



**Universidad Autónoma de Querétaro**  
Facultad de Contaduría y Administración

La innovación de los sistemas de manufactura y su impacto en la  
productividad.

Tesis  
Que como parte de los requisitos para obtener el grado de  
Doctor en Gestión de la Tecnología e Innovación

Presenta  
Epigmenio Muñoz Guevara

Santiago de Querétaro, Sep/2014



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Contaduría y Administración  
Doctorado en Gestión Tecnológica e Innovación

## LA INNOVACIÓN DE LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA Y SU IMPACTO EN LA PRODUCTIVIDAD

### TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de  
Doctor en Gestión Tecnológica e Innovación

#### Presenta:

Epigmenio Muñoz Guevara

#### Dirigido por:

Dra. Rosa María Romero González

#### SINODALES

Dra. Rosa María Romero González  
Presidente

Firma

Dra. Norma Maricela Ramos Salinas  
Secretario

Firma

Dr. Alberto de Jesús Pastrana Palma  
Vocal

Firma

Dra. Julia Hirsh  
Suplente

Firma

Dra. Denise Gómez Hernández  
Suplente

Firma

Dr. Arturo Castañeda Olalde  
Director de la Facultad

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña  
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario  
Santiago de Querétaro  
Ago/ 2015  
México

## RESUMEN

El objetivo de la manufactura es incrementar el valor de la materia prima hasta lograr el producto terminado a través de los procesos de transformación y por la optimización del uso de la infraestructura de producción por medio de la innovación en los procesos, para obtener una ventaja competitiva que coadyuve a crecer y a dominar el mercado, primero de manera local después de manera global, en el presente trabajo se describen y evalúan los elementos principales de la innovación en los sistemas de manufactura, contiene el estado del arte de la innovación, la manufactura y la relación de ambas con la productividad, así mismo establece la definición de variables, los elementos y datos para calcular la capacidad de proceso, el rendimiento total acumulado que son indicadores del comportamiento productivo de una empresa, es resultado del trato cuantitativo de las principales interacciones de manufactura como: la infraestructura, los procesos de producción y la calidad. La productividad de las empresas se basa en la disponibilidad de infraestructura de manufactura, en el diseño eficaz del sistema productivo y en la calidad de los productos. Para el presente trabajo se consideró un caso de estudio, en base a los procesos analizados y a los datos obtenidos, se propone un modelo para el tratamiento de los datos de producción para conocer la disponibilidad de equipo, la capacidad del ciclo de producción y la reducción del desperdicio para determinar cuantitativamente el comportamiento del proceso de manufactura, considerando el rendimiento, inventarios y disponibilidad, en la producción y calidad, La empresa analizada es grande, automatizada, del ramo de transformación petroquímica, con operación de más de 30 años, es parte de un conglomerado internacional, limitada en sus procesos internos de innovación en manufactura, por lo cual está adaptando técnicas y métodos generados en y para otro tipo de industria, la adopción de metodologías como manufactura esbelta y seis sigma, estos métodos aunque ya tienen tiempo, para la empresa es una innovación, son métodos que les están ayudando a optimizar sus procesos productivos y a incrementar su productividad.

(Palabras Clave: Innovación, Manufactura, Calidad, Productividad)

## SUMMARY

Manufacturing aims to increase the value of the raw material to the finished product through the processes of transformation and by optimizing the use of the infrastructure of production through innovation in processes, to obtain a competitive advantage which contributes to grow and dominate the market, first locally after globally, in the present work we describe and evaluate the main elements of innovation in manufacturing systems, contains state of the art of innovation, manufacturing, and the relationship of both productivity, also contains the definition of variables, elements and data to calculate throughput, accumulated total performance that are indicators of the performance of a company, it is result of quantitative treatment of major interactions such as: infrastructure, production processes and quality. The productivity of enterprises is based on the availability of infrastructure of manufacturing, effective production system design and the quality of the products. For this work was considered a case study, based on analyzed processes and data, propose a model for the treatment of the production data to determine equipment availability, the ability of the production cycle and the reduction of waste to quantitatively determine the behavior of the manufacturing process, whereas the performance, inventory and availability, production and quality. The analyzed company is large, computerized, the bouquet of petrochemical processing, with operation in more than 30 years, is part of an international group, limited in their internal processes of innovation in manufacturing, so it is adapting techniques and methods generated in and for other types of industry, the adoption of methodologies such as lean manufacturing and six sigma, although the tools already exist, for the company is an innovation, the use of new methods are helping them to optimize the production process and increase the productivity.

(Key words: innovation, productivity, manufacturing, quality)

## **DEDICATORIAS**

A mi familia de ayer, de hoy y de mañana.

A mi esposa Silvia por su invaluable ayuda en este transitar por la vida, por darle sentido a mi vida y por darme una familia.

A nuestros hijos: Ernesto, Adriana y Silvia

A la familia de mis hijos: A Karla, a Ximenita, Natalia y a los que vendran a calentar el invierno, a florecer primaveras, a asolear el verano, por reducir el otoño y a endulzarme la vida.

A mis compañeros.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Autónoma de Querétaro, por su grandeza, por su virtud, por fórmame a mí y a miles de queretanos, por su contribución a la sociedad.

Por ser cuna de hombres y mujeres, para el bien de México, del estado, de la ciudad y de sus familias.

A mis maestros de siempre, por sus enseñanzas, tiempo y comprensión.

A mi directora de tesis la Dra. Rosa María Romero González, por sus consejos y paciencia.

A la Dra. Norma Maricela Ramos Salinas, por su tiempo y orientación.

A mis sinodales de tesis por sus comentarios para el mejoramiento y conclusión del presente trabajo.

A todos muchas gracias.

ÍNDICE		Pág.
	Resumen	i
	Summary	ii
	Dedicatorias	iii
	Agradecimientos	iv
	Índice	v
	Índice de Tablas	vi
	Índice de Figuras	vii
<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1	Estructura de la tesis	1
1.2	Antecedentes	2
1.3	Problema básico de manufactura	15
1.4	Objetivo de la investigación	17
1.5	Justificación del estudio	18
1.6	Beneficios de la investigación	19
1.7	Método propuesto de investigación	20
<b>2</b>	<b>ESTADO DEL ARTE</b>	<b>23</b>
2.1	Evolución de la innovación y sus tendencias	23
2.1.1	Vertientes de la innovación	25
2.1.2	Innovación disruptiva	32
2.1.3	Glocalización e innovación inversa	34
2.1.4	Sistemas de Manufactura en México	37
2.2	Contexto general de la manufactura	40
2.2.1	La automatización de la manufactura	45
2.2.2	Herramientas de manufactura	49
2.2.3	La mejora continua en los procesos de manufactura	51
2.3	Innovación en la manufactura	55
2.3.1	Los efectos de la innovación en manufactura	58
2.3.2	Medición de la innovación	61

2.3.3	Los resultados de la innovación en la manufactura	68
2.4	Herramientas de apoyo a los sistemas de manufactura	71
2.4.1	Los sistemas de calidad en la manufactura	71
2.4.2	Sistema de manufactura esbelta (lean manufacturing)	75
2.4.3	Metodología Seis sigma	83
2.4.4	Lean seis sigma	86
<b>3</b>	<b>CASO DE ESTUDIO</b>	<b>89</b>
3.1	Antecedentes	89
3.2	Polimeros S.A.	90
3.3	Estrategias de implementación de la metodología lean seis sigma	93
3.4	Estado actual de Implementación	94
3.5	Uso de herramientas innovadoras lean seis sigma en la etapa 1	97
3.6	Uso de herramientas innovadoras lean seis sigma en la etapa 2	99
<b>4</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>101</b>
4.1	Problema de investigación	101
4.2	Objetivo general	101
4.3	Objetivos específicos	102
4.4	Planteamiento de la hipótesis	103
4.5	VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN	103
4.6	Diseño metodológico de la investigación	104
4.7	Información de referencia	105
<b>5</b>	<b>MÉTODO DE CÁLCULO DEL IMPACTO DE LA INNOVACIÓN EN LA PRODUCTIVIDAD</b>	<b>108</b>
5.1	Cálculo de capacidad de proceso	108
5.2	Cálculo del rendimiento	113
5.2.1	VARIABLES INDEPENDIENTES (x: entradas)	114
5.2.2	VARIABLES DEPENDIENTES (y: salidas)	114
5.2.3	Tack time	115
5.3	Datos para el cálculo del rendimiento total acumulado	116
5.4	Interpretación de los datos de capacidad y rendimiento	118
5.5	Parámetros de comparación	122



5.6	Medición	123
5.7	Elementos de entrada para el rendimiento total acumulado	124
5.8	Análisis del comportamiento.	125
5.9	Gráficas de comportamiento mes de septiembre	127
<b>6</b>	<b>RESULTADOS</b>	132
6.1	Introducción	132
6.2	Resumen de herramientas lean seis sigma utilizadas en la empresa	133
6.3	Resumen de resultados	134
6.4	Resultados específicos	136
6.4.1	Comportamiento en términos de capacidad de proceso que es el resultado que impacto al cliente	136
6.4.2	Comportamiento del rendimiento total acumulado que es la eficacia del uso interno de la infraestructura de manufactura.	139
<b>7</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	143
7.1	Introducción	143
7.2	Pregunta de investigación	144
7.2.1	Respuesta a pregunta de investigación	144
7.3	Validación de la hipótesis de investigación	145
7.4	Evaluación del cumplimiento de objetivos	145
<b>8</b>	<b>CONCLUSIONES, DISCUSIÓN, LIMITANTES Y PROPUESTAS</b>	147
8.1	Conclusiones	147
8.2	Discusión	150
8.3	Limitantes	153
8.4	propuestas	154
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	155

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Pág.</b>
3.1	Organigrama de la empresa de estudio	92
3.2	Proceso genérico de producción de la empresa de estudio	92
5.1	Curva característica de operación de un proceso	111
5.2	Inventarios mes de septiembre	128
5.3	Cadencias de producción mes de septiembre	129
5.4	Rendimiento total acumulado mes de septiembre	130
5.5	Diferencias con empresas de clase mundial mes de septiembre	131
6.1	Inventarios	136
6.2	Cadencias de producción	137
6.3	Rendimiento total acumulado mensual	138
6.4	Diferencias con empresas de clase mundial mensual	138
6.5	Rendimiento en producción por día	139
6.6	Producción por hora	140
6.7	Eficacia de calidad	140
6.8	Desperdicio diario	141
6.9	Resumen de comparativo mensual	142
6.10	Variabilidad de proceso	142

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Pág.</b>
1.1	Evolución de la manufactura y la naturaleza de la organización	6
1.2	Criterios para determinar los rendimientos de la productividad	9
1.3	Criterios para determinar el tipo de empresa según su productividad	11
1.4	Criterios para clasificar el tipo de empresa según su rendimiento	12
1.5	Enfoques, herramientas y objetivos de un sistema de gestión de calidad	15
2.1	Evolución de las unidades económicas y personal ocupado por tamaño de industria manufacturera.	38
2.2	Algunas herramientas de manufactura esbelta	77
2.3	Fuentes de variación y herramientas estadísticas en manufactura	78
2.4	Herramientas de la manufactura esbelta según la fuente de desperdicio	80
2.5	Elementos del rendimiento total acumulado y sus desperdicios ( Las seis grandes fallas)	81
2.6	Herramientas de la manufactura y su efecto en el rendimiento	82
2.7	Niveles de capacidad de proceso en sigmas, rendimiento y Dpmo	85
2.8	Comparación entre los procesos lean y seis sigma	88
3.1	Herramientas lean utilizadas actualmente por empresa de estudio	95
3.2	Actividades principales de implantación de la metodología lean six sigma	96
3.4	Estrategia de uso de herramientas innovadoras lean seis sigma etapa 1	98
3.5	Estrategia de uso de herramientas innovadoras lean seis sigma etapa 2	100
4.1	Variables de la hipótesis de investigación	104
4.2	Datos del reporte mensual de producción	107
5.1	Formulas equivalentes para cálculo de capacidad de proceso	109
5.2	Equivalencias entre seis sigma y capacidad de proceso	113

5.3	Elementos para el cálculo del rendimiento total acumulado	117
5.4	Productividad en la manufactura	120
5.5	Principales sistemas de ayuda a la manufactura, enfoque y variable de control	122
5.6	Parámetros de comparación de las empresas de manufactura	122
5.7	Datos de operación para el cálculo del rendimiento total acumulado	125
5.8	Descripción de las gráficas resultado del análisis del comportamiento	126
6.1	Implantación de herramientas para mejorar el comportamiento operativo	133
6.2	Resumen de comportamiento del mes de septiembre (2013), enero y mayo (2014)	136
7.1	Resumen de comportamiento de las variables de interés relativas a la productividad	144
7.2	Validación de la hipótesis de investigación	145
7.3	Cumplimiento de los objetivos de la investigación	146

## ABREVIATURAS

AMEF	Análisis y modos de efectos de falla
BSC	Balanced scorecard (cuadro de mando integral)
CNC	Control Numérico Computarizado
Cp	Capacidad de procesos (Proceso centrado)
Cpk	Capacidad potencial de proceso (Proceso No centrado)
DFSS	Design for six sigma
DMADV	Definir, Medir, Analizar, Diseñar y Validar
DMAIC	Definir, Medir, Analizar, Implementar y Controlar
Dpmo	Defectos por millón de oportunidades
ISO	International Standardization Organization
k	Factor de corrección para proceso no centrado
KPI	Key performance indicator (Indicador clave de comportamiento)
lie	Límite inferior de especificación
lse	Límite superior de especificación
OCDE	Organización para la cooperación y el desarrollo Económico
PLC	Programmable Logic Control (Control lógico programable)
Pymes	Pequeñas y medianas empresas
RTA	Rendimiento total acumulado
USA	United States of America
Z	Capacidad de proceso en términos de seis sigma
Zlt	Capacidad a largo plazo
Zst	Capacidad a corto plazo
$\sigma$	Sigma (Desviación estándar)
$\mu$	Media
t	Objetivo
WLC	Wired Logic Controller
5 S's	Seiri, Seito, Seiso, Seiketsu, Shitsuke (Clasificación, Organización, limpieza, bienestar y disciplina)
7 M's	Materiales, mano de obra, medición, maquinas, métodos, mantenimiento y medio ambiente

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Estructura de la Tesis

La finalidad de este trabajo es desarrollar un método para determinar en qué grado la innovación en los sistemas y en los procesos de manufactura afectan la productividad, pero es necesario determinar y describir los tipos de innovación en las técnicas y herramientas de soporte a la manufactura, considerando su efecto en el rendimiento y en la productividad, para esto se utilizan técnicas cuantitativas y se propone el diseño de una herramienta de cálculo de las principales variables dependientes de la productividad en las empresas de manufactura.

Para el desarrollo se abordó un método de investigación que combina el conocimiento de la innovación de las herramientas y los métodos que inciden en la manufactura para determinar cuantitativamente el efecto en la eficacia del proceso productivo.

Este trabajo contiene ocho capítulos: 1) Introducción, se describen los antecedentes, se hace la definición genérica del problema, los elementos y contexto de la manufactura, se plantean los objetivos y genéricamente la metodología de la investigación. En el capítulo 2) Marco teórico, se determina el estado del arte de los temas relevantes de la tesis, particularmente se aborda la innovación, los elementos de la manufactura, la calidad y las herramientas de ayuda a la productividad a partir de la descripción formal del problema y del objetivo de la investigación. En el capítulo 3) Caso de estudio, se describe la empresa de estudio así como su organización, el proceso productivo y la estrategia de mejora. En el capítulo 4) Metodología, se hace la descripción específica del método de solución, las etapas y los procesos para la obtención de los datos. En el capítulo 5) Método del cálculo del impacto de la innovación en la productividad, se establecen los parámetros,

los métodos matemáticos y el proceso de cálculo en base a control estadístico, seis sigma y herramientas lean. En el capítulo 6) Resultados, se describe la experimentación realizada y los resultados. En el capítulo 7) Análisis de resultados, se determina en base a la propuesta de investigación; la validez de la hipótesis y el cumplimiento de los objetivos de la investigación. En el capítulo 8) Conclusiones, discusión, restricciones y propuestas, se describen las conclusiones finales del trabajo, soportadas en las teorías de algunos autores y en las evidencias resultado de la investigación, se exponen algunas sugerencias de líneas de investigación para trabajos futuros y sus posibles aplicaciones. Al final se describe la bibliografía y los autores consultados para el desarrollo del trabajo de tesis.

## **1.2. Antecedentes**

Tradicionalmente el concepto fundamental de la manufactura fue convertir materia prima en producto terminado, ahora es agregar valor a la materia prima a través de la optimización de los procesos en la organización, tratando de cumplir los requerimientos del cliente, lograr los objetivos empresariales mediante el uso eficiente de los recursos, producción oportuna para incrementar la productividad y la calidad de producto.

A través del tiempo la manufactura ha evolucionado por eventos científicos, tecnológicos y técnicos que marcan la diferencia entre épocas, métodos y técnicas de transformación de los recursos materiales, estos eventos son el resultado de la innovación dirigida y de la evolución de la ciencia o de la tecnología que se retroalimenta de sí misma para generar y regenerar el conocimiento, la tecnología y la práctica, por ejemplo el pensamiento administrativo ha cambiado a través del tiempo mediante la aportación de personas que han generado nuevos conceptos tal es el caso de los siguientes autores.

Senge (1990) menciona que las empresas aprenden a través de sus empleados, que es importante generar los espacios de aprendizaje y unir las expectativas del empleado a la estrategia de la empresa, que el conflicto es la oportunidad de mejorar; asimismo, concluye que la importancia de los modelos mentales es generar coherencia estratégica entre empleados y empresa. Respecto a las teorías de productividad moderna Goldratt (1994) escritor de la Meta, describe la teoría de restricciones y menciona que la productividad de las industrias está restringida a sus propios procesos, que su capacidad productiva está limitada a la capacidad del eslabón más débil de la cadena de producción y que lo verdaderamente importante es la velocidad de generar ingresos así como optimizar el ciclo económico de la empresa.

Slywotzky (1996) escritor de El valor de la migración comenta que todas las empresas buscan la competencia en el mercado, pero por diferentes formas, describe el valor de la migración empresarial como el método de trascender productos, mercados y naciones, que hay empresas que basan sus estrategia en el diseño del negocio y otras en el diseño del producto o del proceso (tecnología), la mayoría de las empresas basan su existencia en entender la relación de las prioridades y el comportamiento de los clientes, con el diseño del negocio (expectativas de los propietarios).

Nonaka y Takeuchi (1999) escritores de la Organización Creadora del Conocimiento describen la importancia de la formación del conocimiento colectivo de los miembros de una organización, mediante los tipos de conocimiento, el tácito y el explícito, estos conocimientos dependen de la relación entre los empleados y estos con la organización, donde el conocimiento se difunde mediante de las siguientes etapas: la socialización, la exteriorización, la combinación y la interiorización, con esto se logra el aprendizaje de la



organización y básicamente se concibe la capacidad de innovación como resultado de la aplicación del conocimiento colectivo generado internamente.

Herrscher (2008) escritor del pensamiento sistémico se enfoca en la importancia de la innovación como resultado sistémico eficaz, el cual relaciona hechos con juicios y trata de racionalizar el proceso de toma de decisiones en base a estrategias globales y contribuciones individuales o grupales para el logro de los objetivos; como corolario menciona que lo importante es caminar el cambio, vivir la estrategia.

Por otra parte en los sectores industriales hay empresas que surgen para comercializar un invento o producto exitoso, primero se crea el producto, después la empresa, el mercado y finalmente un sector industrial, hasta pasar del mercado de bienes o servicios al mercado de dinero, hay casos extremos, por ejemplo en General Electric más del 50 % de sus ingresos son del mercado de dinero, cuando la creación de esta empresa fue de base tecnológica y con el tiempo cambio de diseño de productos, innovación y manufactura al diseño de negocios (Welch, 2001).

Así mismo los procesos productivos y la productividad han evolucionado de comercial a industrial, de local a global, de lo individual al colectivo social. Hoy las empresas se enfocan principalmente en cuatro aspectos: costo, ciclo de producción, oportunidad y calidad, estos cambios de contexto y de variables requieren mejoras en la productividad de los procesos, así como la evaluación continua de los métodos de producción, buscando la optimización del uso de la tecnología o infraestructura de producción y de la eliminación de las actividades que no agregan valor al proceso/producto, por eso los sistemas de manufactura y los métodos de mejora son parte integral de los procesos administrativos de la industria moderna.

En la actualidad, es común escuchar los conceptos de eficiencia y eficacia en la productividad, temas que se asocian al ciclo de generación, aplicación y reconversión del conocimiento, es decir: tecnología e innovación con enfoque en la capacidad del proceso, entendiendo la capacidad del proceso como la habilidad de generar productos que satisfacen los requerimientos del cliente, por lo que se requieren la evaluación continua del comportamiento de los procesos de manufactura y la medición de la productividad, para lograrlo se puede utilizar un sistema de indicadores de comportamiento en el sistema de manufactura, así como sistemas de mejora. La innovación se percibe como algo nuevo y trascendental que impacta en los procesos y en los productos, pero no hay forma directa o sistematizada que nos permita saber el impacto de la innovación en la manufactura.

Las empresas utilizan distintas fuentes de conocimiento en sus procesos de innovación y diversas estrategias para adquirir conocimiento tecnológico, por ejemplo, la generación del conocimiento propio basado en las capacidades internas de la organización, generalmente es aprender haciendo; a prueba y error, sin método de realización o de evaluación, solo con el objetivo de solucionar problemas inmediatos. Otra forma es adquirir tecnología, en ésta hay dos opciones: comprarla en infraestructura (herramientas, maquinaria, equipo, soft ware) o adquirir conocimiento a través de licencias o patentes, por último obtener y desarrollar tecnología a través de acuerdos de colaboración mutua con grupos empresariales e instituciones de investigación o de educación.

También es importante entender que a través del tiempo ha evolucionado la naturaleza de la industria, desde el inicio mediante el modelo mecánico hasta la actualidad con los modelos sociales y del enfoque analítico al moderno modelo sistémico. En la Tabla 1.1 se relacionan las variables de cada modelo con cada enfoque.

Tabla 1.1

*Evolución de la manufactura y la naturaleza de la organización*

Evolución de paradigmas	Naturaleza de la Organización		
	Modelo Mecánico	Modelo Biológico	Modelo Social
Comportamiento Grupal	No opina Sumisión	Una Opinión Medición	Varias Opiniones Modelado
<b>Enfoque Analítico</b>	Material y mano de obra Intercambiable	Diversidad, Conflicto y Crecimiento	Dirección participativa
Variables Independientes	Producción en línea y en masa	Estructura y desarrollo organizacional	Modelo operativo socio técnico
Percepción de la Realidad			
<b>Enfoque Sistémico</b>	Optimización de Procesos	Flexibilidad operativa y de control	Rediseño funcional y operativo continuo
Variables Interdependientes	Desarrollo de conocimientos	Control, informática robótica y cibernética	Administración interactiva
Modificación de la Realidad			
La organización cada vez es más interdependiente, los componentes desarrollan capacidades y comportamiento independiente			

Fuente: Elaboración propia con base en Herrscher (2008).

Hacer, comprar y colaborar, son los mecanismos de obtención de conocimiento tecnológico y son la base de las estrategias de innovación de la empresa; sin embargo, el conocimiento, la capacidad innovadora e inclusive la productividad, no generan obligadamente el éxito, es necesario enfocarla al desarrollo de un producto y a la competencia de mercado, es contar con la capacidad de aplicar lo mejor de la teoría a la práctica.

Desde el punto de vista de operación, se ha cambiado de la medición al modelado, administrativamente se trabaja en procesos interactivos con evolución continua en las estrategias, la característica común de una empresa con enfoque sistémico es el constante rediseño de procesos y productos, atendiendo el comportamiento del mercado; la

aplicación de los procesos administrativos interactivos proporciona flexibilidad al enfoque y a la toma de decisiones Herrscher (2008).

Actualmente las empresas en su mayoría disponen de estrategias, objetivos e indicadores cualitativos y cuantitativos en todos los procesos, uno de los indicadores más importantes es la productividad.

El concepto de productividad indica cuánto producto generan los insumos utilizados en una actividad económica y es igualmente aplicable a empresas industriales, de servicios o a un comercio, ésta medida es el índice que permite saber cómo cambia la relación entre productos e insumos a través del tiempo. Los elementos principales de la productividad en las industrias de manufactura son; la infraestructura en maquinaria y equipo, el conocimiento tecnológico para el uso adecuado de la maquinaria y la calidad de los productos. El incremento en la productividad significa el uso óptimo de los recursos, procesos estables y robustos con productos de buena calidad, lo que permite a las empresas expandir su mercado, inclusive exportar, así se generan más ingresos y empleo que permiten una derrama económica en la región, activando así la economía, lo cual genera desarrollo social.

En México la productividad es baja, son múltiples y variadas las causas, una es la informalidad comercial y las políticas públicas con proteccionismo a las empresas micro y pequeñas, que las hace ineficientes ante la competencia de compañías mejores y más productivas. Algunas políticas se conciben con buenas intenciones pero terminan generando bajo compromiso ante la competencia industrial, esto desplaza cada vez más la fuerza laboral hacia actividades de baja especialidad y competitividad, con poca

innovación y falta de cultura de mejora. Este hecho afecta las condiciones económicas y sociales de la región, debido al estancamiento o al lento crecimiento de la productividad.

La medición de la eficacia y la eficiencia de las empresas se basa en el enfoque al cliente, desarrollo de conocimiento, generación de clientes, desarrollo de productos y resultados financieros, que básicamente buscan integrar los elementos de la estrategia para medir el cumplimiento de ésta (Norton y Kaplan, 1996), pero no se une la cantidad de innovación con los resultados de la productividad en manufactura.

Por décadas se han desarrollado múltiples herramientas de ayuda a la manufactura, actualmente se cuentan con sistemas y metodologías que asocian la medición de la confiabilidad de la maquinaria y equipo, las técnicas estadísticas para la medición del comportamiento de los procesos, la gestión de calidad y de la mejora, que a través de su uso han generado empresas productivas que operan localmente para un mercado global, también conocidas como empresas de clase mundial que pueden funcionar adecuadamente en cualquier país, ya que sus resultados dependen principalmente de sus procesos productivos y no de su entorno (Augusto, Lisboa y Yasin, 2011).

Las empresas de manufactura de clase mundial son resultado de la innovación de los sistemas de gestión de mantenimiento, de producción, de los sistemas de calidad y de mejora, y recientemente la integración de metodologías innovadoras, por ejemplo seis sigma y los procesos esbeltos para formar los procesos lean seis sigma como respuesta a la necesidad de incremento de productividad.

La medición de la tendencia de mejora de la productividad se realiza mediante la eficiencia global de los equipos, (*OEE, Overall Efficiency Equipment*) que es la forma cuantitativa de medir el rendimiento de la productividad de una empresa, con esto se

evalúa el uso de los equipos, el sistema de producción y la gestión de la calidad, su aplicación inicio en los procesos de manufactura de la industria automotriz.

En la Tabla 1.2 se mencionan los principales elementos del proceso productivo y las variables que lo integran, enfocándose principalmente en la medición de la eficacia de manufactura, considerando los siguientes componentes: disponibilidad de equipo (infraestructura), uso del equipo durante la producción y la calidad de los resultados.

Tabla 1.2

*Crterios para determinar los rendimientos de la productividad*

RENDIMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD				
Manufactura (De Materia Prima a producto Terminado) Cadena de Valor	Entender el Negocio	Entender la Organización		Entender la Operación
	Optimización de uso de la Infraestructura (Maquinaria y equipo)	Disponibilidad (tener)	Caracterizar, Medir y Analizar	Fallas y mantenimiento
	Eficacia de transformación (Procesos, herramientas, máquinas y métodos productivos)	Eficacia de producción (usar)	Exactitud y precisión ( $\mu$ , $\sigma$ )	Tiempo de Ciclo, Promedio y Variabilidad
	Optimización de calidad (Productos y Servicios)	Eficacia de Calidad (Cumplir)	Rendimiento en calidad	Rendimiento y desperdicio

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 1.2 también se mencionan los elementos de evaluación del rendimiento y las variables que lo definen, por ejemplo: la disponibilidad que es el tiempo que la maquinaria está libre de fallas o en mantenimiento, la eficacia de producción en cadencias de producción, piezas o tiempo de fabricación por pieza y la eficacia de calidad se refiere a la cantidad de piezas correctas con respecto al total producido. Las empresas desde el punto de vista de operación tienen gran énfasis en la operación de sus departamentos de

mantenimiento, de producción y de calidad, ya que en estos se tiene la responsabilidad de mantener el equipo en condiciones confiables y seguras de operación, en el uso óptimo de estas y finalmente asegurar la calidad de los productos terminados.

Los datos de operación de planta son utilizados para medir la productividad como base de mejora de los elementos de la producción, para medir el comportamiento, incrementar sus rendimientos y clasificar las empresas en base a su rendimiento total acumulado (RTA), que es el producto de la eficacia individual de cada componente de la manufactura, éste método es utilizado en empresas automatizadas con grandes volúmenes de producción, como la industria automotriz, la electrónica y la de electrodomésticos.

En éste método de cálculo del rendimiento se considera el efecto de cada variable en el resultado total. Los elementos cuantitativos para la evaluación de las variables de la productividad se describen a continuación.

1. *Disponibilidad de maquinaria y equipo:* se representa en porcentaje considerando el tiempo operativo total disponible estimado, considerando el tiempo de mantenimiento programado o por fallas, el tiempo promedio de paros por ajustes o arranque de máquina, tiempo perdido por cambio de modelo o de herramientas de proceso.
2. *Eficacia de producción:* se representa en porcentaje considerando el uso de los recursos producción, la reducción de la velocidad del proceso, el balanceo de línea, la utilización de los recursos de manufactura y el ritmo de producción.
3. *Eficacia de calidad:* se representa en porcentaje considerando la relación entre piezas defectuosas y piezas fabricadas, tomando en cuenta los problemas de calidad de producto.

Con la información del proceso se puede realizar el cálculo del rendimiento total acumulado (RTA): éste valor define la productividad y considera el impacto de cada variable en el resultado total y se define por el resultado de la multiplicación de los tres factores entre sí:

$$RTA = \% \text{ Disponibilidad} * \% \text{ Eficacia de producción} * \% \text{ Eficacia de calidad}$$

El rendimiento total acumulado se considera como referencia para desarrollar los procesos de mejora.

Respecto a la eficacia de calidad, actualmente las empresas se evalúan utilizando herramientas y técnicas estadísticas, por ejemplo: control estadístico de proceso, metodologías de mejora, tal es el caso de seis sigma o lean seis sigma como proceso para medir la calidad de los productos en términos de rendimiento y defectos por millón de oportunidades (Dpmo).

En la Tabla 1.3 se definen los rendimientos estimados y los criterios para determinar el tipo de empresa según la productividad.

Tabla 1.3

*Criterios para determinar el tipo de empresa según su productividad*

CONCEPTO	Clase Mundial	Clase 1	Clase 2
Disponibilidad	90 %	85 %	80 %
Tiempo muerto en equipo	10 %	15%	20%
Eficacia de proceso	95 %	90 %	85 %
Pérdida de tiempo en producción	5%	10%	15%
Eficacia de Calidad	99.90%	95 %	90%
Desperdicio en Dpmo	100	50,000	100,000
Rendimiento Total Acumulado	85.4%	72.6 %	61.2 %
Desperdicio Total Acumulado	14.6 %	27.4 %	38.8 %

Fuente: Elaboración propia con base en Eckes (2001) y Fast Guide To OEE, Vorne Industries (2008).



En la Tabla 1.3 se observan tres clases de industrias en base a la clasificación de los elementos, a su relación con el rendimiento total acumulado (RTA) y sus rangos de desperdicio. Vorne Industries (2008) estima que el promedio del RTA para las industrias de manufactura en latinoamericana es del 61.2 %, lo que significa un desperdicio total acumulado de 38.8 %.

Estos rendimientos se evalúan por separado, sin considerar que el rendimiento es acumulado; por ejemplo, si se considera el 85 %, para la clase 2, como promedio del rendimiento, entonces el desperdicio sería el 15 %, que difiere de 38.8 % (Desperdicio Total acumulado); el valor correcto del rendimiento total acumulado es 61.2 %, ya que se calcula en base al comportamiento total del sistema y no de las variables individuales.

Otra forma de clasificar las empresas, es por la probabilidad de errores de producción, que es el desperdicio y se contabiliza en Dpmo.

En la Tabla 1.4 se muestran tres categorías de industria en base a la clasificación de los elementos (calidad, capacidad de proceso en sigmas y desperdicio) en relación al rendimiento total.

Tabla 1.4

*Criterios para clasificar el tipo de empresa según su rendimiento*

Concepto	Clase Mundial	Clase 1	Clase 2
Rendimiento Total Acumulado (RTA)	85.4 %	72.6 %	61.2 %
Eficacia de calidad	99.9 %	95 %	90 %
Desperdicio en Dpmo	Max. 1,000	Max. 50,000	Max. 100,000
Capacidad de proceso en Sigmas	4.65	3.15	2.8

Fuente: Adaptación en base a Eckes (2001) y Vorne Industries (2008).

La capacidad en sigmas es el número de veces que la desviación estándar es contenida entre la media y el límite de especificación, al reducir la desviación estándar el desperdicio disminuye y la capacidad se incrementa. Cuando el proceso es seis sigma, (3.4 *Dpmo*) la desviación estándar cabe seis veces entre la media y el límite de especificación.

La interpretación de un bajo rendimiento total acumulado, por ejemplo, podría ser que la maquinaria constantemente falla y está en mantenimiento casi siempre o cuando está operativa se utiliza de manera poco eficiente con procesos lentos, faltas de herramientas y materiales, y al final cuando se logra producir algunos productos, un porcentaje está fuera de especificación.

La globalización y la creciente competencia en los mercados de productos, así como el incremento en las exigencias de calidad hacen que las empresas traten de mejorar sus procesos para incrementar la productividad, que es un factor de capacidad de cada organización para operar y fabricar productos útiles que generen rendimiento financiero a sus propietarios.

Para lograr éste objetivo es necesario disponer de métodos y herramientas operativas que permitan a la empresa ser eficaz en sus procesos, también es necesario medir los resultados de las operaciones y procesos individuales para cuantificar la productividad y tomar decisiones en base datos y hechos, uno de los problemas de subsistencia de las empresas, es la falta de visión sistémica y la falta de uso de algún método de productividad empresarial que considere los siguientes tres elementos: el mercado como entorno de competencia, la tecnología como medio de aplicación del conocimiento y el producto como forma de permanencia en el mercado.

Algunas empresas se enfocan solo en una de las variables de la productividad pero desconoce el impacto de esta en el mercado, pudieran conocer el mercado pero no desarrollan el producto, estas empresas básicamente son las de servicios, otras conocen perfectamente la tecnología y su evolución, pero no tienen producto ni mercado, estas son la academia y posiblemente algunos centros de investigación y otras desarrollan un producto que podría ser innovador pero no tienen mercado, éste podría ser el caso de los pequeños emprendedores.

Actualmente para permanecer en el mercado es necesario tener pensamiento y operación sistémica, el cual consiste en ver la operación de manera integral, no solo elementos del sistema, cuando se actúa solo en una parte del sistema, sin considerar la interrelación de causas y efectos, se corre el riesgo de discontinuidades o fallas de operación que afectan o limitan la productividad de la empresa.

Para disponer de un enfoque de mejora en los sistemas de manufactura es necesario conocer el estado de la empresa, las herramientas para mejorar el rendimiento de la manufactura, disponer de una ventaja competitiva, además de considerar las condiciones de operación y de productividad. El enfoque sistémico de la manufactura es la visión completa del proceso, con todos los elementos: proveedores, insumos, procesos, productos y clientes. También es necesario considerar las interacciones entre los individuos que participan.

La cultura corporativa es sin duda uno de los elementos que definen la capacidad productiva de una empresa, en la actualidad se cuenta con innumerables herramientas de ayuda sin embargo la motivación individual y el compromiso de la empresa de asegurar

el desarrollo individual de su trabajadores y establecer el compromiso mutuo de desarrollo es la base del comportamiento productivo de una empresas Senge (1999).

En la Tabla 1.5 se describen los conceptos del el enfoque sistémico, así como las herramientas y el control que busca ligar los sistemas productivos al mercado.

Tabla 1.5

*Enfoques, herramientas y objetivos de control de un Sistema de Gestión Calidad*

<b>Concepto</b>	<b>Enfoque</b>	<b>Herramienta</b>	<b>Control</b>
Mercadotecnia	Mercado	Encuestas	Necesidades del cliente
Consistencia	Proceso (Tecnología)	Normas ISO 9000	Variabilidad
Precisión	Proceso (Tecnología)	Control Estadístico	Capacidad Promedio
Oportunidad	Proceso (Tecnología)	Manufactura esbelta	Velocidad y eficacia
Medición	Productos	Seis sigma	Desperdicio
Calidad	Productos	Lean Seis sigma	Cadena de Valor
Estrategia	Resultados	Tableros de mando Integral	Utilidad económica

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 1.5 se pueden observar las herramientas de obtención de datos, estandarización de procesos, métodos de producción y la evaluación de los resultados.

### **1.3. Problema básico de manufactura**

Las empresas de manufactura en la mayoría de los casos son proveedoras de componentes o ensambles para los fabricantes de equipo original, los clientes desarrollan sus planes de producción anual o mensual en base a la demanda, a la capacidad de producción, a pedidos temporales, lo cual hace que las empresas de manufactura tengan demandas variables.

El objetivo primordial de los empresarios de manufactura, es ser productivos y permanecer en el mercado. Una de las variables que define su operación es el cambio de la demanda, los cambios pueden ser en cantidad, calidad y especificaciones, la primera reacción ante algún incremento de demanda, más que evaluar, modificar o innovar sus procesos de manufactura, es comprar maquinaria y equipo para resolver los requerimientos de inmediato. La compra de equipo es parte de la solución inmediata, lo cual genera productividad e ingresos a corto plazo, pero la compra frecuentemente se realiza sin considerar el riesgo tecnológico, ni la rápida obsolescencia de la tecnología o de la máquina, lo cual pone en riesgo la recuperación de la inversión.

La tendencia inicial es la compra de equipo con capacidades acordes a los nuevos requerimientos pero otra las formas de adquirir capacidades tecnológicas es por desarrollo interno, lo cual trae conocimientos propios y desarrollo interno de personal calificado, otras actividades aunque dejan poco margen a la innovación interna, son la compra o la colaboración con otras industrias del mismo ramo.

La solución a los cambios de demanda o de exigencias de calidad implican el riesgo de reducir la capacidad tecnológica de la infraestructura de manufactura disponible, que la provoca la adquisición de maquinaria y equipo con otra capacidad y precisión de producción, generando un desbalance de la capacidad de producción o de la inversión en la línea de manufactura ya que la capacidad de una empresa está definida por el proceso más lento no por el más rápido. (Muñoz, 2013). Uno de los problemas de las empresas de manufactura ante las necesidades de mejora o innovación es que generalmente no disponen de áreas de investigación y desarrollo o con un proceso formal de innovación interna, cuando es necesario mejorar adaptan innovaciones desarrolladas en otras

empresas para otros procesos o productos, lo cual podría ser correcto, pero no cuentan con la metodología sistematizada que permita evaluar el impacto de la innovación en sus procesos de manufactura y su efecto en la productividad.

Cuando se dispone de un método de innovación, una de las ventajas es la generación de flexibilidad en los procesos de manufactura y su capacidad de adecuación a los requerimientos del cliente y del mercado. La flexibilidad en manufactura también se relaciona con la capacidad de innovación del producto y del cambio cultural dentro de la organización como base para incrementar la productividad (Augusto, 2011). Esto es solo una característica, lo importante es saber el impacto en la productividad de la flexibilidad de la manufactura y la adecuación de las herramientas, es necesario un método que permita a los directivos evaluar el impacto de la innovación en sus procesos.

#### **1.4. Objetivo de la investigación**

A través del desarrollo del presente trabajo se busca obtener el conocimiento de las herramientas de la innovación en los procesos de manufactura para proponer un método que permita determinar el impacto de la innovación en los sistemas de manufactura y en la productividad para facilitar la selección eficaz de métodos de innovación, herramientas, tecnología e infraestructura en las empresas de manufactura.

El alcance del presente trabajo se limita a la evaluación de empresas de manufactura, del ramo de la producción automática y flexible, proveedoras de fabricante de equipo original, que cuenten con certificación de calidad y métodos de mejora continua, pero el método es aplicable a cualquier tipo de empresas, por ejemplo en la industria automotriz o aeronáutica.

### **1.5. Justificación del estudio**

Actualmente Querétaro es uno de los estados de la república mexicana que más desarrollo económico ha tenido, entre otras cosas , debido al incremento de la instalación de empresas de manufactura, por ejemplo, la automotriz y aviación, esto ha hecho que algunas empresas globales trasladen a la región a sus proveedores como garantía de suministros, ya que por ahora la infraestructura de manufactura local no dispone de capacidades, infraestructura y experiencia tecnológica que les permitan ser proveedores confiables, lo cual ha generado una necesidad de colaboración entre empresas instituciones de educación e investigación con diferentes niveles tecnológicos y capacidades de innovación.

La colaboración en procesos de innovación entre empresas e instituciones provocan la transferencia del conocimiento, expande las actividades de investigación, reduce el costo y ciclo de innovación, incrementan la capacidad de resolver problemas de complejidad tecnológica y mejora las habilidades competitivas de las empresas, por ejemplo en Alemania en 1992, el 52.5 % de las empresas del sector automotriz colaboraban en investigación interinstitucional con otras empresas sector (Becker y Dietz, 2004). Otras de las variables en la capacidad de innovación de las empresas, es la diversidad tecnológica de las empresas de la región, la oferta educativa y los medios de comunicación disponibles donde se instalan las empresas; esto permite la colaboración con centros de investigación, instituciones educativa y con otro tipo de empresas, lo cual disminuye el riesgo de deterioro tecnológico por falta de actividades de innovación en la región (Lahiri, 2010). Este es el caso de México, ya que actualmente dispone de una amplia diversidad tecnológica, lo cual es una ventaja para las industrias de manufactura.

Una de las ventajas que proporciona la innovación en manufactura es la capacidad de flexibilidad de adecuación de los procesos y productos a los requerimientos del cliente y del mercado; sin embargo, esto es solo una característica, lo importante es saber el impacto en la productividad. La flexibilidad se relaciona también con la capacidad de innovación para mejorar la productividad, generar o incrementar la ventaja competitiva de la empresa (Augusto et al., 2011). La necesidad de los empresarios de que sus empresas sean productivas y competitivas los hace buscar la especialización en nuevas técnicas y métodos de manufactura, para incrementar la productividad se requiere de inversión en nuevas máquinas o métodos para permanecer y desarrollar otras capacidades tecnológicas, en la actualidad no se dispone de un método para determinar el impacto de la innovación en los sistemas de manufactura y su efecto en la productividad, lo cual podría facilitar la toma de decisiones al invertir en infraestructura tecnológica y maquinaria, en desarrollo de nuevos conocimientos y métodos que generen mayor retorno sobre la inversión o un mejor valor de reconversión de los activos.

### **1.6. Beneficios de la investigación**

Ésta investigación buscan generar los siguientes beneficios:

1. La disponibilidad de un proceso que permita determinar el impacto de la innovación en manufactura en el comportamiento productivo de las empresas
2. Formación de conocimiento base del método de evaluación del impacto de la innovación tecnológica en las empresas de manufactura.
3. Generación del conocimiento para estandarizar el procedimiento de evaluación de la manufactura con enfoques en infraestructura o en el desarrollo tecnológico.



### **1.7. Método propuesto de investigación**

La investigación será en base a los lineamientos para una investigación cuantitativa, con las siguientes consideraciones:

1. En base a los eventos de la presente investigación, se plantea un problema delimitado y concreto. Para responder la pregunta de investigación, se determina el estado del arte de la innovación en las herramientas y técnicas específicas en los procesos de manufactura y sus efectos en la productividad.
2. Después del problema, se presenta el marco teórico, las preguntas de investigación y la hipótesis que se evalúa para verificar si los resultados la corroboran, en caso de que no, se descarta en busca nuevas explicaciones e hipótesis. Al validar la hipótesis se validan también las teorías que la sustentan.
3. La definición de datos fue en base a las variables contenidas en las hipótesis. La recolección de datos se realizó en la empresa caso de estudio, en tres fechas que contienen dos periodos intermedios, los datos se obtuvieron con un procedimiento interno estandarizado de medición del proceso de manufactura.
4. Para que la investigación sea creíble, confiable y aceptada se siguieron los procedimientos, los casos y eventos evaluados corresponden al estado de operación actual de la empresa de estudio.
5. Los datos fueron el resultado de las mediciones y se representan de manera cuantitativa, se analizan y reportan a través de métodos estadísticos.
6. Durante el desarrollo se procuró controlar el proceso para que explicaciones distintas o divergentes a la hipótesis del estudio se desechen y así evitar la incertidumbre y para controlar o reducir el error.

7. Los análisis cuantitativos se interpretaron en torno a la hipótesis y a los estudios previos así como a la disponibilidad y análisis de los datos, como explicación de que los resultados se incluyen en el conocimiento existente.
8. La investigación cuantitativa fue objetiva y confiable, los fenómenos observados no se afectaron por el investigador, se evitó que las percepciones y tendencias del estudio influyeran en el proceso o en el resultado.
9. Con los resultados de esta investigación se no pretende generalizar la conclusión del caso de estudio a una población ya que cada empresa realiza estrategias diferentes de manufactura, se buscó que los métodos y estudios efectuados puedan replicarse.
10. Los estudios cuantitativos explican y describen las tendencias y buscan relaciones causales entre elementos.
11. Se realizó un proceso riguroso, los datos generados son válidos y confiables, y las conclusiones derivadas contribuirán a la generación del conocimiento.
12. Se utilizó el razonamiento deductivo, que comenzó con el marco teórico y en base a este se propuso la hipótesis, posteriormente se procedió a la obtención de datos, los análisis y resultados que demuestran la validez de la hipótesis

Para el proceso de recolección de datos e información se utilizaron los conceptos y la explicación de Grinnell (1997) y Creswell (1997), conceptos que a continuación se describen: hay dos realidades: la interna que consiste en las creencias, presuposiciones y experiencia subjetivas de las personas, en este caso el investigador, éstas pueden variar

desde muy generales hasta bien organizadas y lógicas. La segunda realidad es objetiva, medible, tangible y externa a las creencias, con posibilidad de conocerla.

Con esta premisa, es posible investigar una realidad externa e independiente al investigador, pero es necesario tener la información y comprender la realidad objetiva. Se puede conocer la realidad del fenómeno y los eventos que la rodean así como sus manifestaciones, para entenderla es necesario analizar los eventos. En el enfoque cuantitativo existe lo subjetivo y es valorado por el investigador, pero éste se aboca a demostrar lo bien que se adecua el conocimiento a la realidad mediante hechos y datos.

Medir, analizar, concluir y documentar, estas coincidencias son el propósito de los estudios cuantitativos, por ejemplo, se debe captar la relación entre efecto y causa, no la creencia del investigador, lo que se ajusta a la realidad es el conjunto de creencias o hipótesis del investigador y en consecuencia a la teoría (Hernández, 2010).

## **2. ESTADO DEL ARTE**

Este capítulo se enfoca a la investigación del estado del arte y las principales tendencias del pensamiento relacionado con la manufactura, desde el concepto genérico de innovación, considerando aspectos tales como las herramientas para la mejora de las técnicas de manufactura, las tendencias tecnológicas y formas de determinar la productividad como marco de referencia para entender el efecto de la innovación en la manufactura y su relación con la productividad.

### **2.1. Evolución y tendencias de la innovación**

La evolución de la innovación ha sido durante todos las etapas del desarrollo humano y en diferentes campos, sin embargo en esta capítulo se aborda la innovación en los campos que inciden en las técnicas en los procesos de manufactura, pero es necesario establecer la relación entre innovación, economía y productividad, para lo cual es necesario iniciar con la destrucción creativa, es un concepto popularizado por Joseph Schumpeter (1942), describe el proceso de innovación en una economía de mercado, donde la innovación es la fuerza para el crecimiento económico sostenido, aunque puedan destruir en el camino el valor de compañías ya establecidas.

El proceso de destrucción creativa es un hecho del capitalismo, es un acto necesario que permite que surjan los nuevos productos y nuevos modelos de negocio, obliga a que el empresario se convierta en empresario innovador, adoptando la innovación en cada proceso y producto como medio de permanencia y crecimiento.

La innovación es el uso productivo de un invento, algo que proporcione valor agregado al producto y utilidad al usuario final. Considera que hay cinco caminos para

innovar: 1) Introducción de nuevos bienes o de bienes de nueva calidad. 2) Introducción de un nuevo método productivo que no derive de algún descubrimiento científico. 3) La apertura de un nuevo mercado. 4) La conquista de nuevas fuentes de materias primas. 5) El establecimiento de una nueva organización en una determinada industria (Schumpeter, 1942).

El hecho de que Schumpeter incluyera en su teoría del desarrollo económico el tema de la innovación hizo que se le reconocieran como el creador de la teoría de la innovación, la cual se originó en la función de producción donde las cantidades de productos se modifican a medida que los factores de producción cambian. Afirmó que la innovación es una nueva función de la producción, la innovación es la variación en el desarrollo, en los métodos de producción, en las formas de distribución, en la estructura organizacional o en nuevos productos (Schumpeter, 1942).

En la elaboración de la teoría del ciclo económico, consideró que la innovación es el factor económico más importante en los cambios del capitalismo, supuso que el modo en que aparecen las innovaciones y como se integran al sistema económico es suficiente para explicar las constantes revoluciones económicas que son la característica principal de la historia económica. Concluyó su investigación con dos puntos:

- 1) Se debe tratar al capitalismo como un proceso de evolución, los problemas fundamentales inician de este hecho.
- 2) La evolución no consiste en los efectos de los factores externos al proceso capitalista, ni en los del lento crecimiento del capital, ni de la población, sino en la mutación económica.

La innovación empresarial es el proceso de innovación específica en el campo tecnológico, su aplicación a la organización y a los procesos que la componen, es hacer del conocimiento una realidad, el proceso de innovación debe ser motivado y promovido por un empresario innovador, que no es cualquiera que crea que una empresa es solo para ganar dinero; un empresario innovador es capaz de planear, proponer e implementar nuevas formas de producción en las organizaciones y lo más importante: hace que la empresa desarrolle su propia tecnología a través del proceso de innovación. Ser emprendedor innovador no quiere decir que sea inventor (Schumpeter, 1942).

En la actualidad el uso de la ciencia, la tecnología y la investigación son los instrumentos que promueven el desarrollo y crecimiento de los países con economías emergente para que salgan de su rezago económico. Es importante resaltar la importancia de que la tecnología se adopte y adapte de manera rápida al desarrollo, pero la disposición de tecnología no hace el trabajo solo, requiere de elementos complementarios tales como: la innovación, los descubrimientos y la aplicación del conocimiento en cualquier ramo, en este caso en los procesos de manufactura.

La innovación en manufactura es el método de mejorar un proceso a través del cual las empresas conciben y desarrollan nuevos productos y procesos con el fin de adaptarse al entorno y poder competir, es la creatividad con el fin de satisfacer una necesidad.

### ***2.1.1. Vertientes de la Innovación***

Peter Druker, el autor que más ha aportado a la teoría de la innovación desde los años cincuentas, hizo la separación de la empresa con las funciones de producir, comercializar e innovar, también creo desarrollo tres vertientes.

La primera es relativa a la administración y aborda temas como; la dirección, la autoridad y el control centralizado, la creación de clientes, las relaciones laborales y la ética en el trabajo, define la empresa como entidad con objetivos económicos y sociales y se enfoca en la efectividad de las empresas, la eficacia de los ejecutivos y el surgimiento de nuevas teorías de la manufactura. En la segunda resalta los aspectos sociales de la organización, la información y el conocimiento, la importancia de las comunidades y la necesidad de crearlas, la importancia de las organizaciones sin lucro y el liderazgo social.

En las dos vertientes anteriores la organización es el tema central, en la tercera sus aportaciones son respecto a la innovación, analizó el origen y las características de la innovación, también mencionó la importancia de la innovación empresarial, así como la importancia del empresario innovador.

La Innovación es un elemento que determina el comportamiento de una organización, sin embargo hay que observar la estrategia de operación, sea por el diseño de negocio o por el diseño del proceso o producto (Slywotzky, 1996); las empresas de manufactura operan bajo el concepto de diseño de proceso, el cual depende del tamaño de la organización, de la operación misma, la base tecnológica y del uso adecuado de su infraestructura. Es necesario que las empresas generen los procesos internos de innovación que les permitan conocer los resultados de su operación, el desarrollo de conocimiento es la base la innovación, el acceso a la innovación depende del tamaño de la empresa y el perfil profesional de sus empleados, así como de los índices de crecimiento del mercado (Becheikh et al., 2006).

Innovar consiste en aportar algo nuevo y radica en introducir modificaciones adecuadas a la moda. El manual de Frascati (OCDE, 1992) indica que la innovación es la

transformación de una idea en un producto vendible, nuevo o mejorado o en un proceso operativo en la industria, en el comercio o en un nuevo método de servicio, una de las funciones básicas de un innovador, es servir de agente de cambio tecnológico, contribuir a que los descubrimientos que resultan del proceso de investigación científica y tecnológica se concreten en desarrollo de nuevos productos, procesos o servicios comercializados sean de utilidad para la sociedad. El conocimiento de los mecanismos de comercialización y distribución de un producto son esenciales para el innovador.

La innovación se puede concebir con tres enfoques según su impacto en los procesos, productos o mercados.

1. La innovación tecnológica: comprende los cambios en los productos y en los procesos, es la de mayor importancia por los efectos económicos que produce. La innovación de producto consiste en crear, fabricar y comercializar nuevos productos (innovación radical) o mejoras a los productos existentes (innovación incremental). La innovación de proceso son en el diseño de métodos de producción para mejorar la productividad y optimizar los costos.
2. La innovación social: propone soluciones nuevas a los problemas de empleo o del bienestar, sin afectar la eficiencia de la empresa.
3. La innovación en métodos de gestión: reúne las innovaciones que no se pueden incluir en las categorías anteriores, son innovaciones realizadas por ejemplo en aspectos comerciales, financieros, organizacionales.

En los conceptos de innovación uno de los principales cambios es el de la sociedad de la información a la del conocimiento, no solo por el procesamiento o transmisión de información, también por la capacidad de adaptación de la sociedad para utilizar el



conocimiento para modificar la interpretación de los valores y costumbres que los rigen, una de las características de esta sociedad es la cultura de la innovación como forma de asegurar la evolución y el crecimiento a largo plazo. Algunas características de la sociedad del conocimiento son:

1. Educación permanente: en todo lugar y a todos.
2. Incremento en la creatividad: la creatividad es una habilidad que se puede desarrollar conscientemente.
3. Diversidad cultural: diversificación de la sociedad con oportunidad de fortalecer y las interacciones.
4. Ciudadano global: habilidad de comunicación en otros idiomas e interacción en tiempo real, en formas presenciales y electrónicas.

El ciclo de la innovación inicia con la formación del conocimiento a través de la educación y de actividades de innovación tecnológica, desarrollando procesos y productos que generan nuevos conocimientos y una nueva actitud individual proactiva sobre el uso del conocimiento. El individuo innovador genera innovación colectiva y a su vez organizaciones innovadoras. Innovar exige un espíritu creativo con voluntad de emprender, con gusto por el riesgo al aceptar la movilidad social, geográfica y profesional. Cuando este ciclo se rompe o no funciona adecuadamente, la investigación no genera innovaciones que impactan en la economía y en la sociedad, para reestablecer el ciclo es necesario que se adecuen todos los componentes, no solo las actividades de investigación, la investigación exitosa depende de la generación uso del conocimiento.

En México como en otros países se utilizan recursos públicos para promover el desarrollo tecnológico a través del financiamiento a la investigación y a la innovación.

La innovación tecnológica, más allá de la parte económica también requiere tres condiciones:

1. Orientarse a la satisfacción de necesidades reales y aceptadas por la sociedad.

El desarrollo de un nuevo producto pretende cubrir una necesidad que la sociedad conoce, desconoce o no reconoce y se debe hacer a un costo socialmente aceptable por ejemplo: por años se ha reconocido las necesidades energéticas, pero la opción de cubrirla con centrales nucleares ha sido rechazada en muchos países, porque el riesgo ecológico es inaceptable.

2. Mejorar el uso de la tecnología. Un producto que no mantiene su evolución tecnológica se obsolece rápidamente y pierde mercado. Ejemplo: la innovación constante en telefonía celular.

3. Participar en mercados con productos a un precio competitivo. Un nuevo producto que sustituye a otro en el mercado no puede introducirse a un precio que impida su participación o competencia ante los consumidores, ejemplo: el libro electrónico.

La innovación no sólo se restringe a lo científico a la tecnología, ni a los resultados de investigación y desarrollo, las innovaciones importantes también incluyen aspectos sociales y organizacionales, la innovación parte del conocimiento, por eso la creación de universidades, centros de investigación, de empresas que han surgido de la detección de oportunidades de uso de un recurso o del diseño de un negocio, también hay innovaciones sociales enfocadas en proporcionar un servicio, como la comunicación, los bancos, los

hospitales, la innovación también es una cuestión económica, no es un destello de un genio, es una disciplina sistemática, organizada y rigurosa en cualquier área (Drucker, 2002).

La innovación es la oportunidad de generar y aplicar lo nuevo y diferente. Por lo general, los innovadores aprovechan cambios que ya ocurrieron o están en proceso. La innovación requiere identificar sistemáticamente los cambios en los productos, en el mercado y en la sociedad, por ejemplo cambios en la demografía, en los valores, en la tecnología o en la ciencia y verlos como oportunidades. También requiere que la empresa abandone lo de ayer, en vez de defenderlo (Drucker, 2002).

La innovación inicia con la observación de los cambios en la economía, las innovaciones exitosas explotan la oportunidad y la diferencia de tiempo, por ejemplo en ciencias el tiempo entre el cambio, su percepción y aceptación es de 25 a 30 años, durante ese periodo es rara la competencia, los demás siguen operando en lo conocido y seguro (Drucker, 1996).

La oportunidad de innovación requiere que los empresarios y gerentes estén al pendiente de las innovaciones. Para la innovación hay siete fuentes que explorar y observar (Drucker, 1997), cuatro se presentan dentro de la empresa.

1. Lo inesperado: El éxito o fracaso inesperado.
2. Lo incongruente: La brecha entre la realidad y lo que debería ser.
3. La innovación que se basa en necesidades de un proceso.
4. Los cambios en la estructura de la industria y del mercado.

El segundo conjunto de oportunidades de innovación son tres cambios fuera de la empresa y son los siguientes: 1) Cambios demográficos (la fuente más confiable), 2)

Cambios en la percepción, no se alteran los hechos pero si el significado y 3) Nuevos conocimientos, tanto científicos como de otros campos.

Ninguna fuente es más importante o más productiva que otra, depende de la oportunidad y necesidad que representa, sin embargo, las innovaciones basadas en nuevos conocimientos requieren más tiempo, son impredecibles, su índice de fracaso es mayor y representan más desafíos a los empresarios, pues contrariamente a la creencia común, el conocimiento nuevo no siempre es la fuente de innovaciones exitosas o de mayor confiabilidad o predictibilidad, a pesar de toda la apariencia, atracción e importancia de la innovación que se basa en la ciencia, ésta ocasionalmente resulta ser la menos predecible y la menos confiable (Drucker, 1997). La innovación es una actividad económica, que se generan por cambios en cualquier ámbito, desde nuevos procesos hasta los científico-tecnológicos; la mayoría de las veces generados en áreas o industrias diferentes donde se compite. Los empresarios que buscan el cambio y lo ven como una oportunidad de producir innovaciones exitosas, para lograrlo son metódicos en la forma de hacer las cosas, establecen objetivos claros para generar valor a partir de los recursos disponibles. El empresario innovador realiza cuatro acciones específicas:

1. Creación de nuevos productos y mercados.
2. Desarrollo de negocios donde nadie ha incursionado.
3. Desarrollo de nichos de mercado especializados de alto valor agregado.
4. Transformación de las características tecnológicas y económicas de desempeño de un producto, de un mercado o de una industria.

Las innovaciones no siempre sustituyen lo existente, sino que tienden a superponerse al mismo, por ejemplo el caso de la imprenta, no se inventó la escritura, se inventaron los

tipos (letras únicas) y por lo tanto la facilidad de formar palabras y hacer más rápida la impresión, otro ejemplo, las redes sociales, no se inventó la comunicación, solo una forma de comunicación, es una innovación que expande las posibilidades de desarrollo del quehacer humano, sin embargo estos son eventos que cambiaron un actividad, pero hay innovaciones paulatinas que se deben evaluar en base a su desempeño en el mercado y su impacto económico.

En el desempeño de un proceso innovador se debe incluir la evaluación del comportamiento, de indicadores, solo al medir el desempeño innovador de una empresa se sabrá la capacidad de ésta para convertir la teoría innovadora en acción (Drucker, 1997).

La evaluación se debe realizar en todas las etapas del proceso de innovación, desde el concepto del producto hasta las ventas del nuevo producto. La medición del desempeño innovador permite a la empresa medir, controlar los resultados y corregirlos cuando sea necesario.

La innovación va a la par y ocasionalmente parece mejora continua, la diferencia es que en la mejora continua se ven resultados a corto plazo, con cambios graduales, mientras que en la innovación los cambios son grandes y muestran resultados en el exterior con un nuevo concepto, producto o mercado a mediano y largo plazo, la mejora continua es interna y orientada sobre el mismo producto o proceso, es incremental y aunque sus logros en apariencia son ocasionalmente imperceptibles son benéficos y permanentes.

### ***2.1.2. Innovación Disruptiva***

El término innovación disruptiva fue introducido por Christensen (1997), para diferenciarla de la innovación incremental también conocida como mejora continua La

innovación disruptiva crea nuevas necesidades y usos con un nuevo producto, que en el caso ideal llega a crear un nuevo mercado por ejemplo: la telefonía celular, la educación virtual, las redes sociales, etc.

Las innovaciones disruptivas inicialmente son insignificantes o poco eficientes para los clientes tradicionales, pero son muy competitivas para clientes abiertos a ofertas de nuevos productos a menor precio, aunque tengan deficiencias respecto al producto anterior. La innovación incremental, evolutiva o gradual, perfecciona las características de un producto existente para una necesidad reconocida, al hacerlo mejor, más económico o más cómodo, el uso de la innovación disruptiva es para salvar mercados saturados por medio de nuevos productos, para crear nuevos mercados o para satisfacer nuevas necesidades, es vital para salvar empresas que ofrecen malos productos en un mercado donde se compite en precio.

La innovación disruptiva genera una nueva categoría, son procesos y productos nuevos, diferentes a los que existen, son cambios en la tecnología y representan un cambio para las prácticas existentes por ejemplo la aparición en el mercado del teléfono celular fue una innovación disruptiva, la incorporación de la cámara fotográfica y otras aplicaciones al teléfono celular es una innovación incremental, sin embargo le quito mercado a los fabricantes de cámaras fotográficas. Los dos tipos de innovación son absolutamente imprescindibles en un producto o una empresa (Christensen, 1997).

Frecuentemente las compañías consolidadas son más renuentes a la innovación disruptiva porque hay una imagen de marca que cuidar, quedando en los emprendedores la responsabilidad de la innovación disruptiva, este ciclo suele cerrarse en muchos casos con el proceso de copiado de productos exitosos generados en otras compañías, o por la

compra de una empresa micro o pequeña que demuestra capacidad innovadora a través de la generación de productos exitosos o competitivos.

Un ejemplo de innovación disruptiva en manufactura es la comunicación digital entre centros de maquinado permitiendo la operación autónoma de celdas de producción con los nuevos controles, dejando al margen la operación manual, la especialización operativa y desplazando la mano de obra, creando el mercado de maquinaria y equipo autónomo o el uso de la robótica en los medios productivos, otros ejemplos podrían ser la comunicación electrónica, la fotografía digital, las redes sociales y las tablets.

### ***2.1.3. Glocalización e innovación inversa***

Glocalización es un término que nace de la mezcla entre globalización y localización y describe una organización o comunidad que es capaz de pensar globalmente y actuar localmente. El concepto implica que la empresa se adapte a las peculiaridades de cada entorno, diferenciando sus productos en función de la demanda y economía local. La glocalización es un concepto aplicado como estrategia de mercado en General Electric, cuya empresa tiene presencia en más de 100 países, cuenta con aproximadamente 350,000 empleados nivel global y es líder tecnológico en la mayoría de los negocios en los que participa, la glocalización es un proceso por el cual las compañías del primer mundo, han desarrollado productos para sus propios mercados y después buscan adaptarlos a las condiciones de países en desarrollo, esto significa una disminución de las características de calidad del producto, para que se pueda fabricar a bajos costos y vender a un menor precio en otro país, por la menor capacidad de compra del país en desarrollo donde se ofrece, éste proceso permite aprovechar distintas economías de escala a nivel mundial con

la colocación y adaptación del producto a los distintos mercados. (Immelt, Gavindarajan, Trimble, 2009)

Actualmente la glocalización es un modo de la adaptación de un producto local a un mercado global, hasta hace poco los países desarrollados representaban gran parte del mercado para las grandes compañías, fue un periodo en que Europa, USA y Japón significaban del 80% al 90% de las ventas para estas empresas. Pero el gran desarrollo de países muy poblados, con gran capacidad de consumo, pero poco poder de compra como China e India, así como de otros que han crecido rápidamente (Brasil, Canadá, Australia o Rusia) ha generado un cambio de contexto en la competencia empresarial por el desarrollo de productos para mercados emergentes, los cuales posteriormente son adaptados a economías más avanzadas mediante la innovación inversa.

La innovación inversa es el proceso contrario a la glocalización, se optimizan los procesos de producción del producto de los países en desarrollo, se reducen los costos por la optimización del proceso y por los bajos costos de mano de obra y después se envía un producto con altos estándares de calidad fabricado en un país con economía emergente, a un país con gran capacidad de compra, ambos procesos son necesarios, deben coexistir y colaborar, la glocalización parte de la centralización en el desarrollo inicial de un producto global, la innovación inversa requiere la descentralización de la manufactura para desarrollar las habilidades y economías de los países consumidores.

Las grandes compañías están forzadas a realizar innovación inversa, hoy el éxito de un producto en países con economías en desarrollo es un requisito para triunfar en los países desarrollados, primero, porque el tamaño de los mercados emergentes es y será cada vez más importante, es una gran oportunidad de negocio, además, la innovación



inversa es la forma de evitar que las compañías de países emergentes sean las que realicen dicho proceso y acaben invadiendo a los países avanzados, transformándose en nuevos gigantes comerciales (Immelt et al., 2009).

En la innovación inversa pasa lo contrario, la concepción inicial es prácticamente local para todas las actividades, sobre todo en Investigación y desarrollo, aprovechando estas actividades de investigación y desarrollo de la compañía, pero con visión y organización local, posteriormente, cuando esta visión y organización local ha sido exitosa, se transfiere a una visión global al pasar las actividades de locales a globales, sobre todo investigación y desarrollo. Si conviven ambas concepciones deben coexistir ambas formas de realización de actividades y por tanto diferentes organizaciones de las actividades de investigación en la empresa, una con visión global y otra con visión local.

Se pueden analizar estas dos visiones desde la perspectiva de los segmentos de mercado, en el caso de los segmentos globales, por tener necesidades muy parecidas, estas condiciones se presentan principalmente en USA y Japón, estos países tienen una capacidad de compra y una cuota de mercado mundial superior al resto del mundo en varios productos ya que básicamente son países exportadores, lo que permite el predominio de esta visión.

En base a (Immelt et al., 2009) la innovación inversa apareció cuando los segmentos locales de empresas multinacionales crecieron lo suficiente en los países en desarrollo, generaron sus propias prácticas y realizaron adecuaciones al producto, generando productos con potencial de exportación a los países que originalmente diseñaron los productos, lo cual dio origen al desarrollo de una estrategia desde la perspectiva local.

La práctica común es que ambas partes del mercado, global y local, comparten cada vez en más sectores comerciales y surge la necesidad del desarrollo simultáneo de ambos procesos; glocalización e innovación inversa, por lo que el desarrollo de actividades y productos de la empresa serán con visión global y otras con visión local, lo cual implica que la compañía debe tener estrategias distintas para responder con productos diferenciados en características y precio a cada parte del mercado, así como a la necesidad de disponer de organizaciones diferentes para implantar estas dos estrategias (Immelt et al., 2009).

#### ***2.1.4. Sistemas de manufactura en México***

La complejidad de la Industria de Manufactura parte en la necesidad de contar con información actual para entender cuáles son los factores que impulsan o inhiben el desempeño de este sector. Lo anterior, sin perder el ritmo de los cambios tecnológicos, son factores que repercuten en el ámbito de los negocios. Un hecho actual es la eliminación de frontera, anteriormente la disponibilidad de los recursos naturales determinaba el lugar para la fabricación de los productos, después fue la capacidad tecnológica, nuestro país desde los 70., se inició con las empresas de manufactura, en parte por la disponibilidad de materias primas y por la capacidad tecnológica aunado a las políticas públicas de apoyo a la inversión para la generación de empleos y el desarrollo. El crecimiento de las empresa de manufactura en México, en complejidad tecnológica sin duda cumple con los requerimientos, así mismo en los aspectos como costos, disponibilidad de mano de obra, tecnología, conocimiento, redes de proveedores y temas fiscales, son los elementos más importantes para la toma de decisión en este sentido, por

encima de la riqueza natural es un hecho que los empresarios buscan incrementar su participación a través de nuevas opciones territoriales y utilizar las capacidades locales. Información de los Censos Económicos 2009 indica que en México el sector Manufacturero es el más importante en producción bruta total, al generar 44.3%, con 436,851 Unidades económicas, lo que la coloca como el tercer rubro representado 11.7 % del total nacional y el 23.3 % del personal con empleo de una población económicamente activa de 20,116, 834, el sector de la manufactura es el principal exportador y desde los noventa participa con más del 80% de las exportaciones (el 82.4% en 2010, 88 % en 2012) INEGI,2012. En la Tabla 2.1 se muestra como se integra el sector manufacturero en México y su importancia relativa como, unidad, personal e importancia relativa.

Tabla 2.1

*Evolución de las unidades económicas y personal ocupado por tamaño de industria manufacturera.*

Industrias Manufactureras: Evolución de unidades económicas y personal ocupado por tamaño de empresa 2003 a 2008									
Sector	Unidades económicas por tamaño			Personal Ocupado por tamaño			Importancia relativa al 2008		
	Unidad Económica		Inc	Personal ocupado		Inc	Entidades	Empleo	Producción
	2003	2008	%	2003	2008	%	%	%	%
	328718	436 851	32.9	4198579	4661062	11	100	100	100
Micro	298678	404 156	35.3	762103	1080713	41.8	92.52	23.19	2.3
Pequeña	19754	22349	13.1	431768	467197	8.2	5.12	10.02	6.6
Median	7235	7113	-1,7	810095	797907	-1.5	1.63	19.12	7.1
Grande	3051	3233	6	2194613	2315245	5.5	.74	49.67	84

Fuente: Adaptado de Censos Económicos 2009 / Instituto Nacional de Estadística y Geografía.-México: INEGI, c2

Con frecuencia se escucha que los países en desarrollo como México, son poco innovadores y tienen un débil desempeño en desarrollo de tecnología y bajos índices de productividad. Esto es notable ante las tendencias de la economía mundial basada en el

conocimiento, donde los sectores más dinámicos son los de mayor innovación. Gran parte de los cambios económicos que trae la innovación es el crecimiento constante de la productividad en países económicamente avanzados y en algunos países emergentes. México está ingresando lentamente y parcialmente a esta dinámica y no hay certeza de estar preparado para aprovechar los cambios derivada de los procesos de innovación, por ejemplo, manufactura, comunicaciones, petroquímica o los materiales compuestos, solo por mencionar algunos, otro ejemplo importante es la instalación de empresas automotrices con su alto desarrollo tecnológico en manufactura y las innovaciones a esta, derivadas del uso del Sistema de Producción Toyota así como sus aportaciones e impacto en cualquier industria.

Las características de las empresas de manufacturan en México, los déficits científicos y tecnológicos de la región así como la falta de un sistema nacional de innovación vinculado y articulado a los sectores industriales, representan un reto importante en las políticas públicas para mejorar los procesos productivos y de manufactura o de cualquier sector, la innovación, la productividad e industrial requieren de inversión para desarrollar capacidad tecnológica en los sectores industriales públicos y privados, para copiar, adaptar o generar nuevos procesos de manufactura o aplicaciones tecnológicas, con la posibilidad de hacer contribuciones originales e innovadoras al desarrollo del conocimiento. Entre mayor sea la capacidad de producción, calidad y costos adecuados mayor es la capacidad de exportación y de desarrollo económico.

## **2.2. Contexto General de la Manufactura**

En las industrias manufacturera es muy importante la creación de nuevos productos, que cumplan las expectativas de los clientes, para lograrlo parten de la detección de necesidades no cubiertas en clientes actuales o potenciales, para lo cual deben considerar los requerimientos para el diseño del producto y la organización de la producción, por ejemplo: los requerimientos tecnológicos, los procesos de diseño, los requerimientos de inversión y el impacto financiero de un nuevo proceso o producto.

El proceso de diseño pretende llevar el concepto a un producto final, el cual pueda ser fabricado, probado y aprobado, considerando las especificaciones del producto y su proceso de producción, lo que implica la construcción de modelos y el intercambio de ideas respecto al producto final con clientes y usuarios potenciales.

Mediante las pruebas se busca pasar de un prototipo a un modelo funcional, que aparte de cumplir las expectativas se pueda producir en serie, durante esta etapa también se desarrollan las herramientas, montaduras y equipos que se utilizarán en el proceso de manufactura y ensamble.

La siguiente etapa son las pruebas de producción, en este punto ya se ha revisado la funcionalidad del producto y se han diseñado los procesos, pero aún se tiene que comprobar y ajustar el proceso hasta que se logra un nivel de producción confiable.

La etapa de producción final se inicia con un volumen relativamente bajo, a medida que la organización adquiere confianza en sus capacidades, en los proveedores y en el proceso, y en la medida que aumenta la demanda se incrementa paulatinamente el volumen de producción.

Las actividades de fabricación y los sistemas de manufactura se basan en el proceso de diseñar, fabricar y probar el producto y el proceso hasta lograr un desempeño acorde a la facilidad de producción, con las expectativas de calidad del producto y el costo.

Antiguamente la manufactura de un producto se realizaba manualmente por artesanos especializados y con pocas herramientas. Actualmente por la automatización de la producción, en general la participación del trabajador en la fabricación de un producto es poca, pero muy importante. Actualmente la manufactura en serie es la base de la disponibilidad masiva de productos de consumo, fue por un proceso de evolución a partir de la administración científica (Taylorismo), la línea de producción y la producción en masa (Fordismo), por el uso de la electricidad como medio de energía y control de los procesos de fabricación, estas ideas fueron la base por la cual ha evolucionado la manufactura, que el contexto moderno puede definirse de cuatro maneras.

1. *Tecnológicamente* es la aplicación de procesos mecánicos, electrónicos y físicos que alteran la forma, las características o el aspecto de un material, es elaborar partes o productos terminados; la manufactura incluye el ensamble de partes. Los procesos de manufactura involucran la combinación de máquinas, herramientas, energía y trabajo manual, se realiza como una secuencia de operaciones.
2. *Económicamente*, la manufactura es la transformación de materias primas en artículos de mayor valor a través de operaciones o procesos de ensamble, agrega valor al material original, cambiando su forma o propiedades, o al combinarlo con otros materiales. Por ejemplo, cuando el hierro se convierte en acero o le agrega valor. Lo mismo sucede cuando el petróleo se convierte en plástico y éste se moldea para obtener una parte automotriz.

3. *Histórico*: La manufactura ha evolucionado gracias a la inventiva humana desde sus inicios con el uso de su entorno para la creación de utensilios y herramientas, uso de materiales, diseño de productos y procesos pero sobre todo a la creación y optimización de las aplicaciones y al perfeccionamiento de métodos de trabajo.
4. *Social*: El desarrollo y el uso de productos para facilitar y mejorar las condiciones de calidad y duración de la vida del ser humano, para facilitar y fomentar la interacción social, por ejemplo los periódicos, la comunicación por las redes sociales y por el uso de la tecnología.

Es importante observar el desarrollo de la manufactura a través de la historia desde los trabajos de la época preindustrial, estos eran artesanales, tenía mucho que ver el arte. El artesano ponía todo su empeño en hacer lo mejor posible, cuidando en cada obra que la presentación del trabajo cumpliera los gustos estéticos de la época, realizaba piezas únicas, con procesos especializados para clientes únicos.

Cuando alguien necesitaba una herramienta, un vestido o un traje, exponía sus necesidades al artesano, quien lo elaboraba de acuerdo con los requerimientos establecidos y generalmente eran productos únicos, un traje a la medida. La revolución industrial cambió todo, produciendo trabajos genéricos, por tallas o tamaños, pasando de un proceso de trabajo basado en la habilidad del artesano a uno basado en la energía del vapor y en las máquinas que sustituían el trabajo del hombre, pero no su habilidad, demeritando así el trabajo artesanal y la calidad de este.

La Revolución Industrial (1760-1830) inicio en Inglaterra, ahí se dieron las condiciones para este avance, el inicio la desarticulación de la economía agrícola basada

en feudos, crecimiento de la población, adelantos técnicos para la producción, nuevas formas de organización del trabajo, talleres de manufactura y la expansión del mercado, se inició con la utilización de la fuerza del agua, del viento, de los animales como fuerza de tiro y el uso del vapor como fuente de energía, así inicio el desarrollo de la producción masiva, que surgió de los siguientes elementos:

1. Ruedas Hidráulicas, máquina de vapor de Watt, como fuente de fuerza motriz.
2. Desarrollo de máquinas herramienta, desarrolladas para procesos de desprendimiento de materiales que dio origen a los procesos de maquinado.
3. Las máquinas eran grandes, pesadas y costosas, sólo los empresarios contaban con recursos para comprarlas e instalarlas en fábricas, los artesanos dejaron sus talleres y se contrataron para trabajar como obreros en las fábricas.
4. El sistema de fábricas, basado en la división del trabajo, requería de organizar a los trabajadores, en esta forma de producción el obrero ya no controlaba la elaboración del producto, ahora realizaba solo parte del proceso, dio origen a la producción en serie, que termino con el trabajo artesanal y con los gremios.
5. Especialización de la industria textil, algodón como materia prima, utilizaron algunos inventos como la hiladora mecánica y el telar automático para incrementar la productividad, así inicia la producción masiva de productos.

A finales del siglo XIX, en Estados Unidos se desarrolló la administración científica para de planear y controlar las actividades de los trabajadores de producción. Los iniciadores de este movimiento fueron Frederick Taylor, Frank Gilbert y otros. Los fundamentos de la administración científica se enfocan en el estudio del trabajo, la



definición de tareas, cuotas de producción y estandarización de los métodos, pago por tareas, uso de datos, registros y la contabilidad de costos de operación, estos fundamentos aún se utilizan en la mayoría de las empresas actuales y son origen del Taylorismo.

Ford a principios del siglo XIX introdujo la línea de ensamble y revolucionó la fabricación del vehículo Ford Modelo T, la línea de ensamble se convirtió en referencia mundial para los métodos de producción en serie. La intención de Ford era producir la mayor cantidad de vehículos con un diseño simple, a bajo costo para saturar el mercado y desarrollar la economía (Casey, Dodge y Dodge, 2010).

Al inicio, los vehículos se fabricaban en forma fija, unitaria y artesanal, durante la fabricación el vehículo no se movía, los mecánicos transportaban las piezas al punto ensamble, posteriormente los coches eran ensamblados sobre bastidores desplazados manualmente de una estación de trabajo a otra, era lento y requería trabajadores especializados y calificados para construir el coche a mano, el nivel de producción era bajo y el precio alto por el costo de la mano de obra, fue necesaria la optimización del proceso productivo, Ford y sus ingenieros diseñaron procesos y máquinas para fabricar gran cantidad de piezas y diseñaron métodos de ensamble tan rápidos como el proceso de fabricación de piezas, se desarrolló el concepto producción en masa, para lograrlo Ford aumento la productividad y redujo los costos, se basó en los principios básicos de producción e intercambiabilidad de partes y otras innovaciones desarrollados previamente en el proceso de fabricación armas, dividiendo el proceso de fabricación para simplificarlo, siguió experimentando, introdujo las rampas y bandas transportadoras, clasifico las tareas de ensamble y fabricación por dificultad y tiempos de duración para crear la continuidad en la operación y el balanceo de la línea de producción, definió la

colocación de los trabajadores y de las herramientas para asegurar que la línea de producción fuera lo más eficaz posible (Casey et al., 2010). Para reducir la dependencia de la mano de obra especializada y calificada, Ford utilizó el concepto la estandarización e intercambiabilidad de partes entre varios modelos de vehículos que se podían fabricar por separado y ensamblar fácilmente por operarios poco especializados.

El paso final fue la creación de la línea de montaje, iniciando con un bastidor que se movía continua y mecánicamente hasta que el coche completo y en marcha salía de la línea de producción, lo esencial del proceso era el suministro de sincronizado de componentes para proporcionar las piezas correctas en el lugar y momento correcto.

Esta combinación de precisión, continuidad y velocidad perfecciono la producción en masa, por la implementación de la línea de ensamble, adicionalmente Ford producía casi todos los componentes, tenía plantas de producción de acero, para el modelo T alcanzó niveles de producción con un coche terminado y funcionando cada 10 segundos. Ford pudo reducir los precios y aumentar el salario mínimo de sus trabajadores a 5 dólares por día, más del doble que sus competidores con lo cual pudo fabricar un producto superior y obtener altos rendimientos económicos (Casey et al., 2010).

### ***2.2.1. La automatización de la manufactura***

En 1881 en Nueva York se instaló la primera estación generadora de electricidad. Se inició el uso de los motores eléctricos como fuente de poder para la maquinaria e inicio la automatización de la manufactura desde el motor eléctrico hasta las líneas de transferencia, control numérico, sistemas de manufactura flexible y la robótica industrial.

La aparición de la automatización dio origen a una nueva era en la manufactura, más fácil, más rápida y más precisa. La automatización paso por varias etapas, desde el inicio de la electricidad, la aparición del concepto de control, de los elementos de potencia pero fue hasta la década de los sesenta que se dispuso de herramientas para el diseño y análisis de automatismos secuenciales y concurrentes.

La automatización consiste de dos etapas de control, el control de la máquina, son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación, y el control de la potencia o de la secuencia, en este se define la cantidad de energía a utilizar en cada proceso y la secuencia de operaciones de los elementos de la máquina. Todo el esquema de mando se representa las interacciones entre los componentes y consiste en el control del funcionamiento de los elementos operativos los cuales se activan secuencialmente.

Posteriormente apareció la automatización programable, cuyo objetivo era optimizar la productividad, reducir el costo de producción, mejorar la calidad y las condiciones de trabajo, suprimiendo o reduciendo el trabajo físico e incrementando la seguridad del empleado, además de realizar las operaciones imposibles de controlar manualmente, así como mejorar la disponibilidad precisa y oportuna de los productos además de simplificar el mantenimiento del equipo.

Anteriormente se controlaban elementos hoy se trabaja con sistemas, y se conocen como sistemas de manufactura flexible o celdas de manufactura ya que con la misma infraestructura se pueden realizar diferentes productos, con diferentes procesos y a diferente velocidad.

Algunos productos que se fabrican en sistemas de manufactura flexible son por ejemplo los automóviles o los aparatos eléctricos, son partes que se producen en forma masiva, en

diferentes formas, cantidades y secuencias, en las que se requiere múltiples operaciones y componentes que al final se unen para formar un componente principal.

El proceso de automatización es especialmente importante en la manufactura, no solo por el control de las maquinas o de los procesos individuales, una de las características importantes de la manufactura es sin duda la líneas de producción, ya que implica la coordinación total de un conjunto o sistema de máquinas.

Las líneas de producción se asocian con la producción masiva, cuando las cantidades de producto son muy grandes, el trabajo se divide en tareas separadas que pueden asignarse a individuos o estaciones de trabajo, para la producción masiva el sistema automatizado de manufactura es lo más apropiado. La velocidad de producción de la línea se determina por medio de su operación, estación o maquina más lenta lo que representa un cuello de botella (Goldratt y Cox, 1994).

Una línea de producción automatizada consiste en estaciones de trabajo conectadas a un sistema de transporte que se controla mediante un sistema centralizado, idealmente no hay trabajadores en la línea, excepto para realizar funciones auxiliares tales como: cambiar herramientas, montar y desmontar partes o para reparación y mantenimiento.

Las líneas automatizadas son sistemas integrados al control computarizado de los equipos que realizan las operaciones, las tareas más sencillas son fáciles de automatizar, las operaciones complejas por lo general requieren varios pasos de control, así como la aplicación de juicio o capacidad sensorial humana. Las líneas de producción automatizada se dividen en dos categorías:

1. Las que realizan operaciones de proceso.
2. Las que realizan operaciones de ensamble.

El maquinado, es la operación de proceso más común, en éste la pieza de trabajo empieza con una porción de materia prima, una fundición o cualquier material, y se realizan operaciones para obtener formas y detalles de alta precisión, por ejemplo: orificios, roscas y superficies con acabados lisos, la cantidad de maquinado que se realiza se divide en estaciones de trabajo, las velocidades y cantidad de producción es alta y el costo por unidad es bajo en comparación con el método de producción unitaria.

El sistema de ensamble automatizado cuenta con estaciones de trabajo donde se realizan las operaciones de ensamble, se divide en celdas de trabajo que se administran con un sistema de control numérico que regula el suministro de componentes y la secuencia de operaciones, inclusive algunos cuentan con proceso de inspección.

Los sistemas modernos de manufactura son dinámicos, se basan en técnicas y herramientas de los procesos esbeltos, que sustituye a la producción estándar, por la aplicación de la evaluación constante del comportamiento de los procesos en base tendencias y uso de herramientas estadísticas de control, en la mejora continua del diseño y de la ejecución, dado así paso a la innovación incremental.

Estos sistemas de administración de la producción, en lo referente a mano de obra, proceso de fabricación, de inspección, procesos de mejora y recientemente el manejo de normas y especificaciones por sector constituyen la ruptura con los principios tayloristas y fordistas de la organización del proceso de trabajo, las escalas y velocidad de producción por la flexibilidad de uso, control, aplicación, velocidad y la especialización (Coriat, 2011), sin embargo recién surge el concepto de toyotismo el cual hace referencia a los sistemas de producción esbelta o ágil, que desplaza los sistemas de producción tradicionales, esta estrategia de manufactura fue generada en los 60's en Japón por Toyota

### ***2.2.2. Herramientas de manufactura***

Para materializar el concepto de manufactura más allá de las máquinas, los controles y la parte tecnológica, son necesarios otros componentes o herramientas de ayuda al producción que implican diferentes técnicas de gestión, por ejemplo, el justo a tiempo, el control total de la calidad, los sistemas flexibles de manufactura, la manufactura celular, el uso de estos componentes son para optimizar los proceso de operación y eliminar las causas de los defectos de producción.

El uso de los centros de maquinado en los procesos de manufactura representa un mayor nivel de automatización dado que el control numérico tienen la capacidad de cambiar las herramientas de trabajo, la secuencia de operaciones y la ubicación de la pieza. La maquinaria de producción está equipada con controles y elementos de retroalimentación para determinar la posición de la pieza, la etapa del proceso, la cantidad de piezas fabricadas durante la operación, comparando lo planeado con lo efectuando y haciendo los ajustes necesarios.

Otro de los componentes innovadores de la manufactura es el uso de los robots industriales como sustitutos de los operarios humanos en actividades repetitivas, sucias o peligrosas, sus capacidades son variadas, pero la más valiosa, es la capacidad de manipular objetos con precisión, otra es la capacidad de visión para el control y coordinación de secuencias en el manejo de objetos en entornos peligrosos.

También es importante el uso de programas y software de diseño y modelado de objetos, que reducen el ciclo de diseñar, construir y verificar, el uso de paquetes comerciales para el diseño/dibujo utiliza el potencial de la computadora para modelar el movimiento, examinar las características del producto antes de la fabricación.

La tecnología desempeña un papel importante en el incremento de la productividad, en la mayor parte de los países e industrias, la generación y uso de la tecnología le ha dado mayor productividad a las empresas, cada innovación tecnológica en manufactura es una herramienta para incrementar la eficacia de producción.

La inversión en infraestructura y en tecnologías avanzadas de manufactura se realiza cuando los directivos perciben los beneficios relacionados con la oportunidad y el costo.

Los principales beneficios son: 1) Reducción en el tiempo de ciclo, 2) Crecimiento en la productividad, 3) Disminución de desperdicio, 4) Incremento en la velocidad de retorno de la inversión, 5) Sofisticación en el enfoque de producto y producción.

Además, la inversión en innovación para generar tecnología contribuye a la flexibilidad y optimización de los recursos de manufactura, que genera ventaja competitiva a los fabricantes, las tecnologías avanzadas en manufactura incluyen el uso de computadoras como soporte al diseño, ingeniería y fabricación, el uso de computadoras es una herramienta indispensable para los sistemas de manufactura flexible, procesos automatizados de planeación (Augusto et al., 2011).

Las tecnologías suaves de manufactura, que básicamente son procesos administrativos de los recursos y resultados de la manufactura, tal es el caso del justo a tiempo, gestión total de la calidad, células de fabricación, planeación de mantenimiento o logística de refacciones.

Los beneficios atribuidos al uso de la tecnología de fabricación reportaron mejoras en tres áreas como resultado del uso de la tecnología: 1) Se centró en la producción, 2) cero defectos, 3) cero inventarios (Swamidass y Winchj, 2002).

### ***2.2.3. La mejora continua en los procesos de manufactura***

La mejora continua han contribuido para obtener mejor aprovechamiento de la infraestructura, para mejorar es necesario tener la habilidad de utilizar el conocimiento tecnológico disponible o generado en la organización, el éxito de la innovación en la manufactura depende del uso del conocimiento tácito y explícito, en la optimización de los procesos administrativos en la organización (Nonaka y Takeuchi, 1995).

Las empresas que implantan técnicas de calidad total y mejora continua, así como otras técnicas para la formalización de los procesos de innovación y de vinculación, generalmente disponen métodos de mejora con indicadores de comportamiento, estas empresas generalmente exceden los requisitos de los clientes y mantienen un alto nivel competitivo en el mercado derivado de su productividad (De Feo, 2004).

Los sistemas de mejora continua en manufactura se ligan directamente al concepto de manufactura esbelta, que es el uso varias herramientas para eliminar las operaciones que no agregan valor al producto, servicio o a los procesos, aumentando el valor de cada actividad realizada y eliminando lo que no se requiere. Constantemente busca reducir los desperdicios y mejorar las operaciones, basándose siempre en el respeto al trabajador, originalmente inicio en Japón y hoy en día es referente del Sistema de Producción Toyota, que actualmente es conocida como empresa de clase mundial, no por estar en todos los países, sino por hacer que la calidad de sus productos dependa de sus propios procesos de manufactura no de los procesos tradicionales de inspección.

Las empresas de clase mundial utilizan la manufactura esbelta, estas empresas realizan proyectos de desarrollo tecnológico para al cumplimiento de los objetivos



estratégicos, tales como: incremento de la capacidad de producción, reducción de costos, mayor flexibilidad de manufactura e incremento en la productividad (Liker, 2004).

Los equipos de desarrollo tecnológico para la mejora en la manufactura se orientan fundamentalmente a la fabricación, diseño y rediseño de maquinaria y equipo así como a la optimización de los procesos de manufactura, con esto se busca mejorar el desempeño de la maquinaria para reducir la variación en los procesos y en las características de los productos, para aumentar la flexibilidad de producción que se considera una ventaja, como medio de manejo eficaz de la producción de gran cantidad de partes o productos diferenciados y para diferentes economías de escala (Gutiérrez y De la Vara, 2004).

La mejora en la manufactura se enfoca, por lo general en la calidad, disminuir tiempos del ciclo, eliminar cuellos de botella, reducir el reproceso y al aumento de la eficiencia, en resumen, busca reducir los costos y asegurar una respuesta rápida, eliminando toda actividad que no agregue valor, siguiendo el enfoque de manufactura esbelta (Socconini, 2004).

Aunque la estructura y arreglo organizacional cambie de una empresa a otra, en todos los casos se trata de estructuras orientadas a impulsar la creatividad en la organización mediante el estímulo a la generación de ideas, así como a apoyar la integración de conocimiento a los procesos de innovación.

Liker (2004) menciona que Toyota, empresa creadora del concepto de la manufactura esbelta, es líder mundial en la obtención de ideas, innovaciones y sugerencias de sus empleados, dispone de procesos internos para promover el espíritu creativo, considerando que su éxito se fundamenta en dos aspectos básicos:

1. Liderazgo que apoye las ideas y las sugerencias de todos los integrantes de la organización.
2. Estructura que facilite el seguimiento a las ideas, apoyo a la aplicación y difusión del conocimiento en toda la organización y mandos que se conviertan en promotores de su personal.

Actualmente lo más conocido de Toyota es el éxito de la innovación en sus procesos de manufactura, lo que es un desafío constante para toda la industria automotriz.

La industria automotriz americana por muchos años fue líder de mercado, producía ajena a los consumidores y bajo el esquema de demanda cíclica, lo que hacían era utilizar su capacidad de producción, incrementar sus inventarios y ajustando los precios a la demanda, con el fin de obtener el valor máximo durante el flujo natural de la demanda y al final vender los excedentes a un menor precio, abaratando el mercado en deterioro de la imagen de la compañía.

En cambio Toyota entendió y cuantificó la demanda, para optimizar el ciclo de demanda, el concepto en las otras empresas era: cuanto mayor sea la demanda menor es el esfuerzo de venta, el personal de ventas de Toyota tomó una iniciativa diferente, en lugar de esperar los pedidos de los clientes y distribuidores, intensificó sus esfuerzos de venta con los clientes potenciales, así Toyota modificó la demanda e incrementó las ventas y la rentabilidad.

Finalmente, el método de Toyota también innovó el proceso de desarrollo de nuevos productos en el área de investigación y desarrollo, primero entendió los requerimientos del cliente para desarrollar un producto acorde a sus necesidades, el objetivo es hacer lo que los clientes quieren y constantemente buscar información sobre las preferencias y

tendencias de compra. Toyota aprovecho el conocimiento de sus clientes para desarrollar nuevos productos, ésta capacidad resultó muy útil para el desarrollo y lanzamiento de su línea de automóviles de lujo modelo Lexus, Toyota es capaz de extender la recuperación de valor mediante la conversión de un cliente de Toyota en un cliente de Lexus, es pionero en la disciplina de diseño del negocio, en base a los requisitos del producto, lo que actualmente le genera gran éxito financiero, gran parte de esto es debido a lo eficiente de sus procesos de manufactura, pero esto comenzó con el diseño de negocio con enfoque al cliente para el diseño del producto (Liker, 2004).

En sus inicios Toyota no tenía tecnología de manufactura sofisticada, ni cuota de mercado, hay que recordar que inicio a fabricar vehículos medio siglo después de Ford y que como empresa japonesa casi desaparece en el periodo de la segunda guerra mundial, compitió a través del diseño de negocios innovadores, era su única opción. No es sorprendente que las variables del resultado clave de Toyota (ingresos, cuota de mercado, beneficio, flujo de efectivo y valor de mercado) han tenido crecimiento constante durante casi seis décadas.

En Toyota el valor ha migrado a diseño de negocios y continúa en esa dirección como competidores en el extranjero, e incluso en Japón luchan por mantener la distancia tecnológica y comercial entre Toyota y sus competidores. Esta empresa ha implantado el liderazgo con delegación y autonomía para trabajo en equipo, que es fundamental para que se den los procesos de innovación y aprendizaje en la organización (Liker, 2014).

Sin embargo es necesario aclarar que Toyota, como fabricante de automóviles se consolidó en la postguerra basó su desarrollo en un lento proceso de maduración a partir de la industria textil y posteriormente por el uso de las mejoras incrementales de las

innovaciones tecnológicas que le precedieron en la industria automotriz americana, las cuales se iniciaron antes de la segunda guerra mundial, continuaron después y fueron implementadas por la industria automotriz japonesa en cuatro etapas (Coriat, 2011):

1. Incorporación a la industria automotriz de innovaciones técnico-administrativas aprendidas en la industria textil (1947-1950).
2. El impacto de la posguerra: aumentar la producción sin aumentar la mano de obra debido las limitaciones de fuerza laboral de la postguerra (1949-1950)
3. Incorporación a la industria automotriz japonesa de la gestión de inventarios de los supermercados americanos, creando el concepto de justo a tiempo (1950).
4. Implementación de un sistema de manufactura que se convirtió en Sistema de Producción Toyota, que hoy se conoce como Toyotismo ( de 1950 a la fecha)

Estos aspectos se crearon en la postguerra, en empresas de manufactura japonesa en colaboración con el trabajo de técnicos y especialistas en calidad y manufactura americana como Joseph Juran y Edward Deming.

Estos conceptos, hoy en día son pilares en las técnicas de manufactura moderna en cualquier empresa de manufactura y en la mayoría del mundo industrializado.

### **2.3. Innovación en la manufactura**

El desarrollo, adaptación e innovación de procesos de manufactura se asocia a la optimización de la fabricación del producto, la innovación requiere de la creación de estructuras administrativas para la articulación del conocimiento y del trabajo a través de equipos multifuncionales.

Cuando se desarrolla un nuevo producto se crean retos y riesgos para la empresa, por ejemplo, la gente de ingeniería y diseño necesitan comprender las necesidades de clientes y los requisitos técnicos del producto, así como la capacidad de manufactura de la empresa. Los requisitos de diseño de un producto, evolucionan a medida que el proceso genera información a partir de pruebas y experimentos; las características del producto podrían requerir cambios sustanciales en la estructura, en las técnicas, en los métodos e inclusive en la infraestructura de manufactura.

Durante el desarrollo de los productos, uno de los riesgos de falla son las interfaces entre el diseño del producto y el proceso de manufactura ya que podría darse el caso de que las características del producto no puedan cumplirse con la infraestructura disponible, en estos casos las empresas vinculan desde el inicio del diseño las actividades de investigación y desarrollo con las actividades de manufactura, para asegurar que se dispone de métodos, maquinaria y equipo para cumplir con los requisitos del producto y la calidad de éste (Pages, 2010).

Otra manera de lograr la interacción entre la innovación en productos y la innovación en manufactura es por medio de la construcción de modelos, prototipos y pruebas de funcionalidad, como herramientas para resolver problemas de diseño y de innovación en la manufactura, ésta no es la única forma de la aplicación de la innovación en procesos, muchas innovaciones surgen de la revisión continua de los procesos existentes (Socconini, 2004).

Para el éxito de los procesos de innovación, es necesario que las empresas cuenten con capacidades de generación, de compra o con la habilidad de compartir tecnología a fin de asegurar estar en el estado del arte, estas empresas constantemente buscan conocer

las tendencias de la tecnología mediante actividades tales como: revisión de publicaciones especializadas, asistencia a ferias y conferencias técnicas del área, la pertenencia a asociaciones de fabricantes o sectores manufactureros y visitas a plantas de empresas proveedoras y competidoras (Backer y Dietz, 2004).

Otra práctica es el benchmarking como proceso de comparación con la competencia para saber conceptos de productos e innovaciones en los procesos de manufactura y para identificar nuevas formas, técnicas o herramientas para la manufactura.

La renovación de la tecnología, es uno de los procesos de innovación menos formalizados, por lo que gran parte del conocimiento generado por este método permanece en las personas involucradas en los proyectos ya que la frecuencia y rapidez de los cambios no permite documentarlos, comprenderlos o aprender de ellos.

Los beneficios que una organización obtiene del desarrollo de tecnología no solo provienen de sus recursos tangibles, también de los recursos intangibles; por lo cual es importante que las empresas socialicen y exterioricen el conocimiento generado en sus desarrollos tecnológicos (Nonaka y Takeuchi, 1999).

El valor de los aspectos intangibles de la tecnología en procesos en manufactura puede ser mayor que su valor físico y puede llegar a el reconocimiento de distinguir a una organización de otra en términos de innovadora, productiva, confiable o exitosa, estos aspectos son difíciles de copiar por los competidores, es por eso que la diferenciación en velocidad de implantación y flexibilidad de reacción ante cambios radicales en las técnicas de manufactura para incrementar la productividad es una ventaja competitiva de las empresas innovadoras (Allred, 2007).

### ***2.3.1. Los efectos de la innovación en la manufactura***

En las empresas de países en desarrollo, como es el caso de México, uno de los medios de progreso es la manufactura, si se dispone de empresas de este tipo, es fundamental innovar los procesos, se puede iniciar con mejoras incrementales, crear la base en el desarrollo de conocimientos y la cultura de cambio, el cambio es resultado de la innovación, que la cultura de innovación y de mejora generen un cambio en el personal para buscar nuevas maneras de hacer correctamente las cosas correctamente.

Las operaciones de manufactura son causa de negocios exitosos o fallidos, la clave del éxito de las empresas es la gestión del conocimiento como una ventaja para la innovación tecnológica o el desarrollo de una capacidad técnica, otra ventaja es la capacidad de identificación de un mercado emergente o diferenciado, la innovación en la productividad operativa es una ventaja competitiva, se basa en lo difícil de copiarla, en la lenta difusión y cuando los competidores perciban su efectividad es demasiado tarde (Pages, 2010).

En las empresas de manufactura se requiere de innovación incremental y radical para mejorar la productividad, especialmente en el caso de economías emergentes como es el caso de las empresas de México, es fundamental para las organizaciones innovar sus procesos, primeramente con innovaciones incrementales, poco a poco, como base para el cambio continuo de ideas y formas de hacer las cosas, como medio de alcanzar y sostener la productividad.

Es común que las organizaciones busquen ser reconocidas como productivas y exitosas, que operan como una empresa de clase mundial, que son líder en su producto y negocio. Para llegar a ser una empresa de clase mundial se requiere de innovación,

reconocida por el uso y explotación exitosa de nuevas ideas. Para las empresas de clase mundial el haber alcanzado ventajas competitivas sostenibles basadas en la excelencia en manufactura, ha sido posible gracias a la optimización de las operaciones y al desarrollo de sus capacidades para innovar y mejorar de manera continua sus procesos y sistemas de producción (Pages, 2010).

La innovación en los procesos tiene que ver con cambios en la forma en la que la organización produce sus bienes y servicios. Para innovar los procesos de manufactura, las empresas buscan la productividad en términos de velocidad, calidad, flexibilidad, reducción en los costos y en los tiempos de ciclo de producción para alcanzar, cuando no se pueden asegurar procedimientos sistemáticos para la innovación en manufactura, se pueden formalizar las buenas prácticas de innovación, se destacan las actividades que las empresas exitosas del sector desarrollan para realizar su proceso de innovación y que se consideran buenas prácticas por los buenos resultados, la forma en la que las empresas desarrollan la innovación es diferente debido a las diferencias del contexto organizacional y a la estrategia particular que cada una, así como a la difusión del conocimiento asociado a estos procesos.

En las empresas las buenas prácticas en la innovación se encuentran en diversos grados, se enlistamos las siguientes, por solo mencionar algunas, estas dependen del tipo de empresa y de la complejidad de manufactura de cada una.

1. Definición específica de las características del producto.
2. Reconocer la relación entre diseño y manufactura.
3. Reconocer la diferencia entre innovación de productos y de procesos.
4. Actualización tecnológica y nuevas formas de organización de la producción.



5. Pruebas de funcionalidad de procesos como parte de la mejora continua.
6. Realización de actividades de cambio orientadas a la fabricación, diseño y rediseño de maquinaria y equipos.

La innovación en los procesos de manufactura genera, en la mayoría de los casos, ventajas difíciles de imitar por otras empresas. Para las empresas innovadoras, la productividad en los procesos de manufactura es una forma de vida, donde todos están al pendiente de los resultados y saben que siempre hay una mejor manera de hacer las cosas, el día que se declara un proceso perfecto, ese día termina la mejora, sin embargo, si se comienzan con mejoras incrementales, desarrollando conocimiento y transmitiéndolo gradualmente mediante el uso de las buenas prácticas y de las herramientas de mejora continua, la organización obtendrá un nivel de desempeño de clase mundial.

Para pertenecer a este grupo de compañías y competir a nivel mundial, es necesario que se integren el desarrollo de tecnología, las buenas prácticas, el sistemas de manufactura para obtener productos de alta calidad a gran velocidad y bajos costos, pero sobretodo que se cumplan los requisitos de los clientes (externo e interno) y que el valor agregado a los productos sea la ventaja competitiva, ser empresa de clase mundial es ser productiva y lograr utilidades en un entorno de mercado y de competencia global.

Las compañías de Clase Mundial conocen el mercado y a sus competidores, emplean el Benchmarking para conocer las mejores políticas y prácticas de la industria en el ámbito mundial y cuando es necesario adaptarlas a la industria.

La productividad se concibe en primer lugar como la sustentabilidad de un crecimiento constante con buenos resultados operativos de la empresa; en segundo lugar,

el crecimiento sostenible requiere de innovación continua y finalmente el efecto debe centrarse en el aumento del producto interno bruto de un país (Pages, 2010)

Un componente crucial de la productividad es la capacidad de generar y asimilar cambios tecnológicos relacionados con la operación y los procesos productivos, Schumpeter (1942) mencionó que la relación de la innovación con el crecimiento de la productividad se basa en el cambio tecnológico, hoy en día su visión es la referencia para entender el impacto de la sociedad de conocimientos en la productividad. Las actividades de investigación y desarrollo se consideran como un modelo para la creación de conocimiento y como una variable muy importante para el desarrollo de nuevos productos y procesos para el crecimiento de las empresas. Actualmente hay gran interés sobre el papel que desempeña el conocimiento en la innovación y su efecto en el crecimiento económico y en la productividad.

La obtención, adaptación y creación de conocimiento es un factor importante en el desarrollo de la productividad y es componente común en las estrategias exitosas de los países desarrollados, en la economía actual, la innovación es indispensable para la creación y la difusión del conocimiento, adaptar el conocimiento que se originó en otras empresas o naciones hace que algunos países progresen más rápido. (Nonaka y Takeuchi, 1999).

### ***2.3.2. Medición de la innovación***

Es común escuchar que México es un país con bajos niveles de productividad, en parte a la poca inversión en innovación, esto se puede observar por el contraste con el rápido crecimiento que registran economías que no hace mucho eran más pobres (China, Brasil,

etc.) la inversión en innovación, en investigación y desarrollo es un factor multiplicador del proceso de crecimiento en conocimiento y tecnología.

Las actividades de innovación van más allá del desarrollo interno; también se puede obtener de fuentes externas, con la compra de bienes de capital con tecnología incorporada, convenios de colaboración y capacitación tecnológica, servicios de ingeniería y consultoría en actividades de diseño industrial, etc. No obstante la amplia perspectiva de la innovación, las actividades internas de investigación son parte importante de la creación y adaptación de nuevas ideas o aplicaciones tecnológicas.

En el caso de una empresa con intenciones de competir con base en su tecnología de manufactura, las ventajas podrían ser, el uso de la infraestructura de manufactura, identificación, asimilación, adaptación y la explotación de los conocimientos técnicos internos para incrementar la productividad (Pages, 2010).

Una característica distintiva de las empresas es la capacidad de compra de innovación a través de bienes de capital y equipo. En los países en desarrollo el gasto en estos rubros representa entre el 50% y el 80% del gasto total en innovación, en tanto que en los países desarrollados es entre el 10% y el 30%, la combinación de un bajo nivel de investigación y desarrollo con una gran inversión en compra de tecnología incorporada en la maquinaria es una señal de problemas, aunque la compra de tecnología mediante equipo y maquinaria es un paso importante para actualizarse tecnológicamente, el impacto puede ser limitado si no existe capacidad interna de investigación o de asimilación de conocimiento.

La falta de un grupo de trabajo dedicado a la innovación en la empresa reduce la oportunidad de innovación aun en períodos de modernización de la tecnología de manufactura de cualquier empresa (Pages, 2010).

Las grandes empresas son más propensas a invertir en innovación, ya que les resulta más fácil distribuir los costos de la innovación en un volumen mayor de ventas. Las pequeñas y medianas empresas realizan esfuerzos de investigación proporcionales a su tamaño, la intención y esfuerzo de una empresa al participar en actividades de innovación se relaciona con el apoyo gubernamental a la innovación, con la protección de la propiedad intelectual, con la cooperación tecnológica con otras empresas, con laboratorios y con Universidades, en México algunos sectores de la industria y en función del tamaño, son beneficiarias de apoyos gubernamentales para actividades de investigación y desarrollo.

Los esfuerzos de innovación en México tienen poca relación con la participación del capital extranjero, no existe una diferencia significativa entre las empresas con capital extranjero y las empresas nacionales en lo que respecta a la actividad de innovar ni a la intensidad de la innovación. Las empresas multinacionales no invierten en actividades locales de innovación ya que importan la innovación y el desarrollo tecnológico del país de origen, solo se enfocan en explotar las capacidades tecnológicas, la infraestructura de manufactura y los costos de la mano de obra de la región donde se instalan.

Para Lahiri (2010) algunas variables que actualmente se utilizan para determinar el grado de innovación según la ubicación geográfica son:

1. *Diversidad Tecnológica*: Es la especialidad y las patentes por tipo de industria, las patentes proporcionan información sobre el dominio de la tecnología principal de la empresa.
2. *Vínculos interorganizacionales*: Son las relaciones con otras entidades para el intercambio y transferencia de conocimientos entre negocios, por ejemplo proyectos e investigación a través de coautoría de patentes.

3. *Número de patentes*: Definen la intensidad y la capacidad de innovación.
4. *Número de departamentos de investigación*: Estos son la distribución geográfica de la investigación, facilitan la obtención y generación del desarrollo tecnológico de cada sector.
5. *Inversión en investigación*: Gasto en investigación relacionado con las ventas.
6. *Ventas*: Medida del tamaño de la empresa, frecuentemente se mezclan los resultados de la innovación con relación a las ventas de las empresas.
7. *Número de unidades de manufactura*: La distribución geográfica permite el acceso al conocimiento que mejora o induce la innovación local.
8. *Total de citas a colegas del sector*: Implica que un mayor número de citas corresponden a una mayor calidad de innovación para las empresas.
9. *Experiencia de los investigadores*: Acceso a más información por los nexos y redes que ha establecido, lo cual tiene un impacto positivo en la innovación.
10. *Redes del conocimiento*: En la actualidad hay grupos especializados interconectados por un interés o conocimiento común que generan y difunden conocimientos e innovaciones por sector o por empresa.

Sin embargo hay autores que tiene otras aportación referentes a las formas de medir la innovación, Becheikh, Landry y Amara, (2006) hacen las siguientes observaciones respecto a la medición de la innovación. La innovación es una actividad compleja y diversificada con muchos componentes y fuentes de datos, tradicionalmente, la innovación se mide con dos indicadores indirectos: datos de patentes y las actividades de investigación y desarrollo, sin embargo, estos indicadores han demostrado deficiencias.

La investigación y el desarrollo representan el proceso de innovación que no siempre conduce a productos y procesos mejorados, los datos de investigación y desarrollo parecen sobreestimar la medida de la innovación, ya que incluye todos los esfuerzos de investigación y no necesariamente solo los casos exitosos.

Por otra parte, todas las innovaciones no son resultado de un proceso de investigación o en laboratorios, las innovaciones pueden surgir en respuesta a un problema concreto o simplemente de una idea inteligente del innovador, en este caso, medir la innovación mediante el uso de datos de investigación es subestimar la creatividad individual aislada.

Por último, los datos de investigación utilizados como indicador de innovación tienden a favorecer a las grandes empresas en comparación con las pequeñas y medianas empresas (Pymes) los esfuerzos de investigación de las Pymes son informales y ocasionales, debido a estas limitaciones, los datos de investigación se utilizan cada vez menos como un indicador de innovación. En cuanto a los datos de patentes, miden las invenciones en lugar de innovaciones, la innovación es la conversión de una invención en un producto nuevo o mejorado que se comercializa.

Considerar las patentes como indicador de innovación y la inclusión de los inventos que no se han transformado en productos comercializables es poco objetivo para determinar la eficacia de la capacidad innovadora. Por otra parte, la tendencia a medir patentes varía entre industrias, por razones como: altos costos y procedimientos complejos, algunas empresas prefieren proteger sus innovaciones por otros métodos, como por ejemplo: uso de información confidencial, la complejidad tecnológica o el secreto industrial para mantener un plazo sobre sus competidores (Becheikh et al., 2006)

Dado que todas las innovaciones no necesariamente son patentadas, las patentes son una medida distorsionada de la innovación, esto impide que los datos de patentes sean considerados en varios estudios.

Los principales indicadores de la innovación son: primero, la capacidad de innovación de una empresa, consiste en la información sobre innovación de diversas fuentes, como liberación de nuevos productos o procesos, mención en revistas o bases de datos especializadas, esta información es objetiva ya que se concentra específicamente en las innovaciones que se convierten en productos comerciales.

La segunda medida consiste en encuestas realizadas en las empresas, este enfoque es confiable ya que la información proviene de las propias empresas, el enfoque de la encuesta se está convirtiendo en el método estándar de obtener información directa sobre innovación. (Becheikh et al., 2006).

En México, en manufactura hay datos de que relacionen la capacidad de innovar y el incremento en las exportaciones, lo que significa que la actividad exportadora de las empresas no tiene conexión con la tecnología ni con la innovación. Esto se relaciona con el hecho de que las exportaciones más importantes de la región son materias primas y productos de baja tecnología o partes armadas o ensambladas debido al bajo costo de la mano de obra. Para entender mejor esta relación y los resultados, es necesario observar con qué productos participan las empresas locales y en qué tipo de economías y mercados internacionales participan.

La exportación de algunos tipos de productos a mercados poco sofisticados tecnológicamente no requiere de una gran inversión en tecnología. Además, los productos manufacturados pueden ser de diferentes niveles tecnológicos, depende del uso, el destino

y el tipo de contrato. La aparente desconexión entre la actividad exportadora y la innovación en México contrasta con lo que sucede en Asia, donde las exportaciones desempeñan una función crucial en los procesos de aprendizaje y transferencia de tecnología que se presentan en la interacción con compañías globales.

Con respecto a la importancia de las aptitudes de innovar en las empresas de manufactura hay una relación entre el perfil técnico del personal y la capacidad de innovación, las aptitudes técnicas profesionales están asociadas a la posibilidad de innovar y ocurren mayormente como resultado de acceso a la información y a conocimientos técnicos especializados.

La innovación tecnológica en colaboración con otras entidades está asociada a mayores inversiones en investigación e innovación en general, pero es necesario resolver algunos factores que inhiben las actividades de innovación, principalmente la falta de financiamiento y créditos, la incapacidad de las empresas para esperar la evolución y reconocimiento de una mejora en el mercado por el interés de recuperar las inversiones u obtener resultados inmediatos que se refleje en los estados financieros, otra limitante de la capacidad innovadora es, la falta de apoyo a la creatividad, falta de procesos de innovación, el tamaño del mercado y la falta de personal calificado.

Algunas empresas están confinadas a sus mercados internos que suelen ser pequeños y tecnológicamente limitados y con personal no especializados y poco calificado que limita a las empresas para ofrecer servicios innovadores de medio o alto nivel tecnológico, así como los problemas en la comunicación y coordinación entre los involucrados en el proceso de innovación, incluidas áreas tecnológicas, las empresas, las universidades, y el gobierno.



### ***2.3.3. Los resultados de la innovación en la manufactura***

Las industrias con mayor intensidad de innovación obtienen más y mejores resultados, la innovación en los procesos de manufactura es más frecuente que la innovación en los productos, esto se relaciona con la compra de tecnología o de conocimiento incorporado en maquinaria y equipo, dado que la tecnología incorporada tiene un impacto inmediato en la mejora de los procesos de manufactura.

Una manera de estudiar los resultados de la innovación, es distinguir la diferencia entre la adaptación o adecuación de una invención, la innovación tecnológica está concentrada en innovaciones incrementales y mayormente se presenta en pymes que no participan en mercados internacionales. El intento de conocer los resultados de la innovación en empresas de manufactura así como la productividad de la mano de obra ha servido para entender la contribución de la actividad innovadora al crecimiento de la productividad en cada región (Swamidass, 2003).

La innovación incremental en los procesos parece no tener un efecto significativo inmediato en la productividad, pudiera ser que el proceso de aprendizaje implícito en la adopción de nuevos procesos lleva tiempo, lo cual es una limitante para invertir en investigación en las empresas que parecen darle mucha importancia a la obtención inmediata de beneficios y rendimientos de la inversión (Pages, 2010).

En un informe reciente (OCDE, 2009), las empresas que iniciaron innovaciones en los procesos de manufactura en Alemania, Bélgica, Brasil, Canadá, Francia, Nueva Zelanda y Reino Unido, registraron una menor productividad por trabajador. Al respecto los resultados podrían tener las siguientes explicaciones:

La innovación en los productos genera cambios en los procesos de manufactura, en los tiempos de aprendizaje y ajuste que podrían reducir temporalmente la productividad.

En épocas difíciles o en períodos de recesión, las empresas tratan de introducir innovaciones para compensar debilidades del producto o del proceso, sin embargo, lo que se obtiene de la innovación es potencialmente más importante, los costos de oportunidad son más bajos y la oposición al cambio es más débil de lo habitual, parte de esto puede estar ocurriendo en América Latina (Pages, 2010).

Con respecto a la innovación en la organización, existen factores poco alentadores, una posible explicación es que las empresas menos productivas son más propensas a introducir innovaciones en la organización, precisamente por la intención de mejorar. Otra posibilidad puede ser que la innovación genere cambios de poca duración en las empresas, y por lo tanto el incremento en la productividad tiende a regresar en corto plazo a su condición original.

Pese a la falta de datos, sería interesante considerar varias características de la innovación en las empresas nacionales y la forma en que la innovación afecta a la productividad, en comparación con los países desarrollados, el tipo de procesos es diferente en casi todos los casos; esto depende de la inversión en innovación e investigación, aunque la inversión en investigación es menor en México.

El papel que desempeña la inversión en innovación en las empresas extranjeras es principalmente para innovaciones de tipo incremental y concentrado en aspectos tecnológicos, en estos casos los tiempos de desarrollo y de aprendizaje son más largos para los ajustes, efectos en la productividad y para la recuperación de la inversión en innovación.

Las empresas Mexicanas están más involucradas en la innovación incremental que en investigación; cuando toman decisiones sobre las inversiones tratan de resolver problemas inmediatos, cuando invierten en innovación es básicamente por la compra de tecnología y conocimientos técnicos, ésta estrategia de innovación es reactiva y conlleva claramente una actividad innovadora basada en la adaptación de la tecnología existente, no en el desarrollo.

Otra forma de obtener conocimiento o tecnología, es la vinculación tecnológica con clientes, proveedores, laboratorios u otras instituciones tecnológicas, como fuente inmediata de innovación, esto lo utilizan las empresas donde el desarrollo tecnológico se encuentra en una etapa temprana o es lento y poco confiable, lo que hace que los incentivos para innovar sean poco adecuados, por eso prefieren la colaboración tecnológica con empresas similares, porque el rendimiento de la inversión en innovación es incierto (Lahiri,2010).

La falta de infraestructura para investigación y para la transferencia de conocimiento son barreras para la generación y absorción de nuevos conocimientos, lo que limita los beneficios de la innovación y los restringe a la adopción de tecnología lo cual conlleva a la falta de productividad y de competitividad. En algunas empresas aunque la innovación se desarrolle en varias áreas, no obtiene las mejoras o el crecimiento esperado, esto se debe a lo complicado de las interacciones, a falta de continuidad y consistencia de la innovación, ésta no se realiza como un sistema coordinado, sino como una actividad aislada, en algunas casos por políticas de apoyo a solo algunos proyectos o grupos, esto es común en la mayoría de las empresas, incluso en las innovadoras, lo que muestra poca coordinación entre las actividades de investigación y las de producción (Pages,2010).

## **2.4. Herramientas de apoyo a los sistemas de manufactura**

### ***2.4.1. Los Sistemas de Calidad en manufactura***

Hoy en día la calidad de los productos es uno de los factores importantes para determinar la habilidad de las empresas para satisfacer los requerimientos de los clientes y como factor para determinar la productividad. La capacidad de aprender se considera natural en el humano así como el propósito de hacer las cosas de manera correcta y cada vez mejor, durante todos los tiempos se han diseñado métodos para facilitar el trabajo y eliminar la posibilidad de cometer errores. Al inicio los trabajos de manufactura eran labores rústicas y artesanales, el artesano trataba de hacer lo mejor posible en cada obra, cuidando que el trabajo cumpliera los requisitos estéticos y de la perfección de su obra dependía su prestigio artesanal y sus ingresos.

A medida que creció la demanda de productos, los criterios de calidad se hicieron más explícitos, inclusive documentados, para garantizar la conformidad de los bienes y productos o para mantener en algunos grupos de artesanos la exclusividad de elaborar ciertos productos, las normas y especificaciones han favorecido el desarrollo de la industria, pero su inflexibilidad ha limitado la innovación, ya que inhibe los intentos de mejora por el riesgo de incumplimiento de las normas.

Hoy la productividad es motivada, en parte por el avance de la tecnología, por el desarrollo de los medios y por la aparición constante de herramientas de producción lo cual ha generado el vínculo entre métodos de producción, calidad y productividad. Esta relación ha favorecido el cambio del concepto de la calidad, de ser una tarea de inspección a la aparición de los sistemas de gestión de calidad que han afectado el proceso de manufactura mediante la interacción participativa y colaborativa de los directivos con los

empleados de la organización en base a objetivos y políticas de calidad, que han impactado los procesos de producción mediante la introducción de métodos y procedimientos específicos para cumplir los objetivos y requisitos de calidad de los productos, los procedimientos se usan de referencia para el cumplimiento de normas y especificaciones. En la evolución de la calidad se distinguen varias etapas:

*Primera Etapa:* El control de la calidad mediante la inspección, ésta coincide con el inicio de la producción en serie, se creó el departamento de control de calidad con la tarea de verificar si el artículo era apto para el uso destinado, posteriormente la administración describió las actividades de los operarios, especificó el procedimiento y la relación entre tareas, tiempos y movimientos, la tarea del control de calidad se asignó a los supervisores de producción y de calidad (De Feo, 2004).

Grant y Leavenworth (1996) afirman que la inspección tiene el propósito de examinar el trabajo, comprobar su calidad y detectar los errores, una vez que se identifican personal especializado debe solucionar las causas. El producto debe cumplir con los requisitos establecidos, porque el cliente determina la calidad de los artículos en base a la conformidad de estos con las especificaciones.

*Segunda etapa:* El uso del control estadístico de procesos. En 1940, el Departamento de Guerra de Estados Unidos tenía que determinar los niveles aceptables de calidad de los insumos de guerra, por que estableció para los proveedores el desarrollo de procedimientos de aceptación de producto soportados en herramientas y métodos del control estadístico, las implicaciones que el control estadístico tiene en la calidad en los procesos de manufactura, se inicia la etapa de la calidad sustentada en los procesos, en los

procedimientos, en hechos y datos. En 1942 el Departamento de Guerra estableció la sección de Control de Calidad (De Feo, 2004).

*Tercera etapa:* El aseguramiento de la calidad se caracteriza por la toma de conciencia de la importancia de la calidad y obliga a las organizaciones a la implantación de procesos para asegurar de calidad. Sin embargo, fue necesario desarrollar profesionales de la calidad e involucrar a todos en acciones de calidad, lo que requiere un compromiso mayor de la administración e implica un presupuesto para programas de calidad, el desperdicio incide en los costos de producción, pero la inversión para asegurar la calidad justifica el ahorro por evitar producir productos defectuosos, así se inició del movimiento hacia la calidad.

*Cuarta etapa:* Normas y especificaciones, a medios de los 80's aparece la familia de normas ISO 9000, las primeras normas de calidad donde se formaliza el uso de procedimientos documentados, la generación de evidencias, capacitación orientada a los procesos y ocasionalmente la certificación del personal de calidad así como la necesidad de certificar los procesos.

En esta etapa la inspección se realiza por muestreo mediante la técnica de control estadístico, buscando que la calidad se sustente en el proceso de manufactura y cumpliendo las especificaciones y normas, lo cual generó un sistema de gestión de calidad, definido y especificado en la norma ISO 9001, donde la tarea de calidad se asume como una responsabilidad gerencial, así como la obligación de medir los procesos y productos. Actualmente la mayoría de las empresas están certificadas en la norma ISO 9001 y sus variables y modalidades según el tipo, giro, tamaño y procesos de la empresa.

*Quinta etapa:* La calidad como estrategia productiva, en años recientes hay un cambio importante en la actitud de los directivos respecto a la calidad, debido al impacto de la confiabilidad de los productos japoneses y americanos en el mercado internacional. Se trata de un cambio profundo en la forma de como la administración concibe la calidad en el mundo de los negocios, y por lo tanto, una actividad importante que debe presidir de la dirección, ahora se valora la calidad como estrategia fundamental para determinar la eficacia en productividad.

La calidad es una actividad importante por aplicar métodos estadísticos para controlar los procesos, por comprometerse a elaborar productos sin defectos, de nada serviría si no hay mercado para ellos, la calidad se convierte en estrategia en el momento en el que los directivos consideran los requerimientos del consumidor y la calidad de los productos de los competidores como parte de su planeación estratégica, se trata de planear las actividades de la empresa para fabricar productos que respondan a sus requerimientos y que tengan más calidad que los productos de los competidores.

La evolución de la calidad cambio la cultura, las estrategias de las organizaciones y las estructuras de las empresas, la experiencia que las empresas japonesas han tenido en la implantación de sistemas de calidad enfocados al logro de la calidad ha contribuido a apresurar los cambios y a comprender los pasos para lograr que la calidad sea parte de la estrategia de productividad (De Feo, 2004).

Paralelo a los avances de los conceptos de calidad, manufactura y productividad, los enfoques gerenciales también han evolucionado, desde el modelo taylorista hasta los procesos de planeación estratégica donde los objetivos se definen de manera participativa, destacando que el compromiso de calidad incluye a todo, a todos y a todas las empresas

del mercado, el proceso de planeación se desarrolla a partir de los atributos o requisitos de calidad que se desea incorporar en un bien o en un servicio.

Aunque los sistemas de Gestión de calidad aportan bastantes beneficios al control de calidad del proceso, en la definición de las características del producto es importante asegurarse que los diseñadores de productos y los encargados de los procesos de manufactura estén familiarizados con los métodos de producción y con la capacidad de los procesos para obtener: la forma, precisión, exactitud y acabados, así como otros aspectos relacionados con la calidad del producto. Aunque las normas de calidad son muy explícitas en los requerimientos de calidad del proceso, no especifican la calidad del producto, esta se basa en los requerimientos de los clientes y en las normas y especificaciones técnicas descritas en otros documentos.

#### ***2.4.2. Sistema de manufactura esbelta (lean manufacturing)***

La empresa Toyota es la que ha integrado, mejorado e innovado los procesos de manufactura, en el sector industrial de mayores requerimientos; el mercado automotriz, es reconocido que el vehículo es un producto universal. Desde sus inicios, sus grandes volúmenes de producción, su diversidad de modelos y su evolución anual en diseño, así como sus características técnicas y de competencia, obligaron a los participantes en éste mercado a la modernización u obsolescencia programada de sus modelos, sistemas, maquinas o métodos. Actualmente las empresa de cualquier ramo y tamaño utilizan herramientas o métodos de optimización de los procesos generados por la industria automotriz, esto no demerita las contribuciones de otro tipo de empresas, pero en manufactura el sistema de producción Toyota es el más reconocido, la versión americana



de este sistema se conoce como manufactura esbelta o lean manufacturing, esencialmente ambos sistemas tienen los mismos conceptos y herramientas.

El uso de este sistema de producción se inicia por reconocer un proceso y se basa en el principio de cualquier sistema empresarial: enfoque en la satisfacción del cliente, otro de los principios es la adecuada relación con clientes, empleados, accionistas y proveedores, cualquier mejora o innovación se base en la solución de una necesidad no satisfecha, de cliente, del proceso o del producto, las insatisfacciones o desperdicios originan el proceso de innovación.

En la manufactura esbelta se consideran tres aspectos principales:

1. La velocidad de producción, ésta se relaciona con el uso adecuado de los recursos y métodos de manufactura.
2. Los resultados y la calidad del producto final, estos se enfocan a la evaluación de los resultados finales de la producción.
3. La logística, este se enfoca en la distribución precisa y oportuna de los resultados de la producción.

La innovación o mejora en la manufactura esbelta se presenta en varias formas; como incremental dentro de cada herramienta de soporte a la eficacia de los resultados, como innovación radical al crear nuevas herramientas para nuevas necesidades, ocasionalmente se puede presentar la innovación disruptiva la cual genera un nuevo proceso o producto en el mercado para una necesidad recién creada. Para el desarrollo de nuevos productos son necesarios los nuevos procesos, lo cual genera la aplicación de nuevas tecnologías entre ellas la de manufactura o la innovación de esta, por ejemplo los procesos y

herramientas esbeltas que tienen enfoques e indicadores específicos y los métodos para la optimización de los procesos de manufactura (Liker, 2004). En la Tabla 2.2 se muestra los elementos, conceptos, indicadores y algunas herramientas de manufactura esbelta, se indica la relación de cada herramienta con los elementos, estas herramientas y su aplicación continua han hecho que empresas de varios sectores hayan logrado la excelencia operativa y altos rendimientos económicos.

Tabla 2.2

*Algunas herramientas de manufactura esbelta*

Innovación incremental y radical en manufactura.			
Variables a mejorar			
Elementos	Desperdicio	Variabilidad	Logística
Concepto	Velocidad	Calidad	Entregas
Indicador	Tiempo	Piezas	Entregas
Herramientas	Flujo Continuo	Seis sigma	Logística
	Cambios Rápidos	A prueba de errores	Kanban
	Kanban	AMEF	Restricciones
	Distribución de Planta	Soluciones 8D	Medios y Destinos
	5's	Estadística	
	MPT	Estandarización	
Enfoque al cliente y participación del personal.			

Fuente: Elaboración propia.

Para el uso de herramientas, es necesario caracterizar los componentes del proceso de manufactura, también conocidas como las 7 M's, que están inmersas en el proceso productivo, los desperdicios son a grandes rasgos una clasificación genérica de los desperdicios del proceso, también es necesario mencionar las herramientas estadísticas básicas utilizadas para el análisis del comportamiento de los procesos industriales.

Estos elementos se muestran en la Tabla 2.3 el objetivo principal es la clasificación de las fuentes de variación, los desperdicios y su herramienta de obtención de datos.

Tabla 2.3

*Fuentes de variabilidad y herramientas estadísticas en los procesos de manufactura*

Fuentes de variabilidad en la manufactura		Herramientas estadísticas	
	Proceso (7M's)	Desperdicios	Estadística.
1	Materiales	Sobre producción	Estratificación
2	Máquinas	Sobre inventario	Lista de verificación
3	Métodos	Defectos	Gráficas de Control
4	Mano de obra	Transporte	Histogramas
5	Medio Ambiente	Acción innecesaria	Diagramas de Pareto
6	Medición	Espera	Diagramas de dispersión
7	Mantenimiento	Movimiento	Diagrama causa - efecto
Enfoque al cliente y participación del personal.			

Fuente: Elaboración propia.

En los sistemas de manufactura siempre se encuentran tres variables fundamentales: tecnología, sistema y personas, (herramientas, procesos y participantes) en este caso la tecnología se refiere al conocimiento que permite a los empresarios generar el desarrollo, el conocimiento que es uno de los elementos de las competencias humanas, otro elemento es el sistema de manufactura conocido como la infraestructura de producción y finalmente las personas que hacen que las cosas sucedan mediante el uso de la tecnología, de la infraestructura y de los sistemas, sin embargo, se busca que todas las actividades agregan valor.

Una de las actividades importantes durante el diseño de un proceso es determinar la cadena de valor, es decir los atributos del producto que son importantes para la funcionalidad, uso y gusto del cliente, y asegurar que se ponga cuidado en ellos ya que son los factores que aportan y generan valor (Socconini, 2004).

Ocasionalmente se realizan actividades que no agregan valor al producto o al proceso, pero son necesarias para mantener la actividad, por ejemplo de requisitos reglamentarios o legales por el tipo de empresa o actividad, hay otras que se realizan de manera inconsciente pero no agregan valor, generalmente llamados desperdicios crónicos y las que podrían agregar valor, por ejemplo los atributos diferenciadores que el cliente reconoce, valora y paga, bajo este esquema es necesario definir la estructura de operación de la manufactura (Socconini, 2004).

Para satisfacer los requerimientos del cliente Liker (2004) menciona que la manufactura tiene cinco elementos básicos que se describen a continuación.

1. Análisis de valor de las actividades que se realizan y su aportación a los procesos, productos o servicios, en base a los requerimientos del cliente.
2. Determinar la secuencia de los procesos, la descripción de las tareas y las responsabilidades en base al estudio de tiempos y movimientos, así como diseñar el método de la evaluación del comportamiento.
3. Mapeo de valor de cada actividad, su aportación a la calidad y eficacia de los procesos para buscar constantemente la innovación o la mejora.
4. La reducción de costos de las actividades de los procesos y estar en constante observación del mercado y de la competencia.
5. Contacto continuo con los clientes para saber la percepción respecto a la calidad del proceso, del producto y del servicio, es lo que en calidad se conoce como la voz del cliente

Para el cumplimiento de estos criterios, los procesos esbeltos de manufactura o lean manufacturing han desarrollado métodos y herramientas para la mejora constante y así

facilitar la optimización de los resultados de producción. En la Tabla 2.4 se mencionan las herramientas de manufactura y su relación con las posibles fuentes de desperdicio.

Tabla 2.4

*Herramientas de la Manufactura Esbelta según la fuente de desperdicio*

<b>Fuentes de desperdicio</b>	<b>Herramientas de la Manufactura esbelta o lean manufacturing</b>			
<b>Sistema</b>	Balanceo de líneas	Mantenimiento Productivo Total	Sistema Pull / Kanban	Seis sigma
<b>Tecnología</b>	Cambio rápido de modelo	Producción por lotes	Manufactura celular	A prueba de Error Humano
<b>Personas</b>	Estandarización del trabajo	Control Visual	5 S's	Involucramiento del Empleado
<b>Análisis de valor</b>	<b>Tiempos y movimientos</b>	<b>Mapeo de valor</b>	<b>Manufactura basada en costos</b>	<b>Voz del cliente</b>
<b>Ciclo de implantación de la manufactura esbelta</b>				

Fuente: Elaboración propia.

Otro elemento esencial que define la optimización o rendimiento de los proceso de manufactura, es el resultado que se manifiesta por la productividad como medida del uso adecuado de los recursos, procesos y resultados, este es sin duda el rendimiento total acumulado, que es un indicador de la eficacia final de la infraestructura de manufactura que lo integran tres elementos fundamentales que son:

- 1) Disponibilidad de equipo,
- 2) Eficacia de proceso y
- 3) Eficacia en calidad.

Estos elementos se utilizan para determinar la eficacia en el uso de los recursos, el rendimiento total acumulado depende del desperdicio de cada uno de sus componentes.

En la Tabla 2.5 se describe la clasificación de desperdicios con el enfoque y la unidad de medida en base a las seis grandes fallas.

Tabla 2.5

*Elementos del Rendimiento Total Acumulado y sus desperdicios (las seis grandes fallas)*

<b>Elementos del Rendimiento Total Acumulado y sus desperdicios (las seis grandes fallas)</b>				
<b>Elementos</b>	<b>Enfoque</b>	<b>Área</b>	<b>Desperdicios</b>	<b>Unidad de medida</b>
<b>Disponibilidad</b>	<b>Maquinaria y equipo</b>	Mantenimiento	Descomposturas	Tiempo programado de producción
			Ajustes y cambios	Tiempo real de producción
<b>Eficacia de proceso</b>	<b>Métodos y procesos</b>	Producción	Falta de Suministros	Ciclo ideal de producción
			Baja velocidad de operación	Ciclo real de producción
<b>Eficacia de calidad</b>	<b>Rendimiento</b>	Calidad	Desperdicio en pruebas	Piezas fábricas
			Desperdicio en producción	Piezas rechazadas.

Fuente: Elaboración propia.

La innovación en la manufactura ha desarrollado algunas herramientas como apoyo para reducir el desperdicio en la disponibilidad, en la eficacia de proceso y en el rendimiento en calidad. Estas herramientas abarcan desde involucrar al empleado en sus responsabilidades, hasta metodologías sofisticadas como es el caso del uso de la metodología seis sigma para satisfacer los requerimientos de optimización de la disponibilidad de equipo, eficacia de los procesos y la eficacia de calidad.

En la Tabla 2.6 se mencionan los resultados de la innovación de herramientas de soporte a los procesos de manufactura y su relación con posibles fuentes de desperdicio, se define la aplicación de cada herramienta para la mejora de los procesos, cada una ha evolucionado de manera incremental y ha dado pauta para la creación de otras.

Estas se pueden aplicar en cualquier tipo de empresa y sistema de manufactura, se enfocan a las personas, a los sistemas y a la tecnología, cada una cuida los elementos clave del desperdicio, tiempo, recursos y producto.

Tabla 2.6

*Herramientas de la Manufactura y su efecto en el rendimiento*

<b>Rendimiento</b>	<b>Herramientas de la Manufactura</b>			
<b>Disponibilidad</b>	Mantenimiento Productivo Total	Involucramiento del Empleado	A prueba de Error Humano	Estandarización del trabajo
	Cambio rápido de modelo	Control Visual	5 S's	Seis sigma
	Producción por lotes	Involucramiento del Empleado	Seis sigma	Estandarización del trabajo
<b>Eficacia de Proceso</b>	A prueba de Error Humano	Manufactura celular	5 S's	Cambio rápido de modelo
	Balanceo de líneas	Control Visual	Pull / Kanban	Mantenimiento Productivo Total
<b>Eficacia en calidad</b>	Estandarización del trabajo	A prueba de Error Humano	Seis sigma	5 S's
<b>Análisis de valor</b>	<b>Tiempos y movimientos</b>	<b>Mapeo de valor</b>	<b>Manufactura basada en costos</b>	<b>Voz del cliente</b>
<b>Ciclo de implantación de la manufactura esbelta</b>				

Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la Tabla 2.6, las herramientas se relacionan e interactúan entre los principios de la manufactura esbelta, el ciclo de manufactura desde el análisis del valor hasta la voz del cliente y con los elementos del rendimiento total acumulado, como se puede observar las herramientas son múltiples y diversas, con diferentes niveles de complejidad.

### ***2.4.3. Metodología Seis sigma***

Otra herramienta que en años recientes ha ayudado a las empresas a diseñar y mejorar los procesos, en este caso a las empresas de manufactura, también se puede considerar como una innovación, no por el desarrollo de las herramientas sino como una metodología que las integra, es una filosofía y sistema de gestión que surge en Estados Unidos en los años 80's como medición de los procesos como base para la mejora de la calidad. Inicia en la empresa Motorola con el interés de estudiar la influencia de la variación en los procesos y la mejora de éstos, logrando incrementos inmediatos en la rentabilidad, a diez años de aplicación, seis sigma pasó de ser una metodología de mejora en el área de manufactura a ser una cultura de calidad en todos los niveles de la organización (Eckes, 2001).

A mediados de los años noventa, Jack Welch, Director de General Electric, la adopta como filosofía de gestión, como cultura empresarial y metodología operativa en la organización, para mejorar la calidad en sus procesos y productos, redefiniendo su estrategia y creando los métodos: Diseñar para Seis Sigma (DFSS), Definir, Medir, Analizar, Diseñar y Validar (DMADV) y Definir, Medir, Analizar, Implementar y Controlar (DMAIC) como metodologías de solución de problemas de proceso, de datos y de mejora (Eckes, 2001).

Actualmente, los indicadores financieros de General Electric siguen mejorando ejercicio tras ejercicio y se conoce en el ámbito empresarial como una empresa que busca ser la mejor en su línea de negocios. Paralelamente, la filosofía seis sigma se ha implantado en innumerables empresas de todos los sectores y tamaños, reportando ahorros, aumento en ventas y beneficios, reducción del ciclo de diseño, aumento de



productividad, incremento en la fidelidad de los clientes, mejora de procesos y en general mejorando cualquier empresa en el que se ha implantado.

A principios del 2000 la cultura seis sigma se aplica en varios países a través de las empresas multinacionales norteamericanas. Hoy, seis sigma es considerada como una herramienta de gestión de mejora y ha demostrado su validez y potencial en sectores como el automotriz, servicios financieros, alta tecnología, manufactura, químico, aeronáutico, tecnologías de la información, software, bancario, administración pública y hospitales, independientemente del tamaño y volumen del negocio. Es común la idea equivocada de que seis sigma es simplemente un enfoque estadístico de análisis de problemas, es más que eso, es una cultura que transforma una organización, es una manera de pensar, un conjunto de nuevos paradigmas y comportamientos (Eckes, 2001).

Desde el comienzo de la revolución de la calidad, el Dr. Edward Deming resaltó la necesidad de gestión del liderazgo en la transformación de las organizaciones (Drucker, 1991). El enfoque de seis sigma satisface esta necesidad.

Seis sigma se basa en los conceptos estadísticos y de mejora planteados por el Dr. Deming quien con sus principios de calidad ayudo a la reactivación de la industria japonesa después de la segunda guerra mundial (Drucker, 1991). Seis sigma es la recopilación e integración de varios conceptos de calidad desarrollados previamente en los campos de la administración, operación, estrategia y estadística.

Los procesos actuales de calidad en la industria de manufactura tienden a comportarse dentro del rango de tres sigma, este estándar es lo tipificado y aceptado en el concepto del Control Estadístico de Proceso, lo que equivale a un objetivo de 66,807 Dpmo o un desperdicio del 6.68 % o menos, lo cual en estos términos se considera como aceptable y

normal (Harry, 1994). Tres Sigma significa un objetivo de rendimiento de calidad de 93,32%, en contraposición con un objetivo de rendimiento de 99,99964% para un proceso seis sigma (Eckes, 2001).

En la Tabla 2.7 de muestran los niveles de capacidad de proceso en sigmas, para varias capacidades de proceso, el rendimientos y el desperdicio de un proceso en Dpmo.

Tabla 2.7

*Niveles de capacidad de proceso en Sigmas, rendimiento y Dpmo*

Capacidad de Proceso en Sigmas	Rendimiento (% de productos correctos)	Defectos por millón de oportunidades (Dpmo)
2	69.1 %	308,537
3	93.32 %	66,807
4	99.4 %	6210
5	99.98 %	233
6	99.9997%	3.4

Fuente: Elaboración propia con base a Harry (1994).

La aplicación adecuada y oportuna de la metodología seis sigma tiene las siguientes características (Eckes, 2001):

Enfoque al cliente, los proyectos seis sigma producen retorno sobre la inversión, cambian el modo en que opera la dirección, más que un proceso de mejora es una metodología con nuevos enfoques en la forma de resolver problemas y tomar decisiones.

Cuando los principios de calidad y la metodología seis sigma se aplican correctamente en áreas estratégicas o procesos claves, los resultados y mejoras representan beneficios como: mejoramiento de la satisfacción del cliente, aumento de productividad y valor agregado, reducción de desperdicio y de tiempos de ciclo, aumento de confiabilidad del producto, mejora del flujo de procesos.

Seis sigma basa su estrategia en entender y evaluar resultados para corregir procesos, no corrige productos, es un método de solución de problemas que se basa en la experimentación (Eckes, 2001). Es una medida de calidad en términos de precisión y exactitud del proceso, en base a la media, a la tolerancia y a la desviación estándar de los datos de un proceso (Harry, 1994).

#### ***2.4.4. Lean seis sigma***

Una de las innovaciones y tendencias de seis sigma es su incorporación a otro concepto de mejora, lean manufacturing, también conocido como manufactura esbelta o Sistema de Producción Toyota, este método surgió para adelgazar los procesos mediante su medición, revisión y mejora para sólo realizar actividades que agreguen valor al producto o al proceso, la consolidación integral de los conceptos de lean manufacturing y seis sigma se conoce como lean seis sigma. (Liker, 2004)

Lean seis sigma es la integración de los proceso esbeltos, basado en las herramientas de manufactura esbelta o lean manufacturing, para reducir el desperdicio y asegurar que en los proceso solo se realizan actividades que agregan valor a la materia prima, la aplicación de la metodología seis sigma mejora el comportamiento, reduce la variabilidad de los procesos y obtiene productos de calidad consistente (George, 2004).

Lean Seis Sigma utiliza el cambio radical en dos aspectos fundamentales: 1) La transformación comienza con un cambio de actitud de los líderes de la empresa, deben estar convencidos que la mejora continua no es suficiente para alcanzar los objetivos operativos requeridos por la organización, 2) La innovación en los procesos de manufactura, en las herramientas y métodos de trabajo es obligatoria para reducir los

costos y el desperdicio crónico. Esto se logra mediante la realización de proyectos de transformación, basados en los siguientes de principios fundamentales (George, 2004).

1. Evaluar la empresa con enfoque de sus clientes, revisando el trabajo en la cadena de valor, los clientes pagan por el valor que crea el proceso.
2. Reducir el desperdicio que genera el proceso y eliminar las causas de la variabilidad del proceso (Seis Sigma), para conseguir fiabilidad, robustez y consistencia de productos y servicios.
3. El cliente define la velocidad del proceso (fabricación en base a los pedidos del cliente), operar con bajos costos y con flexibilidad en la manufactura.
4. Proporcionar motivación y recompensa a los empleados, ya que al hacer el trabajo más flexible tendrán que dedicar más esfuerzo.
5. Asegurarse que los objetivos del empleado correspondan a los de la empresa.
6. Capacitación para aumentar la flexibilidad en el trabajo, sin olvidar que el éxito de Lean Seis Sigma ésta en la capacitación como base de la acción.

Los procesos esbeltos se enfocan en hacer los procesos sencillos se reducen las etapas y la posibilidad de error debido a la complejidad, seis sigma es una metodología de mejora que se basa en datos para determinar cuantitativamente el estado del proceso en términos de capacidad y rendimiento, el rendimiento decrece cuando la complejidad aumenta.

Si se reduciese el número de piezas de un producto o el número de pasos de un proceso y al mismo tiempo se consigue disminuir el número de defectos (aumentando el valor sigma), el rendimiento del proceso aumenta.

En la Tabla 2.8 se muestra la interacción entre Lean y Seis Sigma

Tabla 2.8

*Comparación entre los procesos lean y seis sigma*

Concepto	Lean	Seis Sigma
Enfoque	Velocidad	Optimización de proceso
Objetivos	Entender el flujo de trabajo y eliminar el desperdicio y las actividades que no agregan valor	Mejorar la capacidad de proceso y reducir o eliminar la variabilidad en los proceso
Aplicación	Reducción de los tiempos de ciclo de trabajo	Incrementar el rendimiento (Mejorar la calidad)
Principios	Conocimiento del mapeo del valor del proceso, y utilizar las mejores prácticas del negocio e innovar constantemente	Definir el problema. De proceso, de datos o de mejora y utilizar la metodología establecida para cada problema
Selección de Proyectos	Problemas específicos en piso o línea de producción	Comportamiento estadístico del proceso del proceso
Duración de los proyectos	Máximo tres meses	Mínimo tres meses desde su definición a su implementación
Infraestructura	Herramientas del día a día disponibles en el área de producción	Metodología estandarizada y documentada
Capacitación	Por ejecución en piso	Escolarizada y formal

Fuente: Elaboración propia en base a Jha & Saini (2011).

En la Tabla 3.1 se puede concluir que para explotar el potencial de mejora, es necesario trabajar en dos frentes: simplificar el proceso y reducir la variabilidad. Lean Seis Sigma proporciona la estructura, los métodos y las medidas que permiten lograr este doble objetivo: disminuir el número de defectos al mismo tiempo que se aumenta la velocidad del proceso.

### **3. CASO DE ESTUDIO**

#### **3.1. Antecedentes**

En el presente trabajo se utiliza el estudio de caso como metodología de investigación de las variables y métodos, para definir como la innovación impacta en la productividad y en los procesos de manufactura. Como etapa de validación de los resultados de la investigación, se analizó una empresa de transformación petroquímica procesadora de resinas Pet, con una amplia trayectoria industrial internacional, con más de 30 años en el contexto regional, en condiciones actuales y con métodos internos de operación.

El interés de este estudio radica en la búsqueda de respuestas y alternativas que respondan a las necesidades y objetivo de la investigación, que es confirmar la relación de la innovación con la manufactura y su efecto en la productividad, así como proponer un proceso de cálculo desde la perspectiva del investigador y del usuarios de la tecnología de manufactura para determinar algunos indicadores del efecto de la innovación en la productividad, para que con conocimiento real y probado se mejoren los procesos de las empresas manufactureras y la productividad de éstas.

Se busca determinar las variables de mayor influencia en la investigación a través de la metodología de estudio de caso con un enfoque interpretativo, que permita comprender el comportamiento de la manufactura en un contexto conocido y controlado para la validación del resultado de la investigación.

El objetivo es desarrollar una metodología rigurosa y replicable a otras empresas que permita, en primera instancia un resultado es cuantitativo, para lo cual analizaremos una empresa que proporcione datos reales y actuales de comportamiento de su proceso de manufactura.

El presente trabajo se realizó en base a procesos, métodos y datos de una empresa ubicada en el Bajío Mexicano, la cual se utiliza como medio de pruebas para validar la información y los procesos de cálculo de las variables relativas a la metodología de cálculo de los rendimientos y capacidades.

Por haberlo solicitado y por así a convenir a la empresa de estudio se omite su nombre, sin embargo los datos son verdaderos, a partir de esta parte del texto la empresa se mencionara con el nombre ficticio: Polimeros. S.A

### **3.2. Polimeros S. A.**

*Antecedentes de la empresa:* El centro de manufactura de la compañía de estudio se ubica en una Ciudad de México, cuenta además con varias plantas, dos plantas en Estados Unidos y otra planta en Alemania. La planta México inicia sus operaciones en los setentas con la fabricación de filamentos de polímeros para prendas de vestir.

Con el tiempo el negocio de polímeros prospera en México generando con ello inversiones de capital del orden de los 5000 mdp consolidando el proyecto como: Planta productiva de polímeros para abastecer la demanda de producto sustituto del algodón natural para prendas de vestir, ropa íntima, alfombras y ropa de cama (1981) ese mismo año se inicia el uso de polímeros para hilo de alta tenacidad para la industria automotriz.

En el año 1993 la organización expande el negocio de polímeros grado botella e invierte en una planta moderna de polietilentereftalato (PET), para sustituir al envase de vidrio, principalmente en las bebidas refrescantes. En 2006 la organización cierra las operaciones de poliéster grado fibra.

En 2008 la empresa vende la planta de poliéster para hilo de alta tenacidad e inicia actividades de maquila para el negocio de poliéster sustituto del algodón. La producción, mediante proceso continuo de poliéster grado botella es el negocio base de la planta México a partir de 2008.

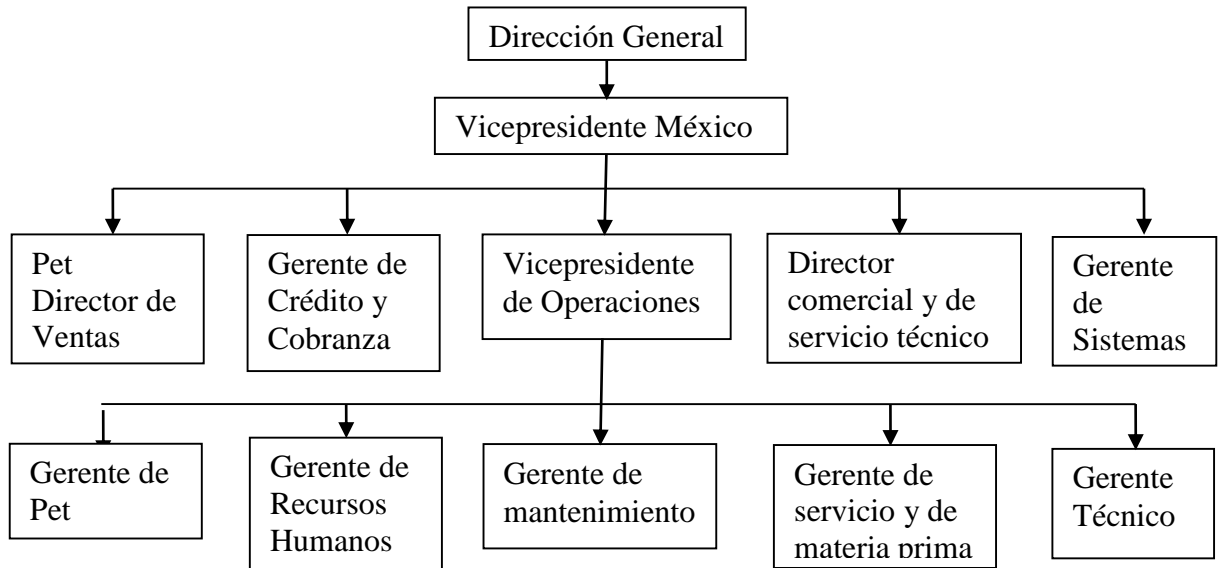
En 2011 la empresa es adquirida por conglomerado de empresas del extranjero. Actualmente la Planta de Química Pet en México cuenta con:

1. Es una empresa de manufactura que pertenece a un conglomerado internacional del ramo petroquímico
2. Medio millar de empleados, de los cuales el 70 % es sindicalizado.
3. Superficie total: cuarenta hectáreas, con quince hectáreas de construcción.
4. Capacidad de producción instalada de 600,000 Ton/año.
5. Ventas promedio de 1,200 Millones de dólares/año, el 30% de sus ventas son de exportación.
6. 25 % de Participación en el mercado nacional de poliéster grado botella.
7. Personal con talento y comprometido, con una antigüedad promedio 20 años.
8. Los clientes principales se localizan en el valle de México.
9. Certificación en ISO 9001:2008.
10. Con metodologías de mejora continua en sincronía con los requisitos y en concordancia con las estrategias globales de la empresa.
11. Recién ha iniciado la implementación de la metodología lean seis sigma con el fin de optimizar su proceso productivos.

A continuación se presenta el organigrama general de la empresa.



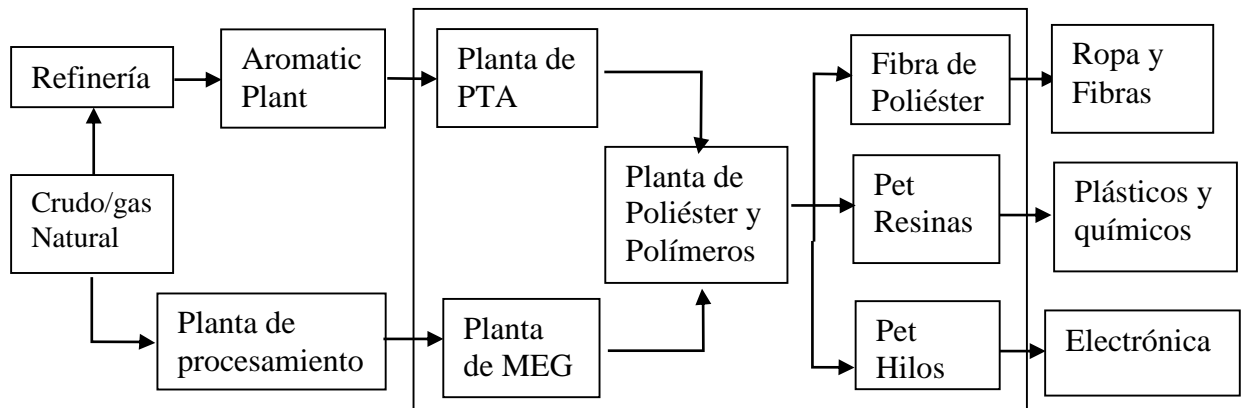
Figura 3.1. Organigrama de la Empresa de estudio



Fuente: Información Proporcionada por la empresa, obtenida en noviembre de 2013

El organigrama representa a la operación con alto grado de enfoque a la producción. A continuación se presenta el proceso general de la empresa, en este se describen las tres etapas principales, las entradas son extracción petroquímica, polyester y productos.

Figura 3.2. Proceso genérico de producción de la empresa de estudio



Fuente: Información Proporcionada por la empresa.

La empresa tiene 42 plantas con operaciones en 15 países en 4 continentes.

### **3.3. Estrategias de implementación de la metodología lean seis sigma**

Desde finales del 2013, la empresa inicio a nivel global la iniciativa de consolidación de la experiencia de la empresa en la aplicación de procesos esbeltos para hacer la conjunción la metodología seis sigmas y así utilizar la metodología lean seis sigma. El objetivo es sustentar la metodología en hechos y datos con tres enfoques principales.

1. Satisfacción del cliente con calidad en los productos y servicios, velocidad en los procesos y en los servicios.
2. Mejora del proceso mediante reducción de los defectos y la variabilidad para facilitar el flujo de los procesos.
3. Trabajo en equipo: integrantes especializados en las tareas del proyecto, integrados y comprometidos con la misión y las expectativas de la empresa.

Estos enfoques se aplican con evidencia, datos y hechos para establecer la interrelación de eficiencia y eficacia con la visión del negocio, con la ejecución eficaz e innovadora a través de las capacidades de los individuos del equipo, los enfoques hacen referencia al cliente, al proceso, a las características del producto y a la medición de la satisfacción del cliente.

La estrategia de la empresa se enfoca en la implementación de la metodología lean seis sigma, más que desarrollar las herramientas de aplicación inmediata y temporal, busca una transformación cultural, mediante los siguientes objetivos específicos: 1) Desarrollo del personal, 2) Conocer y medir las expectativas de los clientes.3) Mejoramiento continuo de la operación de la compañía y 4) Obtener y mantener una ventaja competitiva en el mercado.

### **3.4. Estado actual de implementación**

La empresa del caso de estudio es una con un proceso químico que ha pasado por varios dueños y procesos de administración, sin embargo sus procesos productivos se han mantenido ya que son parte de un conglomerado industrial y no han cambiado de proceso ni de producto, solo han hecho mejoras incrementales en la misma línea de negocios. En la planta México no disponen de área de investigación y desarrollo, sus áreas de investigación están en la planta matriz, donde los cambios e innovaciones se elaboran y prueban, y los procesos o cambios aceptados, después son implantados en las empresas subsidiarias.

Actualmente se está en proceso de implantación de la metodología lean seis sigma, la cual inicio en la planta México el último cuatrimestre del 2013, la empresa durante años ha dispuesto de proceso de mejora, inclusive con certificación en sistemas de calidad relativos a sus proceso y ramo de negocios, y ha implantado a través de los años varias de las herramientas de mejora, principalmente en áreas de mantenimiento, manejo de inventarios y optimización de áreas de trabajo cambio rápido modelo o herramientas para reducir el tiempo de espera en producción.

Herramientas que después fueron absorbidas por los procesos esbeltos, las cuales en caso de empresas de fabricación automática y continua son para optimizar los procesos productivos y son de gran ayuda en los procesos químicos ya que asegura la disponibilidad continua de la infraestructura de manufactura.

En la Tabla 3.1 se describen las principales herramientas lean que actualmente utiliza la empresa, cabe mencionar que las herramientas no fueron creadas en la empresa, la empresa de estudio solo las adecua a su proceso químico.

Tabla 3.1

*Herramientas lean utilizadas actualmente por la empresa de estudio*

Fuentes de desperdicio	Descripción	Herramientas Lean		
<b>Disponibilidad</b>	Tiempo disponible del equipo para realizar actividades productivas	Mantenimiento Productivo Total	Involucramiento del Empleado	Mantenimiento Productivo Total
		Cambio rápido de modelo	Control Visual	Cambio rápido de modelo
<b>Eficacia de Proceso</b>	Uso adecuado de las capacidades de la infraestructura de manufactura	Producción por lotes	Involucramiento del Empleado	Logística de producción
		A prueba de Error Humano	Manufactura celular	5 S's
<b>Eficacia en calidad</b>	Piezas correctas vs piezas fabricadas	Balanceo de líneas	Control Visual	Pull / Kanban
<b>Análisis de valor</b>	<b>Indicador</b>	<b>Tiempos y movimientos</b>	<b>Mapeo de valor</b>	<b>Manufactura basada en costos</b>

Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por la empresa de estudio (2014).

Como se puede observar en la tabla algunas herramientas son de origen Japonés y ya son conocidos y aplicados en empresas manufactureras.

La Implementación de la metodología lean seis sigma es una iniciativa global que recién inicio en la empresa de estudio, en la Tabla 3.2, de hace un resumen de la planeación estratégica del proceso con el objetivo de una transformación cultural, lo cual corresponde con la estrategia de mejora de las empresas japonesas, actualmente muy reconocidas y utilizadas en la industria automotriz principalmente, pero se aplican a cualquier tipo de manufactura, donde el cambio es paulatino pero los logros son permanentes mediante los procesos de innovación incremental.

Tabla 3.2

*Actividades principales de implantación de la metodología lean seis sigma*

Descripción de Actividades	ETAPAS PRINCIPALES		
	Lanzamiento	Institucionalización	Transformación cultural
Resultados	Inicio de proyectos, sin efecto en el ROI	Métodos definidos con proyectos enfocados a la reducción de la variabilidad	Sistema de control de proyectos institucionalizado con efecto en ROI
Compromiso	Pocos visionarios Resistencia al cambio	Ejecutivos comprometidos e involucrados en la selección y seguimiento de proyectos	Metodología lean seis sigma integrada a las actividades diarias del personal
Estrategia	Proyectos para eliminar o reducir el desperdicio	Selección sistemática de proyectos en base a prioridades estratégicas	Metodología lean seis sigma integrada en las actividades de planeación de la organización
Capacitación	Instructores externos primer grupo de Black Belts	Instructores internos para seis sigma, cintas blancas y amarillas	Sistema de capacitación interna MBB, 1% BB Y 10% GB
Comunicación	Definición de mentores y Elaboración de reportes esporádicos	Control centralizado de proyectos, comunicación, reportes institucionalizados y periódicos	El lenguaje de la metodología lean seis sigma se integra al sistema integral de comunicación interna
Ejecución	Inicio de implantación de procesos	Los dueños de los procesos, manejan datos y análisis de comportamiento de sus procesos	Dirección y planeación proactiva con integración de lean seis sigma en los procesos de dirección
Medición	Sin indicadores	Indicadores de comportamiento de avance de proyectos y retroalimentación en un sistema de reportes	Disposición de un sistema de indicadores en todos los aspectos de la operación
Reconocimiento	Aun no definidos	Procedimientos de selección de los candidatos a capacitación en la metodología	Metodología lean seis sigma integrada al sistema de promociones e incentivos del personal de la organización
Duración	3 a 9 meses	12 a 24 meses	24 a 36 meses

Donde :MBB: Master Black belt, BB: Black Belt,GB: Green Belt, ROI: Retorno sobre la inversión  
Fuente. Elaboración propia en base a información proporcionada por la empresa de estudio (2013).

En la tabla 3.2, solo se mencionan tres etapas con las actividades y la duración, a la fecha ya se terminó la selección del grupo de capacitación de la primera ola de lean seis sigma Black Belts y están en capacitación la primera ola de lean seis sigma Green Belts.

Para la implantación de una etapa de mejora los primeros proyectos deben ser bien seleccionados para lograr visualizar cómo se pueden conseguir beneficios tangibles y reales (De feo, 2004).

Todo esto es para generar más valor para el cliente y conseguir que paguen más por el producto fabricado/servicio prestado y que éste sea libre de defectos, se trata de un beneficio para la empresa al tiempo que se protegen los empleos y permite obtener del empleado un mayor compromiso con su actividad.

Esto es solo parte de lo que lograr al combinar efectivamente las metodologías Lean y Seis Sigma. El método funciona y el personal que trabaja en él rápidamente lo comprende. Lean Seis Sigma está pensada para cambios radicales.

### **3.4. Uso herramientas innovadoras lean seis sigma en la etapa 1**

La empresa ha optado por la innovación incremental mediante la adaptación de herramientas ya utilizadas y probadas en otras industrias, inclusive algunas ya implementadas en sus actuales proceso.

En esta etapa es un renovado esfuerzo por un implementación sistémica de las herramientas lean del sistema de producción Toyota, sin embargo la estrategia se implementó por etapas.

La primera etapa se enfocó en optimización del proceso productivo manufactura, para asegurar la disponibilidad de equipo y la continuidad del proceso utilizando herramientas que le aseguren mejora, utilizando un paro técnico ya antes programado con fines de mantenimiento.

En la Tabla 3.3 se muestran las herramientas utilizadas en la Etapa uno: (septiembre a diciembre 2013).

Tabla 3.3

*Estrategia de uso de herramientas lean seis sigma etapa 1*

<b>Estrategia Lean Seis Sigma etapa 1</b>	
Herramientas Lean : Enfoque en el rendimiento total acumulado	
Mantenimiento Productivo Total	Herramienta cuyo enfoque es el historial de fallas y su causa raíz así como las acciones a seguir en caso de su recurrencia, adicionalmente permite a los empresarios tener un plan alternativo de acción en caso de paros de máquina, además de disponer de un stock de refacciones de alto riesgo de falla.
Cambio rápido de modelo (SMED)	Herramienta que se enfoca en el desarrollo de métodos y herramientas que permiten hacer cambios rápidos de modelos, de productos o de herramientas sin detener la operación o en el peor de los casos que los paros sean mínimos.
Herramientas con enfoque en la Eficacia de proceso	
Participación del empleado	Dinámica de cambio de modelo mental de los empleados que les permita identificarse con su empresa, sus objetivos y proceso para el logro de los objetivos, mediante la reciprocidad de reconocimiento y estímulo
Estandarización del trabajo	Desarrollo de estudio de tiempos y movimiento en base a las actividades, herramientas y habilidades requeridas para la elaboración de una tarea específica en un proceso productivo, para determinar actividades estándares
5 S's	Herramienta que busca eliminar el desperdicio de tiempo, espacio y herramientas mediante la organización del área de trabajo
A prueba de Error Humano	Herramientas o dispositivos que eviten las fallas o errores por cansancio o desconcentración del trabajador, también conocidas como técnica Poka Yoke
Balanceo de líneas	Análisis de los requisitos de actividad humana e interacciones con los procesos, para determinar las actividades y tipos de realización en base a una carga de trabajo o de producción para establecer la cantidad de personas en la línea o proceso productivo que garanticen continuidad y calidad de la operación
Control Visual	Desarrollo de herramientas visuales que permitan al operador orientarse, medir, decidir y determinar el estado de operación de una máquina, de una línea o de

	un producto en base a herramientas visuales , asociadas a la codificación de figuras, imágenes , indicadores, colores etc.
Logística de producción	Actividades que garanticen la disponibilidad de los insumos en almacén y su distribución oportuna en cantidad y lugar para evitar, demoras o paros de línea por la falta de herramientas, material, componente o información.
Pull / Kanban	Sistema combinado de control de ordenes en proceso en base a tiempos de entrega y pedidos específicos que se deben priorizar entre los demás pedidos de producción mediante un proceso de identificación particular que permite saber el estado de cada actividad o componente en base al compromiso de entrega.
Producción por lotes	Característica de producción resultado de la flexibilidad de producción de una línea, que permite el intercambio de modelos, productos o actividades por cantidades definidas en base a un programa de producción.
Manufactura celular	La manufactura celular es una mini fábrica dentro de la fábrica, que regula sus costos y actividades de operación, tiempos de entrega y administra su estructura, que se adapta al cambio y responder a las necesidades del cliente.

Fuente: Elaboración propia en base a la información proporcionada por la empresa de estudio.

Aunque la empresa usa algunas herramientas y sistemas que aseguran la continuidad y la calidad de los procesos, por ejemplo ISO 9000 con sus procedimientos, era necesario implementar acciones y actividades en las líneas de producción para optimizar los procesos y buscar constantemente la reducción del desperdicio y la optimización.

### 3.5. Uso herramientas innovadoras lean seis sigma en la etapa 2

En la etapa dos la empresa optó por la innovación incremental mediante sus sistemas operativos para mejorar su capacidad de proceso, con la adaptación de métodos innovadores y herramientas ya utilizadas y probadas en otras industrias. En la Tabla 3.4 se muestran las herramientas utilizadas en la Etapa dos: (enero a mayo 2014).



Tabla 3.4

*Estrategia de uso de herramientas lean seis sigma etapa 2*

<b>Estrategia Lean Seis Sigma etapa 2</b>	
<b>Herramientas Lean : Enfoque en la capacidad de proceso</b>	
Trabajo en equipo	Transformación cultural, con enfoque de la calidad de los equipos de trabajo, es el resultado de la calidad de sus integrantes, con enfoque en las capacidades individuales y los valores personales para que se integren a la cultura y comportamiento del individuo dentro del equipo
Objetivos indicadores	Determinar que la calidad de personas, la calidad de proceso y de productos se mide a través de datos que permiten determinar el cumplimiento de objetivos
<b>Herramientas con enfoque en: Optimización del proceso</b>	
Control de la variabilidad	Medición continua de los resultados, el tratamiento estadístico de los datos para saber el comportamiento, las causa de la variación y atender las contingencias que generan variación en los proceso
Continuidad del procesos	Evaluación continua de la disponibilidad de insumos, refacciones y herramientas, así como la logística de distribución de éstas para asegurar la continuidad de los procesos y no manejar inventario de materiales en proceso o cuellos de botella en las líneas de producción.
<b>Herramientas con enfoque en: Satisfacción del cliente</b>	
Calidad del Producto	Evaluación continua de los proceso para determinar su comportamiento en términos de rendimiento , desperdicio y capacidad para satisfacer las especificación del producto
Oportunidad de procesos	Evaluación continua de los proceso para determinar su comportamiento en términos de oportunidad de producción y entrega al cliente final

Fuente: Elaboración propia en base a la información proporcionada por la empresa de estudio.

Las herramientas de la etapa 2 se enfocan en la optimización de la operación con actividades de medición y evaluación de las operaciones mediante indicadores que permitan determinar la capacidad de la empresa en satisfacer los requisitos del cliente.

## **4. METODOLOGÍA**

En este capítulo se abordan la definición objetiva de las variables independientes, sus unidades, los métodos de obtención así como las técnicas del tratamiento de las variables del problema en base al objetivo de la investigación y al marco teórico, se describen las actividades de recolección de datos y tratamiento estadístico cuantitativo de los datos de los procesos.

### **4.1. Problema de Investigación**

El problema de las empresas de manufactura es la falta de un método para determinar la capacidad de proceso, en función de la demanda o del comportamiento del equipo, del proceso y de la calidad de los productos, lo cual determina la capacidad de producción de la empresa.

El problema inicia por la falta de visión sistémica que no permite que los empresarios sepan cuantitativamente el impacto en la productividad de los siguientes factores; la disponibilidad real de los equipos, de la eficacia de proceso y de los resultados en calidad, por lo tanto no se tiene una medida de la productividad, ni de la potencialidad de ésta.

### **4.2. Objetivo General**

Proponer un método que permita evaluar el impacto de la innovación de las técnicas y herramientas de producción en la productividad en las empresas de manufactura, así como definir los criterios para facilitar a los empresarios saber mediante un indicador del uso de la infraestructura de manufactura. Desde el punto de vista de los siguientes elementos: la disponibilidad, la eficacia de producción y la calidad de los productos.

El alcance de esta investigación se limita a la evaluación de las empresas grandes de manufactura ubicadas en el bajío y que entre otras características, sean de producción automática y flexible, proveedora de fabricantes de equipo original, preferentemente en la industria química, automotriz o aviación, que cuente con certificación de calidad y métodos estandarizados de mejora continua. Para validar el modelo, el proceso de obtención de datos y cálculo, se tomó un caso de la empresa definida previamente.

### **4.3. Objetivos específicos**

Para la definición de éstos, se toma como referencia un caso de estudio de una empresa local, grande, del ramo químico y con proceso automático y continuo de manufactura.

El presente trabajo, a través de las actividades derivadas de la investigación tiene los siguientes objetivos específicos.

1. Definir los tipos de innovación tecnológica y determinar las principales formas de innovación en las áreas de manufactura.
2. Identificar los elementos clave para el cálculo de la eficacia de la manufactura (capacidad y rendimiento).
3. Determinar el mecanismo de recolección de datos, análisis y resultados para compararlos con las empresas de clase mundial.
4. Desarrollar una herramienta cuantitativa que permita determinar los principales resultados de la operación de manufactura.
5. Establecer una metodología para determinar el impacto de la innovación de los sistemas de manufactura y su efecto en la productividad.

#### **4.4. Planteamiento de la Hipótesis**

La presente investigación se basa en el estudio de la innovación de la manufactura y su impacto en la productividad, dado que la productividad es el resultado de la interacción de varios procesos, los cuales se pueden evaluar de manera cuantitativa, es necesario definir y proponer una hipótesis y sus variables de interés. La manufactura es un proceso en el cual los datos son la parte fundamental para determinar el comportamiento de las operaciones, el planteamiento de la hipótesis se desarrolló a partir de la siguiente pregunta de investigación:

*Pregunta de investigación* ¿El uso de herramientas y técnicas innovadoras de manufactura impacta en la productividad de una empresa?

Planteamiento de las hipótesis

*Hipótesis alterna:* Las empresas de manufactura que utilizan las herramientas innovadoras de manufactura tienden a incrementar su rendimiento en productividad.

*Hipótesis nula:* Las empresas de manufactura que no utilizan las herramientas innovadoras de manufactura no tienden a incrementar su rendimiento en productividad.

#### **4.5. Variables de Investigación**

Las variables dependientes e independientes se definen en base a la hipótesis planteada y se describen asociadas a la innovación, la manufactura y a la productividad, en la Tabla 4.1 se presentan las principales variables de la metodología y del proceso de investigación, las variables independientes son entradas al proceso y se describen como causas, las variables dependientes son los resultados o salidas y se consideran como los efectos.

Tabla 4.1

*Variables de la hipótesis de la investigación*

<b>Variables de la hipótesis</b>		
Variable Independiente		Variable Dependiente
Innovación	Manufactura	Productividad
Desarrollo y uso de la innovación	Optimización de proceso	Eficacia los sistemas de manufactura
Herramientas	Capacidad de proceso	Rendimiento total acumulado
<i>Tipos de Innovación:</i>	Innovación en procesos	Sistema de Manufactura
a.-Incremental	(Innovación Tecnológica)	(Innovación Tecnológica)
b.-Radical	<i>De Mantenimiento</i>	<i>Disponibilidad</i>
c.-Disruptiva	a.-Mantenimiento Preventivo	a.-Uso real de Infraestructura de equipo
<i>Forma de obtención</i>	b.-Mantenimiento correctivo	<i>Proceso de manufactura</i>
a.-Desarrollo interno.	<i>Proceso de manufactura</i>	a.-Eficacia del proceso de manufactura
b.-Compra	a.-De Métodos de trabajo	<i>Sistema de calidad</i>
c.-Adaptada del medio	b.-De Herramientas	c.-Eficacia del proceso en la producción de piezas correctas (conformes)
d.-Desarrollo colaborativo	c.-De manejo de materiales	
<i>Aplicación</i>	<i>De calidad</i>	
a.-Desarrollo de producto	a.-Inspección	
b.-Desarrollo de procesos	b.-Proceso	
Número y tipo de herramienta	Cp, Cpk, Dpmo, Yield	Rendimiento Total Acumulado

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.6. Diseño Metodológico de la Investigación**

El diseño de la investigación a través de su desarrollo generará la información para resolver la pregunta de Investigación, para cumplir con los objetivos de la investigación, en base a hechos y datos, someter a prueba la validez de la hipótesis.

El tipo de problema para esta investigación es cuantitativo y se utilizó el método propuesto para el desarrollo de la investigación descrito en numeral 1.7 en el capítulo uno del presente trabajo, se desarrolla mediante el proceso de observación y medición, se basa en el análisis de las variables independientes, en las entradas al proceso, en la cantidad de

innovación en los procesos de manufactura y se mide la variable dependiente que se manifiesta en la definición cuantitativa de la productividad y resultados afines.

La medición se realizó para asegurar el control y la validez de las conclusiones, lo cual representó el análisis de proceso, fue secuencial y probatoria, en orden, aunque, se pueden redefinir o reubicar alguna fase o idea, se consideró cada posible cambio en base a los objetivos y en caso de que realice representara nuevas preguntas de investigación, al no haber cambios no fue el necesario.

De la pregunta y objetivos de la Investigación se definió las hipótesis, se diseñó el plan para probarla mediante un caso de estudio, de la medición de los procesos se obtuvieron los datos de comportamiento de las variables en su contexto real y actual a la fecha de evaluación de la operación; se analizaron los datos de las mediciones obtenidas (técnicas estadísticas), se obtuvieron los resultados de la investigación y en la parte final se reportan las conclusiones respecto a la hipótesis y a los objetivos de la investigación.

#### **4.7. Información de referencia**

La empresa es productora de Resinas Pet, con utilización en la producción de envases, la empresa cuenta con tres procesos continuos de producción de material amorfo, el cual entra a un proceso posterior de polimerización en fase sólida a dos líneas de producción para obtener el producto terminado, aunque la empresa tiene tres procesos continuos de producción en la Planta Pet. Solo se evaluó la planta de menor capacidad estándar de producción, con una capacidad estándar estimada de 260 ton/día, con ciclos de producción continua de 24 horas, 7 días a la semana, y con un periodo estimado de dos semanas al año de paros para mantenimiento preventivo y predictivo, por especificación se hace un

paro para mantenimiento mayor de maquinaria y equipo, cada cinco años con un periodo de 4 a 6 semanas.

Actualmente la empresa opera con herramientas lean tomadas de los procesos esbeltos, entre ellas es la relación continúa con el cliente solo se fabrica los productos solicitados previamente por los clientes, lo conocido como sistema pull, así como el control de inventarios de materia prima en proceso y producto terminado.

En el caso de la línea motivo de estudio, termino su periodo de producción en septiembre y se utilizaron 6 semanas para mantenimiento total programado cada cinco años, y dos semanas para pruebas de arranque, reiniciando en diciembre del 2013.

La planta se considera como de producción continua, los paros y arranques son procesos esporádicos, para mantener la operación continua se cuenta con sistemas redundantes , que son elementos de producción flexible disponibles todo el tiempo, adicionalmente se cuenta con proceso SMED (Single minute Exchange die) cambio rápido de modelo, técnicas 5's, mantenimiento predictivo total, stock de refacciones de alto riesgo, esto por solo mencionar algunos elementos que garantizan la disponibilidad continua de la manufactura de producción.

Durante el proceso de investigación se tuvo acceso a la información de la empresa y a reportes gerenciales de operación, específicamente a los datos de producción, de tres meses diferentes, septiembre del 2013, enero y mayo del 2014, que representan dos periodos de producción, así mismo se notó la utilización de algunas herramientas de manufactura esbelta y herramientas de calidad, posteriormente la empresas inicio el proceso de implementación de la metodología lean seis sigma, respecto a la información solicitada se acordó que se proporcionarían los datos requeridos para el presente trabajo,

los informes serían mensuales y con los datos del comportamiento en los siguientes términos y con los datos descritos en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2

*Datos de reporte mensual de producción*

Concepto	Unidad	Descripción
a) Fecha	Dd / mm /yy	Fecha de producción
b) Horas planeadas	Horas/ día	Horas planead por día
c) Horas reales trabajadas	Horas/ día	Horas planead por día
d) Producción Planeada	Ton/ día	Producción estimada por día
e) Producción Bruta	Ton/ día	Producción real por día
f) Producción Primera Calidad	Ton/ día	Producción de primera calidad por día

Fuente. Elaboración propia a partir de reporte mensual de producción de la empresa de estudio.

Con estos datos se realizó el tratamiento estadístico, determinando el tipo de proceso, evaluando el comportamiento y determinado la capacidad mensual de proceso y el rendimiento total acumulado, al finalizar el análisis se presentan los datos para validar la hipótesis.



## **5 MÉTODO DEL CÁLCULO DEL IMPACTO DE LA INNOVACIÓN EN LA PRODUCTIVIDAD**

En este capítulo se define la secuencia de los métodos de cálculo de la capacidad, rendimiento y comportamiento de la empresa, se utilizan métodos de control estadístico de proceso, metodología seis sigma y el cálculo del rendimiento total acumulado sustentado en los procesos de manufactura esbelta, las tres herramientas miden la eficacia de los procesos y se relacionan con parámetros establecidos en las industrias de manufactura, la empresa del caso de estudio, que actualmente está en el proceso de integración a su operación de dos métodos: la manufactura esbelta y la metodología seis sigma, el uso de ambas se denomina lean seis sigma.

### **5.1. Cálculo de la capacidad de proceso**

El rendimiento es la capacidad de una organización para utilizar los recursos sólo en lo que la organización debe lograr, en este caso, cumplir los requerimientos de calidad de los procesos y productos para satisfacer al cliente, todos los procesos tienen resultados y variabilidad, el indicador fundamental de la operación es el rendimiento, que evalúa la relación entre las entradas y salidas del proceso, es la capacidad del proceso que se determina en base a los defectos y a las características de la curva de operación, que a su vez depende de la media y la desviación estándar de los datos del proceso.

La capacidad de proceso es el número de veces que cabe la desviación estándar en el intervalo de tolerancia y es inversamente proporcional al número de defectos y a la desviación estándar (Harry, 1994).

En la Tabla 5.1 se muestran las formulas básicas de cálculo de capacidad para proceso centrado y para proceso no centrado, en base al procedimiento de control estadístico de proceso, así como las formulas equivalentes para determinar la capacidad de proceso en términos de sigmas (desviación estándar).

Tabla 5.1

*Formulas equivalentes para cálculo de capacidad de proceso*

<i>Para proceso centrado <math>t = \mu</math></i>	<i>Donde:</i>
$Cp = \frac{lse - lie}{\mp 3\sigma}$	<i>Cp = Capacidad de Proceso Centrado</i>
<i>Proceso no centarado cuando <math>t \neq \mu</math></i>	<i>t = Objetivo de producción</i>
$Cpk = cp(1 - k)$	<i><math>\mu</math> = Media o promedio de los valores</i>
$k = \frac{2  t - \mu }{lse - lie}$	<i>lse = Límite superior de especificación</i>
<i>Capacidad de proceso, método seis sigma</i>	<i>lie = Límite inferior de especificación</i>
$Zst = \frac{lse - lie}{\pm 6\sigma}$	<i><math>\sigma</math> = Desviación estandar del proceso</i>
$Zlt = Zst - 1.5$	<i>Cpk = Capacidad de proceso No centrado</i>
$Zst = 3 Cp$	<i>k = Factor de corrección por descentrado</i>
	<i>Zst = Capacidad a corto plazo</i>
	<i>Zlt = Capacidad a largo plazo</i>

Fuente: Elaboración propia con base a Harry (1994).

La capacidad del proceso se conoce con varios términos: para seis sigma como Z, para control estadístico de proceso como Cp o Cpk, donde el valor equivalente de capacidad de proceso para una operación que acepta 3.4 Dpmo, es Z = 6 (seis sigma) y en control estadístico de proceso es Cp= 2.

Gráficamente la capacidad de proceso se representa en dos formas: como proceso centrado o proceso no centrado, para estas condiciones se identifican con dos variables:

Cp para proceso centrado, es cuando la media corresponde con el objetivo, o Cpk para proceso no centrado cuando la media no corresponde con el objetivo (Harry, 1994).

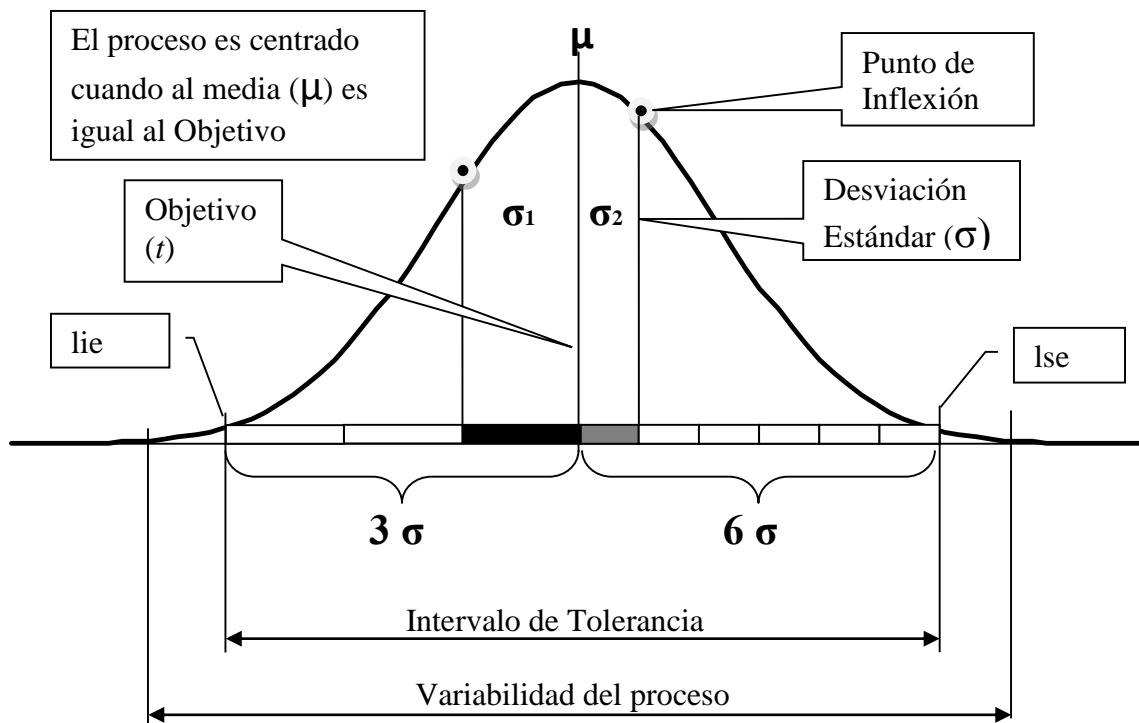
Para los casos donde el proceso no es centrado, se considera el valor de capacidad evaluando ambos lados de la curva, por convención empresarial sólo se considera el valor menor y se le denomina Cpk, representa una menor capacidad de proceso, esta evaluación se toma como referencia para saber el desperdicio por no tener un proceso centrado, como método de mejora el primer paso es; centrar el proceso, esto incrementa la capacidad, después se busca reducir la variabilidad y optimizar las tolerancias (Gutiérrez y De la Vara, 2004).

En seis sigma hay dos consideraciones adicionales para definir la capacidad: capacidad a largo y a corto plazo, la capacidad a largo plazo es cuando se consideran todas las causas de variación, inclusive las que no son atribuibles al proceso y afectan la capacidad promedio, la capacidad a corto plazo sólo considera variaciones asociadas al proceso y generalmente es lo mejor que un proceso puede estar.

Cuando la variabilidad del proceso disminuye, la desviación estándar se reduce y la capacidad aumenta, como consecuencia la probabilidad de desperdicio se reduce. El cálculo de la capacidad de proceso se puede hacer de dos formas: con datos discretos para el rendimiento o con datos continuos para el comportamiento. Al analizar los resultados como datos discretos, sólo se toma el desperdicio o Dpmo, que es la porción de la curva que esta fuera de especificación y representa los productos que no cumplen con los requerimientos. En la Figura 5.1 se muestra la curva normal que describe un proceso, en el lado derecho se muestra una capacidad seis sigma y en el lado izquierdo una capacidad tres sigmas, la diferencia está en la amplitud de la desviación estándar.

Esta curva se basa en datos normales, donde el centro de la curva es la media. Los datos estadísticos y las tablas tradicionales de probabilidad de un evento describen sólo procesos normales, es por esto la importancia de verificar que los datos de proceso sean estadísticamente normales (Gutiérrez y De la Vara, 2004).

Figura 5.1. Curva característica de operación de un proceso centrado



Fuente: Elaboración propia con base a Harry (1994).

Al analizar los resultados como datos continuos, se analizan desde el punto de vista estadístico en base a la media y desviación estándar, con este análisis se evalúa el comportamiento y las tendencias.

Analizar los datos como continuos permite definir los problemas de calidad con dos visiones: proceso disperso o proceso no centrado, los procesos dispersos normalmente son

de baja capacidad debido a la gran variabilidad, los procesos no centrados podrían ser de buena capacidad, pero fuera de objetivo, estos procesos normalmente deben su descentrado a problemas de ajuste de las variables independientes, también llamadas entradas del proceso (Harry, 1994).

Respecto a la eficacia de calidad, es importante mencionar, que las empresas definen la calidad en términos probabilísticos, utilizando herramientas como control estadístico de proceso y metodologías de mejora, tal es el caso de seis sigma y lean seis sigma, como métodos para medir la calidad de los productos en términos de rendimiento y desperdicio (Dpmo). Otros elementos de comparación en las industrias es la relación entre la medición de los parámetros en términos de seis sigma en capacidad a corto y largo plazo ( $Z_{st}$  y  $Z_{lt}$ ) o contra la capacidad del proceso en términos de control estadístico de proceso ( $C_p$  o  $C_{pk}$ ).

El control estadístico es un método de cálculo asociado a la calidad de un proceso y en base a la media y desviación estándar define los límites de control como base para calcular una capacidad potencial de un proceso, sin considerar los requerimientos del cliente, el método seis sigma es una metodología que propone métodos para la solución de problemas de datos, de proceso y de mejora.

Ambos métodos definen la capacidad en función de la desviación estándar y su relación con los límites, solo que la metodología seis sigma se basa en los requerimientos del cliente para determinar su capacidad de proceso.

Para ilustrar el caso, se muestra la Tabla 5.2 donde se definen los rendimientos estimados para cada tipo de empresa.

Tabla 5.2

*Equivalencias entre seis sigma y capacidad de proceso*

Equivalencias entre seis sigma y capacidad de proceso					
	<b>Cp (Cpk)</b>	<b>Yield %</b>	<b>Dpmo</b>	<b>Zst</b>	<b>Zlt</b>
Empresa de clase mundial	2	99.99966	3.4	6	4.5
	1.7	99.984	159	5.1	3.6
	1.6	99.95	483	4.8	3.3
	1.5	99.87	1,350	4.5	3
Empresa clase 1	1.4	99.65	3,467	4.2	2.7
	1.3	99.2	8,197	3.9	2.4
	1	93.3	66,807	3	1.5
Empresa clase 2	0.73	75.8	241,967	2.2	0.7
	0.5	50	500,000	1.5	0
	0.3	27.4	725,747	0.9	-0.6

Donde: Cp (Cpk): Capacidad de proceso, Dpmo: defectos por millón de oportunidades.  
 Zst: Capacidad a corto plazo, Zlt: Capacidad a largo plazo, Yield: Rendimiento.  
 El cual también se conoce como eficacia de calidad, es la relación porcentual de las piezas correctas versus producción total.

Fuente: Elaboración propia en base a Eckes (2004).

Como se puede observar en la Tabla 5.2 las empresas de clase mundial manejan niveles de rendimiento en calidad de más de 99.87 %.

**5.2. Cálculo del rendimiento**

En esta sección se definen las variables independientes y dependientes, que intervienen en el proceso de cálculo de la productividad la cual se manifiesta mediante el rendimiento de los resultados de un proceso de manufactura, el cual se enfoca a determinar las variables de interés que son: disponibilidad, eficacia de proceso y eficacia de calidad (Vorne Industries, 2008).

### ***5.2.1. Variables Independientes (X: Entradas)***

Para desarrollar la metodología de cálculo en base a los procesos productivos de la empresa de estudio y asegurar su aplicación, son necesarios los datos de entrada, sus unidades y frecuencia de reporte, los cuales se determinaron en base a la operación y se describen a continuación:

1. Organización del tiempo productivo: tiempo productivo total, tiempo de ciclo, capacidad de producción ideal.
2. Características de la infraestructura de maquinaria, equipo e infraestructura de manufactura: datos de placa (capacidad de producción ideal individual por elemento de producción), promedio de uso de capacidad, y tiempo de medio de producción entre mantenimiento.
3. Disponibilidad de la maquinaria y equipo: Tiempo promedio de mantenimiento anual, tiempo promedio de paros por ajustes de máquina, cambio de modelo o de medios de producción.
4. Pérdida de velocidad del proceso: Balanceo de línea, utilización de los recursos de manufactura, ritmo de producción.
5. Problemas de Calidad de producto: Piezas fabricadas, precisión de procesos.

### ***5.2.2. Variables Dependientes: (Y: Salidas)***

Resultado del análisis entre las interacciones de las variables independientes del proceso de manufactura se pueden clasificar en las siguientes, las cuales se presentan como datos numéricos generalmente en valores porcentuales: 1) Eficiencia de disponibilidad, 2) Eficacia del proceso productivo y 3) Eficacia de calidad de producto.

### **5.2.3. Tack time**

La variable más importante es el Takt time, que significa tiempo de ritmo, lo especifica el cliente en base a su demanda por día, el cual toman las empresas para determinar su cadencias o ritmos de trabajo en base a su capacidad instalada y así establecer el ritmo producción o de manufactura (Socconini, 2004).

Para el caso de estudio el cliente solicita 260 ton por día, y solo para establecer un parámetro de interpretación, esto significa 3 kg de producto de primera calidad por segundo por 24 horas, en caso de falla cada minuto deja de fabricar 180 kg, otro parámetro, imagine que descuida la calidad de la producción si su línea de producción funciona mal una hora, significa que tiene un desperdicio de 10.4 toneladas de fibra.

El tiempo de ritmo (takt time) articula las variables de manufactura ya que en base a éste se hacen los programas de producción y la planeación de antenimiento, las listas de refacciones criticas, los criterios de aceptación de productos, o sea detona la estrategia total de manufactura, la compra de materiales, la logística de entrega y ocasionalmente la necesidad de nuevos recursos y tecnologías (Socconini, 2004).

En el caso de los sistemas de manufactura, la forma de obtener un indicador global de comportamiento es por la interacción de las variables asociadas a los procesos productivos, por ejemplo, disponibilidad de los equipos, datos de tiempos de paro por falla o acciones de mantenimiento, tiempos de producción, métodos de inspección, materiales, herramientas, procesos, máquinas, mantenimiento, métodos de producción como variables necesarias para el cálculo del rendimiento total acumulado. El Takt time se define en base a los requerimientos del cliente es el indicador de desempeño del área de producción, incluso se utiliza como referencia para un proceso de mejora continua.



### **5.3. Datos para el cálculo del rendimiento total acumulado**

Para determinar la capacidad y el impacto de la innovación en la productividad, es necesario definir la relación entre la innovación en tecnología y el rendimiento productivo que se determina mediante el rendimiento total acumulado (RTA) así como las causas comunes y especiales que infieren en los resultados y en el comportamiento.

Los datos necesarios para determinar con precisión el RTA son los elementos de la manufactura que se obtienen de los procesos de producción, así como sus variables y unidades de medición.

Cabe la pena mencionar que los datos de entrada corresponden a la planeación de la producción que se deriva de los pedidos del cliente, los cuales se transforman en Tack Time o ritmos de producción, lo cual determina la capacidad inicial de surtir un pedido y satisfacer el cliente, posteriormente aparece la necesidad de la medición de los procesos en términos de tiempo, producción y calidad.

En la Tabla 5.3 se describen los elementos necesarios y los datos específicos para el cálculo del rendimiento total acumulado, éste se determina de manera porcentual y representa la eficacia del uso de los recursos y la calidad de los resultados.

Tabla 5.3

*Elementos para el cálculo del rendimiento total acumulado*

<b>Rendimiento Total Acumulado (RTA)</b>		
<b>1) Elementos</b>		
1.1) Tiempo		1.1.1)Tiempo disponible 1.1.2)Tiempo planeado de producción 1.1.3)Tiempo muerto de producción 1.1.4)Tiempo real de producción
1.2) Producción		1.2.1)Takt time 1.2.2)Tiempo de ciclo 1.2.3) Producción ideal de producción 1.2.4) Producción real de producción
1.3) Calidad		1.3.1) Producción planeada 1.3.2) Producción real 1.3.3) Piezas correctas producidas 1.3.4) Piezas erróneas de producción
1.4) Cálculo		1.4.1) Disponibilidad 1.4.2) Eficacia de producción 1.4.5) Eficacia de calidad
<b>2) Disponibilidad</b>		
2.1) Fallas de máquinas		2.1.1) Tiempo de Mtto. planeado 2.1.2) Tiempo de Mtto. planeado 2.1.3) Fallas en herramientas
2.2) Ajuste de máquinas		2.2.1) Ajuste de maquinas 2.2.2) Cambio de modelo 2.2.3) Pruebas de funcionalidad 2.2.4) Pruebas piloto
<b>3) Eficacia de Producción</b>		
3.1) Micro paros		3.1.1) Falta de materiales 3.1.2) Falta de herramientas 3.1.3) Verificación de ajustes
3.2) Perdida de velocidad de producir		3.2.1) Producción a baja velocidad 3.2.2) Sub uso de infraestructura 3.2.3) Reajuste de proceso.
<b>4) Eficacia de Calidad</b>		
4.1) Desperdicio en pruebas		4.1.1) Desperdicio 4.1.2) Retrabajos 4.1.3) Defectos no críticos
4.2) Desperdicio en producción		4.2.1) Desperdicio 4.2.2) Retrabajos 4.2.3) Defectos no críticos
<b>5) Formula =% Disponibilidad*% eficacia de Producción*% eficacia de calidad</b>		

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla 5.3, aunque solo son tres variables esenciales: disponibilidad de equipo, eficacia de los proceso de producción y eficacia de calidad, es necesario el control de muchas variables relacionadas.

#### **5.4. Interpretación de datos de capacidad y rendimiento**

Para participar en mercados globales las empresas de manufactura deben ser eficaces en cada variable de manufactura (disponibilidad, proceso y calidad) de esto depende su habilidad para satisfacer los requisitos del cliente en calidad, volumen y oportunidad. Para competir es necesario el conocimiento y uso de la innovación para incrementar la productividad.

En la actualidad el enfoque empresarial ha cambiado, los directivos saben que el enfoque financiero es la variable dependiente más importante, pero los resultados se obtienen por el manejo adecuado de las variables independientes de manufactura que básicamente son los insumos y procesos. Para las empresas de manufactura, las variables dependientes (resultados) de mayor importancia son los indicadores de eficacia en la productividad de servicios o productos, tiempos de proceso y desarrollo de conocimiento del personal (Sawang, 2009).

Respecto al desarrollo de innovación tecnológica (Swamidass, 2003) menciona que las empresas pequeñas son más innovadoras, pero hay que reconocer que estas innovaciones aparecen en procesos simples; a medida que la empresa crece adquiere otro tipo de necesidades en ambientes y entornos complejos, lo cual dificulta mantener la capacidad de innovación.

Respecto a la adopción de la tecnología, en empresas de manufactura el resultado de la comparación entre las empresas pequeñas y grandes depende de algunas consideraciones, a continuación se menciona algunos factores que limitan el desarrollo de la innovación tecnológica en pequeñas y medianas empresas.

1. El tiempo de recuperación de la inversión es largo en las empresas pequeñas.
2. Respecto al uso de tecnologías modernas de manufactura, las empresas grandes utilizan nueve en promedio, mientras que las empresas micro y pequeñas solo utilizan cinco.
3. La adaptación del uso de computadoras y sistemas es más rápido en las empresas micros y pequeñas.

Los empresarios de la micro y pequeña industria carecen de una visión sistémica de la importancia de su infraestructura, ya que básicamente inician con pocos recursos y con la idea de permanecer, desconocen la importancia de los elementos de manufactura, de la importancia de la creación de conocimientos, de métodos y herramientas propias de mejora, sin saber que las empresas de clase mundial, grandes, globales y competitivas cuidan, desarrollan los recursos y llevan indicadores de comportamiento que les permiten mejorar constantemente.

A continuación se describen las variables de manufactura, sus indicadores y los valores para empresas de clase mundial y empresas promedio.

En la Tabla 5.4 se muestra la interpretación de los parámetros de empresas, en base a su rendimiento total acumulado y su interpretación en términos de capacidad, Dpmo y su relación con la disponibilidad de los equipos, eficacia de producción y eficacia de calidad. También podemos observar, los comportamientos de las siguientes variables que sirven de parámetro para saber el comportamiento de un proceso en términos de: capacidad de proceso, eficiencia global y desperdicio global.

Tabla 5.4

*Productividad en la manufactura*

Productividad en la manufactura			
Eficacia global de los procesos = (% de disponibilidad*% de eficacia de proceso*% eficacia de calidad)			
Factor de la manufactura	Causas	Clase Mundial	Promedio
Disponibilidad	Mantenimiento	90 %	80 %
	Ajustes		
Eficacia de Proceso	Herramientas	95%	85%
	Materiales		
Eficacia de Calidad	Pruebas	99.9 %	93.3 %
	Desperdicio	1000 Dpmo	66,700 Dpmo
Capacidad de proceso ( Cp )		1.52	1
Capacidad de proceso ( Zst )		4.56	3
Rendimiento total acumulado		85 % mínimo	64%
Desperdicio global de los procesos		15 % máximo	36 %
Dpmo: Defectos por millón de oportunidades		Cp y Zst: Capacidad de proceso	

Fuente: Elaboración propia en base a Eckes (2001) y Vorne Industries (2008).

Como se puede observar las empresas promedio aún siguen con el paradigma del control estadístico y se conforman con una rendimiento total acumulado de 64 % lo cual contrasta con las empresa de clase mundial donde su rendimiento total acumulado es de 85 % o más.

La eficacia de calidad es la relación de las piezas defectuosas respecto al total de piezas fabricadas, otro factor importante, es la disponibilidad de equipo, tradicionalmente las empresas de manufactura promedio consideran correcto utilizar para mantenimiento el 20 % del tiempo total e incluye el tiempo de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo, lo cual resta capacidad de uso de la infraestructura.

Las impresas de clase mundial consideran máximo el 10 % del tiempo para las mismas aplicaciones, con el tiempo los equipos se degradan y requieren mayor mantenimiento

como parte del desgaste de la maquinaria y equipo, sin embargo es necesario delimitar el tiempo máximo disponible para mantenimiento.

Las empresas promedio consideran correcto un desperdicio de capacidad de producción del 10 %, lo cual se debe básicamente a la falta de herramientas, materiales, técnicas de manufactura, falta de capacitación del personal o al uso inadecuado de la capacidad del equipo productivo, en éste rubro se tiene menor diferencia con las empresas de clase mundial las cuales establecen un límite máximo de 5 %.

Hoy las empresas de manufactura utilizan herramientas como parte de los sistemas para incidir en las variables del control y en la eficacia de los procesos de manufactura, es el caso de la confiabilidad de maquinaria y equipo a través de las técnicas de mantenimiento predictivo total, control de la variabilidad por medio de control estadístico, capacidad de proceso por medio de la metodología seis sigma y sus procesos de solución de problemas de proceso, datos y de mejora.

Los procesos de ingeniería industrial, con su diseño de método de fabricación y herramientas para asegurar la continuidad de la operación y el uso óptimo de la infraestructura de manufactura. Los sistemas de gestión de calidad que buscan mantener y mejorar la calidad de los procesos mediante procedimientos, registros, indicadores y procesos de auditoría y certificaciones, control del desperdicio por medio de los procesos esbeltos y el análisis de valor.

En la Tabla 5.5 se muestra el enfoque, sistema, variable de control, sus interacciones y su relación con los elementos de manufactura, así como de las principales herramientas y conceptos para asegurar la continuidad de la operación, por medio de la disponibilidad, calidad y eficacia del proceso de manufactura.

Tabla 5.5

*Principales sistemas de ayuda a la manufactura, enfoque y variable de control*

Elementos de la manufactura	Herramientas y conceptos		
	Enfoque	Sistema	Variable de control
Disponibilidad	Maquinaria y equipo	Total Quality Maintenance	Confiabilidad del equipo
	Optimización de los procesos	Lean manufacturing	Variabilidad del producto
Eficacia de proceso	Calidad de Proceso	ISO 9000	Variabilidad del proceso
	Comportamiento del proceso	Control estadístico de proceso	Capacidad de proceso
Calidad de Producto	Productos	Seis sigma	Desperdicio
	Productos	Lean Seis sigma	Cadena de valor

Fuente: Elaboración propia.

### 5.5. Parámetros de comparación

El rendimiento total acumulado es comúnmente utilizado en empresas transnacionales sobre todo aquellas de grandes volúmenes de producción. Los datos de la operación se utilizan para medir la productividad como base de mejora de los elementos de la producción, para incrementar sus rendimientos y su objetivo es necesario medir el comportamiento y clasificar a las empresas en base a su rendimiento total acumulado.

En la Tabla 5.6 se definen los rendimientos estimados en base a la disponibilidad, eficacia de proceso y de calidad, para cada tipo de empresa (Vorne Industries, 2008).

Tabla 5.6

*Parámetros de Comparación de las empresas de manufactura*

Concepto	Clase mundial	Clase 1	Clase 2
Disponibilidad	90 %	85 %	80 %
Eficacia de Proceso	95 %	90 %	85 %
Eficacia de Calidad	99 %	95 %	90 %
<b>Rendimiento Total Acumulado</b>	<b>85 %</b>	<b>72 %</b>	<b>61 %</b>
Desperdicio Acumulado	15 %	28 %	39 %

Fuente: Elaboración propia en base Fast Guide To OEE, Vorne Industries (2008).

## **5.6. Medición**

Hoy en día es común en la industria la evaluación del comportamiento de los procesos mediante la medición y los indicadores clave de comportamiento (Kpi), así como la evaluación del impacto de estos en la estrategia, según lo recomendado en base al BSC (Balanced scorecard). El objetivo del BSC es integrar la operación de las áreas de la empresa a través de cuatro perspectivas; Financiera, Clientes, Procesos, Innovación y aprendizaje, este se enfoca en la relación causa y efecto entre los indicadores y la estrategia de la empresa, es muy importante traducir la estrategia en objetivos medibles a través de indicadores ligados a los planes estratégicos y al comportamiento de la organización (Norton y Kaplan, 1999).

Así es como nace la idea de modelar el efecto de la innovación en los procesos. Sin embargo, es necesario definir la contraparte de lo técnico y lo financiero, algunas empresas anualmente invierten en maquinaria y equipo, lo que generalmente se interpreta como la innovación y actualización tecnológica, en busca de optimizar sus resultados. Para el desarrollo de la presente investigación, la medición se realizó con métodos estandarizados de la empresa, los cuales se basan en reportes diarios de producción que se realizan por líneas de producción y por turnos.

Para fines del presente estudio se dispone de los reportes ejecutivos de los meses de septiembre del 2013, enero y mayo del 2014, en base a los datos proporcionados por la empresa se realizó el proceso del cálculo del comportamiento del proceso productivo con enfoque en la capacidad del proceso y del rendimiento total acumulado, el proceso de cálculo y resultados se muestran en el capítulo 6, y el análisis de resultados en el capítulo 7 del presente trabajo.



### **5.7. Elementos de entrada para el cálculo del rendimiento total acumulado**

Para el cálculo del rendimiento total acumulado de una empresa de manufactura es necesario interpretar las variables y sus unidades de medición (Vorne Industries, 2008).

La producción estimada por día es de 260 toneladas, lo que equivale 10.8 toneladas por hora, el proceso cuenta con dos líneas de producción, es decir una producción estimada por hora de 5.4 toneladas por hora, lo que significa un tak time de 900 kg/minuto de producción de primera calidad por minuto.

Para el caso de estudio, la empresa opera un proceso químico donde la velocidad y continuidad de operación aseguran la calidad del producto y sus propiedades, un paro o falla por cualquier motivo, detendría toda la línea y generaría un desperdicio mayor, ya que la producción estimada por línea es 5.4 toneladas por hora, para evitar esto la empresa cuenta con procesos y componentes redundantes de cambio rápido, lo que asegura la continuidad operativa mediante la disponibilidad permanente de la infraestructura y del equipo de la línea de producción y así asegurar la operación, aun así la empresa presenta variabilidad en los resultados y en las cadencias de producción.

En la Tabla 5.7 se presentan los datos necesarios de operación y sus unidades para determinar cuantitativamente las principales variables de entrada para el cálculo del rendimiento de un proceso de manufactura.

Tabla 5.7

*Datos de operación para el cálculo del rendimiento total acumulado*

Organización de la producción	Datos de Entrada	
	Número de turnos	Unidades
	Duración del turno	Minutos
	Descansos planeados	Minutos
	Tiempo de comida	Minutos
	Fallas	Minutos
	Ritmo de producción	Piezas por turno
	Total de piezas fabricadas	Unidades
	Total de piezas rechazadas	Unidades
Variables de salida		
Eficacia de calidad	Tiempo de ciclo	Min por pieza
	Cadencia de producción ideal	Piezas por min
	Cadencia de producción real	Piezas por min
	Piezas fabricadas	Unidades
	Piezas correctas	Piezas
	Retraso por producción	Piezas
	Piezas rechazadas	Piezas
	Retraso de producción (pull)	Faltantes
Resultado	Disponibilidad	%
	Eficacia de proceso	%
	Eficacia de calidad	%
	Rendimiento Total Acumulado	%

Fuente: Elaboración propia.

### 5.8. Análisis del comportamiento

En la Tabla 5.8 se muestra los resultados del análisis del comportamiento, que a través de la interacción de las variables dependientes e independientes genera los principales resultados relativos al rendimiento total acumulado, tiempos de producción, inventario de material necesario o disponible así como la cadencia de producción.

Tabla 5.8

*Descripción de las gráficas resultado del análisis del comportamiento*

Gráficas resultado del análisis del comportamiento		
Concepto	Definición	
<b>Gráfica 1: Tiempos de producción</b>		
1.1	Tiempo programado de producción	Maquinaria disponible para su uso
1.2	Tiempo programado de no producción	Maquinas en mantenimiento
1.3	Tiempo muerto de producción	Descomposturas y fallas
1.4	Tiempo disponible	Tiempo usable de las maquinas
1.5	Tiempo real de producción	Tiempo real de uso para producción
<b>Gráfica 3: Inventarios</b>		
2.1	Piezas fabricadas	Total de producción por turno
2.2	Piezas correctas	Total de piezas aceptadas
2.3	Piezas rechazadas	Total de piezas defectuosas
2.4	Retraso en producción	Piezas comprometidas no fabricadas
2.5	Retraso en producción (pull)	Retraso acumulado por fallas de producción
<b>Gráfica 3: Cadencias de producción</b>		
3.1	Cadencia real	Pieza planeada por hora
3.2	Cadencia ideal	Piezas reales fabricadas por hora
<b>Gráfica 4: Rendimiento total acumulado</b>		
4.1	Disponibilidad	Infraestructura de manufactura
4.2	Eficacia de producción	Uso de los recursos
4.3	Eficacia de calidad	Resultados del proceso
4.4	Rendimiento total acumulado	Interacción entre variables
<b>Gráfica 5: Diferencia con empresas de clase mundial</b>		
5.1	Disponibilidad	Diferencia infraestructura de manufactura
5.2	Eficacia de producción	Diferencia uso de los recursos
5.3	Eficacia de calidad	Diferencia resultados del proceso
5.4	Rendimiento total acumulado	Diferencia interacción entre variables

Fuente: Elaboración propia.

Es importante la comprensión de las variables dependientes e independientes de los elementos de manufactura y su interacción para conocer el comportamiento de los sistemas de manufactura.

### **5.9. Gráficas de comportamiento mes de septiembre**

Las gráficas que a continuación se muestran reflejan el estado de la planta en el mes de septiembre, antes del inicio del proceso de implementación de la metodología lean seis sigma y se presentan como ejemplo de validación del proceso de cálculo, interpretación y presentación de los resultados.

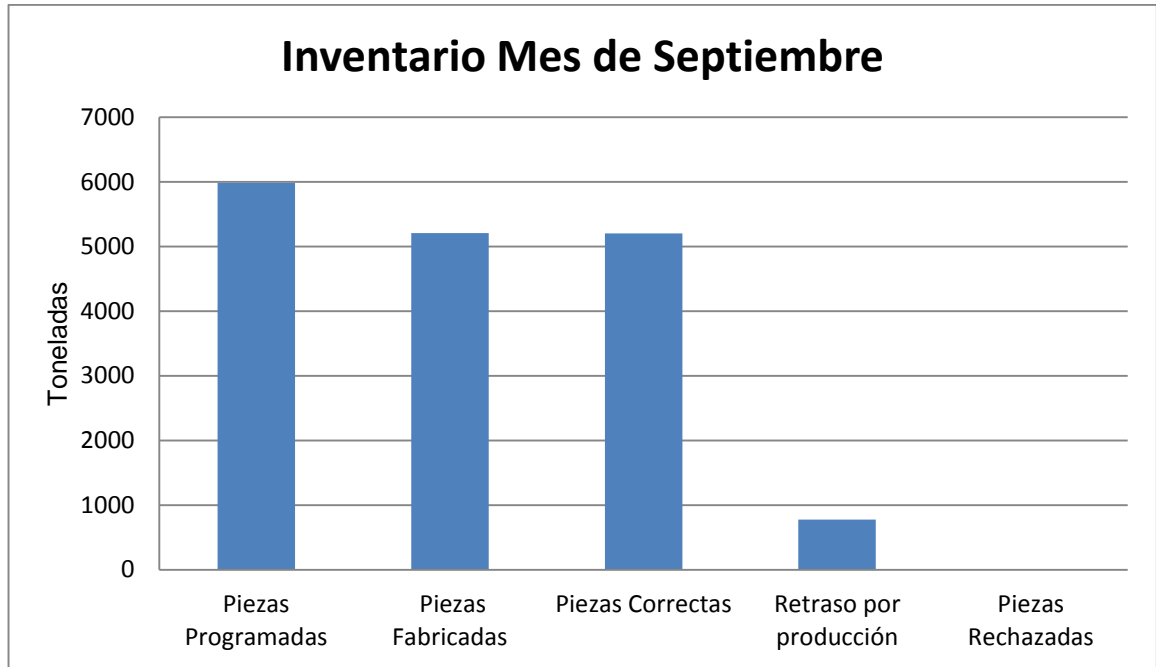
Las gráficas muestran los resultados de los cálculos obtenidos en base a los datos de la operación del mes de septiembre proporcionados por la empresa de estudio de los siguientes elementos: 1) Tiempos de Producción, 2) inventarios, 3) Cadencias de producción, 4) Rendimiento Total Acumulado y 5) Diferencias de rendimientos con empresas de clase mundial.

*Tiempos de producción:* para la empresa caso de estudio, como es una empresa de producción continua y automática lo cual requiere una disponibilidad permanente de la maquinaria de equipo, la empresa dispone de equipos redundantes y mecanismos de cambio rápido de herramientas y líneas de producción para asegurar una disponibilidad de la maquinaria y equipo, del 100%, por lo tanto en este caso no se presentan las gráficas ya que no mostraría diferencias.

*Inventarios:* en esta gráfica se puede observar el estado y la relación de la cantidad de productos entregables al cliente, la relación entre lo planeado, fabricado, lo correcto y lo rechazado, así como los retrasos en producción.

En la Figura 5.2 se muestran los resultados de inventario del mes de septiembre.

*Figura 5.2. Inventario mes de septiembre*



Fuente: Elaboración propia en base a cálculos con información proporcionada por la empresa (2013).

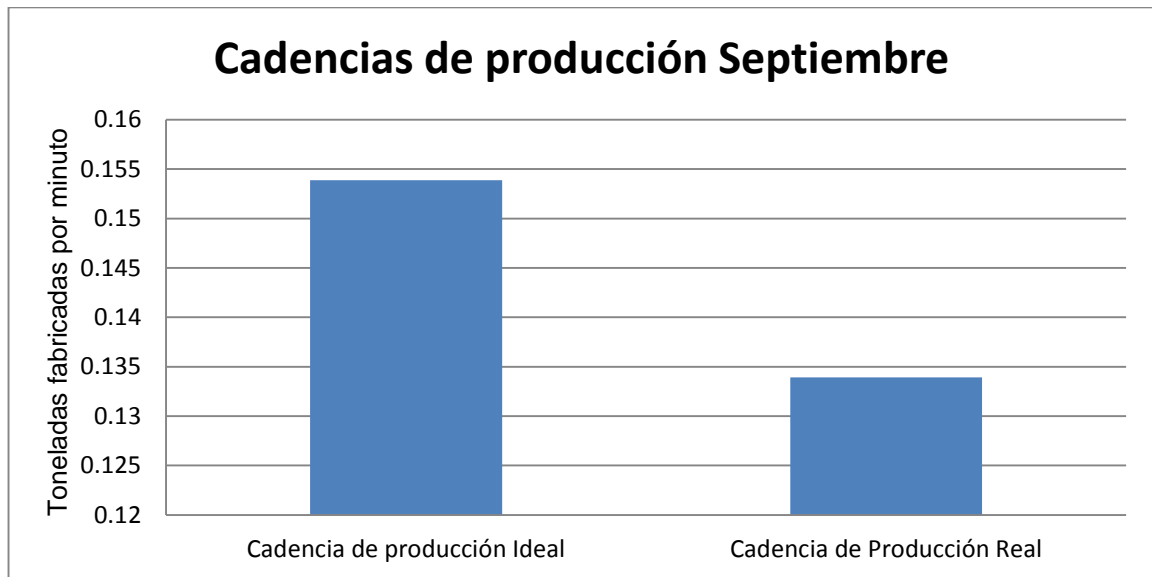
Lo que se puede observar es que la relación entre piezas fabricadas y piezas correctas es muy cercana, lo cual le permite a la empresa tener la capacidad de suministrar con precisión los requerimientos del cliente, sin embargo hay un retraso considerable entre la producción planeada y lo realmente fabricado que se puede apreciar como retraso en producción.

*Cadencias de producción:* Esta gráfica muestra los tiempos de ciclo ideal de lo fabricado contra el ciclo real de lo aceptado, también es una manera de medir el desperdicio en términos de tiempo perdido por unidad defectuosa.

El ciclo ideal se determina en base a la capacidad nominal de la máquina y normalmente en empresas de producción continua representa la capacidad instalada de producción.

En la Figura 5.3 se muestran los resultados de las cadencias de producción del mes de septiembre.

Figura 5.3. Cadencias de Producción septiembre



Fuente: Elaboración propia en base a cálculos con información proporcionada por la empresa (2013).

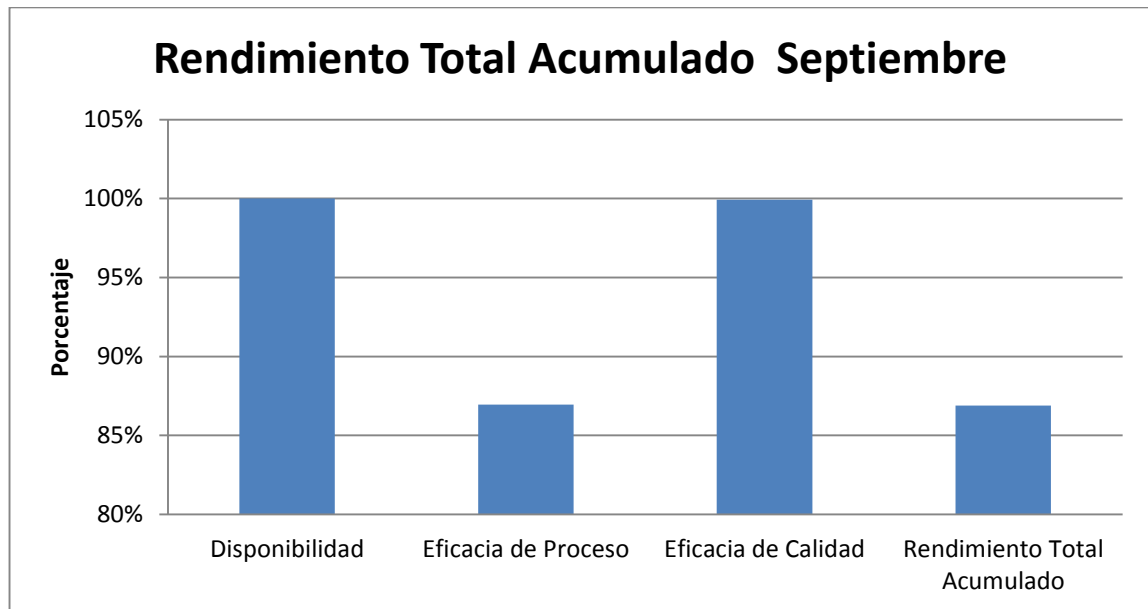
Como podemos observar hay una diferencia apreciable entre la cadencia ideal y la real, esto es debido a la diferencia entre la producción planeada y la producción real.

*Rendimiento Total Acumulado:* este es el efecto del uso de la infraestructura disponible, en términos de calidad de proceso y calidad de producto, la gráfica muestra el estado de los tres elementos.

El rendimiento total acumulado es la multiplicación porcentual de los elementos de la manufactura (contenidos en la gráfica).

En la Figura 5.4 se muestran los resultados del Rendimiento Total Acumulado del mes de septiembre

Figura 5.4. Rendimiento Total Acumulado septiembre



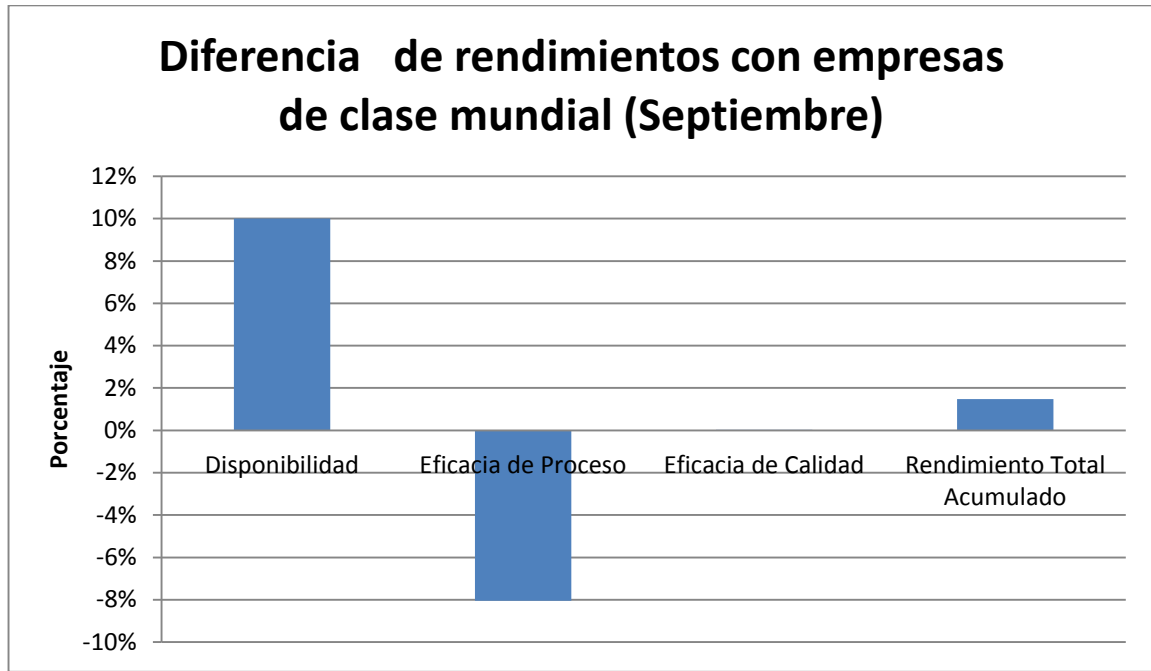
Fuente: Elaboración propia en base a cálculos con información proporcionada por la empresa (2013).

Como se observa, la empresa tiene un rendimiento total acumulado de clase mundial, mayor a 85%, sin embargo su eficacia de proceso es bajo, menor al 90 %, ya que produce menos de lo planeado, pero la relación entre el volumen fabricado contra el correcto es muy alta, mayor a 99 %.

*Diferencias de rendimientos con empresas de clase mundial:* Al saber los rendimientos es importante tener un parámetro de comparación, para el caso particular la empresa de estudio cuenta con disponibilidad del cien por ciento, sin embargo requiere mejoras en la

calidad de proceso y de producto. En la Figura 5.5 se muestran los resultados de las diferencias de rendimientos con empresas de clase mundial del mes de septiembre.

Figura 5.5. Diferencias de rendimientos con empresas de clase mundial (septiembre)



Fuente: Elaboración propia en base a cálculos con información proporcionada por la empresa (2013).

Como podemos observar la empresa tiene diferencias favorables en disponibilidad debido que es una empresa de producción continua, lo mismo sucede con la eficacia calidad, aunque el margen es muy pequeño, sin embargo en lo que corresponde a eficacia la empresa tiene un deficiencia aproximada del 8 % contra lo recomendado del 95%, no obstante esta diferencia; el rendimiento total acumulado es superior a lo mínimo recomendado (85 %) para ser considerada como empresa de clase mundial.



## **6. RESULTADOS**

### **6.1. Introducción**

El desarrollo de la presente investigación sin duda fue un reto que incluyo el análisis de información para determinar y comprender los siguientes elementos: las formas de innovación , estudio de la evolución de la manufactura, su impacto en la productividad, se revisó y estudio demasiada información, la cual genero un conocimiento específico y practico de las variables de los procesos de manufactura, los cuales se pueden analizar y clasificar por sus conceptos y su impacto en la eficiencia de la productividad, el presente trabajo se enfocó en la productividad, como se muestra en los capítulos anteriores, más allá de la innovación y de los métodos de manufactura lo que define la eficacia de un proceso de manufactura, son sus elementos, su operatividad, flexibilidad y la incidencia de estos en la productividad total, la cual se refleja en un concepto que involucra todas la variables de la manufactura y se conoce como rendimiento total acumulado.

Los datos en los que se basa la evaluación del proceso de manufactura corresponden a la Planta Pet de resinas, es un proceso continuo con dos etapas a) Producto amorfo, b) Producto terminado , que a su vez está compuesto por dos líneas de polimerización en fase sólida, aunque la planta tiene tres procesos de producción continua, en el presente trabajo, por acuerdo con la planta, solo se muestran los datos del proceso de menor volumen de producción, precisamente porque en éste proceso es donde se inició la implantación de la metodología lean seis sigma. El inicio de la estrategia de implantación coincidió con el paro programado por mantenimiento correspondiente a los 5 años, lo que presento la oportunidad para la aplicación de varias herramientas lean, sin embargo la estrategia se está aplicando a todos los procesos de la planta.

**6.2. Resumen de herramientas lean seis sigma utilizadas en la empresa**

Durante el proceso de intervención se obtuvieron datos de producción de tres meses de operación (septiembre del 2013, enero del 2014 y mayo del 2014) lo cual representa dos periodos de duración aproximada de 4 meses cada uno. En la tabla 6.1 se muestran las herramientas utilizada en cada uno de estos dos periodos.

Tabla 6.1

*Implantación de herramientas para mejorar el comportamiento operativo*

Estrategia Lean Seis Sigma					
Etapa 1 Cuatrimestre (Septiembre a Diciembre 2013)			Etapa 2 Cuatrimestre (Enero a Mayo 2014)		
Herramientas Lean			Herramientas lean seis sigma		
Desarrollo de proceso			Medición del proceso		
Enfoque en el rendimiento total acumulado			Enfoque en la capacidad de proceso		
<b>Disponibilidad</b>	Mantenimiento Productivo Total	Involucramiento del Empleado	Mantenimiento Productivo Total	<b>Desarrollo interno</b>	Trabajo en equipo
	Cambio rápido de modelo	Control Visual	Cambio rápido de modelo		Objetivos indicadores
<b>Eficacia de Proceso</b>	Producción por lotes	Involucramiento del Empleado	Logística de producción	<b>Optimización del proceso</b>	Control de la variabilidad
	A prueba de Error Humano	Manufactura celular	5 S's		Continuidad del procesos
<b>Eficacia en calidad</b>	Balanceo de líneas	Control Visual	Pull / Kanban	<b>Satisfacción del cliente</b>	Calidad del Producto
	Estandarización del trabajo	A prueba de Error Humano	Estandarización del trabajo		Oportunidad de procesos
<b>Análisis de valor</b>	<b>Tiempos y movimientos</b>	<b>Mapeo de valor</b>	<b>Manufactura basada en costos</b>	<b>Medición del valor</b>	<b>Calidad de procesos</b>

Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionados por el cliente.

La separación de la evaluación se realizó de manera cuatrimestral para determinar las tendencias, ya que en estos dos periodos se fortaleció el uso de las herramientas lean y se inició el proceso de implementación de la metodología lean seis sigma

### **6.3. Resumen de resultados**

En base a los reportes de producción entregados por la planta, que contienen información de los meses de septiembre, enero y mayo. La información contenida en los reportes obtenidos es: 1) Horas planeadas de producción, 2) Horas reales trabajadas, 3) Producción planeada, 4) Producción bruta, y 5) Producción de primera Calidad.

Mediante el trato estadístico se llegó al siguiente resumen de resultados en el cual se abordan cinco enfoques: 1) Planeación, 2) Resultados de planeación, 3) Desperdicio, 4) Comportamiento y 5) Capacidad de Proceso.

El análisis comprende dos etapas de la implementación de la metodología lean seis sigma, el objetivo de cada etapa se describe a continuación:

Etapa 1: Desarrollo y optimización del proceso mediante las herramientas lean, periodo que comprende de septiembre a diciembre

Etapa 2. Medición del proceso mediante la utilización de las herramientas lean seis sigma, periodo que comprende de enero a mayo.

En base al cálculo de resultados se presentan las gráficas que representan dos enfoques de los resultados del análisis del comportamiento:

1. Comportamiento en términos de capacidad de proceso que es el resultado que impacta al cliente
2. Comportamiento del rendimiento total acumulado que es la medida de la eficacia del uso interno de la infraestructura de manufactura.

En la tabla 6.2 se muestra los datos obtenidos a partir de la información proporcionada por la empresa, la cual contiene el análisis de los datos de producción de los meses de septiembre, enero y mayo. Las unidades de tiempos de producción son en horas/mes, a razón de 24 horas el día, que por su condición de operación continua, se asume disponibilidad permanente de la infraestructura de producción, la producción estimada es en toneladas por día y se presenta en toneladas por mes.

Tabla 6.2

*Resumen de comportamiento del mes de septiembre (2013), enero y mayo (2014)*

Elementos	Descripción	Resultados		
		Sept	Enero	Mayo
Planeación	Horas planeadas	552.000	672.000	672.000
	Horas reales trabajadas	552.000	672.000	672.000
	Producción planeada, ton	5983.680	6720.000	7330.000
Resultados planeación	Producción bruta, ton	5206.727	6744.188	7311.123
	Producción primera calidad, ton	5202.625	6738.786	7305.777
	Producción planeada por hora	10.840	10.000	10.908
	Producción bruta real por hora	9.432	10.036	10.880
	Producción primera calidad por hora	9.425	10.028	10.872
	Sobre producción	-776.953	24.188	-18.877
Desperdicio	Desperdicio, ton	4.168	5.411	5.346
	Inventario (Retraso en producción)	-781.121	18.777	-24.223
	Dpmo	8005.029	8023.205	7312.146
	% de desperdicio	0.130	-0.004	0.003
Comportamiento	Rendimiento en producción (global yield)	0.870	1.004	0.997
	First time yield (calidad a la primera)	0.999	0.999	0.999
	Productividad por hora (primera clase)	1.000	1.064	1.154
	St dv de la producción primera calidad	56.463	23.530	17.476
	Intervalo de tolerancia (toneladas)	440.409	183.534	139.455
Capacidad de Proceso.	Capacidad de proceso (CP), 3 sigmas	1.300	1.300	1.330
	Capacidad a corto plazo (Zst), 6 sigmas	3.900	3.900	3.990
	Capacidad a largo plazo (Zlt), 6 sigmas	2.400	2.400	2.490

Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionados por la empresa.

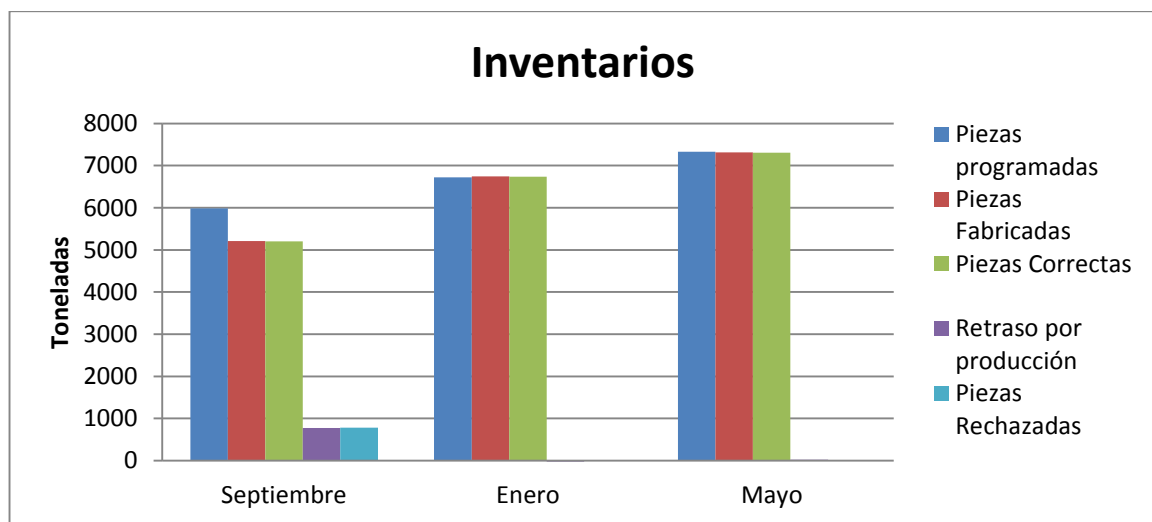
Los resultados de producción se proporcionan con los datos de la producción total por mes y la producción de primera calidad, en interesante el hecho de que a pesar de tener desperdicio sus rendimientos de producción de primera calidad son muy cercanos a la producción bruta lo que indica poco o nulo desperdicio.

#### 6.4. Resultados Específicos

##### 6.4.1. Comportamiento en términos de capacidad de proceso que es el resultado que impacta al cliente.

*Inventarios:* Ésta gráfica muestra la relación de la cantidad de los productos entregables al cliente y la relación entre lo planeado, lo fabricado, lo correcto y lo rechazado, así como los retrasos en producción. En la Figura 6.1 se muestran los resultados del inventario del mes de septiembre, enero y mayo

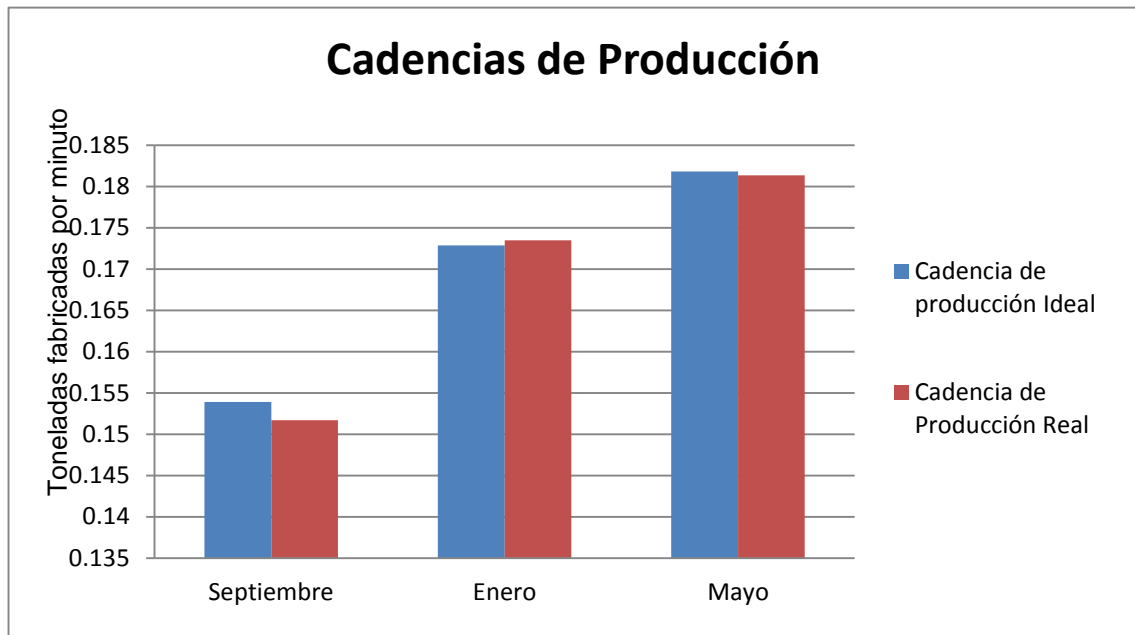
Figura 6.1. Inventarios



Fuente: Elaboración propia en base a los datos proporcionados por la empresa de estudio.

*Cadencias de producción:* Esta gráfica muestra los tiempos de ciclo ideal de lo fabricado contra el ciclo real de lo aceptado, también es una manera de medir el desperdicio en términos de tiempo perdido por unidad defectuosa. En la Figura 6.2 se muestran los resultados de las cadencias de producción de los meses de septiembre, enero y mayo.

Figura 6.2. Cadencias de producción

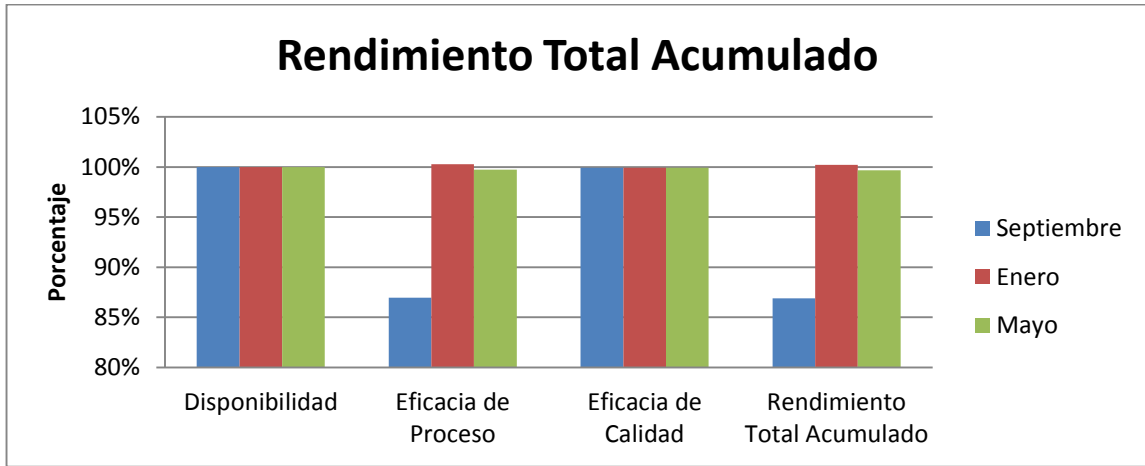


Fuente: Elaboración propia en base a los datos proporcionados por la empresa de estudio.

*Rendimiento Total Acumulado:* Es el efecto del uso de la infraestructura disponible, (disponibilidad, eficacia de proceso y eficacia de calidad) en términos de calidad de proceso y calidad de producto, muestra el estado de los tres elementos de la manufactura y el rendimiento total acumulado.

En la Figura 6.3 se muestran los resultados septiembre, enero y mayo.

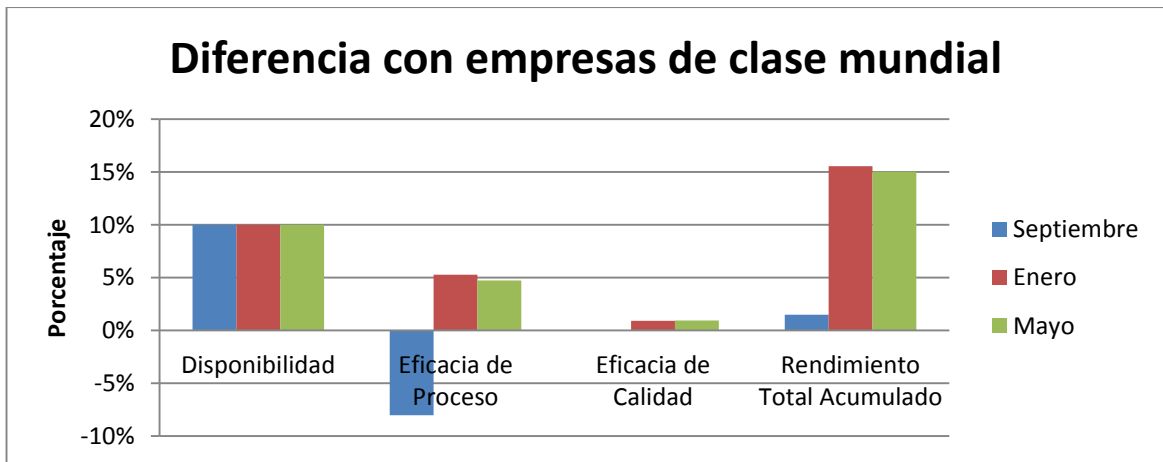
Figura 6.3. Rendimiento total acumulado



Fuente: Elaboración propia en base a los datos proporcionados por la empresa de estudio.

*Diferencias de rendimientos con empresas de clase mundial:* Al saber los rendimientos, se tiene parámetro de comparación, en la empresa de estudio la disponibilidad es del cien por ciento por ser empresa de producción continua, sin embargo requiere mejoras en el proceso, respecto a la calidad de producto sus márgenes son aceptables. En la Figura 6.4 se muestran las diferencias de rendimientos con empresas de clase mundial.

Figura 6.4. Diferencia con empresas de clase mundial

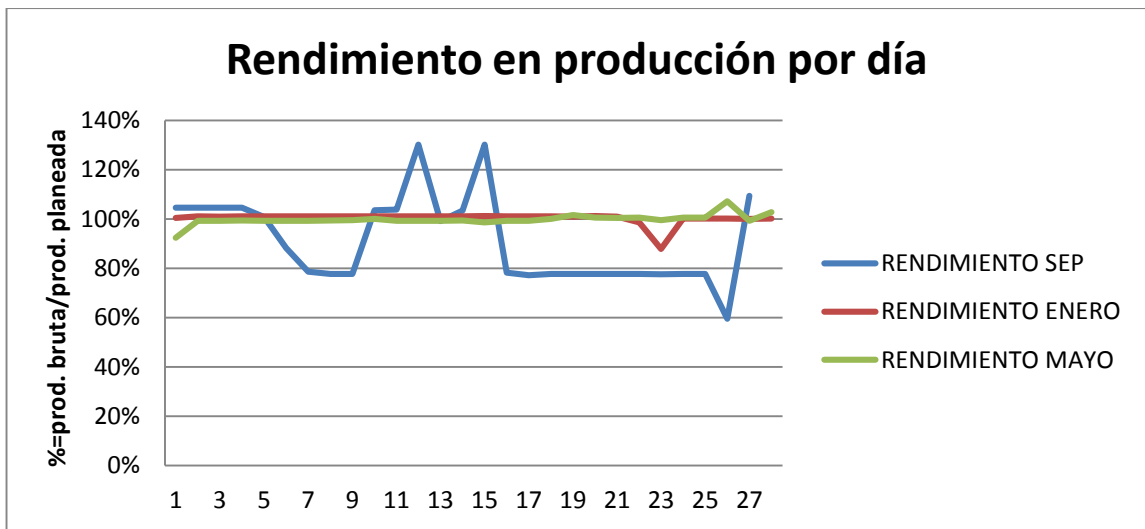


Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionados por la empresa de estudio.

**6.4.2. Comportamiento del rendimiento total acumulado que es la eficacia del uso interno de la infraestructura de manufactura**

*Rendimiento en producción:* La relación entre lo planeado y lo realizado, es una de las variables que define el comportamiento productivo de una empresa, el seguimiento continuo facilita la definición de mejoras oportunas que impactan en la calidad del proceso y del producto. En la Figura 6.5 se muestran los resultados del rendimiento en producción de los meses de septiembre, enero y mayo.

Figura 6.5. Rendimiento en producción por día.

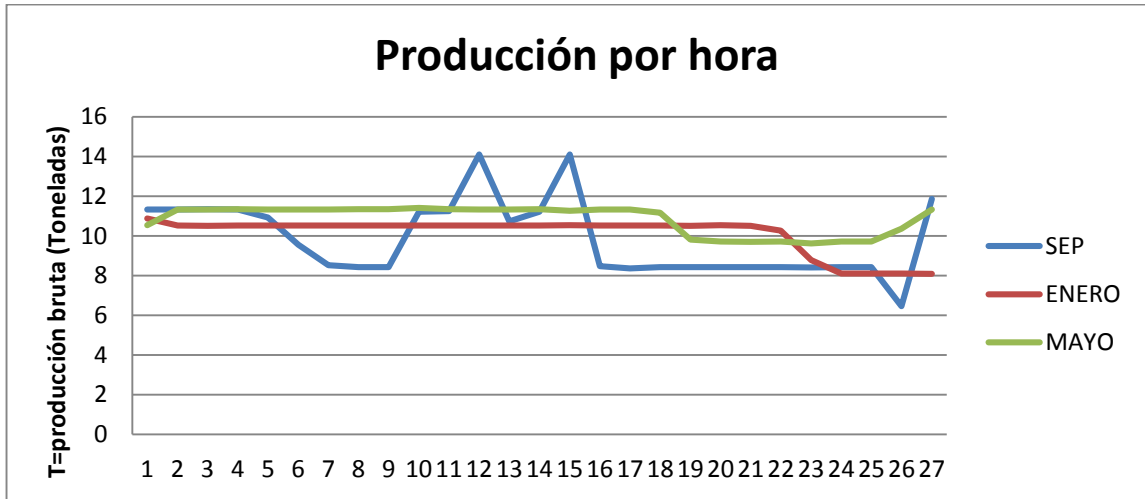


Fuente: Elaboración propia en base a los datos proporcionados por la empresa de estudio.

*Producción por hora:* La capacidad de producción es un indicador del uso adecuado de la infraestructura en base a los planes de producción, se requiere una medición continua para determinar las mejoras en la calidad del proceso y del producto. En la Figura 6.6 se muestra el comportamiento de la producción en los meses de septiembre, enero y mayo.



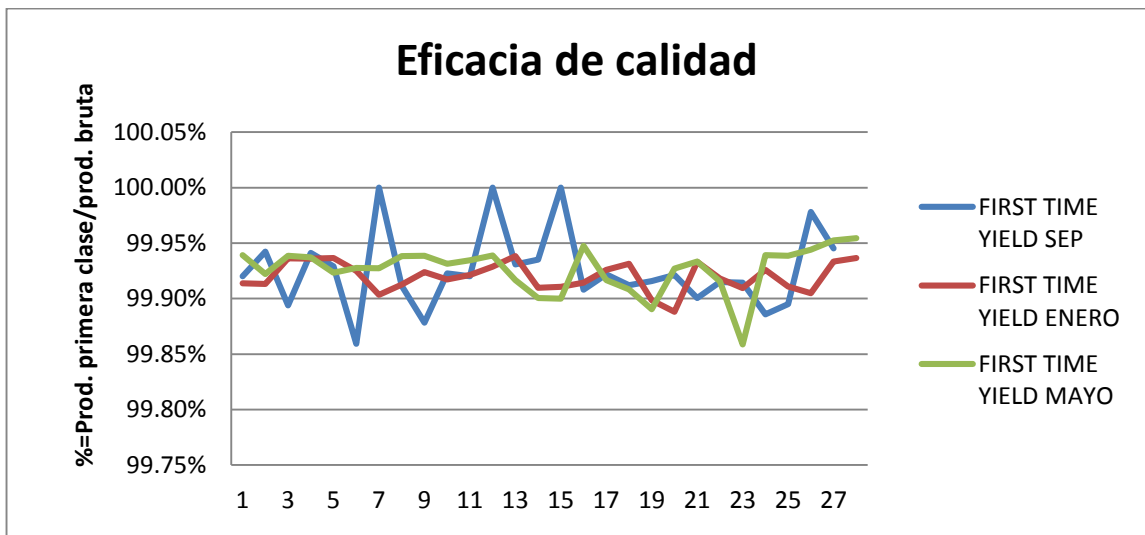
Figura 6.6. Producción por hora



Fuente: Elaboración propia en base a los datos proporcionados por la empresa de estudio.

*Eficacia de calidad:* Como una actividad de seguimiento, es necesario la medición continua del comportamiento de la eficacia de calidad, que es la relación entre el producto de primera calidad y la producción total. En la Figura 6.7 se muestra el comportamiento de la eficacia de calidad de los meses de septiembre, enero y mayo.

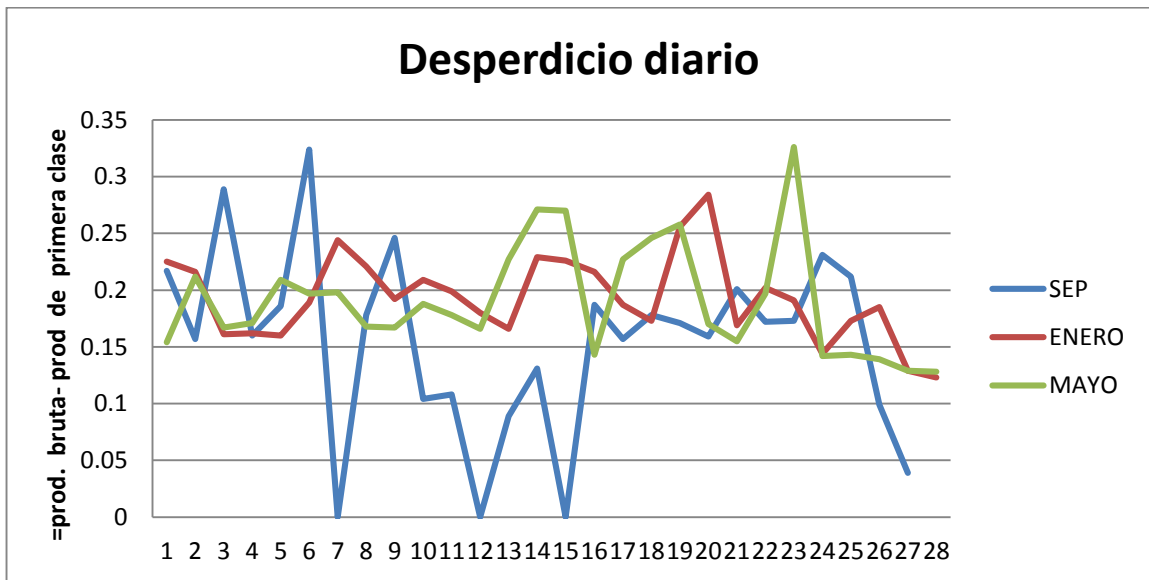
Figura 6.7. Eficacia de calidad



Fuente: Elaboración propia en base a los datos proporcionados por la empresa de estudio.

*Desperdicio diario:* Como una actividad de seguimiento, es necesario la medición continua del comportamiento del desperdicio, este con la intención de evitar la pérdida de control o la reacción inoportuna en caso de comportamientos con tendencia a la pérdida excesiva por desperdicio. En la Figura 6.8 se muestra el comportamiento del desperdicio diario en los meses de septiembre, enero y mayo.

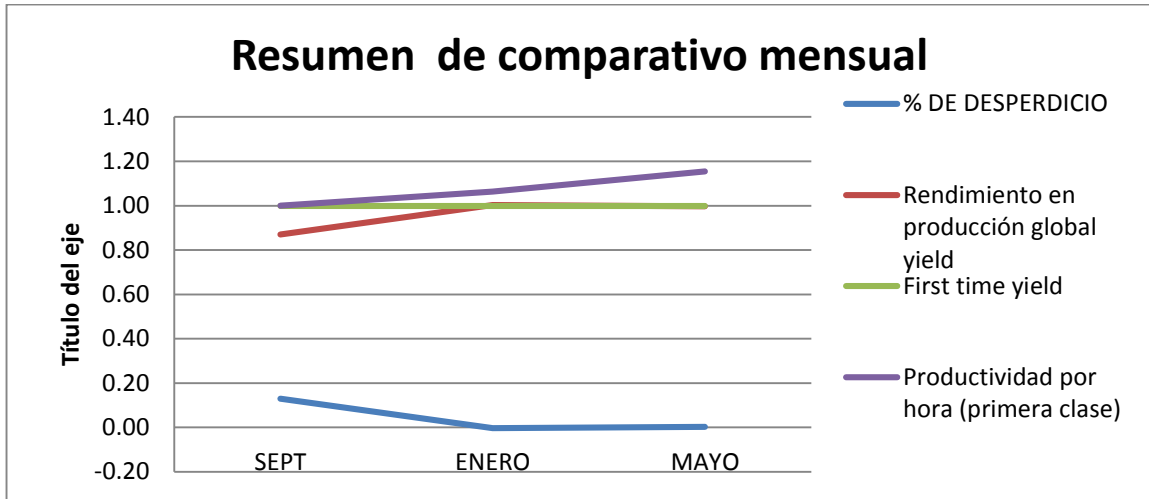
Figura 6.8. Desperdicio diario



Fuente: Elaboración propia en base a los datos proporcionados por la empresa de estudio.

*Resumen de comparativo mensual:* Para evaluar el comportamiento del proceso se consideran, el comportamiento del desperdicio, el rendimiento en producción global y la calidad de primera, así como los cambios en la eficiencia de producción, este resumen proporciona los cambios mensuales en el comportamiento en la calidad de proceso y de producto. En la Figura 6.9 se muestra el resumen del comparativo del comportamiento de los meses de septiembre, enero y mayo.

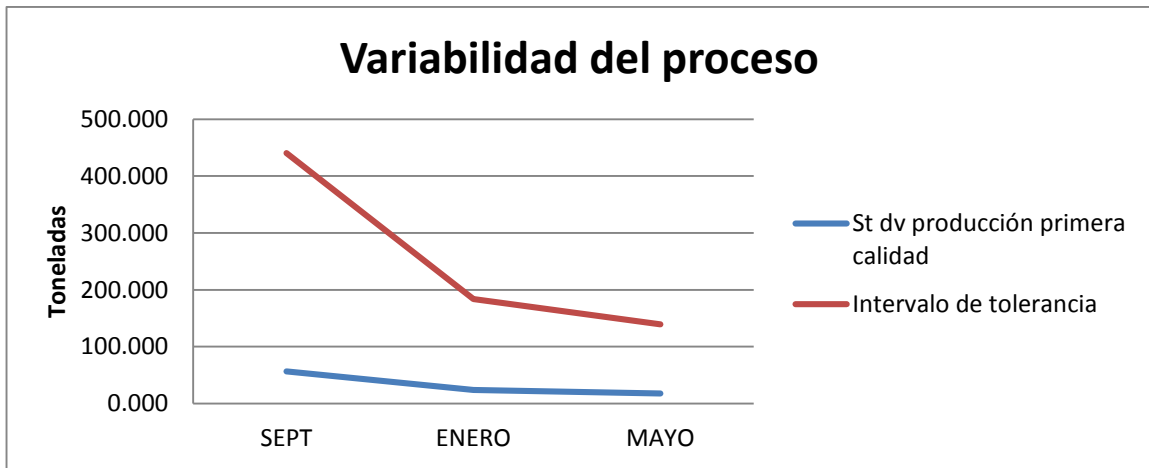
Figura 6.9. Resumen de comparativo mensual



Fuente: Elaboración propia en base a los datos proporcionados por la empresa de estudio.

*Variabilidad del proceso:* Todos procesos tienen variabilidad, esta es el resultados de las interacciones de manufactura y sus elementos, se determina en base al comportamiento estadístico representado por la desviación estándar que afecta el intervalo de tolerancia del proceso y el nivel de robustez del proceso. En la Figura 6.10 se muestra el comportamiento de variabilidad del proceso de los meses de septiembre, enero y mayo.

Figura 6.10. Variabilidad del proceso



Fuente: Elaboración propia en base a los datos proporcionados por la empresa de estudio.

## 7. ANALÍISIS DE RESULTADOS

### 7.1. Introducción

La innovación que está utilizando la empresa de estudio desde el último cuatrimestre del año anterior, se basa en el uso de las herramientas de la metodología lean seis sigma, lo que significa para la empresa de estudio; la integración de algunas herramientas de manufactura esbelta (lean) con la metodología seis sigma.

Los resultados del presente trabajo se basan en los datos de comportamiento del proceso después de la aplicación de las herramientas de manufactura esbelta, que para la empresa caso de estudio son una innovación, estas herramientas fueron desarrolladas anteriormente en y para la industria automotriz, aunque la empresa de estudio es de otro sector también tiene la necesidad de la optimización y medición de sus procesos ya que se maneja bajo el concepto de manufactura, la cual se soporta en máquinas, métodos y proceso para agregar valor a la materia prima. Los resultados reflejan el comportamiento y estado operativo de la empresa al momento de la intervención, la cual inicio en septiembre del 2013, también se cuenta con datos de enero y mayo del 2014.

A lo largo de la tesis se buscaron los elementos de la manufactura que impactan en la productividad, se realizó el seguimiento a la empresa en dos etapas, en la primera que comprende el periodo de septiembre a diciembre del 2013, implementación de la etapa 1 con enfoque en el uso de herramientas de innovación aplicadas al proceso y a los elementos de manufactura, en la segunda que comprende el periodo de enero a mayo del 2014, implementación de la etapa 2, con el uso de herramientas de innovación con enfoque en la optimización del proceso.

## 7.2. Pregunta de investigación

*Pregunta de Investigación:* ¿El uso de herramientas y técnicas innovadoras de manufactura impacta en la productividad de una empresa?

### 7.2.1. Respuesta a la pregunta de investigación

La empresa que utilizan consistentemente herramientas innovadoras para implantar, mejorar u optimizar sus procesos de manufactura, y disponen de indicadores de productividad, notara a mediano y corto plazo la mejora en la productividad.

Sin embargo es necesario un sistema de control y seguimiento, en casos similares, empresas han conseguido resultados alentadores de sus mejoras incrementales, pero después de un tiempo los controles dejan de aplicarse y las condiciones tiende a regresar al estado original (Socconini, 2004). La tabla 7.1 muestra los datos obtenidos en tres fechas diferentes, se puede observar el cambio de comportamiento hacia la mejora en las variables de interés: rendimiento total acumulado, productividad por hora, desperdicio y desviación estándar de producción de primera clase.

Tabla 7.1

#### *Resumen de comportamiento de las variables de interés relativas a la productividad*

Resumen de comportamiento de las variables de interés relativas a la productividad				
Variable de Interés	Sep	Enero	Mayo	Efecto
Rendimiento Total Acumulado	86.89%	100.20%	99.67%	Empresa de clase mundial RTA >85 %
Productividad por hora (primera clase)	1.00	1.06	1.15	Mayor velocidad de producción unitaria ( Base Septiembre)
Desperdicio Dpmo	8005.03	8023.20	7312.15	Disminución del desperdicio relativo (producto)
St dv producción primera calidad	56.46	23.53	17.48	Disminución de la variabilidad

Fuente: Elaboración propia en base cálculos con los datos proporcionados por la empresa de estudio.

### 7.3. Validación de hipótesis de investigación

La investigación se enfocó en la innovación, la manufactura y la productividad mediante el uso de herramientas innovadoras de manufactura, los indicadores resultado de la investigación y la evaluación de la hipótesis se muestran en la tabla 7.2.

Tabla 7.2

Validación de la hipótesis de investigación

Hipótesis	Datos disponibles			Resultado de la Validación
<p><i>Hipótesis Alternativa (H1):</i> Si se incrementa la cantidad de la innovación, entonces se incrementa la productividad de los sistemas de manufactura</p> <p><i>Hipótesis nula (Ho):</i> Las empresas de manufactura que utilizan las herramientas innovadoras de manufactura no tienden a incrementar su rendimiento en productividad.</p>	En base los datos de comportamiento de la empresa y mediante cálculos, los indicadores demuestran mejora			<p>Se acepta la hipótesis alternativa H1</p> <p>Se rechaza la hipótesis nula Ho</p>
	Sep.	Enero	Mayo	
	Rendimiento Total Acumulado			
	86.89%	100.20%	99.67%	
	Productividad (base septiembre)			
	1.00	1.06	1.15	
	Desperdicio en Dpmo's			
	8005.03	8023.20	7312.15	
	St dv producción primera calidad			
56.46	23.53	17.48		

Fuente: Elaboración propia en base a cálculos con datos proporcionados por la empresa de estudio.

### 7.4. Evaluación del cumplimiento de los objetivos

Durante la propuesta del desarrollo de la presente investigación se definió el objetivo general y los objetivos específicos, la investigación siguió un proceso riguroso que generó información y evidencias que se deben comparar contra los objetivos de investigación, es importante mencionar que en la planeación no vislumbran las dificultades de los procesos de investigación o de obtención de datos. En la Tabla 7.3 se da respuesta a los objetivos planteados al inicio de la investigación.

Tabla 7.3

*Cumplimiento de objetivos de la investigación*

Objetivo general	Resultados
Proponer un método que permita evaluar el impacto de la innovación en las técnicas y herramientas de producción en la productividad en las empresas de manufactura.	En el capítulos 5 se describe, desarrolla y ejemplifica un método de cálculo para determinar el impacto de la innovación en la manufactura con enfoque en el rendimiento total acumulado y en la capacidad de proceso y sus variables
Objetivo específicos	Resultado
1) Definir los tipos de innovación tecnológica, y determinar las principales formas de innovación en las áreas de manufactura.	En el Capítulo 2, se puede observar que la innovación se divide en, incremental, radical, disruptiva y su aplicación en forma de glocalización e innovación inversa, se puede obtener por medio de desarrollo interno, compra, adaptación o por trabajo colaborativo
2) Identificar los elementos clave para los cálculos de la eficacia de la manufactura (capacidad y rendimiento).	En el Capítulo 5, de ilustran los componentes y datos que permiten calcular la capacidad de proceso en términos de Cp, Cpk, Zst, Zlt, yield y Dpmo, así mismo se muestra el proceso de cálculo del rendimiento total acumulado en base a la disponibilidad, eficacia de proceso y eficacia de calidad
3) Determinar el mecanismo de recolección de datos, análisis y resultados para compararlos con las empresas de clase mundial.	En el Capítulo 5 se muestran los elementos y el proceso de cálculo de la capacidad de proceso y del rendimiento total acumulado, se presentan los criterios para determinar el tipo de empresa en función de la capacidad de proceso y el rendimiento, así mismo se presentan ejemplos gráficos que nos permiten determinar a detalle los elementos de evaluación.
4) Desarrollo de una herramienta cuantitativa para determinar los principales resultados de la operación de manufactura.	
5) Establecer una metodología para determinar el impacto de la innovación de los sistemas de manufactura y su efecto en la productividad.	En el capítulo 5 se muestra el análisis de caso el cual está en la implementación de la estrategia lean seis sigma para optimizar su funcionalidad, se muestra la evaluación de las variables y los resultado del comportamiento evaluando dos etapas de la implementación de la metodología.

Fuente: Elaboración propia en base a la información desarrollada en la Investigación.

## **8. CONCLUSIONES, DISCUSIÓN, LIMITANTES Y PROPUESTAS**

### **8.1. Conclusiones**

Durante el desarrollo del presente trabajo se ha tratado de conocer el comportamiento innovador y su impacto en las empresas de manufactura. Las principales conclusiones son aplicables en base al proceso de investigación, son resultados del análisis y solo aplican a la empresa caso de estudio en su estado actual y a los procesos en los que se enfocó la investigación, aunque los datos reflejan una correlación positiva del uso de las herramientas de manufactura esbelta con la productividad sería arriesgado asegurar que el incremento en la productividad es debido solo y únicamente a la implementación de las herramientas lean seis sigma.

El proceso de cálculo permitió determinar cuantitativamente el comportamiento de la empresa así como otros datos relativos a la manufactura en una empresa petroquímica, sin embargo los conceptos y métodos de cálculo se podrían replicar en cualquier empresa de manufactura, a continuación se presentan las siguientes conclusiones:

La empresa caso de estudio es una excelente institución con dominio de la complejidad técnica y administrativa, sus operaciones y proceso lo demuestran, es una empresa de clase mundial, con capacidad de proceso arriba de 3 sigmas, con operación continua y con intención innovadora, por ejemplo la reciente implementación de metodología lean seis sigma, pero la productividad por línea respecto a la relación de capacidad instalada contra la producción real es baja.

Se podría pensar que es por el sistema pull de ventas al cliente o en base a pedidos, sin embargo la infraestructura tiene más capacidad de la utilizada.



Sus sistemas de mantenimiento ha demostrado una gran capacidad de operación ya que la operación y continuidad prácticamente es del cien por ciento, pero no significa excelente mantenimiento, la continuidad se mantiene por las sistema redundantes que significan un gran capacidad adicional, solo como refacción en caso de que se use, pero también es necesario aclarar que sus periodos de mantenimiento programado son cada 5 años, lo que hace necesario la disponibilidad de gran cantidad de componentes en stock para reparaciones súbitas.

Aunque la empresa pudiera tener capacidad innovadora, están limitados por las políticas corporativas que solo permiten pruebas e innovaciones en la planta matriz en este rubro sería conveniente que la empresa inicia un proceso de descentralización tecnológica que permita la independencia en innovación y desarrollo de procesos internos de mejora, iniciando por la implementación de procesos incrementales de mejora en mantenimiento que permita eliminar procesos y equipos redundantes que son una inversión poco utilizada o subutilizada.

La empresa utiliza la innovación o herramientas innovadoras en su proceso de manufactura, sin importar el método de obtención, tiende a mejorar sus resultados en productividad, calidad, capacidad de proceso y en el rendimiento total acumulado.

La empresa caso de estudio solo desarrolla mejora continua, o innovación incremental, la obtención de nuevos conocimientos se da básicamente en la compra de equipo y maquinaria, no cambian el producto ni el proceso, ni generan herramientas, las adaptan del mercado disponible en este caso lean manufacturing, la innovación incremental se genera en los elementos que aseguran la calidad y la continuidad de los procesos, de manufactura para hacer más, mejor y más rápidos.

El caso de la empresa caso de estudio, la innovación se realiza en alguna planta matriz en el extranjero, la planta México no dispone de un área de investigación o de ingeniería, lo cual los limita al uso de mejoras desarrolladas en otro tipo de industria, el caso específico es el proceso lean que proviene de la industria automotriz (Toyota) y seis sigma que viene de empresas de base tecnológica de gran consumo (General Electric)

Las empresa conoce los conceptos de productividad, por ser empresa inmensa en la competencia global en mercados de alto consumo y pero el compromiso en la oportunidad de entrega, no le es familiar ya que pertenece a un conglomerado multinacional donde su problema de mercado está resuelto, ya que su materia prima y producto terminado está en la misma línea negocios e inclusive es reciclable.

En la empresa la innovación se limita actividades o interacciones entre áreas o máquinas de producción, realiza el proceso químico del pet para diferentes aplicaciones, las principales modificaciones al proceso son químicas, lo cual afecta los tiempos, volumen, velocidades y temperaturas de operación pero no el proceso de manufactura.

Las empresas innovadoras se caracterizan por ser de tamaño reducido y estar concentradas en sectores de medio y bajo contenido tecnológico, generalmente no disponen de recursos e infraestructura, por lo tanto su nivel de competencia se basa en su capacidad de innovar, que en muchas ocasiones son su única ventaja competitiva (Drucker, 1997), la empresa de estudio es grande, estandarizada y automática, características que limitan la innovación ya que la infraestructura es un barrera para la innovación radical, solo utilizan las mejoras incrementales adaptadas de otras industrias.

El conjunto de conclusiones descritas, generan algunas bases para la definición de la importancia de innovación tecnológica y de apoyo a las empresas de manufactura.

La identificación y medición del impacto de la innovación permite conocer las características y el efecto de la innovación o mejora en la manufactura, y pretende que sea de ayuda para clarificación de las políticas de innovación tecnológica.

Es necesario reconocer que la mayoría de las empresas innovadoras son Pymes y están concentradas en sectores de bajo contenido tecnológico en manufactura, con procesos manuales, convencionales o automáticos y maquinas aisladas donde se limita la flexibilidad de manufactura, lo cual los obliga a generar soluciones internas e innovadoras que les permitan permanecer en el negocio y eventualmente evolucionar a proveedores confiables para empresas de gran consumo, por lo tanto , son responsables del proceso innovador, tanto en términos del crecimiento de su empresa como de su nivel de competencia.

## **8.2. Discusión**

Durante el proceso de investigación se observó que las empresas grandes, en personal, infraestructura y ventas, como la empresa del caso de estudio, por lo general conocen su mercado y a sus competidores, manejan indicadores internos y se comparan con la competencia. Saben que la productividad es un compromiso interno resultado de la optimización de los procesos internos y que la utilidad no está en la competencia, está en la optimización de sus procesos. Las empresas grandes, debido a su capacidad tecnológica, volúmenes de producción y diseños de sus productos, tiene certeza y seguridad en el mercado y los efectos o cambios de tecnología no los afectan en el corto plazo, siempre pueden reaccionar, en base a su infraestructura y adecuarse a los cambios tecnológicos de proceso y productos, pero las empresas pequeñas pueden desaparecer fácilmente por un

cambio tecnológico o cambio de necesidad, es por eso la importancia de que las empresas pequeñas puedan medir sus comportamientos y capacidad para reaccionar oportunamente.

Las empresas medianas y pequeñas aunque son las de mayor disponibilidad y crecimiento, son las de menor participación en el sector industrial de manufactura, lo cual los limita al acceso de infraestructura de alto contenido tecnológico y a la innovación y desarrollo interno, en estas condiciones es poco probable que compitan con las grandes empresas que hacen uso de las nuevas técnicas e innovación en la tecnología y proceso de manufactura. Las empresas medianas y pequeñas generalmente no tienen indicadores de productividad.

Las empresas micro y pequeñas, en su etapa de crecimiento optan por reinvertir sus recursos en materias primas y agilizar sus procesos productivos, dando poca importancia al cuidado de la infraestructura, a la búsqueda y actualización de sus procesos, limitándose a la innovación interna, alejándose cada vez más de la posibilidad de competir con las grandes empresas y mercados globales. Algunas desventajas operativas de las empresas de manufactura micro y pequeñas son las siguientes.

1. Por su bajo tamaño no puede negociar ni competir en economías de escala.
2. Por su bajo nivel de ingresos no tienen acceso a las innovaciones externas.
3. La mayoría carecen de capital y operan con financiamiento limitado.
4. No cuentan con respaldo para disponer de oportunidades de financiamiento.
5. No contar con mano de obra especializada limita la capacidad de innovación.
6. No manejan objetivos ni indicadores para medir su productividad.
7. No controlan a sus proveedores por los pocos consumos de materia prima.

8. Fácilmente pueden desaparecer del mercado por no poder competir en precio ni en capacidad de volumen de producción.

Otra debilidad de la industria nacional de cualquier tamaño, es la falta de interés en patentar las innovaciones, lo cual es poco común en países desarrollados donde patentar es un medio de protección de sus inversiones en investigación e innovación, lo cual les garantiza la propiedad temporal de ciertos conocimientos que limitan a los competidores al plagio o al uso de conocimiento ajeno, las patentes son un medio de protección y son necesarias para estimular la inversión en investigación y desarrollo.

Otra debilidad de la pequeña y mediana empresa son el nivel profesional o de conocimientos del personal contratado y la poca posibilidad de obtener personal altamente capacitado, generalmente por sus limitaciones en salarios y condiciones laborales, la opción es capacitar al personal para desarrollar habilidades de innovación y desarrollo pero esto es una inversión y requiere tiempo. El grado de complejidad tecnológica requiere personal con otras competencias ya que el cambio radical requiere desarrollar rápidamente las habilidades de los empleados, lo que requiere la capacidad de la empresa para capacitar personal a gran velocidad y a altos costos (Aiman y Smith, 2002) lo cual es otra limitación para las pequeñas y medianas empresas.

Las empresas grandes, pueden disponer de tecnología por cualquier medio, hacerla, compararla, adaptarla u obtenerla por convenios con empresas, o centros de investigación, en estos casos el tamaño es una ventaja. En el caso del desarrollo de innovación incremental interna, las empresas grandes generalmente disponen de áreas de investigación y desarrollo, ya sea áreas internas a la planta o acceso a centros de investigación externos o corporativos nacionales o internacionales.

### **8.3. Limitantes**

Durante el desarrollo de la tesis se contó con la ayuda incondicional del cuerpo académico del doctorado, el cual compartió conocimiento y experiencia para el desarrollo del presente trabajo, sin embargo la tarea de investigación fue intermitente por las actividades adicionales del doctorante, aunado a las condiciones y limitaciones para obtener información por parte de la empresa caso de estudio.

Aunque al inicio se acordó con la empresa la disponibilidad de información respecto a los datos del proceso, el cual se cumplió cabalmente. Respecto al conocimiento de la operación a medida que el doctorante conoce la empresa, su operación y datos, y adquiere experiencia en las prácticas de empresa, a la hora de relacionar la práctica de la empresa con la teoría y ve la empresa desde afuera, nota que la empresa está limitada a sus propias experiencias y en espera de instrucciones de la matriz para cualquier cambio o modificación por sencillo que parezca, en ocasiones limitado sus propias iniciativas.

Con el tiempo la restricción a la obtención de la información se agudizo y solo se entregó lo acordado, hay que mencionar que la empresa inicio una estrategia de implementación lean seis sigma, la información relacionada a la estrategia se logró conocer, en etapas y técnicas de aplicación, pero la información específica sobre lean seis sigma se obtuvo de otras fuentes.

Otro de los aspectos que limitó el proceso de investigación, en este caso fue el tema, es muy técnico y especializado lo cual limito la disponibilidad de expertos técnicos y la disponibilidad de información especializada; sin embargo, se contó en todo momento con un gran apoyo metodológico en el desarrollo de la tesis.

#### **8.4. Propuestas**

*Proceso de investigación:* Para el desarrollo de los procesos de investigación es indudable la competencia y asistencia del cuerpo académico de la institución, el cual está preparado y disponible, sin embargo en la primera generación del doctorado, al inicio hubo variaciones en el enfoque y consistencia de los programas educativos, el cuerpo docente externo, ocasionalmente expertos en la material y en la docencia, no conocían el objetivo del programas y los métodos internos, en mi opinión aunque director y codirector de tesis mostraron apoyo incondicional, me fue difícil mantener el tema de investigación, por los enfoques de cada maestro respecto al contenido, alcance y complejidad de la propuesta de investigación, creo conveniente especificar las líneas de investigación para mantener los temas en un marco de referencia institucional.

*Proyecto de investigación:* El presente trabajo se aboco a la innovación, manufactura y productividad, pero sería conveniente desarrollar investigación de los medios o formas de evaluar la productividad en empresas de diseño o de servicio, lo cual iría en concordancia con la tema del doctorado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Allred, B.B., Park, (2007). The influence of patent on firm innovation investment in manufacturing industries protection. *Journal of International Management*, 13. pp. 91–109
- Becheikh, N., Landry, R., Amara, (2006). Lessons from innovation empirical studies in the manufacturing sector: A systematic review of the literature from 1993–2003. *Technovation*. 26, pp. 644–664.
- Becker, W., Dietz, J., (2004). R&D Cooperation and innovation activities of firms- evidence for the German Manufacturing Industry, *Science @ Direct*.33, pp.209-223.
- Daude, C. y Fernández-Arias, E. (2010). La productividad agregada: la clave para el desarrollo de América Latina, En Pagés C .Editora, *La era de la Productividad*, pp. 1-29. Desde [http://www.iadb.org/research/dia/2010/files/dia\\_2010\\_spanish.pdf](http://www.iadb.org/research/dia/2010/files/dia_2010_spanish.pdf)
- De Feo, J. A., Barnard, W. (2004). *Más allá del Six Sigma*. España: McGraw-Hill.
- Drucker, P. F. (1973). *La nueva función de la dirección empresarial*. México: Biblioteca Harvard de Administración de Empresas. Publicaciones Ejecutivas de México.
- Drucker, P. F. (1985). *The Discipline of Innovation*. USA: Harvard Business Review.
- Drucker, P. F. (1997). *La Innovación y el empresariado innovador: la práctica y los principios*. Barcelona: Apóstrofe Clásicos del Management.
- Drucker, P. F. (1998). *La sociedad pos capitalista*. España: Apóstrofe.
- Drucker, P. F. (1999). *Los desafíos de la administración en el siglo XXI*. Buenos Aires: Editorial Sudamericana.
- Drucker, P. F. (2002). *La gerencia en la sociedad futura*. Bogotá: Grupo Editorial Norma.



- Drucker, P. F. (2008). *Hacia la nueva organización: Innovar la organización empresarial*. Barcelona: Deusto.
- Casey B., Dodge, H. y Dodge, J. (2010). *Henry Ford and Innovation*. Michigan USA.
- Coriat, B. (2011). *Pensar al Revés*. México: Siglo Veintiuno Editores.
- Creswell, J. W. (1998). *Inquiry And Research Design Choosing Among five Traditions*. USA: SAGE Publications.
- Christensen, C. (1997). *The Innovator's Dilemma*. Boston, Massachusetts, USA: Harvard Business School Press.
- Eckes, G. (2001 a). *Making Six Sigma Last*. N.Y., USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Eckes, G. (2001 b). *Six Sigma Revolution*. N.Y., USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Georges, M. and Kastle, B. (2004). *What is Lean Six Sigma?*. N.Y., USA: McGraw-Hill.
- Goldratt, E.M. y Cox, J. (1994). *La meta*. N.L., México: Ediciones Castillo.
- Gutiérrez, H. y De la Vara, R. (2004). *Control Estadístico de Proceso de la Calidad y Seis sigma*. México: McGraw Hill.
- Grant, E. L. y Leavenworth, R.N, (1996). *Statistical Quality Control*. USA: McGraw Hill.
- Harry, M.J. (1994). *The vision of Six Sigma: A Roadmap for Breakthrough*. Phoenix, Arizona, USA: Publishing Company.
- Hernández, S. R., Fernández, C.C. y Baptista, L.P. (2010). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw Hill.
- Herrscher, E. (2008). *Pensamiento Sistémico*. México: Ediciones Granica S.A.
- Immelt ,J.R., Gavindarajan V., Trimble C (2009). *How General Electric is Disrupting Itself*. Boston Ma. USA: Harvard Business Review.

- Jha, R. y Saini, A.K. (2011). Optimizing parameters with lean six sigma for small and medium enterprises. (pp. 683-687) DOI 10.1109/CSNT.211
- Kaplan, R.S. y Norton, D.P. (1992). *The Balanced Scorecard*. Boston Ma., USA: Harvard Business School Press.
- Lahiri, N. (2010). Geographic Distribution of R&D activity: how does it affect innovation quality?. University of North Carolina USA: *Academy of Management Journal*. 53 (5). pp. 1194–1209.
- Liker, J. (2004). *El Modelo Toyota*. México: McGraw-Hill.
- Lora, E. y Pages, C. (2010). La era de la productividad. En Pages, C .Editora, *La era de la Productividad* (pp. 1-29). Desde [http://www.iadb.org/research/dia/2010/files/dia\\_2010\\_spanish.p](http://www.iadb.org/research/dia/2010/files/dia_2010_spanish.p)
- Moreno, L. A. (2010). *Prefacio* .En Pages, C .Editora, *La era de la Productividad*.. Desde [http://www.iadb.org/research/dia/2010/files/dia\\_2010\\_spanish.pdf](http://www.iadb.org/research/dia/2010/files/dia_2010_spanish.pdf)
- Muñoz, E. (2013). La medición de la productividad y la gestión de Calidad, En *Cosmología empresarial* (pp. 103-113). México: Colección FUNDAp Empresa.
- Navarro, J.C.,Llisterri, J.J. y Zúñiga, P. (2010). La importancia de las ideas: Innovación y Productividad en América Latina. *La era de la productividad*. En Pagés, C .Editora, *La era de la Productividad* (pp. 1-29). Desde [http://www.iadb.org/research/dia/2010/files/dia\\_2010\\_spanish.pdf](http://www.iadb.org/research/dia/2010/files/dia_2010_spanish.pdf)
- Nonaka, I. y Takeuchi, H. (1999). *La Organización Creadora de Conocimiento*. USA: Oxford University Press.
- Pages, C. Editora (2010). *La era de la productividad*. Washington, D.C., USA: Banco Interamericano de Desarrollo.

- Porter, M. (1989). *Ventaja Competitiva*. México: Compañía Editorial Continental (Cecsa).
- Senge, P. (1999). *La Quinta Disciplina: El arte y la práctica de la organización abierta al aprendizaje*. España: Editorial Granica (Grupo Editorial Norma).
- Schumpeter, J.A. (1942). *Capitalismo, Socialismo y Democracia*. N.Y., USA: Harper.
- Slywotzky, A.(1996). *Value Migration*. Boston Ma., USA: Harvard Business School Press.
- Socconini, L. (2004). *Lean Manufacturing; Paso a Paso*. México: Grupo Editorial Norma.
- Swamidast, P. M. y Winchj, G. W.(2002). Exploratory study of the adoption of manufacturing technology innovations in the USA and the UK. *Journal of production Research*. 40 (12). Pp. 2677-2703.
- Tarrant, J. (1977). *Drucker: El hombre que invento la sociedad corporativa*. México: Editorial Diana.
- Taylor, F.W.(1986). *Management Científico*. México: Ediciones Orbis S.A.
- Tennant, G. (2001). *Six Sigma: Control estadístico de proceso y administración total de la calidad en manufactura y servicios*. México: Panorama Editorial.
- Valencia, R. (2013). *Cosmología Empresarial*. México: Colección FUNDAp Empresa.
- Vorne Industries (2008). *Fast Guide to OEE, USA*.
- Wheat, B., Mills, C. y Carnell, M. (2003). *Seis sigma: Una parábola sobre el camino hacia la excelencia de una empresa esbelta*. Bogotá, Colombia: Grupo Editorial Norma.
- Welch, J. (2001). *Hablando Claro*. Barcelona: Editorial BSA.