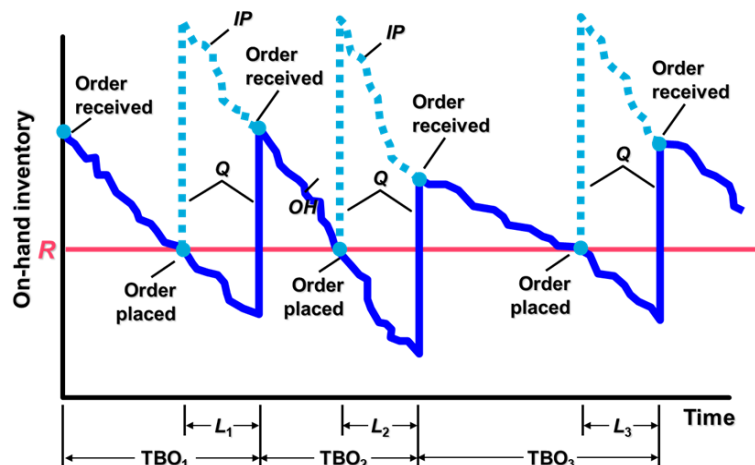


Figura 37. Sistema de revisión continua.
Fuente: Krajewski, Ritzman & Malhotra (2018)

- Sistema de revisión periódica (P)

Este sistema también es denominado “sistema de intervalo fijo de reorden” e implica la revisión del nivel de inventario de un artículo periódicamente. En él, una nueva orden siempre es realizada al final de cada revisión y el tiempo entre órdenes es fijado como P. Por ende, el tamaño de lote puede cambiar entre órdenes. Se hace uso del concepto “intervalo de protección” como el periodo sobre el cual el stock de seguridad debe cubrir al usuario ante un posible agotamiento.

Asimismo, se establece un nivel máximo de inventario (T), el cual permite determinar la cantidad a ordenar en base a su diferencia respecto al nivel de inventario calculado en cada revisión. Este valor se determina de la siguiente manera:

$$T = \text{Demanda promedio durante el intervalo de protección} + \text{Stock de seguridad}$$

$$T = \text{Demanda promedio diaria} * (P + TE) + Z(1 - \alpha) * \sigma t * \sqrt{(P + TE)}$$

Las ventajas de este sistema son: facilidad para la administración, órdenes de múltiples artículos del mismo proveedor pueden ser combinadas y el nivel de inventario solo es requerido en la revisión. La dinámica asociada a este sistema se ejemplifica a través de la Figura 38.

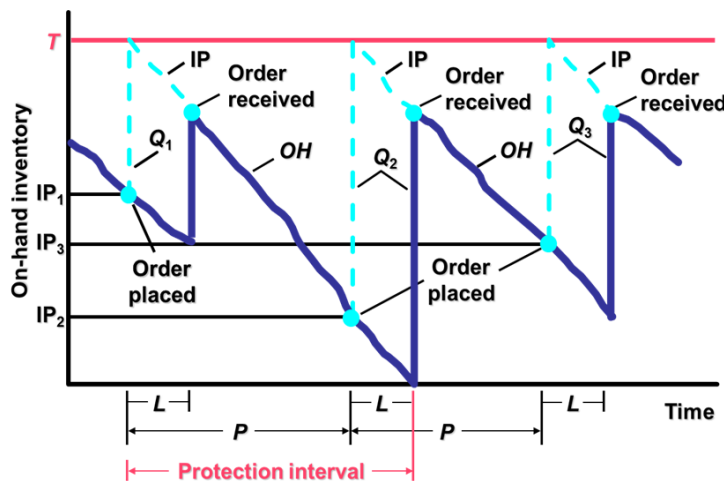


Figura 38. Sistema de revisión periódica.
Fuente: Krajewski, Ritzman & Malhotra (2018)

vi. Conteo cíclico

De acuerdo con la consultora REM Associates Management Consultants (1999), el conteo cíclico es una técnica que segmenta al inventario en base a un análisis ABC y establece un cronograma para la contabilización de los artículos a lo largo del año con el objetivo de que, tras haber transcurrido dicho periodo, todos los materiales hayan sido contados en múltiples ocasiones. Los empleados tienen la responsabilidad de definir inconsistencias en los registros de inventario y resolver las problemáticas en los procesos que originan dichos errores. Asimismo, genera los siguientes beneficios:

- Pocos errores en la identificación de artículos.
- Capacidad de identificar y corregir errores en registros.
- La operación no debe ser detenida durante la contabilización.
- Se emplea gente con mayor experiencia, pero en menor cantidad para su ejecución.
- Propician una mejora sistemática en los procesos que generan registros inexactos.

La mejor manera de iniciar un proceso de conteo cíclico es iniciar con un pequeño número o muestra de artículos que pueden ser monitoreados para obtener resultados cuantificables. Tras desarrollar conteos frecuentemente, los encargados se familiarizan con el procedimiento y, al identificar discrepancias, podrán encontrar las causas raíces y rectificar el área donde se origina el problema. Se debe expandir la muestra progresivamente hasta que todo el inventario sea incluido.

Se debe definir un nivel de tolerancia para cada segmento de la clasificación ABC al considerar que ante una mayor tolerancia, se obtendrá una menor exactitud en el inventario. Además, resulta mejor desarrollar los conteos cuando las existencias se encuentren en un nivel mínimo, es decir, cuando se realice una orden de reposición, el registro de inventario tenga un nivel de cero o sea negativo o se defina una cantidad mínima de transacciones para su ejecución.

Para finalizar, algunas de las causas de los errores en inventario que un buen procedimiento de conteo cíclico puede descubrir son: pobre entrenamiento del personal en el movimiento de materiales, unidades de medida erróneas, robos, obsolescencia, pobre seguridad, espacio de almacenamiento inadecuado, problemas en el sistema de ubicación y reporte tardío de transacciones.

1.3. Estudio de casos

A continuación, se sintetiza la investigación de ocho casos de estudio que involucran empresas del rubro textil, similar al caso de la empresa en estudio, y las herramientas de mejora descritas anteriormente.

1.3.1 Caso de estudio 1: “Lean Six Sigma Implementation in Textile Industry”

Autor: Rajat Ajmera, Prabhuling Umarani y K.G.Valase (2017)

Los autores presentaron un estudio acerca de la implementación de *Lean Six Sigma* en una empresa textil pequeña que fabrica ropa de vestir. Los autores proponen el uso de la herramienta DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) para contrarrestar la baja productividad que genera desperdicios, aumenta el *lead time* de la producción y el costo de fabricación del producto.

En la etapa de definición y medición, se determinaron los procesos dentro del alcance de la investigación y las etapas que lo componen; además se recolectaron datos para calcular la frecuencia de cada tipo de defecto, como se muestra en la Figura 39 y los tiempos que demora cada etapa del proceso.

Sr. No.	Defects	Occurrence	%Occurrence
1	Front and Back Shoulder	18	9.1
2	Misplaced Printing	14	7.1
3	Rundown	73	36.9
4	Broken	45	22.7
5	Labels and Button	18	9.1
6	Oil Strains	12	6.1
7	Embroidery	8	4
8	Different Shades	10	5.1
		201	

Figura 39. Cantidad de defectos por tipo.

Fuente: Rajat Ajmera, Prabhuling Umarani y K.G.Valase (2017)

En el análisis, identificaron las causas raíces de cada problema, de acuerdo al tipo de defecto que se generaba con mayor frecuencia según la Figura 40, y se propusieron una mejora para cada uno: para la disminución de defectos se planteó el entrenamiento de los colaboradores en el control de la velocidad de la máquina; y para la disminución de tiempos, se propuso cambiar las líneas de ensamble por celdas de trabajo para mejorar la efectividad y comunicación de los operarios.

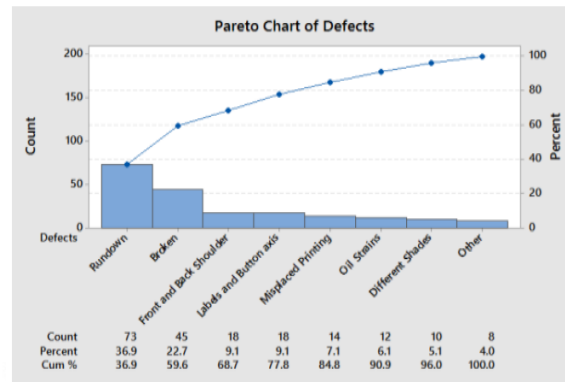


Figura 40. Diagrama de Pareto de defectos por tipo.

Fuente: Rajat Ajmera, Prabhuling Umarani y K.G.Valase (2017)

Finalmente, para asegurar la continuidad de las mejoras se determinaron los siguientes controles:

- Capacitación de los operarios de la empresa en temas de calidad.
- Reconocimientos por desempeño de alta calidad.
- Uso de materiales/instrumentos de buena calidad (hilo, aguja, u otro).
- Debe existir un enfoque a prevenir los defectos y no a corregirlos.
- La empresa debe desarrollar un apropiado Sistema de Gestión de la Calidad.

A través de la aplicación de la herramienta DMAIC, propia de la metodología, lograron reducir de 8.25% a 2.63% la cantidad de productos defectuosos generados, así como también, disminuyeron el tiempo de fabricación de una prenda de 5.18 a 3.90 minutos.

1.3.2 Caso de estudio 2: “Mejora de los Indicadores de productividad en una empresa textil mediante la sinergia de herramientas de Lean Manufacturing y el enfoque Sociotécnico”

Autor: José Vásquez, Jonatán Rojas y Alexia Cáceres (2018)

Los autores realizaron una investigación de la aplicación de herramientas de *Lean Manufacturing* en una empresa textil peruana que fabrica prendas de vestir para exportarlas a Estados Unidos. Al efectuar el diagnóstico de la misma, identificaron GAPS entre los indicadores actuales que manejaba la empresa y las metas que tenía para cada uno: al inicio tenía un porcentaje de eficacia de 55% (meta: 80%), 82% de pedidos atrasados (meta: 30%), el promedio de personas que renunciaban al mes era 58 (meta: 20), entre otros indicadores.

Además, los procesos de tintorería, corte, costura y acabado superaban el *Takt Time* generando esperas en la fabricación, como se muestra en la Figura 41.

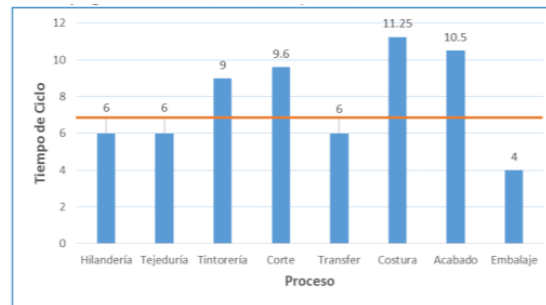


Figura 41. Tiempo de ciclo de cada proceso contra Takt Time.
Fuente: José Vásquez, Jonatán Rojas y Alexia Cáceres (2018)

Frente a esta situación, en la Figura 42. se muestran las herramientas de *Lean Manufacturing* propuestas por los autores fueron 5S, Mantenimiento Productivo Total (TPM), Kanban y Poka Yoke. Estas fueron reforzadas por el desarrollo de un enfoque sociotécnico.

- Metodología 5S: Reducir desorden en puestos de trabajo en los que se genera inventario. Además, con la herramienta, aumentar la facilidad de movimiento de los operarios en sus puestos, reduciendo la fatiga que les genera el desorden.
- TPM: Realizar una auditoría de gestión del mantenimiento, desarrollar un programa de mantenimiento preventivo y definir las bases para la implementación del mantenimiento autónomo.
- Kanban: Reducir, mediante su implementación, el nivel de inventario actual en los puestos de trabajo y cambiar el sistema de PUSH a PULL.
- Poka Yoke: Implementación de un sistema de alarmas para la rápida visualización de requerimientos.

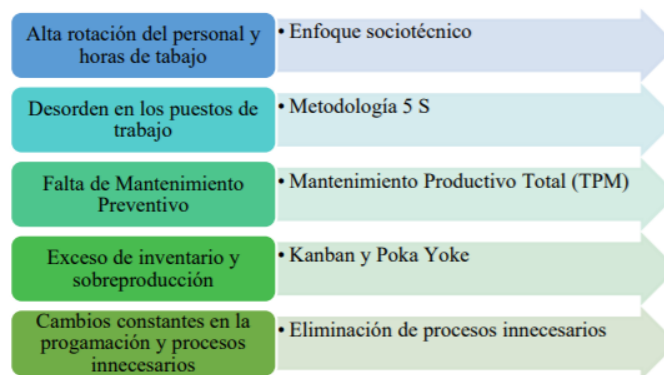


Figura 42. Herramienta a implementar por cada problema.
Fuente: José Vásquez, Jonatán Rojas y Alexia Cáceres (2018)

Los resultados obtenidos posteriormente a la implementación fueron: disminución de la rotación de personal en 74%, incremento de la capacidad de planta en 30%, aumento del porcentaje de entregas a tiempo del 23% y un ahorro total mensual de 1102.5 soles. La inversión de la implementación se recuperaría en aproximadamente 10 meses.

1.3.3 Caso de estudio 3: “Sales demand forecasting in a textile factory using artificial neural network”

Autor: Fábio Lima y João Chang (2015)

Los autores afirman que el pronóstico de demanda es de gran importancia para las empresas porque es decisivo en el manejo de los sistemas productivos de la misma. Un mal pronóstico puede repercutir en la estabilidad de la cadena de suministro, siendo el costo el desperdicio de recursos y la pérdida de *market share*.

Los autores proponen cambiar el método tradicional, cuyo gráfico de *accuracy* para 35 meses se muestra en la Figura 43, para pronosticar de una empresa textil por una técnica que utiliza una red neuronal artificial (ANN) que, según la literatura, mejora el pronóstico en el 73% de los casos. Dentro de las tipologías de ANN, los autores utilizaron la de Elman para el nuevo método y el software Matlab para desarrollarlo, dividiendo los 35 datos de venta real con los que contaban de la siguiente manera: 25 para entrenamiento, 5 para validación y 5 para probar el pronóstico.

Finalmente, realizaron las simulaciones considerando un pronóstico estático (usar data real anterior para pronosticar) y un pronóstico dinámico (usar data pronosticada anterior para pronosticar), obteniendo una mejora de 37.1% y 21.7% en MSE (*Mean Squared Error*) respectivamente respecto al método tradicional. El gráfico de *accuracy* para cada nuevo pronóstico se muestran en la Figura 44. para el estático, y en la Figura 45. para el dinámico.

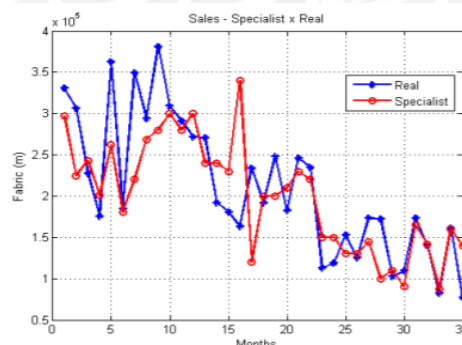


Figura 43. Gráfico de accuracy para el método tradicional.

Fuente: Fábio Lima y João Chang (2015)

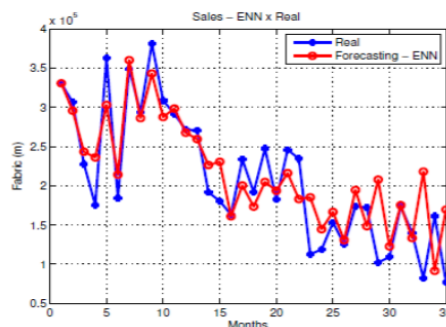


Figura 44. Gráfico de accuracy para el método con ENN estático.

Fuente: Fábio Lima y João Chang (2015)

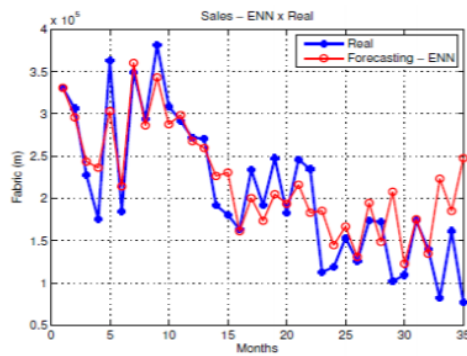


Figura 45. Gráfico de accuracy para el método con ENN dinámico.

Fuente: Fábio Lima y João Chang (2015)

1.3.4 Caso de estudio 4: “Proposed Inventory Management Model To Improve The Supply Chain Efficiency And Surplus In Textile Industry”

Autor: D. Sri Lakshmana Kumar, S. Nallusamy y V. Ramakrishnan (2018)

Los autores proponen una política de inventarios para una industria textil en Salem, de manera que aumente la eficiencia de su cadena de suministro. Si bien, en la literatura, no se realiza un análisis de la situación actual, se menciona que la empresa ha tenido problemas con sus inventarios cinco años consecutivos: inventarios en exceso para cierto tipo de hilos y roturas de stock para hilos con alta demanda.

Para contrarrestar dichas dificultades, dentro de la política de inventario, propusieron definir la cantidad económica de pedido (EOQ) para determinar el número de materias primas para la fabricación que deben adquirir de tal manera que se minimiza el costo total de inventario, que para el caso fueron algodón y polyester. Además, definieron un indicador de rotación de inventario para constatar que no hay exceso del mismo por cada tipo de hilo como se muestra en la Figura 46, y un periodo de conversión de inventario, que es el promedio de días en los que se debe vender o utilizar el producto en inventario.

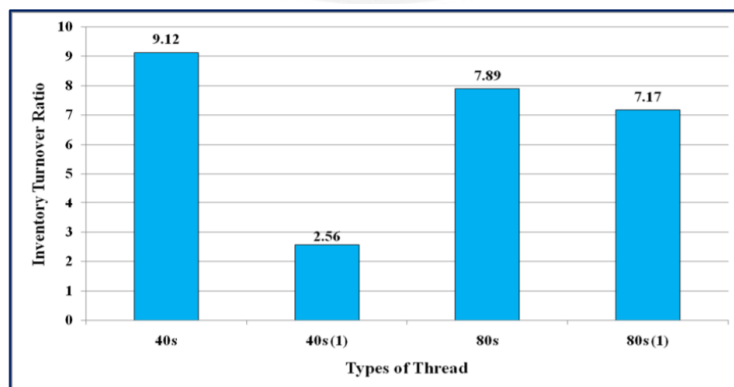


Figura 46. Gráfico de inventarios.

Fuente: D. Sri Lakshmana Kumar, S. Nallusamy y V. Ramakrishnan (2018)

Adicionalmente, se implementó un método de predicción estacional de la demanda de los hilos para mejorar el control de los niveles de inventario. De esta manera, la aplicación de esta política logra disminuir los desperdicios de inventario en 4500 kg por año.

1.3.5 Caso de estudio 5: “Aggregate Planning and Inventory Management in Textile Industry”

Autor: S. Syath Abuthakeer T. Pavithran, M.S.E. Vigneshraj, S. Vimalkumar (2017)

Los autores hacen mención de la tendencia en las empresas del sector industrial textil de contar con excedentes de stock para sus materias primas con el propósito de anticiparse a alzas desmedidas en sus precios, lo cual genera desmedros a mediano plazo. Por ende, se analizó el modelo cualitativo de inventario existente en una de las fábricas líderes en exportaciones de la región sur de India en busca de su transformación a un modelo cuantitativo. Asimismo, se brinda énfasis a la óptima utilización de recursos para incrementar, de manera conjunta con el modelo planteado, la holgura de la cadena de suministro y, simultáneamente, su eficiencia.

La metodología propuesta para la consecución de los objetivos de esta investigación involucra, en primer lugar, un estudio industrial de la compañía en estudio, la cual se enfoca en la manufactura de 8 variedades de hilo y, además, cuenta con instalaciones para la confección de productos terminados como manteles, colchas, coberturas para almohadas y entre otros. Luego, se elaboró un análisis FODA (SWOT, por sus siglas en inglés) para identificar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de la organización, entre los cuales se identificó un nivel de desperdicio que fluctúa entre el 6% y 9% , la volatilidad del precio del algodón y el dimensionamiento y localización inapropiados de sus recursos.

En consecuencia, se contrastaron dos métodos de pronóstico: un modelo de series de tiempo con estacionalidad multiplicativa para el precio del algodón y uno de promedios móviles para la demanda de la variedad seleccionada de hilo. Posteriormente, se procedió a elaborar el modelo de inventarios mediante la adopción del modelo de manufactura con déficit, el cual se caracteriza por reposiciones no instantáneas y realizadas mientras se utilizan las existencias disponibles. Dicho modelo se presenta en la Figura 47.

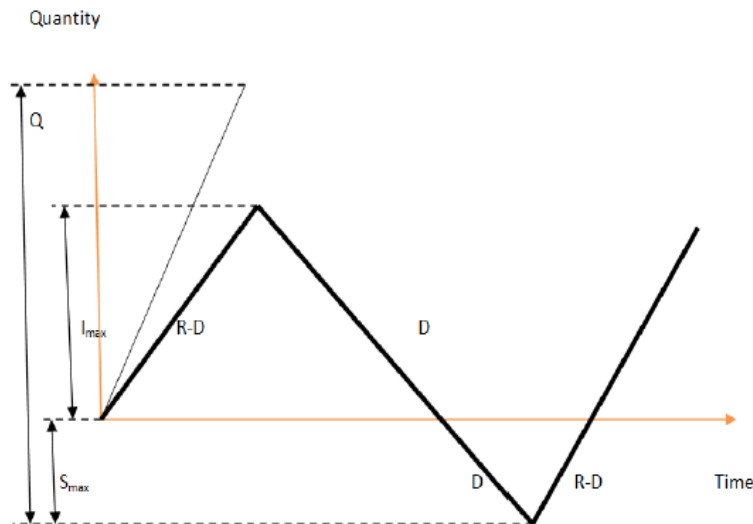


Figura 47. Modelo de inventarios para manufactura con déficit.
Fuente: S. Syath Abuthakeer T. Pavithran, M.S.E. Vigneshraj, S. Vimalkumar (2017)

Se utilizaron las expresiones de la Figura 48 para calcular la cantidad económica de pedido (Q^*) y el déficit óptimo (S^*) en base a los siguientes parámetros: C_1 , costo de ordenar; C_3 , costo de posesión del inventario; C_4 , costo por rotura de stock; R , punto de reorden; y, D , demanda mensual del producto intermedio.

$$Economic\ Order\ Quantity = Q^* = \sqrt{\frac{2xC_1xD}{C_3}} \times \sqrt{\frac{C_3+C_4}{C_4}} \times \sqrt{\frac{R}{R-D}}$$

$$Optimum\ Shortage = S^* = Q^* \times \left(\frac{C_3}{C_3+C_4}\right) \times \left(\frac{R-D}{R}\right)$$

Figura 48. Expresiones requeridas para el cálculo del EOQ y Déficit Óptimo.
Fuente: S. Syath Abuthakeer T. Pavithran, M.S.E. Vigneshraj, S. Vimalkumar (2017)

En base a ello, se obtuvo un incremento del 93,23% en el ratio de rotación del inventario y una disminución del 28,80% en los días de inventario. Asimismo, a continuación se presentan los principales resultados obtenidos en base al modelo planteado en la Figura 49 Cabe recalcar que dicho modelo permite la reducción de los 3100 Kg. de desperdicio generados con el sistema anterior.

Economic order quantity	4857 kg
Optimal Shortage quantity	870 kg
Re-order period	15 days
Safety Stock	1135 kg
ITO	2.57
DIO	137.38

Figura 49. Resultados obtenidos para el modelo de inventario propuesto.
Fuente: S. Syath Abuthakeer T. Pavithran, M.S.E. Vigneshraj, S. Vimalkumar (2017)

Finalmente, los autores desarrollan un modelo de programación lineal para determinar el plan agregado óptimo que permita cuantificar la cantidad de operarios a contratar, el plan de compras por periodo, el nivel de inventario idóneo y el mínimo costo variable a incurrir en el horizonte de planeación en la división en estudio bajo un horizonte de 6 meses. Se obtuvo un

volumen de producción superior en 2,27% a las expectativas de demanda sin la necesidad de recurrir a horas extra y aminorando la mano de obra empleada en un 17,08%.

1.3.6 Caso de estudio 6: “A Study on Inventory Control Techniques in Apparel Industry”

Autor: K.Prabha Kumari, S.Jagadeeswaran (2018)

De acuerdo con los autores, el control de inventarios en una fábrica textil es necesario debido al requerimiento de métodos de planificación de materiales para controlar el flujo descrito por ellos hacia el almacenamiento de artículos adquiridos. Este trabajo de investigación se focaliza en el análisis de todos los inventarios, ya sea de materias primas, piezas de recambio y productos terminados en el sector de la confección.

Por lo tanto, los objetivos del estudio son: analizar los ratios de los materiales en inventario, analizar la clasificación de los materiales y proponer una cantidad económica de pedido (EOQ) para reducir el costo de mantenimiento y orden. La metodología empleada para el logro de dichas metas inicia con la recolección de información a partir de registros de inventario mantenidos por los departamentos de Finanzas, Compras y Almacenamiento, bases de datos y cuentas del Estado de Resultados de la organización en análisis. La fases de análisis e interpretación permitieron obtener el consumo anual de cada ítem, el costo de colocación de cada orden, el precio unitario y el porcentaje asociado al costo de posesión de inventario.

En base a ello, se obtuvo la cantidad económica de pedido (EOQ) para cada tipo de material, la cual se puede apreciar en la Figura 50.

S.NO	ITEMS	QUANTITY	CONSUMPTION	EOQ(In Units)
1	Grey Fabric	95437	3778489	9053.7
2	Dyed fabric	92349	3700472	8852.5
3	Yarn	17237	3684484	1655.9
4	Accessories	30756	2779949	3401.6
5	Label	45453	2669489	5129.9
6	Chemicals	32439	2599989	3709.7
7	Maintenance Parts	21394	2279979	2612.7

Figura 50. EOQ por material.

Fuente: K.Prabha Kumari, S.Jagadeeswaran (2018)

Por otro lado, se estimó el stock de seguridad al tomar como referencia un *lead time* (tiempo de entrega) estocástico y un nivel de demanda determinístico, cuyos resultados se presentan en la Figura 51.

SL NO	COMPONENTS	MAX. LEAD. TIME	NORMAL LEAD. TIME	DEMAND	SAFETY STOCK
1	Grey Fabric	0.5	0.25	40	10
2	Dyed fabric	0.5	0.25	41	10.25
3	Yarn	0.5	0.25	21	5.25
4	Accessories	0.5	0.25	91	22.75
5	Label	0.5	0.25	58	14.5
6	Chemicals	0.5	0.25	81	20.25
7	Maintenance Parts	0.5	0.25	107	26.75

Figura 51. Stock de seguridad por material.

Fuente: K.Prabha Kumari, S.Jagadeeswaran (2018)

De manera análoga, se estimó el punto de reorden (ROP) por material, el cual se observa en la Figura 52.

SL NO	COMPONENTS	MAX. LEAD. TIME	NORMAL. LEAD. TIME	SAFETY STOCK	RE ORDER LEVEL
1	Grey Fabric	0.5	0.25	10	10.125
2	Dyed fabric	0.5	0.25	10.25	10.375
3	Yarn	0.5	0.25	5.25	5.375
4	Accessories	0.5	0.25	22.75	22.875
5	Label	0.5	0.25	14.5	14.625
6	Chemicals	0.5	0.25	20.25	20.375
7	Maintenance Parts	0.5	0.25	26.75	27

Figura 52. Punto de reorden por material.

Fuente: K.Prabha Kumari, S.Jagadeeswaran (2018)

Finalmente, se elaboró una clasificación ABC de los inventarios, según la cual los 4 primeros artículos pertenecen a la clase A y representan un 66,31% del valor de uso anual. Mientras tanto, el quinto ítem pertenece a la clase B, representando un 9,40% de dicho valor, y la clase C contiene el 24,29% del valor de uso y está compuesto por los químicos y piezas para el mantenimiento. Ello permite elaborar un análisis VED (vital, esencial y deseable) en base al riesgo de déficit de cada uno y el costo de oportunidad que implican. Los resultados de dicho análisis se presentan en la Figura 53, donde cada columna representa la combinación de ambas clasificaciones: ABC y VED.

Items	AV	AE	AD	BV	BE	BD	CV	CE	CD
1	Grey Fabric	•							
2	Dyed fabric		•						
3	Yarn				•				
4	Accessories			•					
5	Label					•			
6	Chemicals						•		
7	Maintenance Parts								•

Figura 53. Análisis ABC y VED.

Fuente: K.Prabha Kumari, S.Jagadeeswaran (2018)

1.3.7 Caso de estudio 7: “Application of Six Sigma in Clothing SMEs: A case study”

Autor: N.Abbes, N.Sejri, Y.Chaabouni y M.Cheikhrouhou (2018)

Los autores remarcan que el enfoque *Six Sigma* se concentran en la mejora de la calidad a través de la reducción de la variabilidad en los procesos para mejorar su eficiencia, pero pocos estudios han sido reportados acerca de su aplicación en PyME’s (pequeñas y medianas empresas) a pesar de que sufren una gran cantidad de problemas de calidad durante o al final de su proceso de trabajo. Po consiguiente, este trabajo de investigación brinda un ejemplo para ilustrar la aplicación del modelo propuesto para modificar los parámetros de un dispositivo de colocación en busca de la minimización de los defectos en el corte de tejidos en una empresa del rubro textil en Túnez.

La metodología propuesta se fundamenta en la integración del ciclo de mejora continua DMAIC y el modelo PDCA como el procedimiento básico de la Gestión de Calidad Total (TQM). En primer lugar, se identificaron las técnicas y herramientas más empleadas para la implementación del *Six Sigma* en 85 PyME’s dedicadas a la fabricación de prendas de vestir en Túnez mediante un cuestionario, cuya calificación se definió mediante una escala de Likert

(1-5). La instalación de líneas de producción balanceadas, el cálculo del tiempo de ciclo, la Gestión Visual y las 5S son las herramientas más comunes debido a su simplicidad, mientras que herramientas como Kaizen, SMED, VSM, *Six Sigma* y TPM son conocidas, pero no aplicadas debido al entrenamiento requerido para el logro de objetivos, de acuerdo a lo visualizado en la Figura 54.

Tools, techniques and indicators	Average score
Installation of balancing production line	4.2
calculate the cycle time	3.9
Visual Management	2.9
5S	2.8
training	2.5
Acceptance of Six Sigma Culture	2.3
Just In Time	1.9
PDCA	1.9
KANBAN	1.6
Identificatiøn of bottlenecks	1.5
Kai Zen,Pareto	1.16
SMED	0.9
VSM	0.8
Six Sigma	0.7
TPM,FMEA	0.6
VOC, CTQ, KANO	0.4

Figura 54. Ranking de herramientas según el cuestionario.
Fuente: N.Abbes, N.Sejri, Y.Chaabouni y M.Cheikhrouhou (2018)

Los resultados del cuestionario muestran que el 47% de compañías no conocen el método *Six Sigma* y solo 5% lo aplica continuamente. A fin de simplificar su adopción, el marco de referencia del PDCA se aplica a cada paso del ciclo DMAIC para lograr un aprendizaje continuo y creación de conocimiento, tal como se aprecia en la Figura 55.

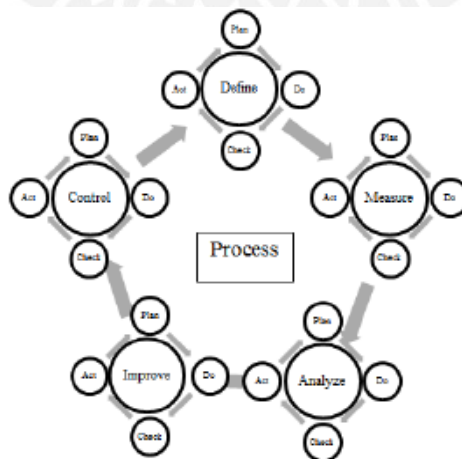


Figura 55. PDCA aplicado a Six Sigma.
Fuente: N.Abbes, N.Sejri, Y.Chaabouni y M.Cheikhrouhou (2018)

La empresa en análisis cuenta con una unidad de corte y ensamble. La problemática radica en los parámetros del dispositivo de colocación (velocidad y tensión) en la primera unidad no permiten que las piezas cortadas cuenten con medidas acordes a las solicitadas. En la fase de definición, los elementos CTQ (críticos para la calidad) fueron determinados y, mediante sesiones de *brainstorming*, se verificó que el problema más significativo es el error en las medidas de $\pm 1\%$ respecto a la especificación inicial. Luego, la fase de medición requirió la recolección de información de indicadores cuantificables de los procesos productivos y se concluyó que el índice de capacidad del proceso de la línea base era equivalente a 0.2, contaba con un valor Z de 0.7 y un nivel de DPMO (defectos por millón de oportunidades) de 780 000, lo cual indica que la situación preliminar era caótica y se necesitaba con urgencia un análisis de causas y acciones correctivas.

Por otra parte, la fase de análisis determinó las causas raíces de la problemática mediante un diagrama causa-efecto, las cuales fueron: la incorrecta definición de los parámetros de velocidad y tensión, el cambio de ellos por el operario y la falta de información sobre dichos parámetros y su uso para cada color fabricado de polo. El análisis en mención se presenta en la Figura 56.

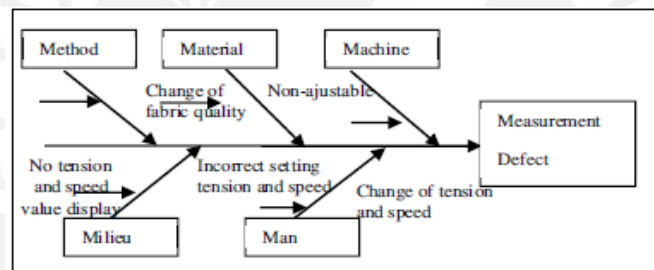


Figura 56. Diagrama causa-efecto.

Fuente: N.Abbes, N.Sejri, Y.Chaabouni y M.Cheikhrouhou (2018)

Seguidamente, la fase de mejora implicó la aplicación de un diseño de experimentos (DOE) para hallar el valor óptimo de ambos parámetros tras el desarrollo de una prueba T con dos niveles por cada factor y el valor de C_p obtenido por cada combinación. Luego, se empleó el software Minitab para determinar los valores óptimos de la velocidad y tensión, los cuales varían entre 50 y 100 y entre 40 y 60, respectivamente. Se usó la técnica de ajuste a la curva, según lo mostrado en la Figura 57, para estimar a la tensión como una función cuya variable independiente sea la velocidad con el propósito de manipular una sola variable.

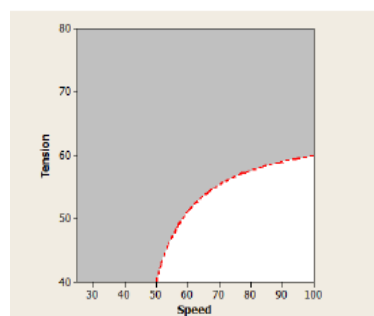


Figura 57. Curva de valores óptimos de parámetros.

Fuente: N.Abbes, N.Sejri, Y.Chaabouni y M.Cheikhrouhou (2018)

Los resultados obtenidos tras la implementación de esta metodología se presentan en la Figura 58 y fortalecen la afirmación de que el proceso es capaz al contar con un C_p de 1,47, un valor Z de 2 y un DPMO de 308 000 (60,51% menor respecto a las iniciales).

Key metrics used	Before improvement	After improvement
Z-Sigma	0.7	2
C_p	0.2	1.47
DPMO	780,000	308,000
Process standard deviation	0.38	0.056

Figura 58. Resultados obtenidos con la propuesta.
Fuente: N.Abbes, N.Sejri, Y.Chaabouni y M.Cheikhrouhou (2018)

Para finalizar, con el objetivo de que dichos resultados se sostengan en el largo plazo, la estandarización de los parámetros óptimos fue integrada completamente al régimen de entrenamiento y la documentación del proceso como parte de la fase de control, además de una auditoría recurrente sobre ellos. En conclusión, el éxito de la aplicación de *Six Sigma* incentiva al resto de unidades a emplearla para reducir sus pérdidas y asegurar la satisfacción de sus clientes.

1.3.8 Caso de estudio 8: “Lean Manufacturing Application in Textile Industry”

Autor: Leandro L. Lorente Leyva, Edwin P. Curillo Perugachi, Ramiro V. Saraguro Piarpuezan, Carlos A. Machado Orges y Edwin P. Ortega Montenegro (2018)

De acuerdo con los autores, el objetivo de este trabajo de investigación es la elaboración de una propuesta para la aplicación de herramientas de *Lean Manufacturing* para la reducción de desperdicios en la industria textil en una compañía ecuatoriana, cuyo principal problema es un incumplimiento de órdenes del 31%, a través del uso de conceptos de actividades que agregan valor (AAV) y actividades que no lo hacen (ANV).

La metodología empleada consta de 2 fases: análisis y diagnóstico y propuesta de mejora. En cuanto al desarrollo de la primera, involucró la selección de la línea o producto a estudiar mediante el análisis de Pareto a fin de focalizar los esfuerzos sobre los desperdicios identificados en dicha línea. Para este caso, se seleccionó a la línea de pijamas, la cual representa el 40% del volumen de producción y genera el 60% de las ventas, tal como se aprecia en la Figura 59.

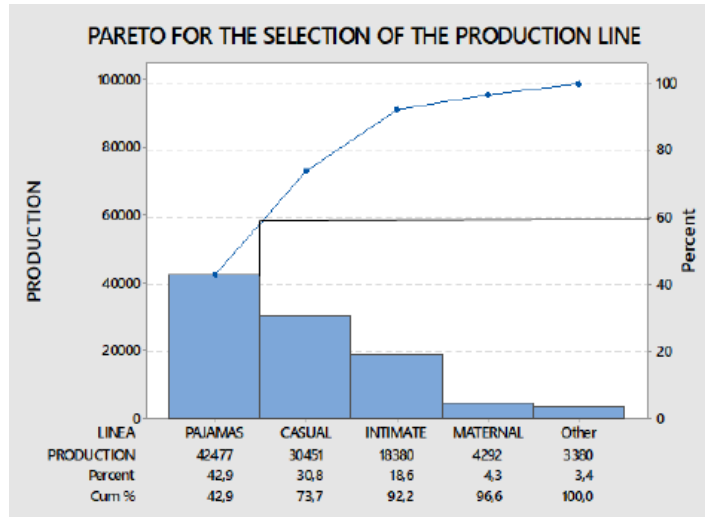


Figura 59. Diagrama causa-efecto.

Fuente: Leandro Lorente, Edwin Curillo, Ramiro Saraguro, Carlos Machado y Edwin Ortega (2018)

Además, se desarrolló un análisis del cumplimiento de órdenes, el cual resultó en el valor mencionado de incumplimiento del 31%, y el estudio de tiempo de ciclo por cada proceso: corte, costura, estampado y empaque. Ello condujo a la generación del *Value Stream Map* (VSM) de la situación actual, el cual se presenta en la Figura 60.

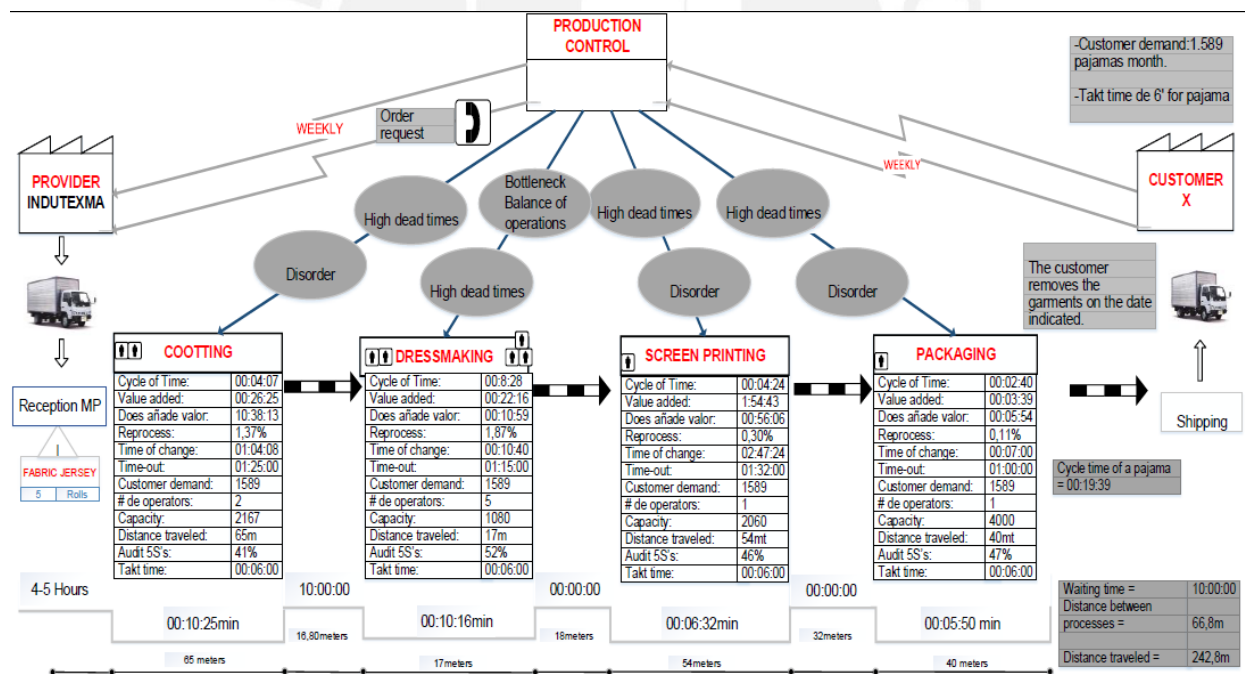


Figura 60. Value Stream Map actual.

Fuente: Leandro Lorente, Edwin Curillo, Ramiro Saraguro, Carlos Machado y Edwin Ortega (2018)

En base a lo obtenido, se identificaron los tipos de desperdicio por proceso mediante auditorías 5S y estudio de métodos y movimientos, lo cual permitió verificar el desorden, movimientos innecesarios, flujo productivo deficiente y recorrido inadecuado. Cabe recalcar que el nivel de cumplimiento de las 5S resultó equivalente al 41%, 52%, 46% y 47% para los 4 procesos, respectivamente. Asimismo, se procedió a calcular los principales indicadores de la metodología como *lead time*, *takt time*, eficiencia y productividad de la mano de obra, los

cuales resultaron iguales a 619 min., 6 min/pijama, 60% (ANV del 40%) y 1,40 pijamas/hora-hombre. A partir del *takt time* obtenido, se contrastó dicho valor con el tiempo de ciclo de cada proceso con el objetivo de identificar al cuello de botella, el cual se localizó en el proceso de costura debido a su tiempo de ciclo de 8' 28''. Por ende, la capacidad de producción preliminar de 1080 pijamas/mes no permitía la sincronización con el nivel de demanda de 1580 pijamas/mes.

Luego, una sesión de *brainstorming* fue llevada a cabo para identificar las causas, alternativas de solución y el proceso sobre el cual aplicarlas, lo cual se consolidó en la matriz presentada en la Figura 61. Se priorizó en base a los criterios de costo, tiempo, factibilidad y viabilidad al estudio de tiempos y aplicación de 5S en los procesos de corte, estampado y empaque; y, la implementación de una celda de manufactura en el proceso de costura.

Brainstorming			
Problem	Causes	Possibles solutions	Process
Orders delivered 31%	There are not times in the process of cutting, stamping, packaging	Study of time	Cutting, Screen printing Packing
	Cycle of Time > takt time	Manufacturing Cell	Dressmaking
	Disorder and movement	5S's	Cutting, Screen printing Packing
	Mechanic stop	Autonomous Maintenance	Cutting Packing
	Unlike operations	5S's	Packaging

Figura 61. Matriz de Brainstorming.

Fuente: Leandro Lorente, Edwin Curillo, Ramiro Saraguro, Carlos Machado y Edwin Ortega (2018)

La celda de manufactura propuesta para la costura permite la reducción del tiempo de ciclo a 4' 55'' con una capacidad de 1964 pijamas/mes, lo cual resulta superior en un 81,85% al valor inicial. El diseño elaborado se presenta en la Figura 62.

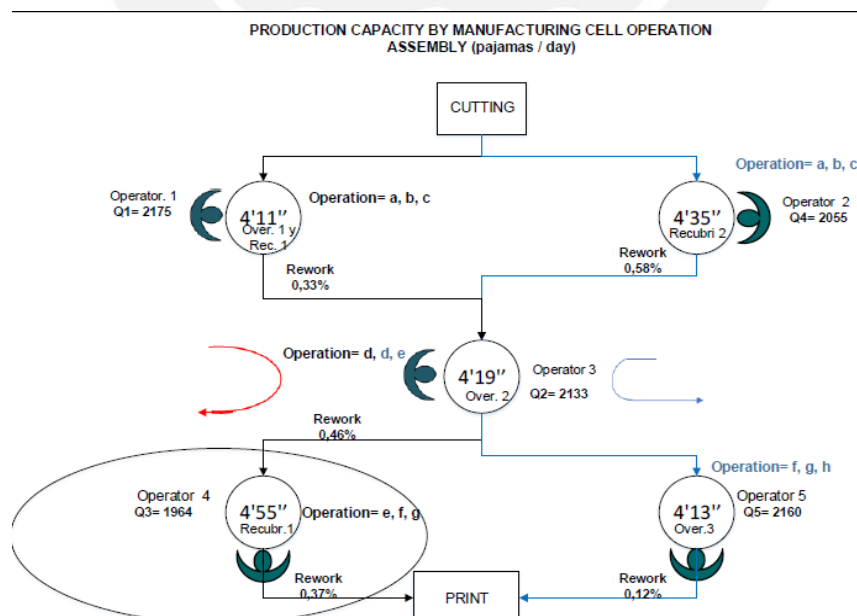


Figura 62. Celda de Manufactura propuesta para la Costura.

Fuente: Leandro Lorente, Edwin Curillo, Ramiro Saraguro, Carlos Machado y Edwin Ortega (2018)

Asimismo, la aplicación de las 5S permitió el aumento del puntaje obtenido en la auditoría final al obtener un porcentaje de cumplimiento del 88%, 89%, 84% y 87% en los 4 procesos, respectivamente. El análisis comparativo entre el valor inicial y final para cada indicador permite visualizar claramente la notoria mejora lograda de acuerdo a lo presentado en la Figura 63.

Comparative table of results before and after the implementation of "5S's and MC"					↓ Decreases
Indicator	Current	Results		Units	↕ Increase
		Proposal	Improvement		
Cycle time	8'28''	4'55''	3'7''	Minutes	↓
Production capacity	1.080	1.964	884	Units/month	↑
Real production capacity	1.080	1.589	509	Units/month	↑
Efficiency	60%	72%	12%	Add value	↑
Lead Time	619'	615'	4'	Minutes/pajamas	↓
Labor productivity	1.40	2.10	0.7	Pajamas/hour/worker	↑

Figura 63. Evolución de indicadores tras la mejora.

Fuente: Leandro Lorente, Edwin Curillo, Ramiro Saraguro, Carlos Machado y Edwin Ortega (2018)

Finalmente, se desarrolló el VSM tras la aplicación de la propuesta de mejora, el cual se sitúa en la Figura 64, y se logra exceder la demanda por un margen del 23% y, por lo tanto, optimizar el nivel de servicio.

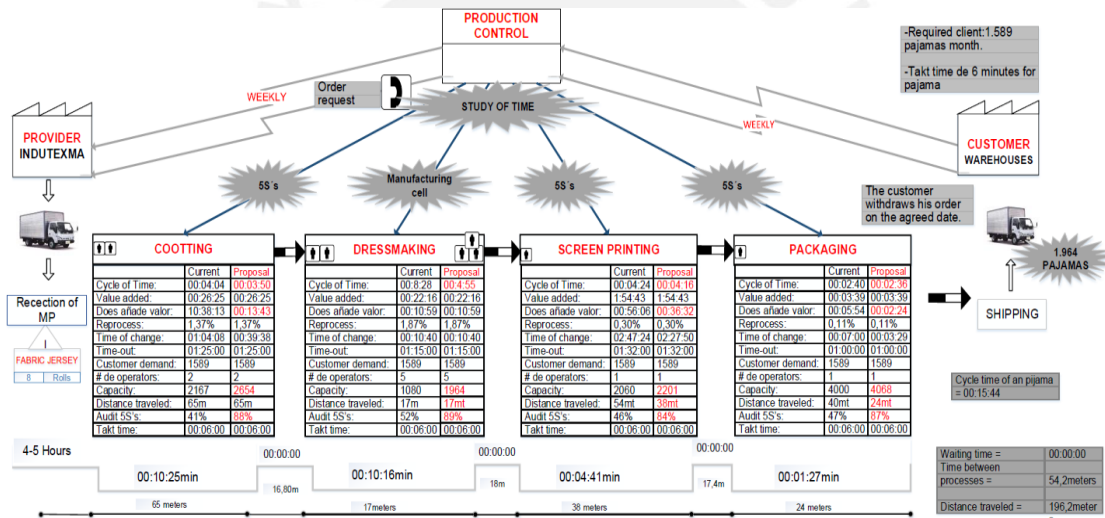


Figura 64. Value Stream Map tras la mejora.

Fuente: Leandro Lorente, Edwin Curillo, Ramiro Saraguro, Carlos Machado y Edwin Ortega (2018)

1.3.9 Caso de estudio 9: "Implementation of Six Sigma to Minimize Defects in Sewing Section of Apparel Industry in Bangladesh"

Autor: Jaglul Hoque Mridha, Shah Md. Maruf Hasan, Md. Shahjalal & Forhad Ahmed (2019)

Un caso exitoso de implementación de DMAIC fue el llevado a cabo por los autores del presente trabajo, que fue aplicado a una empresa del rubro de confección textil en el país de Bangladesh, situado en el sur del continente asiático.

La situación inicial de la empresa indicaba que se generaba una alta cantidad de rechazos de sus productos terminados, principalmente de las camisas. Es por ello que definieron como objetivo de mejora la minimización de defectos en camisas y optan por utilizar la metodología *Six Sigma*, específicamente la herramienta DMAIC.

En la etapa de definición, plantearon la problemática de la calidad baja de sus productos terminados. En la etapa de medición determinaron que la mayor cantidad de defectos se daba en la sección de costura. De 3500 camisas observadas en dicha sección, 470 resultaron defectuosas. Esto equivale a un porcentaje de defectuosos de 13.42%, 0.1342 defectos por oportunidad y un nivel de calidad sigma de 2.6063.

Para la etapa de análisis se propuso la realización de un *brainstorming* con el equipo de trabajo de la sección de costura y un diagrama de causa-efecto o Ishikawa presentado en la Figura 65.

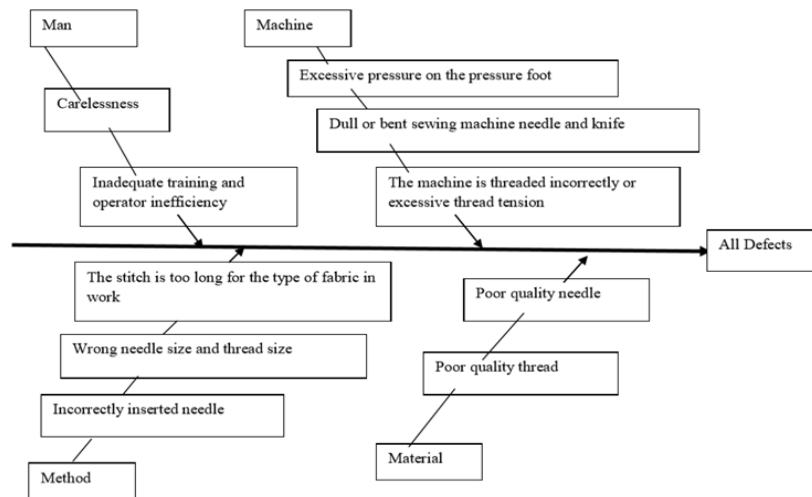


Figura 65. Diagrama Causa-Efecto.

Fuente: Jaglul Hoque Mridha, Shah Md. Maruf Hasan, Md. Shahjalal & Forhad Ahmed (2019)

Una vez concluido el análisis, se continuó con la etapa de mejora, en la que se plantearon soluciones sugeridas, presentadas en la Figura 66, para cada causa de defecto identificada anteriormente.

Areas	Causes	Suggested Solutions
Man	Inadequate training and operator inefficiency	Trained and motivated operators sufficiently
	Negligence	Improved supervision.
Machine	The machine is threaded incorrectly or excessive thread tension	Rethread machine and maintain proper thread tensions.
	Excessive pressure on the presser foot.	Minimize the pressure on the presser foot.
	Bent sewing machine needle and knife.	Replace the needle and knife with a new one.
Method	Incorrect size of the needle and thread for operation	Ensure that the correct thread type and size rightly feeds both the needle and bottom (looper) positions.
	Comparatively long stitch for the type of fabric in work.	Shorten the stitch length using the stitch regulator, especially when sewing fine fabrics
Material	Incorrectly inserted needle	Check that the bobbin winds correctly and no loose threads or loops sticking out.
	Poor quality thread	Using core spun yarn
	Poor quality needle	The needle should have high heat resistance capacity.

Figura 66. Cuadro Causa-Solución.

Fuente: Jaglul Hoque Mridha, Shah Md. Maruf Hasan, Md. Shahjalal & Forhad Ahmed (2019)

De las soluciones sugeridas, se aceptaron seis de ellas y se determinó la frecuencia o cantidad a comprar, según corresponda, para la implementación de cada una como se muestra en la Figura 67.

Corrective Actions	Amount
Replacement of dull or bent sewing machine needles	16 needles
Replacement of dull knives	9 knives
Number of machines rethreaded	17 machines
Correction of needle insertions	15 machines
Replacement of faulty bobbins	3 machines
Training provided	machines 2 hours each day

Figura 67. Cuadro Acción correctiva-Cantidad.

Fuente: Jaglul Hoque Mridha, Shah Md. Maruf Hasan, Md. Shahjalal & Forhad Ahmed (2019)

Finalmente, se definieron controles para el aseguramiento de la continuidad de las mejoras implementadas.

Luego de la implementación se volvieron a realizar las mediciones de defectuosos y se encontró que, de 5450 camisas observadas, 396 resultaron defectuosas. Esto equivale a un porcentaje de defectuosos de 7.26% (46% menos que la observación inicial), 0.072 defectos por oportunidad y un nivel de calidad sigma de 2.9562.

1.4. Conclusiones

La competitividad actual del sector textil exige a las pequeñas y medianas empresas alcanzar cada vez un mayor grado de eficiencia, retando no solo la forma de trabajo sino la forma de pensar de los empleadores para buscar soluciones. En primer lugar, se estima conveniente emplear herramientas de diagnóstico con el objetivo de definir claramente el escenario inicial mediante indicadores clave e indagar a profundidad acerca de las causas raíces de cada problemática presente en la empresa en estudio, además de la priorización de la atención de aquellos contratiempos que afecten en mayor medida los resultados operativos y financieros de la organización. Asimismo, en cuanto a las metodologías de mejora de los procesos productivos, se propone la introducción de técnicas con fundamentos matemáticos para la gestión de inventarios de materias primas y de producto terminado que permitan controlar sus niveles de stock con un enfoque costo-eficiente, controles de calidad mediante la implementación de *Six Sigma* para detectar anomalías o desviaciones de los resultados estándares y expectativas de la cartera de clientes y la introducción de la filosofía de *Lean Manufacturing* para poder generar dichos estándares. En conjunto, se trata de estructurar un sistema de gestión diferente al que la mayor parte de este grupo de empresas, y en específico del sector, han manejado anteriormente.

En primer lugar, la Gestión de Inventarios requiere la definición de un equilibrio entre la disponibilidad del producto ofrecido con los costos asociados a un determinado nivel de servicio esperado por la cadena de suministro *downstream*, es decir, por los clientes y

consumidores. Por ende, requiere el conocimiento de las expectativas de demanda (obtenidas mediante una determinada técnica de pronóstico cualitativo o cuantitativo), determinación del tiempo y tamaño apropiados de reorden a través del uso de conceptos como la Cantidad Económica de Pedido (EOQ) y Sistemas de Control de Inventarios, además del aseguramiento y verificación de las cantidades disponibles y ordenadas de cada ítem almacenado mediante la clasificación ABC, Conteo Cíclico y manejo de un Stock de Seguridad. A modo de ejemplo, sobresalen los resultados obtenidos en tres de los casos analizados, cuya replicabilidad es factible, como: reducción del MSE (*Mean Squared Error*) en más del 20% respecto a modelos tradicionales al emplear modelos de aprendizaje supervisado, minimización del costo total de la logística interna y desmedros para las 2 principales materias primas en una fábrica de Salem mediante la adopción del EOQ y disminución cercana al 30% en los días de inventario y 3100 Kg, de desperdicio en una compañía del sur de la India al emplear un modelo de manufactura con déficit.

Por otro lado, *Six Sigma* presenta una estrategia con foco en el cliente y pretende minimizar los defectos en los productos y el nivel de variación respecto a las especificaciones que este brinda. En consecuencia, implica la aplicación de dos principales técnicas: el ciclo de mejora continua DMAIC, abarcado como un proceso metódico para la resolución de problemas a través de su comprensión, definición de una línea base de performance y aplicación de un análisis exhaustivo para lograr mejoras sostenibles a lo largo del tiempo, y el Control Estadístico de Procesos (SPC) como la herramienta que permita interpretar la dispersión observada en características críticas para la calidad (CTQ) a fin de optimizar la capacidad del proceso, es decir, la habilidad que este posee para satisfacer los límites permisibles para su uso. Cabe recalcar que las buenas prácticas mencionadas en los artículos de investigación presentados anteriormente demuestran la aplicabilidad de estos conceptos, pues es avalada por resultados como: reducción en un 68,12% de la cantidad de productos defectuosos generados al emplear el ciclo DMAIC en la industria textil india y la creación de metodologías híbridas (fusión entre el modelo PDCA y DMAIC) en una PyME tunecina para contrarrestar una pobre capacidad de proceso al incrementarla en 1.3 puntos, disminuir en un 60,51% las DPMO y, adicionalmente, estandarizar las medidas tomadas para integrarlas en su totalidad a las fases de capacitación y documentación del proceso, acompañadas de una auditoría frecuente.

Finalmente, la filosofía de *Lean Manufacturing*, considerada como un proceso sistemático y continuo que involucra tanto el compromiso y capacitación de trabajadores de planta, jefes de línea y directores de planta, tiene como principal objetivo la identificación y eliminación de los desperdicios que no generan valor agregado a los procesos, y que son fuentes de costo y sobretrabajo. De acuerdo con dicha filosofía, se propone a las PyMEs textiles la implementación de herramientas y metodologías de mejora como las 5S (gestión visual del espacio de trabajo), la estandarización de trabajo que involucra los cálculos del *Takt time* y tiempo de ciclo, el *Value Stream Mapping* para identificar el flujo de material e información, y el Poka Yoke que permite desarrollar un mecanismo a prueba de errores para prevenir productos defectuosos. De la literatura revisada previamente, destacan, como referencias, las buenas prácticas de la empresa textil peruana exportadora que, al aplicar las herramientas de 5S y Poka Yoke, incrementó su capacidad de planta en 30% (mayor productividad) y su

porcentaje de entregas a tiempo en 23%. Por otro lado, una compañía textil ecuatoriana identificó, mediante el desarrollo del VSM de su proceso de fabricación de pijamas, el puesto cuello de botella que limitaba la capacidad de producción a 1080 pijamas mensuales impidiendo cumplir con la demanda; sin embargo, luego de realizar un estudio de tiempos, la aplicación de 5S y una celda de manufactura, la capacidad se elevó a 1964 pijamas mensuales, es decir, 81.85% más respecto al valor inicial.



1.5. Bibliografía

ABBES Nedra, N. SEJRI, Y. CHAABOUNI y M. CHEIKHROUHOU (2018). "Application of Six Sigma in Clothing SMEs: A case study". IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 460. Túnez. Recuperado de: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/460/1/012009/pdf>

ABUTHAKEER S. Syath, T. PAVITHRAN, M.S.E. VIGNESHRAJ, S. VIMALKUMAR (2017). "Aggregate Planning and Inventory Management in Textile Industry". International Journal of Recent Engineering Research and Development (IJRERD), pp. 56-67. India. Recuperado de: <http://www.ijrerd.com/papers/v2-i6/30-IJRERD-B140.pdf>

AJMERA, Rajat, Prabhuling UMARANI y K.G. VALASE (2017). "Lean Six Sigma Implementation in Textile Industry". International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). Solapur, Volumen 4, número 4, pp. 1670-1676. Recuperado de: <https://www.irjet.net/archives/V4/i4/IRJET-V4I4340.pdf>

ANDERSEN, Bjørn y Tom NATLAND (2014). *ASQ Pocket Guide to Root Cause Analysis*. Segunda Edición. Milwaukee: American Society for Quality, Quality Press. Recuperado de: <http://pharmacentral.in/wp-content/uploads/2019/08/Root-Cause-Analysis.pdf>

ARRIETA, Juan, Victoria BOTERO y Maria ROMANO (2010). "Benchmarking sobre Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing) en el sector de la confección en la ciudad de Medellín, Colombia". Journal of Economics, Finance and Administrative Science. Medellín, Volumen 15, número 28, pp. 141-170. Recuperado de: <http://www.scielo.org.pe/pdf/jefas/v15n28/a07v15n28.pdf>

BALLOU, Ronald (2004). "Estrategia de Inventario". Logística: Administración de la Cadena de Suministro. México: Pearson Educación, pp. 286-550. Recuperado de: https://ulisesmv1.files.wordpress.com/2015/08/logistica_administracion_de_la_cadena_de_suministro_5ta_edicion_-_ronald_h_ballou.pdf

BANCO CENTRAL DE RESERVA DEL PERÚ (2019). *BCRPData: Manufactura no Primaria- Textil, Cuero y Calzado*. Recuperado de: <https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/mensuales/resultados/PN01920AM/html>

BANTON, Caroline (2019). *Efficiency Definition*. Investopedia. Recuperado de: <https://www.investopedia.com/terms/e/efficiency.asp>

BELLIDO, Yamil y Andrea LA ROSA (2018). *Modelo de Optimización de Desperdicios basado en Lean Manufacturing para incrementar la productividad en las Mypes del Sector Textil*. Tesis de licenciatura en Ingeniería de Gestión Empresarial. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Recuperado de: <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/624995>

BENSON, Don (2014). "Storage Space Utilization". Arizona. Consulta: 26 de setiembre de 2019. Recuperado de: http://www.warehousecoach.com/images/Storage_Space_Utilization.pdf

BETANCOURT, D. F. (2018). Cómo hacer una matriz de priorización. Ingenio Empresa. Recuperado de: <https://ingenioempresa.com/matriz-de-priorizacion/>

BIRD, Christian, Tim MENZIES y Thomas ZIMMERMANN (2015). *The Art and Science of Analyzing Software Data*. Massachusetts: Morgan Kaufmann Publishers. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/pareto-chart>

BLOCHER, James, Vincent MABERT, Ashok SONI y Munirpallam VENKATARAMANAN (2004). Forecasting: Including an Introduction to Forecasting using the SAP R/3 System. Indiana. Recuperado de: https://kelley.iu.edu/mabert/e730/Forecasting_February_2004.pdf

BOWERSOX, Donald, David CLOSS y M. Bixby COOPER (2012). "Inventory Management and Strategy". Supply Chain Logistics Management. Michigan: McGraw-Hill Education, pp. 282-327. Recuperado de: https://www.academia.edu/31653226/Supply_Chain_Logistics_Management_-_Bowersox_McGrawHill

BOYER, Ken y Rohit VERMA (2009). "Quality Improvement Methods". Operations and Supply Chain Management for the 21st Century. Massachusetts: Cengage Learning, pp. 405-424. Recuperado de: <https://books.google.com.pe/books?id=Eb4EAAAAQBAJ&pg=PR15&lpg=PR15>

CARBONEL, Piero y Miguel PRIETO (2015). *Análisis diagnóstico y presupuesto de mejora en el área de confecciones de una empresa textil*. Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Industrial. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Recuperado de: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6210>

CASTILLO, Pablo Rubén y Luis Eduardo CERRÓN (2015). *Diagnóstico y propuestas de mejoras para el rediseño de los procesos, redistribución del almacén central, y el cálculo de la proyección de la demanda en una empresa comercializadora retail de productos deportivos*. Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Industrial. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Recuperado de: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6859>

CASTRO-ZULOAGA, Carlos, Mario VELEZ-GALLEGO y Jaime CASTRO (2011). Clasificación ABC Multicriterio: Tipos de Criterios y efectos en la asignación de pesos. Medellín. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/287409439_Clasificacion_ABC_Multicriterio_Tipos_de_Criterios_y_efectos_en_la_asignacion_de_pesos

CHAU, Estefanía (2018). "Produce: micro y pequeñas empresas aportan 24% al PBI nacional". Agencia Peruana de Noticias. Lima, 29 de mayo. Recuperado de: <https://andina.pe/agencia/noticia-produce-micro-y-pequenas-empresas-aportan-24-al-pbi-nacional-711589.aspx>

COMEXPERU (2019). "Exportaciones Textiles crecieron un 6,8% en el primer trimestre del año". Semanario COMEXPERU Edición 982. Lima, 3 de mayo. Recuperado de: <https://www.comexperu.org.pe/articulo/exportaciones-textiles-crecieron-un-68-en-el-primer-trimestre-del-ano>

CRISOSTOMO, Mayra y Andrea SÁNCHEZ (2018). *Propuesta de mejora en la confección de ropa de vestir femenina de una PYME mediante la aplicación de la metodología Lean Six Sigma y herramientas VSM, 5S's y Distribución de la Planta*. Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Industrial. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Recuperado de: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/13982>

EUROMONITOR INTERNATIONAL (2019). *Consumer Expenditure on Household Textiles*. Londres. Recuperado de: <http://www.portal.euromonitor.com.ezproxy.ulima.edu.pe/portal/StatisticsEvolution/index>

FILIP, F.C. y V. MARASCU-KLEIN (2015). "The 5S lean method as a tool of industrial management performances". IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 95. Rumanía. Recuperado de: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/95/1/012127/pdf>

FLORES, Clorinda (2019). "MTPE: Las micro y pequeñas empresas de al menos dos trabajadores venderán al Estado". *Diario Correo*. Lima, 25 de mayo. Recuperado de: <https://diariocorreo.pe/economia/mtpe-las-micro-y-pequenas-empresas-de-al-menos-dos-trabajadores-venderan-al-estado-889024/>

FLORES, Willy (2017). *Análisis y propuesta de mejora de procesos aplicando mejora continua, técnica SMED y 5S, en una empresa de confecciones*. Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Industrial. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Recuperado de: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/9706>

FONDO NACIONAL DE CAPACITACIÓN LABORAL Y PROMOCIÓN DEL EMPLEO (2018). *Mapa de procesos de Fondoempleo*. Recuperado de: <https://www.irjet.net/archives/V4/i4/IRJET-V4I4340.pdf>

GESTIÓN (2019). "EE.UU. compra el 49% de textiles utilitarios que exporta Perú, estas son las oportunidades". *Diario Gestión*. Lima, 29 de abril. Recuperado de: <https://gestion.pe/economia/ee-uu-compra-49-textiles-utilitarios-exporta-peru-son-oportunidades-265078-noticia/>

GIL, Yolanda y Eva VALLEJO (2008). "GUÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS PROCESOS DE LA UNIVERSIDAD DE MÁLAGA". Universidad de Málaga. Recuperado de: http://www.uma.es/publicadores/gerencia_a/wwwuma/guiaprocesos1.pdf

GONÇALVES, Marcia (2008) "MiniDMAIC: An Approach for Causal Analysis and Resolution in Software Development Projects". *Advances in Computer and Information Sciences and Engineering*, pp. 166-171. Dordrecht. Recuperado de: <https://books.google.com.pe/books?id=XYgdrA1ClhgC&pg=PA166&dq=DMAIC&hl=es&a=X&ved=0ahUKEwi-1LC2-4vmAhUix1kKHew-BAM4ChDoAQg6MAI#v=onepage&q=DMAIC&f=false>

HYNDMAN, Rob J (2009). "Moving Average". Melbourne. Recuperado de: <https://robjhyndman.com/papers/movingaverage.pdf>

HYNDMAN, Rob J., A.B. KOEHLER, J.K. ORD y R.D. Snyder (2008). *Forecasting with Exponential Smoothing: the State Space Approach*. Springer. Recuperado de: <https://robjhyndman.com/expsmooth/>

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA (2016). Perú: Características Económicas y Financieras de las Empresas Comerciales [Informe]. Lima. Recuperado de: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1464/libro.pdf

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA (2019). Producto Bruto Interno Trimestral según Actividad Económica (Nivel 14) 2007-2018-IV (Valores a precios constantes de 2007). Lima. Recuperado de: <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/economia/>

INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION (2017). *Lean Manufacturing Techniques for Textile Industry* [manual]. El Cairo. Recuperado de: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---africa/---ro-addis_ababa/---sro-cairo/documents/publication/wcms_621441.pdf

IRANI, Shahkruh y Jin ZHOU (2011). *Value Stream Mapping of a Complete Product*. Columbus, Ohio. Recuperado de: <https://lib.asprova.com/images/stories/lean/lean-manufacturing/pdf/Value Stream Mapping of a Complete Product.pdf>

KRAJEWSKI, Lee, Manoj MALHOTRA y Larry RITZMAN (2018). "Forecasting". *Operations Management: Processes and Supply Chains*. New Jersey: Prentice Hall, pp. 283-326. Recuperado de: <http://www.washburn.edu/sobu/broach/bu347/Krajewski%20Chapter%2013.ppt>

KRUGMAN, Paul (1994). *Defining and measuring productivity. The Age of diminishing Expectations*. Recuperado de: <https://www.oecd.org/sdd/productivity-stats/40526851.pdf>

KUMARI K. Prabha, S. JAGADEESWARAN (2018). "A Study on Inventory Control Techniques in Apparel Industry ". *International Journal of Research and Review*, Vol. 5, pp. 61-66. India. Recuperado de: https://www.ijrrjournal.com/IJRR_Vol.5_Issue.2_Feb2018/IJRR009.pdf

LARSON, Jean (2013). "Las bases para el liderazgo y la cultura de clase mundial". *Management Engineering: A Guide to Best Practices for Industrial Engineering in Health Care*, pp. 129-134. Recuperado de: <https://books.google.com.pe/books?id=m0zNBQAAQBAJ&pg=PA129&dq=DMAIC+define&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjnlMmZg4zmAhXyuFkKHSLyArEQ6AEIbjAH#v=onepage&q=DMAIC%20define&f=false>

LEE, Quarterman (2006). "Strategos Guide To Cycle Counting & Inventory Accuracy.". Missouri. Recuperado de: http://www.strategosinc.com/admin/buy/cc/CC_Guide02_sample.pdf

LIMA, Fabio y Joao CHANG (2015). "Sales demand forecasting in a textile factory using artificial neural network". 26th POMS Annual Conference. Washington D.C. Recuperado de:

<https://www.pomsmeetings.org/ConfProceedings/060/Full%20Papers/Final%20Full%20papers/060-1051.pdf>

LOBATO, Francisco y Fernando L. VILLAGRÁ (2010). Gestión Logística y Comercial. Madrid. Macmillan Profesional, pp. 45-55. Recuperado de: https://www.macmillaneducation.es/wpcontent/uploads/2018/10/gestion_logistica_libroalumno_unidad3muestra.pdf

LORENTE, Leandro, Edwin CURILLO, Ramiro SARAGURO, Carlos MACHADO y Edwin ORTEGA (2018). "Lean Manufacturing Application in Textile Industry" Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, pp. 808-820. París. Recuperado de: <http://www.ieomsociety.org/paris2018/papers/155.pdf>

LUA Jiunn-Chenn y Taho YANGB (2015). "Lean Manufacturing Application in Textile Industry" International Journal of Production Research, 2015 Vol. 53, No. 8, pp. 2285–2305. Taiwan. Recuperado de: <https://mail.google.com/mail/u/0/#inbox/FMfcgxwGBwVzOLFRTbzLbWbpzfxWZgrL>

LUNA, Jessica (2018). "Ventas de las mypes peruanas representan el 19% del PBI nacional". Agencia Peruana de Noticias. Lima, 6 de agosto. Recuperado de: <https://andina.pe/agencia/noticia-ventas-las-mypes-peruanas-representan-19-del-pbi-nacional-762440.aspx>

MARTINS, Rosemary (2018). Diagrama de Flujo (Flujograma) de Proceso. Blog de La Calidad. Recuperado de: <https://blogdelacalidad.com/diagrama-de-flujo-flujograma-de-proceso/>

MENDOZA, Marcela (2017). "Oferta textil local sigue sin revertir tendencia decreciente". Diario El Comercio. Lima, 5 de septiembre. Recuperado de: <https://elcomercio.pe/economia/negocios/oferta-textil-local-sigue-revertir-tendencia-decreciente-noticia-455920>

MINISTERIO DE COMERCIO EXTERIOR Y TURISMO (2019). Perfil de textiles utilitarios del mercado de Estados Unidos [Informe]. Lima. Recuperado de: https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/comercio_exterior/plan_exportador/Penx_2025/PDM/EstadosUnidos/perfiles/3_Perfil_Textiles_Utilitarios/3_Perfil_TextilesUtilitarios_EEUU6.pdf

MRIDHA, Jaglul Hoque, Shah M. M. HASAN, Md. SHAHJALAL y Forhad AHMED (2019). "Implementation of Six Sigma to Minimize Defects in Sewing Section of Apparel Industry in Bangladesh". Global Journal of Researches in Engineering Vol. 19 Issue 3, pp. 1-7. Bangladesh. Recuperado de: https://globaljournals.org/GJRE_Volume19/1-Implementation-of-Six-Sigma-to-Minimize.pdf

OCAMPO Jared y Aldo PAVÓN (2012). "Integrando la Metodología DMAIC de Seis Sigma con la Simulación de Eventos Discretos en Flexsim". Tenth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology. Panamá. Recuperado de: <http://laccei.org/LACCEI2012-Panama/RefereedPapers/RP147.pdf>

ORDOÑEZ, William y Jorge TORRES (2018). *Análisis y mejora de procesos en una empresa textil empleando la metodología DMAIC*. Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Industrial. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Recuperado de: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/5287>

PATIL, Parikshit, Sangappa PARIT y Y.N. BURALI (2013). "Poka Yoke: The Revolutionary Idea In Total Productive Management". *International Journal Of Engineering And Science*, Vol. 2, pp. 19-24. India. Recuperado de: <http://www.researchinventy.com/papers/v2i4/D024019024.pdf>

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ (2015). Guía PUCP para el registro y el citado de fuentes documentales. Recuperado de: http://files.pucp.edu.pe/homepucp/uploads/2016/06/08105745/Guia_PUCP_para_el_registro_y_citado_de_fuentes-2015.pdf

RĂDĂȘANU, Alin (2011). "Inventory management, service level and safety stock" *Journal of Public Administration, Finance and Law* 09, pp. 145-153. Recuperado de: http://www.jopafll.com/uploads/issue9/INVENTORY_MANAGEMENT_SERVICE_LEVEL_AND_SAFETY_STOCK.pdf

RAUSAND, Marvin y Arnljot HOYLAND (2003). *System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications*. Segunda Edición. New Jersey: Wiley-Interscience. Recuperado de: <https://www.ntnu.edu/documents/624876/1277590549/chapt03-cause-effect.pdf/ac50c32b-fd6f-4d75-9039-9d0bac502182>

REM ASSOCIATES MANAGEMENT CONSULTANTS (1999). "Inventory Cycle Counting". New Jersey. Recuperado de: <http://www.remassoc.com/portals/0/remwpicc.pdf>

SAMOHYL, R.W. (2009). *Controle Estatístico de Qualidade*. Brasil: Campus Elsevier. Recuperado de: <https://docero.com.br/doc/x81100>

SECRETARÍA GENERAL DE LAS NACIONES UNIDAS (2006). *Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas (CIU) [Informe]*. Lima. Recuperado de: https://unstats.un.org/unsd/publication/SeriesM/seriesm_4rev4s.pdf

SENSEI LEAN- PRODUCTIVIDAD INDUSTRIAL (2014). *Lean Manufacturing en el Perú - Rumbo al World Class Manufacturing*. Recuperado de: <http://senseilean.blogspot.com/2013/06/lean-manufacturing-en-el-peru-rumbo-al.html>

SOCCONINI, Luis (2019). "Las bases para el liderazgo y la cultura de clase mundial". *Lean Manufacturing: Paso a paso*. Barcelona: Marge Books, pp. 13-73. Recuperado de: <https://books.google.com.pe/books?id=rjyeDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=lean+manufacturing&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi4itzsuYvmAhXEx1kKHUBRDO0Q6AEIJzAA#v=onepage&q=lean%20manufacturing&f=false>

THOMPSON, Jayne (2018). *How to Calculate First Pass Yield*. Bizfluent. Recuperado de: <https://bizfluent.com/how-7386384-calculate-first-pass-yield.html>

UNIVERSIDAD ESAN (2015). Takt Time: ¿En qué consiste y cómo aplicarlo? Conexión ESAN. Recuperado de: <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2015/08/takt-time-consiste-como-aplicarlo/>

VALLES, Adan, Jaime SANCHEZ, Salvador NORIEGA y Berenice GOMEZ (2009). "Implementation of Six Sigma in a Manufacturing Process: A Case Study ". International Journal of Industrial Engineering, 16(3), pp. 171-181. Mexico. Recuperado de: <http://journals.sfu.ca/ijietap/index.php/ijie/article/viewFile/263/106>

VÁSQUEZ, José, Jonatán ROJAS y Alexia CÁCERES (2018). "Mejora de los Indicadores de productividad en una empresa textil mediante la sinergia de herramientas de Lean Manufacturing y el enfoque Sociotécnico". 16th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology. Lima. Recuperado de: http://www.laccei.org/LACCEI2018-Lima/full_papers/FP126.pdf

VELASQUEZ, Patricia y Andreí PAULINO (2018). *Diagnóstico y propuesta de mejora en los procesos de almacenamiento y picking empleando lean manufacturing y clasificación de inventario*. Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Industrial. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.

