

# APLICACIÓN DE TÉCNICAS PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD Y MEJORA CONTINUA EN LAS ORGANIZACIONES

AUTORES

MARÍA DEL SOCORRO FLORES SERRANO

LILIANA FUENTES ROSAS

ANIBAL GAUDENCIO LÓPEZ CABRERA

LUCILA GUADALUPE TOBÓN GALICIA

LETICIA VÁZQUEZ TZITZIHUA



# APLICACIÓN DE TÉCNICAS PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD Y MEJORA CONTINUA EN LAS ORGANIZACIONES

## AUTORES

MARÍA DEL SOCORRO FLORES SERRANO  
LILIANA FUENTES ROSAS  
ANIBAL GAUDENCIO LÓPEZ CABRERA  
LUCILA GUADALUPE TOBÓN GALICIA  
LETICIA VÁZQUEZ TZITZIHUA

## EDITORIAL

©RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C. 2020



EDITA: RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C.  
DUBLÍN 34, FRACCIONAMIENTO MONTE MAGNO  
C.P. 91190. XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO.  
CEL 2282386072  
PONCIANO ARRIAGA 15, DESPACHO 101.  
COLONIA TABACALERA  
DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC  
C.P. 06030. MÉXICO, D.F. TEL. (55) 55660965  
[www.redibai.org](http://www.redibai.org)  
[redibai@hotmail.com](mailto:redibai@hotmail.com)

ISBN: 978-607-8617-82-1



Sello editorial: Red Iberoamericana de Academias de Investigación, A.C.  
(607-8617)  
Primera Edición, Xalapa, Veracruz, México.  
No. de ejemplares: 200  
Presentación en medio electrónico digital: Cd-Rom formato PDF 8.5 MB  
Fecha de aparición 30/11/2020  
ISBN 978-607-8617-82-1



RED IBEROAMERICANA  
DE ACADEMIAS DE  
INVESTIGACIÓN A.C.

SELLO EDITORIAL  
INDAUTOR/ISBN  
607-8617

Dublín 34  
Fracc. Monte Magno  
Xalapa, Ver.  
C.P. 91193

**CERTIFICACIÓN EDITORIAL DEL LIBRO ELECTRÓNICO APLICACIÓN DE  
TÉCNICAS PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD Y MEJORA  
CONTINUA EN LAS ORGANIZACIONES  
(ISBN 978-607-8617-82-1)**

La Red Iberoamericana de Academias de Investigación A.C. con el sello editorial N° 607-8617 otorgado por la agencia mexicana de ISBN, hace constar que el libro electrónico **APLICACIÓN DE TÉCNICAS PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD Y MEJORA CONTINUA EN LAS ORGANIZACIONES** con ISBN 978-607-8617-82-1; es publicado por nuestro sello con fecha del 30 de noviembre de 2020 cumpliendo con todos los requisitos de calidad científica y normalización que exige nuestra política editorial.

**Aplicación de técnicas para el incremento de la productividad y mejora continua en las organizaciones** fue arbitrado bajo el sistema de administración y publicación de libros electrónicos OJS versión 3.2.0.3. del Public Knowled Project cuyo desarrollo promueve las tecnologías para el uso de la investigación académica. El proceso de arbitraje constó de dos etapas.

La primera revisión fue realizada por parte de la Secretaría Técnica de la REDIBAI. AC, en conjunto con el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca quien verificó que la propuesta cumpliera con los requisitos básicos establecidos: enfoque temático, extensión, apego a las normas de citación, estructura, formato, entre otros. Posteriormente el trabajo pasó a una primera lectura a cargo del Editor en Jefe que forma parte del Comité Editorial del sello editorial, quien determinó la pertinencia de la propuesta y decidió que cumplía con los requisitos de calidad académica. Esta fase se desarrolló en un tiempo de 15 días.

En la segunda etapa el trabajo se sometió al proceso de evaluación de pares académicos a través del procedimiento doble ciego, a cargo de árbitros anónimos especialistas en el tema pertenecientes a instituciones educativas a nivel nacional e internacional, lo que busca garantizar la calidad de las revisiones. Ningún veredicto de los dictaminadores fue contradictorio, por lo que no se recurrió a un tercer árbitro para tomar la decisión final de publicarlo, el resultado de este esfuerzo académico y científico fue aprobado. Este proceso comprendió de dos meses.



RED IBEROAMERICANA  
DE ACADEMIAS DE  
INVESTIGACIÓN A.C.

SELLO EDITORIAL  
INDAUTOR/ISBN  
607-8617

Dublín 34  
Fracc. Monte Magno  
Xalapa, Ver.  
C.P. 91193

El proceso de evaluación de las dos etapas se desarrolló en un tiempo promedio de 2 meses y medio, iniciado desde el momento de su recepción el 20 de agosto de 2020, hasta la terminación del arbitraje el 05 de noviembre de 2020 y se publicó el 30 de noviembre de 2020 tomando en cuenta los criterios de originalidad, pertinencia, relevancia de los hallazgos, manejo de la teoría especializada, rigor metodológico, congruencia, claridad argumentativa y calidad de la redacción.

El cuerpo de arbitraje estuvo integrado por los cuerpos académicos pertenecientes al comité científico de la REDIBAI MyD y al comité científico del Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca

Todos los soportes concernientes a los procesos editoriales y de evaluación reposan en Editorial REDIBAI, las cuales ponemos a disposición de la comunidad académica interna y externa en el momento que se requiera.

Atentamente

Xalapa Enríquez, Veracruz, a 30 de noviembre de 2020

**MTRO. DANIEL ARMANDO OLIVERA GÓMEZ**

Editor

Secretario Ejecutivo de la REDIBAI A.C.



# APLICACIÓN DE TÉCNICAS PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD Y MEJORA CONTINUA EN LAS ORGANIZACIONES

## AUTORES

MARÍA DEL SOCORRO FLORES SERRANO

LILIANA FUENTES ROSAS

ANIBAL GAUDENCIO LÓPEZ CABRERA

LUCILA GUADALUPE TOBÓN GALICIA

LETICIA VÁZQUEZ TZITZIHUA





## RESEÑA

### **María del Socorro Flores Serrano**



Docente de tiempo completo en el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, reconocimiento al perfil deseable otorgado por el Prodep, colaboradora en el cuerpo académico “Productividad y Mejora Continua”, Certificada en Lean Manufacturing , ponente en Congresos Nacionales e Internacionales, publicaciones en revistas con arbitraje e indizadas, directora de tesis de maestría y licenciatura.

#### **Formación Académica:**

Licenciatura en Ingeniería Industrial

Maestría en Ingeniería Industrial

**Número Orcid:** <https://orcid.org/0000-0003-1124-664X>

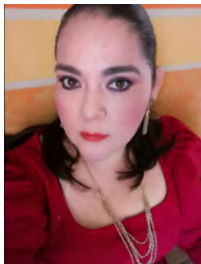
### **Liliana Fuentes Rosas**



Es licenciada en Ingeniería Industrial, con Maestría en Ciencias en Ingeniería Administrativa y candidata a Doctora en Ciencias de la Administración. Con 10 años de experiencia en el manejo de la técnica de simulación. Certificada por SIMIO®. Ponente en Congresos nacionales e internacionales. Ha escrito artículos para revistas nacionales e internacionales y tiene más de diez capítulos de libros. Imparte cursos sobre simulación y administración de personal. Ostenta el reconocimiento a Perfil Deseable por parte del PRODEP y es líder del Cuerpo Académico Productividad y Mejora Continua. Es profesora de tiempo completo en el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca en la División de Estudios de Ingeniería Industrial y División de Estudios de Posgrado e Investigación en la Maestría en Ingeniería Industrial.

**Número Orcid:** <https://orcid.org/0000-0002-7285-5169>

### **Lucila Guadalupe Tobón Galicia**



Docente de tiempo completo en el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, reconocimiento al perfil deseable otorgado por el Prodep, colaboradora en el cuerpo académico “Productividad y Mejora Continua”, ponente en Congresos Nacionales e Internacionales, publicaciones en revistas con arbitraje e indizadas, directora de tesis de maestría y licenciatura.

#### **Formación Académica:**

Licenciatura en Ingeniería Industrial.

Maestría en Ingeniería Industrial.

Doctorado en Administración y Desarrollo empresarial.

**Número Orcid:** <https://orcid.org/0000-0001-8836-667X>

### **Leticia Vázquez Tzitzihua**



Docente de tiempo completo en el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, reconocimiento al perfil deseable otorgado por el Prodep, colaboradora en el cuerpo académico “Productividad y Mejora Continua”, ponente en Congresos Nacionales e Internacionales, publicaciones en revistas con arbitraje e indizadas, directora de tesis de maestría y licenciatura.

#### **Formación Académica:**

Licenciatura en Ingeniería Industrial.

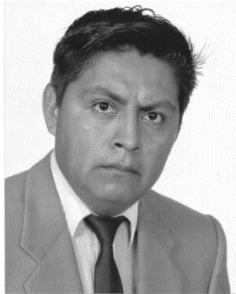
Maestría en Ingeniería con especialidad en Productividad y Calidad.

Doctorado en Administración y Desarrollo empresarial.

**Número Orcid: 0000-0002-3848-240X**

**9017312**

### **Anibal Gaudencio López Cabrera**



Es docente en la división de Ingeniería Industrial del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca y colaborador en el cuerpo académico “Productividad y Mejora Continua”. Es autor de artículos publicados en revistas indizadas y/o con arbitraje además de ser ponente en congresos nacionales. Tiene maestría en Ingeniería Industrial con especialidad en Simulación, y licenciatura también en Ingeniería Industrial. Cuenta con certificación en SIMIO LLC por parte de ORCASIM y sus intereses son en el área de Investigación de operaciones.

**Número Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7439-8715>**



## Prólogo

En un mundo altamente competitivo, como el actual, las organizaciones deben estar a la vanguardia en cuanto a avances tecnológicos y formas de administrar al recurso humano si quieren mantener vigencia y ser rentables.

Al abrirse el e-mercado, los clientes tienen la posibilidad de cubrir sus necesidades con productos desde la comodidad de su casa accediendo a las diferentes opciones de compra en línea, las distancias y fronteras parecen haberse extinguido, y la competencia se vuelve, entonces, mucho más agresiva.

Sin embargo, la fórmula de supervivencia para las organizaciones en esta vorágine sigue siendo la misma: SER PRODUCTIVOS, apostar por la MEJORA CONTINUA. De esta manera las organizaciones deben ver hacia su interior, revisar sus procesos, y con ello agilizar sus operaciones, ser flexibles, disminuir los costos, cuidar a su capital humano, apostar por las inversiones en capacitación, apostar por las técnicas de vanguardia y tener un espíritu de constante aprendizaje, ser liderados efectivamente por gerentes comprometidos y presentes. Hoy más que nunca se necesitan romper paradigmas, ya no es posible pensar en mercados locales, a menos, que se quiera permanecer un par de años vigentes y estar condenados a desaparecer.

La ingeniería industrial se erige como una de las opciones capaces de sacar adelante a las organizaciones, las técnicas que maneja siguen al servicio de la productividad de las organizaciones y demuestran con creces que cuando se hace uso de ellas retribuyen beneficios sustanciales, luego entonces, enfrentar la situación actual, sin presumir que sea una tarea fácil, si se puede afirmar que aumentará las posibilidades de salir con la victoria.

La productividad, sin duda, es la pauta que va marcando la rentabilidad de las organizaciones, los esfuerzos de todos los departamentos deben apostar por cuidarla y mejorarla. La productividad es la salud de las organizaciones y debe ser siempre menester de los administradores ir en pos de incrementarla.

La mejora continua, tal como se lee, es una actividad constante, en un ciclo infinito, es revisar, mejorar, volver a revisar, seguir mejorando y así por siempre.

El presente libro, además de abordar los conceptos de productividad y mejora continua, pone en manos del lector algunas técnicas que aplicadas con el rigor científico han sido capaces de mejorar a las organizaciones, por ello se comparten casos de éxito de las mismas.

Los autores, con años de experiencia en el sector industrial y en la formación de capital humano, comparten en esta edición experiencias profesionales que pueden ser guía para las organizaciones que quieran mejorar su productividad, también se convierte en un apoyo para de los profesionales de la educación superior en la impartición de asignaturas pertinentes a la productividad y mejora continua, pero sobre todo es una invitación a los futuros ingenieros industriales y de otras áreas de incursionar en la práctica de técnicas que los ayudarán a poner en prácticas los conocimientos teóricos aprendidos en clases.

Con el afán de contribuir, de compartir, es con el propósito que nace el libro que ahora tiene en sus manos, confiando que la curiosidad de poner en prácticas las técnicas de mejora continua, sea el motor que reditúe beneficios directamente proporcionales al compromiso y disciplina que pongan en juego.

**Los autores.**

## INDICE

RESEÑA .....	1
Prólogo.....	3
INDICE .....	5
Índice de figuras.....	9
Índice de tablas.....	13
Capítulo I PRODUCTIVIDAD .....	15
1.1. Introducción a la productividad.....	15
1.1.1. Antecedentes y conceptos .....	16
1.1.2. Etapas de desarrollo a nivel mundial .....	17
1.1.3. Factores que afectan la productividad .....	19
1.1.4. Cómo mejorar la productividad .....	21
1.2. Medición de la productividad .....	24
1.2.1. Complicaciones en la medición.....	24
1.2.2. Métodos industriales y de servicios .....	25
1.2.3. Índices de productividad.....	27
1.2.3.1. Productividad del factor total. ....	27
1.2.3.2. Productividad parcial de recurso.....	27
1.2.3.3. Productividad total. ....	27
1.2.4. Indicadores de grupo .....	28
1.2.5. Matriz de objetivos.....	29
1.3. Mejoramiento de la productividad .....	31
1.3.1. Requerimientos para administrar la productividad .....	31
1.3.1.1. Productividad por objetivos. ....	31
1.3.1.2. Productividad humana.....	33
1.3.1.3. Productividad del capital.....	33
1.3.1.4. Productividad de la energía.....	34
1.3.1.5. Productividad en procesos y en productos. ....	34
1.3.2. Metodología para la administración del mejoramiento de la productividad .....	34
1.3.3. Plan de mejoramiento de la productividad.....	35

1.3.4. Métodos y técnicas para el mejoramiento.....	36
1.3.4.1. Control Estadístico del proceso.....	36
1.3.4.2. Kaizen.....	37
1.3.4.3. Tiempos y movimientos.....	37
1.3.4.4. Mantenimiento productivo total.....	38
1.4. Productividad por objetivos.....	38
1.4.1. Límites de responsabilidad.....	39
1.4.2. Estructura organizacional o política.....	40
1.4.3. Medición de eficiencia del equipo.....	41
1.4.4. Productividad del equipo.....	42
1.4.4.1. Horas teóricas de trabajo.....	43
1.4.4.2. Aplicación.....	46
1.5. Modelos para la medición.....	47
1.5.1. Análisis de sensibilidad.....	47
1.5.2. Simulación.....	47
Capítulo II MEJORA CONTINUA.....	49
2.1. Conceptos generales.....	49
2.1.1. Procesos.....	49
2.1.2. Mejora continua.....	51
2.1.3. Kaizen.....	53
2.1.3.1. Kaizen como filosofía gerencial.....	54
2.1.3.2. Kaizen como elemento del TQM.....	55
2.1.3.3. Kaizen como principio teórico de metodologías y técnicas de mejora.....	56
2.2. Metodología de los siete pasos de la mejora continúa.....	57
2.2.1. Seleccionar el problema.....	57
2.2.2. Comprensión del problema.....	58
2.2.3. Elaborar el cronograma de desarrollo del proyecto.....	58
2.2.4. Analizar las causas del problema.....	58
2.2.5. Proponer, seleccionar y programar las soluciones.....	58
2.2.6. Implementar y verificar resultados.....	59
2.2.7. Normalizar y establecer un control.....	59

2.3 Herramientas estadísticas para la solución de problemas en la mejora de procesos .....	59
2.3.1. Herramientas estadísticas .....	60
2.3.1.1. Diagrama de Pareto. ....	60
2.3.1.2. Histograma.....	61
2.3.1.3. Gráfico de dispersión y coeficiente de correlación. ....	61
2.3.1.4. Coeficiente de correlación. ....	61
2.3.1.5. Cartas de Control.....	61
2.3.2. Tipos de gráficos y cuando usarse.....	62
2.4. Seis sigma y simulación como herramientas de innovación en la mejora continua .....	63
2.4.1. Metodología del Six Sigma.....	65
2.4.1.1. Definir (D).....	66
2.4.1.2. Medir (M).....	69
2.4.1.3. Analizar (A). ....	71
2.4.1.4. Implementación de mejoras (I).....	72
2.4.1.5. Controlar (C). ....	74
2.5 Simulación .....	75
2.5.1. Antecedentes .....	75
2.5.2. Objetivo de la simulación.....	76
2.5.3. La razón del uso de simulación.....	77
2.5.4. Beneficios, ventajas, desventajas y peligros de la simulación .....	78
2.5.4.1. Beneficios. ....	78
2.5.4.2. Ventajas. ....	78
2.5.4.3. Desventajas. ....	80
2.5.4.4. Peligros. ....	80
2.5.5. Tipos de modelos de simulación .....	81
2.5.5.1. Modelos continuos.....	81
2.5.5.2. Modelos discretos.....	81
2.5.6. La simulación como metodología de análisis .....	81
2.5.6.1. Pasos en la metodología de la simulación.....	82
2.5.7. Aplicaciones de la simulación .....	84
2.5.7.1. Ejemplos típicos de aplicación de la simulación.....	85

2.5.8. Recomendaciones .....	85
Capítulo III APLICACIONES.....	87
3.1 Mejoramiento de la productividad .....	87
3.1.1. Medición y mejora de la productividad en el área de corte de una papelera.....	87
3.1.2. Aplicación de simulación a problemas de producción .....	100
3.1.3 Aplicación de seis sigma en un servicio.....	111
3.1.4. Propuestas para mejorar la productividad en un proceso de producción de adoquines .	120
3.1.5. Medición y evaluación de las condiciones físicas para mejorar la productividad .....	132
3.1.6. Diagnóstico de las causas de producto no conforme y generación de acciones de mejora en una empresa empacadora de piña .....	141
3.1.7. Aplicación de la simulación a un sistema de colas.....	147
3.2 Oportunidades de mejora .....	156
3.2.1 Aplicación de seis sigma en línea de producción .....	156
3.2.2. Identificación de áreas de oportunidad en un ingenio azucarero utilizando herramientas para el control estadístico.....	166
3.2.3. Aplicación de simulación a problemas de tránsito.....	175
3.2.4. Diagnóstico de las causas de devolución del producto en un ingenio azucarero y generación de acciones para mejorar su calidad.....	185
3.2.5. Determinación de parámetros operativos del subproceso “limpieza” en proceso de galvanizado por inmersión en caliente .....	193
3.2.6 Aplicación de seis sigma en línea de producción. ....	203
3.2.7. Identificación de las áreas críticas que generan accidentes en una empresa ferrocarrilera del estado de Veracruz.....	210
3.2.8. Construcción de un modelo de simulación del estacionamiento de una institución educativa de nivel superior utilizando SIMIO®.....	216
Fuentes de consulta.....	227

## Índice de figuras

Figura 1.1. Factores que afectan la productividad.....	21
Figura 1.2. Ejemplo de la matriz de objetivos (Omax).....	29
Figura 1.3. Modelo para el mejoramiento de la productividad.....	35
Figura 1.4. Herramientas para el control estadístico de procesos. ....	37
Figura 1.5. Estructura Organizacional de una empresa. ....	41
Figura 1.6. Sistemas de efectividad del trabajo.....	42
Figura 1.7. Productividad individual & equipo.....	43
Figura 1.8. Representación del grafico de productividad. ....	46
Figura 2.1. Ejemplo de caracterización de un proceso.....	51
Figura 2.2. Ciclo PHVA.....	52
Figura 2.3. Esferas del Kaizen. Dean y Bowen (1994).....	54
Figura 2.4. Esfera concéntrica Kaizen como filosofía Gerencial. ....	55
Figura 2.5. Esfera concéntrica Kaizen como Elemento del TQM.....	55
Figura 2.6. Esfera concéntrica Kaizen como como principio.....	56
Figura 2.7. Metodología de los siete pasos. ....	57
Figura 2.8. Herramientas para la mejora de procesos.....	60
Figura 2.9. Elementos de un gráfico de control. ....	62
Figura 2.10. Gráficos de control.....	62
Figura 2.11. Fases de la metodología seis sigma. ....	65
Figura 2.12. Declaración del problema.....	66
Figura 2.13. Ejemplo de mapeo del proceso. ....	67
Figura 2.14. 5W+ 1H.....	67
Figura 2.15. Establecer el objetivo.....	68
Figura 2.16. Ejemplo de carta de proyecto. ....	68
Figura 2.17. Informe capacidad de proceso y gráficos de control. ....	70
Figura 2.18. Informe R&R.....	71
Figura 2.19. Análisis Factorial.....	73
Figura 2.20. Graficas de efectos principales.....	73
Figura 2.21. Optimizador de respuesta.....	74
Figura 2.22. Diagrama de flujo de pasos en la metodología de la simulación. ....	84
Figura 3.1. Fases de la investigación. ....	88
Figura 3.2. Operaciones de la sala de acabado. ....	88

Figura 3.3. Metodología para el mejoramiento de la productividad.....	89
Figura 3.4. Formato para recolección de datos.....	91
Figura 3.5. Diagrama de causa-efecto para la detección de áreas de oportunidad.....	93
Figura 3.6. Diagrama de Pareto de los materiales.....	94
Figura 3.7. Diagrama de Pareto de la mano de obra.....	94
Figura 3.8. Gráfica de los tiempos perdidos.....	95
Figura 3.9. Gráfica comparativa.....	98
Figura 3.10. Metodología para un estudio de simulación.....	101
Figura 3.11. Resultados del análisis de preparación de mezcla en la máquina 1.....	103
Figura 3.12. Modelo conceptual del flujo de proceso de fabricación del adoquín.....	103
Figura 3.13. Vista frontal de la planta.....	104
Figura 3.14. Vista desde el segundo acceso.....	105
Figura 3.15. Comparación de la producción por máquina del sistema actual y la alternativa...	108
Figura 3.16. Porcentaje de utilización de las máquinas.....	109
Figura 3.17. Porcentaje de utilización de los trabajadores y de los montacargas.....	109
Figura 3.18. Fases metodología seis sigma transaccional.....	112
Figura 3.19. Diagrama de flujo del laboratorio de industrial.....	113
Figura 3.20 Diagrama de Ishikawa.....	114
Figura 3.21. Diagrama de Pareto.....	115
Figura 3.22. Despliegue de la Función de Calidad (DFC).....	116
Figura 3.23. Plantilla para el control de inventarios.....	118
Figura 3.24. Metodología para un estudio de simulación.....	121
Figura 3.25. Modelo visto desde la máquina 3.....	123
Figura 3.26. Modelo visto desde la máquina 4.....	123
Figura 3.27. Ubicación de la bodega actual.....	125
Figura 3.28. Ubicación del centro de abastecimiento (Alternativa 1).....	125
Figura 3.29. Área de instalación de las máquinas.....	126
Figura 3.30. Comparación de la producción por máquina del sistema actual y la alternativa 1.....	127
Figura 3.31. Cantidad de producción en la alternativa 2.....	128
Figura 3.32. Porcentaje de utilización de las máquinas, sistema actual versus alternativa 1...	128
Figura 3.33. Porcentaje de utilización de los trabajadores y de los montacargas.....	129
Figura 3.34. Ciclo de la productividad (MEPI).....	133
Figura 3.35. Vista aérea del laboratorio.....	134
Figura 3.36. Ancho del laboratorio.....	134



Figura 3.37. Dimensiones del laboratorio. ....	135
Figura 3.38. Comparación de la temperatura actual contra las especificaciones. ....	136
Figura 3.39. Comparación de la iluminación actual contra las especificaciones. ....	138
Figura 3.40. Comparación de los niveles de ruido actuales contra las especificaciones. ....	139
Figura 3.41. Diagrama de Pareto del porcentaje de problemas de la calidad de azúcar. ....	143
Figura 3.42. Diagrama causa-efecto de los factores que determinan el producto no conforme. ....	144
Figura 3.43. Gráfico de las causas más relevantes de rechazo. ....	145
Figura 3.44. Metodología para un estudio de simulación. ....	149
Figura 3.45. Tratamiento estadístico de la variable tiempo entre llegadas. ....	150
Figura 3.46. Modelo conceptual del sistema: tienda de autoservicio. ....	150
Figura 3.47. Modelo en vista 3D. ....	151
Figura 3.48. Modelo en vista 2D. ....	151
Figura 3.49. Metodología DMAIC. ....	157
Figura. 3.50. Desperdicio generado medido en gramos. ....	158
Figura 3.51. Capacidad de proceso y gráficos de control. ....	159
Figura 3.52. Estudio de repetibilidad y reproducibilidad. ....	160
Figura 3.53. Frecuencias utilizadas. ....	162
Figura 3.54. Plan de acción. ....	162
Figura 3.55. Resultados de la implementación de frecuencias. ....	163
Figura 3.56. Capacidad de proceso y gráficos de control. ....	164
Figura 3.57. Metodología para la detección, seguimiento y evaluación de propuestas de mejora en el ingenio. ....	167
Figura 3.58. Lluvia de ideas de las áreas de oportunidad. ....	167
Figura 3.59. Diagrama de causa-efecto para la identificación. ....	168
Figura 3.60. Nuevo diseño para el fondo de la descarga. ....	170
Figura 3.61. Nuevo diseño para el mezclador. ....	170
Figura 3.62. Reemplazo de tanque de agua por dos. ....	170
Figura 3.63. Diagrama de Gantt para el seguimiento. ....	171
Figura 3.64. Gráfica de Control de la molienda de caña en la zafra 2016-2017. ....	172
Figura 3.65. Gráfica de Control de la molienda de caña en la zafra 2015-2016. ....	172
Figura 3.66. Metodología para un estudio de simulación. ....	177
Figura 3.67. Primer cuadro vial de la localidad. ....	178
Figura 3.68. Layout del modelo. ....	179
Figura 3.69. Arterias con los registros más altos de entradas al sistema. ....	182

Figura 3.70. Cruceos con mayor afluencia vehicular.....	183
Figura 3.71. Diagrama de Pareto del porcentaje de problemas de la calidad de azúcar. ....	187
Figura 3.72. Diagrama causa-efecto de los factores que determinan la humedad de azúcar...	188
Figura 3.73. Histograma de frecuencias del primer mes de zafra 2013-2014. ....	188
Figura 3.74. Ajuste a realizar a los secadores. ....	189
Figura 3.75. Histograma de frecuencias del primer mes de zafra 2014-2015. ....	191
Figura 3.76. Niveles de oxidación del material que ingresa al proceso de galvanizado en caliente. ....	195
Figura 3.77. Pasos a seguir en el desarrollo del trabajo. ....	195
Figura 3.78. Proceso de galvanizado por inmersión en caliente, por etapas. ....	196
Figura 3.79. Validación estadística del modelo, normalidad, homocedasticidad y aleatoriedad. ....	199
Figura 3.80. Optimización de la respuesta para hallar el nivel óptimo de cada factor. ....	201
Figura 3.81. Análisis del comportamiento histórico del problema. ....	204
Figura 3.82. Resumen de matriz de habilidades de proyecto DMAMC Básico. ....	205
Figura 3.83. Plan de recolección de datos. ....	205
Figura 3.84. Mermas registrada en línea. ....	206
Figura 3.85. Comparación de turnos. ....	206
Figura 3.86. Diagrama de Ishikawa. ....	207
Figura 3.87. Herramienta 5 por qué's.....	208
Figura 3.88. Resultados de la implementación de frecuencias. ....	209
Figura 3.89. Proceso del área de Fuerza Motriz. ....	212
Figura 3.90. Frecuencia de los accidentes. ....	213
Figura 3.91. Puntos críticos que generan accidentes.....	214
Figura 3.92. Metodología para un estudio de simulación. ....	217
Figura 3.93. Resultados del análisis de la variable tiempo de permanencia.....	218
Figura 3.94. Modelo conceptual del proceso en el estacionamiento.....	219
Figura 3.95. Vista frontal del Instituto. ....	220
Figura 3.96. Vista frontal del estacionamiento.....	220
Figura 3.97. Comparación del número promedio de vehículos por día del modelo y del sistema original. ....	223
Figura 3.98. Comparación de los resultados del tiempo entre llegadas del modelo y el sistema original. ....	224
Figura 3.99. Comparación del tiempo promedio que un vehículo pasa en el sistema original y en el modelo. ....	224

## Indice de tablas

Tabla 1.1. Definición cronológica de la productividad. ....	16
Tabla 1.2. Evolución de la productividad a nivel mundial. ....	18
Tabla 1.3. Factores que afectan la productividad. ....	20
Tabla 2.1. Plan de recolección de datos. ....	70
Tabla 2.2 Informe R&R. ....	71
Tabla 3.4. Datos actuales del proceso. ....	91
Tabla 3.5. Plan de acción de mejora. ....	96
Tabla 3.6. Datos del proceso después de la implementación de acciones de mejora. ....	97
Tabla 3.4. Variables de entrada y salida del sistema. ....	102
Tabla 3.5. Objetos de SIMIO y su significado en el sistema real. ....	104
Tabla 3.6. Datos apareados de la variable tiempo promedio de preparación de mezcla en máquina 1. ....	106
Tabla 3.7. Tiempo promedio de llenado y compactado en máquina 1. ....	107
Tabla 3.8. Condiciones de confort Físico en el Laboratorio. ....	116
Tabla 3.9. Percentiles de alumnos de Ingeniería industrial. ....	117
Tabla 3.10. Toneladas necesarias en el aire acondicionado. ....	118
Tabla 3.11. Tipos de Lámparas a utilizar. ....	119
Tabla 3.12. Variables de entrada y salida del sistema. ....	122
Tabla 3.13. Objetos de SIMIO® y su significado en el sistema real. ....	122
Tabla 3.14. Prueba t-pareada para las variables de las máquinas y montacargas. ....	123
Tabla 3.15 Resumen de los resultados de las alternativas comparadas con el sistema actual. ....	130
Tabla 3.16. Resultados de las medidas de temperatura. ....	135
Tabla 3.17. Resultados de las lecturas de Iluminación. ....	137
Tabla 3.18. Resultados de las lecturas de ruido. ....	139
Tabla 3.19. Cuadro de valores óptimos de calidad interna para exportación MD-2. ....	142
Tabla 3.20. Elementos principales para la construcción del modelo. ....	151
Tabla 3.21. Datos apareados de la variable tiempo de servicio. ....	152
Tabla 3.22. Datos de 10 corridas de tiempo promedio de servicio. ....	153
Tabla 3.23. Medidas de desempeño del sistema actual (tienda de autoservicio). ....	154
Tabla 3.24. Comparación de medidas de desempeño sistema real versus alternativas. ....	154
Tabla 3.25. Declaración del problema. ....	158

Tabla 3.26. Calculo de objetivo del proyecto.....	158
Tabla 3.27. Plan de recolección de datos.....	160
Tabla 3.28. Evaluación del sistema de medición.....	161
Tabla 3.29. Tabla de frecuencias.....	162
Tabla 3.30. Propuestas de mejora por equipo.....	169
Tabla 3.31. Molienda por hora en zafra 2016-2017.....	172
Tabla 3.32. Molienda por hora en zafra 2015-2016.....	172
Tabla 3.33 Datos de paros por turno en la zafra 2015-2016.....	173
Tabla 3.34. Datos de paros por turno en la zafra 2016-2017.....	173
Tabla 3.35. Datos apareados de la variable tiempo promedio de llegadas por la Avenida 5 de febrero.....	180
Tabla 3.36. Comparación de los requisitos de Cal y Mayor y Cárdenas versus programa de simulación.....	183
Tabla 3.37. Cuadro de flujo de aire de los rotoclones en el proceso de secado.....	190
Tabla 3.38. Flujo de aire de los rotoclones en el proceso de secado.....	191
Tabla 3.39. Tabla del Análisis de varianza de factores e interacciones.....	200
Tabla 3.40. Identificación del problema.....	203
Tabla 3.41. Establecimiento del objetivo.....	204
Tabla 3.42 Restauración de condiciones básicas.....	207
Tabla 3.43 Plan de acción.....	208
Tabla 3.44. Áreas críticas y accidente que se originan.....	214
Tabla 3.45. Variables de entrada y salida del sistema.....	218
Tabla 3.46. Objetos de SIMIO y su significado en el sistema real.....	220
Tabla 3.47. Datos apareados de la variable tiempo promedio de permanencia en el estacionamiento.....	221
Tabla 3.48. Tiempo promedio de permanencia en el estacionamiento.....	222

# Capítulo I

## PRODUCTIVIDAD

### 1.1. Introducción a la productividad

En la última década el tema de la globalización es un asunto que se ha puesto de moda en todo el mundo, la apertura de fronteras obligó a las organizaciones a buscar la productividad y la competitividad para poder hacer frente a los nuevos mercados y principalmente para poder sobrevivir a ellos, como consecuencia, los administradores de las empresas de todos los sectores, que son primario, secundario y terciario, implementaron herramientas de mejora continua en las diferentes áreas de las organizaciones que administran, entre las más habituales se pueden mencionar: la gestión de la calidad de productos y procesos, la confiabilidad de la maquinaria y el equipo a través del mantenimiento productivo total, la inocuidad de los alimentos, el cuidado del medio ambiente, el control estadístico de procesos, la manufactura esbelta, metodología seis sigma entre otras más, incluyendo la seguridad industrial; surgieron entonces nuevas normas, ahora de carácter voluntario, por ejemplo las ya muy conocidas normas ISO (*International organization for standardization*), que se convirtieron en un sello de distinción para las empresas que lograron certificarse con ellas y que además, su implementación prometió a los administradores la mejora continua y el incremento de la productividad de las organizaciones.

En éste capítulo se describirá en primera instancia, una introducción al tema de productividad, que contempla los antecedentes, conceptos, etapas de desarrollo, factores que afectan la productividad, cómo poder mejorarla y medirla; de manera posterior se detallará el tema de medición de la productividad, haciendo mención de los índices de productividad y de una herramienta conocida como matriz de objetivos (omax) como alternativas para medir y planear el mejoramiento de la productividad en las empresas; de manera seguida se presentarán las herramientas y las etapas que incluye el proceso de mejoramiento de la productividad, para finalizar se incluirá el tema de productividad por objetivos cómo una alternativa de cambio para la productividad del factor humano.

### 1.1.1. Antecedentes y conceptos

La apertura de las fronteras para el intercambio comercial de productos y servicios, mejor conocida como “globalización”, ha sido un factor de cambio para las empresas que las ha llevado a replantearse el impacto en el bienestar social, la eficiencia en el uso de los recursos empresariales y el alcance de la economía a nivel nacional y mundial. En la actualidad, las empresas que desean permanecer en el mercado deben tener como fin el aumento de la productividad y efectivamente durante los últimos años, mejorarla se ha convertido en un objetivo estratégico que permite a las organizaciones alcanzar un nivel de competencia aceptable y enfrentar con ello el mundo globalizado.

El termino productividad está directamente inscripto con el de producción, sin embargo, su significado es completamente diferente, ya que la productividad también se relaciona con los costos que se asocian a la producción; así mismo, existen otros conceptos con los cuales se confunde la productividad, como lo son eficiencia, eficacia y efectividad. En la tabla 1.1, se muestra la aproximación al concepto de productividad de acuerdo a Sumanth (1999) y referenciado por Velásquez de Naime, Rodríguez Monroy, & Guaita (2012).

Tabla 1.1. Definición cronológica de la productividad.

Autor	Año	Definición
<b>Quesnay</b>	1766	La palabra productividad aparece por primera vez.
<b>Litré</b>	1883	Facultad de producir.
<b>Early</b>	1900	Relación entre producción y los medios empleados para lograrla.
<b>OEEC</b>	1950	Cociente que se obtiene al dividir la producción por uno de sus factores de producción.
<b>Davis</b>	1955	Cambio en el producto por los recursos gastados.
<b>Fabricant</b>	1962	Siempre una razón entre la producción y los insumos.
<b>Kendrick y Cramer</b>	1965	Definiciones funcionales para la productividad parcial, de factor total y total.
<b>Siegel</b>	1976	Una familia de razones.
<b>Sumanth</b>	1979	Productividad total. La razón de producción tangible entre insumos tangibles.

Fuente: Sumanth (1999), referenciado por Velásquez de Naime, Rodríguez Monroy, & Guaita (2012).

Así mismo, se mencionan otros conceptos más recientes del término productividad y son las siguientes:

1. “Es el resultado final de un complejo proceso social, compuesto por ciencia, investigación y desarrollo, educación, tecnología, dirección de empresa, medios de producción y organización de trabajadores.” Kasukiyo Kurosawa (1983).
2. “Es la relación entre la producción obtenida por un sistema de producción o servicios y los recursos utilizados para obtenerla.” Joseph Prokopenko (1987).
3. “La productividad es el producto final del esfuerzo y combinación de todos los recursos humanos, materiales y financieros que integran una empresa.” Ernesto Mercado (1998).
4. La productividad tiene que ver con los resultados que se obtienen en un proceso, por lo que incrementar la productividad es lograr mejores resultados considerando los recursos empleados para generarlos. Gutiérrez, Humberto (2006).
5. La productividad es una expresión de cuán eficientemente los bienes y servicios están siendo producidos. Es por eso que la productividad se expresa en unidades físicas o económicas, en las cantidades o los valores (dinero). Lucey (2007)

La revisión de las distintas definiciones permiten asumir sin mayor preámbulo, que la productividad es **la relación que existe entre la producción de productos y/o servicios y los costos de los recursos (humanos, capital, tierra) utilizados para alcanzar la producción.**

### ***1.1.2. Etapas de desarrollo a nivel mundial***

Para explicar el desarrollo que ha tenido la productividad con el paso del tiempo y a nivel mundial se elabora la tabla 1.2, que se divide en etapas y aspectos relevantes relacionados con el desarrollo de la productividad en el mundo.

Tabla 1.2. Evolución de la productividad a nivel mundial.

Etapas	Aspectos relevantes
Siglo XVIII	<p>Al inicio de la revolución industrial, el conocido y considerado padre de la economía Adam Smith, se enfocó en la idea de que para aumentar la productividad se necesitaba la especialización.</p> <p>Surgen por primera vez escuelas de pensamiento que abordan de manera científica el fenómeno del trabajo, a partir de éste momento es cuando la historia de la productividad empieza a tomar impulso.</p> <p>Durante éste periodo repuntan los nombres de <b>Frederick Taylor, Henry Fayol, George E. Mayo o Henry Gantt</b>; quienes llevaron a cabo los primeros análisis en lo que nombraron como organización o administración científica del trabajo, utilizando para ello el control de tiempos, cronometrando las operaciones y dividiendo las tareas, de ésta forma consiguieron reducir tiempos de ocio de los trabajadores y aumentar la productividad de las empresas.</p> <p>Surgen también las ideas del matrimonio formado por <b>Frank y Lilian Gilbreth</b>, que se enfocaron en la manera de reducir los movimientos innecesarios diseñando con ello el mejor flujo de los trabajos.</p>
Siglo XIX-XX	<p>Un participante más que se suma a la mejora de los procesos en cadena es <b>Henry Ford</b>, quien desarrolla una línea continua de ensamblaje para la fabricación de sus coches, apuesta por la mecanización y obtiene la reducción de los tiempos y costos, que le permiten bajar precios y ganar competitividad, situándose así durante algunos años como líder del mercado automovilístico.</p> <p>Años más adelante, General Motors introduce mejoras en sus sistemas de gestión y producción, lo que le permite lograr el relevo en la posición de liderazgo mundial del sector automotriz, permaneciendo ahí hasta la llegada del fenómeno Toyota.</p> <p>Llega la industria japonesa aprendiendo muy rápido y logra enfrentar a la competencia en el sector, desarrolla un esquema innovador para el análisis del fenómeno trabajo. <b>Taiichi Ohno</b>, ingeniero industrial de Toyota consigue definir un sistema propio para la mejora de la calidad denominado: <i>Toyota Production System (TPS)</i>, que se apoya del <i>Just-in-time (JIT)</i> y el <i>Jidoka</i>, es decir, lo que se necesita cuando se necesita y en la cantidad necesaria y detección y solución inmediata de problemas en el proceso para evitar defectos, respectivamente. Con ello logran eliminar desperdicios y estandarizar sus procesos, con tendencia de hacer más flexible su estructura para adaptarse a la demanda, reducen stocks y costos; posteriormente introducen la filosofía de mejora continua <i>Kaizen</i> y sienta las bases de la cultura <i>Lean manufacturing</i>, como un modelo óptimo de productividad.</p> <p>Otros sectores industriales como HP, Motorola,..., hacen presencia y muestran avances logrados, las mejoras se extienden a los procesos de gestión de la información y a todos los servicios, de ésta manera la productividad hace sus primeras incursiones en la era digital.</p> <p>Aparecen nuevos sectores de actividad como lo es el desarrollo de software; se implantan de manera progresiva sistemas como <i>kanban, Scrum, XP, Lean Startup</i>, en el ámbito de la programación informática. En el año 2001 surge el llamado <i>Manifiesto Ágil</i>, en el que se separaron las formas de trabajo tradiciones como la metodología de flujos de trabajo secuenciales.</p>
Era digital	<p>Se colocan puntos clave para alcanzar la máxima productividad en contextos complejos y surge así la creación de equipos de trabajo autónomo y comprometidos, capaces de adaptarse con flexibilidad e inmediatez a las exigencias del mercado.</p> <p>Surge una vertiente del análisis de la productividad enfocada en la persona y la necesidad que tiene de organizarse a nivel mundial para resultar en un trabajo efectivo.</p> <p>Se incorporan nuevos pensadores con ideas para gestionar el tiempo y los compromisos asumidos evitando el estrés y manteniendo el control emocional, por mencionar a algunos <b>Stephen Covey y David Allen</b>, que van a centrarse en una vertiente de productividad menos relacionada con la gestión de proceso y más con la administración, el liderazgo, la productividad individual y el crecimiento personal.</p>

Elaboración propia con información obtenida de Ferrer (2020).



Es evidente que la historia de la productividad cambió con la llegada de las tecnologías de la información y comunicación, sin embargo, es importante destacar que ya sea con el Taylorismo, el Fordismo, Lean Manufacturing, Motorola, JIT/TPS, Toyota, Six Sigma, Scrum, Kanban, etc., siempre se ha buscado optimizar los flujos de trabajo en equipo y adaptarse a satisfacer las necesidades de la demanda.

### **1.1.3. Factores que afectan la productividad**

En tiempos remotos se consideraba que la productividad únicamente dependía de los factores capital y trabajo, hoy en día se conoce que existen otros factores más que intervienen en el comportamiento, por mencionar algunos se nombra a la calidad del recurso humano, las inversiones, la investigación y el desarrollo científico y tecnológico, los sindicatos, la misma globalización y la legislación de leyes y normas gubernamentales.

Diferentes autores han enfocado la variabilidad de la productividad en otros aspectos más, que enseguida se describen y que fueron referenciados por (Felsing & Runza, 2002).

Levitan y Werneke identifican como factores que afectan la productividad a la tecnología, la educación y la calificación de la fuerza de trabajo, los cambios en la utilización de la planta y el equipo, y la organización. Distinguen dos corrientes en torno a la caída de la productividad a nivel internacional:

- ✓ *.La económica, que evalúa las tendencias de la productividad para enfatizar los factores macroeconómicos que contribuyen directamente al crecimiento: inflación y cambio cíclico en la demanda, inversión en nuevas plantas y equipo, el desarrollo de nuevas tecnologías y la calificación y experiencia de la fuerza de trabajo.*
  
- ✓ *La institucional que concentra su explicación en el rol de la conducta, actitudes e interacciones entre los principales participantes económicos.*

Martín Baily, señaló que entre los factores que explican el comportamiento de la productividad están los siguientes: trabajo, capital, tecnología, energía y materiales, medición del producto, composición del producto, características gerenciales, regulación ambiental y política de demanda.

Velásquez de Naime, Rodríguez Monroy, & Guaita (2012) realizan una recopilación bibliográfica sobre los factores que afectan la productividad y la resumen en la tabla 1.3 que enseguida se muestra.

Tabla 1.3. Factores que afectan la productividad.

Factores encontrados	Autores
Reglamentación del gobierno, competencia, el cliente, política económica del gobierno, infraestructuras, estabilidad política, la sociedad, entorno político, medio ambiente.	Sumanth, (1999), Schroeder, (1994), Prokopenko, (1999), Fernández, Avella y Fernández, (2003), Acevedo, (2004), Ramírez, (2005), Anaya, (2006), Mosley, León y Pietri, (2005).
La administración, creación del conocimiento, aprendizaje organizativo, toma de decisiones centralizadas, estilos de dirección.	Sumanth, (1999), Prokopenko, (1999), Fernández, Avella y Fernández, (2003), Acevedo, (2004), Mosley, León y Pietri, (2005), Steenhuis y Bruijn, (2006).
Mezcla de la fuerza de trabajo, estabilidad, influencia sindical, capacitación, remuneraciones, calidad de la fuerza laboral, destrezas.	Sumanth, (1999), Schroeder, (1994), Prokopenko, (1999), Fernández, Avella y Fernández, (2003), Acevedo, (2004), Arcudia, Soles y Baeza, (2004), Ramírez, (2005), Anaya, (2006), Mosley, León y Pietri, (2005), Steenhuis y Bruijn, (2006).
Energía, compras, inventarios, diseño del producto, materiales, logística, almacenamiento y manejo de materiales.	Sumanth, (1999), Schroeder, (1994), Acevedo, (2004), Arcudia, Soles y Baeza, (2004), Anaya, (2006)
Vida útil de los equipos, tecnología, mantenimiento, innovación tecnológica.	Sumanth, (1999), Schroeder, (1994), Prokopenko, (1999), Fernández, Avella y Fernández, (2003), Acevedo, (2004), Ramírez, (2005), Steenhuis y Bruijn, (2006).
Diseño del trabajo, flujos del proceso, mejoramiento de los sistemas, ergonomía, mejoras técnicas, condiciones de trabajo, curva de aprendizaje.	Schroeder, (1994), Prokopenko, (1999), Fernández, Avella y Fernández, (2003), Acevedo, (2004), Ramirez, (2005), Anaya, (2006), Steenhuis y Bruijn, (2006).
Inversión, razón capital/trabajo, utilización de la capacidad, investigación y desarrollo.	Sumanth, (1999), Schroeder, (1994), Riggs (1998), Prokopenko, (1999), Fernández, Avella y Fernández, (2003), Acevedo, (2004), Steenhuis y Bruijn, (2006).
Ética del trabajo, calidad, valorar el tiempo disponible, trabajo en equipo.	Sumanth, (1999), Schroeder, (1994), Steenhuis y Bruijn, (2006), Palomo (2008).

Fuente: Velásquez de Naime, Rodríguez Monroy, & Guaita (2012).

Derivado de la recopilación bibliográfica, los autores presentan un modelo de los factores que afectan la productividad, considerando un contexto interno (factores internos) que son todos aquellos que están al alcance del control de la organización y un externo (factores externos), que son los que se alejan de poder ser controlados y en cambio se deben buscar estrategias para enfrentar las situaciones adversas que puedan presentarse. Tomando como referencia el mencionado modelo, en la figura 1.1 se muestra una clasificación de los factores.

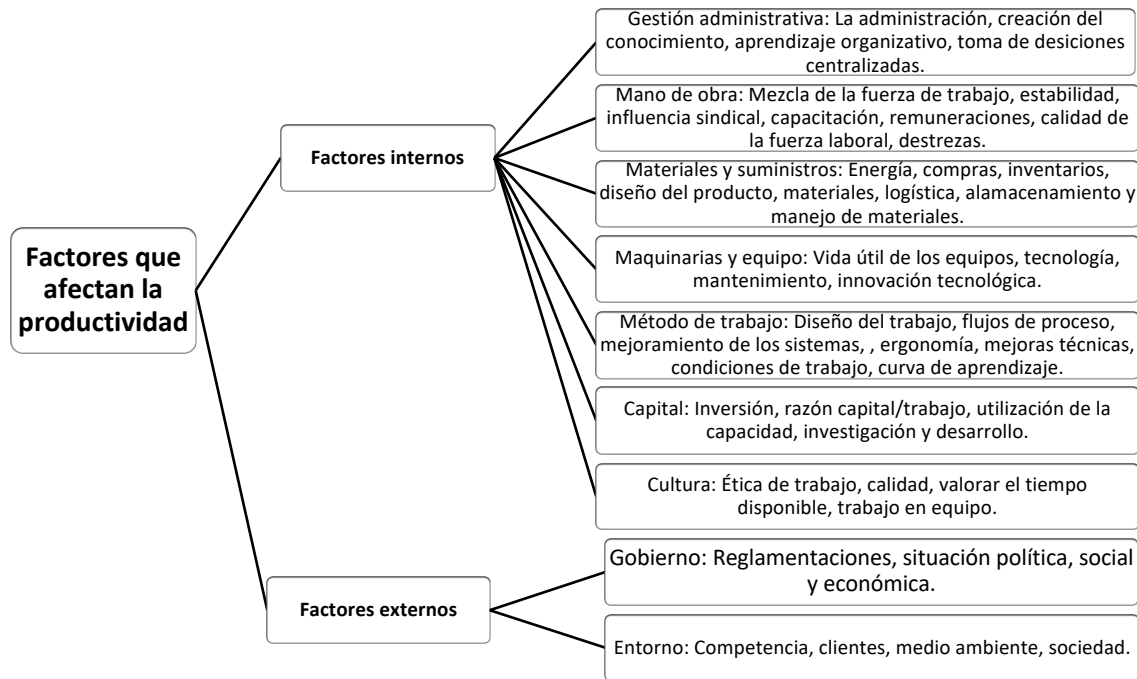


Figura 1.1. Factores que afectan la productividad.

#### 1.1.4. Cómo mejorar la productividad

Como ya se ha mencionado, las empresas que desean seguir compitiendo en los mercados actuales deben seguir el camino del mejoramiento de la productividad, buscando siempre producir más con menos insumos que sería lo ideal, o bien, iniciar produciendo más con la misma cantidad de insumos y/o produciendo igual con menos insumos.

Son diferentes las estrategias que se proponen para el mejoramiento de la productividad, la mayoría de ellas están enfocadas a la productividad humana, a continuación de manera general, se listan las recomendaciones propuestas por Simple Organización Lean (2020), para el mejoramiento de la productividad:

**Modernizarse.-** Analizar las opciones que se tienen para modernizar el aparato productivo, maquinaria, equipos, procesos y gestión. Modernizarse no sólo implica adquirir tecnología, también es una forma de pensar y proyectar a una empresa hacia el futuro. Por medio de la modernización la empresa puede aumentar su capacidad de adaptación al cambio y de mantenerse vigente, a través del tiempo.

**Innovar.-** La competencia siempre está innovando. Por esta razón es importante que también se haga para no quedarse rezagado. La innovación ayudará a analizar el modelo de negocio para encontrar alternativas novedosas para mejorar su gestión y hacer un uso óptimo de los recursos. Las empresas pueden innovar en su aparato productivo, el uso de la tecnología y la gestión organizacional, entre otros aspectos. Por medio de la innovación las empresas podrán ser más competitivas e incluso lograr el desarrollo de nuevos productos y servicios.

**Capacitar.-** El capital humano de las empresas son su recurso más importante, por esto es clave que sus empleados se capaciten constantemente y adquieran nuevos conocimientos que les permitan seguir desarrollando habilidades para realizar eficaz y eficientemente las tareas que les corresponden en la organización. Capacitar a los empleados ayudará a tener un buen nivel de motivación, productividad, integración y compromiso. Existen diferentes opciones de actualización y capacitación que permitirán tanto a los directivos como a sus empleados desarrollar mejor sus habilidades y competencias, en pro de aumentar la productividad del negocio.

**Aplicar administración por procesos no por funciones.-** Si cada uno de los colaboradores entiende que sus responsabilidades van más allá del simple cumplimiento de unas funciones específicas y que en realidad lo que importa es que los procesos en los que está involucrada la empresa se realicen, porque con ello se benefician todos, entonces se contará con un grupo de empleados comprometido y dispuesto a dar lo mejor de sí para ayudar a la empresa. De eso se trata la administración por procesos. Algunas ventajas que puede traerle la aplicación de esta filosofía son: mejor planeación, mayor calidad del trabajo, mejor desempeño general de la organización y cumplimiento de los objetivos estratégicos.

**Motivar efectivamente.-** Mantener a los empleados motivados y con actitud positiva frente a las tareas diarias y el trabajo que desempeñan es clave para que todos los procesos en los cuales se encuentran involucrados sean más productivos. Por esto es importante generar políticas que velen por el bienestar y satisfacción de los empleados. Cabe aclarar que al hablar de motivación no solo se refiere al salario o beneficios económicos que una empresa les da a sus empleados. También se trata de las actividades y acciones que desarrollan las organizaciones en beneficio del capital humano (aniversarios, reconocimientos, capacitaciones, etc...).

**Planear.-** Un elemento fundamental para la dirección de una empresa es la planeación estratégica, ya que ésta ayuda a definir los objetivos, metas, estrategias, políticas y procedimientos que se desarrollarán en favor de la organización. Si se quiere realizar una buena gestión directiva es importante planear con tiempo y claridad el proyecto de vida de la empresa, contemplando su contexto y todos los actores que lo conforman.

**Administrar el tiempo.-** Un rasgo importante que comparten las personas y empresas exitosas es la adecuada gestión del tiempo. Para que una organización o empresa pueda ejecutar y llevar a cabo todas las actividades que se ha propuesto, debe organizar y priorizar tareas en función del tiempo. Éste es uno de los principales recursos cuyo uso es necesario optimizar para aumentar la productividad.

**Comunicarse de forma estratégica.-** La comunicación es un elemento indispensable para que las empresas sean más productivas, ya que por medio de una buena gestión de la comunicación interna y externa, se podrán establecer planes de acción que apoyen la consecución de los objetivos, mejorar el clima laboral, generar una buena reputación, dar a conocer a los clientes su portafolio y coordinar adecuadamente el trabajo al interior de la empresa, entre muchas otras acciones beneficiosas para su ejercicio empresarial.

**Administrar inteligentemente el capital de trabajo.-** Una buena administración del capital de trabajo garantiza la solvencia de la empresa, lo que permite responder de forma oportuna con todas las obligaciones financieras y generar condiciones favorables para negociar, tanto al momento de vender, como al momento de comprar. Todo margen ganado repercute en la productividad. Además, cuando una empresa es solvente, está en menor riesgo de tener que comprometer su operación por falta de los recursos apropiados.

**Considerar ingresar a nuevos mercados.-** Posiblemente cruzando las fronteras nacionales existen mercados que usted aún no sabe que son particularmente favorables para el negocio. Abrirse a la posibilidad de incursionar en mercados internacionales puede descubrir vías para aumentar la rentabilidad y productividad, aprovechando las oportunidades que ofrecen los tratados comerciales. Al contemplar la internacionalización se podrá expandir el negocio y llegar con los productos a diferentes partes del mundo.

## 1.2. Medición de la productividad

La productividad puede medirse en diferentes niveles en la economía, que son a nivel macro de la nación, a nivel de la rama de alguna actividad económica y a nivel empresa; para efectos de éste capítulo se abordará únicamente la medición de la productividad a nivel empresa.

La productividad involucra una mejora del proceso productivo y para mejorar es necesario comparar la cantidad de recursos utilizados contra la cantidad de bienes y servicios producidos, la medición de la productividad es un índice que relaciona precisamente lo producido por un sistema con los recursos utilizados para generar tal producción, de forma matemática la productividad se expresa como lo indica la Ecuación número 1:

$$Productividad = \frac{Salidas}{Entradas} = \frac{Producción}{Insumos} \dots\dots\dots Ecuación 1$$

Se observa una ecuación considerablemente simple, lo importante en éste caso es saber definir el sistema e indicar cómo expresar las entradas y salidas, o bien, la producción e insumos.

- ✓ Las salidas o la producción pueden ser medidas en: unidades procesadas (productos) o atendidas (servicios), número de servicios prestados, cantidad de labor realizada o producción obtenida, entre otras.
- ✓ Las entradas o insumos utilizados pueden expresarse en: cantidad de las inversiones empleadas, cantidad de tiempo requerido, número de personas o máquinas que participan en la producción, cantidad de materia prima, entre otros.

### 1.2.1. Complicaciones en la medición

A simple vista, medir la productividad puede resultar un proceso considerablemente sencillo, y realmente es así cuando se desea determinar por ejemplo, el número de hombres necesarios para realizar un producto, o bien cuando se desea conocer la cantidad de toneladas de vapor utilizadas para producir cierta cantidad de papel; sin embargo existen problemas de mayor grado de dificultad y es ahí en donde medir la productividad se empieza a complicar, Carro Paz & González Gómez en su libro de Administración de las operaciones, mencionan casos en los que medir la productividad pueden generar ciertos tipos de complicación:

- A. *La especificación del producto puede variar mientras la cantidad de insumos y salidas permanece constante.* Al realizar la comparación de dos teléfonos celulares uno análogo y un Smart Phone, ambos son teléfonos, sin embargo la tecnología entre uno y otro es totalmente diferente.
- B. *Los elementos externos pueden también causar un crecimiento o disminución en la productividad por el cual el sistema puede no ser directamente responsable.* Un servicio eléctrico más confiable puede mejorar de gran manera la producción, de ahí que la mejora en la productividad de la empresa se deba más a este sistema de soporte que a decisiones administrativas que se hayan tomado.
- C. *Falta de unidades precisas de medición.* En el caso de los automóviles, no todos necesitan los mismos insumos, por ejemplo, un VW Vento difiere mucho de un Renault o bien de un Porsche.
- D. *En el caso del sector servicios, medir la productividad puede generar problemas confusos, en el caso de un servicio médico, cada paciente es totalmente diferente, de tal forma que de acuerdo a la complicación de la enfermedad se puede variar el tiempo de atención y con ello alterar la medición de “consultas por hora de la mano de obra” o “consultas por empleado”.*

Independientemente de los problemas descritos, la medición de la productividad debe realizarse en los diferentes sectores, ya que no es posible mejorar lo que no se puede medir.

### **1.2.2. Métodos industriales y de servicios**

En éste tema se describen brevemente seis métodos para la medición de la productividad, mismos que fueron detallados por Cueva Brito (2013).

**Modelo Data envelopment analysis (DEA).**- Es un método no paramétrico de las áreas de la investigación de operaciones y economía, que estima las fronteras de producción. Es utilizado para realizar mediciones empíricas de la eficiencia productiva de las unidades de toma de decisiones DMUs (Decision Making Units). La ventaja de éste método es que no asume una manera de función particular de la frontera pero tampoco proporciona una relación general entre las entradas y salidas.

**Modelo de productividad del trabajo.-** La productividad del trabajo es calculada relacionando las unidades producidas y las horas de trabajo, tal relación puede distorcionarse como consecuencia de que no todos los productos requieren el mismo tiempo para ser producidos; por tanto, es preferible que las unidades producidas se expresen como unidades en tiempo y no como unidades físicas, con ello se analizaría la cantidad de trabajo que se realiza por hora y por trabajador, tal y como lo hacen los métodos que se basan en el tiempo.

En el sector de servicios es más difícil la medición de la productividad basada en un enfoque de trabajo realizado, para hacerlo se debe determinar inicialmente una medida del trabajo se realiza, para lo que se estiman tiempos estándar del trabajo en oficina utilizando el método de observación y apoyándose de filmaciones y mediciones con cronómetro, la finalidad es poder determinar el tiempo que toma una determinada actividad repetitiva, para lo ello se hace uso de técnicas estadísticas.

**Modelo de Alan Lawlor.-** En éste modelo de productividad existen dos niveles, que son el primario y el secundario. En el primario se mide la productividad de los ingresos totales, que sirve para conocer si los ingresos generados por la organización pueden cubrir los “costos de conversión”, que pueden ser las remuneraciones totales, los bienes y servicios comprados y la depreciación. Este tipo de medición de la productividad es un índice financiero. El nivel secundario mide la relación entre los recursos utilizados con respecto al costo total de todos los recursos disponibles.

**Modelo de Bela Gold.-** La medida de productividad de éste modelo se enfoca en la tasa de rendimiento de las inversiones, que es un indicador financiero, el resultado se entiende por la interacción de cinco variables: Precios de los productos, costos unitarios, utilización de las instalaciones, productividad de las instalaciones, distribución de los recursos de capital fijo y de trabajo. Este modelo describe las proporciones y tendencias a corto y largo plazo en la rentabilidad y en el aprovechamiento de la capacidad instalada y en los activos fijos.

**Modelo financiero.-** Para el análisis económico financiero de una empresa se deben utilizar índices para medir la productividad, éstos van a comparar los resultados obtenidos con los gastos empleados. Lo ideal es que estos índices sean elevados, considerando que debe existir un referente contra el que se pueda comparar.

**Modelo de productividad total.-** En éste modelo se relaciona la producción tangible con los recursos intangibles, que se descomponen en productividades parciales para cada insumo: humano, capital, materiales, energía y otros gastos. Son tres los modelos de medición, que son, la productividad parcial, la productividad total y la productividad del valor agregado o de factor total, los tres indicadores se describen detalladamente en la siguiente sección.



### 1.2.3. Índices de productividad

Un indicador de productividad ayuda a determinar la cantidad producida o los eventos atendidos por cada unidad de recurso (s) invertido para poder producirla. Existen diferentes alternativas para expresar la productividad que se utilizan para medir el progreso, en sección se describirán los siguientes indicadores de productividad:

- ✓ Productividad total.
- ✓ Productividad parcial de recurso.
- ✓ Productividad del factor total.

#### 1.2.3.1. Productividad del factor total.

Éste indicador de productividad se define como el valor agregado a la salida, por una entrada en donde el valor de ciertos insumos ha sido excluido del numerador y denominador del índice, es decir, es la razón de la producción neta entre la suma de los insumos mano de obra y capital. La expresión matemática es la que se muestra en la ecuación 2.

$$\text{Productividad de factor total} = \frac{\text{Producción Neta}}{\text{Mano de Obra} + \text{Capital}} \dots \dots \text{Ecuación 2}$$

Dónde: La producción neta = Producción Total – Servicios y bienes intermedios comprados.

#### 1.2.3.2. Productividad parcial de recurso.

El indicador de productividad parcial, es que relaciona el total de la producción de un sistema con uno de los recursos o insumos utilizados, es decir, es la razón entre la cantidad producida y un solo tipo de insumo (mano de obra, energía, capital, materia prima). En la ecuación 3 se muestra la fórmula matemática de éste indicador.

$$\text{Productividad Parcial} = \frac{\text{Salida Total}}{\text{Una entrada}} = \frac{\text{Producción Total}}{\text{Insumo}} \dots \dots \text{Ecuación 3}$$

#### 1.2.3.3. Productividad total.

Éste indicador de productividad incluye todos los recursos, también conocidos como entradas, requeridos por el sistema de producción, es decir, es la razón entre la producción total y la suma de todos los factores de insumo, su fórmula matemática se muestra en la Ecuación número 4.

$$\text{Productividad total} = \frac{\text{Salida Total}}{\text{Entrada Total}} = \frac{\text{Bienes y servicios producidos}}{\text{Mano de Obra} + \text{Capital} + \text{Materias primas} + \text{Energía} + \text{Otros}} \dots \dots \text{Ecuación 4}$$

#### 1.2.4. Indicadores de grupo

Actualmente existen tres criterios que se asocian con la productividad y calidad que sirven para evaluar el desempeño de los sistemas de producción, son: la eficiencia, la efectividad y la eficacia, con frecuencia existe confusión en lo que implica cada uno de ellos, o bien, se piensa que son sinónimos, por ello, enseguida se describe el concepto de cada uno:

**Eficiencia.**- El indicador de eficiencia se enfoca en la utilización de los recursos y en el cumplimiento de las actividades, sus alcances son dos, el primero es relacionar la cantidad de recursos que se utilizan entre la cantidad de recursos que se planearon; el segundo alcance se relaciona con la medida en que los recursos son utilizados para convertirlos en productos o servicios. Este indicador no considera la cantidad ni la calidad, por lo tanto, únicamente manifiesta una parte del significado de la productividad. Rodríguez & Gómez Bravo (1991) llaman a ésta medición “estilos eficientistas” y como ejemplos consideran: cumplimiento de presupuesto de gastos, uso de las horas disponibles, realización de actividades, etc.

**Efectividad.**- El indicador de efectividad realiza una relación entre los resultados logrados y los resultados planeados, así mismo, indica la medida en la cual los objetivos planificados fueron cumplidos; algunos ejemplos de mediciones son: cantidades a producir, clientes a tener, órdenes de compra a colocar, etc. (Rodríguez & Gómez Bravo, 1991). Considerar la efectividad como único criterio de productividad hace descuidar los costos, ya que aquí sólo importan los resultados.

**Eficiencia.**- El indicador de eficiencia permite conocer el impacto de lo realizado, es decir, del producto o del servicio, hace insuficiente producir con el 100% de efectividad tanto en cantidad como en calidad, para éste indicador es necesario medir el impacto que alcanzan los productos y servicios en el mercado.

Es importante tener en cuenta que deben utilizarse los tres indicadores de medición asociados a la productividad, ya que se estará evaluando de manera integral a los recursos utilizados, los resultados obtenidos y la satisfacción de los clientes.

**1.2.5. Matriz de objetivos**

La matriz de objetivos (Omax) es una herramienta que se utiliza en unidades de trabajo básicas, como son las cuadrillas, los staff, los departamentos, núcleos de personal, etc., aunque también puede representar a toda una empresa según sus objetivos estratégicos. Esta matriz puede medir diferentes actividades, ya sea relacionada con tiempos, conocimientos, habilidades y otras.

Esta matriz se basa en que la productividad de una organización está en función de diversos factores, cada uno de los cuales tiene dimensiones claras que varían entre unidades de trabajo y que la manera más práctica de evaluar la productividad de la unidad consiste en medir los factores más influyentes. Emplea un formato multidimensional, y en su creación participan los empleados y directivos para producir una medición única que represente el comportamiento productivo de una unidad organizacional. (Guevara, Edna, 2007, p. 4) referenciado por (González Sóbál , Calderon Palomares, & Sólis Jiménez, 2018). Un ejemplo de ésta matriz se muestra en la figura 1.2.

Criterios de productividad	Lavar baños	Barrer	Cortar Pasto	Mantto a Soldaduras	Mantto Eléctrico	Criterios
	Jornada	Jornada	Jornada	Jornada	Jornada	
Desempeño →	57	60	120	48	150	Desempeño
	45	40	90	30	120	10
	46.74	42.85	94.28	32.58	124.26	9
	48.45	45.71	98.56	35.15	128.55	8
	50.16	48.57	102.84	37.72	132.84	7
	51.87	51.43	107.12	40.29	137.13	6
	53.58	54.29	111.40	42.86	141.42	5
	55.28	57.15	115.68	45.43	145.71	4
	57	60	120	48	150	3
	58	73.33	130	52	160	2
	59	86.66	140	56	170	1
60	100	150	60	180	0	
	3	3	3	3	3	PUNTUACION
	20%	30%	15%	15%	20%	PESO
	60	90	45	45	60	VALOR
Indicador de desempeño →			Anterior	Actual	Indice	
				300		

Figura 1.2. Ejemplo de la matriz de objetivos (Omax).

Enseguida se enumeran los pasos a seguir para la realización de una matriz de objetivos:

1. Se deben buscar o determinar los criterios de medición de la productividad que sean representativos del desempeño, por ejemplo: las horas trabajadas, las piezas por hora, el costo de la mano de obra, etc.
2. El cuerpo de la matriz se realiza con una ponderación en relación a un nivel o puntuación que tiene una escala de 0 a 10, formando un total de 11 niveles de logro para cada criterio, para cada criterio se debe asignar una columna extendida a lo largo de la matriz.
3. Se considera el nivel 0 como el más bajo registrado para la relación del criterio, es decir, 0 es la peor medición. En el nivel 3 se posiciona la productividad actual, es decir, los resultados de la primera medición del criterio. El nivel 10 es una aproximación real de los resultados que pueden alcanzarse, corresponde al resultado más favorable o positivo para cada criterio. Las columnas de puntuación deben ser llenadas en el cuerpo de la matriz en escalas de intervalos iguales.
4. El peso que se asigna a cada criterio es de acuerdo a su importancia con respecto al impacto en la productividad, la suma de los pesos del total de criterios debe ser igual al 100%.
5. Para obtener el valor de cada criterio, se multiplica el valor de la escala del 0 al 10 en el cual se posiciona el criterio y se multiplica por el peso asignado al mismo criterio.
6. Finalmente se suman los valores para determinar el indicador de desempeño, que será comparado con la medición anterior para determinar de ésta forma el índice de productividad obtenido. Para obtener el índice de cada periodo, se utiliza la fórmula que se muestra en la Ecuación 5:
- 7.

$$\text{Índice de productividad} = \frac{\text{Desempeño del periodo actual} - \text{Índice del periodo anterior}}{\text{Índice del periodo anterior}} * 100 \quad \text{Ecuación 5}$$

8. La fórmula se repite con el procedimiento de llenado de la matriz, el número de veces o periodos que se consideren oportunos para la medición de la productividad.

### 1.3. Mejoramiento de la productividad

Las empresas que deciden mejorar su productividad, deben tener ideas claras y saber establecer metas y objetivos alcanzables que deben ser complementados con planes de acción detallados en pro de la mejora.

La productividad debe siempre expresarse en función del mejoramiento de las organizaciones y para lograr el mejoramiento es importante establecer estrategias de trabajo, enseguida se puntualiza qué debe incluir una estrategia para el mejoramiento de la productividad, según Prokopenko (1989):

- ✓ El establecimiento de objetivos, la planificación, la coordinación y el empleo de técnicas de ingeniería industrial.
- ✓ El logro de la participación y dedicación del personal al mejoramiento de la productividad.
- ✓ La adquisición de nuevos conocimientos técnicos por parte del personal y la facilitación de oportunidades para utilizar esos conocimientos.
- ✓ El establecimiento de una dirección y de recompensas adecuadas.
- ✓ El lanzamiento de programas de mejoramiento de la productividad en largo plazo.

#### 1.3.1. *Requerimientos para administrar la productividad*

##### 1.3.1.1. Productividad por objetivos.

El trabajo por objetivos hoy en día es una de las propuestas para el mejoramiento de la productividad que implica definir metas y desarrollar métodos de trabajo que permitan su cumplimiento; el trabajo por objetivos va más allá de la motivación a los empleados, implica conceptualizar al trabajo como una gran oportunidad de obtener beneficios, guiando a los trabajadores a dejar de cumplir horarios y a realmente cumplir objetivos de trabajo.

Establecer objetivos es direccionar los esfuerzos de todo el personal en una organización, pero no basta con establecerlos, es importante definir claramente hacia dónde se quiere llegar con cada puesto y actividad de trabajo; cuando los empleados conocen y entienden qué tienen que hacer y la finalidad de ello, se crea un entorno laboral con mayor responsabilidad. La empresa debe medir los resultados e ir estableciendo mejoras en el desempeño de sus trabajadores, en su eficiencia, talento y productividad.

Es muy importante que los administradores tengan conocimiento sobre el establecimiento de sus objetivos, de no hacerlo puede repercutir en la empresa en lugar de ayudarla. Por ello los objetivos implantados deben cumplir con ciertas características, por ejemplo: deben ser medibles, alcanzables, retadores y flexibles; ciertamente cada autor tiene su aportación con respecto a las características de los objetivos, a continuación, se puntualizarán cinco aspectos clave para el establecimiento de objetivos que propone Euroresidentes (2020) en su artículo “OKRs: *Objetivos y resultados para mejorar la productividad*”.

- ✓ **Objetivos claros y cuantificables.**- Los objetivos deben ser entendibles por toda la organización. Las personas deben entender con claridad cuáles son las motivaciones que respaldan cada objetivo, los resultados esperados y los medios necesarios para alcanzarlos.

Las indecisiones generan incertidumbre, desorientación y pérdida de tiempo: improductividad. También deben ser cuantificables para que pueda estimarse el grado de avance y medir las acciones que mejor influyen en la consecución del objetivo principal (KPI, Key Performance Indicator).

- ✓ **Objetivos difíciles, pero motivadores.**- Los objetivos deben ser difíciles de conseguir, casi imposibles. Deben generar una motivación extra en las personas que incentive tanto su creatividad como su capacidad de ejecución para el logro de los objetivos. Encontrar un equilibrio entre el reto y la superación personal.
- ✓ **Objetivos públicos y personalizados.**- Los objetivos deben ser públicos y conocidos por toda la organización. Una empresa es un grupo de personas que debe funcionar como un equipo y donde cada uno ayuda a su compañero al logro de sus objetivos. Pero los objetivos también deben personalizarse y adaptarse a las cualidades de cada persona, de forma que se obtenga el máximo rendimiento de cada una de ellas.
- ✓ **Objetivos temporales y que se puedan descomponer.**- La consecución de los objetivos debe tener un límite temporal establecido. Generalmente se establecen objetivos anuales, pero es muy importante que se puedan descomponer y fijar metas intermedias trimestrales, mensuales e incluso semanales. Además, la vida de una empresa es dinámica e impredecible.

Los objetivos deben ser ajustables a cambios significativos que afecten a la empresa y/o a las personas que la integran. El seguimiento periódico de los objetivos permite actuar con rapidez y adaptabilidad antes posibles desviaciones o imprevistos que son habituales.

- ✓ **Objetivos globales.-** Los objetivos individuales se deben enmarcar dentro de una estrategia global de la compañía y en consonancia con su propia cultura empresarial. Todo tiene un por qué dentro de la estrategia. Comunicarlo y explicarlo a todos los miembros del equipo les implica en el proyecto y les fomenta la participación, el compromiso y la creatividad para afrontar los desafíos de un mercado cada vez más competitivo.

Establecer objetivos es una labor que se torna complicada dentro de las organizaciones ya que pueden afectar los recursos más subjetivos de la misma, que son las personas. Pragmatismo, optimismo, ambición, motivación y gestión son factores clave que un directivo debe combinar tanto eficiente como eficazmente para mejorar la productividad de las personas de su equipo y alcanzar el éxito empresarial. (Euroresidentes , 2020).

### **1.3.1.2. Productividad humana.**

La productividad del factor humano es un elemento clave para el logro de los objetivos de las organizaciones, de su desempeño económico y para su permanencia en el tiempo, por lo que la calidad de su recurso humano, los sistemas de trabajo, las políticas de la organización y su cultura son vitales para su sostenimiento y mejora (Marchant, 2006; Quijano, 2006) referenciado por (Marvel Cequea, Rodríguez Monroy, & Núñez Bottini, 2014).

Es por ello que los administradores de una organización deben tener una búsqueda permanente de los factores que estimulan a los individuos a ser más eficientes y productivos.

### **1.3.1.3. Productividad del capital.**

La productividad de capital se define de una forma sencilla como la cantidad de producto que se obtiene por una unidad de capital, esta puede aumentar cuando es mayor el aumento en la producción en relación al aumento del capital.

Si se quiere hacer una demostración, basta observar a los países que tienen más inversión de capital, que son los países más productivos y competitivos, hoy en día conocidos como países industrializados.

#### 1.3.1.4. Productividad de la energía.

Este tipo de productividad hace relación a la cantidad de energía que se ocupa para producir una unidad de producción. Para mejorar este tipo de productividad parcial debe trabajarse en la reducción de insumos energéticos requeridos para producir una cantidad de productos o servicios y también incrementando la cantidad y calidad de los bienes y servicios.

#### 1.3.1.5. Productividad en procesos y en productos.

Esta productividad se refiere a la utilización correcta de los varios recursos que dispone la organización, como son los recursos materiales, financieros, humanos, tecnológicos, etc. La administración eficiente y conjunta de estos recursos, lleva a la organización a alcanzar altos niveles de calidad en su producción, lograr la satisfacción del cliente y con ello obtener competitividad en los mercados.

### 1.3.2. Metodología para la administración del mejoramiento de la productividad

Según la teoría de Sumanth D. J. (1999) referenciada por Aguilar Lemus (2014), menciona que “la administración de la productividad total se basa en el ciclo de productividad”, que es una filosofía administrativa con una forma diferente de diseñar y mantener un funcionamiento sistemático en la administración de las organizaciones. (Tobón Galicia, Fuentes Rosas, Sánchez Martínez, & Ruíz Toribio, 2019). Este modelo se compone de cuatro fases que son: medición, evaluación, planeación y mejoramiento; Jiménez Rojas, Delgado Bobadilla, & Gaona Villate (sf) en su artículo “*Modelo de Productividad de David Sumanth aplicado a una empresa del sector de maquinaria no eléctrica*” definen cada una de éstas etapas de la siguiente manera:

**Medición:** Diseñar y desarrollar un método cuantitativo, medible, mesurable, basado en relaciones de entradas y salidas que se manifiestan entre el valor de la producción y el insumo utilizado manifestando su variación, que no son susceptibles de medida directa.

**Evaluación:** Es una fase transitoria entre la medición y la planeación, estableciéndose expresiones de cambio en la Productividad Total entre dos periodos sucesivos y expresando las formas como puede ocurrir el cambio, desarrolla métodos para analizar la productividad entre dos periodos presupuestados comparándolos con los periodos reales.

**Planeación:** Proceso analítico que abarca un horizonte hacia el futuro donde se determinan objetivos cuantificados en metas, el desarrollo de cursos de acción para lograr dichos objetivos y la selección de un curso de acción.



**Mejoramiento:** Son acciones emprendidas por toda la organización basadas en la fase de Planeación que buscan llevar a cabo operativamente, identificando y explicando la interrelación entre los factores duros (tecnología) y blandos (organizacionales y motivacionales) que inciden en la eficiencia y la eficacia del desempeño del trabajador, utilizando estrategias para lograrlo.

En la figura 1.3 se muestran las etapas del modelo en forma resumida.



Figura 1.3. Modelo para el mejoramiento de la productividad.

### 1.3.3. Plan de mejoramiento de la productividad

Como se ha mencionado en temas anteriores, la planeación es la concepción de los objetivos y el arreglo sistemático de las tareas para poder lograrlos. Un plan debe ser estructurado de tal forma que permita visualizar qué hacer, cómo hacerlo y cuándo hacerlo. Un plan puede convertirse en un parámetro para comparar el avance real contra el programado y de ésta manera realizar ajustes o correcciones pertinentes a fin de lograr los objetivos establecidos.

Por otra parte, cuando se habla de mejoramiento, se entiende como un cambio para poder realizar las cosas de una forma eficiente, efectiva y adaptable.

Como consecuencia un plan de mejoramiento se puede definir como un conjunto de acciones que permitirán un cambio positivo en una máquina, en un proceso o en cualquier sistema expuesto a la mejora.

### **1.3.4. Métodos y técnicas para el mejoramiento**

Hoy en día son conocidas una inmensa cantidad de técnicas y métodos para el mejoramiento, dependiendo de lo que se desea mejorar es el tipo de metodología que se deberá utilizar, por ejemplo si se habla del mejoramiento de los materiales, se puede hacer uso de técnicas como: Control de inventarios, Planeación de los requerimientos de materiales (MRP), Administración de materiales, Control de calidad, Materiales reusables y reciclables; si lo que se requiere es la mejora de la productividad en los procesos, las técnicas que pueden utilizarse son: Ingeniería de métodos/Simplificación del trabajo, Medición del trabajo, Diseño del trabajo, Evaluación del trabajo, Diseño de seguridad en el trabajo, Ergonomía, Programación de la producción; o bien, si lo necesario es mejorar el producto, se puede recurrir a: Ingeniería de valor, Diversificación del producto, Simplificación del producto, Estandarización del producto, Investigación y desarrollo, Mejoramiento de la confiabilidad, Emulación, Publicidad y promoción. Existe una gran cantidad de técnicas, herramientas, metodologías y filosofías de trabajo enfocadas en la mejora continua de las organizaciones, en los siguientes apartados se describen algunas de ellas.

#### **1.3.4.1. Control Estadístico del proceso.**

Es una herramienta que permite que las variables de un proceso cumplan con los límites de especificación establecidos, es decir, contribuye a la disminución de la variabilidad en los procesos y por ende a la mejora de la calidad de los productos y servicios. Esta herramienta se integra de otras más, que le permiten la medición, el análisis y el control de los procesos (ver figura 1.4), pueden implementarse en procesos de fabricación o en procesos orientados a servicios, tienen la ventaja de ser sencillas en su aplicación y muy valiosas como sustento para la toma de decisiones; el uso secuenciado de éstas herramientas permite a las organizaciones la identificación de oportunidades de mejora, la reducción de la variabilidad y la eliminación de desperdicios.

Figura 1.4. Herramientas para el control estadístico de procesos.



#### 1.3.4.2. Kaizen.

Kaizen es un sistema integral que se enfoca en mejorar procesos y actividades que conforman una empresa, así como también incluye al personal que es indispensable para el desarrollo de las actividades. Esta herramienta está enfocada al cliente, y busca agregar valor mediante la mejora continua y sistemática de la calidad, los costos, los tiempos de respuesta, etc., a fin de generar un nivel aceptable de satisfacción. Una correcta implementación de kaizen contribuirá al mejoramiento continuo de la producción, calidad, mercado, aprovechamiento de recursos y diseño del producto.

#### 1.3.4.3. Tiempos y movimientos.

El estudio de tiempos y movimientos es una actividad que consiste en establecer estándares de tiempo permisibles para realizar determinadas tareas, se basa en la medición del trabajo y considera aspectos como fatiga, demoras personales y retrasos inevitables. Los resultados de su implementación son: minimizar el tiempo requerido para la realización de trabajos, conservar los recursos y minimizar los costos, producir teniendo en consideración la disponibilidad de energéticos, brindar un producto confiable, eliminar o reducir movimientos innecesarios y acelerar los eficientes por mencionar algunos.

#### **1.3.4.4. Mantenimiento productivo total.**

El mantenimiento productivo total (TPM) es una metodología de las denominadas “de mejora”, que permite garantizar la disponibilidad y confiabilidad de las operaciones, de los equipos y del sistema de producción en general, esto lo logra a través de la aplicación de conceptos como: prevención, cero defectos, cero accidentes y participación total del personal.

Esta filosofía de trabajo se enfoca en mejorar la eficiencia de los equipos y de las operaciones en general, mediante la reducción de: fallas, no conformidades, tiempos de cambio e incluye también actividades de orden y limpieza.

El TPM se fundamenta sobre seis pilares que son:

1. Mejoras enfocadas.
2. Mantenimiento autónomo.
3. Mantenimiento planificado.
4. Mantenimiento de calidad.
5. Educación y entrenamiento.
6. Seguridad y medio ambiente

Esta metodología de trabajo es la mejor forma de asegurar un mantenimiento que impacte positivamente en el aumento de la productividad.

### **1.4. Productividad por objetivos**

La productividad por objetivos es un sistema implantado para elevar el rendimiento de los trabajadores enfocado al incremento de la productividad, por lo que es necesario que las empresas reenfoquen la forma de trabajo, para adoptar un nuevo modelo de gestión de los recursos humanos en que los colaboradores trabajen por objetivos y no por horas en el lugar de trabajo.

La productividad por objetivos es un sistema de administración diseñado para facilitar la planeación y el control organizacional, la organización y la asignación de labores, la solución de problemas y la toma de decisiones, la motivación y el autocontrol, así como otras funciones y actividades administrativas importantes.

Así también permite que algunas de las cosas que la organización está haciendo quizá sin control se hagan en forma lógica y sistemática. El centro de la investigación por objetivos está en establecer objetivos tangibles, mensurables y comparables en las áreas clave de rendimiento.

“Cuando trabajas en una empresa o de forma independiente siempre tendrás objetivos que alcanzar; establecerlos es una forma de encaminar las actividades de trabajo y cumplir con el proceso de planeación; eso es trabajar por objetivos y es una forma altamente eficiente para llegar hacia el éxito”, dice Maricarmen Balcarcel, gerente de capital humano de Randstad México.

### **1.4.1. Límites de responsabilidad**

#### **Características individuales**

La idea de introducir e iniciar el programa de productividad por objetivos no influye en la actitud y el conocimiento de los supervisores con respecto al programa, por lo que los empleados pueden ignorar los motivos por los que se está poniendo en práctica. Se debe admitir que el personal suele temer a todo aquello que no comprende por lo que el temor conduce a la sospecha y falta de confianza, con esto disminuyendo el entusiasmo del empleado, cuya importancia es vital en las primeras etapas.

Para adoptar este esquema de gestión, basado en el establecimiento de objetivos, se recomienda que sean:

- 1. Retadores pero alcanzables.** Deben ser objetivos estimulantes para retar la capacidad del equipo o la persona.
- 2. Medibles.** Debe tener parámetros de medición claros, que nos permitan saber si vamos por el buen camino.
- 3. Flexibles.** Ser lo suficientemente laxos como para admitir un cambio de rumbo.
- 4. Evaluables.** Cuando se trabaja en equipo es importante evaluar cada cierto tiempo los resultados, tanto para que los colaboradores le den la seriedad que merecen, como para garantizar que las acciones vayan en el camino correcto.

Responsabilidad social empresarial es una forma de gestión que se define por la relación ética de la empresa con los accionistas, y por el establecimiento de metas empresariales compatibles con el desarrollo sostenible de la sociedad; preservando recursos ambientales y culturales para las generaciones futuras, respetando la diversidad y promoviendo la reducción de las desigualdades sociales.

En la actualidad la tasa de productividad cae inexorablemente, porque ningún trabajador puede dejar de lado su condición humana.

Aquí, algunos de las principales fuentes de limitación del propio potencial:

- ❖ **Mente funcional:** Es una gran herramienta de productividad, pero cuando se conoce su límite. El emprendedor, por su misma esencia, debe estar en muchos lados el mismo tiempo y en muchos casos, se basta él mismo para todo.

- ❖ **Déficit de atención:** Tiene que ver con un mal que afecta el rendimiento, y refiere en muchos casos la navegación inconsciente o las distracciones constantes.
- ❖ **Saturación:** El estar constantemente bajo presión, con una lista de pendientes que nunca se completa y sumando más tareas a la agenda, priva a la mente de algo tan necesario como el ocio, que muchas veces, es necesario como fuente de creatividad y mayor productividad.
- ❖ **Falta de ánimo:** Es muy común que el emprendedor sienta malestar cuando las cosas no van bien. Mucho de la cultura del entrepreneurship tiene que ver con el fracaso, con el ensayo y el error, sin embargo, no todos tienen la presencia de ánimo como para poder sobre llevar los malos momentos y capitalizar la experiencia.

### **1.4.2. Estructura organizacional o política**

La estructura organizacional es la distribución, división, agrupación y coordinación formal de las tareas en los diferentes puestos en la cadena administrativa y operativa, donde las personas influyen en las relaciones y roles para el cumplimiento de obligaciones y responsabilidades en la organización.

Por otro lado, la estructura organizacional, adquiere forma y figura, con lo cual se pretende lograr los objetivos, cumplir planes y efectuar los controles internos.

Una estructura organizacional, en su diseño que debe tener en cuenta ciertos aspectos para concretar su estructura en elementos claves como los siguientes:

- ✓ **Jerarquización de Puestos** A través de la cadena de mando, asignar responsabilidades y autoridad en el desarrollo de actividades.
- ✓ **División del Trabajo** A través de la agrupación de puestos, por divisiones operativas necesarias en una organización.
- ✓ **Definición de puestos** Descripción adecuada de los puestos, tomando en cuenta actividades específicas en cada una de las áreas o secciones de la organización.
- ✓ **Asignación de tareas** A través de la separación de funciones, de las actividades y tarea dentro de la organización, de acuerdo con el proceso administrativo establecido; ejemplo, autorización, registro, custodia del encargado de facturación en ventas.

Esquemáticamente se presenta la formación de la estructura organizacional en la figura 1.5.

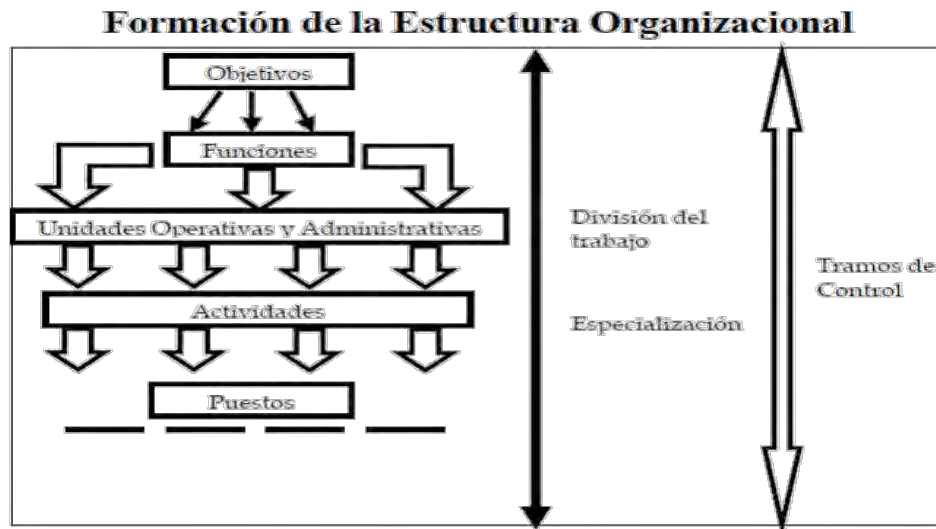


Figura 1.5. Estructura Organizacional de una empresa.

### 1.4.3. Medición de eficiencia del equipo

Los criterios para medir el desempeño de una organización o grupo son claros y objetivos, penetración en el mercado, volumen de ventas, costos, ganancias, interés en inversionistas, productividad, pérdidas de desperdicio, rotación y ausentismo estos son solo algunos de los puntos de referencia.

#### El equipo de mejora:

Pone en juego los conocimientos, capacidades, habilidades, información y las competencias de las distintas personas que lo integran, con el propósito de garantizar el mejor trabajo colegiado hacia la calidad y satisfacción de nuestros usuarios.

Implementación de los procedimientos y/actividades identificadas se tienen las siguientes:

- Contratación de personal académico
- Capacitación
- Nómina
- Compras
- Mantenimiento de infraestructura y aulas

Modelo para medir la efectividad del trabajo en equipo, figura 1.6:

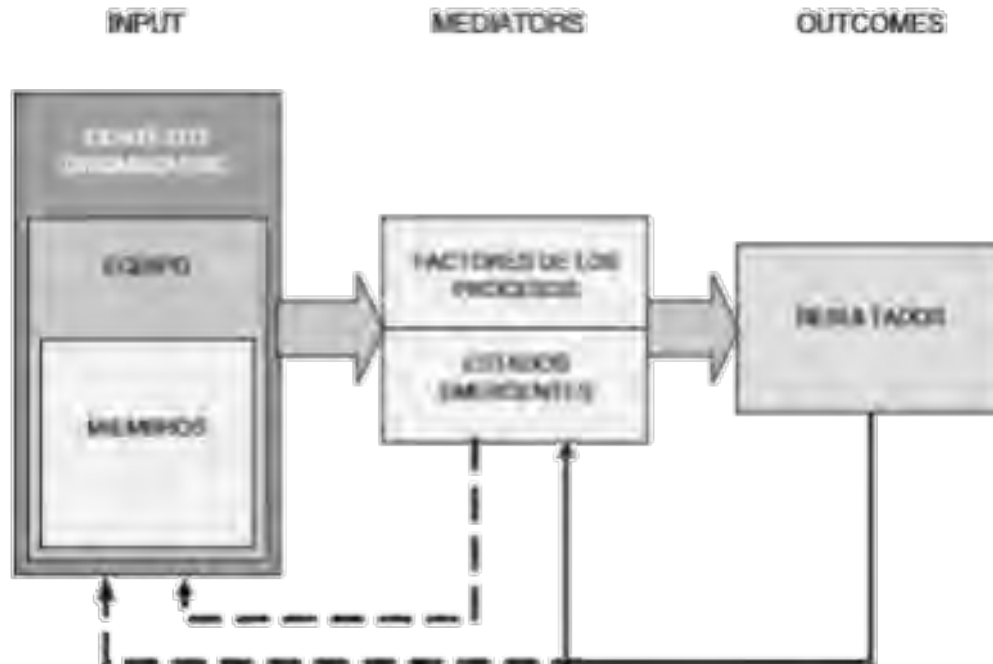


Figura 1.6. Sistemas de efectividad del trabajo.

Fuente: Malhieu et al., 2008.

Las competencias son aprendidas y la persona puede desarrollarlas a través de diferentes estímulos. Las organizaciones deben establecer mecanismos para medirlas y, así, proyectar su potencial y correcto desarrollo.

#### 1.4.4. Productividad del equipo

La productividad del equipo es un indicador empresarial que pone de manifiesto el tiempo productivo de los equipos de trabajo respecto de su actividad. Representa la suma del tiempo que el grupo de trabajo ha dedicado a actividades consideradas como productivas por la organización.

En la figura 1.7 se muestra la diferencia entre la productividad Individual y la productividad por equipo.



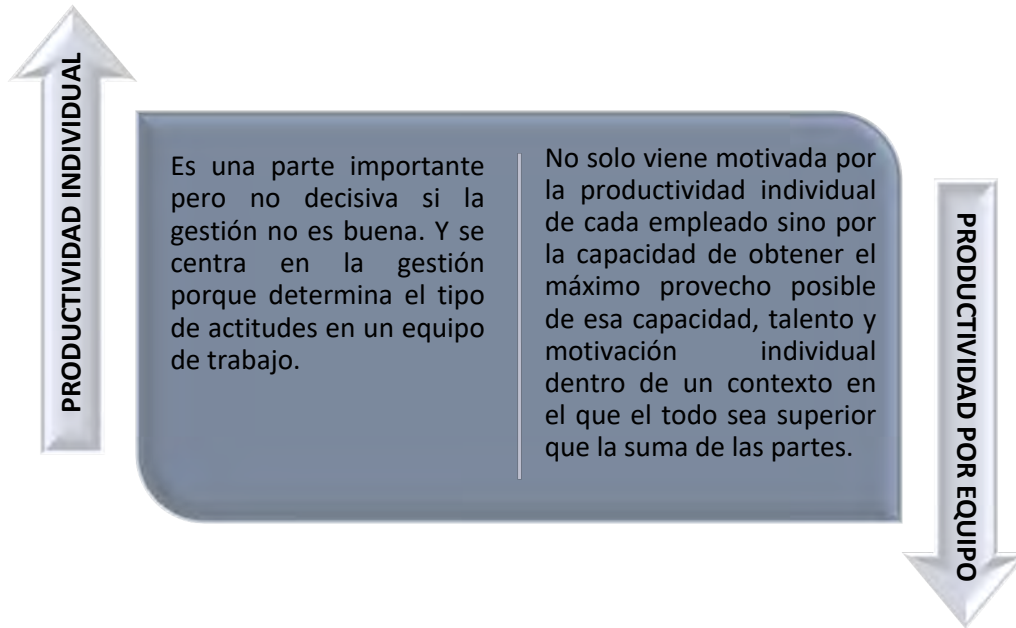


Figura 1.7. Productividad individual & equipo.

Todo sistema de producción está condicionado al factor tiempo y este por naturaleza se convierte en el índice base de la productividad.

Horas reales del trabajo

$P = \text{ } * \text{ Eficiencia}$

Horas teóricas de trabajo

Si se hablará de productividad intrínseca de una máquina, éste será igual al índice de saturación de la máquina, o sea:

Horas reales de trabajo

$P = \text{ } * \text{ Rendimiento}$

#### 1.4.4.1. Horas teóricas de trabajo.

Por lo tanto, para calcular la productividad intrínseca es necesario conocer los tiempos productivos y éstos no serán otros que aquellos en que máquinas y operarios estén trabajando bien. Pocas empresas (10%) tienen un sistema racionalizado con el método y tiempos bien estudiados. A pesar de que la racionalización es una de sus funciones específicas, el estudio de tiempo busca como objetivos rendimientos óptimos.

La productividad del equipo trata de establecer los tiempos asignables para la ejecución de una tarea, ya sea manual o por medio de cualquier máquina o herramienta, así como el estudio del método, el análisis es la característica fundamental, la productividad del equipo los es para el estudio de tiempos, con ello se pretende mejorar la productividad, determinando entre otros aspectos:

- 1) Los tiempos óptimos para realizar una tarea dentro del sistema hombre-máquina.
- 2) Los valores de tiempo de las máquinas de acuerdo con sus características y empleo.
- 3) Los valores de tiempo del trabajo manual del operario.
- 4) Los valores de tiempo para los periodos de reposo y diversos.
- 5) Los valores de tiempo para la aparición de la fatiga, etc.

Estandarización del equipo para aumentar la productividad.

La estandarización busca la máxima homogeneidad y simplificación en las instalaciones y equipos, los que se consigue con la normalización y la intercambiabilidad, que determinan a su vez una mayor flexibilidad para adaptarse a los cambios que puedan producirse tanto en los productos como en los actores empleados para la producción, como pueden ser maquinaria, equipo, herramientas, etcétera.

Las normas de diseño son un intento de racionalizar el trabajo, uniformando en lo posible los componentes, factores y procesos (fases, materiales, herramientas, equipos, tareas, etc.), basándose en la experiencia y en estudios anteriores.

La estandarización del equipo dentro del sistema de producción va encaminada a:

1. Reducir la variedad.
2. Aumentar el nivel y dimensión de utilización de los elementos empleados.
3. Reducir la complejidad, los tiempos y los costos.

La flexibilización del equipo para incrementar la productividad en el sistema de Producción, va dirigido a:

- 1) Reducir la rigidez permitiendo la adaptación del sistema a los cambios.
- 2) Aumentar el nivel de utilización de los sistemas al poder adaptarse a las nuevas necesidades.
- 3) Reducir los riesgos, inversiones y costos, aumentando la calidad por una mejor educación del sistema.

Los elementos dentro del equipo que deben estandarizarse y flexibilizarse para aumentar su productividad son:

1. Los productos y sus componentes.
2. Las fases del proceso productivo.
3. Los procedimientos de operación de los equipos y maquinaria.
4. Los equipos e instalaciones en general.
5. las herramientas y utillaje.
6. Los métodos de trabajo.
7. Los materiales.

Los principios comunes que deben tenerse en cuenta para aumentar la Productividad en los equipos son:

**1) Estandarización.** Reduciendo la variedad de los elementos empleados, utilizar los elementos más comunes existentes. Seguir las normas de uso.

**2) Modularidad.** Concibiendo todo como un sistema formado por los módulos que se toman como elementos base de referencia, que luego se ínter conexionan.

**3) Intercambiabilidad.** De forma que los elementos puedan sustituirse y cambiarse dentro del sistema o por otros elementos externos al sistema.

**4) Ampliabilidad.** Flexibilidad dimensional que puede aumentar la capacidad del elemento considerado a través de incorporación de nuevos módulos o elementos.

**5) Regulación y adaptación.** Permitiendo ser modificado ligeramente para adaptarse mejor a las circunstancias.

**6) Encadenable.** Pudiendo unirse e intercalarse en una cadena de elementos para aportar la misión específica que se le encomiende sin solución de continuidad con los demás.

**7) Móvil.** Capaz de ser desplazado fácilmente modificando su localización o posición en el sistema.

**8) Dinámico.** Con capacidad de evolución.

La homogeneización del equipo permite reducir el número de máquinas, facilitando las decisiones de inversión y renovación, así como de mantenimiento. El concepto modular respecto de las herramientas comprende el empleo de un número reducido de módulos, que por combinación logran dar la herramienta requerida

### 1.4.4.2. Aplicación.

En la figura 1.8 se muestra la suma del tiempo productivo de un equipo de trabajo a lo largo de 6 días, que es el periodo en que la empresa ha estado midiendo este indicador. Como puede verse, el periodo inicia con una productividad del grupo de 3 horas 50 minutos, que termina siendo, al cabo de los 6 días, de 5 horas y 20 minutos de productividad, es decir, de tiempo que el equipo de trabajo ha empleado en llevar a cabo actividades productivas.



Figura 1.8. Representación del gráfico de productividad.

Los datos que proporciona este indicador, es la tendencia existente en términos de productividad por equipos. La línea azul que se ve en el gráfico muestra una tendencia ascendente, que en este caso corresponde al citado equipo de trabajo, del departamento de producción de la empresa que ha realizado la medición. Tras un periodo de seis días puede comprobarse que se ha obtenido una visible mejora tal y como refleja la gráfica.

## 1.5. Modelos para la medición

### 1.5.1. Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad es un proceso analítico que se encarga de examinar los cambios que experimentarán los resultados de las evaluaciones aplicadas a los programas y a las tecnologías sanitarias, ante las situaciones de incertidumbre que pueden plantear las posibles modificaciones de valor de las principales variables que intervienen en un modelo de evaluaciones económica. Con este procedimiento nos sirve para comprobar si el modelo es estable o no, en el sentido de verificar si se alteran los resultados y las decisiones de un análisis, al variar de forma creíble los valores de las variables. También mediante el análisis de sensibilidad se trata de verificar la consistencia de las conclusiones obtenidas, ante hipótesis de variaciones en el comportamiento de algunas variables críticas del modelo examinado, que pueden resultar decisivas en planteamiento de las estrategias de decisión.

### 1.5.2. Simulación

Simulación es la exploración de mundos posibles y al estudio del desarrollo en el tiempo de esos mundos. La metodología de simulación propuesta (Duna, 2013) incluye: definición del problema, recolección y análisis estadístico de los datos del sistema, determinación de medidas de desempeño a evaluar, construcción del modelo de simulación verificación y validación del modelo, diseño de experimentos para determinar el modelo, así también Law (2014) propone para una metodología estudio de diez pasos.

El objetivo final de la simulación es estimar algunas medidas de desempeño deseables que describan el comportamiento del sistema simulado. Por ejemplo la aplicación en simulación de alternativas de mejoramiento en cualquier ámbito como el caso de simulación aplicada a la vialidad de una ciudad tal como lo describen (Fuentes-Rosas, Tobon-Galicia, & Rojas-Mora, 2017) y se observa que las medidas de desempeño asociadas pueden incluir el tiempo de espera promedio, la longitud promedio de la cola y la utilización promedio de circulación. Todas las simulaciones de eventos discretos describen, directamente situaciones de colas en las que los clientes o usuarios llegan, esperan en la cola (si es necesario) y luego reciben el servicio antes de salir de la instalación de servicio. Como tal, cualquier simulación de evento discreto, independientemente de la complejidad del sistema que describe, se reduce a tratar con dos eventos básicos: llegadas y salidas.

Existen dos tipos distintos de modelos de simulación:

**Modelos continuos:** se ocupan de sistemas cuyo comportamiento cambia continuamente con el tiempo. Un ejemplo típico tiene que ver con el estudio de la dinámica de la población mundial.

**Modelos discretos:** tienen que ver principalmente con el estudio de líneas de espera con el objetivo de determinar medidas como el tiempo de espera promedio y la longitud de la cola. Estas medidas cambian sólo cuando un cliente entra o sale del sistema.

## CONTINUA

### **Introducción.**

En un entorno globalizado del mercado en constante desarrollo compiten diversas organizaciones para poder existir, experimentando cambios vertiginosos con respecto a la tecnología, la producción de diversos productos, menores fronteras comerciales y cambio en las necesidades de los actores que impactan a la organización.

Todo este ambiente de repentinos cambios en los que se desenvuelven las organizaciones ha provocado que se enfrenten a un panorama donde la única opción para seguir compitiendo sea la implementación de la mejora continua en pro de una mejor práctica en sus procesos. La optimización de procesos en los últimos años ha sido parte medular en las organizaciones, centrado en reducir costos operativos mejorando con ello la productividad y la competitividad que se presenta.

En esta sección se abordará la mejora continua y la utilización de herramientas enfocada a los procesos específicamente, declarando lo que técnicamente ha funcionado en algunos casos específicos para el aumento en la productividad de alguna organización o sector industrial, como lo son la simulación, seis sigma etc., declarando primeramente la importancia de los conceptos básicos y metodología general.

### **2.1. Conceptos generales**

#### **2.1.1. Procesos**

Arias (2020) define a un proceso como el conjunto de actividades para las cuales utiliza recursos de entrada que se transforman en bienes o servicios los cuales son capaces de satisfacer las expectativas del cliente.

Los principales recursos que utilizan los procesos están clasificados en 6”M” (3 Ma y 3 Me)

- Mano de obra
- Materia prima
- Materiales
- Medición
- Métodos
- Medio ambiente

De acuerdo con los criterios que señala la Norma Internacional ISO 9001: 2015, la organización debe de:

1. identificar cada uno de sus procesos
2. tener definidas la secuencia y la interacción entre estos,
3. establecer el seguimiento, medición y análisis de esos procesos
4. Mejora continua de la calidad y del desempeño.

Caracterizar un proceso consiste en identificar y describir: los resultados que genera (out put), los elementos de entrada (input), los recursos utilizados por aquel (factores de conversión) y los requisitos de los elementos de entrada y de salida.

Como se puede observar en la figura 2.1 cada parte debe tener bien definido su indicador que es el número en porcentaje que ayuda a medir y garantizar la satisfacción del cliente tanto interno como externo, si este indicador no se cumple es cuando la oportunidad de mejora se hace presente en la medición de los procesos.



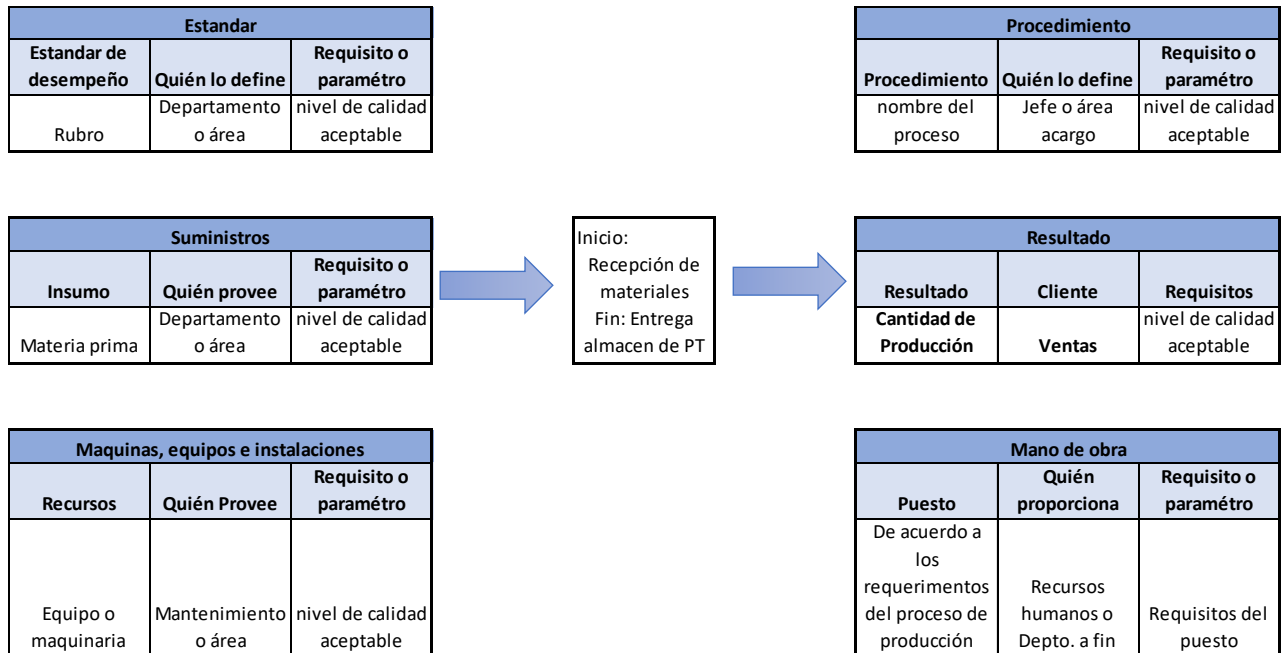


Figura 2.1. Ejemplo de caracterización de un proceso.  
Fuente Arias (2020).

Peter Ducker decía que solo se mejora aquello que se mide. La Norma Internacional ISO 9001:2015 indica que se deben de identificar como evaluar los niveles de desempeño en los procesos y mejorarlo, se deben de medir los resultados y compararlos con los parámetros de referencia para poder determinar la eficacia (resultados obtenidos), efectividad (resultados contra metas planificadas) y eficiencia (resultados entre recursos) del desempeño.

Al establecer los indicadores debe de existir una comparación que Arias (2020) le llama meta la cual servirá para determinar el nivel de desempeño. El estándar puede fijarse por indicadores a nivel nacional, estatal o dentro del sector que este inmerso, tipo de industria, etc.

### 2.1.2. Mejora continua

La norma ISO 9001 en su versión 2015 habla de la mejora continua en donde la empresa tiene que establecer las acciones necesarias para identificar las áreas de su organización que tienen un bajo rendimiento y oportunidades, hablando desde una perspectiva de gestión de la calidad, señalando la utilización de herramientas y metodologías necesarias para investigar las causas de ese bajo rendimiento y como apoyo para realizarla.

Boer et al., (2000), citado en Tolamatl (2012), describe a la mejora continua como un proceso planificado y sistemático que permite llevar a cabo un cambio gradual y continuo, en las prácticas que están establecidas en los procesos de la empresa con el fin de mejorar el desempeño de la organización. En este mismo artículo se puede observar otra perspectiva de la mejora continua por ello Caffyn (1999), menciona la mejora continua es la mejor habilidad para tener una ventaja competitiva mediante la innovación extendida en sus miembros teniendo como propósito elevar los indicadores de desempeño haciendo una simbiosis entre personal y procesos.

A su vez, se define la mejora continua como pequeños cambios incrementales en los procesos productivos o en las prácticas de trabajo que permiten mejorar algún indicador de rendimiento (Grütter et al., 2002), que no necesitan grandes inversiones para realizarse y que cuentan con la implicación de todos los componentes de la empresa (Terziovski y Sohal, 2000).

La literatura acerca de este tema se centra principalmente en los cambios de manera constante que una empresa debe realizar después de la retroalimentación que se deriva del análisis u auditoría a los procesos, de ahí su nombre. La mejora continua utiliza como base en el círculo que empleo Deming (desarrollado por Shewhart) el cual se presenta en la figura 2.2.

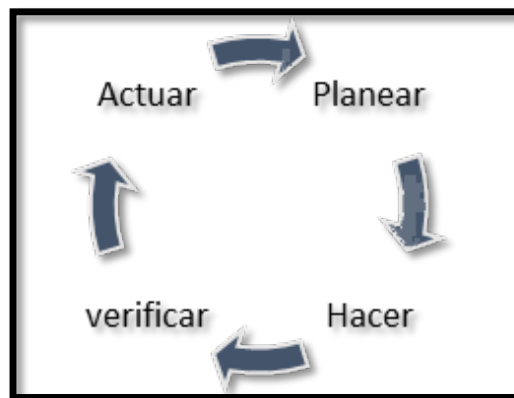


Figura 2.2. Ciclo PHVA.

Cada una de las etapas de este ciclo arroja información importante para la empresa.

Planear/planificar:

- Comprender las necesidades de los clientes
- Estudio de los procesos involucrados
- Recopilar los datos disponibles
- Determinación de la capacidad en los procesos

Hacer:

- Implementar la mejora
- verificar el funcionamiento efectivo de las mejoras
- Recopilar los datos apropiados

Verificar:

- Recopilación y análisis de datos
- Evaluar y documentar las diferencias
- Revisar los problemas y errores

Actuar:

- Incorporar definitivamente la mejora al proceso
- Comunicar la mejora a todos los integrantes de la empresa
- Identificar nuevos proyectos/problemas

Como se puede observar todos estos cambios van como objetivo principal a la satisfacción de los requerimientos. Por ello la satisfacción según Imai (1998) citado en Bonilla (2020) se debe entender como la relación entre la calidad del servicio o producto, percibida por el cliente, y las expectativas del cliente; Es por ello que la mejora continua debe tener como base en la medición de los procesos y de sus resultados, de esa manera estará cuidando la satisfacción continua de sus clientes y la optimización de los recursos utilizados para tal fin.

Para la mejora continua en los procesos se consideran dos puntos:

El Kaizen

La innovación

Al establecer pequeños pasos o cambios llegará el punto que se requiere la innovación o inversión de nuevas tecnologías o equipos.

### **2.1.3. Kaizen**

Imai (1989) en su libro lo define como: Mejoramiento pero en un significado más amplio lo declara como un mejoramiento continuo que involucra a todos, gerente y trabajadores por igual".

Para Tozawa y Bodek (2002) citado en Suarez-Barraza (2009). Es importante señalar que al existir una vasta literatura acerca del tema, Kaizen ha sido un término en constante evolución lo cual ha traído como consecuencia diversos significados dependiendo del contexto organizacional en que se ha desarrollado.

Utilizando las esferas concreticas de Dean y Bowen (1994) citado en Suarez Barraza (2009) lo visualiza en tres puntos de vista para poder entender el término kaizen como se puede observar en la figura 2.3.

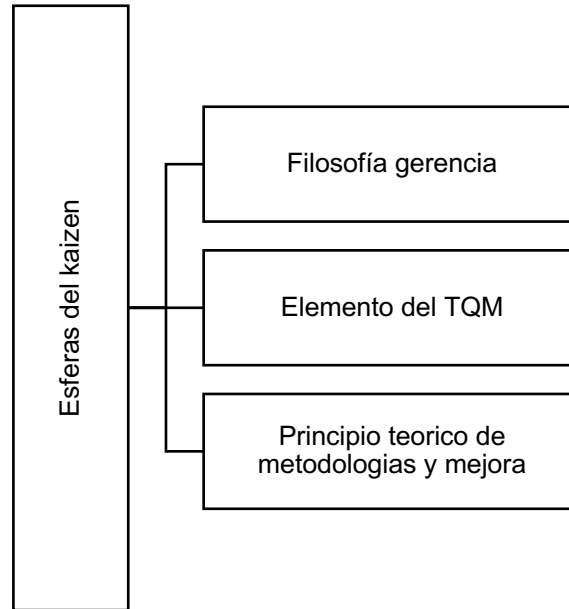


Figura 2.3. Esferas del Kaizen. Dean y Bowen (1994).  
citado en Suárez Barraza (2009).

### 2.1.3.1. Kaizen como filosofía gerencial.

Es esta esfera están involucrados una serie de principios y valores que soportan el sistema de gestión de la organización tomando en cuenta el mantenimiento y la mejora de los estándares de trabajo ya que no puede existir Kaizen sin la estandarización, los cuales deben de ser seguidos por los empleados, al estar involucrados todos los empleados de la organización estos participan y realizan propuestas para tener cero defectos, ya que las mejoras se hacen sobre el proceso, directamente en el área, permitiendo a la parte gerencial el seguimiento de estos. En la figura 2.4 se puede observar el esquema de la esfera y sus técnicas.

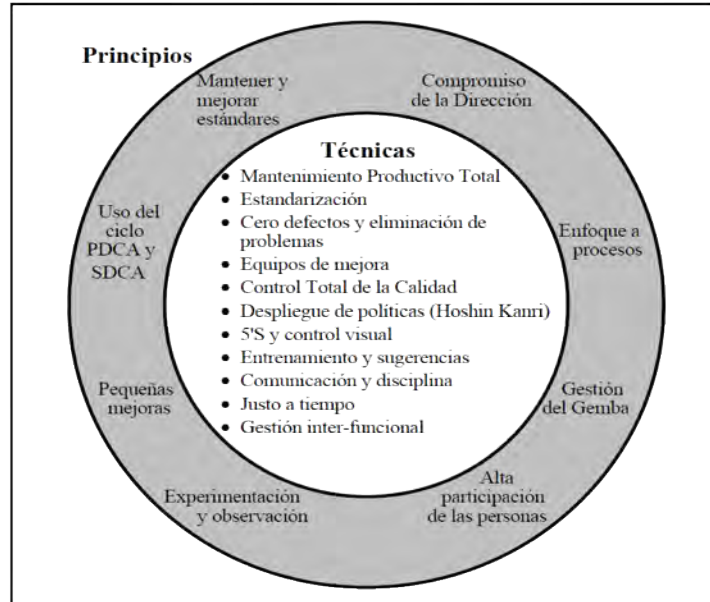


Figura 2.4. Esfera concéntrica Kaizen como filosofía Gerencial.  
Suárez-Barraza (2009).

### 2.1.3.2. Kaizen como elemento del TQM.

En esta esfera se entiende como la mejora continua dentro de la gestión de calidad total (TQM) ya que se deben mejorar constantemente el sistema de producción o servicio. En la figura 2.5 se muestra los el Kaizen como elemento del TQM.

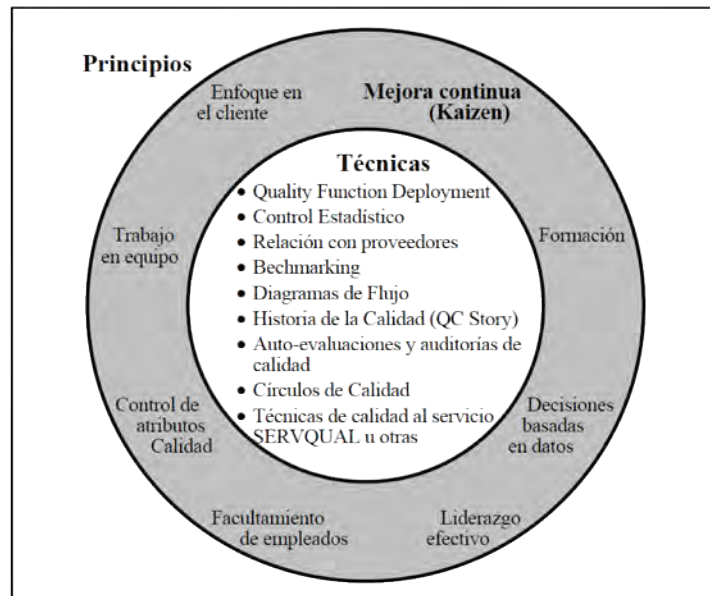


Figura 2.5. Esfera concéntrica Kaizen como Elemento del TQM.  
Suarez-Barraza (2009).

### 2.1.3.3. Kaizen como principio teórico de metodologías y técnicas de mejora.

En esta esfera concéntrica se hace un análisis de literatura que se utiliza el sistema teórico para la aplicación de metodología y/o técnicas que tienen como propósito básico eliminar el desperdicio o mudas para mejorar la calidad de los procesos y productos. Las características principales de esta tercera perspectiva son en primer lugar, el enfoque al corto plazo del mismo. Se trata por ende, de eliminar mudas en workshops o eventos Kaizen intensivos (sólo algunos días). En la figura 2.6 se muestra éste Kaizen.

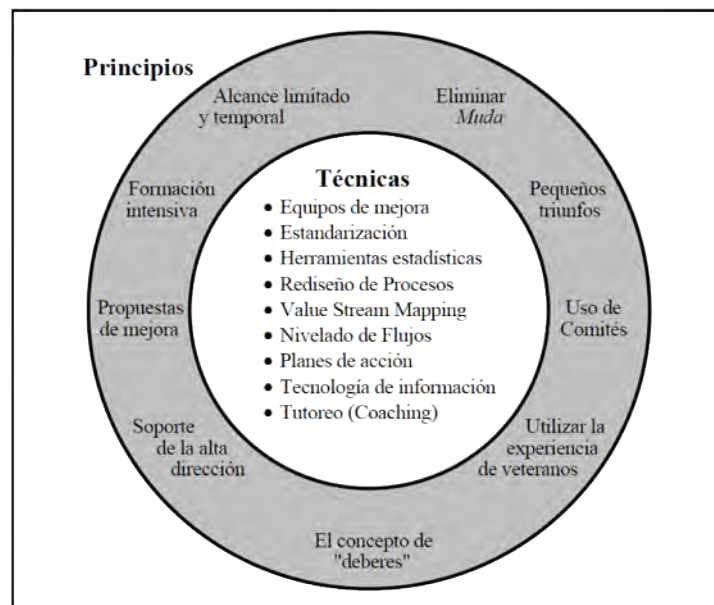


Figura 2.6. Esfera concéntrica Kaizen como principio teórico de metodologías y técnicas de mejora. Suarez-Barraza (2009).

En cuanto a la innovación, el proceso suele estar dirigido por la alta dirección y compromete a la dirección media en su desarrollo, sin que ello signifique eximir a los supervisores y trabajadores de su participación; este proceso tiene un enfoque más sistémico y su desarrollo requiere del mediano o largo plazo, a diferencia de la mejora continua Kaizen, que se basta con el corto plazo. Las técnicas utilizadas para el proceso de innovación suelen ser más complejas, como en el caso del rediseño de procesos o la técnica del Six Sigma.

Para la manufactura esbelta y seis sigma, la MC es la filosofía sobre la que se fundamenta el uso de técnicas para eliminar desperdicios y reducir la variabilidad de los procesos en la cadena de valor.

## 2.2. Metodología de los siete pasos de la mejora continúa

Binilla, Diaz, Kleeberg, Noriega (2020) en su libro *Metodología de la mejora continua*; toma como base el ciclo original del proceso de mejora continua ( planificar-hacer-verificar-actuar) el cual fue atribuido a Walter Shewhart y posteriormente a Edwards Deming. Desplegando las actividades involucradas de dicho procesos y propone la siguiente metodología que se utilizará como se muestra en la figura 2.7.

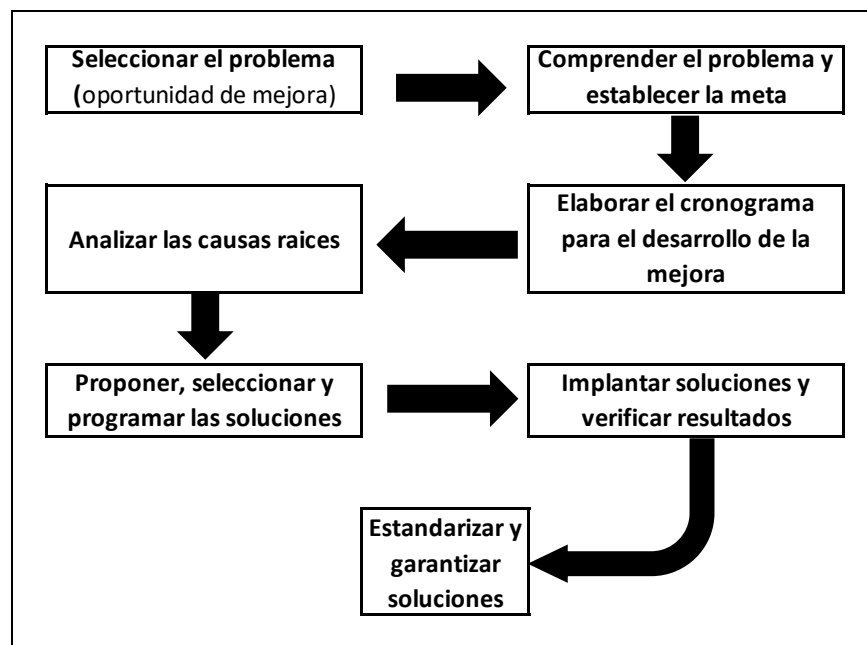


Figura 2.7. Metodología de los siete pasos.  
Bonilla et al (2020).

### 2.2.1. Seleccionar el problema

Cuando un producto no se ajusta a los estándares establecidos, causando alguna desviación o reducción del nivel de desempeño del proceso y en un futuro puede afectar al logro de los objetivos estratégicos de la organización debe de ser atendido de manera prioritaria identificando el problema principal que se considera una oportunidad de mejora.

Para ello se debe de describir el proceso, sus características, identificar las oportunidades de mejora (problema) y si existieran diversos problemas dar prioridad y seleccionar el problema principal.

### **2.2.2. Comprensión del problema**

Se sugiere determinar los impactos que el problema genera como son el económico, social, técnico, ambiental así como su alcance. Para entender el problema se sugiere dividirlo ya que esto facilita su análisis, así como la identificación de que factores y variables son las que en él intervienen ya que de esto dependen los datos a recolectar para que tengan validez y así poder plantear metas.

### **2.2.3. Elaborar el cronograma de desarrollo del proyecto**

Para un mejor control de las actividades es necesario el desglose de cada una de ellas, quién se encargará de realizarlas y el tiempo que se llevara en ello. Para esto es necesario la recolección de datos para analizar la causa raíz, posibles alternativas de solución, selección, verificación de resultados y su estandarización.

### **2.2.4. Analizar las causas del problema**

En este paso se prepara la lista de las posibles causas del problema obteniéndose la información derivada de una lluvia de ideas proveniente de los miembros del equipo, estas causas se pueden clasificar en una matriz de afinidad o un diagrama de Ishikawa para posteriormente pasar al análisis de este diagrama, esto conlleva no solo al análisis de las causas sino a el análisis de criticidad de las causas raíz de manera cuantitativa dándole valores como la frecuencia e impacto ya sea económico, técnico, social, etc.

Después de haber realizado todo lo anterior Bonilla et al (2020) continua con la realización de un diagrama de Pareto con las puntuaciones que se obtuvieron para poder observar el 20% de las causas raíz que genera el 80% de los problemas.

Finalmente con el fin de establecer alternativas de solución se clasifican las causas raíz de acuerdo a su naturaleza con apoyo de las 6 M.

### **2.2.5. Proponer, seleccionar y programar las soluciones**

En este paso se proponen soluciones alineadas a las causas raíz principal, según Bonilla et al (2020) hay dos maneras de percibir soluciones:

Dar solución a la causa raíz o tomar todas las causas como conjunto.

Buscar una solución integrada que suele ser una solución más eficaz y productiva.

Esta decisión dependerá de la naturaleza de la cusa raíz.



### **2.2.6. Implementar y verificar resultados**

En el paso cinco se realizó un plan de implantación el cual debe de ser ejecutado en este paso, ya que se implementó se evalúan los resultados y se compara con la meta establecida, se realiza el seguimiento de las variables.

Bonilla et al (2020) presenta herramientas como diagramas de Gantt, histogramas, graficas de control, diagramas de correlación, listas de chequeo.

### **2.2.7. Normalizar y establecer un control**

Ya que se verifico que la mejora se ajusta a la meta corresponde ahora que se mantengan en el tiempo, difundiendo la solución y la replicación en otras áreas o procesos. Para esto se formulan políticas para el uso de manuales de prácticas de manufactura, se documenta el seguimiento y se analizan los resultados, estableciendo técnicas y herramientas de control y las variables causales involucradas.

No se debe dejar atrás la importancia en la capacitación del personal involucrado dando a conocer los nuevos manuales, formatos, etc., que estén al alcance de todos los involucrados.

## **2.3 Herramientas estadísticas para la solución de problemas en la mejora de procesos**

En la figura 2.8 se presentan las herramientas para la mejora continua.

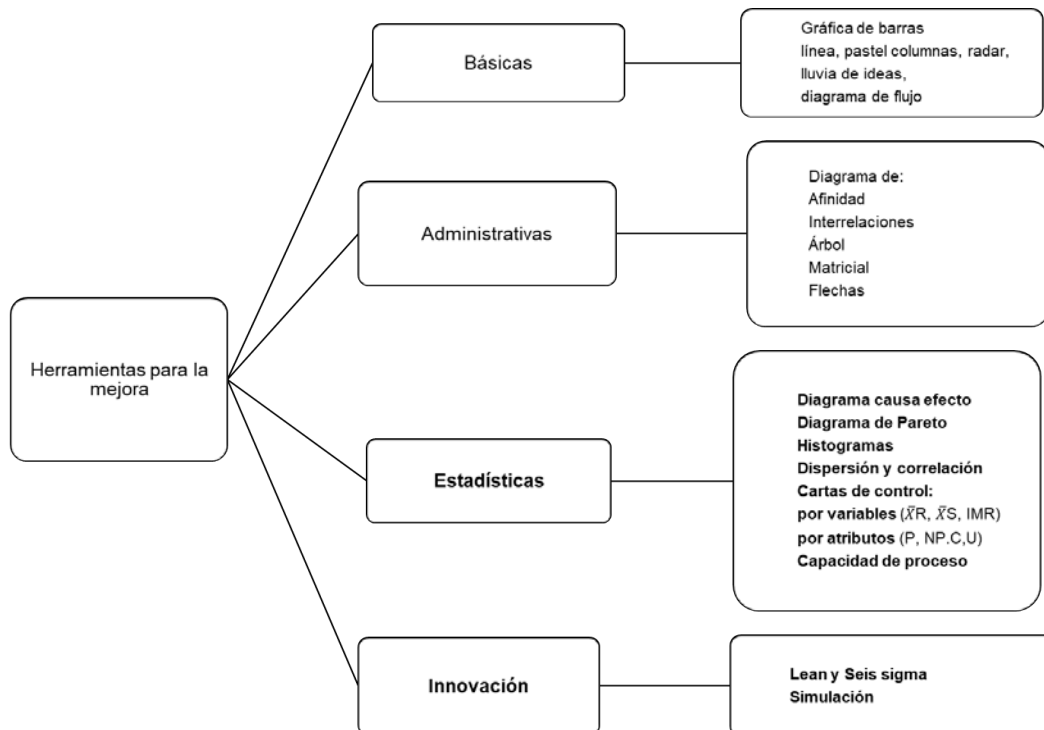


Figura 2.8. Herramientas para la mejora de procesos.  
Fuente: Bonilla et al (2020).

### 2.3.1. Herramientas estadísticas

Gutiérrez, De la Vara (2013) Define a las herramientas de estadísticas de la siguiente manera. Diagrama causa-Efecto. Es un método gráfico que relaciona un problema o efecto con los factores o causas que posiblemente lo generan. Separándolos en 6M (maquinaria, mano de obra, materia prima, medición, método, medio ambiente).

#### 2.3.1.1. Diagrama de Pareto.

Gutiérrez, De la Vara (2013) lo define como un gráfico de barras con frecuencias acumuladas que ayuda a identificar prioridades y causas, ya que se ordenan por orden de importancia a los diferentes problemas que se presentan en un proceso. Principio de Pareto Se refiere a que pocos elementos (20%) generan la mayor parte del efecto.

### **2.3.1.2. Histograma.**

Representación gráfica de la distribución de un conjunto de datos o de una variable, donde los datos se clasifican por su magnitud en cierto número de clases. Permite visualizar la tendencia central, la dispersión y la forma de la distribución. En otras palabras muestran la forma en que los datos se distribuyen dentro de su rango de variación.

### **2.3.1.3. Gráfico de dispersión y coeficiente de correlación.**

Es un gráfico del tipo X-Y, (Variable X y variable Y) cuyo objetivo es analizar la forma en que dos variables numéricas están relacionadas. Al graficar todos los puntos, es decir, todas las parejas de valores  $(x_i, y_i)$ , si se observa que los puntos siguen algún patrón definido, esto será evidencia de una posible relación entre las dos variables.

De acuerdo al patrón de los datos se puede observar diversos tipos de correlaciones:

Correlación positiva.- Es cuando dos factores (X, Y) se relacionan en forma lineal positiva, de tal forma que al aumentar uno también lo hace el otro.

Correlación negativa.- Relación lineal entre dos variables (X y Y), tal que cuando una variable crece la otra disminuye y viceversa.

No correlación.- Se presenta cuando los puntos en un diagrama de dispersión están dispersos sin ningún patrón u orden aparente.

### **2.3.1.4. Coeficiente de correlación.**

Sirve para cuantificar en términos numéricos el grado de relación lineal entre dos variables. Y va de -1 a 1 pasando por el 0 entre más cercano a 1 o -1 mayor será la correlación positiva o negativa respectivamente.

### **2.3.1.5. Cartas de Control.**

Son gráficos que sirven para observar y analizar la variabilidad que presenta un proceso a través del tiempo. Los elementos de las cartas de control se muestran en la figura 2.9.

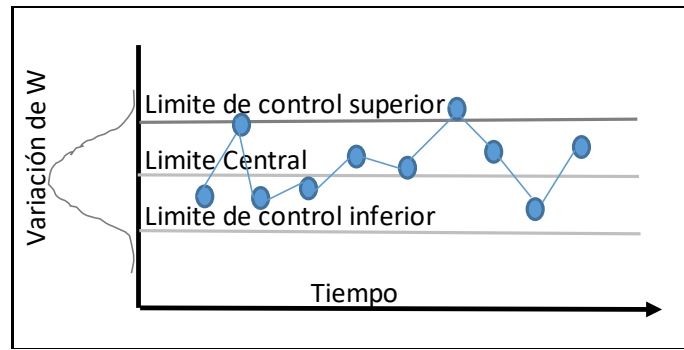


Figura 2.9. Elementos de un gráfico de control.

Bajo estas condiciones, un modelo general para una carta de control es el siguiente: sea  $W$  el estadístico que se va a graficar en la carta, supongamos que su media es  $\mu_w$  y su desviación estándar  $\sigma_w$ , entonces el límite de control inferior (LCI), la línea central y el límite de control superior (LCS) están dados por

$$LCI = \mu_w - 3\sigma_w$$

$$\text{Línea central} = \mu_w$$

$$LCS = \mu_w + 3\sigma_w$$

### 2.3.2. Tipos de gráficos y cuando usarse

En la figura 2.10 se representan esquemáticamente los tipos de graficos de control y cuando deben estos usarse.

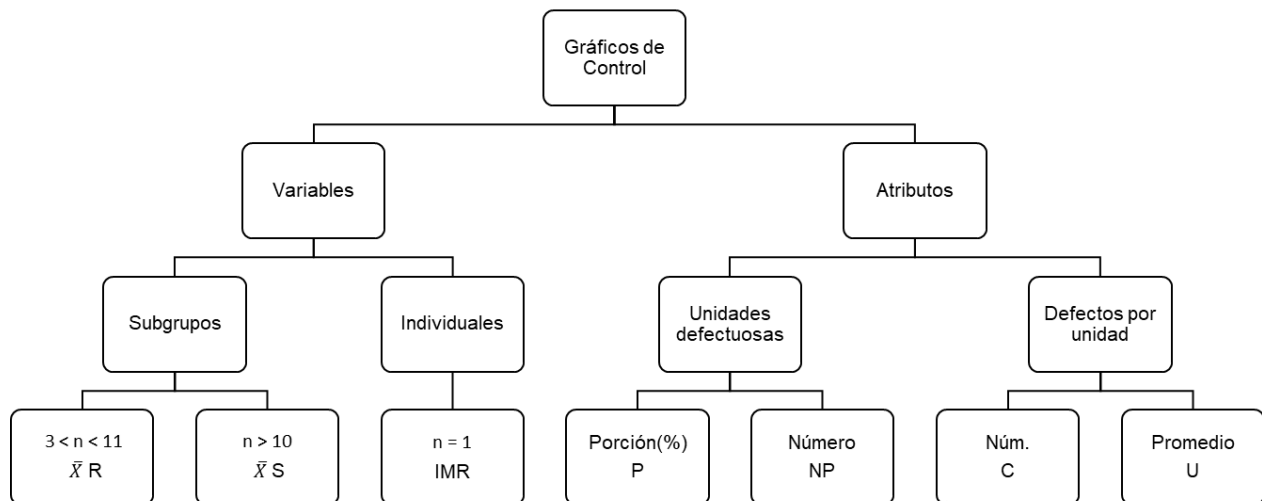


Figura 2.10. Gráficos de control.  
Fuente: Gutiérrez, De la Vara (2013).

## 2.4. Seis sigma y simulación como herramientas de innovación en la mejora continúa

Actualmente toda empresa utiliza metodologías diversas que otorguen mejoras en sus procesos una de ellas es Seis Sigma la cual propone aplicar un método de investigación para determinar los procesos que agregan valor al cliente y desarrollar acciones. Gutiérrez & De la Vara (2008) citado en Flores et al (2018) Los proyectos seis sigma permiten elevar la satisfacción de este, utilizando métodos estadísticos que garanticen fundamentar las decisiones basadas en datos.

Flores (2017) define a Seis Sigma como “una metodología de calidad que al aplicarse ofrece un mejor producto o servicio, mucho más rápido y a un bajo costo ya que centra su atención a la eliminación de defectos satisfaciendo los requerimientos del cliente Fontalvo (2011) menciona que al lograr tener un proceso o servicio con fallos mínimos se obtiene un grado de perfección, esto se alcanza con el ciclo definir, medir, analizar, mejorar y controlar (DMAMC) para productos y Temblador (2009), obtiene dicha perfección con las primeras 3 fases iguales cambiando la cuarta por innovar y la quinta por Estandarizar (DMAIE).

Seis Sigma es una filosofía de mejoramiento la cual se basa en dos pilares los cuales son: el factor humano y las herramientas estadísticas. Al tomar en consideración la voz del cliente permite percibir lo que el cliente le da un valor y lo que no, esta metodología mejora los indicadores de resultados al menos en 50% (Bonilla et al, 2020).

Para Pyzdek (2003) sigma es una letra del alfabeto griego utilizada por los estadísticos para medir la variabilidad en cualquier proceso. Reyes (2002), es la letra griega que simboliza a la desviación estándar, usualmente se utiliza en estadística como un indicador de dispersión en la producción de artículos o componentes, si su valor es grande indica que hay una elevada variabilidad o variación entre los productos que se realizaron en el proceso y viceversa.

Tolamatl, Gallardo, Varela, & Flores (2011) mencionan que el propósito de seis sigma es identificar, reducir y eliminar defectos en un proceso evitando que provoquen inconformidades en los clientes.

El rendimiento de una empresa se mide por el nivel sigma de sus procesos, Anteriormente, las empresas aceptaban tres o cuatro niveles de rendimiento sigma como norma, ya que esto era lo estadísticamente aceptable pero estos procesos creaban entre 6.200 y 67.000 problemas por millón de oportunidades. (Pyzdek 2003).

La meta de Seis Sigma es llegar a un máximo de 3,4 “defectos” por millón de oportunidades, un defecto es aquel que no cumple los requerimientos del cliente, lo cual tiene un impacto directo en los resultados económicos. El nivel de mejora exigido por esta metodología requiere del uso de herramientas estadísticas complejas. (Bonilla et al, 2020).

En 1982, la empresa Motorola es quien aplica seis sigma como estrategia para mejoramiento de la calidad posterior a ella General Electric lo implemento logrando resultados exitosos. Estos resultados motivaron a empresas como 3M, Sony, British Airways, Kodak, entre otras, a seguir su ejemplo.

En su libro Bonilla et al (2020) menciona los siguientes principios de seis sigma.

- Toda mejora debe alinearse con los objetivos del negocio.
- Las decisiones deben basarse en hechos, datos y pensamiento estadístico.
- Las oportunidades de mejora deben enfocarse en forma sistémica.
- Las causas de los problemas deben ser eliminadas en su raíz para prevenir que vuelvan a aparecer y así poder hacer bien las cosas desde el principio.
- Cada vez que un proceso es mejorado debe garantizarse que los resultados se mantengan en el tiempo.
- El recurso humano es el capital fundamental de la empresa.
- En la empresa todos deben ser líderes, maestros y modelos en la práctica de los principios.

### **Explicación estadística**

La variación está presente en la(s) salida(s) de cada proceso. El grado de variación o el patrón de distribución de la producción es una medida de la capacidad del proceso o de la madurez. La variación natural siempre se produce y no se puede atribuir a una causa específica. La reducción de la variación natural requiere un cambio fundamental en el proceso.

La variación especial se produce debido a una causa asignable fuera de la variación natural. Se puede atribuir fácilmente a una causa específica, generalmente en relación con los seis elementos claves del proceso (6M). Una vez detectada, su eliminación es un ejercicio relativamente sencillo.

El defecto de un producto o servicio se presenta cuando la variación excede los límites establecidos. Es decir que solo se podrá detectar un defecto si tenemos un punto de referencia o meta mensurable establecida por los competidores o por las expectativas de los clientes.

### 2.4.1. Metodología del Six Sigma

La metodología Six Sigma es similar a la metodología de mejora continua (Kaizen), solo que esta se compone de 5 fases

D: Definir el proyecto.

M: Medir el desempeño del proceso involucrado en el proyecto.

A: Analizar el proceso.

I: Implementación de mejoras.

C: Controlar y asegurar el desempeño alcanzado.

En la figura 2.11 se pueden observar las fases de la metodología.

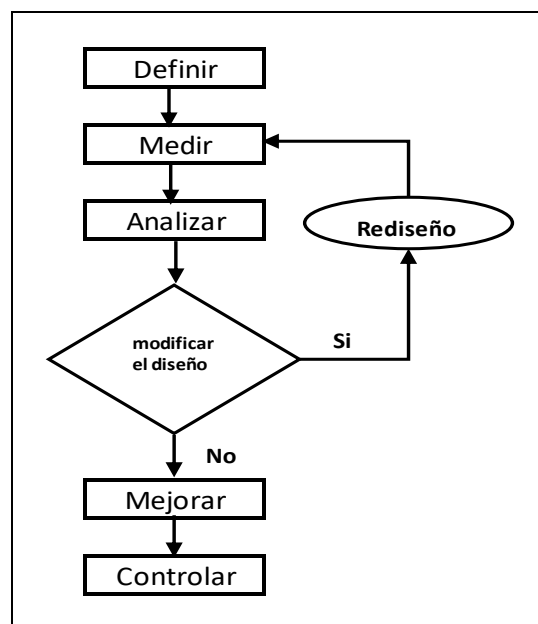


Figura 2.11. Fases de la metodología seis sigma.

### 2.4.1.1. Definir (D).

Para Pyzdek (2003) es necesario que se defina los objetivos del procesos a mejorar es importante tomar en cuenta que los objetivos más importantes se obtienen de los clientes, las metas serán los objetivos estratégicos de la organización, a nivel de operaciones, un objetivo podría ser aumentar el rendimiento de un departamento de producción. A nivel de proyecto, los objetivos pueden ser reducir el nivel de defectos y aumentar el rendimiento de un proceso en particular (Bonilla et al, 2020).

En esta fase se propone:

- Defina los clientes y sus Necesidades (CTQ's),
- Críticos de Calidad.
- Desarrolle la definición del problema, las metas y los beneficios del proyecto.
- Identifique el champion, el dueño del proceso y al equipo.
- Defina los recursos.
- Evalúe el soporte clave de la organización.
- Desarrolle el plan del proyecto y sus principales características.
- Desarrolle el Mapa del Proceso a nivel detallado.

Herramientas de la fase

Mapa del proceso

- Voz del cliente (VOC): determine cuál es la satisfacción crítica del cliente
- Costo de la calidad y costo de la pobre calidad (COQ, COPQ)
- Team charter (Project Charter)

Con datos históricos se procede a determinar qué proceso o actividad se va a mejorar, en la figura 2.12 se aprecia una declaración de problemática.

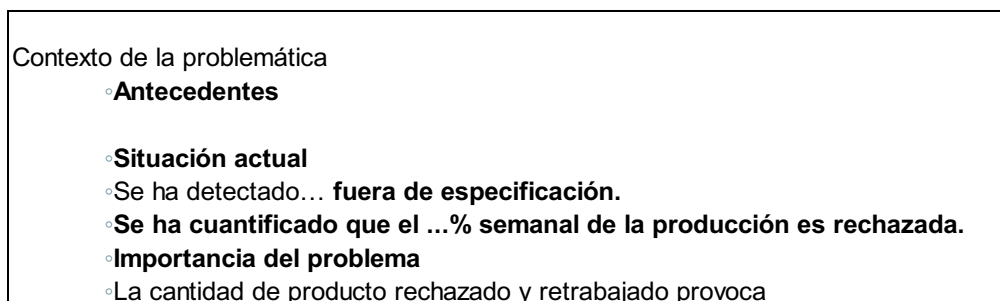


Figura 2.12. Declaración del problema.



Es necesario mapear el proceso para identificar el lugar donde se ubica el problema, en la figura 2.13 se presenta un ejemplo de mapeo de procesos.

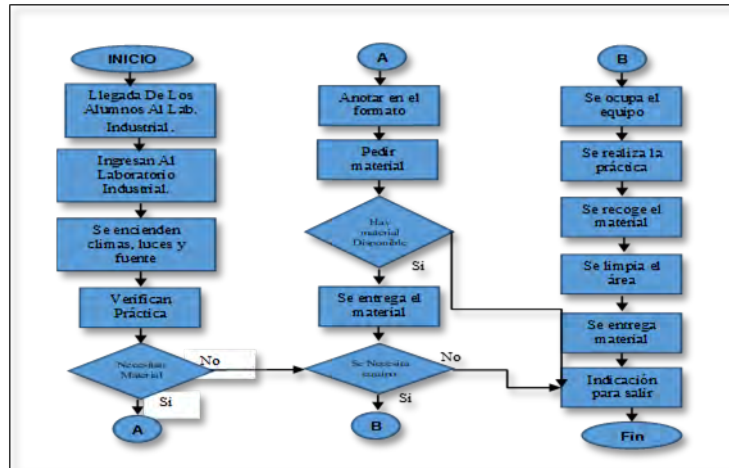


Figura 2.13. Ejemplo de mapeo del proceso.

Ya que se identificó el área determinada o proceso se lleva a cabo las 5W + 1H para que se visualice claramente el problema. En la figura 2.14 se describen las 5w y 1H.

1	QUE	Qué es el problema	
2	DONDE	Donde ocurre el qué	
3	CUANDO	Cuando ocurre el qué	
4	CUAL (es la tendencia)	Tendencia del qué	
5	COMO	Como se manifiesta el problema (como se diferencia la situación actual de la situación deseada)	
6	QUIEN	Quién es el problema (será que hay un quien que influye en el problema que estamos teniendo)	
Enunciar el problema			

Figura 2.14. 5W+ 1H.

Posterior a ello se determina el objetivo del proyecto a ser mejorado de manera cuantitativa, como se muestra en la figura 2.15.

1	Línea base (LB) = Promedio	Promedio de porcentaje
2	Mejor resultado (MR)	El menor %
3	Brecha = Diferencia absoluta entre el Promedio y el Mejor Resultado	1-2
4	La brecha se suma o se resta al promedio dependiendo si se quiere incrementar o disminuir el indicador.	Objetivo


Figura 2.15. Establecer el objetivo.

Con toda la información anterior se realiza la carta de proyecto, esta resume todo lo anterior de manera concreta como se puede observar en la figura 2.16.

### Project Charter

**1** Planteamiento del problema

**3** Alcance Tempo/fecha



**2** Beneficios para el Negocio

Este proyecto es importante debido a que  
Ahorro anualizado de:

**4** Entregables específicos

**5** Medidas (KPI)

**Objetivo**  
Este se debe de enunciar en un verbo en infinitivo, debe de ser medible alcanzable cuantificable y limitado en el tiempo

Figura 2.16. Ejemplo de carta de proyecto.

### 2.4.1.2. Medir (M).

Se debe medir el sistema existente, estableciendo métricas válidas y confiables para ayudar a monitorear el progreso hacia las metas definidas en el paso anterior (Pyzdek, 2003).

- Seleccione la Característica Crítica de Calidad (CTQs).
- Defina los estándares de desempeño.
- Defina un plan de colección de datos,
- Valide el sistema de medición y Coleccione los datos.

Los datos colectados permitirán establecer las causas del problema y también facilitará la medición inicial de la capacidad del proceso involucrado. A partir de esta caracterización se define el sistema de medida y se mide la capacidad del proceso (Bonilla et al, 2020).

Análisis del sistema de medición (MSA).

Sirve para determinar que los datos sean confiables, este es un método simple que evalúa los equipos de medición nuevos, cuantifica la reproducibilidad que se presenta en diferentes operadores o repetibilidad que se puede esperar de los instrumentos de medición.

El objetivo del MSA es aprender lo más posible acerca del proceso de medición en un período corto de tiempo. Para ello es necesario:

- Seleccionar un equipo, operadores, componentes y otros factores que comúnmente forman parte del proceso de medición.
- Seleccionar de manera aleatoria piezas del área de producción de tal forma que representen la variación del proceso.
- Las piezas deben ser identificadas de tal forma de poder registrar las mediciones sin crear un sesgo en el operador.
- Cada pieza es medida en múltiples ocasiones por cada operador utilizando el mismo equipo.

Se establece el plan de recolección de datos para validar el sistema de medición el cual se presenta en la tabla 2.1. Para el adecuado control de recolección de datos.

Tabla 2.1. Plan de recolección de datos

Qué se medirá (Qué)	Unidad	Donde se medirá (Donde)	Cada cuanto tiempo se medirá (Cuando)	Como se recolectara (Como)	Por qué recolectar (Por qué)

Al revisar el sistema de medición, se toman datos en el proceso verificando su estabilidad con gráficos de control y capacidad de proceso Cpk y Ppk, cuyos valores deben de ser mayor a 2 para ser considerado de clase mundial. (Gutierrez & De la Vara, 2013), un ejemplo se puede observar en la figura 2.17.

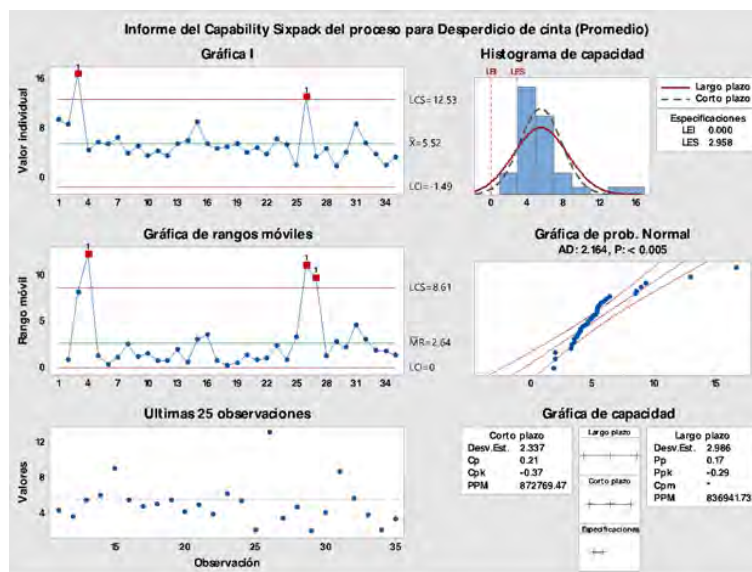


Figura 2.17. Informe capacidad de proceso y gráficos de control.

Se realiza el gráfico de repetibilidad y reproducibilidad (R&R) para poder observar la precisión del sistema de medición, un ejemplo se puede observar en la figura 2.18.

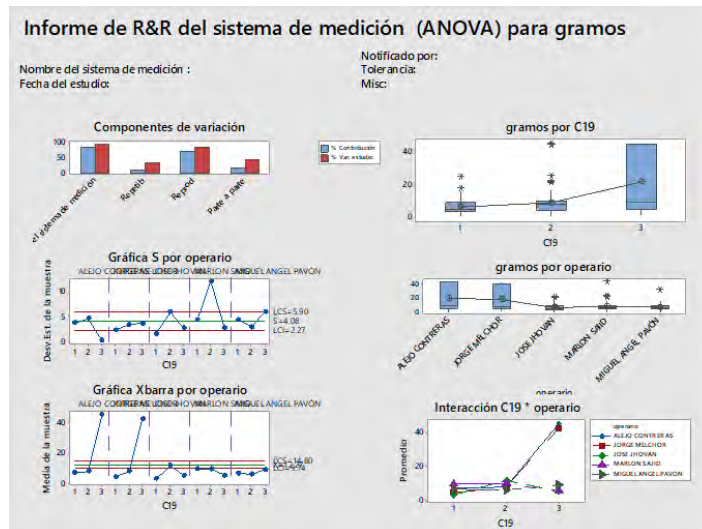


Figura 2.18. Informe R&R.

Tabla 2.2 Informe R&R.

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. estudio (%VE)
Gage R&R total	13.0828	78.4965	90.62
Repetibilidad	4.7915	28.7491	33.19
Reproducibilidad	12.1737	73.0424	84.33
operario	0.0000	0.0000	0.00
operario*C19	12.1737	73.0424	84.33
Parte a parte	6.1032	36.6189	42.28
Variación total	14.4363	86.6178	100.00

Si el porcentaje (%) de variación del estudio es mayor al 30% el sistema de medición debería ser eliminado, para ser susceptible de mejora estará entre 30% y 10% y menor al 10% para ser válido.

### 2.4.1.3. Analizar (A).

Analice el sistema para identificar formas de eliminar la brecha entre el rendimiento actual del sistema o proceso y el objetivo deseado. Comience por determinar la línea de base actual. Utilice análisis de datos exploratorios y descriptivos para ayudarlo a comprender los datos. Use herramientas estadísticas para guiar el análisis (Pyzdek, 2003).

Se desarrollan y comprueban hipótesis sobre posibles relaciones causa-efecto, aquí la prioridad son las medidas de salida, ya que estas son las que mejor cuantifican los problemas actuales.

En seis sigma se utiliza la letra “Y” para las medidas de resultados de salida del proceso, representa una meta u objetivo, esta puede estar relacionada a los requerimientos del cliente.

La “X” se utiliza para las variables de entrada del proceso. Es necesario descubrir las variables de mayor impacto en el problema. Cuando el equipo la encuentra, esa “X” es la “causa raíz”.

La relación entre la entrada y las actividades del proceso y los resultados, o salidas, se suelen representar con la ecuación:

$Y = f(X)$ , donde Y es la variable efecto y X la variable causal.

Es necesario determinar la correlación entre tales variables, en ese sentido ayudar con algún software (Bonilla et al, 2020).

Herramientas en la fase de análisis

- Intervalos de Confianza
- Análisis Multi-vari
- Análisis de varianza (ANOVA)
- Correlación/regresión
- Pruebas de Hipótesis 9.3
- $H_0 = \text{Nula}$
- $H_a = \text{Alterna}$

#### 2.4.1.4. Implementación de mejoras (I).

Es necesario ser creativo para encontrar nuevas formas de hacer las cosas, se puede auxiliar en la gestión de proyectos y otras herramientas de planificación y gestión. Use métodos estadísticos para validar la mejora (Pyzdek, 2003).

En la fase de mejora el equipo trata de determinar la relación causa-efecto (relación matemática entre las variables de entrada y la variable de respuesta que interese) para predecir, mejorar y optimizar el funcionamiento del proceso. Por último, se determina el rango operacional de los parámetros o variables de entrada del proceso (Bonilla et al, 2020).

Herramientas de la fase Mejora

- Diseño de experimentos (DOE)
  - Factoriales completos. Medir y analizar las respuestas de todas las posibles combinaciones de factores y niveles
  - Factorial fraccionado. Medir y analizar las respuestas para una porción balanceada de un arreglo factorial completo

- Optimización de la respuesta
- Metodología de Superficies de Respuesta.

Se puede utilizar un diseño de experimentos en este caso diseños factoriales. En la figura 2.19 se muestra un diseño de experimento factorial.



Figura 2.19. Análisis Factorial.

Después de hacer el análisis factorial de acuerdo a la variable de respuesta se escogen los niveles que mejor ajustan con ayuda de la graficas de interacción y de efectos principales como se muestra en la figura 2.20.

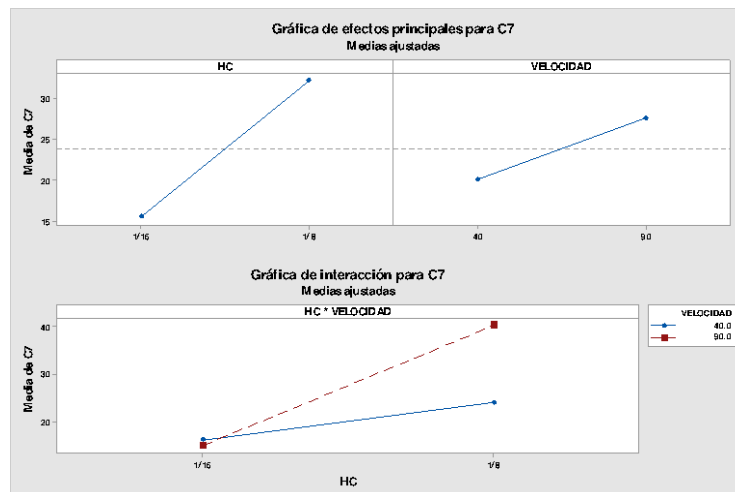


Figura 2.20. Graficas de efectos principales.

Si el software lo permite utilizar, el optimizador de acuerdo a la variable de respuesta se observa en la figura 2.21.

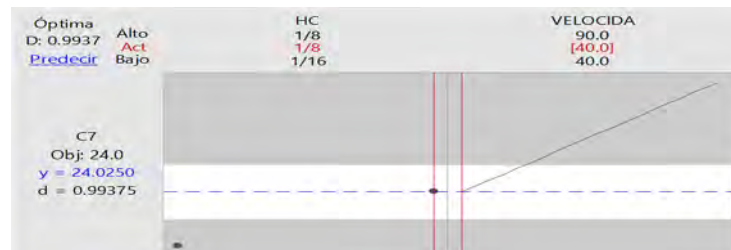


Figura 2.21. Optimizador de respuesta.

#### 2.4.1.5. Controlar (C).

Es necesario Institucionalizar el sistema mejorado modificando los sistemas de compensación e incentivos, políticas, procedimientos, MRP, presupuestos, instrucciones de operación y otros sistemas de gestión. Es necesario controlar los cambios que se hicieron en el sistema. Use herramientas estadísticas para monitorear la estabilidad de los nuevos sistemas y auxiliarse con poka yokes (Pyzdek, 2003).

También hay que diseñar y documentar los controles necesarios para asegurar que lo conseguido mediante el proyecto se mantenga una vez que se hayan implantado los cambios. Cuando se han logrado los objetivos y la misión se dé por finalizada, el equipo informa a la dirección y se disuelve (Bonilla et al, 2020).

Herramientas de la fase control.

- Análisis del Sistema de Medición
- Dispositivos a Prueba de Error (Poka Yoke)
- Plan de Control
- Mejoramiento Continuo
- Control Estadístico de Procesos (SPC)



## 2.5 Simulación

### 2.5.1. Antecedentes

Una de las herramientas más importantes para analizar el diseño y la operación de sistemas o procesos complejos es la simulación. Simulación se refiere a la construcción de un modelo mediante un conjunto de métodos y aplicaciones para imitar el comportamiento de un sistema (Fuentes, 2004).

Aunque la construcción de modelos se inició de manera oficial desde la época del renacimiento, el uso actual de la palabra simulación viene de 1940, cuándo los científicos Von Newman y Ulam, que trabajaban en el laboratorio de Los Álamos, con el proyecto de Monte Carlo durante la Segunda Guerra Mundial, resolvieron problemas relacionados a las reacciones nucleares, cuya solución experimental sería muy costosa y cuyo análisis matemático resultaría demasiado complejo.

La simulación de Monte Carlo combina conceptos estadísticos (muestreo aleatorio) con la capacidad que tienen los ordenadores para generar números pseudoaleatorios y optimizar cálculos. El nombre de Monte Carlo, proviene de la famosa ciudad de Mónaco, donde abundan los casinos de juego y donde el azar, la probabilidad y el comportamiento aleatorio conforman todo un estilo de vida.

A fines de 1950 y principios de 1960, el método Monte Carlo se desploma y cede su lugar a la técnica de la simulación, misma que, rápidamente se posicionó en un lugar de privilegio entre las herramientas de la investigación operativa; sin embargo, hasta mediados de los años ochenta, ese interés en la investigación y el entrenamiento académico no había encontrado un correlato en el ámbito empresarial, aunque se reconocían los enormes atractivos de la simulación como soporte a la toma de decisiones, las dificultades en la aplicación de esta técnica a la vida real de las compañías (modelos costosos de construir y validar, muy poco flexibles frente a condiciones cada día más inestables y habitualmente concebidos y manejados "por expertos", no por los reales operadores del sistema) atentaban contra su efectiva aplicación a la problemática de las empresas.

Con el advenimiento de la "revolución informática", la consolidación de las plataformas gráficas (Windows, Macintosh) y los nuevos lenguajes de programación, la simulación comenzó a recuperar el terreno perdido, constituyéndose, actualmente, en una herramienta imprescindible en áreas como la investigación y el desarrollo de nuevos productos, la ingeniería ambiental y otros.

La simulación se considera una técnica relativamente joven y típicamente se ubica como una herramienta dentro de la Ingeniería Industrial.

La simulación no es una técnica de optimización, más bien se usa para estimar las mediciones del desempeño de un sistema modelado. La simulación es un experimento estadístico y en consecuencia sus resultados se deben interpretar con las pruebas estadísticas adecuadas (López, 2019).

### **2.5.2. Objetivo de la simulación**

El objetivo de la simulación es ver cómo opera un sistema particular, y además obtener suficiente visión para ser capaz de proponer alternativas de mejora al sistema.

Para ello se llevan a cabo experimentos en un modelo representativo del sistema en cuestión, con el objeto de entender su comportamiento y evaluar alternativas para su mejor operación, sin afectar su entorno.

El modelo debe reflejar de la manera más acertada posible la situación o problemática que se quiera solucionar o evaluar en determinado momento. Debido a que la simulación se basa en la manipulación y optimización del modelo antes mencionado, es de suma importancia, para el éxito o el fracaso del proyecto, en cuestión, la determinación clara de los objetivos que busca la simulación. Esta determinación de objetivos no debe caer bajo la responsabilidad única del modelador, sino que todos los involucrados del proyecto (y principalmente los dueños del problema) deben tener la claridad suficiente para determinar el alcance, las entradas y las salidas del sistema o modelo que se vaya a desarrollar.

Obviamente que la simulación no termina con el desarrollo del modelo de la realidad, esta actividad sólo se considera una de las fases del proyecto. Realmente, la finalidad de la simulación es la evaluación de diferentes escenarios a través de un análisis de sensibilidad. Es indiscutible

que los resultados del análisis de sensibilidad estarán soportados siempre por la calidad del modelo que se haya desarrollado. Los escenarios que se evalúan deben de tener la versatilidad de mostrar a los dueños del proyecto una gama variada de situaciones, para las cuales siempre habrá ventajas y desventajas que sopesar.

### **2.5.3. La razón del uso de simulación**

La razón del uso de la técnica de la simulación, obedece a las siguientes situaciones:

- ⇒ No existe una formulación matemática analíticamente resoluble. Muchos sistemas reales no pueden ser modelados matemáticamente con las herramientas actualmente disponibles, por ejemplo, la conducta de un cliente en el banco.
- ⇒ Existe una formulación matemática, pero es difícil obtener una solución analítica. Los modelos matemáticos utilizados para modelar un reactor nuclear o una planta química son imposibles de resolver en forma analítica sin realizar serias simplificaciones; en otras palabras, existen modelos demasiado complejos donde no se puede usar una solución analítica, pero sí la técnica de simulación.
- ⇒ No se puede interrumpir el sistema o proceso.
- ⇒ Los experimentos son imposibles debido a impedimentos económicos, de seguridad, de calidad o éticos. En este caso, el sistema real está disponible para realizar experimentos, pero la dificultad de los mismos hace que se descarte esta opción. Un ejemplo de esto es la imposibilidad de provocar fallas en un avión real para evaluar la conducta del piloto, tampoco se puede variar el valor de un impuesto para evaluar la reacción del mercado.
- ⇒ Cuando se hacen cambios en un proceso, generalmente se incurre en costos, la simulación, en este caso no hace ni el mínimo cambio.
- ⇒ El proyecto es sólo una idea, es decir, aún no se construye.
- ⇒ El sistema evoluciona muy lentamente o muy rápidamente. Un ejemplo de dinámica lenta es el problema de los científicos que estudian la evolución del clima. Ellos deben predecir la conducta futura del clima dadas las condiciones actuales, no pueden esperar a que un tornado arrase una ciudad para luego dar el mensaje de alerta. Por el contrario, existen fenómenos muy rápidos que deben ser simulados para poder observarlos en detalle, por ejemplo, una explosión.

### **2.5.4. Beneficios, ventajas, desventajas y peligros de la simulación**

#### **2.5.4.1. Beneficios.**

- ⇒ Amplia visión del efecto producido por cambios en el sistema de manufactura o de servicios, ya sea que exista o no.
- ⇒ Gran capacidad de crear modelos realistas.
- ⇒ Maximización de los beneficios derivados de una inversión: incrementar producción, reducir inventarios, incrementar utilización de máquinas y trabajadores, reducir requerimientos de capital.

#### **2.5.4.2. Ventajas.**

- ⇒ A través de un estudio de simulación, se puede estudiar el efecto de cambios internos y externos en el sistema, al hacer alteraciones en el modelo del sistema y observando los efectos de esas alteraciones en el comportamiento del sistema.
- ⇒ Una observación detallada del sistema que se está simulando puede conducir a un mejor entendimiento del sistema y por consiguiente a sugerir estrategias que mejoren la operación y eficiencia del sistema.
- ⇒ Puede ser utilizada como un instrumento pedagógico para enseñar a estudiantes habilidades básicas en análisis estadístico, análisis teórico, etc.
- ⇒ Puede ayudar a entender mejor la operación del sistema, a detectar las variables más importantes que interactúan en el sistema y a entender mejor las interrelaciones entre estas variables.
- ⇒ Puede ser usada para experimentar con nuevas situaciones, sobre las cuales se tiene poca o ninguna información. A través de esta experimentación se puede anticipar mejor a posibles resultados no previstos.
- ⇒ Se puede utilizar también para entrenamiento de personal. En algunas ocasiones se puede tener una buena representación de un sistema (como por ejemplo los juegos de negocios), y entonces a través de él es posible entrenar y dar experiencia a cierto tipo de personal.
- ⇒ Cuando nuevos elementos son introducidos en un sistema, la simulación puede ser usada para anticipar cuellos de botella o algún otro problema que puede surgir en el comportamiento del sistema.
- ⇒ En casos en los que la resolución analítica no puede llevarse a cabo.

- ⇒ Cuando existen medios de resolver analíticamente el problema, pero dicha resolución es complicada y costosa.
- ⇒ Si se desea experimentar antes de que exista el sistema.
- ⇒ Cuando es imposible experimentar sobre el sistema real por ser dicha experimentación destructiva.
- ⇒ Cuando la experimentación sobre el sistema es posible pero no ética.
- ⇒ Una vez que el modelo ha sido construido, puede ser usado repetidamente.
- ⇒ Es mucho más sencillo comprender y visualizar los métodos de simulación que los métodos puramente analíticos.
- ⇒ Los métodos de simulación son más fáciles de aplicar que los métodos analíticos.
- ⇒ Los métodos analíticos se desarrollan casi siempre, para sistemas relativamente sencillos donde suele hacerse un gran número de suposiciones o simplificaciones, mientras que con los modelos de simulación es posible analizar sistemas de mayor complejidad o con mayor detalle.
- ⇒ La simulación permite estimar medidas de desempeño del sistema existente bajo diferentes escenarios de operación.
- ⇒ Las alternativas de diseño propuestas a un sistema pueden evaluarse en busca de mejores resultados a los requeridos.
- ⇒ Se puede tener un mejor control sobre condiciones experimentales no así experimentando con el sistema real.
- ⇒ Permite estudiar el sistema por periodos muy largos en un tiempo comprimido, o alternativamente un trabajo minucioso, analizarlo en tiempo expandido.
- ⇒ Varios sistemas se comparan usando simulación para elegir al mejor.
- ⇒ Versatilidad de modificar factores tales como: mano de obra, maquinaria, tiempos de proceso, tiempos de paros, etc., es decir, generar diferentes escenarios para identificar su impacto.
- ⇒ Generalmente es más barato mejorar el sistema vía simulación, que hacerlo directamente en el sistema real.
- ⇒ En algunos casos, la simulación es el único medio para lograr la solución.

### 2.5.4.3. Desventajas.

Al igual que cualquier técnica, la simulación presenta áreas de oportunidad que pueden ser resumidas en los siguientes puntos:

- ⇒ Puede llegar a requerir una inversión significativa en tiempo, software y equipo.
- ⇒ Generalmente se acerca a las soluciones óptimas, aunque éstas nunca se conozcan con gran certeza.
- ⇒ Dificultad en vender la idea por falta de conocimientos.
- ⇒ Cada corrida de simulación produce sólo valores estimados de las características del sistema.
- ⇒ Si un modelo no es representativo del sistema real, de nada servirán los resultados obtenidos.

### 2.5.4.4. Peligros.

- ⇒ Ver la simulación como un ejercicio complicado de programación.
- ⇒ No definir claramente los objetivos del estudio de simulación.
- ⇒ No detallar bien el modelo.
- ⇒ Aplicar la simulación sin saber estadística.
- ⇒ Inferir con una sola corrida asumiendo independencia.
- ⇒ Confianza en simuladores comerciales accesibles a "cualquiera", complejos, no documentados, que no implementan la lógica deseada.
- ⇒ Uso arbitrario de distribuciones y suposiciones.
- ⇒ Impresionarse con el gran volumen de información y una animación realista., pero que no refleja al sistema de estudio.
- ⇒ Usar medidas de desempeño erróneas.
- ⇒ Falta de comunicación con el gerente.
- ⇒ La solución de un modelo de simulación puede dar al analista un falso sentido de seguridad.
- ⇒ Tal como ocurre en cualquier sistema de información, si el modelo de simulación no está bien soportado y se alimenta de "basura", basura serán los resultados.

### **2.5.5. Tipos de modelos de simulación**

#### **2.5.5.1. Modelos continuos.**

Tratan con sistemas cuyo comportamiento cambia continuamente de forma con el tiempo. Los modelos de simulación continua normalmente se representan en términos de ecuaciones diferenciales en diferencias que describen las interacciones entre los diferentes elementos del sistema.

Un ejemplo típico de una simulación continua es el estudio de la dinámica de población mundial.

#### **2.5.5.2. Modelos discretos.**

Tratan con sistemas cuyo comportamiento sólo cambia en instantes dados. Un ejemplo típico ocurre en las líneas de espera promedio o la longitud de la línea de espera. Tales medidas sólo cambian cuando un cliente entra o sale del sistema. En todos los demás momentos no ocurre nada en el sistema desde el punto de vista de la inferencia estadística.

Los momentos en los que ocurren los cambios en el sistema identifican los **eventos** del modelo (por ejemplo, llegada y salida de clientes) El hecho de que estos eventos ocurren en puntos discretos da lugar al nombre de simulación de eventos discretos.

### **2.5.6. La simulación como metodología de análisis**

La simulación, definida por Bobillier, Kahan y Probst (1976), constituye "una técnica para la construcción y ejecución de un modelo de un sistema real, con la finalidad de estudiar el comportamiento de éste, sin romper su entorno". De esta manera, el modelo es susceptible de ser sometido a las condiciones de incertidumbre propias de cualquier sistema operativo real, determinando su reacción y comportamiento, sin riesgo de que esa intervención suponga peligro o interferencia con la realidad; sean estos pasajeros, arcas de una compañía o sistemas operativos.

Aplicada a la realidad empresarial, la simulación aparece como una herramienta de suma utilidad a la hora de probar hipótesis de trabajo antes de su desarrollo e implementación, lo que permite aspirar a drásticas economías de dinero, de tiempo y de esfuerzo. La experiencia en el campo de la simulación, demuestra que la modelización de un sistema operativo permite profundizar notablemente la comprensión del mismo, a partir de la explicación de las relaciones entre los distintos elementos contenidos en él y del reconocimiento de las variables de mayor impacto en su desempeño.

### 2.5.6.1. Pasos en la metodología de la simulación.

El correcto desarrollo y aplicación de un modelo de simulación supone un proceso habitualmente estructurado, por los siguientes pasos (Law y Kelton, 1991):

1. **Formulación del problema.** Consiste en delimitar el problema, definir claramente el o los objetivos (decir claramente que se quiere hacer), definir el criterio para comparar e indicar el número de gente y costo involucrado.
2. **Recolección de datos y definición del modelo.** En este paso se definirán los parámetros de entrada y salida al sistema, las distribuciones de probabilidad y los detalles del modelo. Es necesario definir todas las variables que forman parte de él, sus relaciones lógicas y los diagramas de flujo que describan en forma completa al modelo para producir los resultados deseados. Un buen modelo no es aquel que intenta copiar integralmente la realidad, sino aquel que reproduce sólo la parte relevante del sistema bajo análisis.
3. **Verificación del modelo.** Consiste en demostrar que un modelo trabaja como se intentó lo haría; analiza que la traducción del modelo conceptual de simulación al programa de computadora sea la correcta.
4. **Construcción del programa.** Con el modelo definido el siguiente paso es decidir que lenguaje utilizar o si se utiliza algún paquete, para procesarlo en la computadora y obtener los resultados deseados. Esta es una etapa de traducción del modelo a un lenguaje de programación.
5. **Realización de pruebas piloto.** Este paso es con la finalidad de obtener información y poder realizar la validación de la simulación del modelo.
6. **Validación del programa.** Es el proceso mediante el cual se comprueba si los datos que arroja la simulación son estadísticamente iguales a los del sistema real. A través de esta etapa es posible detallar deficiencias en la formulación del modelo o en los datos alimentados al modelo. Las formas más comunes de validar son:
  - ⇒ La opinión de expertos sobre los resultados de la simulación.
  - ⇒ La exactitud con que se predicen datos históricos.
  - ⇒ La exactitud en la predicción del futuro.



- ⇒ La exacta comprobación de falla del modelo de simulación al utilizar datos que hacen fallar al sistema real.
  - ⇒ La aceptación y confianza en el modelo de la persona que hará uso de los resultados que arroje el experimento de simulación.
7. **Diseño de experimentos.** La experimentación con el modelo se realiza después que éste ha sido validado. La experimentación consiste en determinar el número de simulaciones independientes para cada alternativa, especificando claramente su tiempo y sus condiciones iniciales.
  8. **Corrida del programa.** De acuerdo con el número de corridas independientes, establecido en el paso anterior se procede a su realización.
  9. **Análisis de resultados.** Se analiza la información generada en el paso anterior, se estiman medidas de desempeño para determinar el mejor sistema con respecto a alguna de ellas.
  10. **Documentación e implementación de resultados.** Documentar las suposiciones del modelo y el modelo, esto para tener las condiciones necesarias para la implementación de resultados.

Gráficamente los pasos se distribuyen como se aprecia en la figura 2.22.

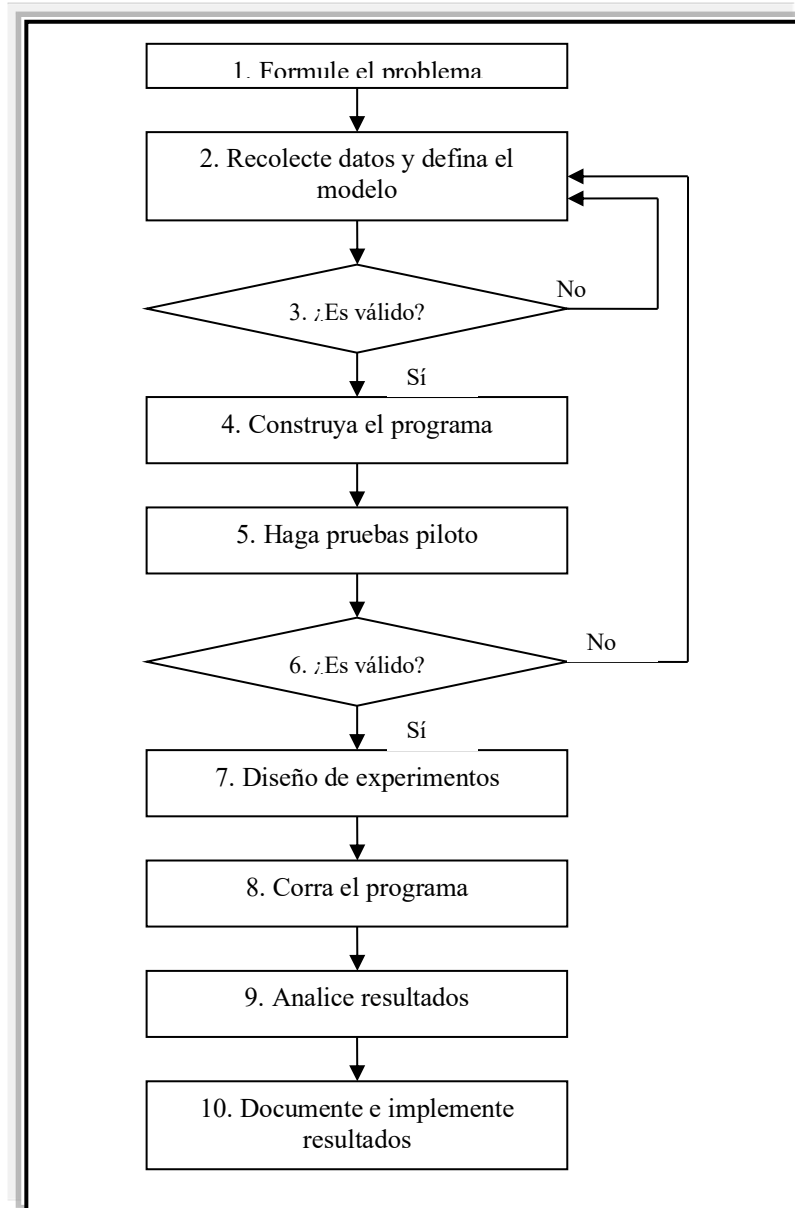


Figura 2.22. Diagrama de flujo de pasos en la metodología de la simulación.

### 2.5.7. Aplicaciones de la simulación

La simulación es una poderosa herramienta que puede tener una gran variedad de aplicaciones. Al analizar diferentes escenarios de diseño o bien de áreas, permite a las organizaciones visualizar y evaluar el impacto económico y operativo que pueden llegar a tener sus decisiones. El usar esta técnica puede resultar complejo, pero los avances en materia de sistemas de información y los paquetes de simulación que cada día son más amigables, invitan a explorar nuevamente y en forma más consistente esta técnica de la ingeniería industrial.

### 2.5.7.1. Ejemplos típicos de aplicación de la simulación.

- ⇒ **Procesos de manufactura:** ayuda a detectar cuellos de botella, a distribuir personal, determinar la política de producción.
- ⇒ **Plantas industriales:** brinda información para establecer las condiciones óptimas de operación y para la elaboración de procedimientos de operación y de emergencia.
- ⇒ **Sistemas públicos:** predice la demanda de energía durante las diferentes épocas del año, anticipa el comportamiento del clima, predice la forma de propagación de enfermedades.
- ⇒ **Sistemas de transporte:** detecta zonas de posible congestión, zonas con mayor riesgo de accidentes, predice la demanda para cada hora del día.
- ⇒ **Construcción:** predice el efecto de los vientos y temblores sobre la estabilidad de los edificios, provee información sobre las condiciones de iluminación y condiciones ambientales en el interior de los mismos, detecta las partes de las estructuras que deben ser reforzadas.
- ⇒ **Diseño:** permite la selección adecuada de materiales y formas. Posibilita estudiar la sensibilidad del diseño con respecto a parámetros no controlables.
- ⇒ **Educación:** es una excelente herramienta para ayudar a comprender un sistema real debido a que puede expandir, comprimir o detener el tiempo, y además, es capaz de brindar información sobre variables que no pueden ser medidas en el sistema real.
- ⇒ **Capacitación:** dado que el riesgo y los costos son casi nulos, una persona puede utilizar el simulador para aprender por sí misma utilizando el método natural para aprender: el de prueba y error.

### 2.5.8. Recomendaciones

Para el desarrollo eficaz de un proyecto de simulación es necesario tener conocimientos sólidos, sobretodo en áreas de estadística, estudios de tiempos y movimientos y en diseño de sistemas de trabajo, además, la administración de proyectos tanto como disciplina como habilidad, puesto que juega un papel importante para encausar un trabajo de esta naturaleza.



# Capítulo III

## APLICACIONES

### 3.1 Mejoramiento de la productividad

#### 3.1.1. Medición y mejora de la productividad en el área de corte de una papelera

*Tobón Galicia, Lucila Guadalupe*

##### Contexto del estudio

En México, las empresas pertenecientes a los diferentes sectores de producción, están enfrentando en la actualidad el reto de implementar estrategias que les ayuden a mejorar su competitividad, y de ésta manera poder competir no sólo en mercados nacionales, sino también en internacionales, comparándose rentablemente con empresas nacionales y extranjeras.

Para Jiménez Rojas, Delgado Bobadilla, & Gaona Villate (2001), la medición de la productividad, ha sido una herramienta estratégica para lograr la mejora de la competitividad, sin embargo, aún existen empresas, principalmente las micro, pequeñas y medianas empresas (Mipymes), que desconocen la forma de implementar herramientas de mejora y como consecuencia de ello, así como también de la falta de financiamiento, el 65% de las micros y pequeñas empresas mexicanas, mueren antes de cumplir 5 años y en promedio su esperanza de vida es tan sólo de casi 8 años (Mora, 2018).

Este trabajo consiste en implementar una metodología para el mejoramiento de productividad desarrollada por Sumanth (1996), que se compone de las etapas de medición, evaluación, planificación y mejoramiento; será utilizado para el mejoramiento de la productividad de una máquina de corte en una empresa papelera que al compararla con máquinas similares, muestra una menor producción y un exceso de merma durante su proceso.

## Aplicación de la metodología

Antes de abordar la implementación, se considera importante realizar una descripción breve y precisa del sitio de la empresa papelera donde desarrollará la metodología para el mejoramiento de la productividad, así mismo, se considera relevante hacer mención teórica de la metodología, por lo tanto, éste estudio se integra de cinco fases que se pueden observar en la figura 3.1.

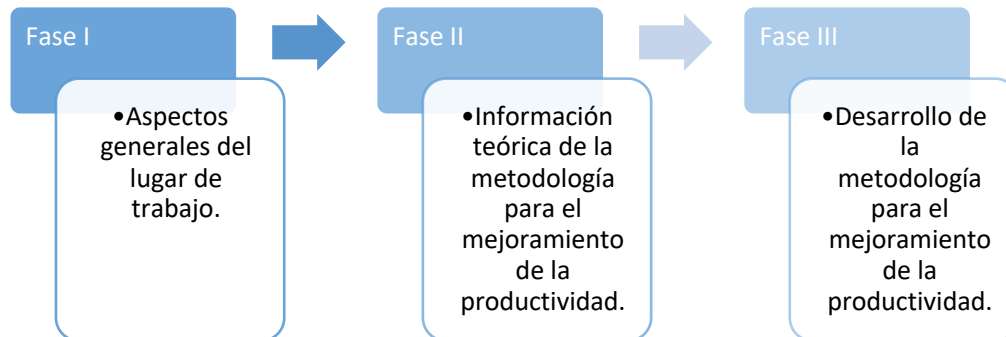


Figura 3.1. Fases de la investigación.

### Fase I: Aspectos generales del lugar de trabajo

La implementación de la metodología se realiza en la sala de acabado de la empresa papelera, el área tiene una línea de transformación que produce 500 hojas para su posterior empaquetado, se producen seis diferentes presentaciones y a lo largo del proceso laboran diez trabajadores, la figura 3.2 es un esquema de las operaciones del área de acabado.

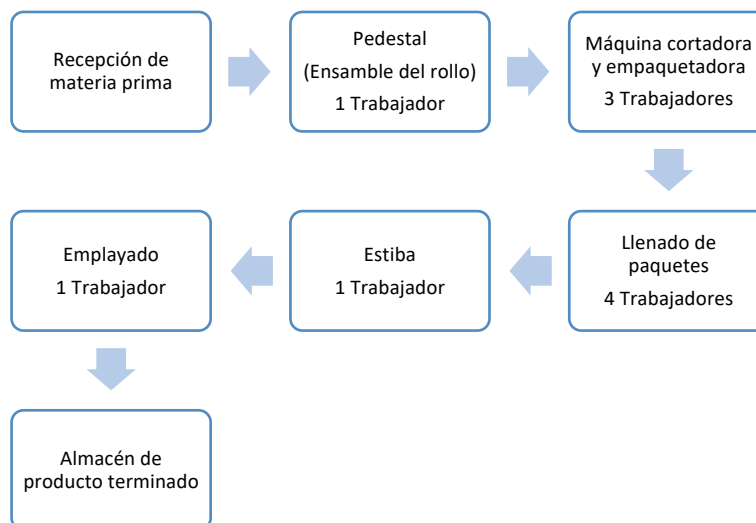


Figura 3.2. Operaciones de la sala de acabado.

## Fase II: Información teórica de la metodología para el mejoramiento de la productividad

Según la teoría de Sumanth D. J. (1999) referenciada por Aguilar Lemus (2014), menciona que “la administración de la productividad total se basa en el ciclo de productividad”, que es una filosofía administrativa con una forma diferente de diseñar y mantener un funcionamiento sistemático en la administración de las organizaciones. La figura 3.3 muestra las etapas para el mejoramiento de la productividad.

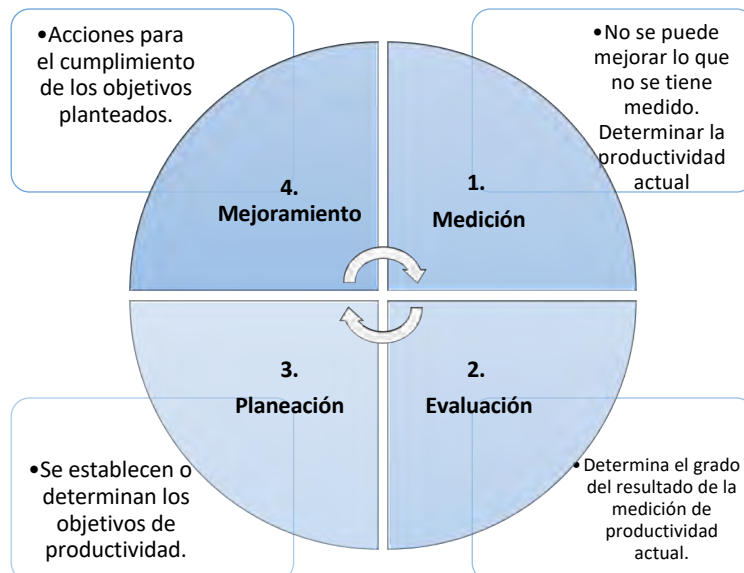


Figura 3.3. Metodología para el mejoramiento de la productividad.

### Medición

La primera etapa, que es la medición, parte del punto que no es posible mejorar lo que no se tiene medido, la fórmula para el cálculo de la productividad se observa en la ecuación 1.

$$Productividad = \frac{Producción}{Insumos} \dots \dots \dots Ecuación 1$$

Analizando la fórmula se puede decir que la relación entre producción e insumos debe ser mayor o igual a la unidad (Miranda & Toirac, 2010), de tal forma que para incrementar la productividad se tendría que optar por:

1. Aumentar la producción manteniendo la misma cantidad de insumos utilizados.
2. Mantener la misma producción pero disminuyendo los insumos utilizados.
3. Aumentar la producción y disminuir los insumos utilizados.

La productividad, se puede medir con relación a un solo factor de producción, lo que se conoce como productividad parcial, según Miranda & Toirac (2010) los insumos más importantes son la productividad del trabajo, del capital y del uso de materiales. La fórmula para el indicador de productividad parcial sería entonces la que indica la ecuación 2.

$$Productividad\ Parcial = \frac{Producción}{Factor\ de\ Producción} \dots \dots \dots Ecuación\ 2$$

### **Evaluación**

Esta segunda etapa se trata de realizar una comparación de la productividad obtenida en la medición actual contra algún estándar de productividad o algún nivel real o proyectado, la fórmula matemática para éste cálculo se observa en la ecuación 3; en ésta etapa también se identifican e investigan las razones del incumplimiento de las expectativas de productividad y se determina el enfoque que tendrá el proceso de planeación de actividades de mejora e incluso con la evaluación inicial, pueden establecerse niveles futuros realistas de productividad.

$$\% \text{ de variación de productividad en el periodo} = \left[ \left( \frac{Productividad\ total\ en\ el\ periodo}{Productividad\ total\ en\ el\ periodo\ proyectado\ o\ estándar} \right) - 1 \right] * 100 \dots Ec. 3$$

### **Planeación**

Ésta etapa consiste principalmente en establecer los objetivos de productividad deseada, es aconsejable que la planeación de la productividad se realice en periodos de máximo un año, esto es por las condiciones económicas variantes que existen en el país.

### **Mejoramiento**

En la etapa del mejoramiento, es importante tener en cuenta aspectos como: herramientas por utilizar, que dependen de las necesidades de la empresa, pueden ser basadas en la tecnología, en los materiales, en los empleados, en los productos o servicios y en los procesos; identificación de los factores que afectan el desempeño interno de la organización; establecimiento de cambios para los factores previamente identificados y capacitación a los trabajadores sobre los cambios requeridos para la mejora.



**Fase III: Desarrollo de la metodología para el mejoramiento de la productividad**

Enseguida se muestra la implementación de cada una de las etapas para el mejoramiento de la productividad en la sala de acabado de la industria papelera:

**Medición:** Para llevar a cabo la medición de la productividad fue necesario realizar un formato para recolección de datos (ver figura 3.4), se registraron las mediciones durante 60 cargas a la máquina cortadora, en cada carga se ensamblan seis rollos que se someten a corte, es decir, que se recolectaron datos de 360 rollos de papel que fueron transformados en paquetes de 500 hojas; los factores de productividad a considerar fueron, la mano de obra, el tiempo de producción y la materia prima (papel), las unidades de medida de cada factor son el número de trabajadores, horas y toneladas de papel, respectivamente, en la tabla 3.1 se muestran los datos totales obtenidos.

EMPRESA XXXXX										
DEPARTAMENTO TÉCNICO		FORMATO DE RECOLECCION DE DATOS DE LA MAQUINA CORTADORA Y EMPACADORA						FECHA:		
								AREA:		
								SUPERVISOR:		
HORA:	INICIO:	FIN:	MAQUINA CORTADORA:			MAQUINA EMPACADORA:		PEDESTALERO:		ESTIBADORES:
OPERADORES:										
DESCRIPCION DE LA BOBINA						MERMA		PEDESTAL		
No. Y grupo de rollo	Peso kg.	Diámetro	Metrage	peso base (g/m2)	Fecha de fabricación.	Resma kg.	Fin de carga (Kg)	cambio de bobina (rollo)		
								inicio	fin	
1										
2										
3										
4										
5										
6										
No. De paquetes producido:										
Paquetes mal sellado:										

Figura 3.4. Formato para recolección de datos.

Tabla 3.4. Datos actuales del proceso.

Cargas	No. de rollos ensamblados	No. de trabajadores	Horas utilizadas	Paquetes producidos	Toneladas de papel ensambladas
60	360	600	165.95	283,663	749.912

Tomando como base los datos de la tabla 3.1 se realiza el cálculo de la productividad de manera parcial (ecuación 2), obteniendo los resultados que se expresan matemáticamente en las ecuaciones 4, 5 y 6.

$$Productividad = \frac{\text{Paquetes producidos}}{\text{Tonelada de papel}} = \frac{283,663}{749.912} = 378.26 \frac{\text{paquetes}}{\text{tonelada de papel}} \dots \text{Ecuación 4}$$

$$Productividad = \frac{\text{Paquetes producidos}}{\text{Horas}} = \frac{283,663}{165.95} = 1709.32 \frac{\text{paquetes}}{\text{horas}} \dots \dots \dots \text{Ecuación 5}$$

$$Productividad = \frac{\text{Paquetes producidos}}{\text{Mano de Obra}} = \frac{283,663}{600} = 472.77 \frac{\text{paquetes}}{\text{persona}} \dots \dots \dots \text{Ecuación 6}$$

Por lo tanto la productividad actual de la máquina de corte analizada es de: 378 paquetes de 500 hojas por tonelada de papel, 1709 paquetes de 500 hojas por hora y 473 paquetes de 500 hojas por trabajador, a partir de los resultados iniciales se desarrollarán las etapas siguientes del ciclo para el mejoramiento de la productividad.

Evaluación: En ésta etapa se debe evaluar la productividad obtenida contra un estándar de productividad o un objetivo de productividad deseado, sin embargo, ésta es la primera ocasión que se mide la productividad parcial de la maquinaria, por lo tanto, en ésta etapa únicamente se analizarán las posibles áreas de oportunidad de mejora para cada uno de los insumos medidos, para ello se utilizarán algunas de las herramientas básicas para el control de procesos, como el diagrama causa-efecto y el diagrama de Pareto.

La figura 3.5 es el diagrama causa-efecto, fue realizado con ayuda del personal del área con el objetivo de ubicar áreas de oportunidad para la mejora de la productividad, como se observa, las ramas mayormente ocupadas son: materiales o materia prima, personal o mano de obra, método de trabajo y maquinaria, por lo tanto, el siguiente paso es identificar los principales problemas que ocasionan cada una de las causas registradas para posteriormente establecer acciones que coadyuven al mejoramiento de las operaciones.

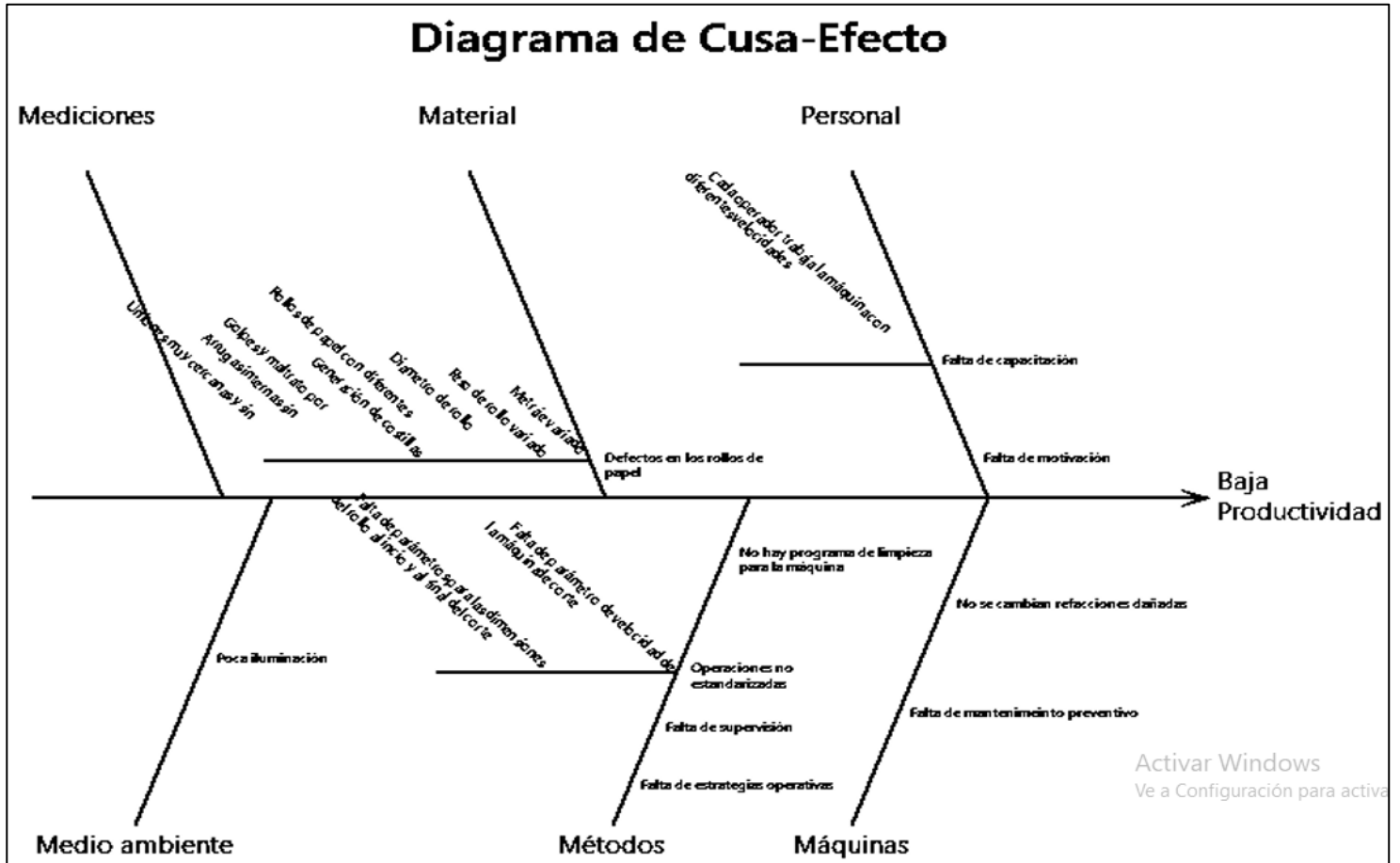


Figura 3.5. Diagrama de causa-efecto para la detección de áreas de oportunidad.

En el caso de los materiales, la causa principal son los defectos en los rollos de papel, para tener un panorama de la situación, se realizó un diagrama de Pareto (ver figura 3.6), donde se evidencia que los principales problemas por atacar, según la regla 80-20 (buscar el 20% de los rubros que más influyen o quienes provocan el 80% de los problemas Bonet Borjas (2005)) son: Generación de humedad en costillas, uniones muy cercanas y sin identificar, golpes y maltrato por montacargas, y arrugas no identificadas. Éstos resultados se tendrán en consideración al momento de generar el plan de acción de mejora, en la etapa posterior (planeación).

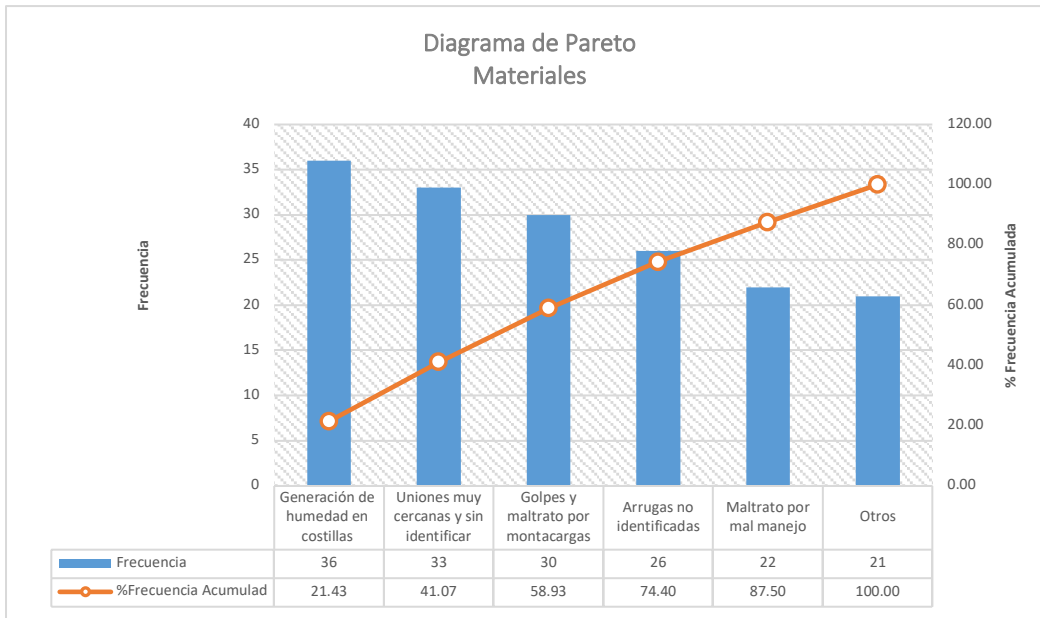


Figura 3.6. Diagrama de Pareto de los materiales.

Con respecto a la mano de obra, se observaron diferentes aspectos, que van desde la falta de motivación, el cinismo laboral y la carencia de habilidades de operación de parte del personal obrero, hasta la falta de supervisión de los jefes de turno; el diagrama de Pareto de la figura 3.7 muestra los principales puntos que requieren atención.

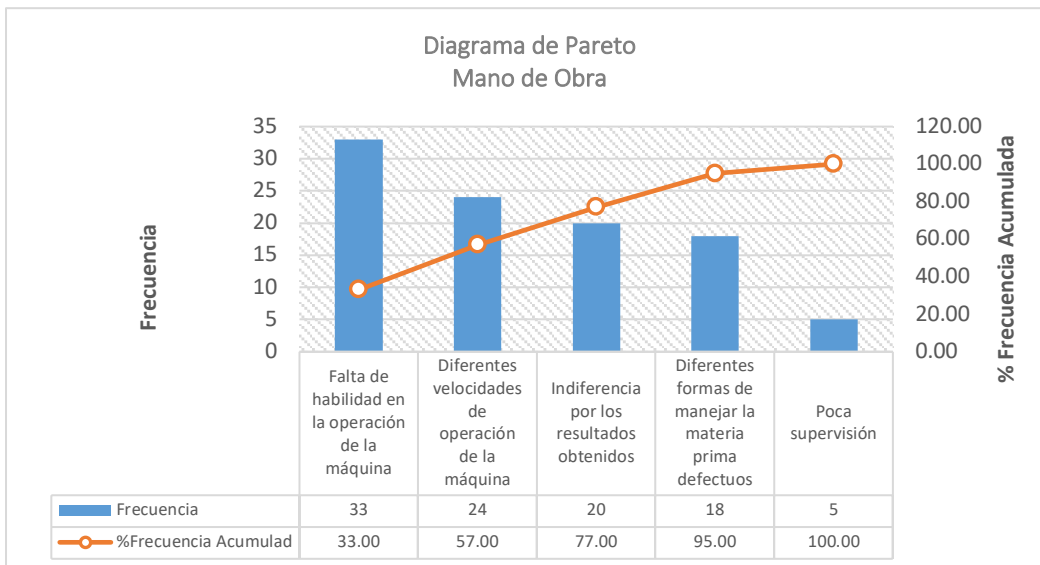


Figura 3.7. Diagrama de Pareto de la mano de obra.

Como se observa en el diagrama de la figura 3.7, los problemas que generan el 80% de los problemas en la mano de obra son: la falta de habilidad de los trabajadores al operar la maquinaria, las diferentes velocidades a la que la operan y la indiferencia de los resultados obtenidos.

Finalmente, con respecto a los tiempos de producción, se detectó que se ven incrementados como consecuencia de malos métodos de operación, por ejemplo, la falta de un mantenimiento preventivo a la maquinaria y a los equipos, así mismo, se detectan tiempos de preparación de la máquina muy extensos, principalmente en los cambios de cargas y envolturas, la gráfica de la figura 3.8 muestra los tiempos perdidos durante el periodo de estudio.

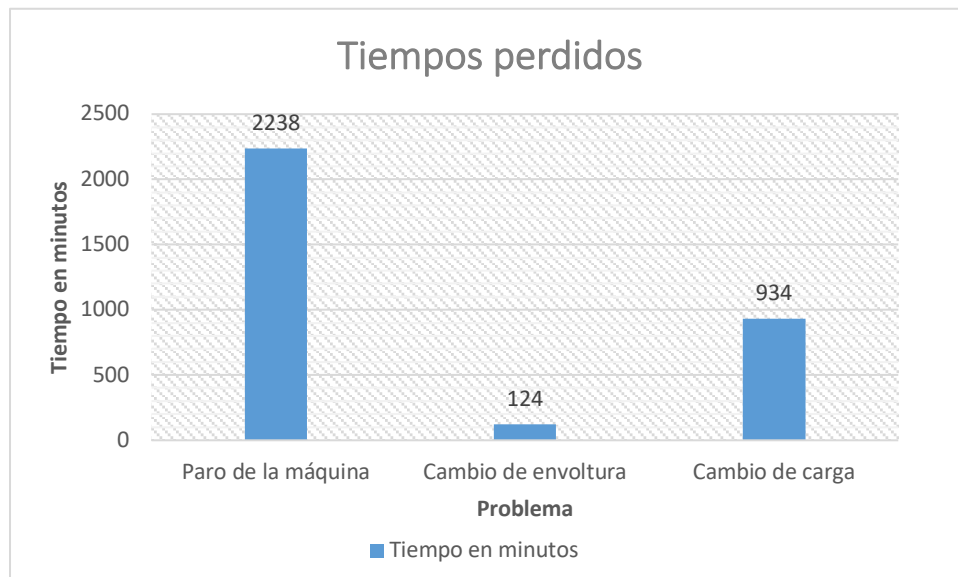


Figura 3.8. Gráfica de los tiempos perdidos.

**Planeación:** En ésta etapa se realizó un plan de acción de mejora enfocado directamente a combatir cada uno de los problemas que surgieron en la evaluación de los resultados y que se consideran área de oportunidad para el incremento de la productividad. La tabla 3.2 muestra las acciones formuladas.

Tabla 3.5. Plan de acción de mejora.

Plan de acción de mejora									
¿Qué?	¿Cómo?	¿Cuándo?	¿Dónde?	¿Quién?	¿Para qué?	% Avance			
						25	50	75	100
Emplayar las bobinas en cuanto salgan de la embobinadora.	De acuerdo a procedimiento de empleado completo.	A partir de que se dé a conocer a los operarios el plan de acción.	En el almacén de bobinas terminadas.	Los trabajadores de la sala de acabado.	Para evitar defectos por costillas de humedad en los rollos de papel y evitar la merma al inicio del corte.				
Identificar las uniones en las bobinas de papel.	Marcando con una línea dónde existe la unión.	A partir de que se dé a conocer a los operarios el plan de acción.	En el almacén de bobinas terminadas.	Los operadores de la embobinadora.	Para evitar que las guías revienten al momento de su corte.				
Realizar un procedimiento para el manejo de materiales en montacargas y difundirlo con el personal.	Evitando el golpeteo de los rollos, estableciendo una cantidad adecuada por traslado y con la estructura para la elaboración de procedimientos. Mediante un curso-taller de capacitación.	Durante la primera quincena de noviembre de 2018.	En la sala de capacitación y área de trabajo.	Supervisor de área.	Para evitar golpes en los rollos y disminuir las mermas generadas por ese maltrato.				
Identificar las arrugas internas de las bobinas.	Marcando las bobinas con líneas en donde se observan las arrugas.	A partir de que se dé a conocer a los operarios el plan de acción.	En el almacén de bobinas terminadas.	Los operadores de la embobinadora.	Para evitar el atasco de las hojas y el traslape y las consecuencias que son paro de producción y mermas de materiales.				
Elaborar e implementar un plan de mantenimiento preventivo en las bandas selladoras de la máquina empaquetadora	De acuerdo a las necesidades del equipo.	Noviembre de 2018- Primera quincena	En la máquina empaquetadora	Superintendente y supervisores de áreas.	Para evitar paros por las bandas selladoras de la empaquetadora				
Generar un rol de limpieza a los rodillos giratorios y a la banda selladora.	Cada dos horas y de acuerdo al procedimiento de limpieza actual.	Cuando se fabrica un tipo de papel específico. (Por confidencialidad no se indica marca)	En los rodillos de la banda selladora y empaquetadora.	El operador de la máquina empaquetadora.	Para garantizar el sellado correcto de los paquetes y evitar pérdidas.				
Verificar y ajustar las pinzas y cucharas cuando estén desalineados.	Realizar un formato de Check List de implementación diaria, para detectar desajustes y proceder a la alineación de piezas u otra necesidad de la maquinaria.	A partir de que se dé a conocer a los operarios el plan de acción.	En las pinzas y cucharas de la máquina cortadora.	El operador de la máquina cortadora.	Para evitar atascos de papel y como consecuencia paros constantes en la máquina cortadora.				
Limpiar la banda transportadora de envoltura.	Dos veces por turno y utilizando los solventes correspondientes.	A partir de que se dé a conocer a los operarios el plan de acción.	En la banda transportadora de envoltura.	El operador de la máquina empaquetadora.	Para evitar el atasco de las envolturas en la empaquetadora y evitar paros y pérdidas.				
Generar programa de mantenimiento para la iluminación del área.	De acuerdo a las necesidades del área y a las características de las lámparas.	Noviembre de 2018- Primera quincena.	En el área de producción.	El superintendente y el supervisor del área.	Para garantizar la iluminación adecuada del área de trabajo.				
Realizar un programa de capacitación destinado a los ayudantes de la máquina cortadora.	Considerando el perfil de puesto del operador, así como su formación académica y experiencia.	Noviembre 2018- Primera quincena.	En la sala de capacitación del área de trabajo.	Supervisores y operadoras de la máquina cortadora.	Para asegurar el desarrollo de capacidades y habilidades del personal.				

**Mejoramiento:** En ésta etapa se dio seguimiento a las actividades planeadas en la etapa anterior, cabe hacer mención que se utilizaron herramientas para el mejoramiento de los materiales y de los procesos, tales como: control de calidad y materiales reusables y reciclados, ingeniería de métodos/simplificación del trabajo y diseño de seguridad en el trabajo; se realizó una fuerte campaña de concienciación al personal, y establecieron sistemas de incentivos motivacionales. Como consecuencia de las acciones implementadas, se presentó el mejoramiento de la productividad parcial de los insumos analizados, que fue medida a partir de la nueva toma de datos (ver tabla 3.3). Los resultados son los que se muestran en las ecuaciones 7, 8 y 9.

Tabla 3.6. Datos del proceso después de la implementación de acciones de mejora.

Cargas	No. de rollos ensamblados	No. de trabajadores	Horas utilizadas	Paquetes producidos	Toneladas de papel ensambladas
<b>60</b>	360	600	111	314,435	755.245

$$Productividad = \frac{Paquetes\ producidos}{Tonelada\ de\ papel} = \frac{314,435}{755.245} = 416.34 \frac{paquetes}{tonelada\ de\ papel} \dots\dots Ecuación\ 7$$

$$Productividad = \frac{Paquetes\ producidos}{Horas} = \frac{314,435}{111} = 2,832.75 \frac{paquetes}{horas} \dots\dots\dots Ecuación\ 8$$

$$Productividad = \frac{Paquetes\ producidos}{Mano\ de\ Obra} = \frac{314,435}{600} = 524.06 \frac{paquetes}{persona} \dots\dots\dots Ecuación\ 9$$

### Evaluación de mejoras

Una vez implementado el ciclo de mejoramiento de la productividad, apoyado de herramientas de control estadístico como fueron el diagrama de Causa-Efecto, Diagrama de Pareto, 5W + 1H; así como también otras técnicas y herramientas de ingeniería, que son, administración del mantenimiento, estudio de tiempos y programas de capacitación e incentivos, se logró incrementar la productividad parcial en la operación de una máquina de corte, en la figura 3.9 se muestra gráficamente la mejora.

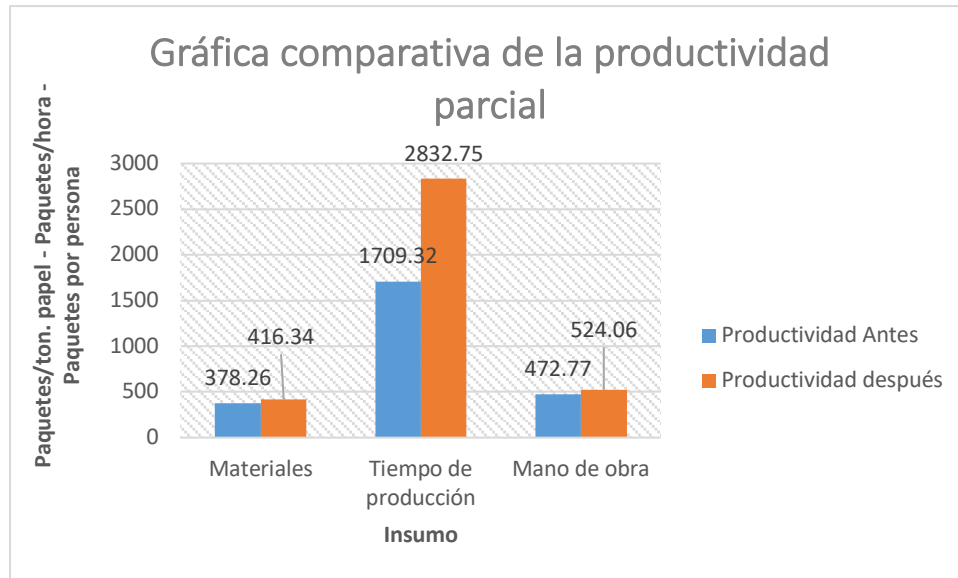


Figura 3.9. Gráfica comparativa.

Es importante mencionar que únicamente se realizó la medición de la productividad de la máquina de corte que representaba mayor área de oportunidad, sin embargo, las acciones efectuadas también impactaron positivamente en la eficiencia de las otras máquinas de corte. A partir de ésta medición, ya se tiene un estándar de productividad y como consecuencia se puede realizar el cálculo del índice de productividad, utilizando la productividad anterior y la actual, tal como se muestra en las ecuaciones 10, 11 y 12.

$$\% \text{ de variación de productividad (Materiales)} = \left[ \left( \frac{416.34}{378.26} \right) - 1 \right] * 100 = \mathbf{10.07\%} \dots \text{Ecuación 10}$$

$$\% \text{ de variación de productividad (Tiempo de producción)} = \left[ \left( \frac{2832.75}{1709.32} \right) - 1 \right] * 100 = \mathbf{65.72\%} \dots \dots \dots \text{Ecuación 11}$$

$$\% \text{ de variación de productividad (Mano de obra)} = \left[ \left( \frac{524.06}{472.77} \right) - 1 \right] * 100 = \mathbf{10.85\%} \dots \dots \dots \text{Ecuación 12}$$

Por lo tanto, la productividad parcial de los materiales incrementó en un 10.07%, la productividad parcial del tiempo de producción mejoró en un 65.72% y la productividad parcial de la mano de obra aumentó en un 10.85%.



## Consideraciones finales

Se implementó la metodología para el mejoramiento de la productividad que consta de cuatro etapas: medición, evaluación, planeación y mejoramiento, en el desarrollo de cada una de ellas se hizo uso de otras herramientas de ingeniería industrial, como por ejemplo el diagrama de causa-efecto, el diagrama de Pareto y las 5W + 1H; adicionalmente en la implementación del plan de acción fue necesario utilizar técnicas como el control estadístico, manejo de materiales reusables y reciclados, ingeniería de métodos/simplificación del trabajo y diseño y seguridad en el trabajo. En todo el proceso se presentaron situaciones que hicieron complicadas las mejoras, principalmente cuando se trataba de inversión monetaria, por ello el plan de acción sólo contiene actividades que no requieren de recurso económico, finalmente se obtuvieron resultados muy favorables para la organización, emanados de la sala de corte, principalmente los relacionados con el insumo tiempo de producción donde la mejora fue del 65.72%, no por ello se minimizan los logros en los otros dos insumos de mano de obra y materiales, ya que también se dio un incremento de 10.85% y 10.07% respectivamente.

## 3.1.2. Aplicación de simulación a problemas de producción

### Medición y mejora de la productividad en un proceso de producción de adoquines

*López Cabrera, Anibal Gaudencio*

#### Contexto del estudio

VACSA Construcción es una empresa familiar dedicada a la fabricación de adocretos: ocho tipos de adoquines, tres de block's y bovedillas. El proceso de producción es el siguiente: dos trabajadores se encargan de llenar la mezcladora con las materias primas correspondientes al tipo de producto que se fabricará. Cuando la mezcla está preparada, es trasladada a través de una banda transportadora hacia una tolva que alimenta a las tarimas que se colocan en la máquina procesadora. Un maquinista, es el que se encarga de alimentar los moldes después de que se ha colocado la tarima para los productos dentro de la máquina procesadora, la cual, mediante dos operaciones, una de vibración y la otra de compactación, conforma los productos, finalmente el producto terminado es llevado al área de reposo donde permanece por lo menos 12 horas antes de ser entarimado.

Estos procesos se ven afectados por la falta de controles, la inexistencia de tiempos estándar en los mismos, paros no programados por fallas de las máquinas y tiempo perdido por parte de los trabajadores interrumpiendo el ritmo de trabajo, además, otro factor que se suma a esta afectación es el incorrecto diseño de su distribución de planta, desperdiciando espacios que pudieran ser destinados al producto terminado y que se lograría si no se separan máquinas que pueden ser alimentadas por la misma fuente.

Finalmente, otro factor que se suma es contar únicamente con un solo montacargas que es el encargado del movimiento de los materiales necesarios en la planta y cuyas actividades son interrumpidas constantemente por la necesidad de cargar las unidades de transporte; estas interrupciones provocan afectaciones en la productividad al no lograr el aprovechamiento de capacidad de producción, aumentar los tiempos de ciclo, falta de stock de seguridad e incremento en el uso de algunos insumos (principalmente energía eléctrica). Lo anterior afectando negativamente la economía de la empresa, razón por la cual se realizó el presente estudio de

simulación cuyos objetivos principales fueron: determinar la productividad actual de la empresa y probar la hipótesis de que un montacargas adicional incrementara la productividad.

## Aplicación de la metodología

El análisis que se llevó a cabo comprende desde el proceso de mezclado hasta que los adoquines lleguen al área de almacén de producto terminado, aplicando la metodología de simulación propuesta por Law y Kelton (2000) que consiste en 10 pasos como se observa en la figura 3.10.

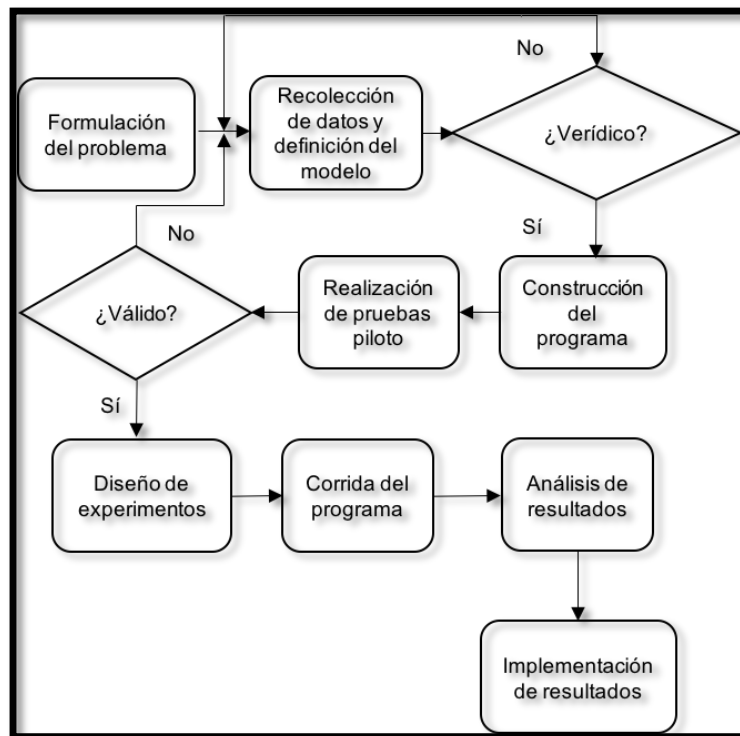


Figura 3.10. Metodología para un estudio de simulación.  
Fuente: Law (2014).

## Formulación del problema

Existen factores que desencadenan la baja productividad en el proceso de fabricación de los adoquines en VACSA. Por ello, se construyó un modelo de simulación que permite el análisis del sistema actual y probar una alternativa, cuyo principal objetivo es incrementar la productividad del proceso de producción de la empresa.

## Recolección de datos y definición del modelo

Las actividades realizadas en este paso fueron: 1.- Definición de variables, 2.- Determinación de horarios y puntos de muestreo, 3.- Diseño del instrumento de recolección de datos, 4.- Recolección de datos en el sistema y 5.- Análisis estadístico de los datos.

Los datos recolectados corresponden a las variables que representan al sistema formado por 4 máquinas (de la máquina 1 a la máquina 4), dichas variables son preparación de mezcla, transporte de mezcla, colocación de tarima, llenado y compactado, y traslado del producto al área de almacenamiento en el proceso de producción. Para el montacargas tiempo de traslado y tiempo de maniobra. La unidad de tiempo utilizada fue el segundo con excepción de la variable de preparación de mezcla y tiempo de traslado.

Las variables de entrada alimentan el sistema, las de salida representan las medidas de desempeño para evaluar el sistema. En la tabla 3.4 se enlistan dichas variables.

Tabla 3.4. Variables de entrada y salida del sistema.

Entrada	Salida: (Medidas de desempeño)
Tiempos de producción.	Cantidad de producción por máquina y total.
Número de máquinas.	Utilización de máquinas.
Número de trabajadores.	Utilización de trabajadores.
Horas de trabajo.	Utilización de montacargas.

Fuente: Elaboración propia.

## Tratamiento estadístico

Se utilizó el paquete estadístico Stat:fit®. Este paquete permite la realización de las pruebas de bondad de ajuste Chi-cuadrada, Kolmogorv - Smirnov y Anderson Darling a los conjuntos de datos de las variables bajo estudio, para determinar a qué distribución de probabilidad teórica conocida se ajustan.

La figura 3.11 muestra el tratamiento estadístico para la variable: preparación de mezcla en máquina 1.

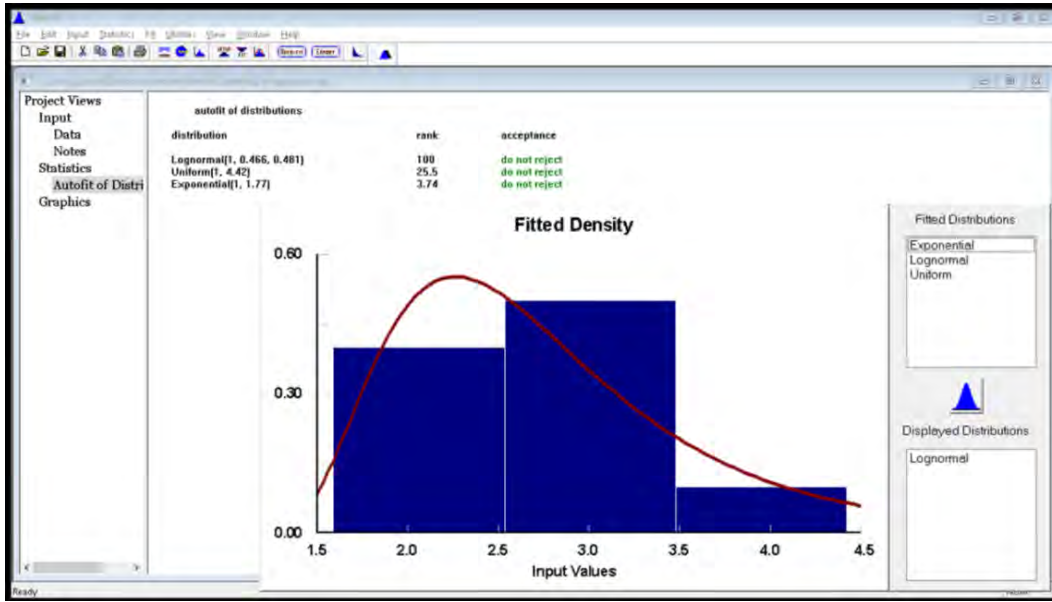


Figura 3.11. Resultados del análisis de preparación de mezcla en la máquina 1.

Fuente: Elaboración propia.

El análisis estadístico al resto de las variables arrojó como resultados que todas ellas se ajustaron a distribuciones teóricas conocidas.

La representación gráfica del proceso, mediante un modelo conceptual, se muestra en la figura 3.12. Durante su proceso de fabricación, el adoquín transita por estas actividades principales.

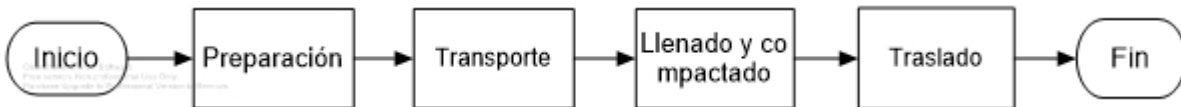


Figura 3.12. Modelo conceptual del flujo de proceso de fabricación del adoquín.

Fuente: Elaboración propia.

### Verificación del modelo

Construido el modelo conceptual éste fue verificado y aprobado por el encargado del proceso.

### Construcción del modelo

Se utilizó el simulador SIMIO (Simulation Modeling Framework Based On Intelligent Objects). En la tabla 3.5 se muestra la relación de los objetos del simulador SIMIO con los elementos del sistema real.

Tabla 3.5. Objetos de SIMIO y su significado en el sistema real.

Objeto de SIMIO	Significado en el sistema real
Source	Preparación de la mezcla adoquines y llegada de tarimas.
Separator	Divide la mezcla en 16 o hasta 20 adoquines.
Combiner	Agrupar dos adoquines en cada tarima.
Workstation	Máquinas procesadoras del sistema (4).
Server	Patio de reposo de los adoquines al menos durante 12 horas
Sink	Salida de los adoquines del sistema.
Worker	Persona que traslada el producto de la máquina procesadora al patio (4).
Vehicle	Montacargas del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

Las figuras 3.13 y 3.14 ilustran fases de la construcción del modelo.

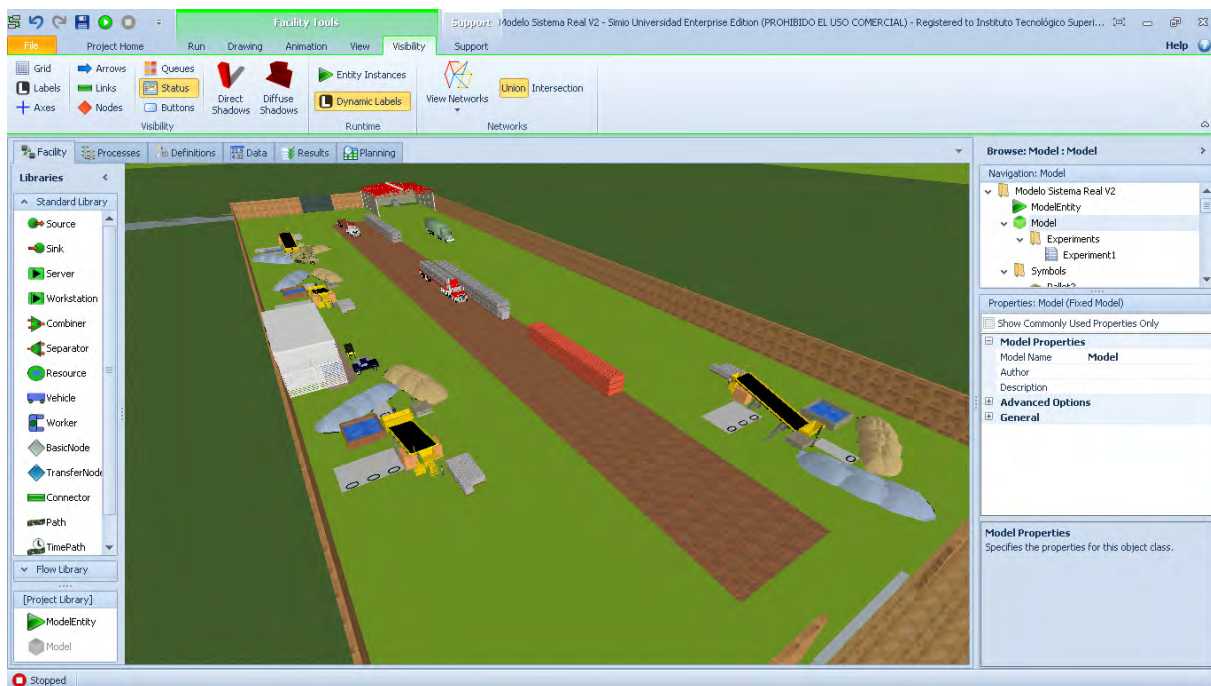


Figura 3.13. Vista frontal de la planta.

Fuente: Elaboración propia.

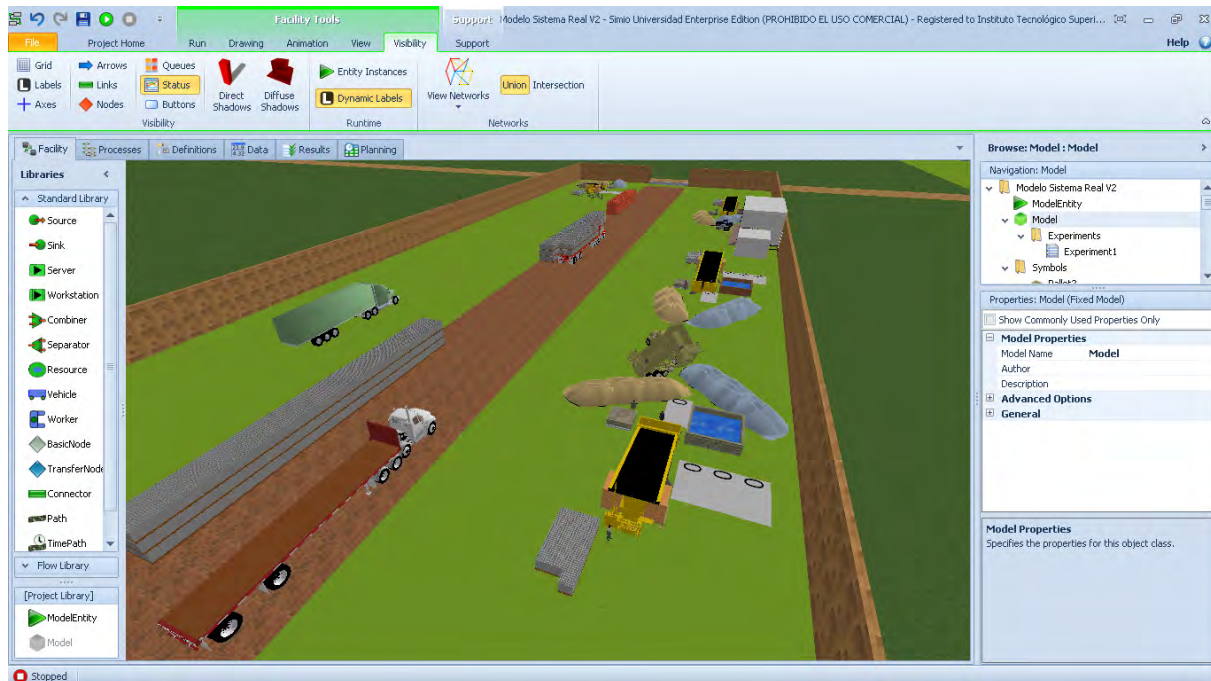


Figura 3.14. Vista desde el segundo acceso.  
Fuente: Elaboración propia.

## Pruebas piloto

Se realizaron 15 corridas piloto (cambiando el generador de números pseudoaleatorios de cada uno de los objetos) que aseguraron la programación correcta y que recabaron información para el siguiente paso.

## Validación del modelo de simulación

La validación de un modelo consiste en corroborar que los datos que arroje el modelo de simulación sean estadísticamente iguales a los del sistema real.

Para realizar la validación del modelo se utilizó la prueba t-apareada, que compara los resultados de la simulación contra los resultados observados del sistema real. Mediante esta comparación se determina si el modelo es una representación válida del sistema si al construir un intervalo de confianza el cero está incluido dentro de él.

La validación se realizó a cada una de las variables, por cuestión de espacio, se muestra solamente el procedimiento para una de ellas:

Tiempos promedio de preparación de mezcla en la máquina 1.

$X$  = tiempo promedio en minutos de preparación de mezcla en máquina 1 del sistema real.

$Y$  = tiempo promedio en minutos de preparación de mezcla en máquina 1 del modelo.



Los resultados de 15 datos apareados, correspondientes a la preparación de mezcla se muestran en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Datos apareados de la variable tiempo promedio de preparación de mezcla en máquina 1.

Datos				
Corridas	Reales $X_j$ (minutos)	Simulados $Y_j$ (minutos)	$Z_j = (X_j - Y_j)$	$(Z_j - \bar{Z}_{10})^2$
1	2.34	2.54	-0.2	0.0595
2	2.3	2.49	-0.19	0.0548
3	2.28	2.5	-0.22	0.0697
4	2.41	2.48	-0.07	0.0130
5	2.78	2.52	0.26	0.0467
6	3.03	2.51	0.52	0.2266
7	3.22	2.51	0.71	0.4436
8	2.87	2.54	0.33	0.0818
9	2.26	2.53	-0.27	0.0986
10	2.33	2.51	-0.18	0.0502
11	2.51	2.54	-0.03	0.0055
12	2.41	2.45	-0.04	0.0071
13	2.26	2.5	-0.24	0.0807
14	2.62	2.52	0.1	0.0031
15	2.69	2.51	0.18	0.0185
Total			0.6600	1.2592
Promedio			0.0440	

Fuente: Elaboración propia.

Se construyó un intervalo de confianza al 95% para  $Z$ , en donde  $Z_i = X_i - Y_i$  resultando ser  $(-0.1221, 0.2101)$ .

Cómo puede observarse, el intervalo de confianza resultante incluye al cero; por lo tanto, con un nivel de confianza del 95% se afirma que cualquier diferencia observada entre  $\mu_x$  y  $\mu_y$  no es estadísticamente significativa y puede explicarse por fluctuaciones aleatorias, aceptando que el modelo es válido.

### Diseño de experimentos.

Determinación del número óptimo de corridas.

Un grave error al momento de conducir estudios de simulación es el de basar las decisiones en la observación de una sola corrida; para evitar este error, es necesario determinar el número de



corridas óptimo y así, con los resultados de varias corridas, las decisiones pueden tomarse de manera adecuada.

Es posible determinar  $n^*(\beta)$  incrementando  $i$  en uno hasta que un valor de  $i$  se obtiene para el cual:

$$n^*(\beta) = \min \left\{ i \geq n : t_{i-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\frac{S^2(n)}{i}} \leq \beta \right\}$$

La tabla 4 muestra los resultados de 15 corridas piloto, independientes que se obtuvieron al correr el programa de simulación.

Tabla 3.7. Tiempo promedio de llenado y compactado en máquina 1.

Corridas	Tiempo promedio de llenado y compactado (segundos)
1	11.98
2	11.87
3	11.98
4	11.90
5	11.88
6	11.92
7	11.91
8	11.96
9	11.76
10	11.89
11	11.89
12	11.82
13	11.95
14	11.89
15	11.82
Media	11.8947
Varianza	0.0038

Fuente: Elaboración propia.

Se estimó el tiempo promedio de compactación en la máquina 1, con un error absoluto  $\beta$  de 0.030 segundos y un nivel de confianza del 95%. El procedimiento se muestra a continuación:

$$\bar{X} = 11.8947$$

$$S^2 = 0.0038$$

$$\beta = 0.030$$

$$\alpha = 0.05$$

$$n^*(0.030) = \min \left\{ i \geq 15 : t_{i-1, 0.025} \sqrt{\frac{0.0038}{i}} \leq 0.030 \right\}$$

Al aplicar la fórmula, se obtuvo que el número de repeticiones óptimo es 19 corridas del programa.

### Descripción de la alternativa de mejora

La alternativa de mejora que simulada fue la integración de otro montacargas al proceso de producción, distribuyendo las actividades de la siguiente manera: uno de ellos dedicado a la carga de material a las unidades de transporte y el otro a las actividades de movimiento de materiales en el proceso de producción y al área de carga y descarga.

### Análisis de resultados

Una vez concluidas las 19 repeticiones del modelo original y del modelo de la alternativa se analizaron las siguientes medidas de desempeño (o variables de salida): producción total por máquina, porcentaje de utilización de las máquinas, y porcentaje de utilización de los trabajadores y montacargas.

### Producción total por turno

Los datos proporcionados por el modelo de simulación y la alternativa se representan en la figura 3.15.

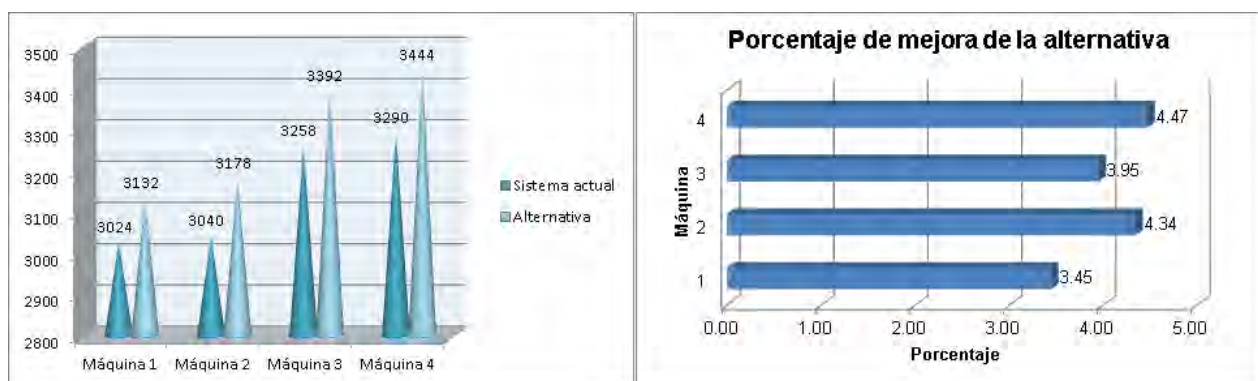


Figura 3.15. Comparación de la producción por máquina del sistema actual y la alternativa.

Fuente: Elaboración propia.

La figura muestra claramente el aumento de la producción en cada una de las máquinas al implementarse la alternativa (un segundo montacargas), el aumento promedio de las cuatro máquinas es del 4.05%.

### Porcentaje de utilización de las máquinas

La figura 3.16 muestra el porcentaje de utilización de las máquinas en los dos modelos, actual versus alternativa.

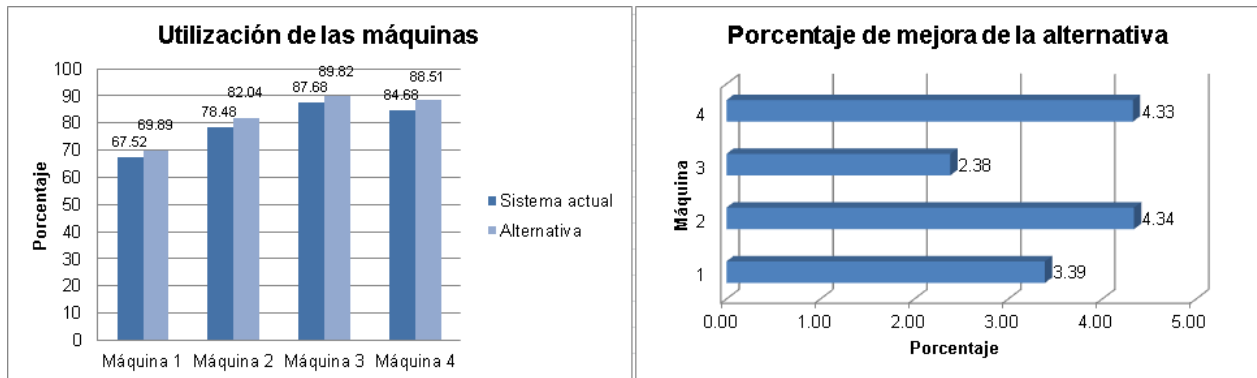


Figura 3.16. Porcentaje de utilización de las máquinas.

Fuente: Elaboración propia.

El porcentaje de utilización de las máquinas también tuvo un incremento promedio de 3.61% cuando se implementó la alternativa.

### Porcentaje de utilización de los trabajadores y montacargas

En la figura 3.17 se muestra el porcentaje de ocupación de cada trabajador y los montacargas uno en el sistema original y dos en la alternativa.

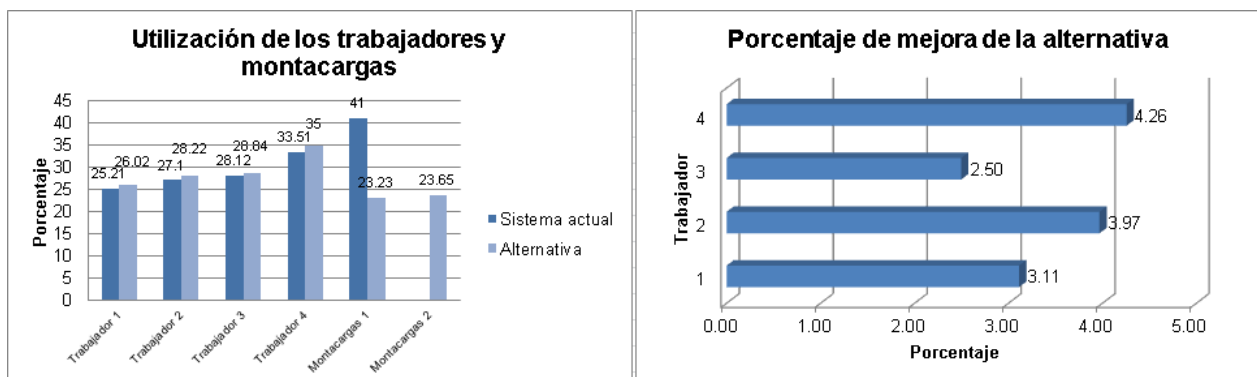


Figura 3.17. Porcentaje de utilización de los trabajadores y de los montacargas.

Fuente: Elaboración propia.

Obsérvese que hay aumento en el porcentaje de ocupación de los trabajadores, el cual es en promedio 3.46%; sin embargo, para el montacargas hubo una disminución del 43% de ocupación en la alternativa con respecto al sistema original. Esto se debe a que al ingresar un nuevo recurso (montacargas) el trabajo se comparte.

## **Evaluación de mejoras**

La implementación de un segundo montacargas fue benéfica en las medidas de desempeño ya que todas tuvieron un incremento en la alternativa con respecto al sistema original. Lo más atractivo para el dueño de la empresa fue la posibilidad del incremento de producción.

Por otro lado, en la alternativa se refleja claramente la disminución de la ocupación del primer montacargas (del sistema original), esto se debe a que ahora hay otro disponible para no retrasar el flujo de la materia prima para el proceso de producción.

## **Consideraciones finales**

Un estudio de simulación ayuda a imitar un sistema real mediante un modelo digital para poder conocer su comportamiento. El software SIMIO es un programa poderoso de simulación que permite realizar modelos realistas en poco tiempo. Por otro lado, haber probado la alternativa propuesta resultó benéfico, ya que se mejoran las medidas de desempeño como unidades producidas y porcentaje de ocupación de las máquinas y trabajadores. En forma particular se aprecia el aumento de la producción de 12,612 unidades a 13,146, representado un aumento del 4%.

## 3.1.3 Aplicación de seis sigma en un servicio

### Aumento en la productividad

*Flores Serrano, María Del Socorro*

#### Contexto del estudio

Duarte (2003) señala que un ambiente educativo es un espacio donde se propician y desarrollan las condiciones más favorables que generen el aprendizaje. Una forma de evaluar el ambiente educativo es la habitabilidad que se relaciona con la suficiencia y la equidad en la distribución de los recursos físicos escolares.

Vargas-Hernández (2010) de acuerdo a su investigación selecciona ocho dimensiones para evaluar la habitabilidad educativa las cuales son: 1. Disponibilidad de instalaciones y equipamiento de la escuela. 2. Condiciones físicas de instalaciones y equipamiento. 3. Confort físico en el aula (ventilación, temperatura, control acústico, iluminación y mobiliario). 4. Espacio educativo (amplitud, versatilidad y apariencia estética). 5. Sustentabilidad de la escuela. 6. Higiene y seguridad física en la escuela. 7) accesibilidad de la escuela; y 8) disponibilidad de infraestructura y servicios de apoyo en la zona de asentamiento.

Este caso también se para dar un panorama hacia la acreditaciones de la institución educativa con el Centro de Acreditación para la enseñanza de la ingeniería (CACEI) donde se evalúa la suficiencia y estado de uso de las instalaciones, considerando los siguientes elementos: Aulas, laboratorios y talleres, de acuerdo con la matrícula escolar, el área de conocimiento, la modalidad didáctica y el tipo de asignaturas. Cumplimiento de las condiciones establecidas en relación con la iluminación, ventilación, temperatura, aislamiento del ruido, mobiliario, instalaciones y conectividad, pertinentes al modelo educativo.

Flores (2017) define a Seis Sigma como “una metodología de calidad que al aplicarse ofrece un mejor producto o servicio, mucho más rápido y a un bajo costo ya que centra su atención a la eliminación de defectos satisfaciendo los requerimientos del cliente.

Cuando se realizan procesos donde las variables son en su mayoría cualitativas, la metodología seis sigma se modifica y emplea un enfoque transaccional, aquí los proyectos tienen un sistema de menor uso de herramientas estadísticas y más gestión de la información cualitativa que cuantitativa (Warfield, 2002). El enfoque transaccional atiende tres puntos principales: primero el servicio en el que los procesos están bien definidos, pero los sistemas de medición alrededor de los procesos no lo están. En segundo lugar es los procesos administrativos en los que las métricas de rendimiento están mal definidas y los procesos que tienen que realizar son vagos. En tercer lugar es las áreas de apoyo o soporte en el que el sistema de medición se controla de forma continua, pero no se consideran en la toma de decisiones de las métricas de rendimiento suelen estar bien definidos (Temblador, Ramirez Galindo, & Beruvides, 2009). Se debe tener en cuenta dos aspectos claves que deben ser considerados: la satisfacción del cliente y el rendimiento del servicio.

### Aplicación de la metodología

Para evaluar las ocho dimensiones propuestas por Hernández Vázquez (2010) utilizaremos la metodología seis sigma transaccional como lo cita Temblador et al (2009) y se muestra en la figura 3.18, quienes recomiendan una descripción de los objetivos de cada fase:

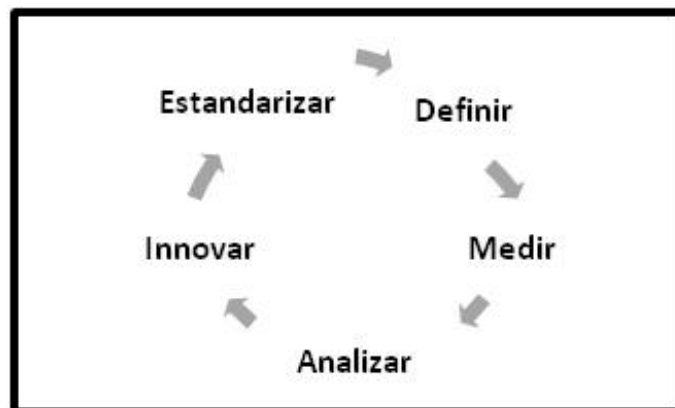


Figura 3.18. Fases metodología seis sigma transaccional. Temblador et al (2009).

### Definir

Esta fase se realiza de la misma manera que en procesos se declara el proyecto con el objetivo de que los beneficios y los resultados sean entendidos (Temblador y Beruvides 2009, p. 3). No existe diferencia entre el seis sigma transaccional y de procesos, en esta fase los elementos y

resultados en ambos enfoques son los mismos. Un entregable importante en esta fase es la selección de como mediremos en primer instancia que es la métrica de rendimiento para el logro del proyecto y las métricas consecuentes que son las métricas adicionales de monitorización que permiten el proyecto no transferir el problema a otra área funcional.

El Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca (ITSTB) atiende en la matrícula de ingeniería industrial alrededor de 1073 alumnos de diversos semestres, haciendo una diferencia en el número de alumnos que conforman los grupos del turno matutino y vespertino.

El área destinada es de 10.31 m de largo por 9.35 de ancho teniendo una altura en desnivel de 5.99 m y 4.40 m respectivamente.

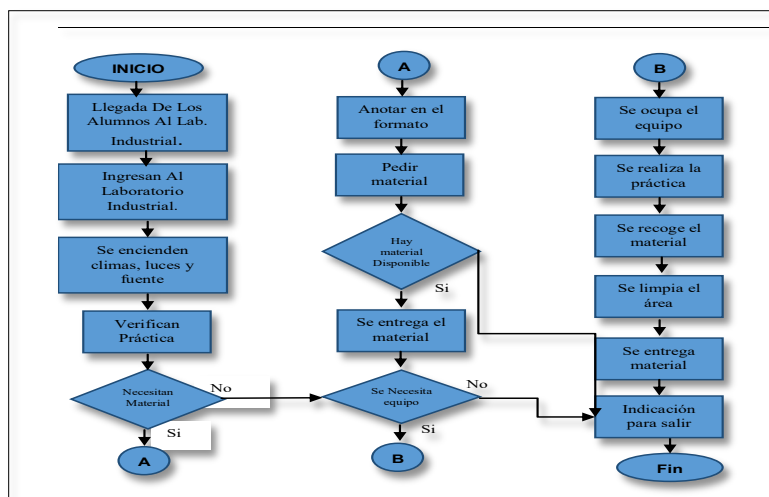


Figura 3.19. Diagrama de flujo del laboratorio de industrial.

Fuente: Elaboración propia.

Se determina como el alumno (quien es el que evalúa) entra al sistema mediante el recorrido y estancia dentro del laboratorio (figura 3.19).

Esto nos ayuda a delimitar los componentes que el alumno considera importante y necesario en la utilización del laboratorio y el estado actual de productividad de acuerdo a las necesidades que presenta, determinando procedimientos para la identificación de factores, espacios, actividades o áreas involucradas, se identificaron los materiales y equipos de cada área, también se identificaron los servicios de soporte que cada sección necesita, entre espacios requeridos y espacios disponibles.

Por otra parte de acuerdo con los temarios de estudio cada semestre el laboratorio estaría destinado a 288 horas/práctica en semestre par y 192 horas/prácticas en impar de las cuales se reportan 20 prácticas por semestre.

### Medir

El objetivo de esta fase es identificar el estado actual de los sistemas de medición actual. Esta fase proporciona dos resultados importantes; uno es la creación, definición del sistema de medición para la métrica primaria y sus métricas resultantes, y la otra es la comprensión del problema de forma cuantitativa o en términos de las variables (factores) que agrava el problema. Incluso cuando no hay ninguna diferencia entre la transaccional y los enfoques operacionales en el objetivo de esta fase, hay diferencias en las herramientas utilizadas para lograr los resultados esperados (Temblador, Ramirez Galindo, & Beruvides, 2009).

### Analizar

En esta fase se entiende e identifica la causa raíz que afectan directamente a las métricas primarias sin tener afectación severa en los indicadores indirectos (Temblador y Beruvides 2009, p. 5). Esta fase proporciona dos resultados principales: uno cuantitativo (a través de un análisis estadístico de los procedimientos de prueba de hipótesis) y uno cualitativo realizado a través de herramientas de sistemas. Si los resultados no son congruentes entre sí, entonces se sugiere revisar tanto, para aclarar las variables del problema y su interrelación. Si los resultados son congruentes entre sí, a continuación, la siguiente fase debe comenzar.

Mediante una encuesta que pedía a los alumnos indicaran los factores posibles que afectarían la baja productividad en el laboratorio se obtuvieron los siguientes datos y se determinó seguir con los que arroja la figura 3.20; donde se indican los importantes para ellos.



Figura 3.20 Diagrama de Ishikawa.

Fuente: Elaboración propia.



Como se observa en la figura tres son los ramales con más carga de problemas los cuales son los que interesan analizar aquí es donde se robustece la idea de la habitabilidad educativa es importante para el alumno y que tomaremos de base para el incremento de la productividad.

Es necesario realizar esta fase respecto al personal, la disponibilidad de instalaciones y equipamiento de la escuela así como las condiciones físicas. Se realiza un inventario general para obtener información que permita comparar el material con respecto al número de alumnos; este punto arrojando un total de 278 piezas de equipo de seguridad para toda la comunidad estudiantil en buen estado.

El diagrama de Ishikawa presentado en la figura 3.20 sirve de base para el diagrama de Pareto que muestra cuales son los factores que se deben de atender y que impacten en el alumnado.

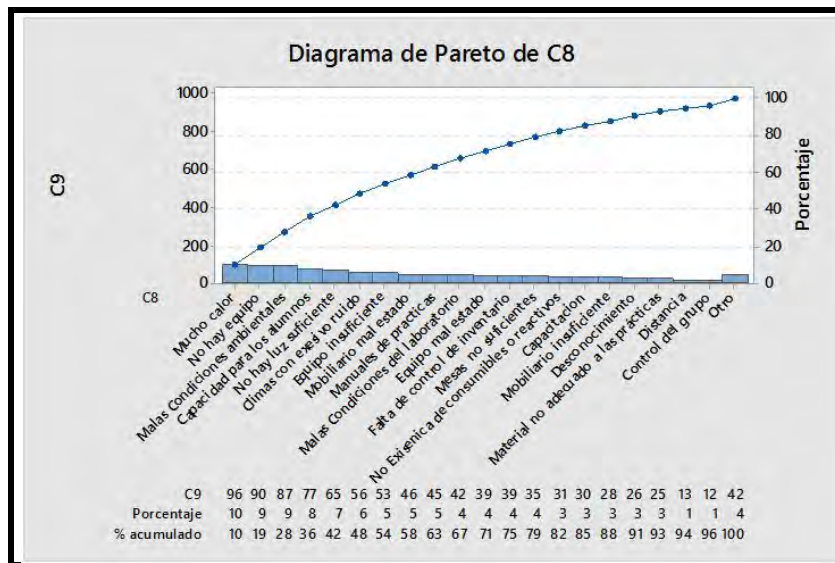


Figura 3.21. Diagrama de Pareto.  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3.21 se muestra como el confort físico en el aula (ventilación, temperatura, control acústico, iluminación y mobiliario) tiene mayor frecuencia y son los causantes vitales de la investigación.

QFD																	
LABORATORIO DE INGENIERIA INDUSTRIAL																	
	Equipo para todos los estudiantes	Mobiliario ergonómico	Buena iluminación	Aire acondicionado	Si las mesas y sillas tienen buena calidad	Un ambiente libre de ruido	Seguridad en caso de alguna emergencia										
	1	2	3	4	5	6	7	8	Orden de importancia								
	Importancia %	22.22%	11.11%	11.11%	11.11%	11.11%	11.11%	11.11%									
Que tenga asiento y mesas para todos	9	1	0	0	0	0	0	5	5	3	4	5	1.6667	1.2	10	17.13	1
Que sean cómodos (ergonomicos)	1	9	0	0	0	0	0	5	4	2	3	5	2.5	1	10	17.13	1
Que tenga buena iluminación	3	0	9	0	0	0	0	5	5	4	4	5	1.25	1.3	8.125	13.92	2
Que tenga clima	3	0	0	9	0	0	0	5	4	5	5	5	1	1.5	6	10.28	3
Que tenga equipo en buenas condiciones	0	0	1	1	9	0	0	5	5	4	4	4	1.3333	1.2	8	13.89	3
Que no haya ruido perimetral	0	0	0	0	0	9	5	4	5	5	5	5	1	1.5	6	10.28	3
Que sea Seguro	5	5	5	1	5	5	9	4	4	4	4	5	1.25	1.4	7	11.99	4
<b>Ordenación Desceada (* - mejor, - - peor)</b>	*	*	*	*-	*	*	*	*									
<b>Ponderación Absoluta</b>	352.3	231	199	118	183	152	452										
<b>Ponderación Relativa</b>	20.85	13.7	11.8	6.99	10.8	9	26.8										
<b>Orden de importancia</b>	2	3	4	7	5	6	1										
<b>Valoración Técnica</b>	Sí/No	Sí/No	Sí/No	Sí/No	Sí/No	Sí/No	Sí/No										
<b>Laboratorio ITSIIB</b>	No	1	1	SI	1	SI	1										
<b>Otro Laboratorio</b>	SI	1	2	SI	2	SI	2										
<b>Objetivo Técnico</b>	SI	2	2	SI	2	SI	2										

Figura 3.22. Despliegue de la Función de Calidad (DFC).

Fuente: Elaboración propia.

En el diagrama de la figura 3.22 se puede observar que se obtienen resultados similares a lo encontrado con anterioridad y el alumno le da una importancia mayor a las condiciones del mobiliario seguida de las condiciones físicas, también se compara con respecto a otro laboratorio para ver el objetivo de mejora.

Se procede a la toma de lectura de los diferentes factores físicos (temperatura, ruido e iluminación) dentro de las instalaciones, con sus respectivos instrumentos de medición las medidas reportadas se detalla a continuación en la tabla 3.8, así como, la capacidad de proceso necesaria para evaluar el nivel de sigma, el cual indica que el Cpk debe ser mayor igual a 2.

Tabla 3.8. Condiciones de confort Físico en el Laboratorio.

Medición de los factores	Parámetro de referencia	Medidas obtenidas	Condición actual.
Temperatura	Banco Interamericano de Desarrollo (21-23)	27.75-33.1	Cpk -2.35
Iluminación	NOM-025-STPS-2008 800 Luxes	137.5-312.5	Cpk -4.02
Ruido	Norma 011-STPS-2001, 80 db	Hasta 77.5	Cpk 2.24

Fuente: Elaboración propia.

Otro de los puntos donde el alumno pone consideración es el material y equipo para esto se realizó un análisis en conjunto con el área de vinculación donde se encuentra que actualmente el 46% de los alumnos están en el área de producción, el 28% en seguridad y 10% en calidad por lo tanto al encontrarse el mayor número de alumnos en producción se decide tomar acciones en este rubro en la siguiente fase.

### Innovar

Según Temblador y Beruvides (2009), La mejor manera de mejorar los procedimientos, actividades, medidas y actitudes es a través de la innovación y la creatividad. El ajuste de las condiciones y especificaciones de los procedimientos y las actividades básicas permitirá la satisfacción del cliente en cuanto a sus expectativas.

Se realiza un censo en la carrera de ingeniería industrial para la obtención de las medidas antropométricas para la realización de una mesa de trabajo, una banda transportadora, todas ellas elaboradas de manera reciclada, los percentiles se presentan a continuación en la tabla 3.9 dadas las medidas en centímetros.

Tabla 3.9. Percentiles de alumnos de Ingeniería industrial.

PERCENTILES FINALES				
A	B	C	D	E
PISO- OMBLIGO	PISO- CODO	DEDO- MEDIO	DEDO MEDIO-H	BRAZOS EXTENDIDOS
101	106	46	73	169

Con ayuda de la mesa de trabajo y banda transportadora se implementaron estaciones de trabajo que impactan en las materias como estudio de trabajo, sistemas de manufactura, ergonomía, etc. destinadas a desarrollar sus capacidades y conocimiento referentes a producción. En cuanto al material para un mejor control se desarrolló una plantilla de macros (ver figura 3.23) pues según el inventario existe material para hacerle frente a seguridad que es el otro rubro donde los alumnos de desempeñan.

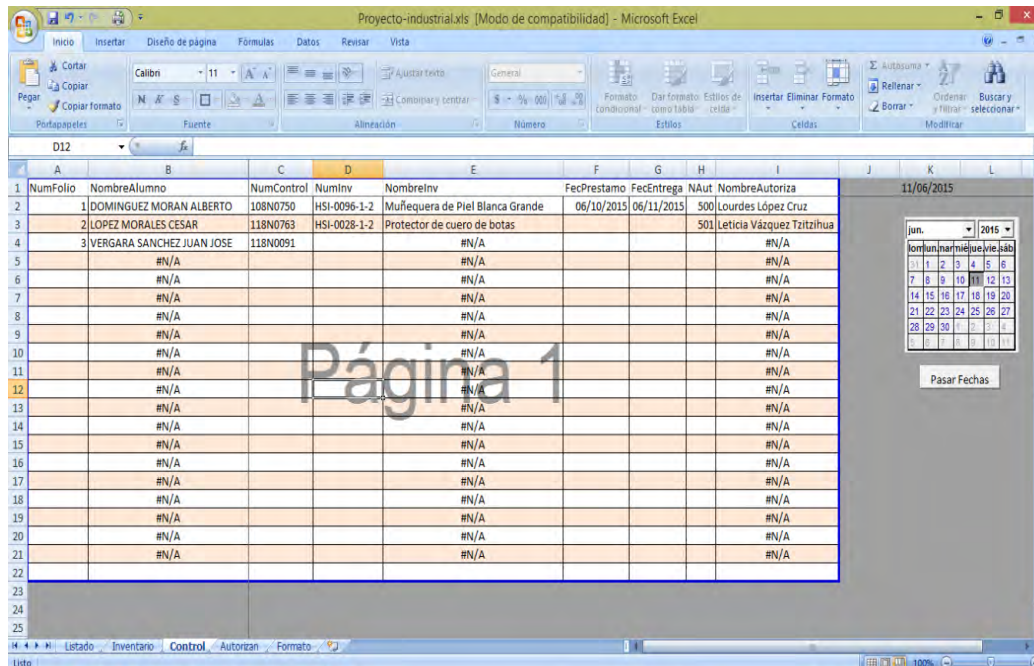


Figura 3.23. Plantilla para el control de inventarios.

En el punto de los factores ambientales se realizan los cálculos para solventar temperatura e iluminación, en la tabla 3.10 donde se obtiene la cantidad total de BTU’s/Hr, la cual se deberá dividir entre 12000 para obtener la cantidad de toneladas de refrigeración.

Tabla 3.10. Toneladas necesarias en el aire acondicionado

<b>Resumen</b>	
<b>Descripción</b>	<b>BTU’s/Hr</b>
1. Metros Cuadrados = 117 m <sup>2</sup>	24900
2. Personas = 34	20400
3. Equipo Electrónico = 2000	6828
Total 1 = Sumatoria de Puntos 1, 2 y 3	52,128
8. Exposición del Recinto = +10% del Total 1	5212.8
Total 2 = Total 1 + Punto 8	57340.8
Toneladas requeridas = Total 1 / 12000 BTU’s/Hr	4.77

Según el cálculo realizado para equipos de aire acondicionado(VentDepot) se recomienda un clima de aproximadamente 5 toneladas. En cuanto a la iluminación se recomienda la colocación de luminarias adecuadas que arrojen la cantidad de luxes establecidos en la Norma Oficial Mexicana según PHILIPS (2009) (ver tabla 3.11) en su informe Luz que hace escuela menciona lo siguiente:

Tabla 3.11. Tipos de Lámparas a utilizar.

<b>EFix TCS260 con ActiLume</b>		
<b>A</b>	Luz ambiente/Luminarias maestras	
	TCS260 1x49W/840 HFD-T D6 ACL WH	2 un.
<b>B</b>	Luz ambiente/ Luminarias esclavas	
	TCS260 1x49W/840 HFD D6 WH	6 un.
<b>C</b>	Iluminación de la pizarra	
	TCS260 1x80W/840 HFP A WH	2 un.
<b>Arano TCS640 con ActiLume:</b>		
<b>A</b>	Luz ambiente/Luminarias maestras	
	TCS640 1xTL5-49W/840 HFD-T LE D8-VH ACL ALU	2 un.
<b>B</b>	Luz ambiente/ Luminarias esclavas	
	TCS640 1xTL5-49W/840 HFD LF D8-VH ALU	6 un.
<b>C</b>	Iluminación de la pizarra	
	TCS649 1x49W/840 HFP A ALU	2 un.

Fuente: PHILIPS (2009).

## Estandarizar

En intersemestre se propone dar a conocer el manejo y utilización de los equipos existentes en el laboratorio y sus prácticas, ya que se entregan con manual de funcionamiento y prácticas. Se cuenta con una instrumentación didáctica por curso en la cual se propuso las practicas queden registradas, así cuando se entregue la instrumentación a inicio de semestre se entregue el número de prácticas así como su manual respectivo. Así se podrá evaluar en cuanto a lo real y programado para dar seguimiento y quede documentado.

## Evaluación de mejoras

El trabajo del docente va más allá de simplemente dar clases, existen áreas de oportunidad que pueden arrojar información significativa para poder contribuir en el alumno, es necesario dar seguimiento a los resultados obtenidos con el fin de replantear una mejora y control definitivo en la utilización de la estructura e infraestructura educativa.

## Consideraciones finales

Las condiciones ambientales son necesarias en el ser humano para ser productivos y lo que se plantea en una educación básica no dista de lo que se puede observar en la educación superior, existen condiciones que al alumno le merma interés para un buen desempeño.

## 3.1.4. Propuestas para mejorar la productividad en un proceso de producción de adoquines

### Utilizando un modelo de simulación

*López Cabrera, Anibal Gaudencio*

#### Contexto del estudio

López et al (2018) construyeron un modelo de simulación en SIMIO® del proceso de fabricación de adoquines de la empresa VACSA Construcción. Donde se probó una alternativa de mejora. La alternativa consistió en la implementación de un segundo montacargas la cual resultó benéfica en las medidas de desempeño del sistema, ya que todas tuvieron un incremento en la alternativa con respecto al sistema original. Por otra parte, en la alternativa se refleja claramente disminución en la ocupación del primer montacargas (del sistema original), esto se debe a que ahora hay otro disponible para no retrasar el flujo de la materia prima para el proceso de producción.

Sin embargo debido a otros factores que se presentan en la planta, se decide probar dos alternativas más para mejorar el proceso de producción. Las cuales consisten en:

Alternativa 1. Instalar un centro de abastecimiento.

Alternativa 2. Determinar el número optima de máquinas para el sistema.

#### Aplicación de la metodología

Los 10 pasos para un estudio de simulación (ver figura 3.24) propuestos por Law y Kelton (2000) se desarrollan a continuación.

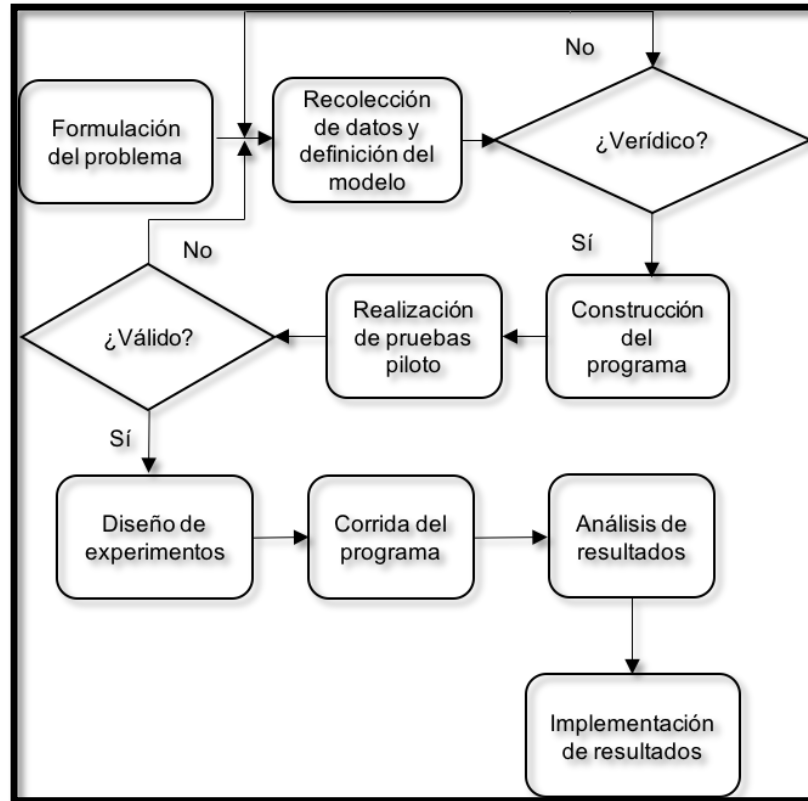


Figura 3.24. Metodología para un estudio de simulación.  
Fuente: Law (2014).

### Formulación del problema

Debido a la baja productividad y al incremento en la demanda de los clientes de VACSA se define el objetivo para el estudio, el cual es:

“Incrementar la producción y la productividad del proceso de fabricación de adoquines”

### Recolección de datos y definición del modelo

Los datos recolectados corresponden a las variables que representan al sistema, dichas variables son preparación de mezcla, transporte de mezcla, colocación de tarima, llenado y compactado, y traslado del producto al área de almacenamiento en el proceso de producción. Para el montacargas es tiempo de traslado y tiempo de maniobra. La unidad de tiempo utilizada fue el segundo con excepción de la variable de preparación de mezcla y tiempo de traslado.



Las variables de entrada del sistema y las de salida (medidas de desempeño) para evaluar el sistema, se enlistan en la tabla 3.12.

Tabla 3.12. Variables de entrada y salida del sistema.

Entrada	Salida: (Medidas de desempeño)
Tiempos de producción.	Cantidad de producción por máquina y total.
Número de máquinas.	Utilización de máquinas.
Número de trabajadores.	Utilización de trabajadores.
Horas de trabajo.	Utilización de montacargas.

Fuente: Elaboración propia.

### Tratamiento estadístico

El análisis estadístico arrojó como resultados que todas las variables se ajustaron a distribuciones teóricas conocidas.

### Verificación del modelo

Construido el modelo conceptual éste fue verificado y aprobado por el encargado del proceso.

### Construcción del modelo

Se utilizó el simulador SIMIO® (Simulation Modeling Framework Based On Intelligent Objects). La tabla 3.13 muestra la relación de los objetos del simulador con los elementos del sistema real.

Tabla 3.13. Objetos de SIMIO® y su significado en el sistema real.

Objeto de SIMIO®	Significado en el sistema real
Source	Preparación de la mezcla, adoquines y llegada de tarimas.
Separator	Divide la mezcla en 16 o hasta 20 adoquines.
Combiner	Agrupar dos adoquines en cada tarima.
Workstation	Máquinas procesadoras del sistema (4).
Server	Patio de reposo de los adoquines al menos durante 12 horas
Sink	Salida de los adoquines del sistema.
Worker	Persona que traslada el producto de la máquina procesadora al patio (4).
Vehicle	Montacargas del sistema.

Fuente: Elaboración propia.



El resultado de la edición del modelo en el simulador se muestra en las figuras 3.25 vista posterior, y figura 3.26 vista frontal.

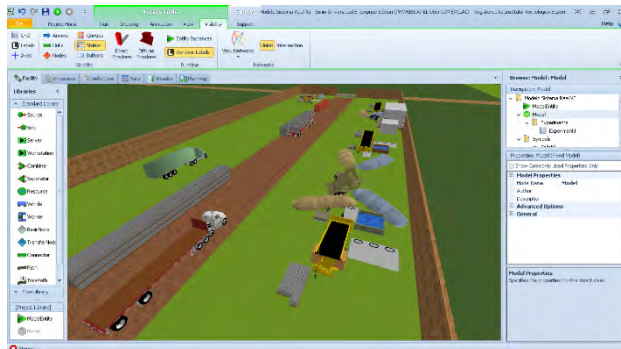


Figura 3.25. Modelo visto desde la máquina 3.

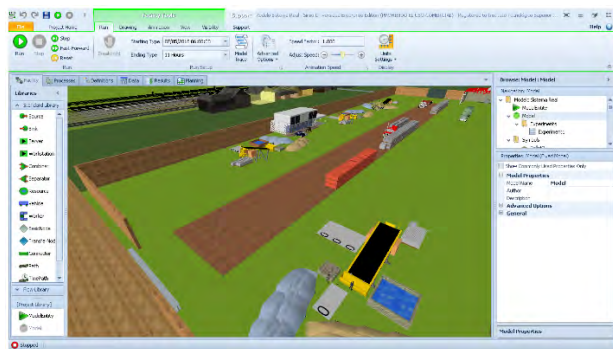


Figura 3.26. Modelo visto desde la máquina 4.

Fuente: Elaboración propia.

### Pruebas piloto

Se realizaron corridas piloto para asegurar la correcta programación y recabar información para el siguiente paso.

### Validación del modelo

La validación de un modelo consiste en corroborar que los datos que arroje el modelo de simulación sean estadísticamente iguales a los del sistema real. Para realizar la validación del modelo se utilizó la prueba t-pareada, que compara los resultados de la simulación contra los resultados observados del sistema real. Mediante esta comparación se determina si el modelo es una representación válida del sistema si al construir un intervalo de confianza el cero está incluido dentro de él. La validación se realizó a cada una de las variables obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 3.14.

Tabla 3.14. Prueba t-pareada para las variables de las máquinas y montacargas.

Variables de tiempo	Intervalo de tiempo	Observación	Decisión
<b>Máquina 1</b>			
Preparación	(-0.1221, 0.2101)	Incluye al cero	Se acepta como válida
Transporte	(-1.5001, 1.1828)	Incluye al cero	Se acepta como válida
Colocación	(-0.2943, 0.0890)	Incluye al cero	Se acepta como válida
Llenado y compactado	(-0.8150, 0.5856)	Incluye al cero	Se acepta como válida
Traslado	(-0.4859, 0.5486)	Incluye al cero	Se acepta como válida
<b>Máquina 2</b>			
Preparación	(-0.3737, 0.3591)	Incluye al cero	Se acepta como válida

Transporte	(-2.5237, 2.5877)	Incluye al cero	Se acepta como válida
Colocación	(-0.4188, 0.2281)	Incluye al cero	Se acepta como válida
Llenado y compactado	(-1.0521, 0.3650)	Incluye al cero	Se acepta como válida
Traslado	(-0.6198, 0.8024)	Incluye al cero	Se acepta como válida
<b>Máquina 3</b>			
Preparación	(-0.1539, 0.0686)	Incluye al cero	Se acepta como válida
Transporte	(-0.6018, 1.3831)	Incluye al cero	Se acepta como válida
Colocación	(-0.0105, 0.3652)	Incluye al cero	Se acepta como válida
Llenado y compactado	(-0.9540, 0.4700)	Incluye al cero	Se acepta como válida
Traslado	(-0.2269, 0.3189)	Incluye al cero	Se acepta como válida
<b>Máquina 4</b>			
Preparación	(-0.0688, 0.1942)	Incluye al cero	Se acepta como válida
Transporte	(-1.8957, 1.5197)	Incluye al cero	Se acepta como válida
Colocación	(-0.2505, 0.0145)	Incluye al cero	Se acepta como válida
Llenado y compactado	(-0.4287, 0.2211)	Incluye al cero	Se acepta como válida
Traslado	(-0.4337, 0.4297)	Incluye al cero	Se acepta como válida
<b>Montacargas</b>			
Traslado de tarimas	(-0.0408, 0.0488)	Incluye al cero	Se acepta como válida
Maniobra de carga	(-0.7658, 0.0138)	Incluye al cero	Se acepta como válida

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, con un nivel de confianza del 95% se afirma que cualquier diferencia observada entre  $\mu_x$  y  $\mu_y$  no es estadísticamente significativa y puede explicarse por fluctuaciones aleatorias, aceptando que el modelo es válido.

## Diseño de experimentos

### Determinación del número óptimo de corridas

Un grave error al momento de conducir estudios de simulación es el de basar las decisiones en la observación de una sola corrida; para evitar este error, es necesario determinar el número de corridas óptimo y así, con los resultados de varias corridas, las decisiones pueden tomarse de manera adecuada.

Es posible determinar  $n^*(\beta)$  incrementando  $i$  en uno hasta que un valor de  $i$  se obtiene para el cual:

$$n^*(\beta) = \min \left\{ i \geq n : t_{i-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\frac{S^2(n)}{i}} \leq \beta \right\}$$

Al aplicar la fórmula, se obtuvo que el número de replicaciones óptimo es 19 corridas del programa.

### Descripción de las alternativas de mejora

#### Alternativa 1

En la figura 3.27 se aprecian las máquinas que existen en VACSA y la bodega de materia prima. De aquí la primera propuesta a evaluar es proporcionada por los propietarios de la empresa, ellos desean saber cuáles serán los cambios que sufrirá el sistema si construyen un centro de abastecimiento con capacidad de 60 toneladas de cemento más cerca de las máquinas que la bodega (ver figura 3.28). El proceso de abastecimiento ahora será de la siguiente forma: se notificará al encargado del proceso que la materia prima se ha consumido, éste entonces informa al montacarguista, quien tendrá que llevar un saco con capacidad para 2 toneladas hasta el centro de abastecimiento, una vez en el lugar colocará el saco para que pueda ser llenado. El proceso de llenado ocupa un tiempo de acuerdo a la distribución Triangular con parámetros (6, 8, 9) minutos. El tiempo estimado de recorrido del montacargas es también conforme a la distribución Triangular pero con los siguientes parámetros (5.41, 5.49, 5.57) en minutos.

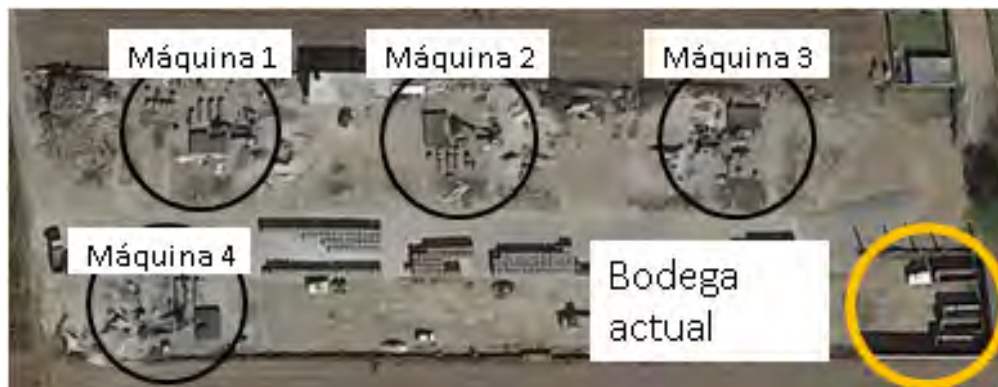


Figura 3.27. Ubicación de la bodega actual.  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.28. Ubicación del centro de abastecimiento (Alternativa 1).  
Fuente: Elaboración propia.

### Alternativa 2

El propietario de la planta ha observado que la demanda de su producto ha venido en aumento en los últimos meses, por ello toma la decisión de adquirir más maquinaria para producción y desea saber si comprar una o dos máquinas más para lograr satisfacer la necesidades del mercado. Él está dispuesto a capacitar a sus trabajadores para que operen de la misma forma como actualmente lo hace la máquina número 3, es decir, el tiempo de preparación de las mezclas seguirá la distribución Lognormal(2, -0.751, 0.473) y el tiempo de procesamiento será de Lognormal(13, 1.29, 0.577).

Entonces la alternativa es, determinar cuántas máquinas adicionales debe integrar al sistema de producción para satisfacer la demanda estándar de 20,000 unidades por pedido de sus clientes. ¿Bastará quedarse con 4 máquinas o debe incrementar a 5 ó 6? Para probar si la producción aumenta al incrementar el número de máquinas a 5 ó 6 se usará el optQuest de SIMIO®. Esta es una herramienta que utiliza algoritmos genéticos y búsqueda tabú para optimizar. Se decidió no probar más de 6 máquinas debido a que en estos momentos solo podrían invertir en 2 equipos nuevos, dada la situación económica de la empresa. La instalación de las máquinas se realizara como se muestra en la figura 3.29.

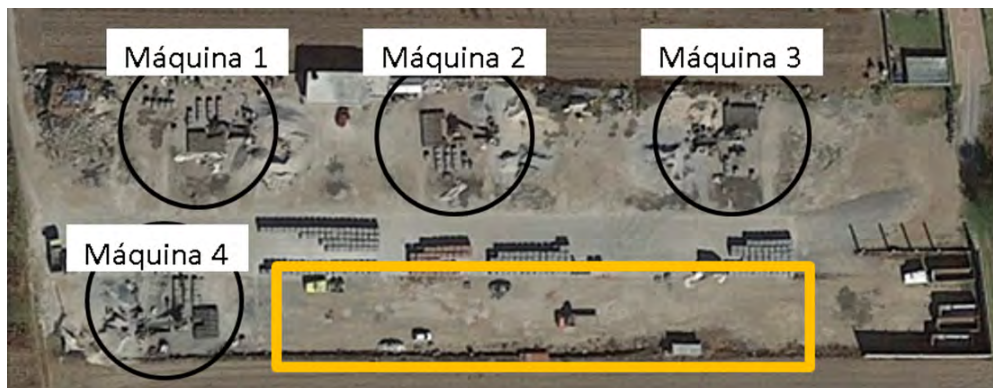


Figura 3.29. Área de instalación de las máquinas.  
Fuente: Elaboración propia.

### Corrida del modelo y alternativas

Una vez concluidas las 19 replicaciones del modelo original y de los modelos de las alternativas se analizaron las siguientes medidas de desempeño (o variables de salida): producción total por máquina, porcentaje de utilización de las máquinas, y porcentaje de utilización de los trabajadores y montacargas.

## Análisis de resultados

Los resultados de las 19 corridas del modelo del sistema actual y las alternativas se describen a continuación.

### Producción total por turno

Los datos proporcionados por el modelo de simulación del sistema actual y la alternativa 1 (instalación de un centro de abastecimiento) se presentan en la figura 3.30.

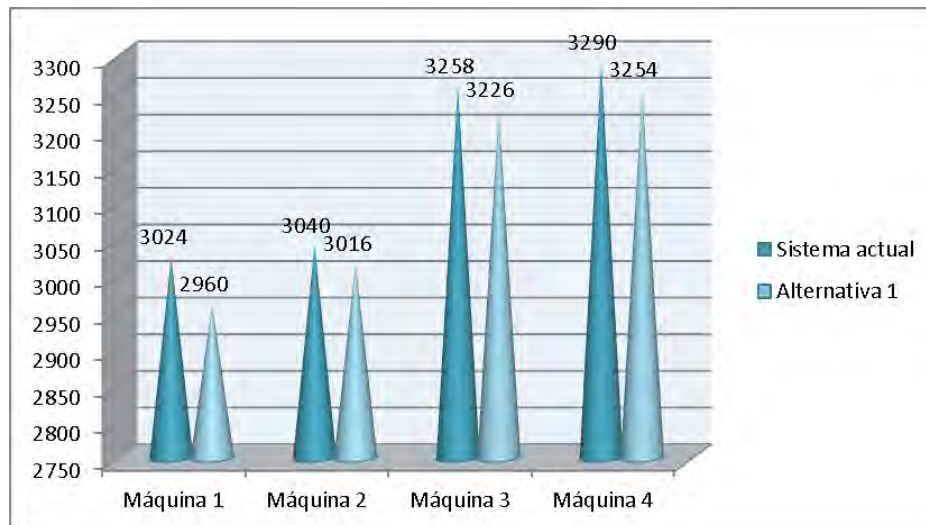


Figura 3.30. Comparación de la producción por máquina del sistema actual y la alternativa 1.

Fuente: Elaboración propia.

La cantidad de producción por máquina durante el turno de trabajo para la alternativa 1 es: máquina1, 2,960 piezas; máquina2, 3,016; máquina3, 3,226 y máquina4, 3,254. Mientras que, para el sistema actual, producción de la máquina1, 3,024 piezas; máquina2, 3,040; máquina3, 3,258 y máquina4, 3,290.

Por su parte para la alternativa 2 (Optimización del número de máquinas) se tienen los siguientes resultados, ver figura 3.31.





Figura 3.31. Cantidad de producción en la alternativa 2.  
Fuente Elaboración propia.

Como puede observarse en el gráfico, al tener 5 máquinas instaladas se alcanzaría una producción de 19,238 piezas fabricadas, mientras que, con 6 máquinas se lograrían fabricar 22,968 piezas de adoquines.

### Porcentaje de utilización de las máquinas

La figura 3.32 muestra el porcentaje de utilización de las máquinas en el sistema actual y la alternativa 1.

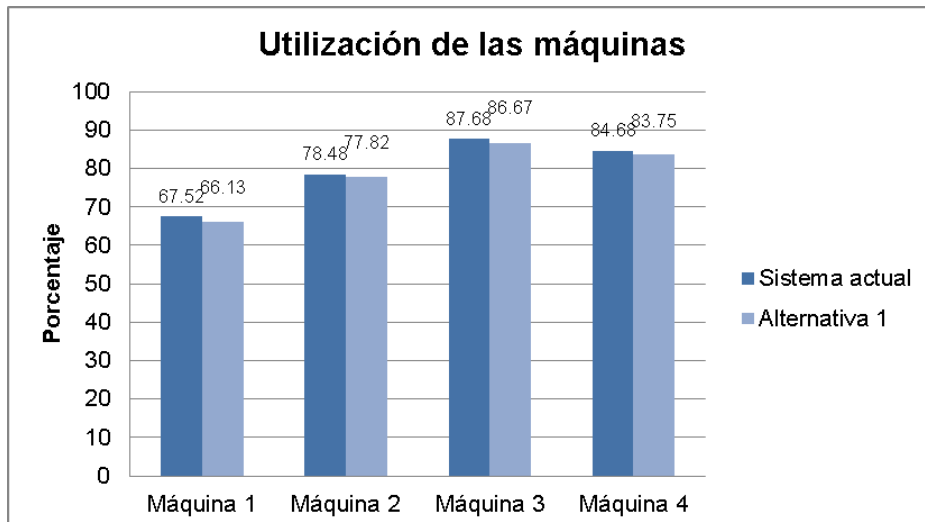


Figura 3.32. Porcentaje de utilización de las máquinas, sistema actual versus alternativa 1.

Fuente: Elaboración propia.

Para ésta alternativa el porcentaje de utilización de la máquina1 es 66.13%; máquina2, 77.82%; máquina3, 86.67% y máquina4, 83.75%. Por su parte para la alternativa 2 se alcanza una utilización promedio de las máquinas de 79.60%

El sistema actual por otro lado arroja los siguientes porcentajes de utilización de las máquinas: máquina1, 67.52%; máquina2, 78.48%; máquina3, 87.68% y máquina4, 84.68%.

### Porcentaje de utilización de los trabajadores y montacargas

En la figura 3.33 se muestra el porcentaje de ocupación de cada trabajador y el montacargas en el sistema actual, y en la alternativa 1.

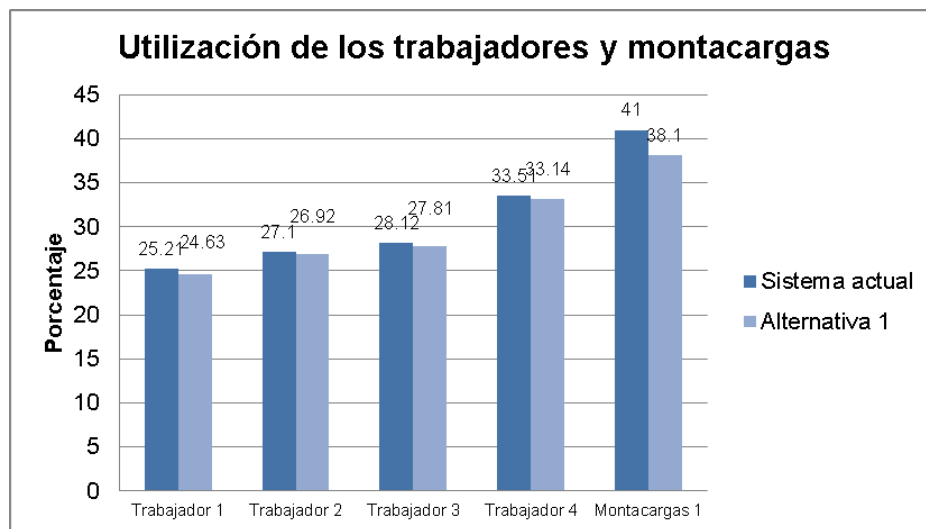


Figura 3.33. Porcentaje de utilización de los trabajadores y de los montacargas.  
Fuente: Elaboración propia.

Los porcentajes mencionados de la alternativa 1 son: trabajador de máquina1, 24.63%; trabajador de máquina2, 26.92%; trabajador de máquina3, 27.81%, trabajador de máquina4, 33.14% y montacargas 38.10%. En la alternativa 2 se tiene un porcentaje promedio de utilización de los trabajadores de 28.89%

Finalmente en el sistema actual se tiene: trabajador de máquina1, 25.21%; trabajador de máquina2, 27.1%; trabajador de máquina3, 28.12%, trabajador de máquina4, 33.51%, y montacargas 41%.

## Evaluación de mejoras

Los índices de productividad del sistema actual y cada alternativa son:

- 1.- Sistema actual “61.47%”
- 2.- Alternativa 1 (Instalación de un centro de abastecimiento más cercano) “61.37%”
- 3.- Alternativa 2 (Optimización del número de máquinas) 66.92%

El análisis de resultados del sistema actual y las alternativas de cada medida de desempeño se resume en la tabla 3.15.

Tabla 3.15 Resumen de los resultados de las alternativas comparadas con el sistema actual.

Medida de desempeño	Sistema actual	Alternativa 1 (Centro de abastecimiento más cercano)	Alternativa 2 (Optimizar número de máquinas)
Porcentaje promedio de utilización de las máquinas.	79.59%	78.60%	79.60%
Porcentaje promedio de utilización de los trabajadores.	28.49%	28.13%	28.89%
Porcentaje promedio de utilización de los montacargas.	41.00%	38.10%	–
Cantidad de adoquines producidos por turno.	12,620	12,456	22,968
Índice de productividad.	61.47%	61.37%	66.92%

Fuente: Elaboración propia.

Las medidas de desempeño de la alternativa 1 son inferiores a las del sistema actual, por otro lado, las medidas de desempeño de la alternativa 2 son superiores.

Hay que recordar que el objetivo final fue el de cumplir con la producción de 20,000 adoquines por pedido, al mismo tiempo que se trata de incrementar la productividad. Al analizar las alternativas se puede concluir que la mejor opción en estos términos es el resultado de la alternativa 2, contar con 6 máquinas en el proceso cada una con su propia mezcladora.

## Consideraciones finales

La simulación es una técnica poderosa cuando se emplea de manera correcta, su aplicación a través de la metodología propuesta por Law y Kelton (2001), permite tener un resultado exitoso. La construcción del modelo en el simulador SIMIO® resultó rentable, pues además de ser muy amigable con el usuario, posee la facilidad para crear modelos realistas. La animación realista de este simulador deja entender el sistema sin necesidad de ser el ejecutor del estudio.



Las alternativas evaluadas fueron: alternativa 1, construcción de un centro de abastecimiento; en esta alternativa se encontró que al implementarla las medidas de desempeño: porcentaje de utilización de las máquinas y trabajadores disminuyen, la producción cae 1.26% y la productividad pasa de 61.47% del sistema actual a 61.37%, por lo que esta alternativa no mejora el sistema.

Por otra parte la alternativa 2, optimización del número de máquinas, arrojó que el número óptimo de máquinas fue de 6 en lugar de 4, con su propia mezcladora. Los resultados obtenidos fueron: aumento en sus medidas de desempeño: porcentaje de utilización de las máquinas y trabajadores. La productividad en la alternativa 2 cambia de 61.37% a 66.92% y la producción aumenta un 81.99%, siendo ésta mejor que la alternativa 1 y que el sistema actual. Por lo tanto, la mejor alternativa en este estudio es la alternativa 2 puesto que es la única que cumple con la cantidad estándar de pedidos (20,000 adoquines) además de que incrementa la productividad.

## 3.1.5. Medición y evaluación de las condiciones físicas para mejorar la productividad

### El caso de un laboratorio de universidad

*Fuentes Rosas, Liliana*

#### Contexto del estudio

La experiencia ha demostrado, de manera contundente, que el rendimiento de las personas, en lugares en donde las condiciones de trabajo son buenas, es mejor que en aquellos en donde las condiciones son deficientes. Desde el punto de vista económico, el retorno de la inversión en un ambiente de trabajo mejorado es generalmente significativo. Las condiciones de trabajo ideales mejoran la seguridad registrada, reducen el ausentismo y el número de personas que llegan tarde, elevan la moral de las personas y mejoran las relaciones públicas (Niebel y Freivalds, 2009).

La palabra productividad goza de una popularidad impresionante en la actualidad, y sin embargo, prevalece una ambigüedad con respecto a su definición. Muchos piensan que a mayor producción mayor productividad, esto no es necesariamente cierto.

En 1950, la organización para la Cooperación Económica Europea (OCEE) ofreció un término más formal de la productividad, definiéndola como: el cociente que se obtiene de dividir la producción por uno de los factores de producción. De esta forma es posible hablar de la productividad del capital, de la inversión o de la materia prima según si lo que se produjo se toma en cuenta respecto al capital, a la inversión o a la cantidad de materia prima, etc.

#### Aplicación de la metodología

Para la realización de este proyecto de investigación en donde el objetivo es mejorar la productividad del laboratorio de Ingeniería Industrial se siguió el Ciclo de la Productividad, que se muestra gráficamente en la figura 3.34.

Cuando se inicia por primera un programa formal de productividad, éste puede comenzar midiendo la productividad, para evaluarse y compararse con los valores planeados. Con base en la evaluación, se planean metas para estos niveles de productividad tanto a corto como a largo plazo. Es importante que se lleven a cabo mejoras formales en pro del logro de las metas. Para valorar el grado en que las mejoras tendrían que llevarse a cabo en el siguiente periodo, se debe

medir la productividad de nuevo. Así continúa el ciclo durante el tiempo que opere el programa de productividad en la organización.

El ciclo de la productividad muestra que el mejoramiento de la misma, debe estar precedido por la medición, la evaluación y la planeación. Las cuatro etapas son importantes, no solo una de ellas. Este ciclo pone de manifiesto la naturaleza del proceso de la productividad. Un programa de productividad no es un proyecto de una sola vez, es un programa continuo, una vez que se pone en marcha.



Figura 3.34. Ciclo de la productividad (MEPI).  
Fuente: Elaboración propia.

Actualmente el laboratorio de ingeniería industrial del ITSTB cuenta con un área para realizar las prácticas y un cubículo para las personas encargadas del mismo. En el área de prácticas se cuenta con tres mesas grandes y 36 bancos, una pantalla, un escritorio y silla para el docente, dos gavetas. La figura 3.35 muestra un bosquejo del inmueble. En el laboratorio realizan prácticas alrededor de 1073 alumnos (matricula correspondiente a la licenciatura), repartidos en grupos que en promedio integran a 33 alumnos.

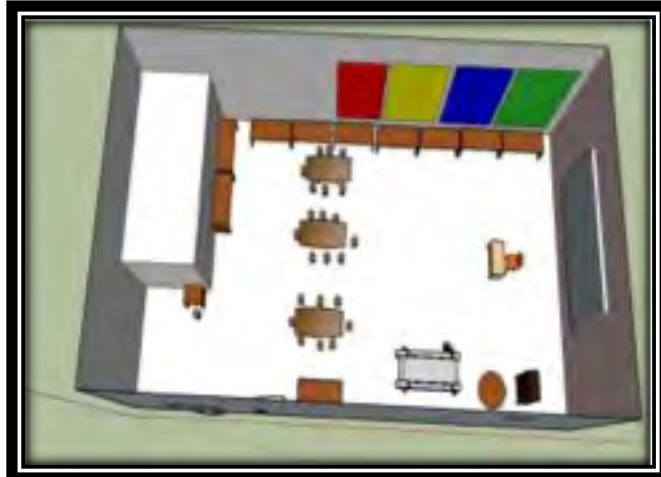


Figura 3.35. Vista aérea del laboratorio.  
Fuente: Elaboración propia.

Las dimensiones del laboratorio son 9.35 metros de ancho por 10.31 metros de largo (figura 3.36).

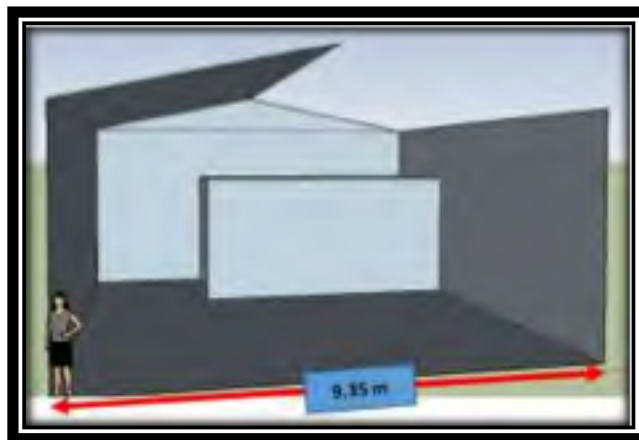


Figura 3.36. Ancho del laboratorio.  
Fuente: Elaboración propia.

Con una altura mayor de 5.99 metros y otra de 4.40 metros (figura 3.37).

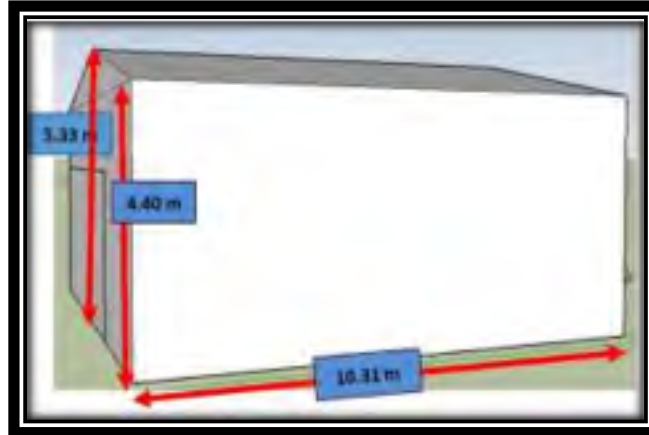


Figura 3.37. Dimensiones del laboratorio.

Fuente: Elaboración propia.

### Medición de temperatura

Para tomar las lecturas correspondientes a temperatura, se eligieron, de manera estratégica, tres horarios durante el día: 9:00; 12:00 y 18:00 horas, buscando cambios significativos de temperatura. Es importante señalar que el ITSTB está en la ciudad de Tierra Blanca, lugar reconocido por su temperatura extrema en cuanto a calor, que ha llegado a registrar temperaturas de hasta 50°C durante los meses de abril y mayo. Importante también es señalar que el ITSTB se encuentra climatizado en el total de sus áreas destinadas a las actividades de enseñanza-aprendizaje.

Las tomas de temperatura se realizaron bajo cuatro condiciones: con luz y sin luz, con alumnos y sin alumnos. El tiempo de recogida de información fue durante 30 días. Se utilizaron termómetros digitales con pantalla LCD marca Steren. Los resultados promedios de las lecturas se muestran en la tabla 3.16.

Tabla 3.16. Resultados de las medidas de temperatura.

Hora		Con clima				Sin clima			
		Con Alumnos		Sin Alumnos		Con Alumnos		Sin Alumnos	
		Con luz	Sin luz	Con luz	Sin luz	Con luz	Sin luz	Con luz	Sin luz
09:00 a. m.	Max.	30.16	29.9	28.76	28.24	31.44	31.12	30.2	29.92
	Min.	28.84	28.58	28.22	27.76	30.8	30.84	29.56	29.48
12:00 p.m.	Max.	32.26	31.96	31.2	30.92	33.1	32.88	31.7	31.52
	Min.	31.6	31.48	30.52	30.26	32.34	32.42	31.08	30.82
06:00 p.m.	Max.	29.72	29.4	29.02	28.66	31.1	30.76	30.4	29.66
	Min.	29.22	28.94	28.42	27.96	30.54	30.1	29.68	28.76

Fuente: Elaboración propia.

## Evaluación de las mediciones de temperatura

De acuerdo a estudios realizados por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), la temperatura de sala de clases inciden en el rendimiento escolar. Según esta investigación debe oscilar entre los 21° C y 23° C. Por otra parte, el Real Decreto 486/1997, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud que deben cumplir los lugares de trabajo Anexo III: Condiciones ambientales de los lugares de trabajo, establece que: la temperatura de los locales donde se realicen trabajos sedentarios (como las escuelas) debe estar comprendida entre 17°C y 27°C.

El Manual de Prevención Docente, Riesgos laborales en el sector de la enseñanza del autor Javier Pérez Soriano, Técnico Superior de Prevención de Riesgos Laborales en las especialidades de: Seguridad en el Trabajo, Higiene Industrial, Ergonomía y Psicología Aplicada y además de ser Auditor de Sistemas de Gestión de Prevención de Riesgos laborales, establece que la temperatura en un aula de prácticas debe ser: de 18° C a 20° C.

De conformidad con las referencias antes citadas, la temperatura del laboratorio está por encima de los límites establecidos. (ver figura 3.38) En dicha figura puede observarse que los límites de acuerdo a la norma están muy alejados de la nube de datos obtenidos, sobrepasando los niveles permitidos, por ende el cp y cpk (índices de capacidad potencial e índice de capacidad real, respectivamente) salen bajos y cpk negativo.

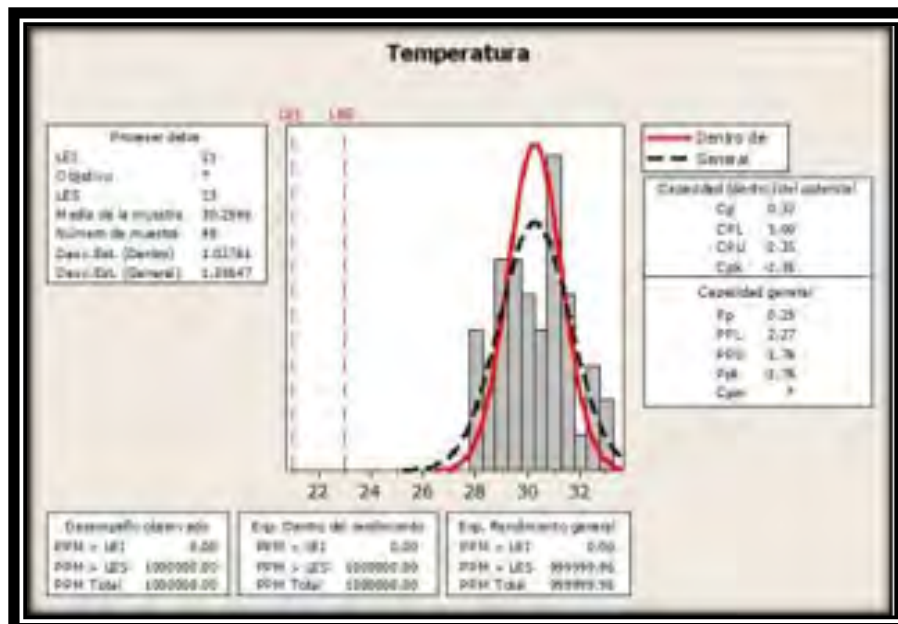


Figura 3.38. Comparación de la temperatura actual contra las especificaciones.

Fuente: Elaboración propia a partir de Minitab®.

## Medición de la Iluminación

El laboratorio cuenta con seis estaciones con dos tubos que se encuentran conectadas en un mismo punto lo cual provoca que al encender el interruptor se enciendan la totalidad de estas al mismo tiempo.

Se tomaron lecturas durante 30 días, en tres horarios distintos con dos condiciones diferentes a saber: 9:00; 12:00 y 16:00 con luz y con gente y sin luz y con gente. Los resultados se muestran en la tabla 3.17.

Tabla 3.17. Resultados de las lecturas de Iluminación.

Iluminación			
Horario	Condiciones		Iluminación promedio en luxes
09:00	Con luz	Con gente	Lámpara 1: 228.2°
			Lámpara 2: 241.6°
			Lámpara 3: 226.4°
			Lámpara 4: 248.8°
			Lámpara 5: 286.2°
			Lámpara 6: 201.6°
12:00	Con luz	Con gente	Lámpara 1: 259°
			Lámpara 2: 260.2°
			Lámpara 3: 283.6°
			Lámpara 4: 283.6°
			Lámpara 5: 303.8°
			Lámpara 6: 198.6°
16:00	Con luz	Con gente	Lámpara 1: 168.8°
			Lámpara 2: 198.6°
			Lámpara 3: 156.8°
			Lámpara 4: 188.8°
			Lámpara 5: 231.2°
			Lámpara 6: 151.6°

Fuente: elaboración propia.

## Evaluación de las mediciones de iluminación

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de Iluminación en los centros de trabajo, cada lámpara debe proporcionar 800 luxes para tener una iluminación apropiada. Como lo muestra el cuadro 2, en el ITSTB esta condición no se cumple (ver figura 3.39).

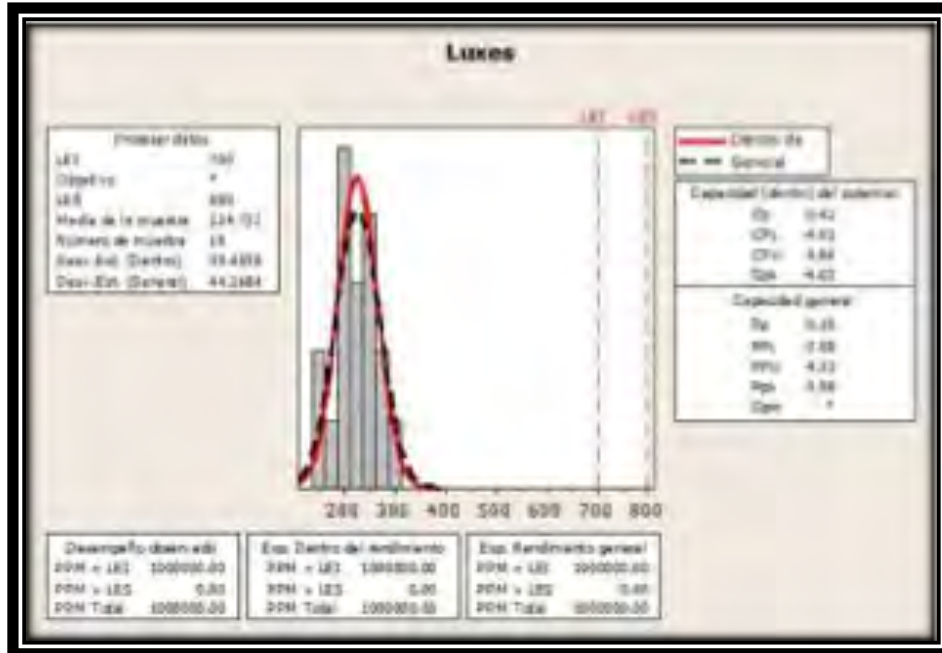


Figura 3.39. Comparación de la iluminación actual contra las especificaciones.  
Fuente: Elaboración propia a partir de Minitab®.

En la figura 3.39 se observa que los límites de acuerdo a la norma están muy alejados de la nube de datos obtenidos, por debajo de los niveles permitidos, por ende el cp y cpk salen bajos y cpk negativo.

### Medición de ruido

El ruido además de ser molesto, puede afectar la capacidad de trabajar al ocasionar tensión y perturbar la concentración, por esto puede originar accidentes al dificultar la comunicación y las señales de alarma. (Garavito”, 2007). De acuerdo a la norma 011-STPS-2001, es necesario contar con un buen ambiente de trabajo en donde se logre apreciar sin dificultad todo lo proporcionado por el docente hacia el alumno el cual es de 80 db para este tipo de aulas.

Con forme a las mediciones realizadas en el laboratorio se demuestra que el nivel de ruido se encuentra dentro de los límites de decibeles establecidos en la norma mencionada anteriormente, ya que el nivel de ruido promedio es de 72.533 y 53.898 a pesar de que se cuenta con un clima que emite un ruido prolongado (ver figura 3.40).



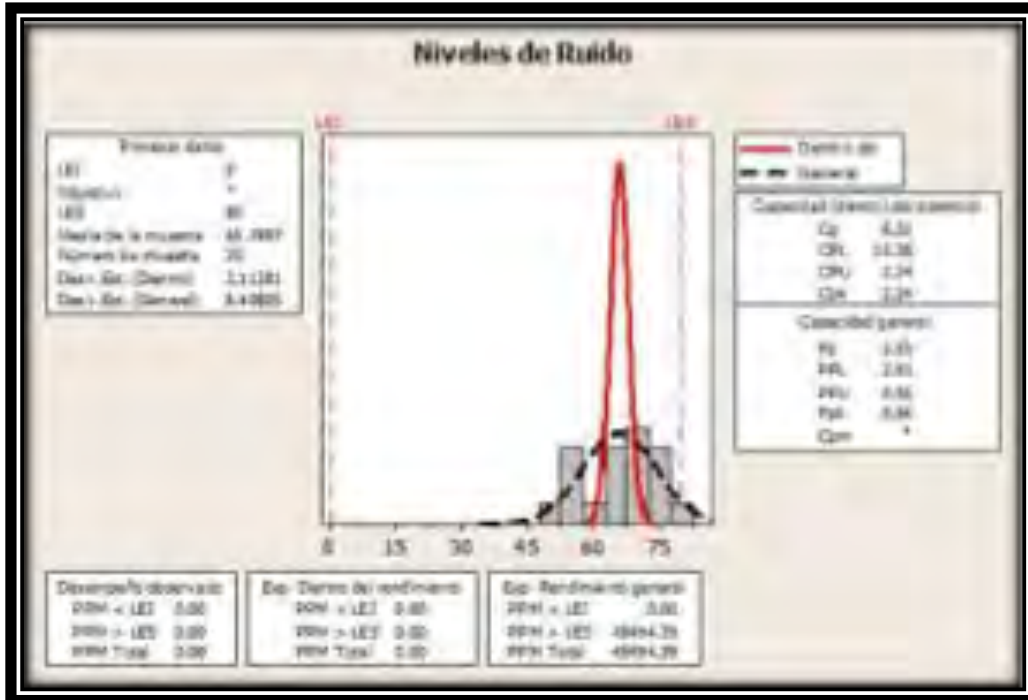


Figura 3.40. Comparación de los niveles de ruido actuales contra las especificaciones.  
Fuente: Elaboración propia a partir de Minitab®.

De acuerdo a la norma se cumplen los db permitidos mostrándose en la figura 3.40 que están controlados con un cpk mayor a 2. La recogida de información se realizó durante 30 días y los resultados de las lecturas se muestran en la tabla 3.18.

Tabla 3.18. Resultados de las lecturas de ruido.

Medición del ruidos						Promedios
<b>Prom C/C.A.</b>	74.18	74.09333	72.02667	71.64667	70.7	72.53
<b>Prom C/S.A.</b>	61.75333	63.14	62.73333	63.62667	64.42	63.13
<b>Prom S/C.A.</b>	69.02	74.66	74.00667	78.18	72.1	73.59
<b>Prom S/S.A</b>	52.55333	55.82	52.26	53.56667	55.28667	53.90

Fuente: Elaboración propia.

### Evaluación de mejoras

Una vez realizadas las mediciones correspondientes a las condiciones de temperatura, iluminación y ruido, se tiene la evidencia para sustentar que el laboratorio tiene importantes áreas de oportunidad, que de aprovecharse se verán reflejadas en el desempeño académico de los estudiantes.

Debido a estas condiciones, algunas de los profesores, prefieren realizar las prácticas en las aulas, acondicionarlas como laboratorio toda vez que la iluminación y la temperatura son mejores, sacrificando un tanto la comodidad por el espacio reducido.

### **Consideraciones finales**

La investigación arroja evidencia importante para que las autoridades pertinentes se avoquen, efectivamente, a adecuar las condiciones del laboratorio con las requeridas por la normatividad, de esta manera se podrá hablar de educación de calidad y no solamente mencionarla como parte de un discurso político lleno de utopías.

### 3.1.6. Diagnóstico de las causas de producto no conforme y generación de acciones de mejora en una empresa empacadora de piña

*Vázquez Tzitzihua, Leticia*

#### Contexto del estudio

La piña es la fruta tropical de mayor demanda en el mundo por su agradable sabor y aroma, así como su contenido en vitaminas c, b1, b6, ácido fólico y minerales como el potasio, la hacen altamente demandada en los diversos mercados. Su origen se identificó en la región tropical de Brasil, así como del Norte de Paraguay y Argentina, distribuida por Cristóbal Colón por todo el mundo), la piña es una planta perene, monocotiledonea herbácea, a la que se llamó en la antigüedad “fruta de los dioses” (García-Serrano, 2005).

Actualmente el comercio de piña fresca en el mundo se ha transformado en los últimos quince años como quizá no ha sucedido con ninguna otra fruta fresca en tan corto plazo y de una manera tan evidente y es que, a partir de 1996, año en que se introdujo el cultivar MD-2 o piña amarilla, Gold o dorada como también se le conoce, el interés por esta fruta ha crecido vertiginosamente y su demanda se ha triplicado desde la puesta en escena de este híbrido (Elizondo, 2010).

En México, Veracruz es el primer productor de piña MD-2 a nivel nacional, la zona de Isla es la más importante para el desarrollo de este cultivo que cuenta con los más altos estándares de calidad para su comercialización y exportación.

Actualmente en la Cuenca del Papaloapan, se está teniendo en cada cosecha un aproximado de 600 mil toneladas en el estado de Veracruz, 480 mil de piña cayena y 120 mil de piña miel. La primera es utilizada para abastecer el mercado nacional y la piña miel o MD-2 como también se le conoce, se usa para exportación. (<http://islandiaweb.blogspot.mx/>).

## Aplicación de la metodología

### Identificación de las causas que generan el producto no conforme para exportación

La investigación consiste en realizar el diagnóstico de las causas de producto no conforme, en una empacadora de la cuenca del Papaloapan, para llevar a cabo la primera fase es indispensable la participación de los integrantes responsables de la supervisión de cosecha, poscosecha (selección, empaque, almacén y embarque), quienes participaron en una lluvia de ideas donde se determinaron los problemas principales de rechazos de *producto no conforme* para exportación de piña MD2 durante la cosecha Diciembre 2015 a Julio 2016. Producto no conforme es todo aquel que no cumple con algún requisito determinado por el sistema de gestión de calidad, como por ejemplo, un material comprado que ha llegado defectuoso, un material no identificado cuando se requiere que lo esté, etc. (Consultores, 2013).

Características principales para considerar un producto como no conforme (piña de exportación).

- ✓ Falta de acreditación en BPM vigente
- ✓ Malas condiciones de transporte (temperatura)
- ✓ Estado de maduración
- ✓ Problemas con el peso de la caja
- ✓ Presencia de corazón negro o pardo
- ✓ Falta de cumplimiento del estándar de requerimientos de calidad para la piña.
- ✓ Detección de moho, moretones, lesiones, defectos y enfermedades
- ✓ Otros (10% de límite en defectos, 5% en daños serios de la fruta y 1% de descomposición).

En la tabla 3.19 se muestra el cuadro de valores de calidad interna para exportación.

Tabla 3.19. Cuadro de valores óptimos de calidad interna para exportación MD-2.

Características	Calidad	
	Primera	Segunda
Brix (mínimo)	13	12
Acidez	0,50-0,80	0,50-1,00
pH	3,60	3,60
Brix/acidez	17/1-25/1	15/1-30/1
Porosidad		
máxima	4	4
mínima	1	1
Translucidez		
máxima	3	3
mínima	1	0

### Determinación de la causa de producto no conforme para exportación

Para determinar la causa de rechazo de embarques de piña para, se utilizó un diagrama de Pareto, que es una gráfica en donde se organizan diversas clasificaciones de datos por orden descendente, de izquierda a derecha, mediante este diagrama se pueden detectar los problemas que tienen mayor relevancia, por lo general, el 80% de los resultados totales se originan en el 20% de los elementos.

Tomando como referencia la lluvia de ideas se realizó el diagrama de Pareto de la siguiente forma:

- Se le asignó a cada problema detectado un valor ponderado de acuerdo al grado de afectación (frecuencia) percibido por el personal involucrado.
- Se ingresaron los problemas con su respectivo valor ponderado al programa Minitab, para obtener la gráfica de la figura 3.41.
- Se detectaron las causas principales a combatir (80 por ciento) en cada una de las áreas, a partir del diagrama de Pareto elaborado.

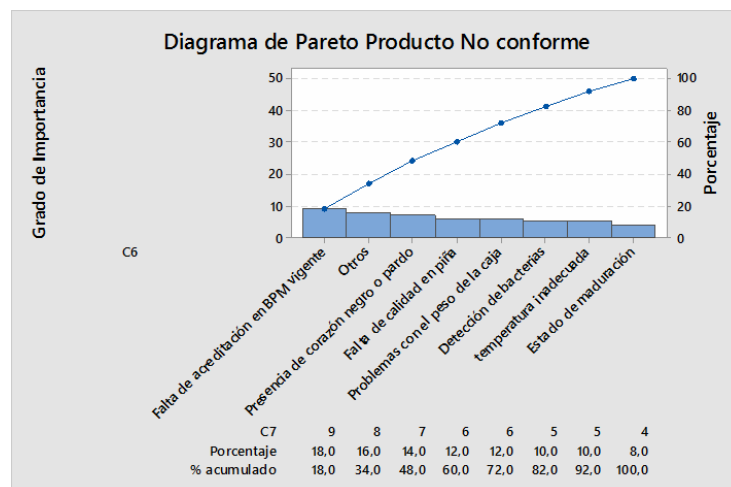


Figura 3.41. Diagrama de Pareto del porcentaje de problemas de la calidad de azúcar.

En la figura 3.41 se observa que el 80% de los problemas que ocasionan rechazo en la aceptación de producto en el mercado extranjero, se deben a la vigencia caduca de acreditación en BPM, daños en fruta, falta de calidad, problemas de peso y detección de bacterias. En el análisis subjetivo de los resultados del diagrama de Pareto, los expertos en el tema coinciden los daños en fruta, las características físicas, la calidad en jugo y dulce se pueden controlar desde su inducción. Por lo tanto, las acciones generadas en la investigación se dirigen a promover un

correcto método de trabajo en el proceso de empaqueo de piña para minimizar el producto no conforme en la exportación.

### Determinación de los factores determinantes en el proceso de empaqueo

Para identificar las causas que originan el elevado porcentaje de rechazo en el producto a exportar, se recurrió a la construcción del diagrama de causa-efecto, las actividades realizadas fueron las siguientes:

- Cada persona encargada de los procesos claves en el proceso de cosecha y empaque de piña emitió aportaciones para la determinación de causas que podrían generar el producto no conforme en el proceso de exportación.
- Se agruparon las causas obtenidas en algunos de los seis principales rubros que pueden causar la desviación de aceptación en el mercado extranjero y que corresponden a las más de la calidad: mediciones, material, personal, entorno, métodos y máquinas.
- Se obtuvo la gráfica causa-efecto para determinar los factores de rechazo, introduciendo datos al programa Minitab: nombre del problema principal y las causas dentro de los seis rubros de análisis, para obtener la gráfica de la figura 3.42.



Figura 3.42. Diagrama causa-efecto de los factores que determinan el producto no conforme.

## Evaluación de mejoras

### Generación de acciones

Con base a las causas determinadas se formularon las acciones correspondientes para mejorar el nivel de aceptación de embarques de piña hacia mercado trasnacional considerando poner mayor atención en el método de trabajo, para ello es necesario conocer el comportamiento actual de la variable, por lo que se recurrió al análisis de las causas más relevantes y esto se realizó mediante la utilización de un histograma tomando como referencia los rechazos de en los últimos 7 meses.

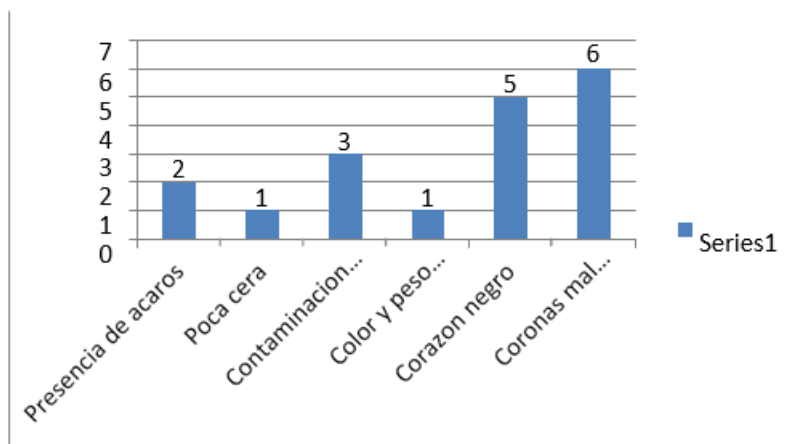


Figura 3.43. Gráfico de las causas más relevantes de rechazo.

Como se puede observar en la figura 3.43 en los últimos meses se han tenido rechazos por deformaciones de fruta, sin embargo son cosas que se pueden evitar si se tuviera un procedimiento adecuado en la selección de fruta para su empaque, se evitaría perdidas considerando que cada embarque cuesta y si es rechazo también cuesta regresar el producto no conforme, el rechazo ocasionado por problemas internos de fruta también se pueden corregir si desde el proceso de pos cosecha se considera el mercado en el que puede ser colocado el producto con dichas características, la parte de contaminación cruzada, aplicación de cera y fungicida en cantidad necesaria son cosas que se pueden corregir con el simple hecho de poner mayor atención en la ejecución de procedimientos establecidos para la exportación de fruta.

## Consideraciones finales

Esta investigación diagnosticó las causas que originaban las devoluciones de piña en fruta que no cumplía con las especificaciones requeridas por el cliente considerando el embarque como producto no conforme durante la temporada de cosecha Diciembre 2015- Julio2016 en una empacadora de piña de la cuenca del Papaloapan dentro del estado de Veracruz, se detectaron como causas principales del producto no conforme la falta de procedimientos establecidos en la Inocuidad Alimentaria considerando también el manipular la cosecha de acuerdo a lo considerado como Calidad en la Piña, además de establecer procedimientos adecuados en la cosecha, lavado, empaque y refrigeración y envío. Las herramientas aplicadas contribuirán al mejoramiento de la calidad del producto, derivado de ello la empresa podrá obtener un elevado y permanente nivel de competitividad a base de adquirir un compromiso total entre empleados y gerencia para cumplir con las especificaciones del cliente obteniendo con ello su total satisfacción.

La aplicación de herramientas estadísticas de calidad en el sector primario, como es la exportación de piña resultó ser de mucha importancia, pues a través de ellas se pudo llevar a cabo el diagnostico de producto no conforme y establecer estrategias de mejora de la calidad. Durante el desarrollo de la investigación, se observó que la participación de los trabajadores es de vital importancia para el desarrollo de cualquier metodología o herramienta y que es necesario generar conciencia en los trabajadores y principalmente de involucrarlos en el logro de las metas organizacionales, así mismo, se confirmó que sí es posible implementar acciones de mejora que no sólo contribuyen positivamente en las utilidades de la empresa, sino que además, aportan beneficios económicos en los cuales todos ganan y además ayudan a promover los productos mexicanos.



## 3.1.7. Aplicación de la simulación a un sistema de colas

### Evaluación de la política de apertura de cajas

*Fuentes Rosas, Liliana*

#### Contexto del estudio

Las organizaciones lucrativas actualmente se mueven en un mundo sumamente competitivo consecuencia de la globalización, mantener cautivos a los clientes exige de ellas estrategias varias que involucran la venta de productos de calidad acompañados de un servicio de igual o mayor calidad, de tal forma que no se conceda la posibilidad al cliente de que éste pueda moverse hacia otro proveedor. Dentro de las estrategias de servicio están las de procurar que el cliente espere lo menos por su producto, y que el tiempo que espera, que es inevitable, trascorra de tal modo que no provoque malestar. Una de las áreas más importantes de la dirección de operaciones es la de conocer las líneas de espera o colas, y, sobre todo, aprender a administrarlas. En una economía como la actual, se hacen colas todos los días, desde el momento que, al levantarse por la mañana, hay que esperar porque el único baño está ocupado; cuando se conduce un automóvil por la ciudad se van formando colas en cada semáforo que está en rojo, en un supermercado la cola del pan, de la carne, etc. Incluso en el momento de pagar se forman colas. Puede afirmarse que existe más de un usuario de un recurso limitado. Cuando la cola se compone de objetos inanimados que esperan algún tipo de procesamiento, el problema es básicamente económico: qué longitud debe tener la cola, cuál es el nivel aceptable de inventario en curso, cuánto equipo hay que comprar y otras preguntas similares. Cuando la cola está formada por personas que esperan un servicio, el problema tiene aspectos psicológicos además de los económicos, que son bastante más difíciles de cuantificar (De La Fuente y Pino, 2001).

En esta aplicación se aborda la investigación sobre las medidas de desempeño de las líneas de espera que se forman en una tienda de autoservicio. Es una tienda expendedora de productos de abarrotes, que cuenta con dos cajas para el cobro, de las cuales solamente una permanece abierta durante el día, la otra caja solo se abre si se llega a registrar un número de siete clientes esperando. Esta política de apertura de caja fue establecida por la dueña de la tienda de una manera empírica, cabe mencionar que también obedece a un aspecto económico pues no paga

el salario de dos cajeras, en el tiempo que la segunda caja no está habilitada, la persona encargada de cobrar realiza actividades tales como el común de los empleados.

La simulación es una forma de estudiar los procesos aleatorios, los cuales se encuentran prácticamente en todas las operaciones de sistemas de producción y de servicio (García, García y Cárdenas, 2013); es una poderosa herramienta de ingeniería industrial que involucra el desarrollo del modelo del sistema y la experimentación para determinar cómo reacciona el sistema ante diversas condiciones. La simulación moderna maneja situaciones que describen el contexto y además es un experimento estadístico y en consecuencia sus resultados se deben interpretar de esta manera (Mejía y Galofre, 2008).

Los administradores suelen confiar más en modelos que simulen la realidad construidos a partir de parámetros y formulas fácilmente identificables dentro del sistema real, que en modelos matemáticos que, con toda seguridad, pueden ofrecer la misma o mejor calidad en las conclusiones, pero que resultan más complicados de entender y necesitan de un conocimiento previo en la materia (Taha, Meza y González, 2004).

Dentro de las estrategias de servicio están las de procurar que el cliente espere lo menos por su producto, y que el tiempo que espera trascorra de tal modo que no provoque malestar (Fuentes, López y Tobón, 2018).

### **Aplicación de la metodología**

Para la evaluación de la presente política de apertura de cajas se realizó un estudio de simulación siguiendo la metodología propuesta por Law y Kelton (2007) y que consta de 10 pasos, tal como se ilustra en la figura 3.44.



Figura 3.44. Metodología para un estudio de simulación.  
Fuente: Law (2014).

### Formulación del problema

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la política de apertura de cajas que opera en la tienda de autoservicio y compararla contra las alternativas de mantener abiertas ambas cajas con una unifila y la de modificar la actual política a 5 clientes esperando. La meta consiste en que los clientes realicen sus pagos correspondientes en el menor tiempo posible.

### Recolección de datos y definición del modelo

Las variables independientes de las cuales se tomaron datos fueron: tiempo entre llegadas, tiempo de selección (tiempo promedio que le toma a los clientes escoger los productos que van a comprar) y tiempo de pago. Se tomaron datos durante 45 días y se generaron las bases correspondientes. El tratamiento estadístico que se les realizó a cada una de las variables fue el de pruebas de bondad de ajuste (Kolmogorov Smirnov y Anderson Darling), para ello se utilizó el *Stat::Fit*® resultando que las tres variables se ajustaron a distribuciones teóricas conocidas. El ajuste para la variable tiempo entre llegadas se muestra en la figura 3.45.

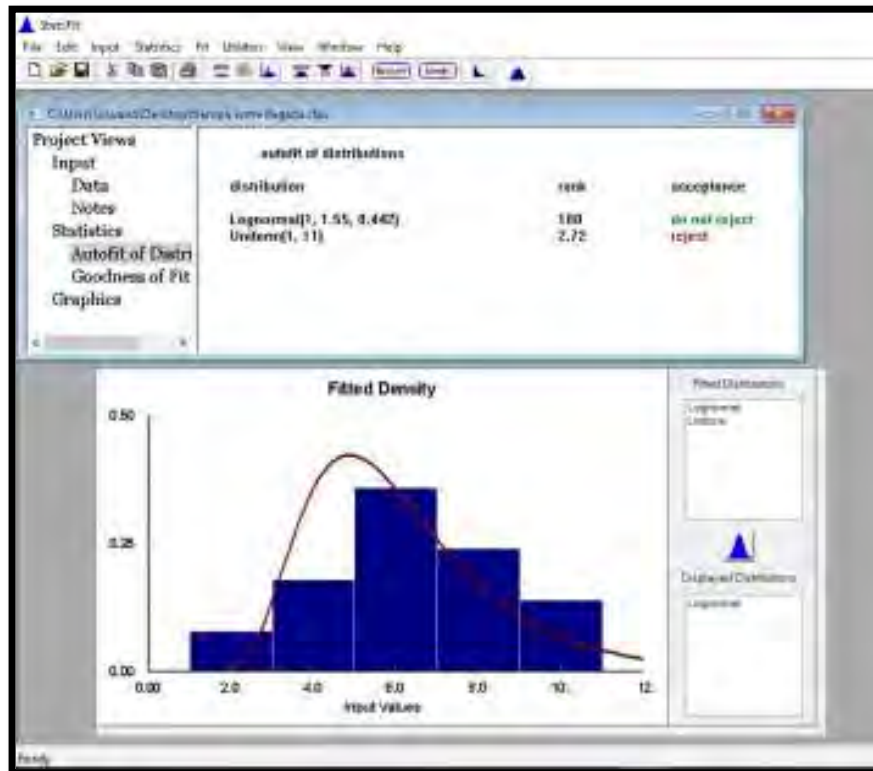


Figura 3.45. Tratamiento estadístico de la variable tiempo entre llegadas.  
Fuente: Elaboración propia.

El proceso que el cliente realiza en la tienda se ilustra en la figura 3.46, esto es el modelo conceptual del sistema bajo estudio.

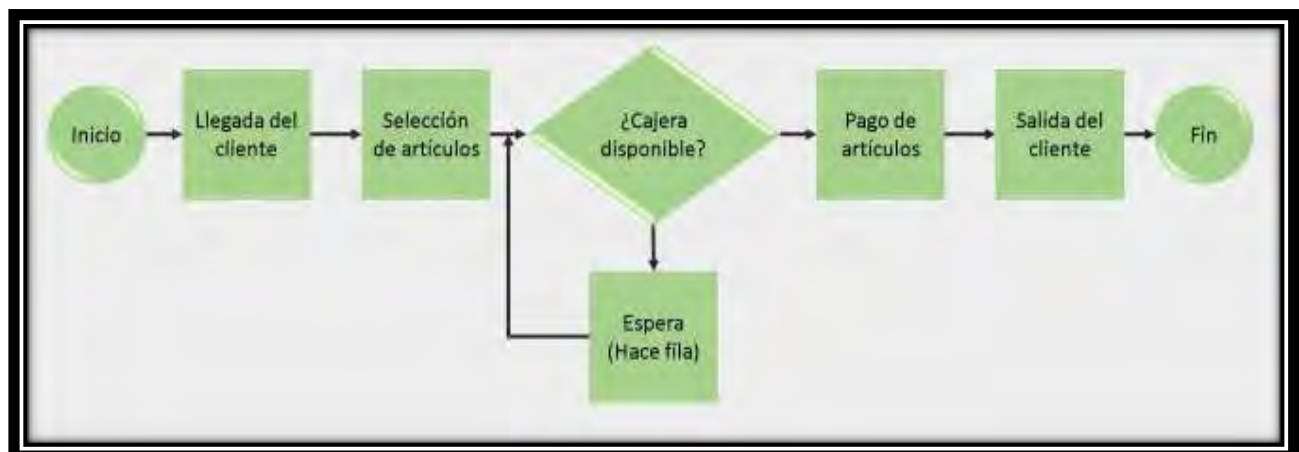


Figura 3.46. Modelo conceptual del sistema: tienda de autoservicio.  
Fuente: Elaboración propia.

### Verificación del modelo

El modelo conceptual fue presentado y explicado al encargado de la tienda quien verificó dicho proceso.

### Construcción del programa

La traducción del modelo conceptual al lenguaje de SIMIO® requirió el uso de elementos que se enlistan en la tabla 3.20, entre otros.

Tabla 3.20. Elementos principales para la construcción del modelo.

Elemento del sistema	Elemento en SIMIO®
Entrada a la tienda	Source
Cajeras	Serves
Trayectoria	TimePath y Path
Salida de la tienda	Sink
Política de cajas	Monitor (Definitions); Política de apertura (Processes)
Clientes	Model Entity

La figura 3.47 muestra la vista en 3D del modelo construido en SIMIO®, y la figura 3.48 muestra la vista en 2D.



Figura 3.47. Modelo en vista 3D.

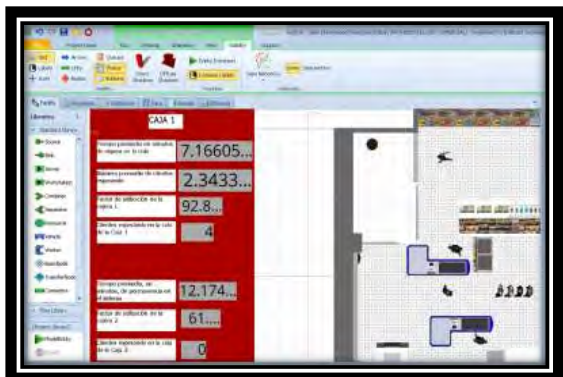


Figura 3.48. Modelo en vista 2D.

Fuente: elaboración propia.

### Pruebas piloto

Se corrieron diez pruebas piloto del modelo para asegurar que la animación estaba correcta y además para recabar información útil para el siguiente paso.

## Validación del modelo

En el argot de simulación se dice que un modelo es útil o no; para que el modelo sea útil debe ser representativo del sistema que se está estudiando; es decir, los datos que arroje el modelo de simulación deben ser, estadísticamente, iguales a los reales. Para realizar la validación de un modelo se utiliza la prueba t -pareada en donde la hipótesis nula sustenta que los datos simulados son iguales a los del sistema real contra la hipótesis alterna de que no lo son. Todas las variables implicadas deben ser sometidas al proceso de validación. En la tabla 3.21 se muestra el procedimiento de la variable: tiempo de servicio.

Sea:

$X_j$ = tiempo promedio en minutos del tiempo de servicio del sistema real.

$Y_j$ = tiempo promedio en minutos del tiempo de servicio del modelo de simulación.

Tabla 3.21. Datos apareados de la variable tiempo de servicio.

DATOS (en minutos)				
Corridas	REALES $X_j$	SIMULADOS $Y_j$	$Z_j=X_j-Y_j$	$(Z_j-Z_{10})^2$
1	4.83	3.39	1.443	2.1286
2	1.47	2.06	-0.593	0.3336
3	2.88	1.76	1.123	1.2973
4	1.65	2.28	-0.630	0.3774
5	1.78	2.08	-0.296	0.0789
6	2.58	1.90	0.683	0.4886
7	1.62	2.56	-0.943	0.8605
8	2.08	2.15	-0.066	0.0026
9	1.72	2.54	-0.823	0.6523
10	1.47	1.52	-0.053	0.0014
TOTAL			-0.156	6.2215
PROMEDIO			-0.015	

Se construyó un intervalo de confianza al 95% para Z, en donde  $Z_i = X_j - Y_j$  resultando ser (-0.6103, 0.5790).

El resultado muestra que el intervalo incluye al cero, con lo que se concluye: con un nivel de confianza del 95% se tiene un modelo válido, representativo del sistema tienda de autoservicio, sustentando la igualdad de los datos reales y simulados y si acaso hay diferencia ésta es insignificante y se debe a fluctuaciones aleatorias.

## Diseño de experimentos

Para evitar el problema de tomar decisiones basados en una sola observación (replicación y/o corrida), se determinó el número óptimo de ellas por medio del siguiente procedimiento:

$$n^*(\beta) = \min \left\{ i \geq n : t_{i-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\frac{S^2(n)}{i}} \leq \beta \right\}$$

Es posible determinar  $n^*(\beta)$  incrementando  $i$  en uno hasta que un valor de  $i$  se obtiene para el cual:

$$t_{i-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\frac{S^2(n)}{i}} \leq \beta$$

Se utilizaron los datos simulados de la variable mostrada en la tabla 3.22, con un error absoluto de 0.020 minutos y un nivel de confianza del 95%, incrementado el valor de  $i$ , resultando un número óptimo de replicaciones de 21.

Tabla 3.22. Datos de 10 corridas de tiempo promedio de servicio.

Corridas	Tiempo promedio de servicio en minutos.
1	3.39
2	2.06
3	1.76
4	2.28
5	2.08
6	1.9
7	2.56
8	2.15
9	2.54
10	1.52
Media	2.224
Varianza	0.271604444

## Corrida del programa

El programa de simulación se corrió 21 veces.

## Análisis de resultados

Después de haber ejecutado las 21 corridas, se tienen los resultados que se muestran en la tabla 3.23.

Tabla 3.23. Medidas de desempeño del sistema actual (tienda de autoservicio).

Medida de desempeño	Valor
Utilización de la Caja1	95%
Utilización de la Caja 2	76%
Tiempo promedio de espera por cliente en la cola	7.98 minutos
Tiempo máximo de espera por cliente en la cola	23.70 minutos
Tiempo promedio de un cliente en la tienda	13.12 minutos
Tiempo máximo de un cliente en la tienda	38.50 minutos

## Evaluación de mejoras

Se probaron dos alternativas:

- a) Alternativa 1: Mantener las dos cajas abiertas durante todo el tiempo
- b) Alternativa 2: Modificar la política de apertura de segunda caja cuando se registren 5 clientes.

Ambas alternativas se modelaron y se corrieron 21 veces. La tabla 3.24 realiza la comparación de ellas contra el sistema real.

Tabla 3.24. Comparación de medidas de desempeño sistema real versus alternativas.

Medida de desempeño	Sistema real	Alternativa 1	Alternativa 2
Utilización de la Caja 1	95.17	60.65	94
Utilización de la Caja 2	75.7	60.50	75
Tiempo promedio en la tienda (minutos)	13.12	6.51 (reducción del 50.38%)	10.75 (reducción del 18%)
Tiempo máximo en la tienda (minutos)	38.50	27 (reducción del 31%)	33 (reducción del 15%)
Tiempo promedio de espera en la cola (minutos)	7.98	0.37 (reducción del 95.36%)	5.36 (reducción del 32.83%)
Tiempo máximo de espera en la cola (minutos)	23.70	3.82 (reducción del 83.88%)	16.95 (reducción del 28.48%)



Si el enfoque de mejora fuera la reducción de tiempo que un cliente pasa en la cola de las cajas, la alternativa 1 debería de implementarse; por supuesto hay otros factores a considerar, sobre todo el económico con respecto al pago de salario de la caja 2.

La alternativa 2 mantiene los factores de utilización de las cajas casi al mismo nivel que el sistema real, pero sí arroja disminuciones importantes en cuanto a tiempos de espera, por lo que podría elegirse como la alternativa ideal a implementar.

## Consideraciones finales

La alternativa 1 que sugiere que ambas cajas permanezcan abiertas logra disminuciones sumamente atractivas con respecto a tiempo de espera en la cola, sin embargo, tiene la limitante de que el factor de utilización de las cajas llega apenas a un 60% y debe pagarse el salario de otra cajera.

La alternativa 2 mantiene los factores de utilización de las cajas casi al mismo nivel que actualmente, sin embargo, sí disminuye los tiempos de permanencia en la cola por lo que podría mantenerse el costo del servicio como actualmente se maneja aprovechando la ventaja de la disminución.

Se obtuvo, con un 95% de confianza, un modelo de simulación representativo del sistema real (tienda de autoservicio) con base en dicho modelo se analizaron medidas de desempeño para conocer el comportamiento de la tienda, el interés mayor versó sobre el tiempo que los clientes pasan en la cola esperando que la cajera les cobre sus compras. Se evaluaron dos alternativas y los resultados arrojaron disminución en los indicadores de tiempo (en la cola y en el sistema) lo cual puede traducirse en mejoras al sistema actual.

La técnica de simulación resultó ser de gran utilidad para la modelación del sistema, además de predecir el comportamiento de dicho sistema bajo escenarios propuestos.

El simulador SIMIO® permitió la modelación con una animación muy realista, y con una programación amigable, por lo que su uso se recomienda ampliamente.

## 3.2 Oportunidades de mejora

### 3.2.1 Aplicación de seis sigma en línea de producción

#### Disminución de desperdicios

*Flores Serrano, María Del Socorro*

#### Contexto del estudio

Toda industria enfrenta desafíos nuevos a cada instante para poder permanecer y salir adelante, en particular no esta industria no se exenta ya que los alimentos tienen un fuerte impacto a nivel mundial. A nivel nacional es una de las industrias que aportan mayores recursos a la economía; el INEGI en su análisis de industrias en el rubro alimentario y de bebidas 2018 en sus pronósticos maneja que habrá un crecimiento muy importante en la demanda de alimentos en la próxima década en toda América Latina, todo esto es benéfico pues se prevé mayor producción para las organizaciones y un impacto económico muy bueno esto también implica que al atender esa demanda creciente se deben mejorar procesos para una mayor productividad.

En este caso de estudio en particular la organización enfoca sus objetivos en la innovación de productos esto implica entrar a un mercado de competencia muy difícil ya que requiere productos de mayor calidad que generen mayor utilidad. El análisis de desempeño del sistema y optimización de procesos, sirve para obtener mejor calidad y como efecto una mejor utilidad. Existen diversas herramientas que pueden ser aplicadas para la mejora de procesos entre ellas la metodología de seis sigma. Esta metodología mejora los procesos con un formato estructurado y disciplinario basado en el planteamiento de los problemas a mejorar.

En los últimos meses el área de producción de la empresa ha reportado que la línea de envasado está ocasionando un desperdicio de cinta de empalme, lo cual provoca un impacto económico que afecta la productividad y utilidad, en promedio se pierde 5.52gr de cinta, esto sucede en cada cambio en la unidad de empalme automático de la tira, como depende de los parámetros fijados por el operador, es necesario que este sepa cuáles son los óptimos para su utilización.

## Aplicación de la metodología

El propósito de seis sigma es identificar, reducir y eliminar defectos en un proceso, los cuales al provocar inconformidades en los clientes afectan la rentabilidad de las organizaciones. (Tolamatl, Gallardo, Varela, & Flores, 2011). Al lograr tener un proceso con fallos mínimos se obtiene un grado de perfección, según Herrera y Fontalvo (2011), esto se alcanza con el ciclo definir, medir, analizar, mejorar y controlar (DMAMC) presentada en la figura 3.49.

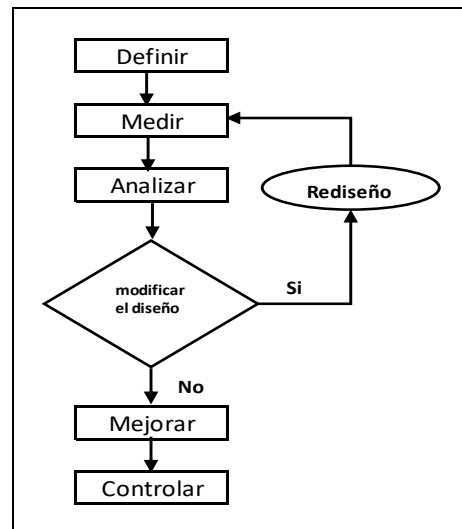


Figura 3.49. Metodología DMAIC.

Flores (2017), define a Seis Sigma como “una metodología de calidad aplicada para ofrecer un mejor producto o servicio, más rápido y al costo más bajo, centrandolo su atención en la eliminación de defectos y la satisfacción del cliente, que involucra tanto al cliente interno y externo”.

### Definición

En esta etapa al identificar el proyecto a ser mejorado, definiendo objetivos, requerimientos del cliente y oportunidades de mejoramiento, se utiliza una combinación de 5 w y una h donde se declara el problema (tabla 3.25), graficas de series de tiempos (figura 3.50), diagrama de Pareto como herramientas de esta fase, para el tratamiento de datos.

Tabla 3.25. Declaración del problema

¿Qué está sucediendo?
Merma de cinta en la Envasadora Speed
¿Cómo es diferente del estado actual? ¿Cómo sucede?
Se esta mermando 5.52 gramos de cinta a diferencia del valor mas bajo registrado que es de 1.86
¿Qué patrón ves? (¿sucede del lado derecho, izquierdo, abajo, arriba, enfrente, aleatoriamente?)
Continuamente
¿Cuándo sucede? ¿Cuándo ocurrió el problema?
Cada cambio de cinta
¿Dónde sucede?
En la unidad de empalme automático de la tira.
¿Está relacionado el problema con las habilidades del operador?
Sí depende de el parámetro fijado en la pantalla del operador por el mismo operador.

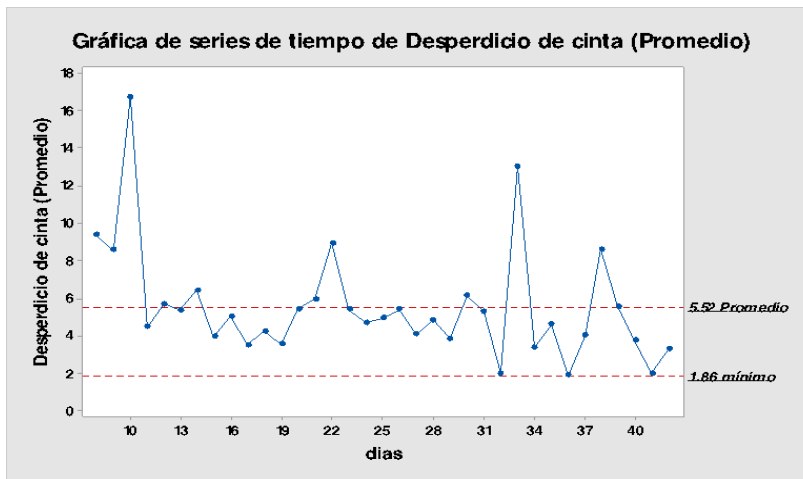


Figura. 3.50. Desperdicio generado medido en gramos.

En la figura 3.50 se puede observar que en promedio se desperdicia 5.52 gr; existen datos atípicos por encima de este con una diferencia grande con respecto a valores mínimos de 1,86 gr; la desviación estándar es de 2.99 la cual indica una variabilidad en los datos muy grande. Con esto se empieza a la declaración del objetivo del proyecto el cual es mostrado en la tabla 3.26 que se muestra en la parte de abajo estableciéndolo en 2.958 gr de desperdicio un 46% menos.

Tabla 3.26. Calculo de objetivo del proyecto.

Promedio	5.52
Mínimo	1.86
Brecha	3.66
Objetivo del proyecto	2.958

## Medir

Para obtener datos confiables, se revisó el sistema de medición, las posibles razones que pudieran originar inconsistencias de los datos, como errores a las lecturas, registros, sistemas, etc. Se tomaron los datos en línea de producción los cuales arrojan que el proceso no es estable según los gráficos de control y tampoco es capaz de cumplir con el objetivo del proyecto ya que tiene una capacidad de proceso de Cpk y Ppk de -0.37 y -0.29 respectivamente, valores que están por debajo de 1.33 para ser considerados como adecuados estadísticamente y de 2 para ser considerados de clase mundial (Gutierrez & De la Vara, 2013), como se muestra en la figura 3.51.

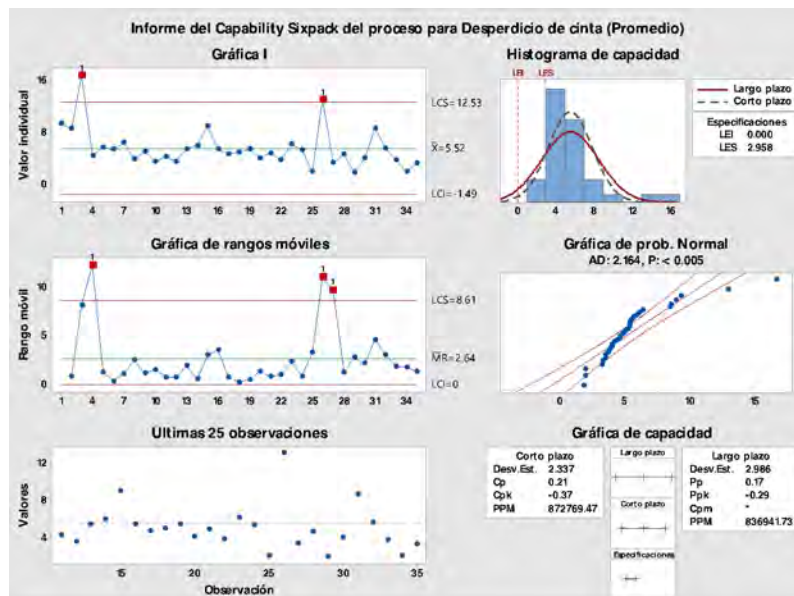


Figura 3.51. Capacidad de proceso y gráficos de control.  
 Fuente: Elaboración propia.

Se establece también el plan de recolección de datos para validar el sistema de medición el cual se presenta en la tabla 3.27 Para el adecuado control de recolección de datos.

Tabla 3.27. Plan de recolección de datos

Qué se medirá (QUE)	Unidad	Donde se medirá (DONDE)	Cada cuanto tiempo se medirá (CUANDO)	Cómo se recolectará (COMO)	Por qué recolectar (POR QUÉ)
Estandar de cinta	Si/No	Al operador de la Envasadora Speed 3	Por turno	1.-Verificar si cumple con el estandar de cinta. 2.- Verificar que cumplan con estandar del consumo de cinta. 3-Registrar cual es el estandar del consumo de cinta.	Para saber si existe un estandar para el consumo de la cinta y si cumple con el estandar.
Verificar el consumo de cinta en el lado 1 y 2 de la Envasadora Speed 3	Gr	Lado 1 y 2 en la Envasadora Speed 3	Por turno	1-Vericar si la cantidad consumida de cinta es la misma en el turno 1, 2 y 3	Para saber si el turno afecta el consumo de cinta.
Verificar si la frecuencia del empalme de cinta si afecta el consumo de cinta	Hz/Gr	Envasadora Speed 3	Por turno	1-Verificar por turno si la frecuencia afecta el consumo de cinta.	Para saber si la frecuencia afecta el consumo de cinta
El comportamiento de la merma de cinta elopak	Gr	Envasadora Speed 3	Cada cambio de carrete de cinta por turno	1-Verificar por turno si el comportamiento de la cinta elopak varia en el consumo de cinta.	Para verificar si el comportamiento de la cinta elopak es la correcta
El comportamiento de desperdicio de cinta tetrapak	Gr	Envasadora Speed 3	Cada cambio de carrete de cinta por turno	1-Verificar por turno si el comportamiento de la cinta tetrapak varia en el consumo de cinta.	Para verificar si el comportamiento de la cinta tetrapak es la correcta
Influencia del operador	Gr	Envasadora Speed 3	Por turno	Verificar si el operador influye en el desperdicio de cinta.	Para verificar si el operador influye en la merma de cinta.
Verificar si los tres turnos si influyen en la merma de cinta	Gr	Envasadora Speed 3	Por turno	Verificar si el comportamiento del desperdicio de cinta en los tres turnos es la misma	Para saber si los 3 turnos si influyen en la merma de cinta.

Al realizar el gráfico de repetibilidad y reproducibilidad (R&R) para poder observar la precisión del sistema de medición se puede observar que no tiene validez, ya que se tomaron 3 corridas de datos a los diferentes operarios en sus turnos al operar los empalmes y se obtuvo lo siguiente (figura 3.52).

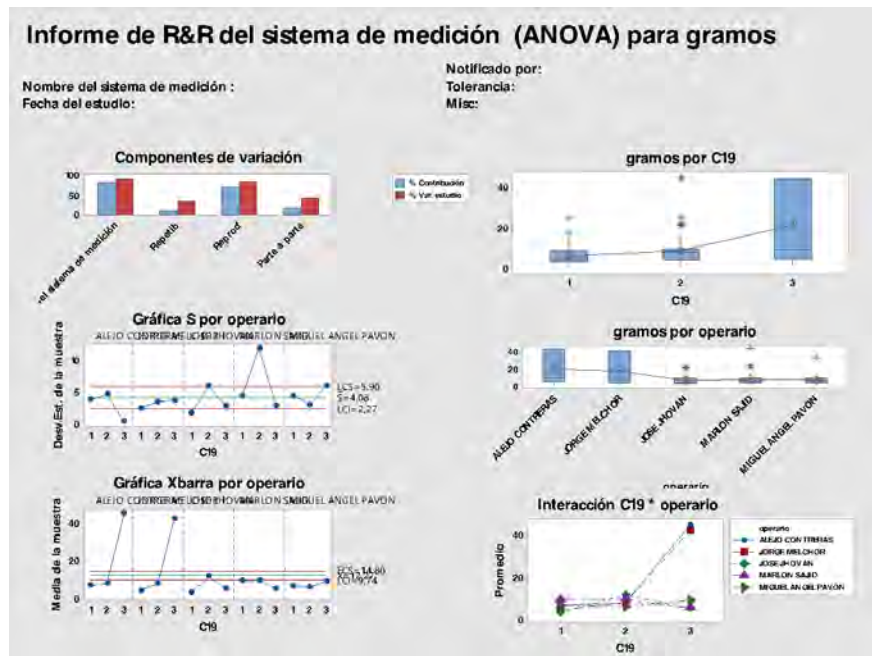


Figura 3.52. Estudio de repetibilidad y reproducibilidad.

Tabla 3.28. Evaluación del sistema de medición.

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var estudio (6 × DE)	%Var. Estudio (%VE)
Gage R&R total	13.0828	78.4965	90.62
Repetibilidad	4.7915	28.7491	33.19
Reproducibilidad	12.1737	73.0424	84.33
operario	0.0000	0.0000	0.00
operario*C19	12.1737	73.0424	84.33
Parte a parte	6.1032	36.6189	42.28
Variación total	14.4363	86.6178	100.00

La variación que presentan los 2 primeros trabajadores es muy grande con respecto a sus compañeros como se puede observar en la figura 3.52, así también el sistema de medición es del 90.6% y la validez del sistema es inaceptable. Para lo cual se realiza un plan de acción que apoye a ver qué está pasando en línea de producción.

Al realizar la comparación por turnos se detecta que el turno 3 es el que mayor merma presenta, ya con esta información, se empieza a trabajar para darle solución al problema.

### Analizar

La mayoría de las pérdidas viene del deterioro o inhabilidad para establecer y mantener las condiciones básicas de la envasadora que garanticen un buen desempeño,

Mediante la elaboración del diagrama Ishikawa se pudo observar que las causas resultantes fueron atendidas desde la fase anterior donde se comenzó con la capacitación que dando el ramal de material y métodos por atender y para el ramal de material se apoyó mediante la restauración de condiciones básicas. Por último se debía atender el de método que evidenciaba la inexistencia de un estándar de la frecuencia de la cinta.

Al analizar los datos, la variable frecuencia sigue estando latente en el problema, por ello se empieza a monitorear. En la fig. 3.53, se muestran el seguimiento realizado y aunque no hay correlación entre ellas es importante para el caso.

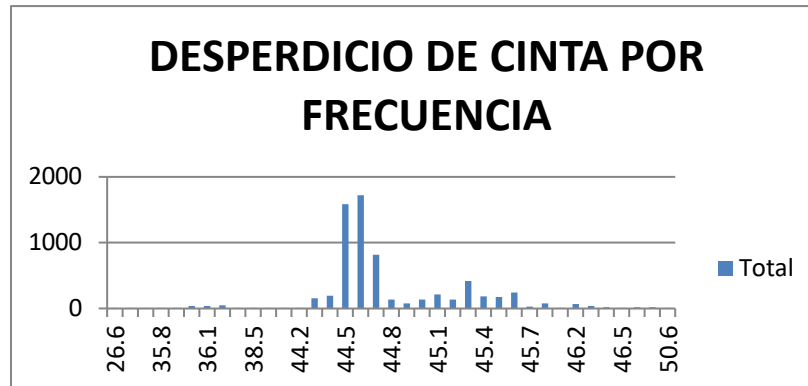


Figura 3.53. Frecuencias utilizadas.

### Implementar

Se elaboró una lista de las ideas del equipo del proyecto que fueron evaluadas y agrupadas. Se realizó y analizó una matriz impacto esfuerzo, para crear un nuevo estándar de frecuencia por material (carrete de cinta), la cual puede observarse en la figura 3.54. Se propuso un procedimiento para la identificación de la frecuencia por material (carrete de cinta).

CAUSA RAÍZ PRIORIZADA	QUÉ	POR QUÉ	CÓMO	DÓNDE	QUIÉN	CUÁNDO	ESCALERA CONTRAMEDIDAS	ESTATUS
Por que no tienen un estandar de la frecuencia por material.	Crear un procedimiento para la identificación de frecuencia.	Por que no tenían un estandar correcto para el material	Apegandose al control de calidad de planta	En la Envasadora	encargado del proyecto	inmediatamente	3	Completado
Por que no tienen un estandar de la frecuencia por material.	Entrenar a los operadores	Para darles a conocer el nuevo procedimiento	Capacitar al personal en el nuevo procedimiento	En la Envasadora	encargado del proyecto	inmediatamente	1	Completado

Figura 3.54. Plan de acción

### Evaluación de mejoras

Cuando se realizó el plan de acción (figura 3.54), se ejecutó en el área de envasado durante tres semanas, después se reunió todo el equipo del proyecto, para checar que si se haya alcanzado el objetivo, se realizó una gráfica de tendencia de la implementación del procedimiento para identificar que estándar de frecuencia se utilizara para cada carrete de cinta (tabla 3.29), usando los datos recolectados de merma de cinta antes y después para verificar la efectividad de las acciones y la reducción de los resultados de desperdicio.

Tabla 3.29. Tabla de frecuencias



TETRAPACK		ELOPAK	
PESO DEL CARETE	FRECUENCIA	PESO DEL CARETE	FRECUENCIA
2110-2120	46.6	2130-2139	45
2121-2130	46.2-46.4	2140-2144	45.3
2131-2140	46.1	2180-2200	44.6
2141-2150	46.8-47	2201-2219	44.8
		2220-2235	44.4
		2245-2255	44.9

Al monitorear nuevamente el proceso y tomar datos en la línea de envasado se vuelve a realizar un gráfico de serie de tiempos para observar su comportamiento ya establecidas las frecuencias y una vez que se pesa cada carrete se toman datos obteniéndose un promedio de 2.1 gr, de merma de cinta, los resultados comparados con los objetivos se pueden apreciar en la figura 3.55.

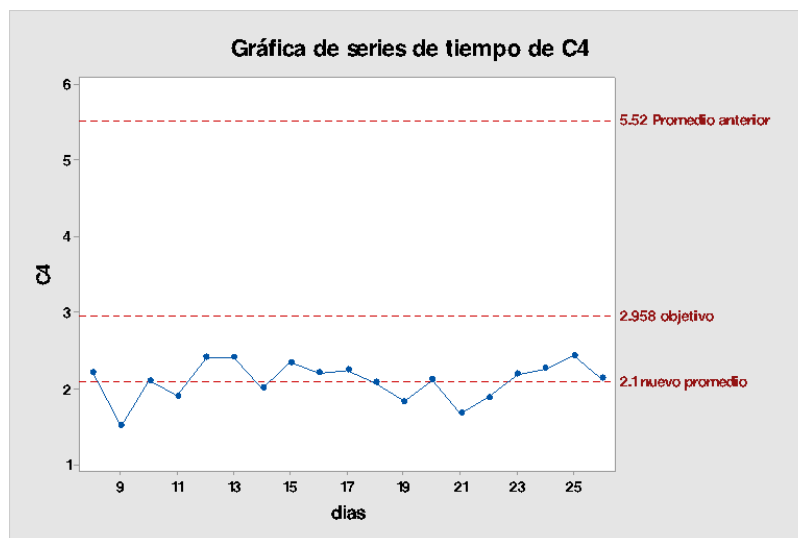


Figura 3.55. Resultados de la implementación de frecuencias.

Al hacer el estudio Capacidad de proceso y gráficos de control en el proceso con las frecuencias de la tabla 5 arrojan resultados buenos los cuales son: estabilidad y capacidad del proceso, con un  $cp > 1.33$  mencionada por Gutierrez & De la Vara, (2013) (figura 3.56).

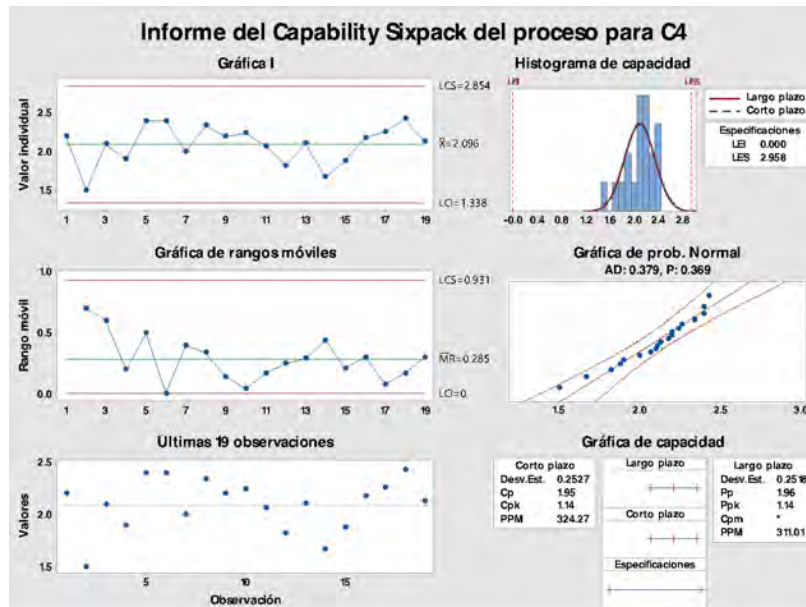


Figura 3.56. Capacidad de proceso y gráficos de control.

## Controlar

El principal objetivo de la fase controlar es mantener la consistencia en los resultados a largo tiempo. Se usó la creatividad para asegurar que el problema de la merma de cinta no aparezca de nuevo, se incorporó dispositivos a prueba de error en los estándares de tal forma que los dueños del proceso puedan ejecutar el procedimiento. Como son guías y tablas de frecuencias a la vista, básculas para el peso de carrete, boquillas para centrar la cinta.

También se les explico a los operadores mediante un OPL (Lección de un punto) para que entendieran mejor el procedimiento para la identificación de la frecuencia por material y para futuros trabajadores que entre a elaborar dentro de la empresa, en área de producción.

## Evaluación de mejoras

Como se trabaja con producto que una vez ocupado no puede volver a recuperarse, es necesario utilizar simuladores o tener un departamento que pueda apoyar específicamente en estos proyectos, ya que por mínima que sea la pérdida anualizando los costos es un ahorro significativo, por ello es necesario implementarse en otras áreas.

## Consideraciones finales

La metodología seis sigma empleada en proyectos cortos según el estado del arte ha arrojado buenos resultados al ser implementados y en este proyecto se logró superar lo planteado en el objetivo el cual era reducirlo el desperdicio a 2.958gr, también se redujo de un promedio de 5.52gr a 2.1gr; asimismo se observa una estabilidad en el proceso según las gráficas de control así como una capacidad de proceso de 1.96, es necesario trabajar en el proyecto ya que para ser de clase mundial tendría que llegar a 2 como lo menciona Gutierrez & De la Vara, (2013).

## 3.2.2. Identificación de áreas de oportunidad en un ingenio azucarero utilizando herramientas para el control estadístico

*Tobón Galicia, Lucila Guadalupe*

### Contexto del estudio

La industria azucarera de México, es uno de los sectores productivos del país, que en los últimos años se ha visto amenazada con la importación de productos sustitutos y el libre comercio del azúcar de caña; ante tal situación, los directivos de los ingenios han optado por implementar procedimientos encaminados a mejorar continuamente sus procesos, el objetivo es que su producto sea competitivo en mercados nacionales y transnacionales, por ello, la mejora continua se ha convertido en un método de trabajo cotidiano para los ingenios, que se han enfocado en incrementar la productividad de sus operaciones y la calidad de su producto, ocupándose principalmente de evitar que los procesos sean interrumpidos durante su periodo de producción llamado zafra; ya que los paros de molienda provocan pérdida de la calidad de la materia prima y de los materiales en proceso, por ello, las acciones de mejora que se implementen en las fábricas durante su periodo de reparación, deben encaminarse a obtener un mayor rendimiento y mejor funcionamiento de los equipos.

Este trabajo se realiza en un ingenio azucarero ubicado en la zona centro del estado de Veracruz, consiste en identificar las oportunidades de mejora en el departamento de elaboración del ingenio, tomando como base el comportamiento del proceso durante la zafra 2015-2016. Derivado del análisis inicial, se formularon las acciones de mejora y se efectuó su seguimiento, finalmente se realizó un análisis estadístico comparativo del antes y después de las mejoras.

### Aplicación de la metodología

El proceso utilizado para llevar a cabo la identificación de oportunidades de mejora, su seguimiento y evaluación, se muestra en la figura 3.57.

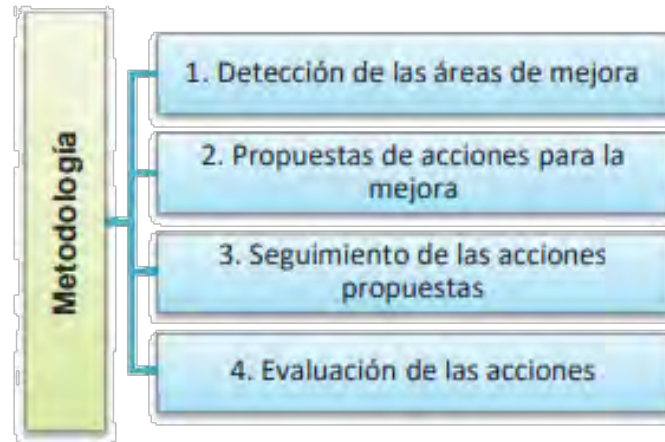


Figura 3.57. Metodología para la detección, seguimiento y evaluación de propuestas de mejora en el ingenio.

### 1.- Detección de las áreas de mejora

En ésta primera etapa tuvieron participación los jefes y supervisores de los diferentes departamentos del ingenio, quienes expusieron los principales problemas que se presentaron durante la zafra 2015-2016, se utilizó una lluvia de ideas, que según la (Sociedad latinoamericana para la calidad, 2000) es una técnica de grupo para generar ideas originales en un ambiente de trabajo relajado. Esta herramienta fue creada por Alex Osborne, cuando su búsqueda de ideas creativas resultó en un proceso interactivo de grupo no estructurado de “lluvia de ideas” que generaba más y mejores ideas que las que los individuos podían producir trabajando de forma independiente. La figura 3.58 es el resultado de la aplicación de la técnica mencionada.



Figura 3.58. Lluvia de ideas de las áreas de oportunidad.

Posteriormente fue necesario organizar cada una de las ideas emanadas de la aplicación de la técnica anterior, para ello se utilizó la conocida herramienta denominada diagrama de causa-efecto, de Ishikawa o de espina de pescado, que tiene como fin permitir la organización de grandes cantidades de información, sobre un problema específico y determinar exactamente las posibles causas y, finalmente, aumenta la probabilidad de identificar las causas principales (Romero Bermúdez & Díaz Camacho, 2010). Se utilizó el software estadístico Minitab y el diagrama obtenido se ilustra en la figura 3.59.

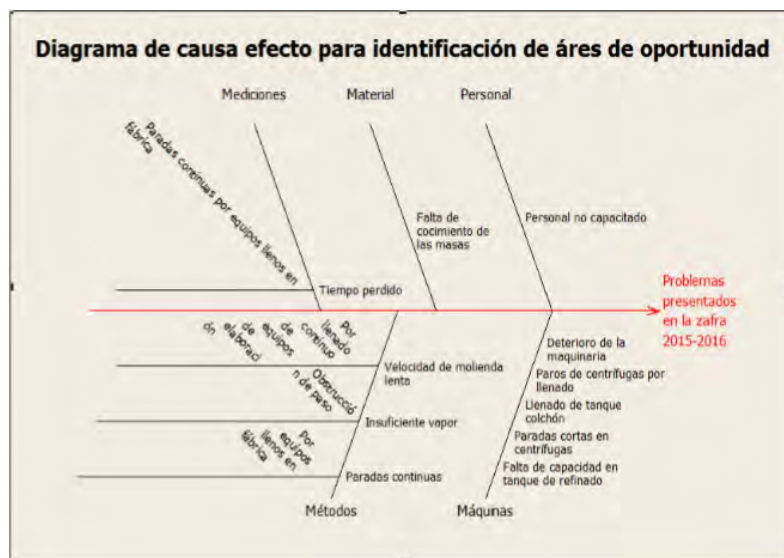


Figura 3.59. Diagrama de causa-efecto para la identificación.

Como se observa en la figura 3.59, la mayoría de las causas se centran en la rama de maquinaria y corresponden principalmente a la sub-causa, que es falta de capacidad de algunos equipos de fábrica, lo mismo ocurre en las ramas de materiales y métodos.

Derivado del diagrama de Ishikawa y finalmente en ésta etapa, se listaron los equipos, que se relacionan con las causas que originan los problemas y que son:

- ✓ Bombas de jugo claro
- ✓ Pre-calentador
- ✓ Tachos de "C"
- ✓ Mezclador de "A"
- ✓ Granero de "B"
- ✓ Tanque de Refinería

## 2.- Propuestas de acciones para la mejora

Como resultado de los diagramas de causa-efecto, las propuestas de mejora de cada equipo se efectuaron utilizando la herramienta de 5W y 1 H, que es una metodología de análisis empresarial que consiste en contestar seis preguntas básicas: qué (WHAT), por qué (WHY), cuándo (WHEN), dónde (WHERE), quién (WHO) y cómo (HOW) (Trías, González, Fajardo, & Flores, 2009). Esta regla puede considerarse como una lista de verificación mediante la cual es posible generar estrategias para implementar una mejora. Para el caso del presente trabajo, la “W” correspondiente a quién, en todos los casos aplica el personal de mantenimiento y supervisión del ingenio, y como se verá en la aplicación de la metodología, se recurrió a una pregunta más (para qué) con el fin de direccionar cada acción realizada a los problemas encontrados. En la tabla 3.30 se presenta la metodología aplicada al problema.

Tabla 3.30. Propuestas de mejora por equipo.

¿Qué?	¿Cómo se va a hacer?	¿Cuándo?	¿Dónde se va a hacer?	¿Por qué se va a hacer?	¿Para qué se va a hacer?
<b>Montaje de una nueva bomba de jugo claro</b>	Adquiriendo una bomba con capacidad de bombeo de 300 a 380 ton/h.	Periodo de reparación 2016	Departamento de Clarificación	Porque su capacidad no es acorde al ritmo de la molienda requerida.	Para sincronizar el bombeo de jugo claro con el ritmo de molienda.
<b>Montaje de un nuevo precalentador.</b>	Con las características del calentador número 1 y para funcionamiento en paralelo.	Periodo de reparación 2016.	Departamento de clarificación.	No es suficiente para llevar el jugo a la temperatura adecuada y con la velocidad requerida lo que retrasa la molienda.	Para que trabaje en paralelo con el calentador número 1.
<b>Modificación al fondo de la descarga de los tachos de “c”.</b>	De acuerdo a las especificaciones establecidas por superintendente de elaboración (Ver figura 4).	Periodo de reparación 2016.	Departamento de cristalización.	Existencia de puntos muertos en el fondo de la descarga de los tachos de “C”.	Para mejorar el cocimiento de la masa y realizar una purga efectiva hacia las centrífugas.
<b>Ampliación al mezclador de “A”.</b>	De acuerdo a las especificaciones establecidas por superintendente de elaboración (Ver figura 5).	Periodo de reparación 2016.	Departamento de cristalización.	Por la existencia de paradas continuas a causa de llenos en fábrica.	Para incrementar la capacidad y evitar las paradas continuas a causa de llenos en fábrica.
<b>Montaje de granero de “B”.</b>	De acuerdo a las especificaciones establecidas por superintendente de elaboración.	Periodo de reparación 2016.	Departamento de cristalización.	Por la falta de un tanque de almacenamiento de masa cosida de “B”.	Para dar tiempo al desarrollo del grano de las plantas de “B” y evitar paradas por llenos en fábrica.
<b>Tanque de refinería</b>	De acuerdo a las especificaciones establecidas por superintendente de elaboración (Ver figura 6).	Periodo de reparación 2016.	Departamento de refinería.	Porque ya no hace falta almacenar agua y el tanque de licor es de poca capacidad.	Para evitar paradas por llenos, ya que en los tanques se puede desahogar producto.

Se utilizó un software de diseño donde se elaboraron los planos con las modificaciones para los equipos que lo requieren, los planos se muestran en las figuras 3.60, 3.61 y 3.62.

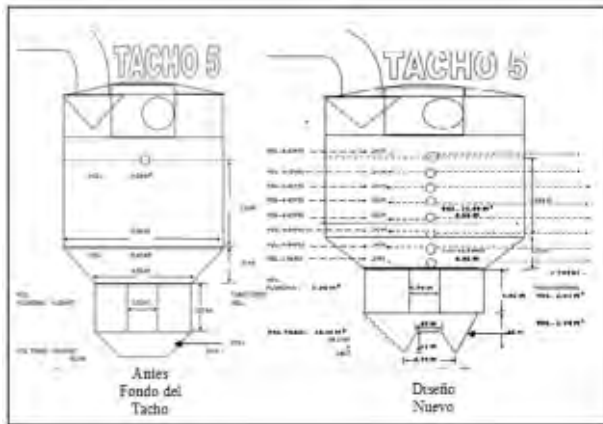


Figura 3.60. Nuevo diseño para el fondo de la descarga.

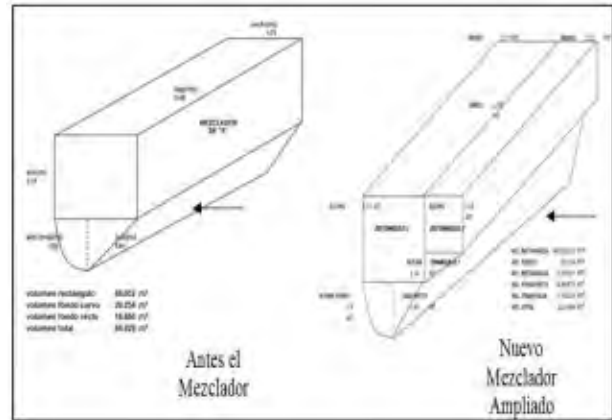


Figura 3.61. Nuevo diseño para el mezclador.

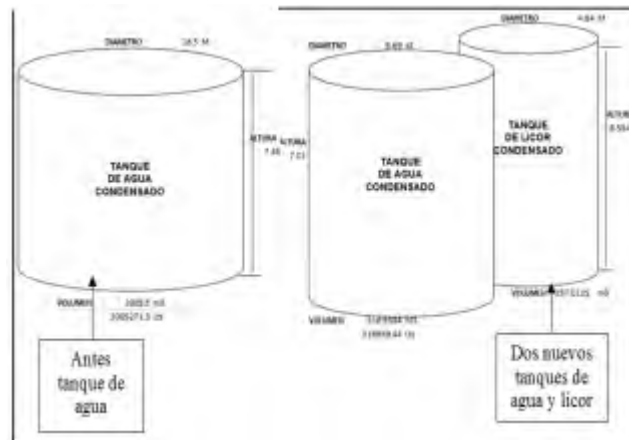


Figura 3.62. Reemplazo de tanque de agua por dos.

### 3.- Seguimiento de las acciones propuestas.

Para el seguimiento de las acciones de mejora, se utilizó el diagrama de Gantt, aceptado como una importante herramienta de gestión, proporciona un calendario gráfico para la planificación y control del trabajo, y el registro de los progresos hacia las etapas de un proyecto (Universidad Nacional Autónoma de México, 2009). Un ejemplo de la aplicación de la herramienta, se muestra en la figura 3.63.



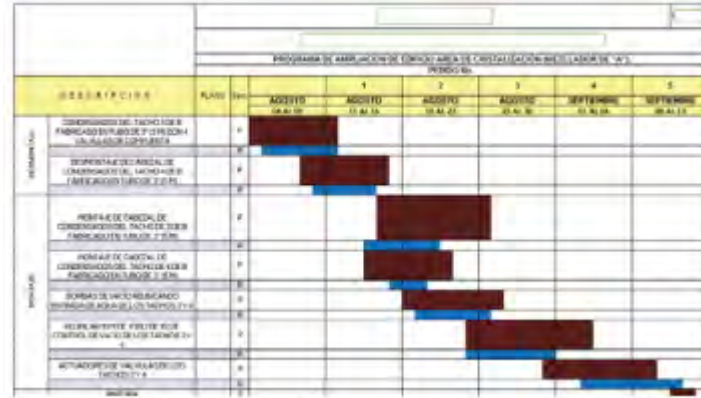


Figura 3.63. Diagrama de Gantt para el seguimiento.

### Evaluación de las acciones

Para la evaluación de la efectividad de las acciones, se recurrió a la medición de las variables: capacidad de producción (ton/h) y paros por turno (número de paros). Para la primera variable se consideraron los datos de las tres primeras semanas de la zafra 2015-2016 y 2016-2017, antes y después de las actividades de mejora respectivamente, las tablas 3.31 y 3.32 muestran los datos recolectados.

Así mismo, se efectuaron las gráficas para el control estadístico del proceso, que son una herramienta estadística que permite conocer si un proceso dado se encuentra en estado de estabilidad o control (Russell Noriega, 2012). Las figuras 3.64 y 3.65 muestran las gráficas de control de la variable molienda por hora.

Tabla 3.31. Molienda por hora en zafra 2016-2017.

Ton / h	Semana 1	Semana 2	Semana 3
1	321	350	360
2	320	320	320
3	320	350	350
4	320	325	325
5	280	250	300
6	318	250	310
7	320	320	320
8	340	325	325
9	345	325	300
10	330	260	309
11	310	324	314
12	315	319	321
13	330	320	306
14	315	330	330
15	330	315	315
16	315	320	320
17	325	330	330
18	300	320	320
19	300	285	290
20	260	315	315
21	260	320	320
22	300	320	320
23	250	320	320
24	300	320	320

Tabla 3.32. Molienda por hora en zafra 2015-2016.

Ton / h	Semana 1	Semana 2	Semana 3
1	280	260	280
2	280	260	280
3	240	260	240
4	240	270	240
5	270	240	270
6	270	240	270
7	240	280	240
8	240	240	240
9	270	260	270
10	285	290	285
11	293	275	293
12	293	291	293
13	292	275	292
14	285	240	285
15	290	295	290
16	290	298	290
17	240	265	240
18	275	285	275
19	275	240	275
20	270	240	270
21	268	287	268
22	275	240	275
23	240	240	240
24	275	240	275

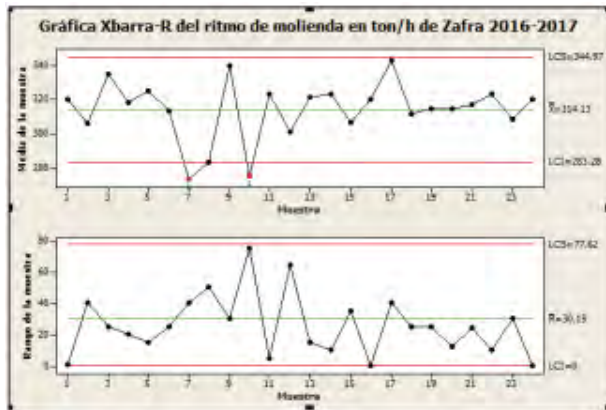


Figura 3.64. Gráfica de Control de la molienda de caña en la zafra 2016-2017.

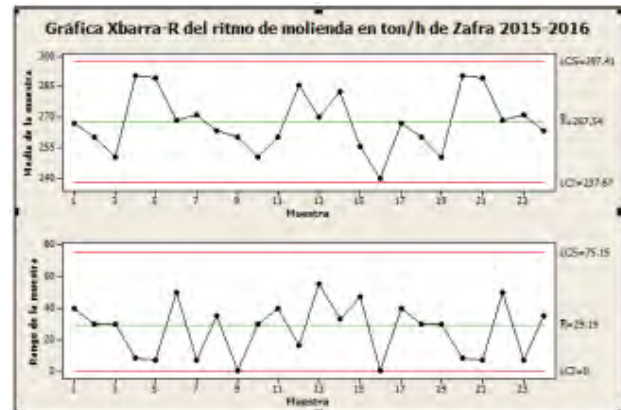


Figura 3.65. Gráfica de Control de la molienda de caña en la zafra 2015-2016.

La figura 3.65 en la gráfica de medias pareciera evidenciar un proceso bajo control estadístico, sin embargo, a partir del subgrupo 4 hasta el 10, se observa una tendencia hacia el límite inferior, lo que origina que el proceso no se encuentre controlado estadísticamente; respecto a la gráfica de rangos, el comportamiento se percibe aleatorio con variabilidad normal, del subgrupo 5 hasta el subgrupo 17, antes y después se observan tendencias hacia el límite inferior; la conclusión general del proceso en la zafra 2015-2016 es que no se encuentra bajo control estadístico. La

ausencia de control estadístico en la figura 3.65, es más evidente, ya que existen dos puntos fuera del límite de control inferior, así mismo, en la gráfica de rangos se observa un proceso muy variable desde el primer subgrupo. A pesar de observarse un mejor control estadístico en la zafra 2015-2016, se puede percibir con facilidad que la molienda promedio después de las mejoras se vio incrementada, de 267.5 a 314.13 ton/h, por lo tanto la falta de control estadístico pudiera deberse a la adaptación del proceso a los nuevos cambios.

La segunda variable, es la de paros por turno, igualmente fueron cuantificados durante tres semanas, los datos recolectados se muestran en las tablas 3.33 y 3.34.

Tabla 3.33 Datos de paros por turno en la zafra 2015-2016.

		1ª Semana	2ª Semana	3ª Semana
Día 1º	1º Turno	3	2	0
	2º Turno	1	3	3
	3º Turno	0	0	0
Día 2º	1º Turno	0	0	0
	2º Turno	0	1	0
	3º Turno	4	4	4
Día 3º	1º Turno	1	0	3
	2º Turno	3	1	1
	3º Turno	0	3	0
Día 4º	1º Turno	0	0	1
	2º Turno	0	1	0
	3º Turno	4	4	4
Día 5º	1º Turno	1	3	1
	2º Turno	2	1	0
	3º Turno	1	0	3
Día 6º	1º Turno	4	4	4
	2º Turno	0	1	0
	3º Turno	0	0	0
Día 7º	1º Turno	0	0	0
	2º Turno	1	2	0
	3º Turno	3	2	4

Tabla 3.34. Datos de paros por turno en la zafra 2016-2017.

		1ª Semana	2ª Semana	3ª Semana
Día 1º	1º Turno	2	1	0
	2º Turno	0	1	0
	3º Turno	0	0	0
Día 2º	1º Turno	0	0	1
	2º Turno	0	0	1
	3º Turno	2	1	0
Día 3º	1º Turno	0	0	2
	2º Turno	1	0	0
	3º Turno	1	2	0
Día 4º	1º Turno	0	0	0
	2º Turno	1	0	1
	3º Turno	1	1	1
Día 5º	1º Turno	0	0	0
	2º Turno	1	0	0
	3º Turno	1	2	0
Día 6º	1º Turno	0	2	0
	2º Turno	0	0	0
	3º Turno	0	0	2
Día 7º	1º Turno	0	1	1
	2º Turno	1	1	0
	3º Turno	1	0	0

Los datos contenidos en las tablas 3.33 y 3.34 no requieren de ser graficados, es evidente la disminución de los paros de molienda por turno entre una y otra zafra.

## Evaluación de mejoras

El resultado general del proyecto, fue el establecimiento de una metodología de trabajo para la identificación de áreas de oportunidad en el proceso de elaboración de azúcar, que conlleva a la realización de un ciclo de reparación efectivo, ya que cada decisión tomada y modificación realizada, fue previamente sugerida como necesaria por un grupo de expertos y finalmente pudo evaluarse la mejora obtenida.

Los resultados particulares que se obtuvieron en el Ingenio fueron:

- ✓ Disminución de la cantidad de paros no programados en el proceso de elaboración de azúcar, de un máximo de 4 paros por turno se logró reducir a un máximo de 2 paros por turno.
- ✓ Eliminación del cuello de botella en la bomba de jugo claro, de un máximo bombeo de 300 ton/h a 380 ton/h, con ello el aumento promedio en el ritmo de molienda fue de 267.5 ton/h a 314.13.

## Consideraciones finales

La necesidad de hacer frente a los mercados competitivos actuales, obliga a las empresas a mejorar continuamente sus procesos, buscando no sólo la mejora de calidad de sus productos sino también el incremento de la productividad. En éste trabajo se desarrolló una metodología que busca la mejora continua del proceso de elaboración de azúcar de un ingenio, con ésta primera implementación se vieron cuantificados los beneficios de la inversión realizada en el periodo de reparación 2016; es importante hacer mención, que la experiencia de los involucrados en el proceso, es elemental para poder efectuar acciones efectivas, que anteriormente no se cuantificaban y por lo tanto pasaba desapercibido el intelecto humano; se espera que éste estudio sea el parte aguas para continuar la programación de los periodos de reparación con el objetivo de generar acciones efectivas para la mejora continua de la organización.

## 3.2.3. Aplicación de simulación a problemas de tránsito

### Modelo de la vialidad del primer cuadro de una ciudad

*Fuentes Rosas, Liliana*

#### Contexto del estudio

De acuerdo con Cal y Mayor y Cárdenas (2007) el concepto de vialidad abarca todos los medios directos, en las que se encuentran “vías” que pueden ser tanto de comunicación y transporte, los medios pueden ser agua, el aire y la tierra. Desde el punto de vista de la ingeniería y de la construcción se considera como parte de la vialidad de una región o país, a toda la infraestructura física (caminos, carreteras, autopistas, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos) e incluso lógica (internet).

Se entiende por sistema vial, la red de vías de comunicación terrestre, construida por el hombre para facilitar la circulación de vehículos y personas. Está constituido por el conjunto de caminos, rutas, autopistas, calles y sus obras complementarias (puentes, alcantarillas, obras de señalización, de iluminación, etc.)

En las fases de planeación, estudio, proyecto u operación de carreteras y calles, la demanda de tránsito, presente o futura, se considera como una cantidad conocida. Una medida de eficiencia con la que un sistema vial presta servicio a esta demanda es su capacidad u oferta. Aparte del estudio de la capacidad de las carreteras y calles, el propósito que generalmente se sigue es el de determinar la calidad del servicio que presta cierto tramo, componente o arteria. La circulación y el transporte condicionan en muchos casos las tendencias de desarrollo de las ciudades. Dado que la circulación es anterior al transporte, puesto que éste es un medio para hacer aquella más cómoda y rápida, interesa para el establecimiento de un plan de transportes urbanos, el conocer los distintos tipos de circulación, sus necesidades y todas sus peculiaridades que influirán en el plan que se proyecta.

Las ciudades dependen grandemente de sus sistemas de calles, ofreciendo servicios de transporte. Muchas veces, estos sistemas tienen que operar por arriba de su capacidad, con el fin de satisfacer los incrementos de demanda por servicios de transporte, ya sea por tránsito de vehículos livianos, tránsito comercial, transporte público, acceso a las distintas propiedades o

estacionamientos, etc., originando, obviamente, problemas de tránsito, cuya severidad por lo general se puede medir en términos de accidentes y congestionamiento.

Existen cinco factores que pueden incrementar los problemas de tránsito, a saber:

- Diferentes tipos de vehículos en la misma vialidad,
- Superposición del tránsito motorizado en vialidades inadecuadas,
- Falta de planificación en el tránsito,
- El automóvil no considerado como una necesidad pública y
- Falta de asimilación por parte del gobierno y del usuario.

La experiencia demuestra que en determinado tipo de solución deberán existir tres bases en que se apoye la misma:

1. Ingeniería de tránsito;
2. Educación vial y
3. Legislación y vigilancia policiaca. Aquel medio en el que falta alguno de estos tres elementos, también llamados columnas del Templo de la Seguridad, no tendrá un tránsito exento de accidentes y congestionamientos.

### **Aplicación de la metodología**

La metodología seguida fue la propuesta por Law (2014) para un estudio de simulación y que está constituida por diez pasos que se ilustran en la figura 3.66.

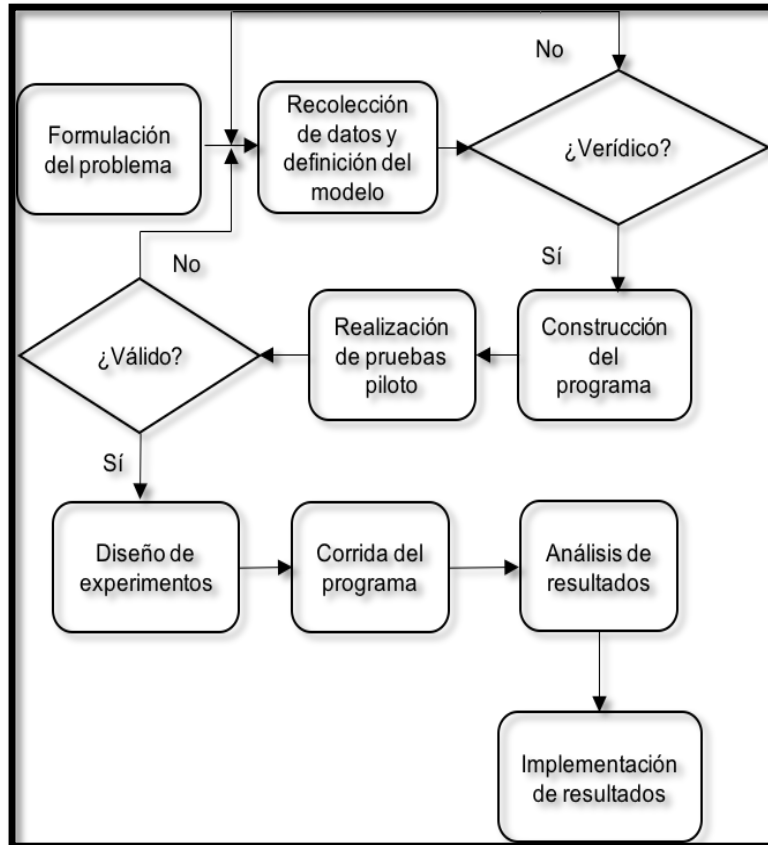


Figura 3.66. Metodología para un estudio de simulación.  
Fuente: Law, 2014.

### Formulación del problema: sistema vial

El modelo de simulación que se desarrolló fue el representativo del sistema vial del primer cuadro de una localidad. El sistema vial está integrado por tres calles y tres avenidas, en la figura 3.67 se aprecian el sentido de las mismas. La Avenida 5 de febrero es la principal arteria de entrada al sistema.

Uno de los problemas más significativos en la vialidad es la constante llegada de vehículos a la zona centro de la localidad, lo que ocasiona congestionamientos, (sobre todo el día domingo) lo que se vuelve un riesgo potencial de accidentes, mayor tiempo de circulación, poco espacio para estacionamiento, aunado a una cultura vial deficiente (que se evidencia en la forma y lugar de estacionarse, circulación en sentido contrario, conductores sin licencia, etc.) además del ambulante, los cierres y sentidos de las calles y la falta de aprovechamiento de las mismas.



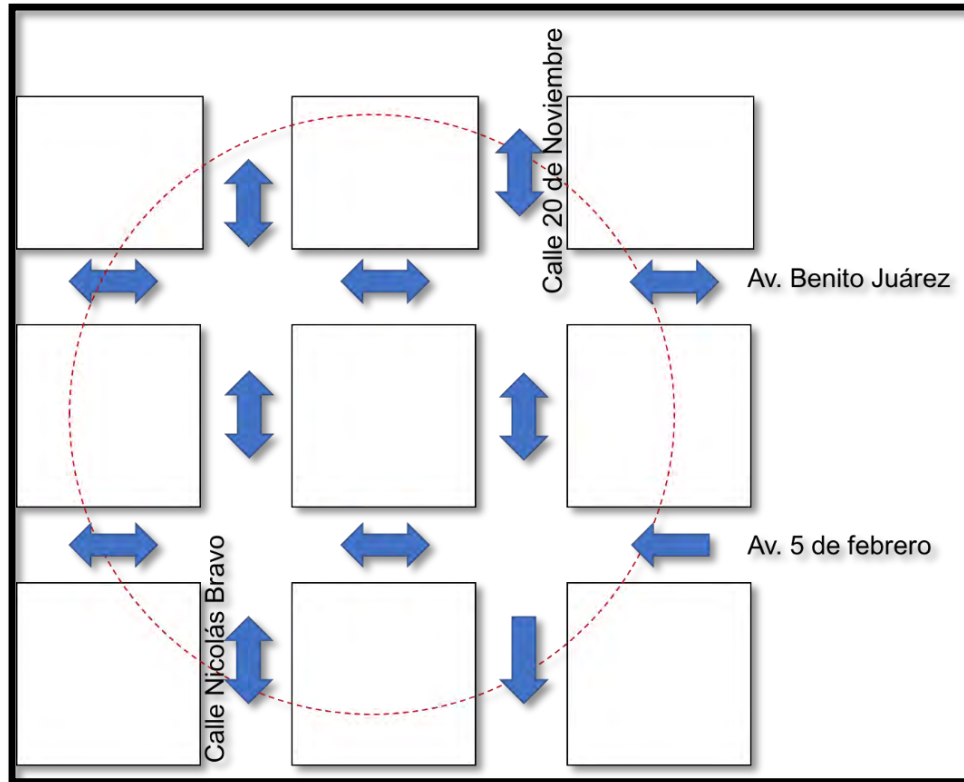


Figura 3.67. Primer cuadro vial de la localidad.

Fuente: Elaboración propia.

### Recolección de datos y definición

Para la recolección de datos se realizaron las siguientes actividades: definición de variables, establecimiento de puntos de muestreo, determinación de los horarios de recolección, diseño del instrumento de recolección de datos, recolección de datos, creación de bases de datos, tratamiento estadístico de datos.

La toma de datos se realizó durante tres meses; el horario seleccionado (por su mayor afluencia de vehículos) fue de las 8:00 a las 17:00 horas, durante ese lapso de tiempo se tomaron muestras de datos. El día domingo el sistema se comporta de manera diferente debido a los cierres que el ayuntamiento hace de calles, por lo que se generó un registro exclusivo para domingos.

Una vez recolectados los datos se procedió a su tratamiento estadístico, utilizando para ello el *Stat:Fit*, realizando las pruebas de bondad de ajuste pertinentes a cada una de las variables involucradas, que sumaron 16, entre tiempo de arribos por las diferentes calles y los tiempo de



estacionamiento. Una vez aplicadas las pruebas se obtuvo que todas se ajustaron a distribuciones teóricas conocidas.

### Verificación del modelo

El proceso que sigue un vehículo que arriba al primer cuadro es el siguiente: el vehículo puede o no cambiar de dirección, permaneciendo en la misma calle (avenida) que arribó o seleccionar otra calle (avenida), puede decidir si se estaciona o no, en caso de estacionarse permanecerá en el sistema cierto tiempo y posteriormente saldrá del sistema, conservando su misma dirección o cambiándola. Dicho proceso fue esquematizado en un diagrama de flujo y avalado por las autoridades pertinentes de la localidad.

### Construcción del modelo y pruebas piloto

El modelo fue construido en el simulador Promodel®, traduciendo el diagrama de flujo del sistema al lenguaje del simulador, utilizando elementos tales como locaciones, entidades, trayectorias, macros, variables, etc. La figura 3.68 muestra el *layout* del modelo.

Se corrieron 10 pruebas piloto a fin de asegurar que la animación y todos los detalles del modelo estaban correctos y para recabar información para la validación.



Figura 3.68. Layout del modelo.

Fuente: Elaboración propia a partir de Promodel®.

### Validación del modelo

Cada una de las 16 variables fue validada a fin de garantizar que los datos que arroja la simulación son estadísticamente iguales a los del sistema real, para tal acción se usó la prueba t-pareada con un tamaño de muestra de 10. La tabla 3.35 muestra el proceso de validación de la variable tiempo promedio de llegadas por la avenida 5 de febrero.

Tabla 3.35. Datos apareados de la variable tiempo promedio de llegadas por la Avenida 5 de febrero.

DATOS				
Corridas	Reales $X_j$	Simulados $Y_j$	$Z_j = (X_j - Y_j)$	$(Z_j - \bar{Z}_{10})^2$
1	0.57	0.36	0.21	0.038809
2	0.36	0.54	-0.18	0.037249
3	0.36	0.49	-0.13	0.020449
4	0.36	0.51	-0.15	0.026569
5	0.64	0.37	0.27	0.066049
6	0.5	0.51	-0.01	0.000529
7	0.57	0.67	-0.1	0.012769
8	0.64	0.62	0.02	0.000049
9	0.43	0.53	-0.1	0.012769
10	0.64	0.34	0.3	0.082369
SUMA			0.13	0.29761
PROMEDIO			0.013	

Se construyó un intervalo de confianza al 95% para  $Z_i = X_i - Y_i$

$$\bar{Z}_{10} = \frac{\sum_{i=1}^{10} Z_i}{n} = \frac{0.13}{10} = 0.013$$

$$\hat{V}ar[\bar{Z}_{10}] = \frac{\sum_{i=1}^{10} [Z_i - \bar{Z}_{10}]^2}{n(n-1)} = \frac{0.29761}{(10)(9)} = 0.003306$$

$$\bar{Z}_{10} \pm t_{n-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\hat{V}ar(\bar{Z}_n)}$$

$$0.013 \pm 2.262 \sqrt{0.003306}$$

$$(-0.13, +0.13)$$

El intervalo resultante incluyó al cero, por lo tanto, con un nivel de confianza del 95% se dice que cualquier diferencia observada entre los datos del sistema real y los del modelo de simulación no es significativa y puede explicarse por fluctuaciones aleatorias, aceptando que el modelo es válido.

Las quince variables restantes tuvieron un resultado similar.

### Diseño de experimentos y corridas del programa

Una expresión aproximada para el número total de replicaciones  $n^*(\beta)$  requerido para obtener un error absoluto  $\beta$  es dado por:

$$n^*(\beta) = \min \left\{ i \geq n : t_{i-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\frac{S^2(n)}{i}} \leq \beta \right\}$$

Es posible determinar  $n^*(\beta)$  incrementando  $i$  en uno hasta que un valor de  $i$  se obtiene para el cual:

$$t_{i-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\frac{S^2(n)}{i}} \leq \beta$$

Se utilizaron los datos simulados de la variable mostrada en la tabla 3.35, con un error absoluto de 0.020 minutos y un nivel de confianza del 95%, incrementado el valor de  $i$  hasta obtener lo siguiente:

$$i=55 : 2.0049 \sqrt{\frac{0.052}{55}} = 0.019 \leq 0.02$$

Por lo tanto, el número de replicaciones óptimo fue de 55 corridas del programa.

### Análisis de resultados

Una vez corrido el modelo 55 veces y simulado por dos semanas, se obtuvieron los siguientes principales resultados:

- La avenida con mayor afluencia de llegada de entidades fue la 5 de febrero con un total de 21570 vehículos mientras que la que registro la menor afluencia fue la 20 de noviembre con 746 entidades, ver figura 3.69.

- Las zonas con mayor utilización de estacionamientos son frente al Ayuntamiento con un 16% y en la avenida 5 de febrero entre 20 de noviembre y Mina, con un 8%.
- El tiempo promedio de estacionamiento de los vehículos en el sistema es de 20 minutos.
- Las zonas con mayor registro de estacionamiento fue la del boulevard con 1995 entidades seguida de la de enfrente de las oficinas del Ayuntamiento, con 1059 entidades.
- El tiempo promedio de estacionamiento del transporte público fue de 14 minutos.

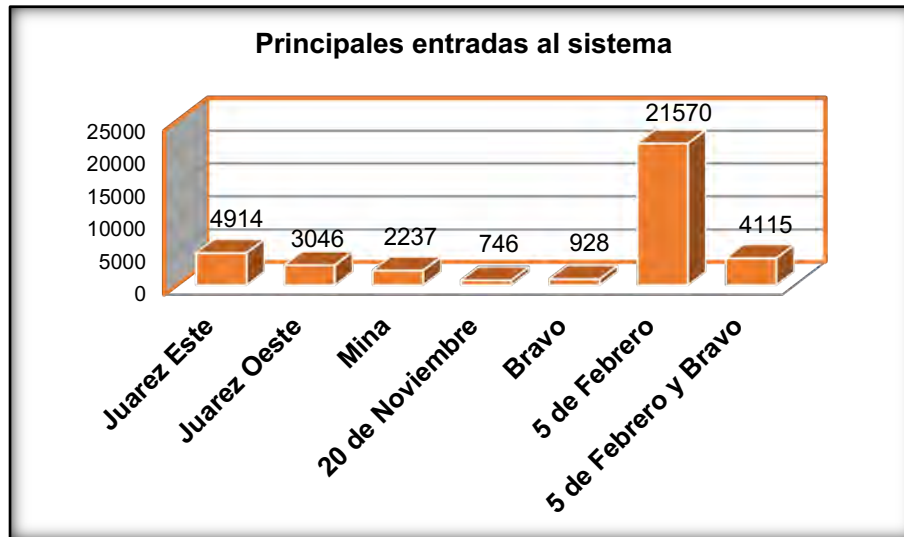


Figura 3.69. Arterias con los registros más altos de entradas al sistema.

Fuente: Elaboración propia.

- Las calles en las que se registró congestionamiento (10 vehículos) fueron la avenida 5 de febrero llegando a la esquina con la calle Mina y con la calle 20 de noviembre, esto se debe a que el transporte público va deteniendo el tránsito. Otra calle con congestionamiento (7 vehículos) es la calle 20 de noviembre para dirigirse a la avenida Hidalgo, esto debido a que es de las principales salidas del sistema.
- La figura 3.70 ilustra los cruces con mayor cantidad de tránsito vehicular.
- El tiempo promedio que una entidad (vehículo) demora en el sistema es, 8.57 minutos si se trata de transporte público y 4.35 minutos si es un vehículo diferente.

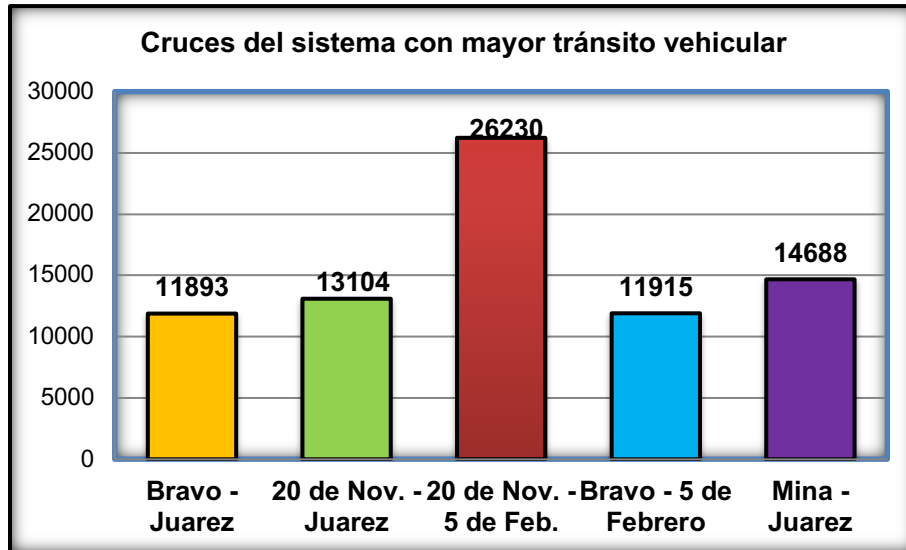


Figura 3.70. Cruceos con mayor afluencia vehicular.  
Fuente: Elaboración propia.

## Evaluación de mejoras

### Evaluación de la colocación de un semáforo en el cruceo 20 de noviembre vs 5 de febrero.

Una de las alternativas solicitadas por el Ayuntamiento y que se cree será la que logre una vialidad más ágil y segura es la de colocación de un semáforo en el cruceo principal. Dicha alternativa fue evaluada, siguiendo para ello la información referida por la ingeniería de tránsito y que alude a que se deben de cumplir con 6 requisitos para garantizar que la colocación de un semáforo logre una mejor vialidad (Cal y Mayor y Cárdenas, 2007).

La tabla 3.36 compara los seis requisitos antes mencionados y los resultados del modelo de simulación. Como puede observarse los requisitos de afluencia vehicular no se cubren ni en un 60%, sin embargo, la cantidad de peatones que cruza y la distancia entre el semáforo más próximo sí se cubren al 100%.

Tabla 3.36. Comparación de los requisitos de Cal y Mayor y Cárdenas versus programa de simulación.

Requisito Uno: Volumen mínimo de vehículos					
Vehículos por hora	Requisito		Modelo de Simulación		Cumplimiento %
	Calle principal	Calle secundaria	Calle principal	Calle secundaria	
	420	140	224	51	53
Requisito Dos: Interrupción del tránsito continuo					
	Requisito		Modelo de Simulación		

Vehículos por hora	Calle principal	Calle secundaria	Calle principal	Calle secundaria	Cumplimiento %
	630	70	224	51	
<b>Requisito Tres: Volumen mínimo de peatones</b>					
	Requisito		Modelo de Simulación		Cumplimiento %
	Número de peatones en ocho horas	Vehículos por hora	Número de peatones en ocho horas	Vehículos por hora	
	150 o más	420	150 o más	224	100
<b>Requisito Cuatro: Circulación progresiva</b>					
Distancia del semáforo más próximo	Requisito		Sistema real		Cumplimiento %
	Más de 300 metros		Más de 300 metros		
					100
<b>Requisito Cinco: Antecedentes acerca de los accidentes</b>					
Accidentes <sup>0</sup>	Requisito		Sistema real		Cumplimiento %
	5 o más en los últimos doce meses		0 accidentes registrados en los últimos 5 años		
					0
<b>Requisito Seis: Combinación de los requisitos anteriores</b>					
Combinación de requisitos	Requisito		Sistema real		Cumplimiento %
	Al menos dos o más requisitos se satisfacen en un 80%		Tres requisitos se cumplen al 100%		
					100

## Consideraciones finales

Se obtuvo un modelo de simulación representativo del sistema real, en donde se conoció el comportamiento del sistema, se evaluaron los datos que sustentan la colocación de un semáforo en el cruce más transitado de la localidad, sin embargo, es importante aclarar que los requisitos que se cubren son los que obedecen a la cantidad de peatones que cruzan y a la distancia entre semáforos (de hecho de colocarse sería el primero en la localidad), en cuanto a afluencia vehicular el cumplimiento de los requisitos queda muy corto, por lo que se sugiere a las autoridades experimentar otras alternativas, quizá reductores de velocidad, cambios en el sentido de las calles, etc., antes de invertir en la colocación del semáforo.

Actualmente se está trabajando con el ciclo del semáforo, pues es necesario simular la alternativa, los resultados serán evaluados en cuanto a las medidas de desempeño tales como tiempo en el sistema y longitud de la cola. Por supuesto, todas las alternativas que se experimenten deben de tener como objetivo principal la seguridad.

La simulación ha probado ser una de las técnicas más versátiles de la ingeniería industrial, la posibilidad de probar escenarios varios ofrece una de las ventajas más significativas, además la predicción se suma y favorece la toma de decisiones.

## 3.2.4. Diagnóstico de las causas de devolución del producto en un ingenio azucarero y generación de acciones para mejorar su calidad

*Vázquez Tzitzihua Leticia*

### Contexto del estudio

La producción mundial de azúcar en los últimos años ha sostenido un alto nivel, generando importantes excedentes para el mercado mundial. Los principales países productores de azúcar son Brasil, La India, Estados Unidos, China, México, Tailandia, Australia, Cuba y Pakistán; estos países concentran el 70 por ciento de la producción mundial (Hernández, 2008).

México ha permanecido como uno de los 10 principales productores de azúcar del mundo en los últimos años, satisfaciendo regularmente sus necesidades internas de consumo y exportando sus excedentes principalmente a los Estados Unidos, sin embargo, la industria azucarera mexicana, ha pasado por fuertes crisis, de acuerdo con Crespo (1988) en los últimos cien años ha sido marcada en etapas económicas que caracterizan el desarrollo histórico de esta industria. Enríquez (2008) mencionó que era evidente que el ingenio azucarero que resistiese esta fase conocida como “la peor de las crisis económicas de la industria azucarera en la historia de México” sería aquel que busca alternativas que le brinden ventajas sobre sus competidores, específicamente en calidad, servicio, respuesta a los tiempos de entrega y a la demanda del producto, principalmente para producir a un costo más bajo.

Para lograr la ventaja competitiva, los ingenios azucareros optaron por la implementación de técnicas, métodos, normas y una diversidad de herramientas, entre ellas, el control estadístico de la calidad, que debido a su versatilidad y facilidad de implementación, hoy en día son utilizadas para el análisis y mejora de los procesos productivos y administrativos.

Ésta investigación presenta el desarrollo de herramientas para el control estadístico de procesos, utilizadas en la detección de la causa principal de las devoluciones de azúcar en un ingenio del estado de Veracruz, así mismo, se emplearon para identificar la causa de devolución principal y direccionar las acciones para eliminar dicha causa; finalmente, se usaron para realizar la evaluación de las acciones implementadas.

## Aplicación de la metodología

### Identificación de las causas que generan la devolución del producto

La investigación consiste en realizar el diagnóstico de las causas de devolución del producto de un ingenio azucarero, para llevar a cabo la primera fase, es indispensable la participación de los responsables del área de elaboración de azúcar, quienes participaron en una lluvia de ideas donde se determinaron los problemas principales de rechazos de producto terminado durante la zafra 2013-2014, dichas ideas son las que se puntualizan enseguida: Presencia de aterronamiento en sacos y súper sacos de la bodega de azúcar.

- ✓ Alto color ICUMSA del azúcar.
- ✓ Presencia de partículas metálicas en el azúcar.
- ✓ Apelmazamiento en tolvas de azúcar seca.
- ✓ Alto porcentaje de humedad en producto terminado.
- ✓ Presencia de finos y gruesos en tolvas.

### Determinación de la causa de devolución más recurrente

Para determinar la causa de devolución que genera el mayor número de devoluciones, se utilizó un diagrama de Pareto, que es una gráfica en donde se organizan diversas clasificaciones de datos por orden descendente, de izquierda a derecha, mediante este diagrama se pueden detectar los problemas que tienen más relevancia, por lo general, el 80% de los resultados totales se originan en el 20% de los elementos. Tomando como referencia la lluvia de ideas se realizó el diagrama de Pareto de la siguiente forma:

- A. Se le asignó a cada problema detectado un valor ponderado de acuerdo al grado de afectación (frecuencia) percibido por el personal involucrado.
- B. Se ingresaron los problemas con su respectivo valor ponderado al programa Minitab, para obtener la gráfica de la figura 3.71.
- C. Se detectaron las causas principales a combatir (80 por ciento) en cada una de las áreas, a partir del diagrama de Pareto elaborado.



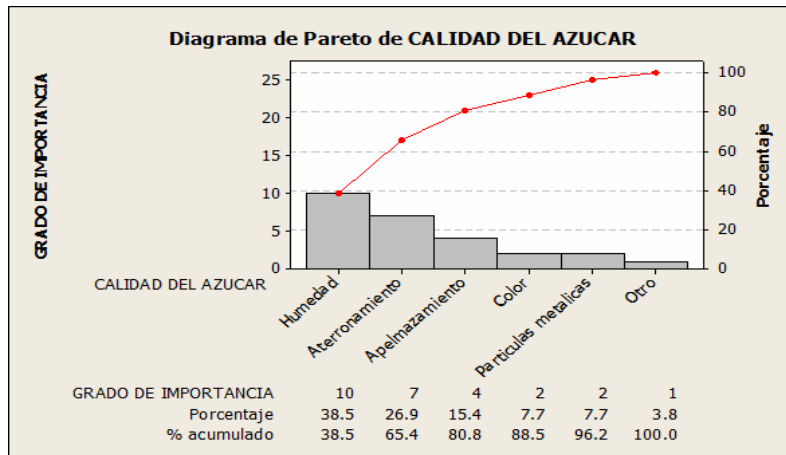


Figura 3.71. Diagrama de Pareto del porcentaje de problemas de la calidad de azúcar.

En la figura 3.71 se observa que el 80% de los problemas de devoluciones, se deben a la humedad, el aterronamiento y apelmazamiento del azúcar. En el análisis subjetivo de los resultados del diagrama de Pareto, los expertos en el tema coinciden que el aterronamiento y el apelmazamiento del azúcar son originados por la humedad. Por lo tanto, las acciones generadas en la investigación, se dirigen a disminuir el porcentaje de humedad en el producto.

### Determinación de los factores determinantes en la humedad del azúcar

Para identificar las causas que originan el elevado porcentaje de humedad en el azúcar, se recurrió a la construcción del diagrama de causa-efecto, las actividades realizadas fueron las siguientes:

- A. Cada persona del departamento de elaboración de azúcar emitió aportaciones para la determinación de causas que podrían ocasionar humedad, aterronamiento y apelmazamiento.
- B. Se agruparon las causas obtenidas en algunos de los seis principales rubros que pueden causar la desviación de los procesos y que corresponden a: mediciones, material, personal, entorno, métodos y maquinas.
- C. Se obtuvo la gráfica causa-efecto para determinar los factores de humedad en azúcar, introduciendo datos al programa Minitab: nombre del problema principal y las causas dentro de los seis rubros de análisis, para obtener la gráfica de la figura 3.72.



Figura 3.72. Diagrama causa-efecto de los factores que determinan la humedad de azúcar.

### Generación de acciones

En base a las causas determinadas se formularon las acciones correspondientes para mejorar el porcentaje de humedad en el azúcar, para ello es necesario conocer el comportamiento actual de la variable, por lo que se recurrió a la elaboración de un histograma de frecuencias. Los datos utilizados fueron el 100% de los obtenidos en un mes de producción. La figura 3.73 muestra el comportamiento estadístico del proceso.

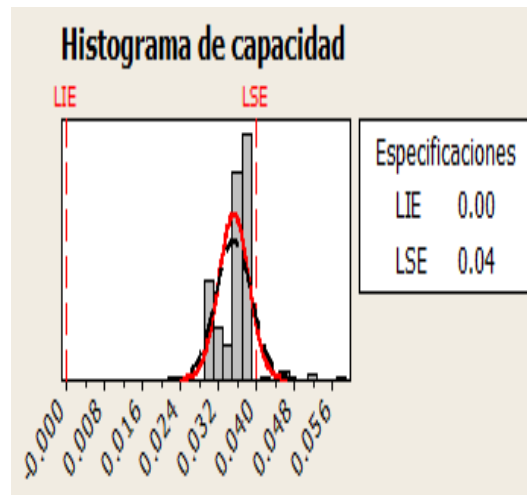


Figura 3.73. Histograma de frecuencias del primer mes de zafra 2013-2014.

En la gráfica que muestra la figura 3.73, se observa claramente como el proceso de porcentaje de humedad en el azúcar no se encuentra centrado con respecto a sus especificaciones, ya

que existen datos que superan el límite máximo requerido para evitar devoluciones del producto, y que es de 4% de humedad; la variabilidad del proceso es evidente. Derivado de lo anterior, con las acciones se buscará primeramente centrar el proceso, para que consiguientemente se reduzca la variabilidad y con ello se establezca la variable de porcentaje de humedad en el azúcar.

El análisis estadístico, sirvió de apoyo para determinar los siguientes cambios físicos en la maquinaria de secado:

- Determinación de la repotenciación de maquinaria de secado.
- Análisis de flujo de aire en los roto clones 1, 2, 3 y 4 con aire frío y caliente.
- Cambio de inclinación de elevadores de azúcar Norte y Sur de acuerdo con los datos del cuadro 1.

### Seguimiento de las acciones

Inicialmente se realizaron las modificaciones para la repotenciación de la maquinaria de secado, esta actividad consistió en corregir el ángulo de inclinación de los dos secadores de azúcar, a fin de proporcionar una mayor residencia del producto dentro del equipo y lograr el secado esperado, así mismo, se obtendrá una cortina de azúcar que permite que el aire actúe en el proceso de secado. La figura 3.74 muestra los secadores de tambor rotativos y su ajuste.

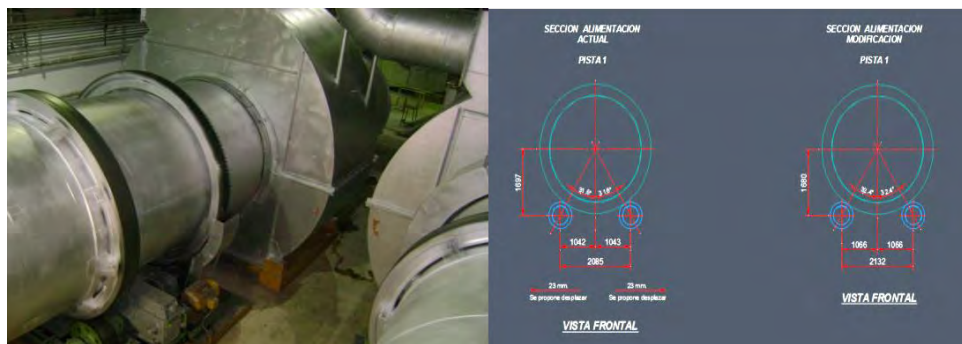


Figura 3.74. Ajuste a realizar a los secadores.

Las modificaciones a los secadores rotativos implicaron una re-configuración puramente de la inclinación de los tambores y los elevadores del tambor para lograr un aumento significativo de la capacidad y la instalación de la instrumentación y los controles para manipular las condiciones de operación del secador sobre el total del rango del flujo de azúcar (0% -100% de su capacidad).

Con respecto a la corrección del ángulo de inclinación de los secadores de azúcar, se realizaron pruebas de eficiencia de secado, la propuesta fue conseguir retener el azúcar por mayor tiempo en el interior del secador, originalmente la inclinación de los secadores era de 3°, la modificación dejó dicha inclinación en 1.8°.

Finalmente, se realizó el análisis del flujo de aire inducido de los rotoclones, mismo que se validó de acuerdo a lo establecido en la ficha técnica de los equipos, donde la capacidad del tiro inducido es de 36000 m<sup>3</sup>/h, esto permite obtener un mayor flujo de aire para realizar el intercambio de calor y poder extraer el agua del azúcar como vapor de agua y poder secarla. El análisis determinó la capacidad de operación actual de los rotoclones, en la tabla 3.37 se muestran los resultados.

Tabla 3.37. Cuadro de flujo de aire de los rotoclones en el proceso de secado.

Número de Rotoclón	Flujo de aire caliente	Flujo de aire frío
1	23,931 m <sup>3</sup> /h	-
2	-	18, 844 m <sup>3</sup> /h
3	-	39, 374 m <sup>3</sup> /h
4	36, 354 m <sup>3</sup> /h	

Como es evidente el rotoclón 2 está manifestando deficiencias en su funcionamiento al trabajar 52% de su capacidad de diseño, ante esta situación se validó la acción de modificar el equipo, la acción generada fue el cambio de los sellos del tambor en los distintos puntos de conexión entre zona caliente y zona fría, la finalidad fue eliminar todo tipo de ingreso de aire al secador.

### **Análisis de la efectividad de las acciones generadas**

Después de las modificaciones realizadas en los elevadores se procede nuevamente a la toma de datos para el análisis del proceso en la zafra 2014-2015, los datos corresponden al 100% de las mediciones del porcentaje humedad durante el primer mes de molienda del ingenio. Se recurre por segunda ocasión al histograma de frecuencias para evaluar si el proceso de humedad del azúcar logró centrarse y reducir la variabilidad. La figura 3.75 muestra la gráfica obtenida.

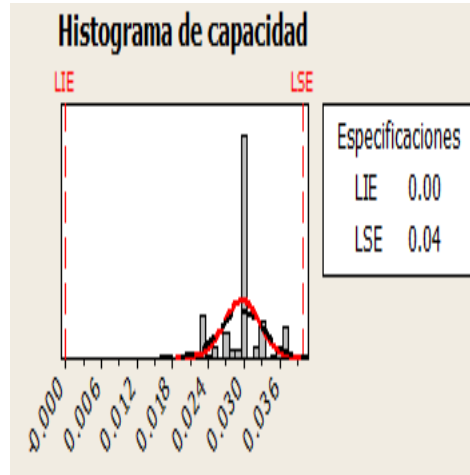


Figura 3.75. Histograma de frecuencias del primer mes de zafra 2014-2015.

En esta ocasión se observa un proceso que cumple con la especificación de la humedad del 4% máximo, sin embargo, no se percibe un proceso centrado con respecto de sus límites. Se espera que, durante el transcurso de la zafra, logre centrarse o por lo menos, disminuir su variabilidad. Posterior al montaje, se realizaron las mediciones de flujo para corroborar la eficiencia de los flujos de aire de los rotoclones, los resultados se muestran en la tabla 3.38.

Tabla 3.38. Flujo de aire de los rotoclones en el proceso de secado.

Número de Rotoclón	Flujo de aire caliente	Flujo de aire frío
1	23,931 m <sup>3</sup> /h	-
2	-	35,844 m <sup>3</sup> /h
3	-	39,374 m <sup>3</sup> /h
4	36,354 m <sup>3</sup> /h	

Se detecta que incrementó el flujo de aire frío del rotoclón número dos, de 18,844 m<sup>3</sup>/h a 35,844 m<sup>3</sup>/h, resultados que también contribuyeron a disminuir el porcentaje de humedad del azúcar.

## Evaluación de mejoras

Esta investigación diagnosticó las causas que originaban las devoluciones de azúcar en la zafra 2013-2014 en un ingenio azucarero dentro del estado de Veracruz, se detectaron como causas principales de devolución, la humedad, el aterronamiento y el apelmazamiento del producto, posteriormente se generaron acciones para mejorar éstos aspectos, coincidiendo los expertos que el aterronamiento y apelmazamiento se encontraban en función de la humedad, por lo tanto

las acciones se encaminaron a cumplir con la especificación de humedad del azúcar, que es de 4% máximo.

Las herramientas aplicadas contribuirán al mejoramiento de la calidad del producto, derivado de ello la empresa podrá obtener un elevado y permanente nivel de competitividad a base de adquirir un compromiso total entre empleados y gerencia para cumplir con las especificaciones del cliente obteniendo con ello su total satisfacción.

### **Consideraciones finales**

La aplicación de herramientas estadísticas de calidad en el sector industrial azucarero resultó ser de mucha importancia, pues a través de ellas se pudo llevar a cabo el diagnóstico de devolución de producto y establecer estrategias de mejora de la calidad. Durante el desarrollo de la investigación, se observó que la participación de los trabajadores es de vital importancia para el desarrollo de cualquier metodología o herramienta y que es necesario generar conciencia en los trabajadores y principalmente de involucrarlos en el logro de las metas organizacionales, así mismo, se confirmó que sí es posible implementar acciones de mejora que no sólo contribuyen positivamente en las utilidades de la empresa, sino que además, aportan beneficios económicos en los cuales todos ganan.

## 3.2.5. Determinación de parámetros operativos del subproceso “limpieza” en proceso de galvanizado por inmersión en caliente

*Tobón Galicia, Lucila Guadalupe*

### Contexto del estudio

Hoy en día, las diferentes organizaciones industriales, comerciales y de servicios, se encuentran inmersas en mercados globalizados y por tanto altamente competitivos, por ello constantemente se ocupan de mantener niveles óptimos de calidad y productividad, para lograrlo, es necesaria la producción de bienes y servicios de forma económica y eficiente.

En busca de la calidad y productividad, las empresas implementan diferentes técnicas, herramientas, e incluso realizan pruebas y experimentos con la intención de comprobar supuestos o de dar respuesta a sus interrogantes, para las pruebas o experimentos, no siempre se sigue una metodología o un plan experimental, que garantice la veracidad de los resultados, ya que se realizan sobre la marcha y apoyados de la intuición y experiencia de los involucrados en los procesos.

En ésta investigación se utiliza una técnica estadística denominada diseño de experimentos, que implica una serie de pasos para la realización de pruebas efectivas. El diseño de experimentos consiste en determinar cuáles pruebas se deben realizar y de qué manera, para obtener datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas, y de esa manera clarificar los aspectos inciertos de un proceso, resolver un problema o lograr mejoras. (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2008)

El diseño de experimentos será aplicado en el subproceso “limpieza” de un proceso de galvanizado en caliente, que realiza una empresa de servicios anticorrosivos del estado de Veracruz, en la que actualmente, no se dispone de una estandarización de los parámetros de operación que implica su proceso y al contar con diferentes turnos, operadores y productos que limpiar, sus tiempos de operación, el consumo de materiales y el resultado del proceso es

abismalmente diferente, ya que cada persona trabaja en función a su experiencia y nivel de observación.

Se usó un diseño de experimentos de tipo factorial, específicamente un  $2^4$ , es decir, de cuatro factores con dos niveles cada uno. Las variables consideradas como factores fueron: porcentaje de concentración de ácido en la tina, tipo de material (con arreglo o sin arreglo), contenido de óxido del material (niveles de oxidación) y el tiempo de permanencia del material en la tina (minutos); la variable de respuesta es la limpieza, medida por el porcentaje de óxido de la superficie del material. Según (Gabrielsson, Lindberg, & Lundstedt, 2002) referenciado por (Fernández N., y otros, 2008), para que éste tipo de experimentos tenga validez estadística se realiza usualmente un experimento en el centro del área de muestreo, por lo que en la experimentación se cuidó de cumplir con éste requisito.

Para la elección de los factores y niveles de factor, fue necesario realizar recorridos por las diferentes etapas del proceso a fin de identificar las variables posibles de medir; derivado de los recorridos, el primer listado de variables que pudieran afectar la limpieza de los materiales, es el siguiente:

- Tipo de material ingresado al proceso.
- Cantidad de óxido del material ingresado al proceso.
- Temperatura de la solución alcalina.
- Concentración del ácido clorhídrico.
- Tiempo de permanencia del material en la tina.
- Concentración de la mezcla de cloruros.
- Temperatura del aire de secado.
- Tiempo de secado.
- Temperatura del baño de zinc.

Durante los mismos recorridos se logró identificar que los diversos trabajadores que rolaban por las áreas, no mostraban diferencias para ejecutar sus actividades en algunas de las variables identificadas, como son: la temperatura de la solución alcalina, la concentración de la mezcla de cloruros, la temperatura del aire de secado, el tiempo de secado y la temperatura del baño de zinc; sin embargo, sí existían diferencias en la concentración del ácido clorhídrico utilizado, las dos cantidades mayormente repetidas fueron 3% y 19%, mismas que se consideraron niveles de factor; también en los tiempos de permanencia del material en la tina se observó que el personal



trabajaba con tiempos  $\leq 39$  minutos o bien  $> 39$  minutos; así mismo, se observó que los materiales ingresados al proceso son de dos tipos, galvanizados previamente y sin galvanizado previo y que la cantidad de óxido que poseen los materiales al ingresar al proceso, tienen particularmente dos apariencias, como se muestra en la figura 3.76.

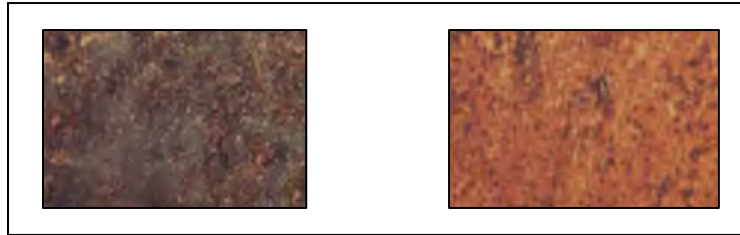


Figura 3.76. Niveles de oxidación del material que ingresa al proceso de galvanizado en caliente.

Con los factores, niveles de factor y variable de respuesta determinados, se esperó que el diseño de experimentos permitiera encontrar las condiciones de operación de las variables consideradas como factores, de tal forma que se reduzcan los efectos y se logre un mejor desempeño del proceso, en éste caso de limpieza del material.

## Aplicación de la metodología

La figura 3.77 muestra la metodología utilizada en el desarrollo de éste trabajo.

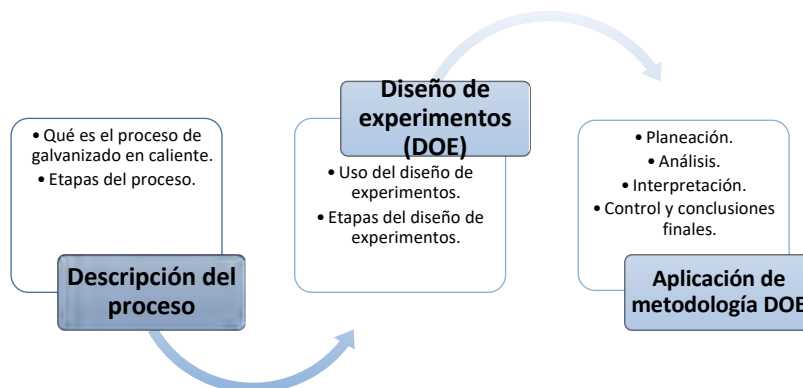


Figura 3.77. Pasos a seguir en el desarrollo del trabajo.

## Descripción del proceso

El proceso de galvanizado por inmersión en caliente es uno de los procesos industriales orientados a brindar protección contra la corrosión a una gran variedad de productos elaborados

con hierro o acero. Se consigue mediante la inmersión de los materiales en un baño de zinc fundido, que no sólo recubre sino que forma una aleación de hierro y zinc, que resulta de gran resistencia a los diferentes agentes de corrosión que existen en el ambiente, como el suelo, el agua y la atmósfera.

Éste proceso se lleva a cabo mediante nueve etapas o subprocesos que se muestran resumidos en la figura 3.78, el primero es el colgado de las piezas, para su procesamiento, se cuelgan con alambre, alambcón, arreglos especiales o racks adecuados, dependiendo del tipo de material y de sus dimensiones; el segundo corresponde al desengrase, que consiste en eliminar algún resto de grasa o aceite impregnado, mediante el sometimiento de la pieza en soluciones alcalinas calientes; la tercera etapa es la de lavado, que busca evitar el arrastre de las soluciones de desengrase a la etapa siguiente que es limpieza, también nombrada decapado, donde se elimina el óxido y la calamina, que son contaminantes superficiales más comunes de los productos féreos, se utiliza ácido clorhídrico diluido a fin de obtener una superficie de acero químicamente limpia; posteriormente los materiales vuelven someterse a un lavado, que evita el arrastre del clorhídrico a la próxima etapa denominada baño de sales, que es la inmersión de los materiales en una mezcla acuosa de cloruros que tienen por objetivo eliminar los restos de impurezas, realizar una limpieza intensa de la superficie metálica y favorecer la impregnación del zinc fundido con la superficie de acero; el subproceso siete es el secado en aire caliente, donde los productos mojados por las soluciones acuosas, se introducen en un foso de secado con aire caliente, para en seguida pasar a la penúltima etapa, galvanizado, que se realiza sumergiendo las piezas en un baño de zinc fundido a temperaturas de 440 a 460 grados centígrados, el tiempo de permanencia de la pieza, depende de factores como: la composición del acero, la temperatura del baño de zinc, del espesor del acero, entre otros; finalmente se pasa a la etapa de enfriamiento, que puede realizarse utilizando agua o bien dejar al aire la pieza, en ésta etapa también se eliminan rebabas, gotas punzantes, cenizas, adherencias o restos de sales.



Figura 3.78. Proceso de galvanizado por inmersión en caliente, por etapas.

## Diseño de experimentos

El diseño de experimentos es una herramienta que se utiliza para el mejoramiento de productos y de procesos, a fin de que los bienes producidos sean adecuados a los requisitos de los clientes, el pionero en éste campo fue Ronald A. Fisher, quien inicialmente aplicó la herramienta en el campo de la agricultura, posteriormente, fueron aplicados problemas industriales en los países de Estados Unidos y Gran Bretaña. Según (Lawson, Madrigal, & Erjavec, 1992) referenciado por (Medina V., Cruz T., & Hernan Restrepo, 2007) una de las ventajas de estos métodos es que permite el estudio de diferentes variables simultáneamente. Además, son empíricos y no requieren de la definición de modelos matemáticos para describir situaciones físicas. En lugar de eso, involucran planes de experimentos con procedimientos definidos que agilizan la determinación de soluciones e interpretación de datos.

Para llevar a cabo un diseño de experimentos exitosos, autores como (Gutierrez Pulido & De la Vara Salazar, 2008) recomiendan las siguientes etapas: Planeación y realización, análisis, interpretación, control y conclusiones finales.

En la etapa de planeación se realizan actividades que tienen por objetivo delimitar el problema u objeto de estudio, seleccionar la variable de respuesta, los factores y los niveles de cada factor; finaliza con la especificación de los tratamientos y la organización del trabajo experimental. La etapa de análisis consiste en recurrir a métodos estadísticos para ver si las diferencias o efectos muestrales son suficientes para que garanticen diferencias poblacionales, la principal técnica estadística utilizada se llama análisis de varianza, conocida como ANOVA por su acrónimo en inglés (Analysis Of Variance). La interpretación se realiza con el respaldo del análisis estadístico, aquí se contrastan las conjeturas iniciales con los resultados del experimento, surgen nuevos aprendizajes sobre el proceso en estudio, se verifican supuestos y se eligen tratamientos ganadores. Finalmente, en la etapa de control y conclusiones finales, se recomienda proponer medidas a implementar para generalizar el resultado del estudio y para garantizar mejoras.

## Aplicación de la metodología de diseño de experimentos

**Planeación:** Con el apoyo de los trabajadores y supervisores del área de limpieza de materiales, se determinó la variable de respuesta, así como también los factores y sus correspondientes niveles de factor, a continuación se hace una descripción detallada.

La variable de respuesta es la limpieza de la pieza, se mide en porcentaje, de acuerdo a la superficie del material que ha quedado libre de óxido en la primera inmersión a las tinas de ácido clorhídrico, la información utilizada es el promedio de dos tomas de datos bajo cada condición de operación, obtenida a través de la aplicación de diagramas de recorridos; los factores que se consideran de impacto a la respuesta son: inicialmente el nivel de oxidación que presenta el material, para ello se utiliza un referente gráfico para cada nivel, en segundo lugar el tipo de material, que hace referencia a dos clases, con arreglo (el material ya fue galvanizado) y sin arreglo (el material no ha sido galvanizado), el tercer factor es la concentración del ácido en las tinas, con valores desde 3% hasta 19% y finalmente el tiempo que tardan los materiales en la tina, en éste factor sus niveles ocupan dos rangos, los menores a 39 minutos y los mayores a 39 minutos. Con respecto a la replicación, los recursos pueden determinar el número de réplicas a ejecutar. Por ejemplo, si el experimento es extremadamente costo, tal vez sólo pueda ejecutarlo una sola vez (Soporte de Minitab 18, 2018); para éste caso el recurso tiempo fue el limitante, el periodo destinado al trabajo de campo sólo permitió conseguir la homogeneidad de las unidades experimentales en dos corridas ejecutadas, es decir, se tomaron dos datos por cada tratamiento, cabe mencionar que un tratamiento es la condición específica del experimento bajo del cual está sujeto la unidad experimental (Badii, Castillo, Rodríguez, Wong, & Villalpando, 2007); de esta manera, el tiempo disponible para el trabajo de campo las unidades experimentales más homogéneas posibles para poder realizar las mediciones correspondientes.

**Análisis:** Los datos fueron analizados en un software estadístico, primeramente fue necesario crear el diseño factorial, que como ya se mencionó anteriormente es un diseño factorial completo  $2^4$ , es decir, de cuatro factores con dos niveles y dos réplicas por tratamiento; una vez creado el modelo, se siguió el orden aleatorio proporcionado por el software para la experimentación y se introdujo el valor obtenido de la variable de respuesta para cada caso. Posteriormente se le indicó al software validar los supuestos del modelo, así como también realizar el análisis de varianza correspondiente, los resultados del análisis en el software se muestran en la figura 3.79 y tabla 3.39.

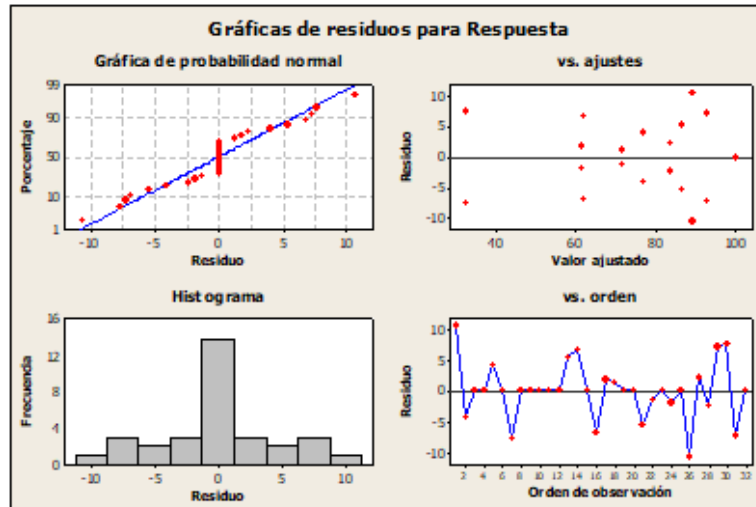


Figura 3.79. Validación estadística del modelo, normalidad, homocedasticidad y aleatoriedad.

En la figura 3.79, se visualiza inicialmente en la esquina superior izquierda, el gráfico de probabilidad normal, que muestra la significancia estadística y magnitud de los efectos estandarizados, de tal forma que los puntos que se alejan de la línea denotan mayor significancia del efecto (Minitab, 2017). Esta gráfica sirve para evaluar el supuesto de normalidad de los datos requerido por el diseño de experimentos. Para esta investigación se observan datos ajustados a la diagonal principal, así como también puntos ligeramente alejados que denotan un efecto más significativo. La gráfica de los residuales contra los valores ajustados, que se utiliza para verificar el supuesto de que los residuos están distribuidos aleatoriamente y tienen una varianza constante. Lo ideal es que los puntos se ubiquen aleatoriamente a ambos lados del 0, con patrones no detectables en los puntos. La figura 3.79, muestra que el comportamiento de las varianzas es uniforme, no se perciben datos atípicos, por lo tanto el modelo también cumple la condición de homocedasticidad.

Finalmente la gráfica de residuales contra el orden de los datos, que se localiza en la esquina inferior derecha de la figura 3.79, y se utiliza para verificar el supuesto de que los residuos son independientes entre sí. Los residuos independientes no muestran tendencias ni patrones cuando se muestran en orden cronológico, lo ideal es que los residuos que se muestran en la gráfica se ubiquen aleatoriamente alrededor de la línea central (Minitab, 2017), como es el caso de los datos analizados en ésta investigación, donde la mayoría de los datos tienen un comportamiento aleatorio, considerando también que no se tuvo sesgo alguno, por ejemplo, la manipulación de datos, por esto se concluye que el modelo está cumpliendo el supuesto de aleatoriedad.

Una vez analizados los supuestos del modelo, corresponde ahora evaluar los resultados emitidos por el ANOVA, que se presenta en la tabla 3.39, dónde se pueden percibir las fuentes de variabilidad, de los efectos y de las interacciones.

Es importante mencionar cómo quedaron establecidas las hipótesis a probar:

- H0: Los niveles de los factores no afectan la variable de respuesta.
- H1: Los niveles de los factores si afectan la variable de respuesta.

**Interpretación:** El ANOVA servirá para determinar si el modelo explica la variación en la respuesta, para ello se requiere comparar p-valor del modelo con un nivel de significancia, de tal forma que se evalúe la hipótesis nula. En éste caso se utilizó un nivel de alfa de 0.05, lo que indica un riesgo del 5% de concluir que el modelo explica la variación de la respuesta cuando realmente así no es. Los criterios para concluir son los siguientes:

- Valor  $p \leq \alpha$ : El modelo explica la variación en la respuesta.
- Valor  $p > \alpha$ : No hay suficiente evidencia para concluir que el modelo explica la variación en la respuesta.

Tabla 3.39. Tabla del Análisis de varianza de factores e interacciones.

Fuente de variación	GL	SSC	CM	F	P
Efectos Principales	4	7294.8	1823.7	44.48	0
Nivel de oxidación	1	1393.9	1393.92	33.9	0
Tipo de material	1	363.2	363.15	8.86	0.009
Concentración de ácido	1	4077	4077.05	99.43	0
Tiempo del material en la tina	1	1460.7	1460.7	35.62	0
2. Interacciones de (No.) Factores	6	2445.1	407.52	9.94	0
Nivel de oxidación*Tipo de Material	1	871.5	871.53	21.25	0
Nivel de oxidación*Concentración de ácido	1	651.6	651.61	15.89	0.001
Nivel de oxidación*Tiempo del material en la tina	1	485.2	485.16	11.83	0.003
Tipo de material*Concentración de ácido	1	145.4	145.35	3.54	0.078
Tipo de material*Tiempo del material en la tina	1	30.4	30.42	0.74	0.402
Concentración de ácido*Tiempo del material en la tina	1	261.1	261.06	6.37	0.023
3. Interacciones de (No.) Factores	4	1422.4	355.59	8.67	0.001
Nivel de oxidación*Tipo de material*Concentración de ácido	1	690.1	690.06	16.83	0.001
Nivel de oxidación*Tipo de material*Tiempo del material en la tina	1	471.2	471.24	11.49	0.004
Nivel de oxidación*Concentración de ácido*Tiempo del material en la tina	1	104.4	104.4	2.55	0.13
Tipo de material*Concentración de ácido*Tiempo del material en la tina	1	156.6	156.64	3.82	0.068
4. Interacciones de (No.) factores	1	340.6	340.61	8.31	0.011
Nivel de oxidación*Tipo de material *Concentración de ácido*Tiempo del material en la tina	1	340.6	340.61	8.31	0.011
Error residual	16	656.1	41		
Error puro	16	656.1	41		

**Control y conclusiones finales:** Posterior al análisis de varianza, se utilizó el software estadístico para optimizar las respuestas, es decir, para buscar el nivel óptimo de cada factor, entendiendo por nivel óptimo, al nivel de factor que maximiza el porcentaje de limpieza (respuesta), cabe mencionar que los datos utilizados para éste procesamiento fueron: como límite inferior el 80% de limpieza y como valor objetivo el 100%, una vez corridos los datos en el software los resultados obtenidos los muestra la figura número 3.80.

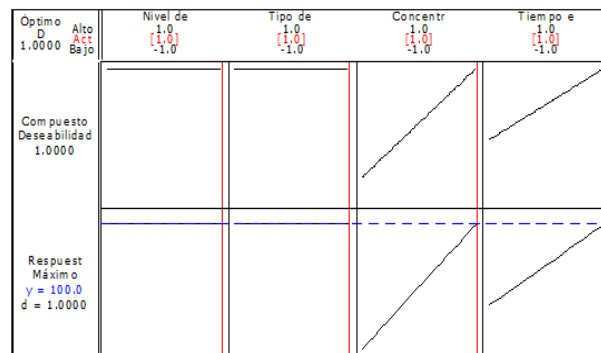


Figura 3.80. Optimización de la respuesta para hallar el nivel óptimo de cada factor.

## Evaluación de mejoras

De acuerdo al análisis emitido por el ANOVA y a los criterios de interpretación, se obtiene como resultado que la hipótesis nula debe rechazarse, es decir, que el modelo propuesto sí explica la variación en la respuesta, por lo tanto las variables consideradas como factores si afectan al porcentaje de limpieza obtenido. Con respecto a los niveles óptimos de cada factor y en función del análisis de optimización de respuestas se obtuvo que los niveles de operación óptimos de cada factor son:

- ✓ Nivel de oxidación: Referente gráfico utilizado como nivel alto.
- ✓ Tipo de material: Se sugiere utilizar el tipo de material sin arreglo.
- ✓ Concentración del ácido: Se recomienda utilizar la concentración al 19%.
- ✓ Tiempo del material en la tina: Deberá ser mayor a 39 minutos.

## Consideraciones finales

Se utilizó un diseño de experimentos de cuatro factores con dos niveles cada factor, el objetivo fue primeramente identificar si las variables consideradas independientes afectaban a la

respuesta (variable dependiente), de acuerdo al análisis de varianza se obtuvieron valores p-valor de 0, 0.009, 0, 0 correspondientes al nivel de oxidación, tipo de material, concentración de ácido y tiempo de material en la tina, respectivamente, como los valores obtenidos son  $\leq \alpha$  (0.05) se concluyó que sí se explica la variabilidad de la respuesta con los factores propuestos en el modelo, así mismo, utilizando el optimizador de respuesta del software estadístico se buscaron los parámetros de operación óptimos para cada variable, hallándose, que para lograr una limpieza del material al 100% deben emplearse los niveles altos de cada uno de los factores y que corresponden a: referente gráfico número uno, material sin arreglo, concentración de ácido al 19% y tiempo de permanencia del material en la tina mayor a 39 minutos; éstos resultados son interesantes, ya que dos de los factores (tipo de material y el nivel de oxidación) no dependen directamente de las actividades del proceso, sino del tipo de productos que llevan los clientes, y por tanto, los dueños del proceso deben saber que no pueden garantizar un porcentaje de limpieza del 80% al 100% para los materiales que muestren un nivel de oxidación bajo o bien que sea un material previamente arreglado.

Es evidente la necesidad de aplicar técnicas estadísticas para la mejora de procesos, en éste caso, para la determinación de parámetros de operación de las variables que afectan la limpieza de los materiales en el proceso de galvanizado por inversión en caliente.

Si bien es cierto que la experiencia del personal es elemental para lograr la calidad en los productos, también es de suma importancia implementar técnicas que contribuyan a tener resultados más certeros y con ello tomar decisiones encaminadas a la mejora continua de productos y procesos.

Con los resultados obtenidos, se recomienda a la empresa continuar con el uso del diseño de experimentos para seguir buscando la perfección de sus procesos, por ejemplo, resultaría interesante buscar variables que intervienen en el porcentaje de limpieza de únicamente los materiales previamente arreglados, tal vez no sea posible garantizar una limpieza al ciento por ciento, pero se podrían hallar los parámetros que permitan llegar al nivel de limpieza óptimo; de la misma manera hacer el experimento únicamente de los materiales con nivel de oxidación bajo, e incluso se recomienda a la empresa utilizar el diseño de experimentos para evaluar a sus proveedores de productos químicos y descartar que se esté utilizando calidades diferentes de éstos.



## 3.2.6 Aplicación de seis sigma en línea de producción.

### Disminución de desperdicios otro enfoque

*Flores Serrano, María Del Socorro*

#### Contexto del estudio

La empresa de productos lácteos es mundialmente reconocida por el consumo de sus productos. Es por ello que es una prioridad optimizar sus recursos y mejorar las etapas de sus procesos, logrando que el producto sea de buena calidad, apetecible e irresistible hacia el consumidor y que genere un mayor margen de utilidad. Para mejorar la calidad de sus productos y no tener desperdicios, es necesario utilizar un enfoque formal al análisis de desempeño del sistema y optimización dichos procesos. DMAIC es la metodología de mejora de los procesos y es un método interactivo que sigue un formato estructurado y disciplinario basado en el planteamiento de los problemas a mejorar.

La empresa reporta que en el área de producción se genera un desperdicio en la línea de envasado ocasionando un desperdicio de cinta que está provocando un impacto económico que afecta a la productividad y las utilidades, se merma un promedio de 5.52 gr de cinta a diferencia del valor más bajo registrado, esto sucede continuamente en cada cambio de cinta realizado en la unidad de empalme automático de la tira y depende del parámetro fijado en la pantalla del operador.

#### Aplicación de la metodología

En la fase definir, se establece el alcance y objetivo del proyecto (ver tabla 3.40), es donde se evaluaron los datos históricos.

Tabla 3.40. Identificación del problema.

¿Cuál es el problema?	Merma de cinta en la Envasadora
¿Dónde?	En la unidad de empalme automatico de la tira.
¿Cuándo?	Cada cambio de cinta
¿Cuánto?	Se esta mermando 5.52 gramos de cinta
¿Cómo se sabe?	Reporte de producción

Fuente Elaboración propia.

En la tabla 3.40 se identifica el problema lo cual nos permite seguir un camino definido para atacar el problema. Siguiendo en esta fase se analizan los datos históricos y se establece el objetivo a mejorar.

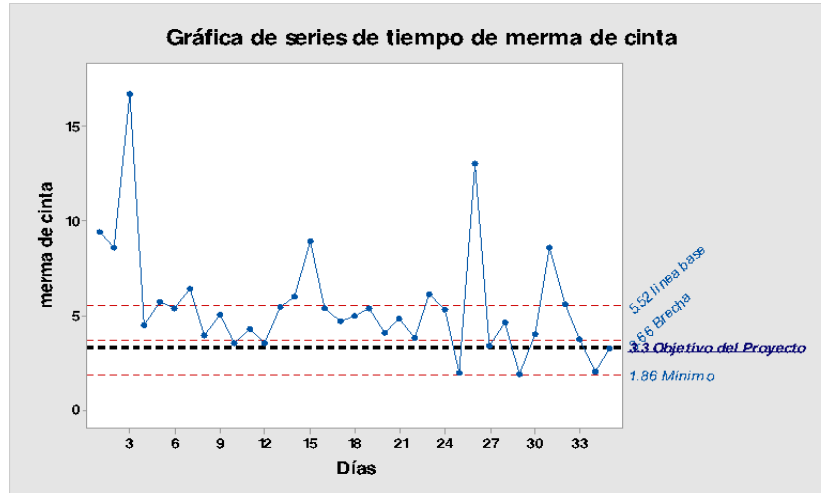


Figura 3.81. Análisis del comportamiento histórico del problema.

El trabajar con datos históricos permite definir claramente como es el comportamiento actual de la merma. En la figura 3.81 se puede observar la discrepancia que hay entre los datos donde se presenta un rango entre ellos de 14.86 gr., la variabilidad que presenta el proceso es grande.

Tabla 3.41. Establecimiento del objetivo.

<i>línea base</i>	5.52
<i>mejor promedio</i>	1.86
<i>brecha</i>	3.66
<b>Objetivo del Proyecto</b>	<b>3.3</b>

Una vez analizado el comportamiento de los datos se define la línea base, la brecha y los objetivos de mejora, en la figura 3.80 se plasman en la gráfica de serie de tiempos y la tabla 3.41 da el resumen de estos, siendo lo más relevante el objetivo del proyecto fijado en 3.3.

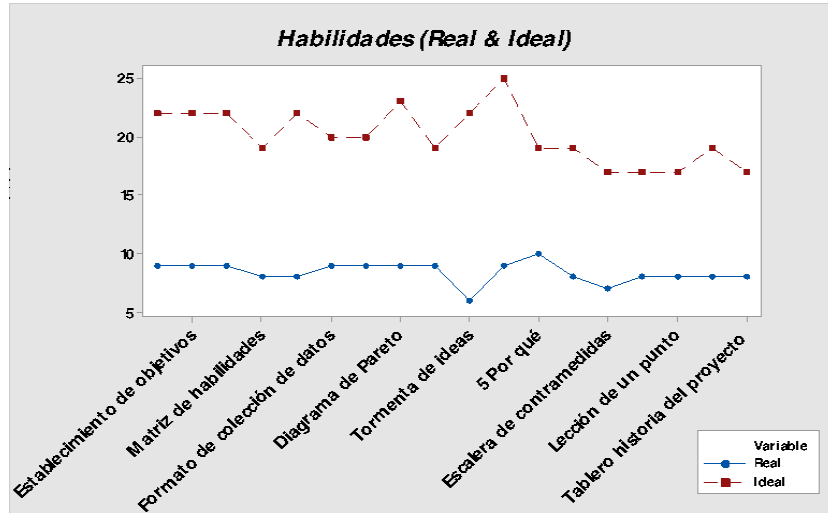


Figura 3.82. Resumen de matriz de habilidades de proyecto DMAMC Básico.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.82 se puede observar como existe una brecha significativa entre las habilidades reales de las ideales, siendo este un punto de partida en la capacitación del personal.

Fase Medir. Para obtener datos confiables, se revisó el sistema de medición, las posibles razones que pudieran originar inconsistencias de los datos, como errores a las lecturas, registros, sistemas, etc.

PLAN DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
Qué se medirá (QUE)	Unidad	Donde se medirá (DONDE)	Cada cuanto tiempo se medirá (CUANDO)	Cómo se recolectará (COMO)	Por qué recolectar (POR QUÉ)
Estandar de cinta	Sí/No	Al operador de la Envasadora	Por turno	1.-Verificar si cumple con el estandar de cinta. 2.-Verificar que cumplan con estandar del consumo de cinta. 3-Registrar cual es el estandar del consumo de cinta.	Para saber si existe un estandar para el consumo de la cinta y si cumple con el estandar.
Verificar el consumo de cinta en el lado 1 y 2 de la Envasadora	Gr	Lado 1 y 2 en la Envasadora	Por turno	1-Vericar si la cantidad consumida de cinta es la misma en el turno 1, 2 y 3	Para saber si el turno afecta el consumo de cinta.
Verificar si la frecuencia del empalme de cinta si afecta el	Hz/Gr	Envasadora	Por turno	1-Verificar por tuno si la frecuencia afecta el consumo de cinta.	Para saber si la frecuencia afecta el consumo de cinta
El comportamiento de la merma de cinta elopak	Gr	Envasadora	Cada cambio de carrete de cinta por turno	1-Verificar por turno si el comportamiento de la cinta elopak varia en el consumo de cinta.	Para verificar si el comportamiento de la cinta elopak es la correcta
El comportamiento de la merma de cinta tetrapak	Gr	Envasadora	Cada cambio de carrete de cinta por turno	1-Verificar por turno si el comportamiento de la cinta tetrapak varia en el consumo de cinta.	Para verificar si el comportamiento de la cinta tetrapak es la correcta
Influencia del operador	Gr	Envasadora	Por turno	Verificar si el operador influye en la merma de cinta.	Para verificar si el operador influye en la merma de cinta.
Verificar si los tres turnos si influyen en la merma de cinta	Gr	Envasadora	Por turno	Verificar si el comportamiento de la merma de cinta en los tres turnos es la misma	Para saber si los 3 turnos si influyen en la merma de cinta.

Figura 3.83. Plan de recolección de datos.

Fuente propia.

Se entrenaron a los operadores del área de envasado acerca de cómo recolectar datos de la merma de cinta para hacerlos consistentes sobre la importancia de la confiabilidad de datos, estableciendo un plan como se muestra en la figura 3.83.



Figura 3.84. Mermas registrada en línea.

Fuente: Elaboración propia.

De los 13 operadores 2 son los que registran mayor número de merma en cinta determinado en gramos, posterior a ellos, cuatro más registran un nivel significativo en este problema, por ello se decide investigar que está ocurriendo.



Figura 3.85. Comparación de turnos.

Al realizar la comparación por turnos se detecta que el turno 1 es el que mayor merma presenta, ya con esta información, se empieza a trabajar para darle solución al problema, tomando como referencia turno 1 operadores 1, 2.

Fase analizar. La mayoría de las pérdidas viene del deterioro o inhabilidad para establecer y mantener las condiciones básicas de la envasadora que garanticen un buen desempeño,

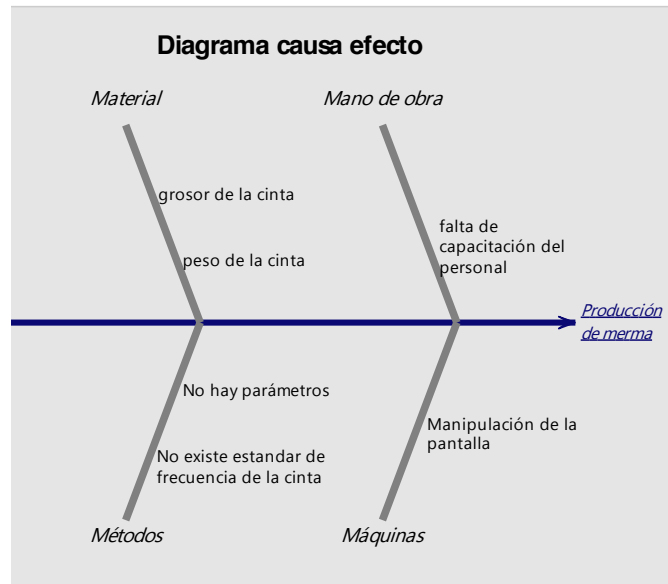


Figura 3.86. Diagrama de Ishikawa.

Mediante la elaboración del diagrama Ishikawa (figura 3.86) las causas resultantes fueron atendidas desde la fase anterior donde se comenzó con la capacitación que dando el ramal de material y métodos por atender

Tabla 3.42 Restauración de condiciones básicas.

FORMATO DE RESTAURACIÓN DE CONDICIONES BÁSICAS							
Restaurar la frecuencia del corte de cinta	45hz	Merma de cinta	Para verificar el comportamiento de la merma considerando la condición básica	operario	1	3	Inmediatamente
Cambio de rodillo de contra presión	Rodillo ajustado	Porque ya estaba desgastado	Para que no exista ninguna desviación de cinta	Operario	1	3	inmediatamente

Para el ramal de material se apoyó mediante la restauración de condiciones básicas. Por último se debía atender el de método que evidenciaba la inexistencia de un estándar de la frecuencia de la cinta.

1. Comience preguntando ¿Por Qué? Y responda Por qué					3. Encierre en un círculo las Causas Raíces verificadas				
2. Escriba <b>Si</b> Si la causa es confirmada con GEMBA Si la causa No es con <b>No</b>					4. Marque cada causa raíz con 1, 2...				
PIR	Causa raíz (Causa aforin)	¿Por Qué?	SI	¿Por Qué?	SI	¿Por Qué?	SI	¿Por Qué?	
Pregunta	No existe un etandar de la frecuencia de la cinta.	Porque no conocen el etandar de la frecuencia de la merma de cinta	Si	Porque usan distintos tipos de frecuencia	Si	Porque no tienen un etandar de la frecuencia	Si		
Respuesta									

Figura 3.87. Herramienta 5 por qué's.

Después se elaboró la herramienta de los 5 porque, (figura 3.87) se registró la causa en la primera columna de la tabla, se realizaron las preguntas, la causa se detectó en la tercera pregunta y se detuvo el análisis de esta causa, confirmándose que no existe un estándar de frecuencia de corte.

Fase implementar. Elaborar una lista de las ideas del equipo del proyecto así fuera malas o buenas ideas, después que se hizo la lista al final se escogieron las mejores ideas y fueron evaluadas y agrupadas, Se realizó y analizó una matriz impacto esfuerzo, para crear un nuevo estándar de frecuencia por materia (carrete de cinta) y crear un procedimiento para la identificación de la frecuencia por material (carrete de cinta), para crear el nuevo estándar tuvo un alto impacto y la realización del procedimiento tuvo un alto impacto,

Tabla 3.43 Plan de acción.

CAUSA RAÍZ PRIORIZADA	QUÉ	POR QUÉ	CÓMO	DÓNDE	QUIÉN	CUÁNDO	ESCALERA CONTRAMEDIDAS	ESTATUS
Por que no tienen un etandar de la frecuencia por material.	Crear un procedimiento para la identificación de frecuencia.	Por que no tenían un etandar correcto para el material	Apegandose al control de calidad de planta	En la Envasadora	encargado del proyecto	inmediatame nte	3	Completado
Por que no tienen un etandar de la frecuencia por material.	Entrenar a los operadores	Para darles a conocer el nuevo procedimiento	Capacitar al personal en el nuevo procedimiento	En la Envasadora	encargado del proyecto	inmediatame nte	1	Completado

Cuando se realizó el plan de acción (tabla 3.43), se ejecutó en el área de envasado durante tres semanas, después se reunió todo el equipo del proyecto, para checar que si se haya alcanzado el objetivo, se realizó una gráfica de tendencia de la implementación del procedimiento para identificar que estándar de frecuencia se utilizara para cada carrete de cinta, usando los datos recolectados de merma de cinta antes y después para verificar la efectividad de las acciones y la reducción de los resultados de la merma.

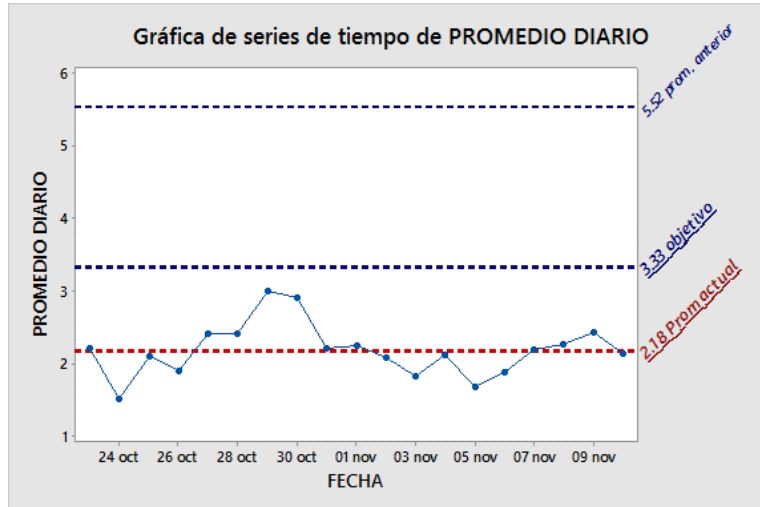


Figura 3.88. Resultados de la implementación de frecuencias.

Al establecer las frecuencias en la línea de envasado y una vez que se pes cada carrete se toman datos obteniéndose un promedio de 2.18 gr, de merma de cinta, los resultados comparados con los objetivos se pueden apreciar en la figura 3.88.

Fase controlar. El principal objetivo de la fase controlar es mantener la consistencia en los resultados a largo tiempo.

Se usó la creatividad para asegurar que el problema de la merma de cinta no aparezca de nuevo, se incorporó dispositivos a prueba de error en los estándares de tal forma que los dueños del proceso puedan ejecutar el procedimiento.

También se les explico a los operadores mediante un OPL (Lección de un punto) para que entendieran mejor el procedimiento para la identificación de la frecuencia por material y para futuros trabajadores que entre a elaborar dentro de la empresa, en área de producción.

## Consideraciones finales

Los resultados fueron muy satisfactorios, es decir que se pudo lograr más del objetivo que desde un inicio del proyecto fue mencionado. Como primera instancia contar con la disposición de todos los involucrados del proyecto y de manera inmediata la aplicación de la metodología DMAIC, es importante hacer mención que la mayoría de las empresas es muy complejo realizar ciertas metodologías con forma se realizaban las fases, se podía notar un notorio cambio, reduciendo el desperdicio de merma y la reducción de los costos.

### **3.2.7. Identificación de las áreas críticas que generan accidentes en una empresa ferrocarrilera del estado de Veracruz**

*Vázquez Tzitzihua Leticia*

#### **Contexto del estudio**

En este artículo se aborda la identificación de áreas críticas que generan accidentes en una empresa Ferrocarrilera del Estado de Veracruz, derivada del aumento de lesiones en los trabajadores, los cuales se encontraban en 12 accidentes y presentaron un aumento, a 28 a partir de diciembre del 2015, esta investigación nace de la necesidad de conocer y comprobar, la identificación de las zonas que generaron el incremento de lesiones en los obreros que laboran en dicha compañía, expone la identificación de las áreas críticas que generaron accidentes en una empresa ferrocarrilera ubicada en el estado de Veracruz. Este análisis se realiza derivado de la inquietud, por parte de los directivos de la planta, del aumento de lesiones de trabajo, que se presentan en el área de fuerza motriz ubicada en las instalaciones de dicha empresa, los cuales se encontraban en 12 lesiones por año hasta diciembre del 2015, y en el año 2016 se incrementaron a 28, mismos que generan altos costos y desprestigio para la empresa, y de ser evitados se gozara del: recurso hombre, mayores rendimientos de trabajo, disminución de pagos de indemnización e incapacidad, otorgar mayores responsabilidades al trabajador.

Estos datos son proporcionados por la compañía ferroviaria, la cual basada en datos históricos mediante reportes de los turnos, son guardados ordenadamente por mes y año, en carpetas denominadas accidentes de trabajo, de donde se extrajo la información necesaria para la realización de este proyecto, el cual mediante la utilización del AMEF, método modo y efecto de las fallas ejecutado en el área de fuerza motriz de una planta ferrocarrilera, se buscó Identificar los factores que generan accidentes.



## Aplicación de la metodología

Esta investigación fue realizada con la participación de personal que labora en una empresa ferrocarrilera del estado de Veracruz, el proyecto nace derivado del incremento de accidentes de 12 a 28 a partir de enero del 2015 en el área de Fuerza Motriz, con el objetivo de obtener la identificación de las áreas en donde se generan los accidentes.

La estructura de la investigación se realizó en dos etapas: investigación documental e investigación de campo utilizando la metodología AMEF.

En este estudio se aplicaron los dos primeros pasos en los que se dividió esta investigación:

- Formación del equipo y delimitación del área de aplicación.
- Identificación de modos posibles de falla.

### Etapa 1: Investigación documental

Para dar seguimiento a esta fase se recopiló información en artículos, libros, y datos históricos que se tienen en el archivo de la compañía, de los accidentes de trabajo con una antigüedad de 3 años, para conocer las lesiones que se han suscitado a lo largo de este periodo.

### Etapa 2: Investigación de campo

**Primer paso.** Formación del equipo y delimitación del área de aplicación Para dar inicio en la identificación de las áreas críticas que generan accidentes en una empresa ferrocarrilera del estado de Veracruz, se formó un equipo con personal que labora en la planta del área de Fuerza Motriz y se realizaron los siguientes puntos se efectuaron recorridos dentro de la planta, cada uno de los turnos, con el propósito de:

- ✓ Conocer el proceso.
- ✓ Verificar que las actividades que establecen los puestos se cumpla y se corroborar lo que realmente ejecutan los trabajadores en el área para identificar las posibles áreas críticas y lo factores que ocasionan los accidentes.

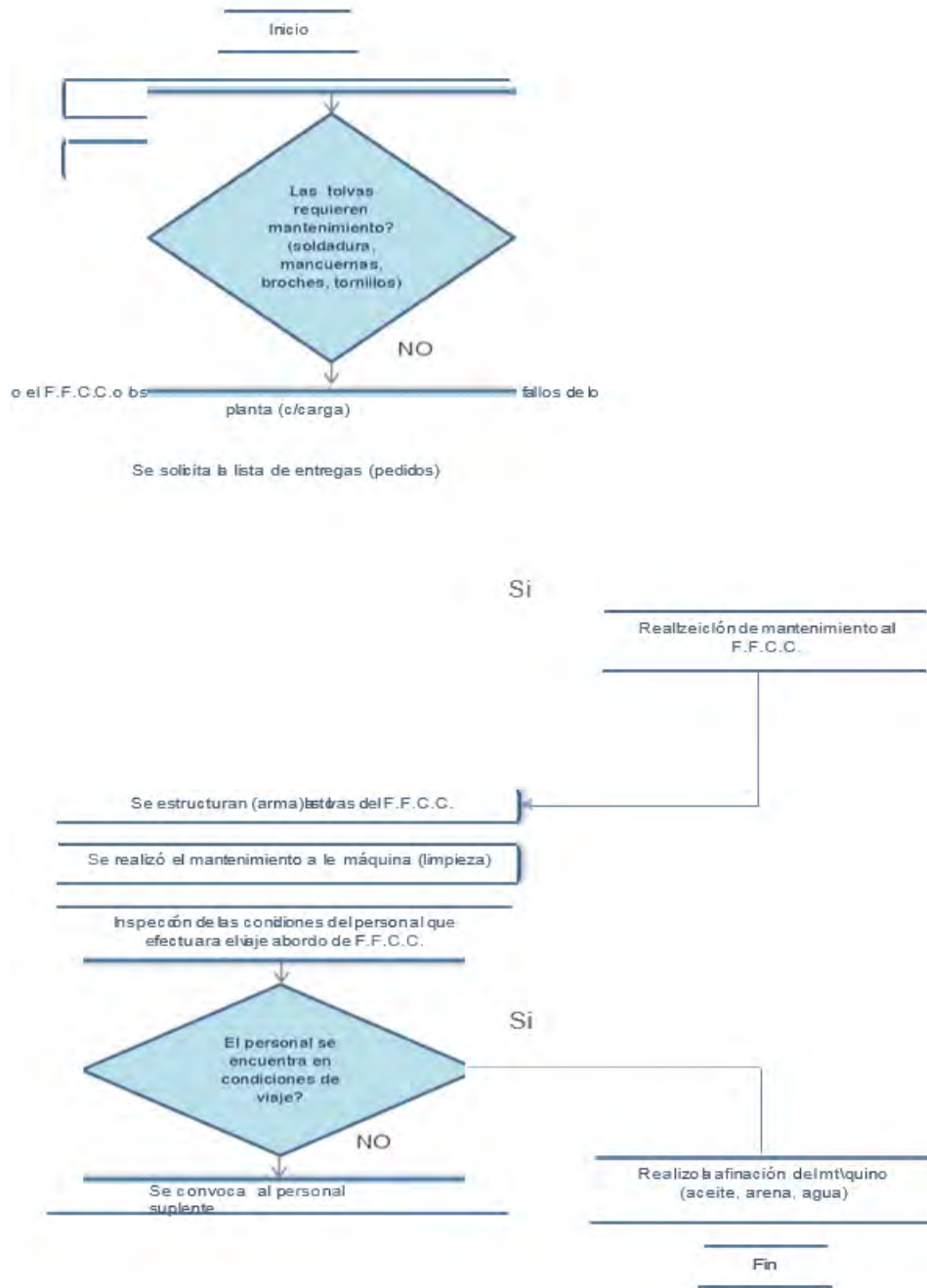


Figura 3.89. Proceso del área de Fuerza Motriz.

**Segundo paso.** Identificar modos posibles de falla.

Se realizó el diagrama de Pareto, como a continuación se muestra en la figura 3.90, en donde se identificaron los accidentes que al darle solución resolverían el 80% del problema (78.6 %).

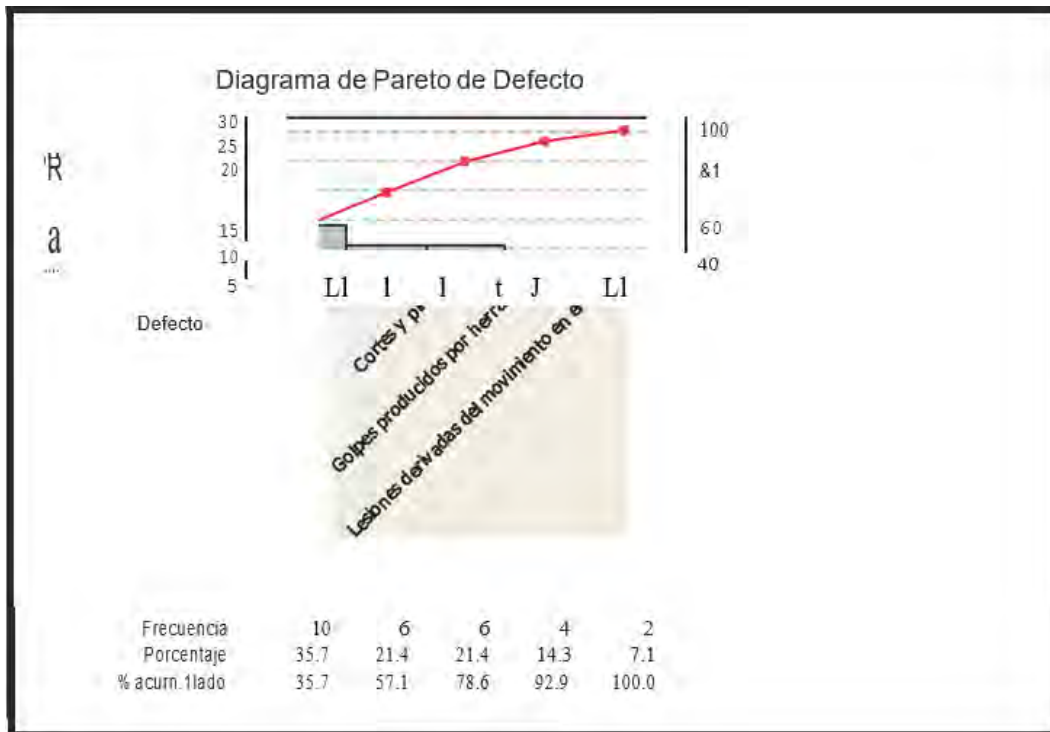


Figura 3.90. Frecuencia de los accidentes.

Se le asignaron claves a los accidentes como se muestra a continuación.

- A. Lesiones en oídos
- B. Cortes y pinchazos en mano
- C. Caídas (desgarres)
- D. Lesiones producidas por herramientas
- E. Lesiones derivadas del movimiento del F.F.C.C.

## Evaluación de mejoras

Después de conocer los accidentes vitales se analizó el Proceso del área de Fuerza Motriz para identificar en que parte del proceso se presentan dichos accidentes generando como resultado las áreas Críticas que Generan accidentes en una empresa ferrocarrilera del estado de Veracruz, como lo muestra la figura 3.91.

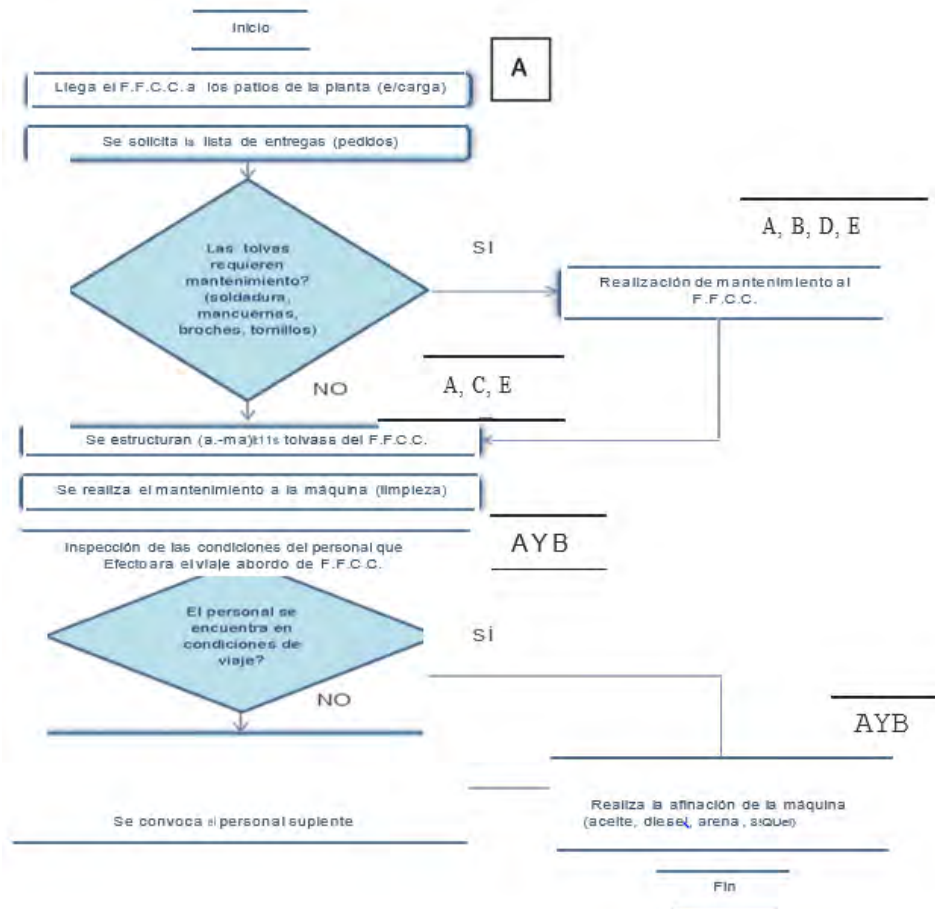


Figura 3.91. Puntos críticos que generan accidentes.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el diagrama de Pareto dando solución a los siguientes accidentes: lesiones en oídos, cortes y pinchazos en mano, caídas (desgarros), se resolvería el 78.5% del problema. Como se muestra en la tabla 3.44. Las áreas críticas del proceso de fuerza Motriz son: el patio de carga, los talleres, y los andenes de patio.

Tabla 3.44. Áreas críticas y accidente que se originan.

ACTIVIDAD	AREA CRITICA	ACCIDENTES
Llega el F.F.C.C.	Patio de Carga	Lesiones en oídos
Mantenimiento	Talleres de Mantenimiento	Cortez v pinchazos en mano
Armar Tolvas	Andenes de patio	Caídas

### Consideraciones finales

Los resultados de esta investigación confirman las áreas críticas en los que ocurren los accidentes como se menciona, más demandantes en el procedimiento en este caso de Fuerza

Motriz de una planta Ferrocarrilera ubicada en el estado de Veracruz, encontrados mediante el análisis detallado de los puestos que integra dicha área.

Obtenidos de estudios realizados a los turnos de los trabajadores de la compañía, las ventajas alcanzadas en este proyecto resultaron muy satisfactorias, se logró:

- Conocer las funciones que realmente desempeña el trabajador
- Identificar los puntos críticos en donde se generaron los accidentes
- Brindar una mayor visión del conocimiento
- Comprensión del proceso
- Involucrar al personal y responsabilizarlo de las actividades que se deben de efectuar,
- Evitan lesiones al empleado
- Reducción de gastos que impactan directamente a la planta derivado de incapacidades, pensiones, o daños incluso causados por muerte.

Las desventajas de la investigación serian:

- conocer las áreas críticas del proceso no se implementará una medida de precaución.
- Implementar una supervisión repentina en los turnos, es parte de las recomendaciones que se hacen al proyecto para trabajos futuros.

Derivado del incremento de accidentes en el área de fuerza motriz, nació el proyecto Identificación de las Áreas Críticas que Generan Accidentes como se mencionan, en este caso en una Empresa Ferrocarrilera del estado de Veracruz.

Derivado de la recolección de los datos históricos de los accidentes ocurridos en una planta ferrocarrilera del estado de Veracruz se inicia este proyecto, obteniendo un panorama amplio de los puntos donde se ubicaron las anteriores lesiones.

El equipo formado por el personal que labora en la planta para identificar las áreas críticas adquirió las habilidades de identificar en el proceso las zonas donde ocurren los accidentes más frecuentes.

Se realizó el diagrama de Pareto, en donde se identificaron los accidentes más sobresalientes en el proceso de los cuales los primeros tres al darles solución resolverían el 80% del problema (78.5714%).

## **3.2.8. Construcción de un modelo de simulación del estacionamiento de una institución educativa de nivel superior utilizando SIMIO®**

*López Cabrera, Anibal Gaudencio*

### **Contexto del estudio**

Debido al incremento de la población en el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, se presenta en el inmueble congestionamiento vehicular que provoca retrasos en la llegada del personal y del alumnado, además da lugar a la posibilidad de incidentes vehiculares puesto que la cantidad de vehículos que transitan excede la capacidad del área de estacionamiento. Es por estas razones que se realiza la construcción de un modelo de simulación en SIMIO® que representará el sistema mencionado (estacionamiento del personal) de la institución educativa de nivel superior.

Dicho modelo se realiza con la metodología de simulación propuesta por Law y Kelton (2001) que consta de 10 pasos; donde se recolecta información para alimentar el modelo, se realizan pruebas de bondad de ajuste y se valida, con el objetivo de crear un modelo de simulación que represente al sistema real y permita conocer su comportamiento, además de la evaluación de alternativas de mejora.

### **Aplicación de la metodología**

La metodología seguida fue la propuesta por Law (2014) para un estudio de simulación y que está constituida por diez pasos que se ilustran en la figura 3.92.

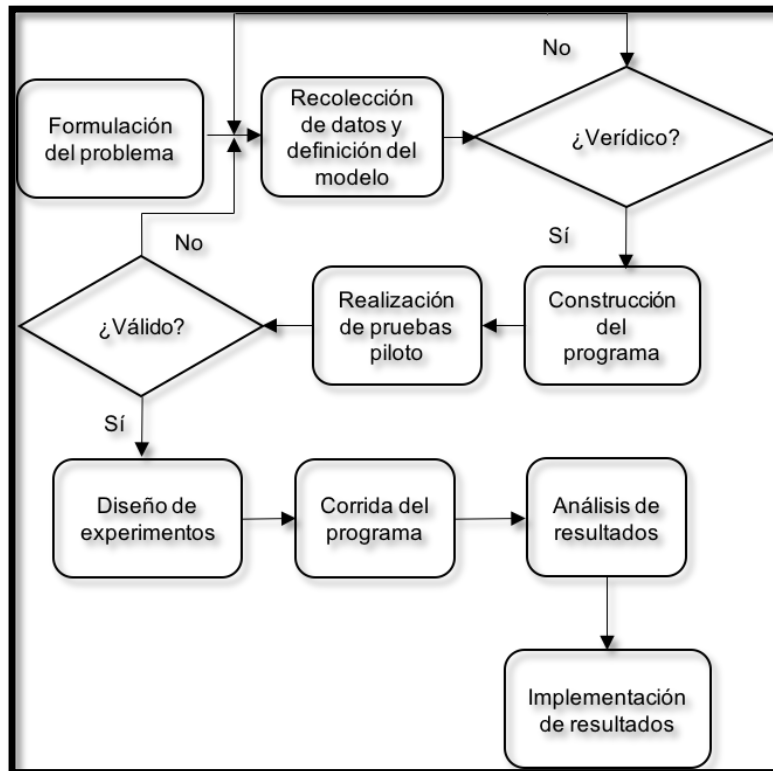


Figura 3.92. Metodología para un estudio de simulación.

Fuente: Law (2014).

### Formulación del problema

Desde hace unos semestres se observa que la matrícula en el Instituto Superior de Tierra Blanca ha ido en crecimiento, lo que provoca que el flujo vehicular también aumente dentro del estacionamiento del Instituto. Esta área consiste en una ruta de un solo carril en “U” para alimentarla y desocuparla y tiene una capacidad máxima de 103 espacios utilizados en promedio 91. El área se ve afectada por el alto flujo vehicular en ciertas horas del día ya que como se menciona es de un solo carril y cuando un auto se estaciona para que el personal descienda de él, hace que los autos que van detrás tengan que esperar, causando acumulación de vehículos y retraso en las llegadas.

### Recolección de datos y definición del modelo

Las actividades realizadas en este paso fueron: definición de variables, determinación de horarios y puntos de muestreo, diseño del instrumento de recolección de datos, recolección de datos en el sistema y análisis estadístico de los datos.

Los datos recolectados corresponden a las variables representativas del sistema las cuales son; tiempo entre llegadas, tiempo para estacionarse y permanencia en el estacionamiento. El periodo de recolección de datos que se efectuó constó de 30 días y la unidad de tiempo utilizada fue el segundo para llegadas y horas para la permanencia.

Las variables de entrada y salida se enlistan en la tabla 3.45.

Tabla 3.45. Variables de entrada y salida del sistema.

Entrada	Salida: (Medidas de desempeño)
Tiempo entre llegadas.	Tiempo total en el estacionamiento.
Tiempo para estacionarse.	Tiempo de espera en la fila.
Permanencia en el estacionamiento.	Número de unidades en fila y estacionadas.
	Porcentaje de ocupación de los espacios.

Fuente: Elaboración propia.

### Tratamiento estadístico

Se utilizó el paquete estadístico Stat:fit ®. Este paquete permite la realización de las pruebas de bondad de ajuste Chi-cuadrada, Kolmogorv - Smirnov y Anderson Darling a los conjuntos de datos de las variables bajo estudio, para determinar a qué distribución de probabilidad teórica conocida se ajustan. La figura 3.93 muestra los resultados del tratamiento estadístico para la variable: tiempo de permanencia.

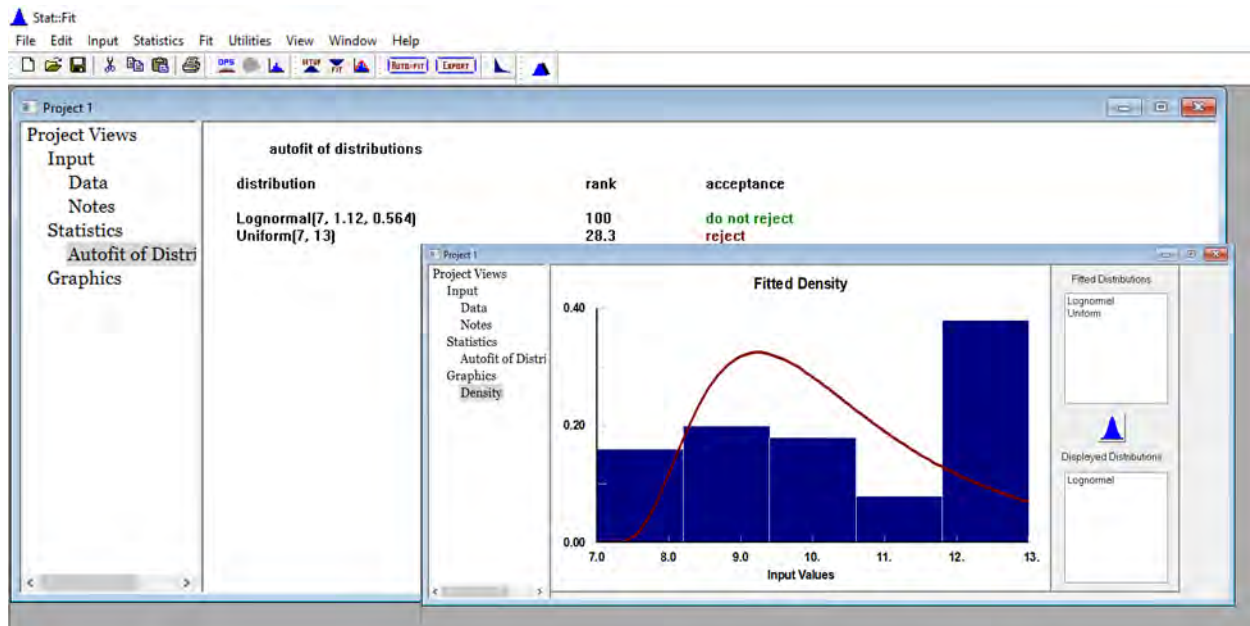


Figura 3.93. Resultados del análisis de la variable tiempo de permanencia.

Fuente: Elaboración propia.



El análisis estadístico al resto de las variables arrojó como resultados que todas ellas se ajustaron a distribuciones teóricas conocidas.

La representación gráfica del proceso, mediante un modelo conceptual, se muestra en la figura 3.94.

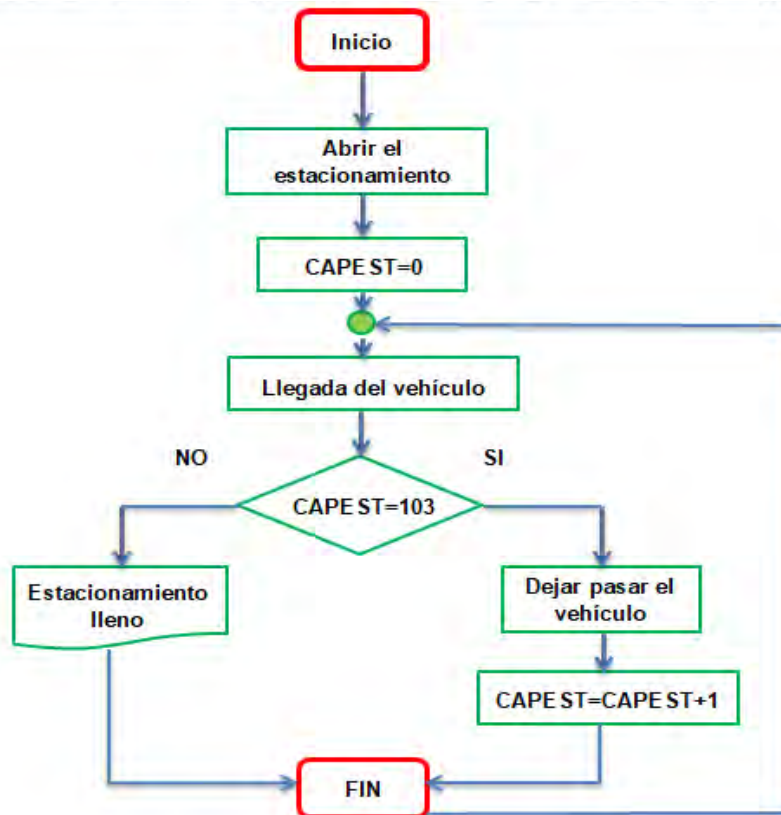


Figura 3.94. Modelo conceptual del proceso en el estacionamiento.  
Fuente: Elaboración propia.

### Verificación del modelo

Construido el modelo conceptual éste fue verificado y aprobado por el responsable del proceso.

### Construcción del modelo

Se utilizó el simulador SIMIO (Simulation Modeling Framework Based On Intelligent Objects) para la construcción del modelo. En la tabla 3.46 se muestra la relación de los objetos del simulador SIMIO con los elementos del sistema real.

Tabla 3.46. Objetos de SIMIO y su significado en el sistema real.

Objeto de SIMIO	Significado en el sistema real
Source	Generador de llegadas para el sistema.
Server	Entrada de vehículos y estacionamiento.
Sink	Salida de los vehículos.
Path	Rutas a seguir por parte de los vehículos.

Fuente: Elaboración propia.

Las figuras 3.95 y 3.96 ilustran fases de la construcción del modelo.



Figura 3.95. Vista frontal del Instituto.



Figura 3.96. Vista frontal del estacionamiento.

Fuente: Elaboración propia.

### Pruebas piloto

Se realizaron 10 corridas piloto (cambiando el generador de números pseudoaleatorios de cada uno de los objetos) que aseguraron la programación correcta y que recabaron información para el siguiente paso.

### Validación del modelo de simulación

La validación de un modelo consiste en corroborar que los datos que arroje el modelo de simulación sean estadísticamente iguales a los del sistema real. Para realizar la validación del modelo se utilizó la prueba t-apareada, que compara los resultados de la simulación contra los resultados observados del sistema real. Mediante esta comparación se determina si el modelo es una representación válida del sistema si al construir un intervalo de confianza el cero está incluido dentro de él. La validación se realizó a cada una de las variables, a continuación se muestra solamente el procedimiento para una de ellas:

Tiempos promedio de permanencia en el estacionamiento.

$X$ = tiempo promedio en minutos de permanencia en el estacionamiento del sistema real.

$Y$  = tiempo promedio en minutos de permanencia en el estacionamiento del modelo.

Los resultados de 10 datos apareados, correspondientes a la variable descrita se muestran en la tabla 3.47.

Tabla 3.47. Datos apareados de la variable tiempo promedio de permanencia en el estacionamiento.

Datos				
	Reales (minutos)	Simulados (minutos)		
Corridas	$X_j$	$Y_j$	$Z_j = (X_j - Y_j)$	$(Z_j - \bar{Z}_{10})^2$
1	2.09	1.02	1.07	0.081225
2	0.24	0.11	0.13	0.429025
3	0.58	0.09	0.49	0.087025
4	1.28	0.32	0.96	0.030625
5	6.48	0.06	6.42	31.753225
6	1.18	0.26	0.92	0.018225
7	0.05	0.06	-0.01	0.632025
8	0.31	0.09	0.22	0.319225
9	0.11	2.23	-2.12	8.439025
10	0.20	0.43	-0.23	1.030225
Total			7.85	42.81985
Promedio			0.785	

Fuente: Elaboración propia.

Se construyó un intervalo de confianza al 95% para  $Z$ , en donde  $Z_i = X_i - Y_i$  resultando ser (-0.775, 2.345).

Cómo puede observarse, el intervalo de confianza resultante incluye al cero; por lo tanto, con un nivel de confianza del 95% se afirma que cualquier diferencia observada entre  $\mu_x$  y  $\mu_y$  no es estadísticamente significativa y puede explicarse por fluctuaciones aleatorias, aceptando que el modelo es válido.

## Diseño de experimentos

### Determinación del número óptimo de corridas

Un grave error al momento de conducir estudios de simulación es el de basar las decisiones en la observación de una sola corrida; para evitar este error, es necesario determinar el número de corridas óptimo y así, con los resultados de varias corridas, las decisiones pueden tomarse de manera adecuada.

Es posible determinar  $n^*(\beta)$  incrementando  $i$  en uno hasta que un valor de  $i$  se obtiene para el cual:

$$n^*(\beta) = \min \left\{ i \geq n : t_{i-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\frac{S^2(n)}{i}} \leq \beta \right\}$$

La tabla 3.48 muestra los resultados de 10 corridas piloto, independientes que se obtuvieron al correr el programa de simulación.

Tabla 3.48. Tiempo promedio de permanencia en el estacionamiento.

Corridas	Tiempo promedio de permanencia en el estacionamiento (segundos)
1	1.02
2	0.11
3	0.09
4	0.32
5	0.06
6	0.26
7	0.06
8	0.09
9	2.23
10	0.43
Media	0.467
Varianza	0.469201111

Fuente: Elaboración propia.

Se estimó el tiempo promedio entre llegadas, con un error absoluto  $\beta$  de 0.654 segundos y un nivel de confianza del 95%. El procedimiento se muestra a continuación:

$$\bar{X} = 0.467$$

$$S^2 = 0.4692$$

$$\beta = 0.654$$

$$\alpha = 0.05$$

$$n^*(0.654) = \min \left\{ i \geq 10 : t_{i-1, 0.025} \sqrt{\frac{0.4692}{i}} \leq 0.654 \right\}$$

Al aplicar la fórmula, se obtuvo que el número de replicaciones óptimo es 40 corridas del programa.

### Corrida del modelo y análisis de resultados

Una vez concluidas las 40 replicaciones del modelo se analizaron las siguientes variables de salida para validar al mismo: Número promedio de vehículos por día, tiempo entre llegadas, y tiempo promedio en el sistema.

### Análisis de resultados

#### Número promedio de vehículos por día en el sistema

Los datos proporcionados por el modelo de simulación y los datos reales se representan en la figura 3.97.

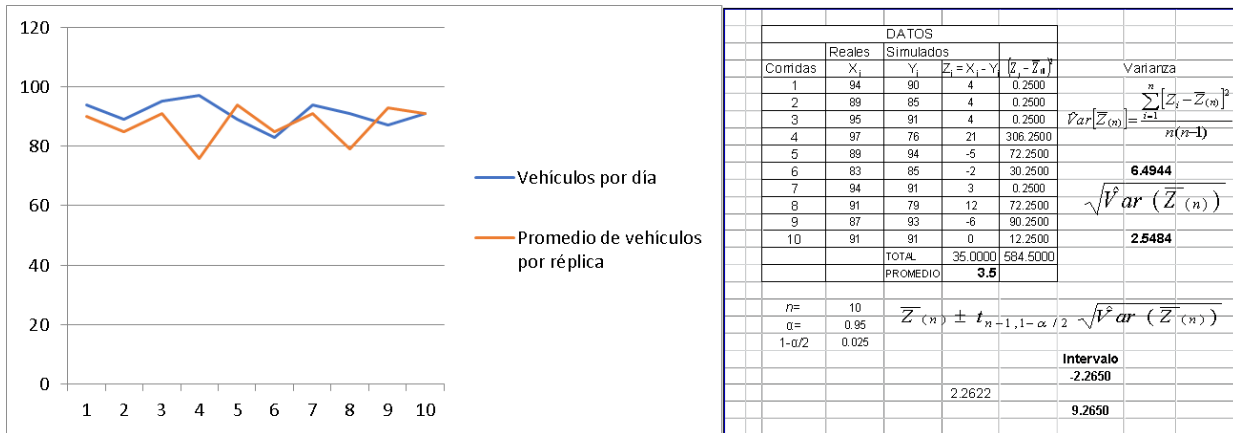


Figura 3.97. Comparación del número promedio de vehículos por día del modelo y del sistema original. Fuente: Elaboración propia.

En la parte derecha de la pantalla se muestra la técnica estadística de validación en la que se destaca que el intervalo creado incluye al cero por lo que se concluye que el modelo es válido y que cualquier diferencia observada puede explicarse por fluctuaciones aleatorias.

#### Tiempo promedio entre llegadas

La figura 3.98 muestra el tiempo promedio entre llegadas del modelo versus sistema real.

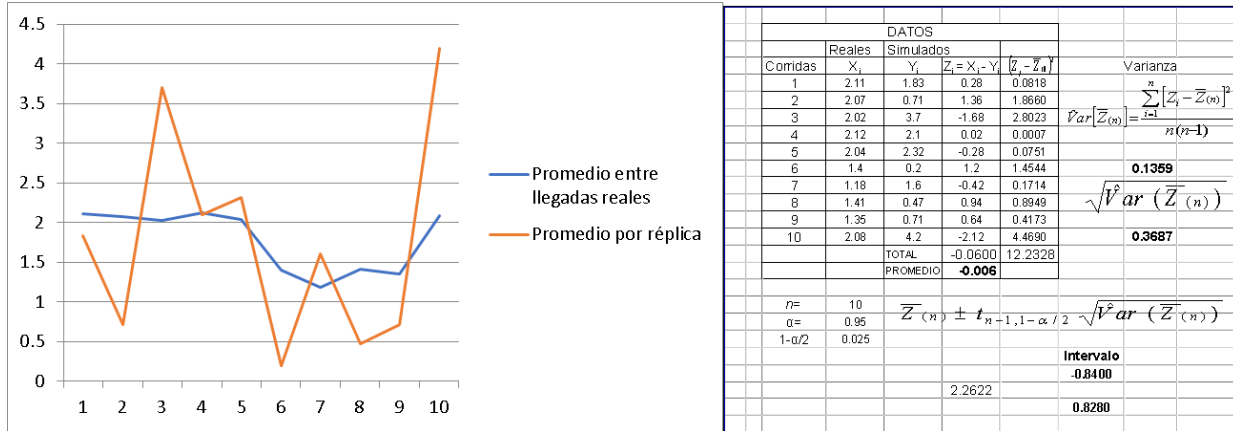


Figura 3.98. Comparación de los resultados del tiempo entre llegadas del modelo y el sistema original. Fuente: Elaboración propia.

Al igual que con la variable anterior, en esta variable, el intervalo creado incluye al cero por lo que se concluye que el modelo es válido y que cualquier diferencia observada puede explicarse por fluctuaciones aleatorias.

**Tiempo promedio total por día en el estacionamiento**

En la figura 3.99 se muestra el tiempo promedio que un automóvil pasa en el sistema.

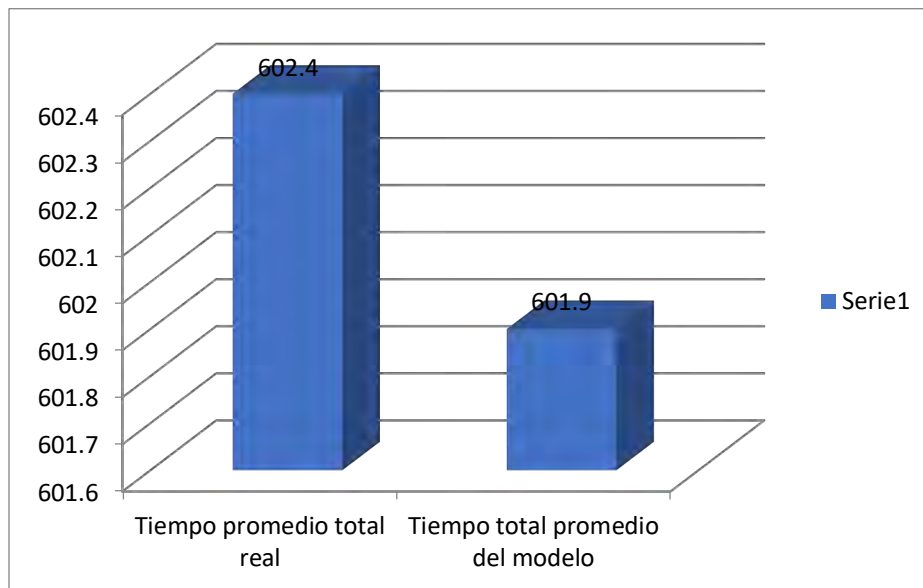


Figura 3.99. Comparación del tiempo promedio que un vehículo pasa en el sistema original y en el modelo. Fuente: Elaboración propia.

Obsérvese que los resultados son parecidos por lo que se concluye el modelo es válido.

## **Evaluación de mejoras**

Con la aplicación de la metodología propuesta por Law y Kelton (2001) se construyó un modelo de simulación con SIMIO® representativo del estacionamiento de una institución superior el cual permite conocer el funcionamiento del sistema y deja la posibilidad de evaluar diferentes alternativas de mejora.

Una de estas alternativas es evaluar la redistribución de los espacios para estacionarse, así como, la ruta o rutas a seguir por parte de los vehículos para disminuir el número y por qué no evitar incidentes vehiculares.

## **Consideraciones finales**

Se obtuvo un modelo de simulación representativo del sistema real por supuesto, todas las alternativas que se experimenten deben de tener como objetivo principal la seguridad.

La simulación ha probado ser una de las técnicas más versátiles de la ingeniería industrial, la posibilidad de probar escenarios varios ofrece una de las ventajas más significativas, además la predicción se suma y favorece la toma de decisiones.





# Fuentes de consulta

- Anderson, D. R., Sweeney, D. J., & Williams, T. A. (2008). Estadística para administración y economía. México, D.F.: Cengage Learning.
- Aguilar Lemus, O. F. (Septiembre de 2014). Diseño de investigación en la administración de la productividad total como herramienta de evaluación para el cumplimiento del plan operativo de una empresa farmacéutica. Guatemala, Guatemala: Universidad de San Carlos.
- Alan, S. (s.f.). Enciclopedia de Salud y Seguridad en el trabajo. Obtenido de Iluminación Riesgos Generales:  
<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/46.pdf>.
- Alvarez, T. (s.f.). Aspectos Ergonomicos del ruido. Evaluación. Obtenido de Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo:  
<http://www.insht.es/Ergonomia2/Contenidos/Promocionales/Ruido%20y%20Vibraciones/ficheros/DTE-AspectosErgonomicosRUIDOVIBRACIONES.pdf>.
- Arias, M. L., Portilla, L. M., & Castaño, B. J. (2008). APLICACIÓN DE SIX SIGMA EN LAS ORGANIZACIONES. Scientia Et Technica, vol. XIV, núm. 38, 265-270.
- Arrue, E. (20 de Marzo de 2015). Historia de la salud laboral. Obtenido de <https://prezi.com/yivxqausqkw/2-historia-de-la-salud.laboral/>
- Azarang, M. y García D. (1996). Simulación y análisis de eventos estocásticos, México DF, México: McGraw Hill.
- B. (1995). Control de Calidad. México: Editorial Prentice Hall Inc. 4ta. Edición.
- Badii, M., Castillo, J., Rodríguez, M., Wong, A., & Villalpando, P. (2007). Diseños experimentales e investigación científica. Innovaciones de Negocios, 283-330.
- Bedoya Suarez, B. S. (mayo de 2010). Bdigital. Obtenido de <http://bdigital.uao.edu.co/bitstream/10614/1193/1/TID00333.pdf>.
- Bobillier, P., Kahan, B. y Probst, A. (1976). Simulation with GPSSH and GPSSH V, Estados Unidos de América, Englewood, NJ: Prentice Hall, Inc.
- Bonet Borjas, C. M. (2005). Ley de Pareto aplicada a la fiabilidad. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal: Revista de Ingeniería Mecánica, 1-9.
- Brale, H. (s.f.). eHow en español. Obtenido de Cómo calcular el tamaño del aire acondicionado para una casa: [http://www.ehowenespanol.com/calcular-tamano-del-aire-acondicionado-casa-como\\_5924/](http://www.ehowenespanol.com/calcular-tamano-del-aire-acondicionado-casa-como_5924/).

Cal y Mayor, Cárdenas. México, D.F. (1994) Ingeniería de tránsito. Alfaomega

Cal y Mayor, R. y Cárdenas, J. (2007). Ingeniería de tránsito, México, DF, México: Alfaomega.

Carretero, R. (1994). La iluminación en los lugares de trabajo, INSHT. Madrid.

Carro Paz, R., & González Gómez, D. (s.f.). Administración de las operaciones. Productividad competitividad. Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de Mar de Plata.

Cao Abad, R. (2002). Introducción a la simulación y teoría de colas. La Caruña España: Netbiblo.

Chase, R. B., F., R. J., & Aquilano, N. J. (2014). Administración de Operaciones. Producción y cadenas de suministro. México, D. F.: McGrawHill.

Comunidades de divulgación científico técnica. (s.f.). El Ergonomista. Obtenido de Temperatura en el lugar de trabajo: <http://www.elergonomista.com/27en07.html>.

Consultores, G. (2013). Calidad ISO 9001. Recuperado el 20 de agosto de 2016, de Calidad ISO 9001: <http://iso9001calidad.com>.

Elizondo, A. (2010). Análisis de mercado de Piña.

Cortés, J. (2009). Evaluación de un sistema inteligente de semaforización mediante la simulación para la ciudad de Orizaba, Ver. (Tesis de maestría no publicada). Instituto Tecnológico de Orizaba. Orizaba, Veracruz, México.

Coss, R. (1982). Simulación. Un enfoque práctico, México, DF, México: Limusa.

Cueva Brito, E. F. (2013). Modelos de productividad: descripción de seis modelos de medición para las organizaciones. Ecuador: Centro de publicaciones.

Davinci. (2012). Universidad de la Plata. Obtenido de <http://davinci.ing.unlp.edu.ar/produccion/catingp/transparencias%20distribucin.pdf>.

De la Fuente, D. y Pino, R. (2001). Teoría de líneas de espera. Modelos de colas. España, Madrid, España: Servicios de Publicaciones, Universidad de Oviedo.

DESISA Consultores. (15 de Agosto de 2005). Productividad y desempeño organizacional. San Salvador, San Salvador, El Salvador. H.

Díaz, J. A. (2013). Salud en el trabajo y seguridad industrial. México, D.F. Alfaomega.

España, G. d. (1997). Real Decreto 486/1997. Madrid, España: Boletín Oficial del estado.

Euroresidentes. (28 de Junio de 2020). Euroresidentes vida inteligente. Obtenido de <https://www.euroresidentes.com/empresa/exito-empresarial/okrs-objetivos-y-resultados-para>.

Fernández, F. (2009). Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Recuperado de [http://ccoo1.webs.upv.es/Salud\\_Laboral/Guia\\_lugares\\_trabajo/G\\_lugares.htm#articulo7](http://ccoo1.webs.upv.es/Salud_Laboral/Guia_lugares_trabajo/G_lugares.htm#articulo7).

Fernández N., E. G., Fernández C., M., Pérez S., I., Morón G., Y., García M., V., Perdomo L., I., & Pérez S., N. (2008). Diseños de experimentos en tecnología y control de los medicamentos. Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas, 28-40.

- Felsing, E., & Runza, P. M. (2002). Productividad: Un Estudio de Caso en un Departamento de Siniestros. Buenos Aires Argentina: Universidad del CEMA.
- Ferrer, A. (22 de Junio de 2020). On-time, dinámicas de desarrollo laboral. Obtenido de <https://on-time.es/productividad/evolucion-historica/>.
- Fuentes-Rosas, L., Tobon-Galicia, L., & Rojas-Mora, L. (2017). Simulación con Simio Aplicada a la Vialidad de una Ciudad. UTCJ Theorema Revista Científica, 32-37.
- Flores, M. J. (2017). SEIS SIGMA, APLICADO A PROCESOS DE IMPLEMENTACIÓN. Revista Tecnológica V.13, 32-35.
- Fontalvo, H. T. (2011). Aplicación de Seis Sigma en una empresa productora de Cemento. Escenarios • Vol. 9, No. 1, 7-17.
- Fuentes, L. (2004). Aplicación de la simulación para mejorar el sistema de recolección de basura de las casas-habitación de la localidad de Maltrata, Ver. (Tesis de maestría no publicada). Instituto Tecnológico de Orizaba, Orizaba, Veracruz, México.
- Fuentes, L., Moras, C., Tobón, L., Rojas, L. y López, A. (2016). Evaluación de un Sistema de semáforos en un cruce peligroso de la Ciudad de Tierra Blanca, Veracruz, usando simulación con SIMIO®. Revista de la Ingeniería Industrial, 10 (1), 67-79.
- Fuentes, L., López, A. y Tobón, L. (2018), Análisis de la política del servicio de cobro en una PyME usando simulación con Simio. En D. A. Olivera (Ed), Mercadotecnia en las PyMES, Casos y Aplicaciones, 226-236. Xalapa, México: Red Iberoamericana de Academias de Investigación, A.C.
- Gabrielsson, J., Lindberg, N.-O., & Lundstedt, T. (2002). Multivariate methods in pharmaceutical applications. Journal of Chemometrics, 141-160.
- García Dunna, E., García Reyes, H., & Cárdenas Barron, L. E. (2006). Simulación y análisis de sistemas con Promodel. México, D. F.: Person Educación.
- García-Serrano. (2005). La piña, Ananas comosus (L.) Merr. (Bromeliaceae), algo más que. ContactoS 56, 55-61.
- Goel, P. G. (2005). Six Sigma for transactions and service. New York, USA: McGraw-Hill Inc.
- González Sóbal, M., Calderon Palomares, L., & Sólis Jiménez, M. Á. (2018). Implementación del Modelo Balanced ScoreCard (BSC) para la Medición y Evaluación de la Productividad. Revista de Negocios & PyMES, 23-36.
- Gutiérrez, J., Silva, M., Gutiérrez, E., Portillo, I. y Salcido, A. (2016). Utilización de la simulación para mejorar las líneas de espera, Revista de la Ingeniería Industrial, 10 (1), 50-59.
- Gutierrez, H., & De la Vara. (2013). Control Estadístico de la calidad y seis sigma (3ra. ed.). México, D. F.: McGraw-Hill.

- Gutiérrez Pulido, H. (2010). *Calidad y productividad*. México, D.F.: McGrawHill.
- Gutierrez, P. H., & De la Vara, S. R. (2008). *Control estadístico de la calidad y seis sigma*. México: McGraw Hill, México.
- Gutierrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. México, D.F.: McGraw-Hill.
- H, B. (1995). *Control de Calidad*. México: Editorial Prentice Hall Inc.4ta. Edición.
- <http://islandiaweb.blogspot.mx/> (s.f.). Recuperado el 2016, de <http://islandiaweb.blogspot.mx/>.
- INEGI. (2018). *Análisis de la industria de alimentos*. México.
- Instituto de las Naciones Unidas para la Formación Profesional e Investigaciones. (15 de Marzo de 2009). *Guía para el desarrollo de un Plan de Acción para la Gestión Racional de las Sustancias Químicas*. Ginebra, Ginebra, Suiza.
- Instituto Sindical del Trabajo. (2014). *ISTAS*. Obtenido de Salud laboral: <http://www.istas.net/web/index.asp?idpagina=1286>.
- Jiménez, A., Delgado, E. y Gaona, G. (2001). Modelo de productividad de David Sumanth aplicado a una empresa del sector de maquinaria no eléctrica. *Ingeniería*. 6, 81-87.
- Jiménez Rojas, A. H., Delgado Bobadilla, E. E., & Gaona Villate, G. (2001). Modelo de productividad de David Sumanth aplicado a una empresa del sector de maquinaria no eléctrica. *Ingeniería*, 81-87.
- Kelton, W. D., Smith, J. S., Sturrock, D. T., & Muñoz, D. F. (2012). *Simio y Simulación: Modelado, análisis y aplicaciones*. México D. F.: Simio LLC.
- Law, A. y Kelton, D. (1991). *Simulation modeling and analysis*, Estados Unidos de América, New York: Mc Graw Hill.
- Law, A-M. (2014). *Simulation, modelling & analysis*. Estados Unidos de América: McGraw Hill
- Law, A. M., & Kelton, W. D. (2000). *Simulation Modelling and Analysis*. Estados Unidos de America: McGraw-Hill.
- Law, A. M., & Kelton, W. D. (2010). *Simulation Modelling and Analysis*. Estados Unidos de America: McGraw-Hill.
- Lawson, Madrigal, & Erjavec. (1992). *Estrategias para el mejoramiento de la calidad en la industria*. Grupo Editorial Iberoamericana.
- López, A. (2019). *Mejoramiento de la productividad de una empresa productora de adoquines mediante la aplicación de Simulación en Simio y técnicas de Ingeniería Industrial*. (Tesis de maestría). Instituto Tecnológico de Orizaba, Orizaba, Veracruz, México.
- López Cabrera, A. G. (2013). *Aplicación de simulación*. Tierra Blanca, Veracruz: Sin Editorial.

- López Cabrera, A. G., & Cerón Prieto, J. A. (2013). Aplicación de simulación con Promodel (R) para mejorar el sistema de vialidad en el primer cuadro de la localidad de Maltrata, Ver. Tierra Blanca, Veracruz: Sin Editorial.
- López Cabrera, A. G., Moras Sánchez, C. G., Fuentes Rosas, L., Aguilar Lasserre, A. A., & Arellano Cruz, E. P. (2018). Modelo de simulación en SIMIO® del proceso de fabricación de adoquines evaluando alternativas de mejora. Coloquio de Investigación Multidisciplinaria, 709-716.
- Lozano, J. (2008). Secciones Normativas. STPS: NORMA Oficial Mexicana NOM- 025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo. Recuperado de: <http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/normatividad/normas/Nom-025.pdf>.
- M., G. (1989). Administrar para la calidad. Conceptos administrativos del control total de calidad. Editorial Limusa Noriega, 2da. Edición. P, E. (2008). Cierre de auditoría de seguimiento al sistema de gestión de calidad. México: Editorial Limusa Noriega.
- Mario Mancera Fernández, m. t. (2012). Seguridad e higiene industrial gestión de riesgos. México D.F. Alfaomega.
- Marvel Cequea, M., Rodríguez Monroy, C., & Núñez Bottini, M. Á. (2014). La productividad desde una perspectiva humana: Dimensiones y factores. Intangible Capital, 548-584.
- Martín García, E., & Valeiras Reina, G. (2004). Sistemas evolutivos y selección de indicadores. Sevilla: Pinelo Talleres Gráficos.
- Medina V., P. D., Cruz T., E. A., & Hernan Restrepo, J. (2007). Aplicación del modelo de experimentación Taguchi en un ingenio azucarero del Valle de Cauca. Scientia et Technica, 337-341.
- Mejía H. y Galofre, M. (2008). Aplicación de software de simulación como herramienta en el rediseño de plantas de producción en empresas del sector de alimentos. Prospectiva, 6(2), 39-45.
- Minitab. (2017). Soporte de Minitab® 17. Obtenido de <http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/graphs/graphs-of-distributions/probability-plots/probability-plot/>.
- Miranda, J., & Toirac, L. (2010). Indicadores de productividad para la industria dominicana. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal: Ciencia y Sociedad, 234-290.
- Molina, J. (2011). Prevención, protección y protocolos de emergencia. Obtenido de Riesgo: Temperatura, Humedad, Ventilación, Iluminación y Ruido:

- <https://sites.google.com/site/prevencionderiesgosyaccidentes/tipos-de-riesgos-y-su-prevencion/riesgo-temperatura-humedad-ventilacion-iluminacion-y-ruido>.
- Mora, M. (10 de Mayo de 2018). Rankia. Obtenido de <https://www.rankia.mx/blog/mejores-opiniones-mexico/3899088-cuanto-duran-viven-empresas-negocios-mexico>.
- Moras, C. y Ojeda, I. (2007). Evaluación de la eficiencia del programa de tránsito “cruces uno por uno” mediante la microsimulación. *Revista de la Ingeniería Industrial*, 1(1), 9-19.
- Niebel, B. y Freivalds, A. (2009). *Ingeniería Industrial, Métodos, estándares y diseño de trabajo*. México: Mac Graw Hill.
- Ortiz, L. (2012). Sener. NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE- 2012, Instalaciones Eléctricas (utilización). Recuperado de: [http://www.sener.gob.mx/res/Acerca\\_de/29112012-VES.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/Acerca_de/29112012-VES.pdf).
- Pedraza, E. (2012). Normas Oficiales Sener. NORMA Oficial Mexicana NOM-030-ENER-2012, Eficacia luminosa de lámparas de diodos emisores de luz (LED) integradas para iluminación general. Límites y métodos de prueba. Recuperado de: <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4768/sener/sener.htm>.
- Pérez, P. (2008). *Metodologías para la resolución de problemas de distribución en planta*. Matanzas, Cuba.
- PHILIPS. (Septiembre de 2009). Luz que hace escuela. Obtenido de [http://www.lighting.philips.com/pwc\\_li/main/shared/assets/downloads/pdf/Folleto%201882\\_00\\_319\\_BROC\\_210x297\\_ES\\_LR.pdf](http://www.lighting.philips.com/pwc_li/main/shared/assets/downloads/pdf/Folleto%201882_00_319_BROC_210x297_ES_LR.pdf).
- Ponce Cruz, P. (2010). *Inteligencia Artificial: Con aplicaciones a la Ingeniería*. México, D.F.: Alfaomega.
- Prokopenko, J. (1989). *La gestión de la productividad*. Ginebra: Organización internacional del trabajo.
- Rauch-Hindin, W. B. (1989). *Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en la actividad empresarial, la ciencia y la industria*. Madrid, España: Díaz de Santos, S.A.
- Ramírez, A. (s.f.). tesoem. Tecnológico de Estudios Superiores Oriente del Estado de México. Recuperado de: <http://www.tesoem.edu.mx/alumnos/cuadernillos/2013.013.pdf>.
- Real Academia. (s.f.). Recuperado el 14 de Abril de 2018, de <http://lema.rae.es/dpd/srv/search?id=SmVsQpE6kD60bafF60>.
- Real Academia de la Lengua Española. (s.f.). Recuperado el 21 de Abril de 2108, de <http://dle.rae.es/srv/search?m=30&w=simulaci%C3%B3n>.
- Reyes, A. P. (2002). *Manufactura Delgada (Lean) y Seis Sigma en empresas mexicanas: experiencias y reflexiones*. *Contaduría y Administración* 205, 51-69.

- Rodríguez, F. J., & Gómez Bravo, L. (1991). Indicadores de calidad y productividad en la empresa. Venezuela: Editorial Nuevos Tiempos.
- Romero Bermúdez, E., & Díaz Camacho, J. (2010). El uso del diagrama causa-efecto en el análisis de casos. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 127-142.
- Rubio, R. J. (2005). Manual para la formación de nivel superior en prevención de riesgos laborales. España: Díaz de Santos.
- Rudiger, G. (s.f.). Manual. Como planificar con luz. España: ERCO.
- SOCIAL, S. D. (2008). NIVELES DE ILUMINACIÓN. MEXICO DF: STPS.
- Ruiz, A., & Rojas, F. (2009). Universidad Pontificia Comillas Madrid. Recuperado el 01 de Junio de 2017, de <http://web.cortland.edu/matresearch/HerraCalidad.pdf>.
- Russell Noriega, M. (2012). Control Estadístico de Procesos. México, D. F.: CIMAT.
- Salazar, A. L. (2013). Hacia la responsabilidad social empresarial de pequeñas empresas: Caso México. *Revista Internacional Administración & Finanzas*, 39-54.
- Simple Organización Lean. (23 de Junio de 2020). Simple Organización Lean. Obtenido de <https://simpleproductividad.es/blog/aumentar-la-productividad-de-una-empresa/>.
- Sawyer, J., & Evans, N. (2010). An Investigation Into the Social and Environmental Responsibility Behaviors of Regional Small Businesses in Relation to their Impact on the local Community and Immediate Environment. *Australasian Journal of Regional Studies*, 253-265.
- Sociedad latinoamericana para la calidad. (2000). Recuperado el 01 de Julio de 2017, de [http://homepage.cem.itesm.mx/alesando/index\\_archivos/MetodoIDisMejoraDeProcesos/LIuviaDeldeas.pdf](http://homepage.cem.itesm.mx/alesando/index_archivos/MetodoIDisMejoraDeProcesos/LIuviaDeldeas.pdf).
- Soler, L. (20 de Junio de 2020). HRTRENDS by infoempleo. Obtenido de <http://empresas.infoempleo.com/hrtrends/definir-objetivos-aumentar-productividad>.
- Soriano, J. P. (2009). Manual de Prevención Docente, Riesgos laborales en el sector de la enseñanza. Valencia. Recuperado de: <http://www.homedepot.com.mx/comprar/es/mochis/centro-de-carga-empotrar-6-polos-100-a>.
- Soporte de Minitab 18. (03 de Septiembre de 2018). Soporte de Minitab 18. Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/doe/supporting-topics/basics/replicates-and-repeats-in-designed-experiments/>.
- STPS. (2002). NOM-011-STPS-2001. DOF.
- STPS. (2008). NOM-025-STPS-2008. DOF.
- Sumanth, D. (1996). Administración de la Productividad. Mc Graw Hill.
- Sumanth, D. J. (1999). Administración de la productividad total. México: Continental, S.A.



- Taha, H., Meza, G., Cruz, R., González V. (2004). Investigación de Operaciones: Una investigación, Naucalpan de Juárez, México: Pearson.
- Temblador, C., Ramírez-Galindo, J. G., & Beruvides, M. G. (2011). Transactional Six Sigma, Addressing Services. American Society For Engineering Management Conference Proceedings.
- Temblador, M. d., Ramírez Galindo, J. G., & Beruvides, M. G. (Octubre de 2009). Six Sigma for Support Areas. American Society For Engineering Management Conference Proceedings, 14-17.
- Tobón Galicia, L. G., Fuentes Rosas, L., Sánchez Martínez, G., & Ruíz Toribio, R. (2019). Medición y mejora de la productividad en el área de corte de una papelera. REDIBAI.
- Tolamatl, M. J., Gallardo, G. D., Varela, L. J., & Flores, Á. E. (2011). Aplicación de Seis Sigma en una Microempresa del Ramo Automotriz. Conciencia Tecnológica, núm. 42, 11-18.
- Trías, M., González, P., Fajardo, S., & Flores, L. (2009). Las 5 W + H y el ciclo de mejora en la gestión de procesos. Uruguay.
- Turmero Astros, I. (s.f.). Monografías. Obtenido de Evaluación ergonómica y seguridad de los laboratorios de computación y química: <http://www.monografias.com/trabajos98/evaluacion-ergonomica-y-seguridad-laboratorios-unexpo-poz/evaluacion-ergonomica-y-seguridad-laboratorios-unexpo-poz.shtml>.
- Universidad Carlos 3 de Madrid. (10 de Febrero de 2015). UC3M. Obtenido de [http://portal.uc3m.es/portal/page/portal/laboratorios/prevencion\\_riesgos\\_laborales/manual/riesgos\\_fisicos](http://portal.uc3m.es/portal/page/portal/laboratorios/prevencion_riesgos_laborales/manual/riesgos_fisicos).
- Universidad Nacional Autónoma de México. (2009). Facultad de Ingeniería, División de Ingeniería Mecánica e Industrial. Recuperado el 02 de Julio de 2017, de [http://www.ingenieria.unam.mx/industriales/historia/carrera\\_historia\\_gantt.html](http://www.ingenieria.unam.mx/industriales/historia/carrera_historia_gantt.html).
- Velásquez de Naime, Y., Rodríguez Monroy, C., & Guaita, W. (2012). Modelo de los factores que afectan la productividad. XVI Congreso de Ingeniería de Organización, 847-854.
- VentDepot. (s.f.). VentDepot.com. Obtenido de <http://www.ventdepot.com/>
- Walpole, R., Myers, R. y Myers, S. (2012). Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias, Naucalpan de Juárez, México: Pearson.
- Warfield, J. N. (2002). A Handbook of Interactive Management. Palm Harbor, FL: Ajar Publishing Company.
- Zuñiga, A. H. (1997). Seguridad e higiene industrial. México D.F. Limusa, s.a. de C.V.



EDITA: RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C  
DUBLÍN 34, FRACCIONAMIENTO MONTE MAGNO  
C.P. 91190. XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO.  
CEL 2282386072  
PONCIANO ARRIAGA 15, DESPACHO 101.  
COLONIA TABACALERA  
DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC  
C.P. 06030. MÉXICO, D.F. TEL. (55) 55660965  
[www.redibai.org](http://www.redibai.org)  
[redibai@hotmail.com](mailto:redibai@hotmail.com)

Sello editorial: Red Iberoamericana de Academias de Investigación, A.C. (607-8617)  
Primera Edición, Xalapa, Veracruz, México.  
No. de ejemplares: 200  
Presentación en medio electrónico digital: Cd-Rom formato PDF 8.5 MB  
Fecha de aparición 30/11/2020  
ISBN 978-607-8617-82-1

Derechos Reservados © Prohibida la reproducción total o parcial de este libro en cualquier forma o medio sin permiso escrito de la editorial.

# APLICACIÓN DE TÉCNICAS PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD Y MEJORA CONTINUA EN LAS ORGANIZACIONES



ISBN: 978-607-8617-82-1



9 786078 617821