

LEAN MANUFACTURING: UNA REVOLUCIÓN

LEAN MANUFACTURING: UNA REVOLUCIÓN

DONDE CADA MINUTO ES DINERO Y CADA
DESPERDICIO ES UNA OPORTUNIDAD

MIGUEL ÁNGEL ARIZA G.

RICARDO ANDRÉS MARTÍN M.



**UNIVERSIDAD
SERGIO ARBOLEDA**
Escuela de Ciencias Exactas
e Ingeniería

ECOE
EDICIONES



Lean Manufacturing: una revolución donde cada minuto es dinero y cada desperdicio es una oportunidad / Miguel Ángel Ariza G., Ricardo Andrés Martín M. - Bogotá: Universidad Sergio Arboleda ; Ecoe Ediciones, 2025.

268 p.

ISBN: 978-958-508-497-1 (rústico), 978-958-508-498-8 (*pdf*), 978-958-508-499-5 (ePub)

1. Administración de la producción 2. Administración de la producción - Métodos estadísticos 3. Control de la producción 4. Control de calidad 5. Eficiencia industrial I. Martín M., Ricardo Andrés

658.5 ed. 22 CDD

LEAN MANUFACTURING: UNA REVOLUCIÓN DONDE CADA MINUTO ES DINERO Y CADA DESPERDICIO ES UNA OPORTUNIDAD

ISBN: 978-958-508-497-1 (rústico)

ISBN: 978-958-508-498-8 (*pdf*)

ISBN: 978-958-508-499-5 (ePub)

DOI: 10.59979/ECOE.9789585084971.9789585084988.9789585084995

© **Universidad Sergio Arboleda, 2025**
Escuela de Ciencias Exactas e Ingeniería

© **Grupo Editorial Ecoe Ediciones S.A.S.**

Primera edición: abril de 2025

Autores:

Miguel Ángel Ariza G.

Ricardo Andrés Martín M.

Coedición realizada por el Fondo de Publicaciones de la Universidad Sergio Arboleda y Grupo Editorial Ecoe Ediciones.

Queda prohibida toda reproducción, por cualquier medio, sin previa autorización escrita de los editores. El contenido del libro no representa la opinión de la Universidad Sergio Arboleda ni de Ecoe Ediciones y es responsabilidad de los autores.

Dirección de Publicaciones:

Diana Niño-Muñoz

Diseño y diagramación:

Myriam Enciso F.

Dirección editorial Ecoe:

Ana María Rueda García

Coordinadora de producción editorial Ecoe:

Alejandra Rondón Forero

Edición:

Ecoe Ediciones

Corrección de estilo:

Andrés Caro

Imagen de portada:

Ricardo Gomez Angel en Unsplash

Impresor:

Carvajal Soluciones de Comunicación S.A.S.

Carrera 69 # 15 - 24

Fondo de Publicaciones

Universidad Sergio Arboleda

Calle 74 No. 14-14

Teléfono: (57) 601 3257500 ext. 2131/2260

www.usergioarboleda.edu.co

Bogotá, D. C.

Ecoe Ediciones S.A.S

info@ecoeediciones.com / www.ecoeediciones.com

Carrera 19 # 63 C 32 - Tel.: +57 321 226 4609

Bogotá, Colombia

Contenido

Acerca de los autores	17
Miguel Ángel Ariza.....	17
Ricardo Andrés Martín	18
Prefacio.....	19
Introducción	21
Capítulo 1. Lean manufacturing.....	25
1.1. Lean y el sistema de producción Toyota.....	25
1.2. Comprensión del pensamiento.....	34
1.3. Limitantes de la productividad.....	40
1.3.1. Muri.....	42
1.3.2. Mura.....	44
1.3.3. Muda	46
Capítulo 2. Procesos, calidad y voz del cliente	57
2.1. Procesos.....	57
2.2. Calidad	58
2.3. Voz del cliente	63
2.3.1. Modelo Kano	65
2.4. Costos de la no calidad.....	76
2.4.1. ¿Cómo reportar los costos de calidad?	77
Capítulo 3. Análisis causa raíz.....	85
3.1. El problema de la calidad.....	85
3.2. Pasos para el análisis de causa raíz.....	88
3.2.1. Identificación y formulación del problema	90
3.2.2. Análisis del problema por medio de datos	97
3.2.3. Metodologías para la identificación de causas.....	109
3.3. Evaluación y selección de alternativas.....	122
3.3.1. Método de evaluación y selección de alternativas	126
3.4. AMEF	132

Capítulo 4. Beneficios del SIPOC y del VSM.....	141
4.1. VSM.....	141
4.1.1. ¿Cómo graficar el VSM?.....	142
4.1.2. Caso aplicado	147
4.2. SIPOC	155
Capítulo 5. Estadística para el análisis de procesos	161
5.1. Pensamiento estadístico.....	163
5.2. Medidas de tendencia central.....	165
5.2.1. Media aritmética.....	166
5.2.2. Media ponderada.....	168
5.2.3. Media geométrica	168
5.2.4. Media armónica.....	169
5.2.5. Mediana	170
5.2.6. Moda	171
5.3. Medidas de variabilidad	171
5.4. Otras medidas	172
5.4.1. Asimetría	172
5.4.2. Curtosis.....	173
5.5. Muestreo estadístico.....	174
5.5.1. Tamaño de la muestra	175
5.5.2. Muestreo aleatorio simple	178
5.5.3. Muestreo aleatorio estratificado	180
5.5.4. Muestreo aleatorio por conglomerados.....	181
5.5.5. Muestreo aleatorio sistemático.....	182
5.6. Distribución muestral.....	183
5.6.1. Distribución de la media.....	183
5.6.2. Distribución de la proporción	186
5.7. Distribución normal	186
Capítulo 6. Elementos del Gauge R y R.....	193
6.1 Repetibilidad y reproducibilidad (estudio R y R).....	193
6.2 Pasos para realizar un estudio RyR.....	195
6.3 Ejemplo de estudio de RyR a través de cartas de control ($\bar{x}$)	197
Capítulo 7. Medición de la capacidad de los procesos.....	225
7.1. Índices de capacidad.....	225
7.2 Métricas Seis sigma	233
7.3. Defectos por millón de oportunidades DPMO	237
7.3.1. Rendimiento (<i>yield</i>).....	238
7.4. Estabilidad y capacidad.....	241

Capítulo 8. Ejercicio caso aplicado.....	243
8.1. Descripción del caso	243
8.2. Objetivo del caso de estudio	246
8.3. Aplicación de diagrama Ishikawa al caso en estudio	246
8.4. Aplicación del diagrama Pareto	248
8.5. Aplicación del DPMO.....	250
8.6. Evento kaizen al caso aplicado.....	256
Capítulo 9. Conclusiones y recomendaciones.....	261
9.1. Conclusiones	261
9.2. Recomendaciones.....	263
Bibliografía	265

Lista de figuras

Capítulo 1. <i>Lean manufacturing</i>	25
Figura 1. Karl Friedrich Benz.....	26
Figura 2. Ford Modelo T.....	28
Figura 3. Principios Toyota	34
Figura 4. Productividad.....	41
Figura 5. Muri.....	43
Figura 6. Perno M2	45
Figura 7. Mura	46
Figura 8. Definición de trabajo.....	47
Figura 9. Problemas ocultos de la sobreproducción	50
Figura 10. Kaizen	51
Figura 11. Propósito del kaizen.....	53
Figura 12. Muri, mura, muda	54
Capítulo 2. Procesos, calidad y voz del cliente	57
Figura 1. Proceso	57
Figura 2. La función de pérdida de calidad de Taguchi	60
Figura 3. Caso de estudio Sony: densidad de color en los televisores.....	61
Figura 4. Calidad esperada y calidad latente	64
Figura 5. Gráfica del modelo Kano.....	66
Figura 6. Gráfica modelo Kano de la droguería.....	76
Figura 7. Costo anual de la calidad para el ejemplo: fabricante de llantas	82
Figura 8. Parámetros de medición del servicio al cliente en una empresa	83
Capítulo 3. Análisis causa raíz.....	85
Figura 1. Los seis pasos del control	87
Figura 2. Perno E502.....	91
Figura 3. Letra código de tamaño de muestra	100
Figura 4. Planes de muestreo simple para inspección normal.....	101
Figura 5. Cantidad de unidades por tipo de no conformidad.....	105
Figura 6. Unidades no conformes por tipo de medida.....	106
Figura 7. Porcentaje incumplimiento por tipo de medida.....	107
Figura 8. Pareto del tipo de medida.....	108
Figura 9. Etapas para el estudio organizacional	111
Figura 10. Diagrama Ishikawa	112
Figura 11. Diagrama Ishikawa para el caso del perno E502	114
Figura 12. Horizonte de la planificación.....	126

Figura 13. Plan de implementación	127
Figura 14. Plan de implementación del perno E502	131
Figura 15. Fases del AMEF	133
Figura 16. Ejemplo formato AMEF	138
Capítulo 4. Beneficios del SIPOC y del VSM.....	141
Figura 1. Diagrama del proceso de despulpado Ref. Botella 250 ml de maracuyá	147
Figura 2. VSM presente.....	148
Figura 3. Gráfico de TC vs. TKT	151
Figura 4. VSM futuro	153
Figura 5. SIPOC.....	155
Capítulo 5. Estadística para el análisis de procesos	161
Figura 1. Pensamiento estadístico en la organización.....	164
Figura 2. Variables de un proceso.....	165
Figura 3. Asimetría.....	173
Figura 4. Curtosis	174
Figura 5. Muestreo aleatorio simple	179
Figura 6. Muestreo estratificado.....	180
Figura 7. Muestreo por conglomerados	181
Figura 8. Distribución muestral.....	185
Figura 9. Distribución normal estándar	189
Figura 10. Áreas bajo la curva	190
Capítulo 6. Elementos del Gauge R y R.....	193
Figura 1. Diagrama de variación total observada.....	194
Figura 2. Análisis de exactitud y precisión	195
Figura 3. Estudio RyR - factor cruzado	196
Figura 4. Estudio RyR - factor anidado	197
Figura 5. Paso 1 tabla RyR.....	199
Figura 6. Paso 2 tabla RyR.....	200
Figura 7. Paso 3 tabla RyR.....	201
Figura 8. Paso 4 tabla RyR.....	202
Figura 9. Paso 5 tabla RyR.....	203
Figura 10. Paso 6 tabla RyR.....	204
Figura 11. Paso 7 tabla RyR.....	205
Figura 12. Paso 8 tabla RyR.....	206
Figura 13. Paso 9 tabla RyR.....	207
Figura 14. Guía para identificación de la constante D4y d2	208
Figura 15. Paso 10 tabla RyR.....	209
Figura 16. Diferencia entre el máximo y mínimo de las sumatorias de las muestras	211
Figura 17. Paso 11 tabla RyR.....	212
Figura 18. Paso 12 tabla RyR.....	213
Figura 19. Paso 13 tabla RyR.....	214
Figura 20. Paso 14 tabla RyR.....	215
Figura 21. Interpretación variación del sistema de medición	216
Figura 22. Promedios de las mediciones para cada parte (original-réplica).....	218
Figura 23. Cálculo de variación total	219
Figura 24. Porcentaje de variación total.....	220
Figura 25. Cálculo del número de categorías distintas o distinguibles (nc).....	221
Figura 26. Gage R&R ($Xbar/R$).....	223

Capítulo 7. Medición de la capacidad de los procesos.....	225
Figura 1. Perno E502.....	226
Figura 2. Calidad Seis Sigma.....	235
Figura 3. Diagrama de proceso.....	239
Figura 4. Rendimiento tradicional	240
Figura 5. Rendimiento a la primera vez	240
Figura 6. Rendimiento global	241
Capítulo 8. Ejercicio caso aplicado.....	243
Figura 1. VSM proceso de aplicación de segundo calificador.....	245
Figura 2. Diagrama Ishikawa	247
Figura 3. Diagrama de Pareto	250
Figura 4. VSM identificando evento kaizen	255
Figura 5. Fotografía de evidencia de reunión día 1 evento kaizen	258
Figura 6. Fotografía evidencia 2 de reunión día 1 evento kaizen	258
Figura 7. Foto de presentación de información asociada al proceso segundo calificador	259

Lista de tablas

Capítulo 2. Procesos, calidad y voz del cliente	57
Tabla 1. Evolución de la calidad.....	62
Tabla 2. Evolución de la norma ISO 9001	63
Tabla 3. Tabla estándar Kano de evaluación requerimientos funcionales y disfuncionales.....	69
Tabla 4. Preguntas del estudio caso modelo Kano.....	70
Tabla 5. Tabla tipo matriz de las respuestas obtenidas	71
Tabla 6. Mapa de atributos.....	74
Tabla 7. Mapa de atributos a través de la frecuencia relativa	75
Capítulo 3. Análisis causa raíz.....	85
Tabla 1. Cotas perno E502	91
Tabla 2. Características del perno E502	92
Tabla 3. Informe producto no conforme (cotas).....	103
Tabla 4. Informe producto no conforme (características)	104
Tabla 5. Ejemplos de identificación y análisis	135
Tabla 6. Criterios severidad.....	136
Tabla 7. Criterios ocurrencia.....	136
Tabla 8. Criterios detección.....	136
Capítulo 4. Beneficios del SIPOC y del VSM.....	141
Tabla 1. Ejemplo matriz familia de productos.....	142
Tabla 2. Símbolos (1) para diagramación del VSM.....	144
Tabla 3. Símbolos (2) para diagramación del VSM.....	145
Tabla 4. Símbolos (3) para diagramación del VSM.....	146
Tabla 5. Símbolos (4) para diagramación del VSM.....	147
Tabla 6. SIPOC ejercicio de manufactura Ref. Botellas 250 ml maracuyá.....	159
Capítulo 5. Estadística para el análisis de procesos	161
Tabla 1. Dimensiones del pensamiento estadístico.....	162
Tabla 2. Ejemplo media aritmética datos no agrupados.....	167
Tabla 3. Ejemplo media con datos extremos	167
Tabla 4. Ejemplo media ponderada	168
Tabla 5. Ejemplo media geométrica.....	169
Tabla 6. Ejemplo media armónica	169
Tabla 7. Ejemplo de mediana	170
Tabla 8. Nivel de confianza.....	176
Tabla 9. Tamaño de la muestra	178
Tabla 10. Resultados para cinco muestras.....	184

Capítulo 6. Elementos del Gauge R y R.....	193
Tabla 1. Datos del ejercicio RyR Cruzado.....	198
Tabla 2. De la constante K2	212
Tabla 3. Interpretación % Variación (% Tolerancia, % Proceso).....	216
Tabla 4. Promedios de las mediciones para cada parte (original-réplica)	217
Tabla 5. Tabla resumen del comportamiento de los datos del sistema RyR.....	222
Capítulo 7. Medición de la capacidad de los procesos.....	225
Tabla 1. Cotas perno E502.....	226
Tabla 2. Interpretación C_p	228
Tabla 3. Índices de capacidad C_p , C_{pk}	230
Tabla 4. Nivel Sigma.....	233
Tabla 5. Relación nivel sigma y costos de calidad.....	236
Tabla 6. Calidad corto y largo plazo en PMM e índice Z.....	236
Capítulo 8. Ejercicio caso aplicado.....	243
Tabla 1. Secuencia de actividades descritas proceso segundo calificador.....	243
Tabla 2. Frecuencias (absoluta, relativa y relativa acumulada) de sub-causas	248
Tabla 3. Pareto de sub-causas.....	249
Tabla 4. Tabla de distribución normal estándar	252
Tabla 5. DPMO Caso aplicado	254
Tabla 6. Característica a trabajar en el evento kaizen	255

Acerca de los autores

Miguel Ángel Ariza

Doctor en ingeniería de procesos, magister en ingeniería de procesos y sistemas industriales, especialista en matemáticas aplicadas, Black Belt Lean Six Sigma, con una amplia trayectoria de 15 años en empresas de servicio y manufactura desempeñando roles de consultoría, dirección y administración de proyectos de ingeniería, planeación estratégica, estudios de optimización de procesos organizacionales y gestión de estrategias, así como objetivos e indicadores de gestión (KPI y OKR).



En docencia universitaria cuenta con una experiencia de 10 años desempeñándose como docente de pregrado y postgrado a nivel maestría y especialización, enfocado en la enseñanza por competencias de asignaturas asociadas a la ingeniería, la matemática aplicada y la estadística, donde ha desarrollado sus habilidades de liderazgo estratégico, orientación al logro, capacidad de análisis y adaptabilidad al cambio, entre otras competencias tecnológicas, personales y profesionales.

Ricardo Andrés Martín

Ingeniero industrial, especialista en gerencia estratégica y en estadística aplicada, y magister en ingeniería de procesos. Docente de pregrado en el programa de Ingeniería Industrial de la Universidad Sergio Arboleda. Además, es parte del cuerpo docente de la Maestría en Gerencia de Producción y Operaciones, la Maestría en Gestión y Optimización de la Calidad, y la Especialización en Dirección y Gestión de Proyectos de la misma Universidad. También se desempeña como coordinador de investigación del Semillero de Investigación en Lean y Cadena de Suministro.



Cuenta con una sólida trayectoria en la implementación de programas de mejora de procesos, tanto a nivel académico, como empresarial, utilizando metodologías ágiles como el Sistema de Producción de Toyota (TPS), *lean six sigma*, *scrum* y *design thinking*.

Esta experiencia le ha permitido liderar iniciativas de acreditación internacional ante el Council for Six Sigma, optimizar programas académicos y desarrollar propuestas innovadoras para programas educativos con un enfoque STEAM, orientados a la industria 4.0.

Actualmente, se desempeña como consultor en mejora de procesos, tanto en el ámbito académico, como empresarial, además de ser capacitador y entrenador en la metodología *lean six sigma*, formando cinturones *yellow*, *green* y *black*.

Prefacio

Al iniciar la revisión de este libro por petición de los autores, con quienes he compartido valioso tiempo en la docencia, me di cuenta del maravilloso objetivo que persiguen: brindar conocimiento práctico basado en la teoría y experiencia. Saber combinar teoría, experiencia y comunicarlo de manera práctica, es un desafío para cualquier consultor o profesor universitario.

Durante la lectura del libro, se va aprendiendo no solo el concepto de *teoría* y cómo es posible aplicarlo a las diferentes situaciones, sino que se va entendiendo el contexto histórico en el cual se desarrollaron las ideas de mejora y su búsqueda para implementarlas.

Algo que podemos aprender de nuestra historia es la constante búsqueda de mejorar nuestra posición en el mundo y ahora en el universo; es decir, nos hemos desarrollado como especie buscando aprovechar los recursos que tenemos a nuestra disponibilidad, proveyendo un bien o servicio que ayude a nuestra sociedad. En esta constante búsqueda, la generación del conocimiento ha permitido que crezcamos en los hombros de las anteriores generaciones. Los profesores Miguel Ariza y Ricardo Martín ofrecen conocimiento para el lector, donde podemos subirnos a sus hombros y seguir evolucionado como profesionistas y aportando a nuestra sociedad y a las empresas donde nos desenvolvemos.

Durante esta lectura, recordé varias situaciones que me sucedieron a lo largo de mi experiencia como consultor internacional, situaciones donde pude utilizar conocimiento técnico y práctico, dando un beneficio financiero y cultural en las empresas. Aquí viene el desafío de los profesionistas, no solo tener claridad en la teoría, sino implementarlo a la práctica. El mayor desafío es

trascender en las empresas, en su cultura. El cambio de hábitos es fundamental ya que se es parte del ADN de cualquier empresa. Si la empresa tiene implementado el concepto de mejora continua (actividades *kaizen*), con elementos como tener constante retroalimentación, tanto interna como externa (voz del cliente), y saber mapear los procesos (SIPOC, VSM, SMED), hará que cada paso sea uno más hacia la excelencia. Pero la excelencia empieza en el día a día, en la operación del día a día.

Al final de la lectura, quienes hemos disfrutado de este libro, sabemos que lo que hemos leído se puede implementar y generar beneficios económicos, sustentado en el cambio cultural. Si pudiera, daría este libro a todos mis clientes, y ahora amigos, donde he realizado consultoría, para que, de manera sencilla, su curva de aprendizaje tenga bases sólidas en las metodologías de mejora continua.

Agradezco la confianza de los profesores, depositada en mi experiencia, para revisar y dar retroalimentación a este libro. El tiempo que hemos compartido como docentes ha sido bastante educativo y, como compañeros de profesión, he constatado su gran aporte a la sociedad colombiana.

Rafael Silva Pérez, consultor internacional

Marzo de 2024

resolver estos problemas, eran las que surgían y perduraban en el tiempo. De igual forma operan las organizaciones, cada una se enfrenta a sus propios problemas y cuenta con una serie de recursos limitados, y solo las que logran resolver estas cuestiones son las que se mantienen a lo largo del tiempo. ¿Acaso esto no es el fin último de una empresa, que sea perdurable en el tiempo?

Hoy en día, ya no es necesario llegar a ejecutar procesos de prueba y error para generar aprendizaje, además que esto resulta ser muy costoso y genera otros efectos no deseados. Afortunadamente, este camino ya fue recorrido por grandes ingenieros en las industrias y se ha logrado recopilar una gran cantidad de información que ha sido traducida en herramientas y técnicas de mejoramiento, a lo que se le acuña el nombre de “mejoramiento continuo”, el cual provee la posibilidad para que distintas organizaciones, no importa a lo que se dediquen o su tamaño en términos de producción y cantidad de personal, tengan la posibilidad de implementar técnicas y herramientas para lograr mejorar sus procesos y así perdurar en el tiempo.

El enfoque de *lean six sigma yellow belt* está definido como una metodología centrada en mejorar la eficiencia y la efectividad de los procesos empresariales. En este nivel, los participantes aprenden los fundamentos de *lean six sigma*, incluyendo los principios de reducción de desperdicios y la mejora continua. Se busca que se adquieran habilidades para identificar problemas, analizar procesos y contribuir a proyectos de mejora en equipo. Su enfoque está en las prácticas que eliminan actividades que no agregan valor, optimizando así los recursos y mejorando la calidad del producto o servicio.

La aplicación de *lean six sigma yellow belt* en las empresas permite una mayor comprensión y participación en procesos de mejora continua. Donde las personas suelen actuar como agentes de cambio, facilitando la identificación y la eliminación de ineficiencias en los procesos cotidianos. Esto no solo incrementa la productividad y reduce costos, sino que también mejora la satisfacción del cliente al garantizar entregas más rápidas y de mayor calidad. Además, fomenta una cultura organizacional orientada al detalle, al análisis crítico y a la toma de decisiones basada en datos.

Los beneficios de implementar *lean six sigma* se extiende más allá de las mejoras operativas y financieras. Contribuye a un ambiente laboral más armónico y

eficiente, donde las personas se sienten valorados y parte activa de los esfuerzos de mejora. Esta inclusión promueve el compromiso y la responsabilidad, facilitando así la adaptación a los cambios y la innovación. En última instancia, las personas que invierten en esta formación se benefician de una mayor alineación estratégica y operacional, lo que les permite responder con agilidad a las demandas del mercado y mantener una ventaja competitiva sostenible.

A lo largo de este libro se encuentran casos prácticos aplicados, con los que podrá entender las distintas herramientas que se manejan. Con una combinación teórica y práctica se busca que adquiera los conocimientos para reducir los costos de calidad de forma preventiva y correctiva, con este enfoque se espera una claridad en las herramientas y en qué momentos pueden ser utilizadas, recordando que lo más importante en una organización son las personas, ya que una organización existe gracias a las personas y está diseñada para atender las necesidades de las personas.