





**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO



---

**Instituto Tecnológico de Chihuahua II**  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**DISEÑO DE SISTEMA DE CONTROL DE PRODUCCIÓN Y  
ÓRDENES DE TRABAJO EN UNA EMPRESA DE  
MAQUINADOS CONVENCIONALES**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

PRESENTA

**LIZETTE AVIÑA DELGADO**

DIRECTOR DE TESIS  
RAMÓN ONTIVEROS MARTÍNEZ.

CODIRECTORA DE TESIS  
MARTHA PATRICIA GARCÍA MARTÍNEZ

---

CHIHUAHUA, CHIH., JULIO 2021



# Dictamen

Chihuahua, Chih., 24 de mayo de 2021

**MTRA. MARÍA ELENEA MARTÍNEZ CASTELLANOS,**  
**COORDINADORA DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**  
Presente.-

Por medio de este conducto el comité tutorial revisor de la tesis para obtención de grado de Maestro en Ingeniería Industrial, que lleva por nombre "**DISEÑO DE SISTEMA DE CONTROL DE PRODUCCIÓN Y ÓRDENES DE TRABAJO EN UNA EMPRESA DE MAQUINADOS CONVENCIONALES**", que presenta la C. **LIZETTE AVIÑA DELGADO**, hace de su conocimiento que después de ser revisado ha dictaminado la **APROBACIÓN** de la misma.

Sin otro particular de momento, queda de Usted.

Atentamente  
La Comisión de Revisión de Tesis.



---

Ramón Ontiveros Martínez  
Director de tesis



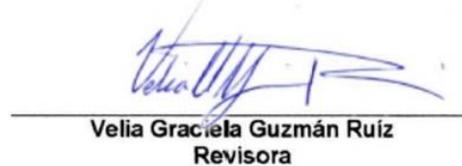
---

Martha Patricia García Martínez  
Co-Directora



---

Mario Antonio Makita Aguilar  
Revisor



---

Velia Graciela Guzmán Ruiz  
Revisora



## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a Dios, quien me ha bendecido abundantemente hasta hoy, con el don de la vida y me ha brindado la oportunidad de seguir creciendo y logrando mis sueños. Se la dedico a mis padres, quienes me han apoyado y motivado en todos los aspectos de mi vida y que, de no haber sido por ellos, no habría sido capaz de llegar hasta aquí. A mis maestros, quienes a través de mi trayectoria estudiantil nunca cesaron al enseñarme, aún y cuando muchas veces no fui una alumna ejemplar, para ellos que continuaron poniendo su confianza en mí. Al comité revisor de tesis, quienes estuvieron todo el tiempo pendiente de mi proyecto, estudiaron mi tesis y la aprobaron. A mis hermanos, a mis compañeros de clase, a mis amigos y demás familiares, quienes me apoyaron de diversas maneras para escribir y concluir esta tesis. Para todos ellos es esta dedicatoria de tesis, pues es a ellos a quienes se las debo por su apoyo incondicional.



## Contenido

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.	Planteamiento del problema .....	3
1.2.	Análisis de la situación actual.....	14
1.3.	Conclusiones al planteamiento del problema.....	14
1.4.	Enfoque de la investigación.....	15
1.5.	Alcances y limitaciones.....	15
1.6.	Justificación.....	16
1.7.	Objetivos .....	17
1.7.1.	Objetivo general .....	17
1.7.2.	Objetivos específicos .....	17
2.	ESTADO DEL ARTE.....	18
3.	MARCO TEÓRICO.....	28
4.	METODOLOGÍA.....	34
4.1.	Recopilación de antecedentes, revisión y organización de la información .....	34
4.1.1.	Diagnóstico de la situación actual.....	34
4.2.	Descripción de mercado, estimación del tamaño y estudio del producto.....	44
4.2.1.	Formato de la entrevista .....	45
4.2.2.	Desarrollo de la entrevista.....	52
4.2.3.	Análisis de resultados obtenidos en las entrevistas .....	53
4.3.	Estudio del proceso o de los procesos .....	56
4.3.1.	Diagrama de flujo .....	56
4.3.2.	Mapa de valor de tiempo .....	59
4.4.	Agrupación de posibles soluciones alternativas, evaluación y eliminación de las no validas .....	68
4.5.	Programación del diseño básico o anteproyecto, formulación de modelos.....	78
4.6.	Análisis de sensibilidad, de compatibilidad y estabilidad de variables.....	78
4.7.	Optimización .....	79
5.	RESULTADOS .....	81
6.	CONCLUSIONES .....	82
7.	REFERENCIAS .....	83

## Índice de figuras

Figura 1.1 Organigrama de la empresa Mecanizados Sandel.....	3
Figura 1.2 División del sistema de la empresa Mecanizados Sandel.....	4
Figura 1.3 Subsistemas del área bajo consideración.....	5
Figura 1.4 Gráfico de resultados de matriz de correlación interfactorial .....	7
Figura 1.5 Gráficos de resultados de análisis entre subsistemas y factores.....	9
Figura 1.6 Gráficos de dominación interfactorial.....	11
Figura 1.7 Frontera del sistema.....	16
Figura 4.1 Variación porcentual anual acumulada de la actividad industrial .....	36
Figura 4.2 Número de unidades económicas en el estado y en la ciudad de Chihuahua .....	39
Figura 4.3 Número de unidades económicas de la ciudad de Chihuahua para industria manufacturera y para sectores 332 y 333.....	40
Figura 4.4 Variación porcentual anual en los indicadores de productividad para industrias manufactureras en el estado de Chihuahua .....	44
Figura 4.5 Mapa de valor de tiempo de la fase 1.....	61
Figura 4.6 Mapa de valor de tiempo de la fase 2.....	62
Figura 4.7 Mapa de valor de tiempo de la fase 3.....	62
Figura 4.8 Mapa de valor de tiempo de la fase 4.....	63
Figura 4.9 Mapa de valor de tiempo de la fase 5.....	64
Figura 4.10 Mapa de valor de tiempo de la fase 6.....	65
Figura 4.11 Mapa de valor de tiempo de la fase 7.....	66
Figura 4.12 Gráfico que muestra el porcentaje de VNA por fase respecto al total de VNA. .	68
Figura 4.13 Etapas del estudio preliminar .....	69
Figura 4.14 Resultados de análisis multicriterio de alternativas de solución .....	77
Figura 4.15 Etapas de la fase Anteproyecto (macroestructura). .....	79
Figura 4.16 Etapas de la fase de realización .....	80

## Índice de tablas

Tabla 1.1 Definición de factores .....	5
Tabla 1.2 Matriz de correlación interfactorial.....	7
Tabla 1.3 Matriz de correlación de factores y subsistemas .....	9
Tabla 1.4 Matriz de dominación inter-factorial.....	11
Tabla 1.5 Definición de variables .....	12
Tabla 1.6 Restricciones del proyecto.....	13
Tabla 1.7 Criterios y valor esperado.....	13
Tabla 4.1 Actividad industrial por entidad federativa.....	35
Tabla 4.2. Actividad industrial. Fuente: INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México.	37
Tabla 4.3. Número de unidades económicas del Estado de Chihuahua. ....	38
Tabla 4.4. Número de unidades económicas de la ciudad de Chihuahua (industria manufacturera).....	40
Tabla 4.5. Clasificación por sector para la industria manufacturera. ....	41
Tabla 4.6. Producción bruta total por personal ocupado total. ....	42
Tabla 4.7. Producción bruta total por unidad económica.....	42
Tabla 4.8. Indicadores de productividad.....	43
Tabla 4.9 Preguntas a empresas de la industria metal-mecánica de la localidad. ....	46
Tabla 4.10 Diagrama de Flujo de proceso .....	57
Tabla 4.11 Determinación de VA y VNA para las actividades de la fase 1. ....	60
Tabla 4.12 Determinación de VA y VNA para las actividades de la fase 2. ....	61
Tabla 4.13 Determinación de VA y VNA para las actividades de la fase 3. ....	62
Tabla 4.14 Determinación de VA y VNA para las actividades de la fase 4. ....	63
Tabla 4.15 Determinación de VA y VNA para las actividades de la fase 5. ....	64
Tabla 4.16 Determinación de VA y VNA para las actividades de la fase 6. ....	65
Tabla 4.17 Determinación de VA y VNA para las actividades de la fase 7. ....	66
Tabla 4.18 Concentrado de tiempos y porcentajes por fase. ....	67
Tabla 4.19 Resumen de alternativas. ....	72
Tabla 4.20 Criterios a considerar para el análisis multicriterio. ....	72
Tabla 4.21 Planteamiento original de la matriz multicriterio. ....	73
Tabla 4.22 Matriz normalizada. ....	74
Tabla 4.23 Conversión de criterios de Max a Min y vector de resultados. ....	76
Tabla 4.24 Alternativas y vector de resultados en orden ascendente.....	77

## 1. INTRODUCCIÓN

En este informe se presenta el desarrollo de las fases iniciales dentro de las fases creativas del proyecto, las cuales se utilizan para transformar la idea inicial en un proyecto bien definido, como lo mencionan Gómez – Senet y Capuz (1999), así mismo, definen estas como “orden de magnitud, es una primera aproximación al proyecto, y muchas veces no tiene otro objetivo que el de fijar unos límites para poder realizar su planteamiento”, “estudio preliminar, parte de un planteamiento del proyecto, lo analiza e investiga las posibles soluciones alternativas, válidas a nivel de subsistemas” y “anteproyecto, en esta fase se selecciona la mejor alternativa posible dejándola definida a nivel de componentes del sistema”, con el fin de desarrollar un proyecto de investigación para solucionar la problemática sobre la falta en el control de la producción y órdenes de trabajo en una empresa de maquinados convencionales. Para lo anterior se han realizado los análisis correspondientes para la determinación del problema (hipótesis), así como la justificación, objetivo general y específicos, enfoque de la investigación, así como el alcance de estudio de la misma.

Para la determinación de la situación actual de la empresa, se sabe que no se cuenta con ningún sistema de control, ya que, así como son solicitados los pedidos, únicamente se producen y se entregan, por lo que en este reporte se presenta la definición del sistema y su jerarquización, así como la descripción de los subsistemas que lo componen, la identificación de las variables de entrada, salida y solución, como también las restricciones y los criterios que se van a considerar para el presente estudio. Así mismo, se desarrolla un análisis sobre las relaciones entre factores y entre factor – subsistema que se presenta dentro de la empresa, esto

con la finalidad de determinar aquellos factores que son de suma importancia para consideración a lo largo del desarrollo del proyecto.

Concluida la fase de anteproyecto, se desarrolla el marco teórico y el estado del arte, fundamentados en los textos y experiencias obtenidas a lo largo del avance del proyecto, con la finalidad de ir modelando una metodología que permita llegar a la solución del problema planteado, y que sirva como guía de investigación. Se ha analizado información estadística sobre la situación actual de la industria metal–mecánica en la ciudad de Chihuahua, mediante datos obtenidos de la página del INEGI, lo cual permite dar un diagnóstico sobre las condiciones actuales de las industrias de esta rama en la ciudad, y de esta forma poder ubicar a la empresa objeto de estudio mediante la realización de una encuesta, con la finalidad de determinar con mayor precisión las causas raíz del problema planteado.

### ***Descripción de la empresa***

La empresa en la cual se desarrolla el presente proyecto es una micro empresa familiar, dedicada a la ingeniería y servicios industriales, ubicada en Chihuahua, Chihuahua, México, lugar de la que es originaria, consolidada en 2015 por sus fundadores.

La empresa se encuentra legalmente registrada como persona física bajo el régimen de pequeño contribuyente, fungiendo como administradores, socios y operativos sus fundadores, quienes ejercen la dirección, así como la toma de decisiones de negocios.

Sus principales operaciones son el diseño y la producción de piezas y sistemas mecánicos y/o electromecánicos en metal o plástico mediante mecanizado convencional con torno, fresa y CNC, así como mantenimiento, instalación, reparación y sustitución de equipos industriales y a sistemas de AC/HVAC, como cuarto frío, ventilación y climatización.

### *Organigrama*

En la Figura 1.1 se muestra la organización de la empresa, la cual se compone de dos empleados, quienes fundaron la misma, y actualmente, en conjunto, desempeñan funciones de gerencia, administración, organización y mano de obra dentro de la misma.

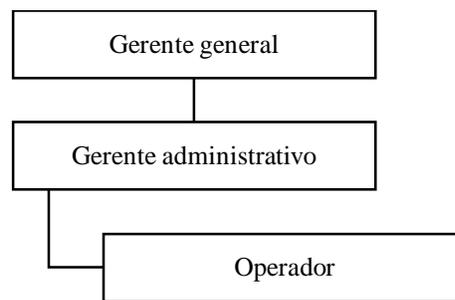


Figura 1.1 Organigrama de la empresa Mecanizados Sandel

### **1.1.Planteamiento del problema**

En primer lugar, se realiza la división del sistema en subsistemas y sus componentes. En la Figura 1.2 se muestra el mapa del sistema de la empresa, lo anterior para lograr la delimitación del área bajo consideración, la cual se ubica en la rama de “Contenido”, “Área productiva”, específicamente en la sección de “Piezas mecanizadas en metal o plástico”, que es el área donde

se diseña y fabrica el principal producto, que consiste en piezas mecanizadas en metal o plástico por medio de órdenes de producción sobre pedido.

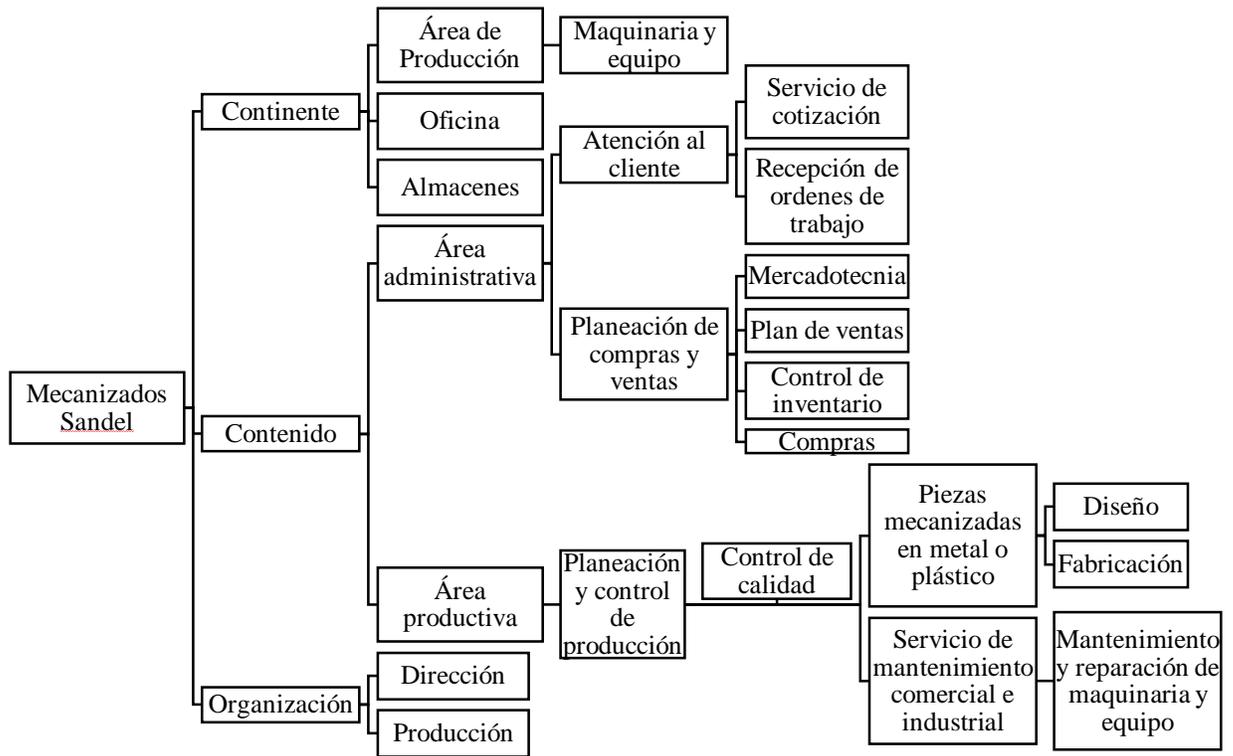


Figura 1.2 División del sistema de la empresa Mecanizados Sandel

Una vez que se han definido los sistemas y sus componentes, tal como se muestra en la Figura 1.2, se ha realizado un análisis para determinar los elementos que se presentan en el área (subsistema) bajo consideración, los cuales se muestran en la Figura 1.3.

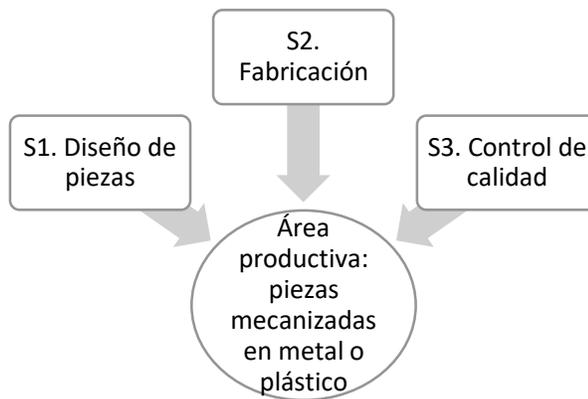


Figura 1.3 Subsistemas del área bajo consideración

Así mismo, se realiza la definición de los factores que afectan en tales subsistemas, los cuales se muestran en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1 Definición de factores

<b>Factores del sistema</b>	
$f_1$	Calibración de equipo
$f_2$	Falta de herramientas
$f_3$	Vigencia de licencias para software
$f_4$	Dominio del software para diseño 3D
$f_5$	Disponibilidad de materiales
$f_6$	Disponibilidad de proveedores
$f_7$	Experiencia del operador
$f_8$	Condiciones climáticas no controladas
$f_9$	Tiempo disponible para operaciones (limitado)
$f_{10}$	Capacidad de producción (limitado a maquinado convencional)
$f_{11}$	Capacidad de almacenamiento (limitado por el tamaño del local)
$f_{12}$	Recursos financieros

La definición de los factores es una herramienta muy útil que, en este caso, se utiliza para desarrollar un análisis de relaciones entre factores, así como entre factor – subsistema (Taborga, 1966), el cual se realiza para determinar cuál o cuáles factores es necesario tomar en consideración, o en dada situación, “cuidar” para evitar que el desarrollo del proyecto se desvíe del área delimitada para el presente; así mismo, se utiliza para definir el orden de importancia tanto de cada factor como de cada subsistema, además de poder establecer la dominancia de cada factor sobre los demás. En las siguientes tablas se muestra el desarrollo de lo anterior, así como una breve explicación de los resultados obtenidos en cada caso.

En la Tabla 1.2 se muestra el análisis realizado para la determinación de la correlación interfactorial, y en la Figura 1.4 se muestra un gráfico que ilustra los resultados obtenidos mediante este análisis; para la cual se determina que los factores con más relevancia dentro de las operaciones de la empresa objeto de estudio son:

- La experiencia del operador ( $f_7$ )
- El tiempo disponible para operaciones ( $f_9$ )

En cambio, los factores con menos relevancia son:

- Condiciones climáticas no controladas ( $f_8$ )
- Capacidad de almacenamiento limitada por el tamaño del local ( $f_{11}$ )

Tabla 1.2 Matriz de correlación interfactorial

Matriz de correlación interfactorial												
	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$	$f_7$	$f_8$	$f_9$	$f_{10}$	$f_{11}$	$f_{12}$
$f_1$	1	0	0	0.5	0	0	0.75	0.25	0.5	0	0	0
$f_2$	0	1	0	0	0	0.75	0.25	0	0.75	0.75	0	0.75
$f_3$	0	0	1	0.5	0	0.75	0.75	0	0.25	0	0	0.75
$f_4$	0.5	0	0.5	1	0	0.25	0.75	0	0.75	0	0	0
$f_5$	0	0	0	0	1	0.75	0.25	0	0.75	0.25	0.75	0.75
$f_6$	0	0.75	0.75	0.25	0.75	1	0	0.25	0.5	0	0.25	0.25
$f_7$	0.75	0.25	0.75	0.75	0.25	0	1	0.25	0.75	0.75	0	0
$f_8$	0.25	0	0	0	0	0.25	0.25	1	0.25	0.25	0	0.25
$f_9$	0.5	0.75	0.25	0.75	0.75	0.5	0.75	0.25	1	0.25	0	0
$f_{10}$	0	0.75	0	0	0.25	0	0.75	0.25	0.25	1	0.25	0.25
$f_{11}$	0	0	0	0	0.75	0.25	0	0	0	0.25	1	0.25
$f_{12}$	0	0.75	0.75	0	0.75	0.25	0	0.25	0	0.25	0.25	1
Total	3	4.25	4	3.75	4.5	4.75	5.5	2.5	5.75	3.75	2.5	4.25

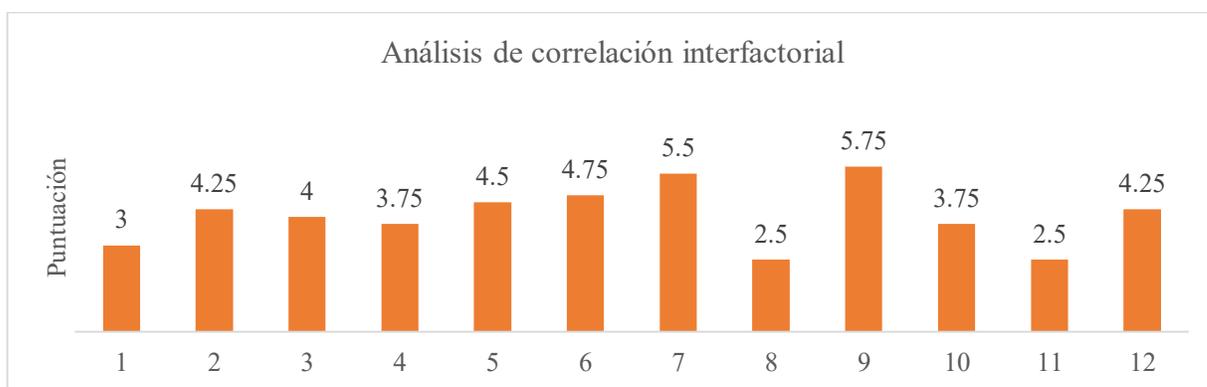


Figura 1.4 Gráfico de resultados de matriz de correlación interfactorial

En la Tabla 1.3 se muestra el análisis realizado para la determinación de la correlación de factores con subsistemas, y en la Figura 1.5 se muestran los gráficos que ilustran los resultados obtenidos mediante este análisis; donde para los subsistemas se determinó que el orden de importancia es el siguiente:

1.  $S_2$ . Fabricación
2.  $S_3$ . Control de calidad
3.  $S_1$ . Diseño de piezas

Lo cual significa que, el subsistema 2 que corresponde a “Fabricación”, es el que presenta un mayor impacto en el desarrollo de las operaciones de la empresa.

Así mismo, se concluye que los factores más influyentes sobre los subsistemas son:

- Calibración de equipo ( $f_1$ )
- La experiencia del operador ( $f_7$ )
- El tiempo disponible para operaciones ( $f_9$ )

Siendo los factores menos influyentes:

- Disponibilidad de materiales ( $f_5$ )
- Condiciones climáticas no controladas ( $f_8$ )
- Capacidad de producción (limitado a maquinado convencional) ( $f_{10}$ )

Tabla 1.3 Matriz de correlación de factores y subsistemas

<b>Matriz de correlación de factores y subsistemas</b>				
	<b>S<sub>1</sub></b>	<b>S<sub>2</sub></b>	<b>S<sub>3</sub></b>	<b>Total</b>
<b>f<sub>1</sub></b>	1	1	1	3
<b>f<sub>2</sub></b>	0.75	1	1	2.75
<b>f<sub>3</sub></b>	1	0.5	0.25	1.75
<b>f<sub>4</sub></b>	1	0.25	0.5	1.75
<b>f<sub>5</sub></b>	0	1	0.5	1.5
<b>f<sub>6</sub></b>	0.75	1	0.25	2
<b>f<sub>7</sub></b>	1	1	1	3
<b>f<sub>8</sub></b>	0	1	0.5	1.5
<b>f<sub>9</sub></b>	1	1	1	3
<b>f<sub>10</sub></b>	0	1	0.5	1.5
<b>f<sub>11</sub></b>	0	0.75	1	1.75
<b>f<sub>12</sub></b>	0.75	1	0.25	2
<b>Total</b>	7.25	10.5	7.75	

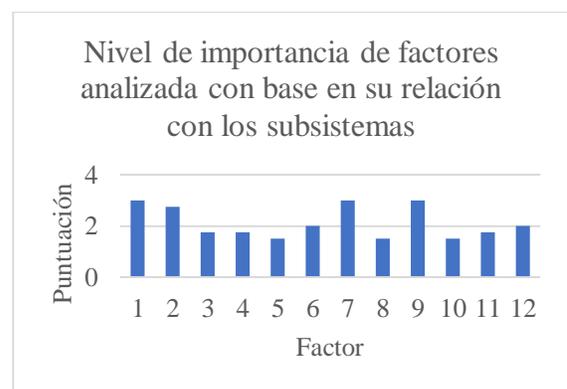
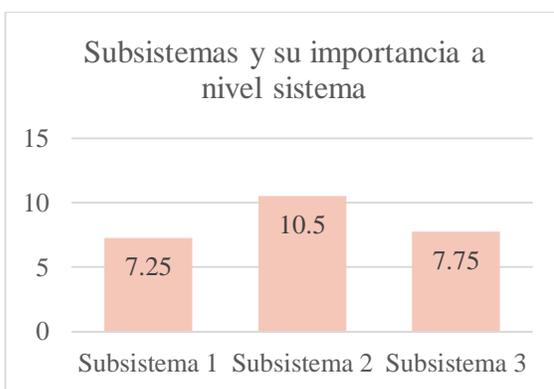


Figura 1.5 Gráficos de resultados de análisis entre subsistemas y factores

Por último, se realiza el análisis para evaluar la dominación interfactorial. En la Tabla 1.4 se muestra el análisis realizado, y en la Figura 1.6 se muestran los gráficos que ilustran los resultados obtenidos mediante este análisis.

De lo anterior se concluye que los factores mayormente dominantes son:

- La experiencia del operador ( $f_7$ )
- Capacidad de producción (limitado a maquinado convencional) ( $f_{10}$ )
- El poder adquisitivo con que cuenta la empresa ( $f_{12}$ )

Sobre los factores mayormente dominados, que son:

- La vigencia de licencias para software ( $f_3$ )
- Condiciones climáticas no controladas ( $f_8$ )
- Capacidad de almacenamiento limitada por el tamaño del local ( $f_{11}$ )

Tabla 1.4 Matriz de dominación inter-factorial

Matriz de dominación inter-factorial															
Factor dominado															
Factor dominante	Factor	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$	$f_7$	$f_8$	$f_9$	$f_{10}$	$f_{11}$	$f_{12}$	Total	
	$f_1$			0.25	0.75	0.5	0.25	1	0	1	0.25	0.25	1	0.5	5.75
	$f_2$	0.75		0.75	0.5	0.25	0.25	0.5	1	0.25	0.5	0.75	0.25	0.25	5.75
	$f_3$	0.25	0.25		0	0.25	0.25	0	0.5	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	2.5
	$f_4$	0.5	0.5	1		0.5	0.5	0.25	0.75	0.25	0.25	0.75	0.25	0.25	5.5
	$f_5$	0.75	0.75	0.75	0.5		0.5	0.5	1	0.5	0.25	0.75	0.25	0.25	6.5
	$f_6$	0	0.75	0.75	0.5	0.5		0.25	0.25	0.25	0.25	0.5	0.25	0.25	4.25
	$f_7$	1	0.5	1	0.75	0.5	0.75		1	0.75	0.25	1	0.5	0.5	8
	$f_8$	0	0	0.5	0.25	0	0.75	0		0.25	0.25	0.5	0	0	2.5
	$f_9$	0.75	0.75	0.75	0.75	0.5	0.75	0.25	0.75		0.5	0.75	0.25	0.25	6.75
	$f_{10}$	0.75	0.5	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.5		1	0.5	0.5	7.75
	$f_{11}$	0	0.25	0.75	0.25	0.25	0.5	0	0.5	0.25	0		0	0	2.75
	$f_{12}$	0.5	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.5	1	0.75	0.5	1		0	8
	Total	5.25	5.25	8.5	5.5	4.5	6.75	3	8.5	4.25	3.25	8.25	3		

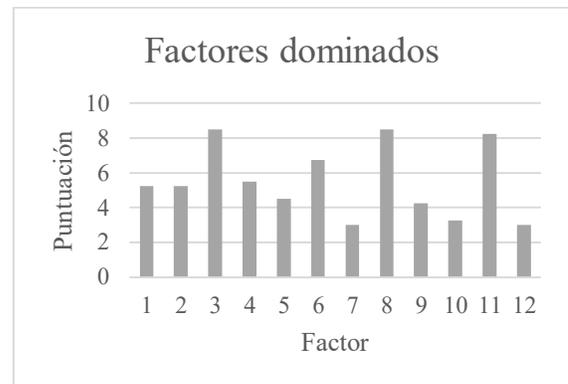
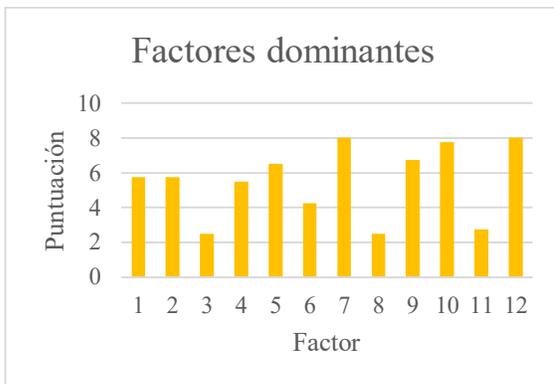


Figura 1.6 Gráficos de dominación interfactorial

La importancia del análisis realizado, es que los resultados del mismo brindan la pauta para determinar los factores sobre los cuales se debe poner especial atención durante el desarrollo del proyecto:

- La experiencia del operador ( $f_7$ )
- El tiempo disponible para operaciones ( $f_9$ )
- El poder adquisitivo con que cuenta la empresa ( $f_{12}$ )

Una vez que se han definido los factores y sus relaciones, es posible proceder con el establecimiento de las variables de entrada, salida y solución, tal como se muestra en la Tabla 1.5.

Tabla 1.5 Definición de variables

<b>Variables del proyecto</b>		
<b>Variables de entrada</b>	<b>Variables de solución</b>	<b>Variables de salida</b>
Base de datos sobre operaciones anteriores	Operaciones de pedido actual	Proceso controlado y estandarizado
Número de orden de trabajo	Registro de órdenes de trabajo	Ordenes de trabajo controladas
Cantidad de piezas a producir	Inventario de piezas disponibles	Cantidad de piezas producidas
Tipología de maquinados potenciales a realizar	Tipo de maquinado a realizar	Piezas maquinadas
Infraestructura actual (maquinaria, herramienta y equipos)	Infraestructura propuesta	Infraestructura empleada
Usos actuales de materia prima	Usos propuestos de materia prima	Materia prima empleada
Procesos actuales	Mejoras propuestas al proceso	Procesos estandarizados
Experiencia del personal operativo	Mejora propuesta a la experiencia del personal operativo	Experiencia adquirida del personal operativo

En la Tabla 1.6 se muestran las restricciones que se consideraran en el estudio y en la Tabla 1.7 se muestran los criterios que se deben tomar en cuenta de acuerdo con los objetivos del proceso.

Tabla 1.6 Restricciones del proyecto

<b>Restricciones del proyecto</b>	
<b>Restricción</b>	<b>Condición</b>
Tipo de material para la producción	Metal o plástico
Tipo de operación limitada a maquinado convencional con equipos determinados	Fresa, torno y CNC convencional
Capacidad de producción	Restringida por maquinaria y equipo.
Capacidad de almacenamiento	Tamaño del local reducido
Experiencia del personal operativo	3 años de operaciones

Tabla 1.7 Criterios y valor esperado

<b>Criterio</b>	<b>Valor esperado</b>
Confiabilidad en el proceso de control de la producción	Máximo
Facilidad de manejo en el sistema de control	Máximo
Costo de producción	Mínimo
Optimización de recursos	Máximo
Satisfacción de cliente	Máximo
Nivel de defectos	Mínimo
Funcionalidad del producto	Máximo
Seguridad para el operario	Máximo

## **1.2. Análisis de la situación actual**

La empresa objeto de estudio cuenta con dos áreas de operación, la primera que se refiere al diseño y la producción de piezas y sistemas, la segunda que se refiere al mantenimiento, instalación, reparación y sustitución de equipos industriales, siendo la primera el pilar. Con respecto al proceso de producción de piezas, se determinó que no se cuenta con ningún control sobre la producción y las ordenes de trabajo, ya que el pedido es solicitado por el cliente, se realiza una cotización aproximada, es decir, sin considerar realmente el valor de los requerimientos del cliente, de forma empírica, el cliente aporta su decisión, y en caso de que se apruebe, simplemente se adquiere el material, se fabrica el producto, se valida según especificaciones y se entrega, pero se desconoce a ciencia cierta la existencia de materiales previo a la adquisición de más material, y se desconoce si los costos de producción que se calculan son los que realmente se están considerando para fijar el precio de venta al cliente.

## **1.3. Conclusiones al planteamiento del problema**

La ausencia de un sistema de control de producción y órdenes de trabajo en una empresa de maquinados convencionales, impacta en la rastreabilidad del producto y ocasiona incertidumbre en el uso de recursos para el proceso productivo, lo que genera deficiencias en el servicio de atención al cliente y gastos excesivos por compras de material innecesario, así como desconcierto al momento de definir precios de venta y plazos para producción y entrega.

#### **1.4. Enfoque de la investigación**

El enfoque de la investigación es cuantitativo ya que es necesaria la recolección y el tratamiento de datos numéricos, como el tiempo que se tarda en entregar un producto antes y después de la mejora, la cantidad de órdenes de trabajo que se tiene capacidad de manejar antes y después de la implementación del proyecto, o bien la medición en la reducción de recursos utilizados, todo esto para determinar si se logra el objetivo y plantear las conclusiones de la investigación con base en lo antes descrito.

#### **1.5. Alcances y limitaciones**

Para obtener las fronteras del estudio se consideran las Figuras 1.2 y 1.3 presentadas previamente, en las cuales se define el área productiva de la empresa objeto de estudio, la cual cuenta con dos ramas, en la Figura 1.7 se presenta el diagrama correspondiente a dichas ramas, que como se ve, son las mismas presentadas en las Figuras 1.2 y 1.3, la primera rama consiste en diseño y fabricación de piezas mecanizadas en metal o plástico, y la segunda se enfoca en servicio de mantenimiento comercial e industrial de maquinaria y equipo, siendo la primera aquella donde se efectúa el desarrollo de la investigación, incluyendo los tres subsistemas del área en cuestión, diseño, fabricación y control de calidad.

Las principales limitaciones que se presentan en este proyecto son los alcances tecnológicos de la empresa, así como el poder adquisitivo de la misma, otro factor importante es el tiempo disponible tanto para la investigación como para las operaciones de la empresa.

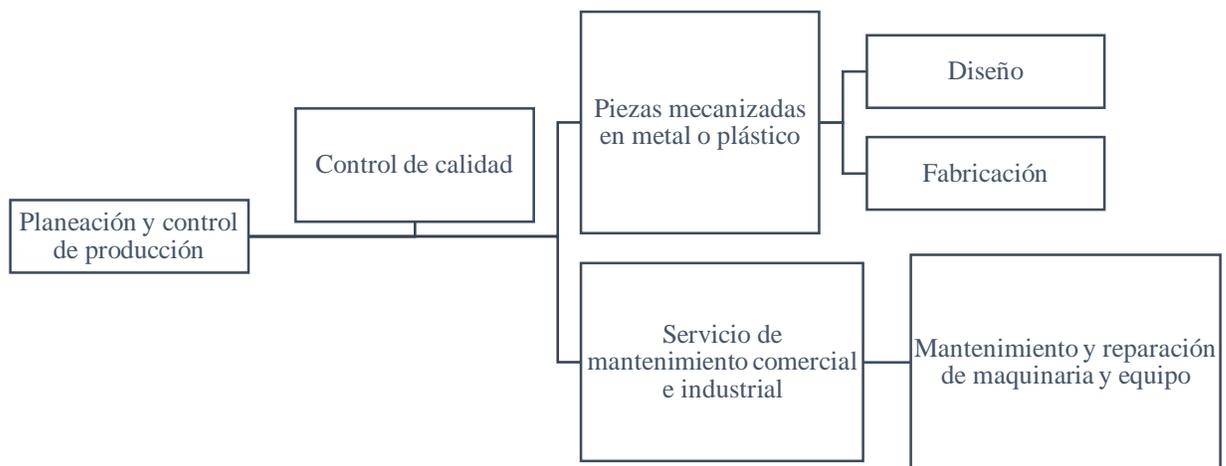


Figura 1.7 Frontera del sistema

Es importante resaltar que el presente proyecto se hará únicamente como una propuesta, ya que los directivos de la empresa son quienes toman la decisión de implementarlo o no, según sus necesidades.

### 1.6. Justificación

Con base en los análisis realizados previamente, se determina que la empresa necesita un sistema de control de producción y órdenes de trabajo que le permita hacer mejor uso de sus recursos y le brinde la certeza de que los precios de venta de sus productos son los más adecuados para el tipo de operación que se realiza, ya que la ausencia del mismo ocasiona en la empresa que se utilice en gran medida el conocimiento empírico que se tiene de la misma, tanto para determinación de precios de venta como para definición de plazos de producción y entrega, por lo cual se vuelven poco confiables; también se realizan gastos excesivos en compras de material al no tener contemplado la cantidad exacta necesaria para cada operación

y el desconocimiento del material con que se cuenta en inventario. Lo anteriormente expuesto se refleja en desperdicio y tiempos muertos.

## **1.7. Objetivos**

### **1.7.1. Objetivo general**

Contribuir a la mejora de la atención al cliente y a la optimización de recursos a través del diseño de un sistema de control de producción que permita mayor rastreabilidad de las órdenes de trabajo y mejor uso de los recursos en el área de producción de la empresa, específicamente en la sección de piezas mecanizadas en metal o plástico, con la finalidad de brindarle a la empresa una oportunidad de incursionar en el mercado como una de las principales proveedoras de servicios en el área industrial en la ciudad de Chihuahua, a través de su principal operación, que es el maquinado convencional.

### **1.7.2. Objetivos específicos**

- Estandarizar el proceso de producción
- Agilizar el proceso productivo
- Optimizar el uso de recursos
- Mejorar el servicio de atención al cliente
- Reducir el tiempo de espera del cliente

## 2. ESTADO DEL ARTE

La Cámara Nacional de la Industria de Transformación (CANACINTRA, 2015), ha desarrollado un estudio para obtener un diagnóstico que permita identificar y evaluar las capacidades industriales de las empresas pertenecientes a la industria metalmecánica con el objetivo de determinar su estado competitivo actual, y establecer estrategias para incrementar su competitividad en el corto y mediano plazo, este estudio se ha desarrollado en tres etapas:

1. Análisis del entorno económico e industrial a internacional y nacional, producto interno bruto, producción bruta total, tamaño de empresas, inversión extranjera directa y comercio exterior, así como los principales indicadores del sector manufacturero, y en particular del metalmecánico.
2. Resultados de la aplicación del diagnóstico a empresas asociadas al sector metalmecánico de la CANACINTRA: Capacidad de manufactura, capacidad tecnológica, capacidad de inversión, capacidad competitiva y capacidad exportadora.
3. Análisis respecto a mejores prácticas internacionales, y establecimiento de rutas estratégicas para el crecimiento de la competitividad en escenarios de tiempo del sector metalmecánico.

Algunos de los antecedentes que se tomaron en consideración para el estudio son:

- La proximidad del país a los Estados Unidos dentro del crecimiento del sector manufacturero, ya que se han instalado plantas de manufactura en determinadas regiones de México. Lo cual ha permitido el crecimiento de la industria nacional, permitiendo la diversificación de proveedores y clientes, procesos de negocios, cercanía, negociaciones, logística, supervisión, entre otros aspectos.
- México es un país competitivo en materia de costos, derivado de la proximidad geográfica con el principal mercado a nivel internacional.
- Es importante concentrar esfuerzos y recursos en favor del fortalecimiento de los sectores que generan riqueza, puestos de trabajo y oportunidades para el desarrollo, como el automotriz, metalmecánico e incluso textil, buscando cuatro aspectos fundamentales: el incremento de la competitividad, mayor productividad, abatir la informalidad en el país y desincorporar el salario mínimo.
- La industria metalmecánica constituye un eslabón fundamental en el entramado productivo, por su contenido tecnológico y valor agregado, por su articulación con distintos sectores industriales ya que promueve la producción de otras industrias. La gran parte de los insumos suministrados a otros sectores son fabricados con una sustancial participación de insumos nacionales, siendo también un sector clave para otras actividades económicas. Así mismo, opera de manera decisiva sobre la generación de empleo industrial.

Lo anterior sirve como punto de inicio para la determinación de un diagnóstico de la situación actual de la industria metal–mecánica en la Ciudad de Chihuahua, para de esta forma, ubicar a la empresa objeto de estudio y así determinar con mayor facilidad las áreas de

oportunidad y la causa raíz para el problema que se presenta en este trabajo de investigación para plantear con mayor certeza la metodología que se pretende utilizar para lograr la solución.

Para el desarrollo del presente, se estudian diversas literaturas, siendo una de las más significativas, la que presentan Nurmala *et al* (2017), donde presentan la lógica CIMO, explican como en un contexto (C), las intervenciones (I) se utilizan para generar mecanismos (M), que conducirán a resultados (O). Se trata de una metodología sistemática de revisión, donde se localizan los estudios existentes; selecciona y evalúa contribuciones; analiza y sintetiza datos; e informa la evidencia de tal manera que permita llegar a conclusiones razonablemente claras. El método sintetiza información existente relacionada con un conjunto de preguntas de investigación en una presentación imparcial a través de cinco pasos principales:

1. Formulación de preguntas de investigación.
2. Estudios de localización.
3. Selección y evaluación de estudios.
4. Análisis y síntesis de resultados.
5. Informes.

Esta metodología se utiliza para analizar las demás literaturas que pueden resultar significativas en distintos contextos. Por ejemplo, se analiza la simulación como herramienta de solución, se muestra el trabajo desarrollado por Salazar y Rojas (2010), quienes muestran la configuración de un sistema productivo, donde se debe determinar el nivel de recursos para una operación eficiente con un control de costos de producción, manteniendo un nivel

razonable de recursos y cumpliendo la demanda, mediante un método multi-objetivo para minimizar el nivel de recursos en un sistema de producción, satisfaciendo restricciones operativas, evaluada mediante simulación. Si bien, el método se aplica a un sistema prototipo, es generalizable a cualquier problema de configuración y tipo de recursos (discreto o continuo).

Otro de los tópicos de interés es la gestión de almacén o inventarios, por ejemplo, Ramírez *et al* (2018), llevaron a cabo un proyecto para mejorar la gestión del almacén aplicando herramientas de mejora continua. El impacto que tuvo este proyecto fue que se lograron reducir los tiempos para el surtido de pedidos, el control y la administración de los trabajos en inventario, seguridad y limpieza en la planta, reducción del trabajo físico disminución en tiempo de entrega y la minimización de pérdidas, que son, en su mayoría, objetivos que se relacionan en gran medida con el objetivo del presente proyecto. También, Gutiérrez *et al* (2013) proponen la aplicación del modelo de inventarios con revisión periódica bajo la política  $(R, S)$ ; donde  $R$  es el tiempo en meses entre revisiones y  $S$  el nivel de inventario), en donde la demanda no es constante y tiene grandes variaciones, que es una característica afín al planteamiento actual del problema. En su trabajo, se diseña e implementa un modelo propuesto con los históricos de los materiales críticos utilizados, ya que aumentar los niveles de inventario para solucionar casos aberrantes no es una solución, debido a que a mayor nivel de inventario mayor costo.

En mayor parte se han estudiado artículos relacionados con planeación de producción y/o programación de tareas, ya que es un enfoque orientado en gran medida al objetivo del presente estudio, entre ellos el de Gaia *et al* (2017), quienes explican la programación

determinista en la que  $k$  agentes compiten por el uso de una sola máquina. Los agentes tienen sus propias funciones objetivas y presentan sus tareas en pasos sucesivos a un sujeto de coordinación externo, que las secuencia seleccionando la tarea más corta en cada paso, consideramos diferentes combinaciones de funciones de costo.

Por otra parte, Salazar y Medina (2013) tratan el problema del taller de máquinas paralelas idénticas con tiempos de preparación dependientes de la secuencia, que consiste en resolver la programación de trabajos en un sistema de capacidad múltiple con  $m$  máquinas que realizan operaciones iguales, dispuestas en paralelo y  $n$  trabajos a procesar en una, y sólo una, de las máquinas. Habla sobre programación de producción eficiente con recursos productivos limitados para constituir una ventaja competitiva difícil de imitar.

También Báez *et al* (2008), quienes desplegaron un proyecto donde presentan alternativas para mejorar el proceso de planeación de la producción, basado en la combinación de la simulación y métodos de inteligencia artificial para la fabricación de componentes electrónicos, obteniendo resultados satisfactorios a corto plazo. El impacto de este proyecto fue la reducción del tiempo para realizar los cálculos, las estimaciones de los resultados se obtienen en tiempo real y la utilización de algoritmos multicriterio permite considerar varios criterios de interés, lo cual brinda a la presente investigación un panorama más amplio sobre algunas de las herramientas que se pueden emplear para lograr los objetivos planteados.

Chen y Abrishami (2014) muestran que la remanufactura es un proceso industrial en el que los productos desgastados se restauran a condiciones nuevas, lo cual puede ser un negocio

rentable. Considerando esto como una opción para el material que se ha acumulado en la empresa objeto de estudio, ya que al no presentar un control de producción ni de inventario, esto se convierte en un desperdicio. Así, los autores presentan un modelo de programación de enteros mixtos para la planificación de la producción que involucra tanto la remanufactura/reutilización del material y la fabricación de piezas nuevas, asumen que las actividades de fabricación y remanufactura en el sistema considerado comparten un recurso común ya que los productos nuevos y los almacenados son similares. El objetivo de los autores es minimizar el costo total y cumplir con las demandas dadas de las piezas nuevas y remanufacturadas.

Ortiz *et al* (2008) muestran la eficiencia de un sistema DBR basado en la teoría de restricciones y determinan que este ofrece mayor ventaja competitiva sobre el sistema de costos estándar, debido a que el sistema DBR se basa en el control de la producción mediante la sincronización de todas las operaciones identificando las restricciones de la empresa (como de materiales, de capacidad o de personal) las cuales entorpecen el objetivo de la organización, basado en los parámetros conocidos como “tambor”, “amortiguador” y “cuerda”.

De Weerd y van den Bogaerd (2018) hacen uso de diagramas de decisión para programación de múltiples máquinas de límites inferiores. Así mismo, Darsan *et al* (2017) presentan un problema de optimización de objetivos múltiples en el caso de estudio, considerando esto de gran relevancia ya que el objetivo del estudio fue evaluar el proceso para satisfacer simultáneamente múltiples requisitos, y en la vida real, generalmente las situaciones

presentan múltiples objetivos. Su estudio combinó la teoría de la utilidad y el método de Taguchi para predecir ajustes óptimos.

Pérez *et al* (2015) muestran como la planeación de la producción es una herramienta que permite a las empresas reaccionar adecuadamente a los constantes cambios requeridos por el mercado, desarrollando un modelo del problema del tamaño de lote capacitado multi-artículos con tiempos de setup; centrado en los niveles de producción, inventario y setup necesarios para satisfacer los requerimientos de demanda fluctuante a través de un horizonte de planificación, mediante programación lineal y modelos de programación robustos o estocásticos.

Rodriguez *et al* (2015) utilizan el modelo de Proceso Analítico Jerárquico (AHP) en la resolución de modelos de toma de decisiones multicriterio mediante su aplicación en procesos metal-mecánicos en industria automotriz para planeación de la producción de productos manufacturados en una línea de producción común con el objetivo de establecer las importancias relativas que pueden tener varios productos que requieren ser producidos en una línea de producción común de tal manera que todos deben ser manufacturados para satisfacer las necesidades de los clientes.

Krim *et al* (2019) resuelven problemas de programación con restricciones de indisponibilidad debido a la metodología de mantenimiento preventivo para evitar fallas en sistemas de producción. Se plantea el problema de programación de una sola máquina para minimizar los tiempos en los que la máquina debe someterse a un mantenimiento preventivo

periódico para evitar fallos. De igual forma, Krimi *et al* (2019) estudian el problema de la programación de flujo, consiste en la programación de taller de flujo de dos máquinas en actividades de mantenimiento sincronizadas y periódicas. El problema puede reducirse al problema de programación de una sola máquina con mantenimiento periódico, si todos los tiempos de procesamiento en la primera máquina son iguales a cero.

También, Gao y Lu (2013), estudian el problema de planificación clásico, donde  $n$  trabajos deben procesarse en dos máquinas con el objetivo de minimizar los trabajos rechazados y la penalización total de rechazo, utilizando un problema de programación. Por otra parte, Viergutz y Knust (2014), tratan un problema integrado de programación de producción y distribución en un escenario empresarial a medida. El problema consiste en elegir un subconjunto de clientes para que todos los pedidos correspondientes se puedan entregar de acuerdo con las restricciones de la vida útil y la ventana de tiempo, mientras se maximiza la demanda total satisfecha por las entregas.

Schrage (1970) trata el problema de programación con restricciones de precedencia y de recursos, proporciona un procedimiento eficiente para enumerar todos los horarios activos, con el objetivo de minimizar la duración del proyecto, se desarrolla un algoritmo de ramificación y vinculación agregando un procedimiento de vinculación al esquema enumerativo. Presenta un algoritmo para obtener soluciones óptimas a problemas de este tipo, para trabajos con hasta 35 actividades. Mientras que Salazar y Schrils (2014) tratan la programación de órdenes de producción como herramienta estratégica, para la optimización de recursos productivos limitados satisfaciendo en forma eficiente los requerimientos de los

clientes, transforman las necesidades de los clientes en órdenes de producción que se “transforman” en trabajos con fecha de entrega asociada.

Ebner et al (2019) hablan sobre control de producción para las cadenas de suministro con el objetivo de mejorar las métricas de rendimiento con el supuesto de un suministro estable de materias primas y una demanda potencialmente inestable o variable. Así, investigan la aplicabilidad y la frontera del rendimiento de las estrategias de control de producción de tipo “pull” adecuadas para los sistemas CLSC (cadena de suministro de circuito cerrado, por sus siglas en inglés) en presencia de la demanda del cliente y la variabilidad de la tasa de retorno, a través de una serie de modelos de simulación.

López et al (2019) explican que, en la actualidad, se buscan procesos productivos eficientes para generar productos de alta calidad, entregados a tiempo y al menor costo posible, para lo cual utilizan la simulación, ya que la simulación es útil para optimizar el proceso de manufactura de la empresa, logrando diseñar un modelo del sistema real de una empresa de manufactura que incluye parámetros configurables, permitiendo realizar experimentos para analizar y evaluar diferentes estrategias referentes al problema del desabasto del producto final para atender la demanda de los clientes. La metodología aplicada en el desarrollo de su investigación está dividida en siete fases:

1. Formulación del problema al que se enfrenta la empresa de manufactura.
2. Definición de los parámetros y variables para generar un modelo de simulación del proceso llevado a cabo por la empresa.

3. Proceso de la recopilación y análisis de los datos (las listas de tiempos de ejecuciones para cada una de las estaciones, los tiempos de llegada de un nuevo lote de cajas, la organización de las líneas de ensamblaje y el historial de pedidos).
4. Formular el modelo de simulación.
5. Trasladar el modelo a un lenguaje de programación.
6. Simulación del modelo para obtener resultados y observar su comportamiento (ver donde se debe reducir el tiempo y como).
7. Validación del modelo para comprobar si se ajusta a sistema real.

### 3. MARCO TEÓRICO

Taborga (1966) establece dos características de la Tesis, se trata de un estudio profundo y demostrativo de una proposición que se sostiene en el razonamiento y sirve para optar el grado de doctor en las Universidades, y el proceso de elaboración se compone de dos etapas:

1. Investigación preliminar. En la cual se determina la materia de la tesis, se realizan consultas bibliográficas, se elige el tema y se plantea la hipótesis.
2. En esta etapa se estructura un borrador del esquema de tesis, se elaboran las fichas, se estudian las fuentes de conocimiento y se mecanografía para presentación.

Gomez – Senet y Capuz (1999) describen en su texto la definición de proyecto, el cual es una ciencia instrumental que sirve de medio para hacer una cosa o conseguir un fin, el conjunto de actividades intelectuales ordenadas y estructuradas que conducen a su resolución, la descripción de la solución y de cómo se llega a ella y se construye o se hace realidad. Así mismo, detallan las fases, las cuales se utilizan como referencia para el desarrollo del presente:

1. Etapas de la fase orden de magnitud:
  - a) Definición del proyecto
  - b) Usos del producto
  - c) Tamaño del proyecto
  - d) Variables, restricciones y criterios
  - e) Estado del arte

- f) Fuentes de información
  - g) Calcular el presupuesto de inversión con ratios
  - h) Estudio con ratios de la cuenta de explotación
  - i) Medios humanos y materiales
  - j) Programación del estudio preliminar
  - k) Redacción de un informe sobre el estudio realizado
  - l) Punto de revisión
2. Fase de estudio preliminar
- a) Recopilación de antecedentes
  - b) Revisión de la información
  - c) Organización de la información
  - d) Descripción del mercado
  - e) Estimación del tamaño
  - f) Estudio del producto o productos
  - g) Estudio del proceso o de los procesos
  - h) Petición de pre-ofertas
  - i) Posibles localizaciones
  - j) Posibles distribuciones en planta aproximadas
  - k) Agrupación de posibles soluciones alternativas
  - l) Evaluación técnica de las soluciones. Eliminación de las no validas
  - m) Presupuesto de inversión
  - n) Presupuesto de explotación y evaluación económica
  - o) Evaluación financiera

- p) Otras evaluaciones
  - q) Programación del diseño básico o anteproyecto
  - r) Reunión y discusión del estudio preliminar
  - s) Redacción del informe sobre el estudio preliminar
3. La fase de anteproyecto o diseño básico
- a) Selección de la solución del proyecto
  - b) Formulación de modelos
  - c) Análisis de sensibilidad, de compatibilidad y de estabilidad de variables
  - d) Optimización
  - e) Pruebas, comportamiento previsto y simplificaciones
  - f) El anteproyecto como resultado
4. La fase de proyecto o diseño detallado
- a) Comprobación de especificaciones
  - b) Definir y calcular las partes
  - c) Ensamblar y comprobar las partes
  - d) Comprobar dimensiones y resultados con normas
5. La fase de realización
- a) Planificación y programación
  - b) Construcción del sistema de explotación
  - c) Pruebas de comportamiento del sistema
  - d) Pruebas de calidad del producto
  - e) Simplificación para reducir el coste

Habla Chapman (2006), sobre la naturaleza, el uso e implementación de los sistemas de planificación y control en diferentes contextos. Su objetivo principal es explicar los principios fundamentales sobre estos temas, que se aplican para cualquier tipo de organización, es decir, sin importar su naturaleza, que puede ser comercial, industrial o de servicio, considerando todos los factores que influyen en el diseño y la metodología de planificación y control de cualquier organización. El análisis del material proporcionado por el autor, se efectúa en la necesidad de comprender la importancia del control de la producción debido al enfoque de la presente investigación. En su libro se analizan los métodos para pronosticar la demanda de productos y servicios y su importancia en el proceso de planificación y control; así mismo, se explica cómo planear la mezcla de producto, servicio y recursos (tipo y cantidad) que cada organización debe buscar, definiendo el momento en que se requiere cada elemento y la oportunidad con que se cuenta con cada uno. Además, habla sobre el programa maestro, cuya función es plasmar los requerimientos del cliente y las necesidades de la empresa para lograrlos.

Otro tema importante que considera el autor es la necesidad de contar con un inventario y el buen control del mismo, junto con la Planificación de Requerimientos de Materiales (MRP), que se utiliza en la necesidad de determinar cuáles materiales hacen falta para cubrir la demanda. Con base en lo estudiado sobre inventarios y al programa maestro, el autor define las cuestiones (tanto administrativas como de sistemas) que deben tomarse en cuenta para ejecutar el MRP. Así mismo, es muy importante definir la cantidad adecuada del tipo apropiado de capacidad para ejecutar los planes de producción, ya que es necesario asegurarse de que la capacidad correcta estará disponible. El Control de la Actividad de Producción (CAP) es un

control de ejecución para asegurar que se logren en la medida de lo posible los requerimientos del cliente y se encarga de vigilar la actividad real de fabricación de un producto o la prestación de un servicio una vez que la etapa de planificación ha finalizado y se ha liberado a producción. Por otra parte, el autor analiza la metodología conocida como “manufactura esbelta”, que habla sobre herramientas como JIT y Kanban, que son herramientas de suma importancia en la necesidad de la administración de los procesos de producción, junto con la teoría de restricciones ya que puede proporcionar métodos para diseñar, administrar, programar y mejorar casi cualquier sistema de producción.

Por último, los tópicos que maneja el autor son referentes a las funciones de “asociación”, que son compras y distribución, las cuales son dos de las actividades más importantes durante la planificación y control y se analiza el enfoque general para la implementación de sistemas de planificación y control en una organización, y ofrece un breve panorama del método integrado entre el sistema de producción, el mercado y las herramientas seleccionadas.

Goldratt y Cox (1996) destacan que la meta de cualquier organización es hacer dinero, mediante compras baratas, contratación de gente adecuada, tecnología de punta, fabricación de bienes de la mejor calidad, la conquista de una tasa de mercado, el uso eficiente de las comunicaciones y el cumplimiento de los deseos del cliente, dicen que “...cualquier acción dirigida a ganar dinero es productiva. Y la acción que nos impide ganar dinero es improductiva”. Y mencionan que los pasos para elevar la productividad, aumentar los ingresos y disminuir en la medida de lo posible los inventarios son:

1. Identificar las limitaciones del sistema
2. Decidir cómo explotar las limitaciones del sistema
3. Subordinar todo lo demás a la decisión anterior
4. Resaltar la importancia de los cuellos de botella del sistema
5. ¡CUIDADO! Si en los pasos anteriores la limitación ha sido superada, volver al paso 1, pero no permitir que la inercia provoque una limitación del sistema.

## **4. METODOLOGÍA**

### **4.1. Recopilación de antecedentes, revisión y organización de la información**

#### **4.1.1. Diagnóstico de la situación actual**

En este estudio, primero se decide realizar un diagnóstico de la situación actual que se presenta acerca de la industria metalmecánica en el estado de Chihuahua, ya que se aprecia una creciente expansión de esta rama, sobre todo debido a la existencia de una gran cantidad de pequeños negocios locales dedicados a este ramo, por ello, se define que la realización de un análisis de algunos datos representativos sería de gran ayuda para el presente proyecto. Este análisis se realiza a partir de datos obtenidos de la plataforma digital del INEGI, con el objetivo de determinar las estadísticas que han llevado a la industria metalmecánica a ser una de las más importantes para la entidad, en los siguientes párrafos se explica la información que se ha analizado y las conclusiones a las que es posible llegar.

Se analizan algunos de los indicadores de coyuntura de la base de datos del INEGI, en los cuales se encontró que los niveles de variación en actividades económicas secundarias, han tenido una variación favorable, ya que, al presentar una media positiva, se interpreta como aumento en la misma, así mismo, se evalúa la variación presentada específicamente, en industrias manufactureras y se realiza la comparación entre la variación obtenida a nivel nacional y la variación obtenida en el estado Chihuahua. Llegando a la conclusión de que el estado de Chihuahua, se encuentra por encima de la media nacional, siendo este uno de los estados que aportan en mayor medida a este aumento en la actividad industrial, tal como se

muestra en la Figura 4.1, considerando que se trata de un estado fronterizo y la gran influencia que los Estados Unidos de América (USA) y Canadá tienen sobre las actividades económicas de México y específicamente en Chihuahua, ver Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Actividad industrial por entidad federativa.

Fuente: INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México.

<b>Indicadores económicos de coyuntura</b>				
<b>Actividad industrial por entidad federativa, base 2013</b>				
<b>Periodicidad: Mensual</b>				
<b>Variación anual acumulada (Variación porcentual)</b>				
<b>Estadísticos</b>	<b>Total nacional Actividades secundarias</b>	<b>Total nacional Industrias manufactureras</b>	<b>Chihuahua Actividades secundarias</b>	<b>Chihuahua Industrias manufactureras</b>
<b>Mínimo</b>	-0.87215094	-0.48363558	-5.976458611	-2.950225807
<b>Máximo</b>	2.58011905	5.047256128	8.888865291	11.66067929
<b>Suma</b>	58.165	154.077	207.674	270.503
<b>Media</b>	1	2.6	3.5	4.6
<b>Desviación Estándar</b>	0.9	1.1	4.3	3.8
Fuente: INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México.				
Fecha de consulta: 10/03/2019				

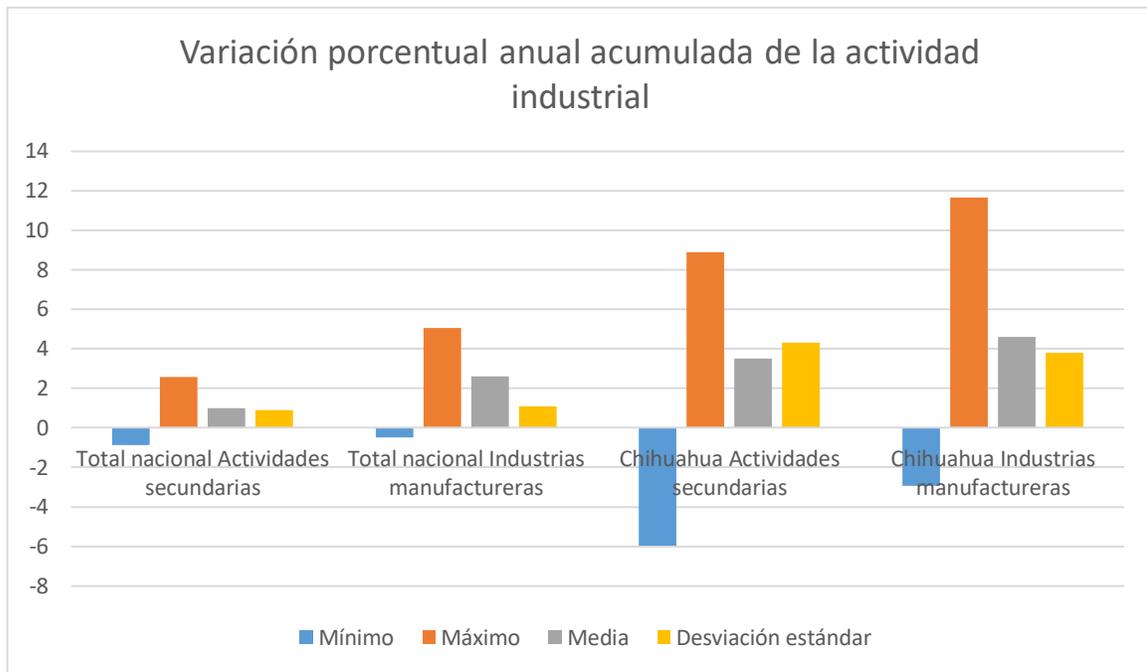


Figura 4.1 Variación porcentual anual acumulada de la actividad industrial

Se realizó un análisis más específico, donde se compara la variación total de la industria manufacturera con las áreas 31-33 correspondientes a industrias manufactureras, de las cuales se seleccionaron las secciones:

- 332 Fabricación de productos metálicos
- 333 Fabricación de maquinaria y equipo

Las cuales incluyen las industrias objeto de estudio del presente. Ver la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Actividad industrial. Fuente: INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México.

<b>Indicadores económicos de coyuntura</b>			
<b>Actividad industrial nacional, base 2013</b>			
<b>Periodicidad: mensual</b>			
<b>31-33 Industrias Manufactureras</b>			
<b>Variación anual acumulada (Variación porcentual)</b>			
<b>Estadísticos</b>	<b>Total industrias manufactureras</b>	<b>332 Fabricación de productos metálicos</b>	<b>333 Fabricación de maquinaria y equipo</b>
<b>Mínimo</b>	-0.48363558	-1.824429484	-1.09115624
<b>Máximo</b>	5.047256128	7.633634954	8.999363981
<b>Suma</b>	155.729	168.507	241.21
<b>Media</b>	2.6	2.8	4
<b>Desviación Estándar</b>	1.1	1.9	2.9
Fuente: INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México.			
Fecha de consulta: 10/03/2019			

También se establece el número de unidades económicas que hasta la fecha se encuentran registradas en el estado de Chihuahua, para lo cual se entiende como pequeña empresa, aquella que cuenta con entre 0 y 50 empleados, mediana es la cual involucra de 51 a 250 personas, y grande la que se compone de 251 o más, según lo menciona el Banco Bilbao Vizcaya Argentina S.A. (2019), esto con la finalidad de identificar más fácilmente como ha sido posible lograr el aumento en los niveles de actividad industrial, específicamente en los

rubros de interés, siendo las pequeñas empresas, aquellas que fortalecen en mayor medida la economía del estado, como se muestra en la Tabla 4.3 y en la Figura 4.2. En la última columna de la Tabla 4.3 se observa la proporción que ocupa la cantidad de establecimientos en el municipio con respecto al total estatal, de lo cual se concluye que Chihuahua es una ciudad que aporta en gran medida a la economía del estado, ya que contiene el 27% de las unidades económicas de todo el estado, considerando que hay un total de 67 municipios en el estado.

Tabla 4.3. Número de unidades económicas del Estado de Chihuahua.

Fuente: INEGI. Directorio de establecimientos (DENUE)

<b>Número de unidades económicas del Estado de Chihuahua</b>					
<b>Tamaño del establecimiento</b>	<b>Estatad</b>		<b>Municipal</b>		<b>Porcentaje de municipal respecto a estatal</b>
	<b>Total</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Total</b>	<b>Porcentaje</b>	
<b>Pequeña</b>	120856	98.18	33614	97.68	27.81
<b>Mediana</b>	1573	1.27	584	1.69	37.12
<b>Grande</b>	664	0.53	214	0.62	32.22
<b>Total</b>	123093	100.00	34412	100.00	27.95
Fuente: INEGI. Directorio de establecimientos (DENUE)					
Fecha de consulta: 10/03/2019					

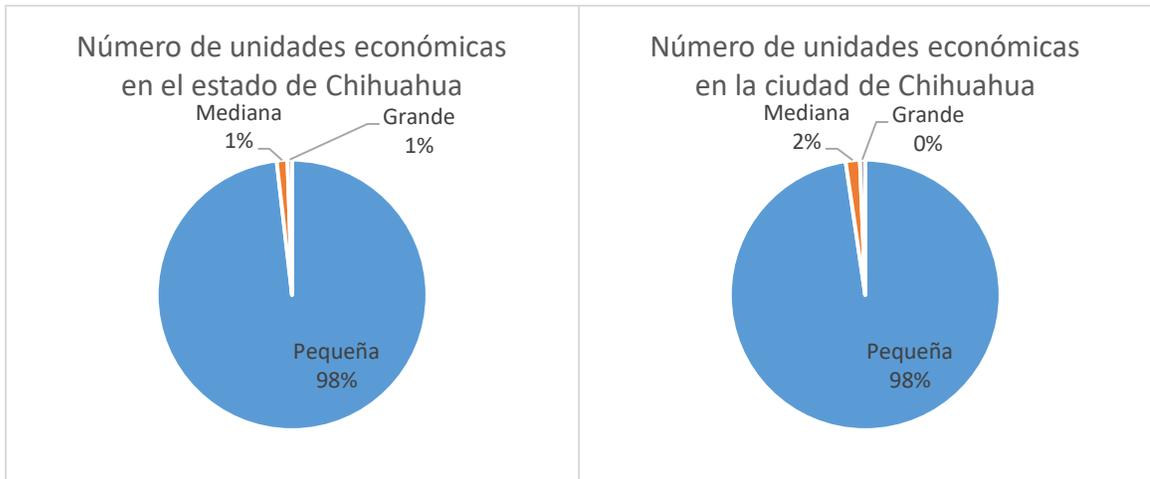


Figura 4.2 Número de unidades económicas en el estado y en la ciudad de Chihuahua

Se muestran los resultados sobre la cantidad de unidades económicas para la industria manufacturera, agrupadas por sector, en la ciudad de Chihuahua. (Ver la Tabla 4.4 y la Figura 4.3). La clasificación de los sectores se muestra en la Tabla 4.5.

Tabla 4.4. Número de unidades económicas de la ciudad de Chihuahua (industria manufacturera).

Fuente: INEGI. Directorio de establecimientos (DENUE)

Número de unidades económicas de la ciudad de Chihuahua (industria manufacturera)									
Tamaño del establecimiento	Total	sector 332						sector 333	Total
		332110	332710	332810	332910	332991	332999	333510	
Pequeña	2527	3	99	4	0	1	29	1	137
Mediana	88	1	2	1	1	0	0	1	6
Grande	77	1	0	0	2	0	0	0	3
Total	2692	5	101	5	3	1	29	2	146
Porcentaje	100	0.18	3.75	0.18	0.11	0.03	1.07	0.07	5.42

Fuente: INEGI. Directorio de establecimientos (DENUE)  
Fecha de consulta: 10/03/2019

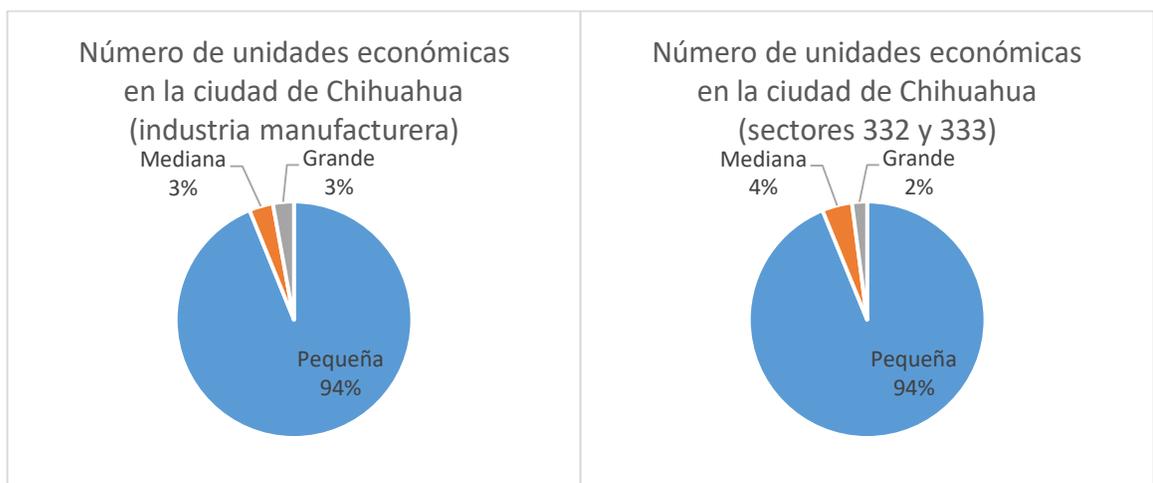


Figura 4.3 Número de unidades económicas de la ciudad de Chihuahua para industria manufacturera y para sectores 332 y

Tabla 4.5. Clasificación por sector para la industria manufacturera.

Fuente: INEGI. Directorio Estadístico Nacional de Unidades

Económicas

<i>Clasificación por sector para la industria manufacturera</i>
332110 Fabricación de productos metálicos forjados y troquelados
332710 Maquinado de piezas para maquinaria y equipo en general
332810 Recubrimientos y terminados metálicos
332910 Fabricación de válvulas metálicas
332991 Fabricación de baleros y rodamientos
332999 Fabricación de otros productos metálicos
333510 Fabricación de maquinaria y equipo para la industria metalmecánica
Fuente: INEGI. Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas
Fecha de consulta: 10/03/2019

Se realiza un análisis de los indicadores de producción bruta total con base en dos criterios:

1. Por personal ocupado total
2. Por unidad económica

Para lo cual, el nivel nacional se toma como 100% para realizar una comparación entre el nivel local y estatal, resultado mayor, el de la localidad, ver la Tabla 4.6 y la Tabla 4.7.

Tabla 4.6. Producción bruta total por personal ocupado total.

Fuente: INEGI Censos Económicos 2009.

<b>Producción bruta total por personal ocupado total (2008).</b>		
<b>Sector 31-33. Industrias manufactureras.</b>		
Concepto	Valor (miles de pesos)	Porcentaje
Nacional	1046.33	100
Estatad (Chihuahua)	387.25	37.01031223
Local (Chihuahua)	688.34	65.78612866
Fuente: INEGI Censos Económicos 2009.		
Fecha de consulta: 10/03/2019		

Tabla 4.7. Producción bruta total por unidad económica.

Fuente: INEGI Censos Económicos 2009.

<b>Producción bruta total por unidad económica (2008).</b>		
<b>Sector 31-33. Industrias manufactureras.</b>		
Concepto	Valor (miles de pesos)	Porcentaje
Nacional	11163.99	100
Estatad (Chihuahua)	16730.92	149.8650572
Local (Chihuahua)	20719.9	185.5958309
Fuente: INEGI Censos Económicos 2009.		
Fecha de consulta: 10/03/2019		

Por último, se realiza un análisis de los indicadores de productividad para el Estado de Chihuahua, destacando que se muestra un incremento en las medias tanto de productividad laboral, como en volumen de producción y en personal ocupado, lo cual se traduce como un incremento tanto en el desarrollo de las actividades como en la generación de empleos para las industrias manufactureras, ver la Tabla 4.8 y la Figura 4.4.

Tabla 4.8. Indicadores de productividad.

Fuente: INEGI. Encuesta mensual de la industria  
manufacturera.

<b>Indicadores de productividad – Industrias manufactureras</b>						
<b>Por entidad federativa: Chihuahua</b>						
<b>Periodicidad: Trimestral</b>						
<b>Productividad laboral con base en el personal ocupado</b>						
	<b>Índice (Índice base 2008 = 100)</b>			<b>Variación porcentual anual</b>		
Estadísticos	Productivi- dad laboral	Volumen de la producción	Personal ocupado	Productivi- dad laboral	Volumen de la producción	Personal ocupado
<b>Mínimo</b>	114.9	121.1	105.4	-4.5	0.2	1
<b>Máximo</b>	130.9	175.7	134.2	9.5	13.9	9.8
<b>Suma</b>	2453.9	3024	2461.2	41.6	139.1	95.8
<b>Media</b>	122.7	151.2	123.1	2.1	7	4.8
<b>Desviación Estándar</b>	3.7	13.9	8.5	3.2	3.9	2.9
Fuente: INEGI. Encuesta mensual de la industria manufacturera.						
Fecha de consulta: 10/03/2019						

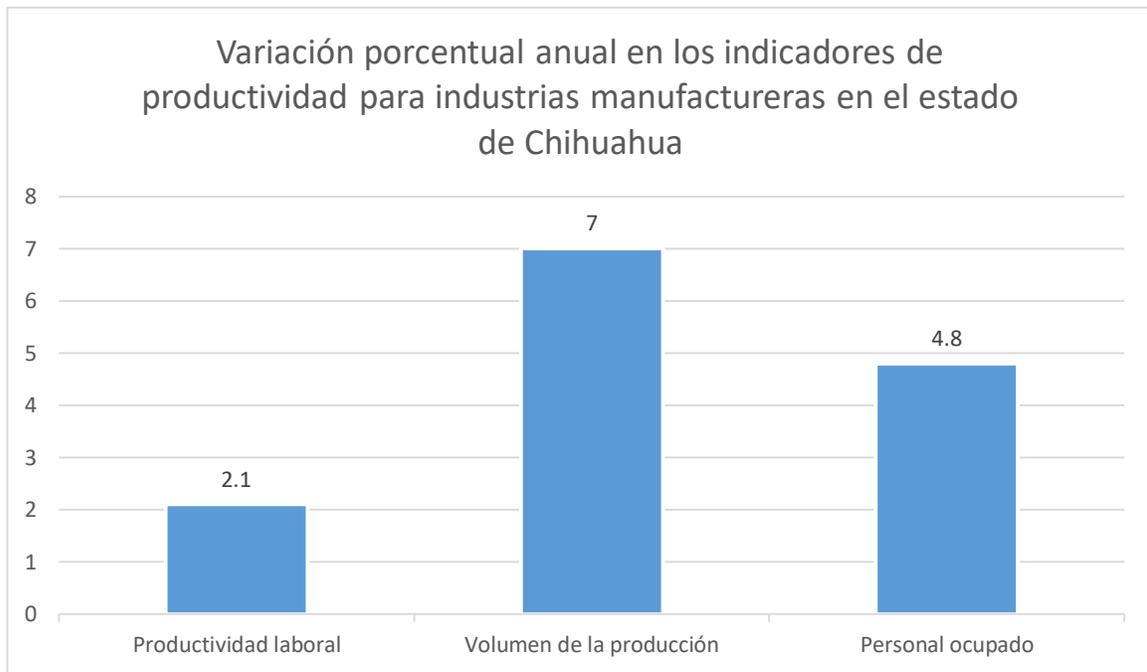


Figura 4.4 Variación porcentual anual en los indicadores de productividad para industrias manufactureras en el estado de Chihuahua

De todo lo anterior, se puede destacar, la importancia que tiene la industria metalmecánica en la ciudad de Chihuahua, lo cual también se puede constatar con la apreciación empírica del conocimiento del incremento de empresas de este ramo, en la ciudad.

#### **4.2.Descripción de mercado, estimación del tamaño y estudio del producto**

En esta etapa se define la posición de la empresa objeto de estudio con respecto a los resultados obtenidos del diagnóstico inicial. Para este paso se planea la aplicación de una entrevista en una muestra representativa de 5 empresas del sector metal – mecánico, entre ellas

la empresa objeto de estudio, para realizar la comparación y lograr la descripción correspondiente.

#### 4.2.1. Formato de la entrevista

Matos *et al* (2017) realizan una investigación con enfoque cualitativo, donde realizan entrevistas con expertos, se seleccionaron 7 empresas. Así mismo, Parry *et al* (2016), recopilan información precisa y oportuna sobre los patrones de consumo para su estudio y utilizan un enfoque de caso exploratorio basado en datos de estudios de seis hogares del Reino Unido, para responder preguntas de “¿por qué?”, “¿cómo?”, “¿cuándo?” y “¿cuánto?”. Con base en la información anterior, se decide seleccionar el método de entrevista para la muestra representativa de 5 empresas, en las cuales se tiene acceso de forma directa y de rápida ejecución, por lo que los datos obtenidos podrán indicar un nivel mayor de confiabilidad, los fines de la entrevista es determinar la posición de la empresa objeto de estudio y las preguntas se encuentran referidas al planteamiento del problema.

En la Tabla 4.9 se muestran las preguntas incluidas en el formato de la entrevista, el cual contiene las preguntas que se desea estudiar. Ver Tabla 4.9.

Tabla 4.9 Preguntas a empresas de la industria metal-  
mecánica de la localidad.

1. ¿Su empresa cuenta con misión y visión?
  - a) Si, especifique:  
Misión \_\_\_\_\_  
Visión \_\_\_\_\_
  - b) No
  - c) Se encuentra en desarrollo
  
2. ¿Cuántos empleados componen su plantilla laboral?
  - a) 0-10, 11-20, 21-30, 31-40, 41-50 personas
  - b) 51-250 personas
  - c) 251 o más personas
  
3. ¿Cuántas jornadas laborales desarrollan al día? (de ser posible especifique los horarios)
  - a) 1 jornada
  - b) 2 jornadas
  - c) 3 jornadas
  - d) 4 jornadas
  
4. ¿De cuántas horas es la jornada laboral?
  - a) 6 horas
  - b) 8 horas
  - c) 10 horas
  - d) 12 horas

5. ¿Cuántos son sus días laborables al año?
- a) Menos de 200 días
  - b) 200 – 250 días
  - c) 251 – 300 días
  - d) 301 – 365
6. Su empresa cuenta con maquinaria industrial, ¿de qué clase son?
- a) Maquinaria liviana: es la que se utiliza en procesos pequeños, por ejemplo, una soldadora.
  - b) Maquinaria pesada: se emplea en procesos complejos, por ejemplo, una fundidora.
  - c) Ambos
7. El principal tipo de maquinaria con el que cuenta es
- a) Eléctrica: Dispositivo que puede convertir energía mecánica en energía eléctrica o energía eléctrica en energía mecánica (Chapman, 2012).
  - b) Hidráulica: Son capaces de realizar un intercambio de energía con un fluido que circula en su interior, sin modificar la temperatura del mismo de forma apreciable (Huete *et al*, 2017).
  - c) Térmica: dispositivo que convierte el calor en trabajo debido a las expansiones de un gas que produce cambios de presión, vol. y temperatura. (Cengel y Boles, 2012)
  - d) Automatizada (tipo robot). “Manipulador multifuncional reprogramable con varios grados de libertad, capaz de manipular materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas” (Caparroso *et al*, 1999)

**8.** Aproximadamente, ¿con cuántas máquinas cuenta en su planta?

- a) 1 – 10 máquinas
- b) 11 – 20 máquinas
- c) 21 – 30 máquinas
- d) 31 o más máquinas

**9.** ¿Qué porcentaje de esas máquinas es utilizado comúnmente?

- a) 0 – 25 %
- b) 26 – 50 %
- c) 51 – 75 %
- d) 76 – 100 %

Para las preguntas 10 a la 16, completar la tabla que se presenta.

**10.** ¿Podría mencionar algunos de sus principales productos y/o servicios?

**11.** ¿Aproximadamente cuántos se producen por periodo?

**12.** ¿Podría definir la cantidad demandada para algún periodo determinado de tiempo?

**13.** ¿Cuál es el precio de venta del producto?

**14.** ¿Cuál es su costo de producción?

**15.** ¿Qué cantidad es vendida en el periodo de tiempo considerado?

**16.** Valor de ventas aproximado (calcular cantidad).

Periodo de tiempo:						
Producto y/o servicio	Producción aproximada por periodo	Cantidad demandada por periodo de tiempo	Precio de venta del producto	Costo de producción	Cantidad de productos vendidos en el periodo	Valor neto de ventas

**17. ¿Utilizan alguna metodología para control de la producción?**

a) Si, especifique:

- Pronósticos. Es una técnica para utilizar experiencias pasadas con la finalidad de predecir expectativas del futuro.
- PV&O (Planificación de ventas y operaciones) Alinea los recursos, incluyendo el tipo y cantidad de éstos, así como la oportunidad con que se cuenta con ellos.
- MRP (planificación de requerimientos materiales). Programa maestro, lista de materiales, trayectoria del proceso, requerimientos, tiempo de espera, liberación planificada de pedido.
- PRC (Planificación de requerimientos de capacidad). Factores globales, listas de capacidad, perfiles de recursos, control de entrada/salida, medidas de capacidad.
- CAP (control de la actividad de producción). Diagramas de Gantt, asignación de prioridades, programación, carga, acciones correctivas.
- Selección de entorno de producción.

MTS (make to stock): existen productos cuya fabricación llega a su forma final, y que se almacenan como productos terminados	ATO (Assemble to Order): el cliente puede seleccionar varias opciones a partir de subarmados predefinidos. El productor “ensamblará” esas opciones para formar el producto final.	MTO (Make to Order): el cliente especifica el diseño exacto del producto o servicio final, siempre y cuando en su fabricación se utilicen materias primas y componentes estándar.	ETO (Engineer to Order) En este caso el cliente tiene prácticamente completo poder de decisión sobre el diseño del producto o servicio.
--	---	---	---

- Sistemas de producción esbelta.
  - Justo a tiempo (JIT), producir lo que se necesita en el momento justo.
  - Administración de la calidad total (TQM), disminuir errores.
  - Sistema Kanban, como método de identificación.
  - Teoría de restricciones (TOC), visualizar y administrar operaciones, mejorar.
  - Técnica Poka-yoke, a prueba de errores.
  - 5 s – clasificar, ordenar, limpiar, estandarizar, mantener, para ambientes de trabajo mejor organizados.
  - Mantenimiento productivo total (TPM) para eliminación de perdidas debidas a paros técnicos en los procesos de producción.
  - Método Kaizen, proceso de mejora continua con acciones concretas y simples que implica a todos los empleados.

(Chapman, 2006)

b) No

**18. ¿Maneja algún tipo de inventario?**

a) Si, especifique:

- Materia Prima. Inventario que debe adquirirse para utilizarlo en el proceso de producción, y que no tiene un valor añadido por el proceso de producción de la compañía.
- Producción en proceso. Inventario que ya ha recibido algún valor agregado, pero que todavía debe sufrir un procesamiento adicional antes de poder utilizarlo para atender la demanda de los clientes.
- Producción terminada. Inventario de aquellos productos que han pasado ya por todo el procesamiento de parte de la empresa. Por lo general dicho inventario se encuentra listo (con la posible excepción del empaque) para atender con él la demanda de los clientes.
- MRO (mantenimiento, reparación y operaciones) acervo de material que se utiliza para dar apoyo a los procesos productivos y de negocio de la empresa,

pero por lo general no está destinado a la venta directa al público. Se compone de partes de repuesto, aceite para maquinaria, suministros de limpieza, suministros de oficina, etcétera.

(Chapman, 2006)

b) No (ir a pregunta 21)

**19. ¿Emplea alguna técnica emplea para contabilizarlo?**

a) Si, especifique:

- Inventario físico completo. implica establecer un periodo determinado para contar físicamente todos los artículos que conforman el inventario para toda la operación. Muchas veces es necesario suspender los procesos de manufactura durante varios días mientras esto se realiza, sobre todo porque suele solicitarse el apoyo de los trabajadores de producción para el conteo. (Chapman, 2006)
- Conteo de ciclo. este método se basa en contar cada artículo a lo largo de un ciclo definido a lo largo del año. Para ello se capacita personal específico (casi siempre como un empleo de tiempo completo) para que realice los conteos de ciclo a lo largo del año. Por lo general esto se hace en lugar del conteo de inventario físico anual, y no como actividad adicional a éste. (Chapman, 2006)
- Otro

b) No

**20. ¿Utiliza algún método de valuación de inventarios?**

a) Si, especifique:

- PEPS – primeras entradas, primeras salidas (Del Río, 1998)
- UEPS – ultimas entradas, primeras salidas (Del Río, 1998)
- Costo promedio (Del Río, 1998)
- Otro

b) No

**21.** ¿Cuáles son los principales problemas que enfrenta para cubrir la demanda?

- a) Materia prima \_\_\_\_\_
- b) Mano de obra \_\_\_\_\_
- c) Maquinaria \_\_\_\_\_
- d) Medio ambiente \_\_\_\_\_
- e) Medición \_\_\_\_\_
- f) Métodos \_\_\_\_\_
- g) Ninguno

#### 4.2.2. Desarrollo de la entrevista

En la investigación desarrollada por Matos *et al* (2017), la duración promedio de las entrevistas fue de 54.34 minutos, alineando los datos con la literatura, la duración promedio de las entrevistas desarrolladas para el presente fue de 54 minutos, el procedimiento de recopilación de datos fue el siguiente:

1. Vía telefónica se acuerda fecha y hora para una reunión con los encargados de las empresas seleccionadas, a través de la llamada se explican los objetivos y temas de la investigación.
2. El día de la fecha acordada, el encargado de la empresa se reúne con el investigador para dar a conocer a detalle la información solicitada vía telefónica.
3. La información recopilada de las entrevistas se plasma en el formato presentado en la Tabla 4.9, a partir del cual ha sido clasificada para su tratamiento.

4. Se realiza una tabulación de los datos en Excel para la elaboración de tablas resumen y graficas que permitan una mejor interpretación de los resultados.

#### 4.2.3. **Análisis de resultados obtenidos en las entrevistas**

Observaciones con respecto a las características de las empresas:

- Del 100% de las empresas, el 80% son pequeñas y el 20% son medianas.
- En la mayoría de los casos (80%) presentan máximo 2 jornadas laborales al día, de entre 8 y 10 horas, siendo sus días laborables de lunes a viernes.
- En cuanto al tipo de maquinaria se observa que 60% de las empresas maneja maquinaria liviana solamente y el 40% maneja tanto maquinaria liviana como pesada, siendo el tipo más común en un 80% de los casos la automatizada (tipo robot)
- En cuanto a la cantidad de máquinas que posee la empresa, el 60% tiene más de 30 máquinas y el 40% menos de 30, sin embargo, ese mismo 60% aprovecha alrededor de 50% de su capacidad, el 40% con menos máquinas aprovecha hasta el 100% de su capacidad.

Con respecto a las metodologías aplicadas para control de producción se observa lo siguiente:

- Se observa un entorno de producción ETO (Engineer to Order), donde el cliente tiene prácticamente completo poder de decisión sobre el diseño del producto o servicio en

100% de los casos, complementando con MTO (Make to Order) en un 40% de los casos.

- Se presenta el uso de pronósticos en el 40% de los casos.
- PV&O en el 80% de los casos.
- MRP en el 80% de los casos.
- PRC en el 40% de los casos.
- CAP en el 100% de los casos.
- JIT en el 100% de los casos.
- TQM en el 60% de los casos.
- Kanban en el 40% de los casos.
- TOC en el 20% de los casos.
- Poka Yoke en el 80% de los casos.
- Metodología 5s en el 100% de los casos.
- TPM en el 100% de los casos.
- Kaizen en el 60% de los casos.
- Metodología 8d en el 20% de los casos.

Con relación a inventarios, únicamente 40% emplea inventarios de MP, PP y PT, pero el 100% presenta inventario de MRO, con técnicas de contabilización de inventarios por conteo de ciclo en un 60% de los casos y por inventario físico completo en el 40% restante. La técnica de valuación más utilizada es PEPS en 60% de las empresas, después costo promedio en 20%, y se presentan casos de empresas que no utilizan ninguno de estos métodos en 20% de los casos. (oportunidad)

Se observa que la mayor parte de los problemas para cubrir la demanda se presentan en materia prima y en mano de obra, siendo los siguientes los más importantes:

- Disponibilidad de materiales debido a pedidos especiales.
- Falta de experiencia, habilidades y especialización en los empleados.

Los cuales se presentan en un 100% de los casos.

Siendo otros de menor recurrencia los que se presentan en maquinaria, medio ambiente, mediciones y métodos, como son:

- La procedencia de la maquinaria y equipos, y el tipo de modelo (antiguos o de proveedor extranjero).
- Condiciones climáticas poco favorecedoras, la necesidad de la correcta disposición de desechos, y pérdida de tiempo por auditorías externas.
- Métodos costosos tanto de medición como de calibración.
- Falta de preparación previa para el proceso, validaciones más dinámicas por parte del cliente y ayudas visuales y capacitación.

Algunas áreas de oportunidad que es posible detectar a simple vista y de forma general son:

- Pronósticos, PRC y CAP – buscar vínculo con MRP
- Kanban
- TOC

- 8d
- Inventarios
- Disponibilidad de materiales debido a pedidos especiales.

Una vez que se ha clasificado la información anterior, es posible continuar con el análisis correspondiente.

#### **4.3. Estudio del proceso o de los procesos**

En esta etapa se busca determinar las necesidades y la causa raíz de las mismas dentro de la empresa objeto de estudio, para lo cual se propone lo siguiente:

- Establecer mapa de proceso de la empresa, se propone el uso de Value Stream Mapping.
- Evaluar mapa de proceso (proceso por proceso) para determinar los principales problemas que se presentan en cada sección.
- Definir causa raíz de los problemas antes mencionados.

##### **4.3.1. Diagrama de flujo**

Para la elaboración del diagrama de flujo del proceso, se han agrupado las operaciones en fases, donde cada fase representa un proceso diferente. Ver Tabla 4.10.

Tabla 4.10 Diagrama de Flujo de proceso

Fase	Descripción	Operación	Decisión	Documento	Transporte	Inspección	Espera	Almacenamiento
		●	◆	■	➔	■	D	▼
1	Solicitud de una necesidad por parte del cliente							
	Investigar componentes, materiales y costos							
	Localizar materiales							
	Cotizar materiales y herramientas							
	Costear la fabricación de acuerdo a materiales y especificaciones							
	Elaborar propuesta o cotización							
	Enviar propuesta al cliente (correo)							
	Verificar que el cliente haya recibido la información							
	Necesario reevaluar propuesta económica							
2	Recibir orden de compra							
	Localizar materiales							
	Revisar inventario de herramientas							
	Ruta de compras de materiales y herramientas							
	Comprar materiales foráneos							
	Elaborar diseño, dibujo o documento							
	Validar diseño con cliente							
3	Medición para corte de material							
	Corte de material							
	Dimensionado de material							
	Verificación de dimensiones							
	Se cumplen dimensiones de diseño							

4	Set up para maquinados en fresadora	■						
	Preparación de herramientas	■						
	Montar pieza en fresadora	■						
	Definir X0, Y0	■						
	Maquinar de acuerdo a plano	■						
	Verificar dimensiones de acuerdo al plano					■		
	Validar pieza	■						
5	Set up para maquinados en torno	■						
	Preparación de herramientas	■						
	Montar pieza en torno	■						
	Medir excentricidad	■						
	Maquinar de acuerdo a plano	■						
	Verificar dimensiones de acuerdo al plano					■		
	Validar pieza	■						
6	Enviar orden a proveedor para maquinado en CNC (correo)	■						
	Recibir componentes ordenados	■						
	Verificar dimensiones y acabados de acuerdo al plano					■		
	Validar pieza	■						
	Componentes aceptados		■					
7	Elaborar ensambles	■						
	Verificar funcionamiento y acabados	■						
	Empaque y etiqueta	■						
	Generar factura	■						
	Imprimir orden de compra y factura	■						
	Entregar en instalaciones de cliente					■		

#### 4.3.2. Mapa de valor de tiempo

A partir del diagrama de flujo, se ha desarrollado el mapa de valor de tiempo para cada fase, ver de la Tabla 4.11 a la Tabla 4.17, donde se muestra la clasificación de las actividades como actividades de valor agregado o de valor no agregado, con sus respectivos tiempos y el porcentaje que le corresponde con respecto al tiempo total de la fase, así mismo, ver de la Figura 4.5 a la Figura 4.11 para analizar el mapa de valor de tiempo, donde, para su correcta interpretación, el tiempo de VNA se escribe en la parte superior, y el tiempo de VA se escribe en la parte inferior del diagrama.

Tabla 4.11 Determinación de VA y VNA para las actividades

de la fase 1.

<b>Descripción</b>	<b>Tiempo (horas) VA</b>	<b>%</b>	<b>Tiempo (horas) VNA</b>	<b>%</b>
Solicitud de una necesidad por parte del cliente	0	0%	1	3%
Investigar componentes, materiales y costos	0	0%	4	13%
Localizar materiales	0	0%	6	19%
Cotizar materiales y herramientas	0	0%	4	13%
Costear la fabricación de acuerdo a materiales y especificaciones	0	0%	8	26%
Elaborar propuesta o cotización	0	0%	2	6%
Enviar propuesta al cliente (correo)	0	0%	0.083333333	0%
Verificar que el cliente haya recibido la información	0	0%	0.25	1%
Necesario reevaluar propuesta económica	0	0%	6	19%
Total	0	0%	31.33333333	100%
Total de la fase	31.33333333			100%

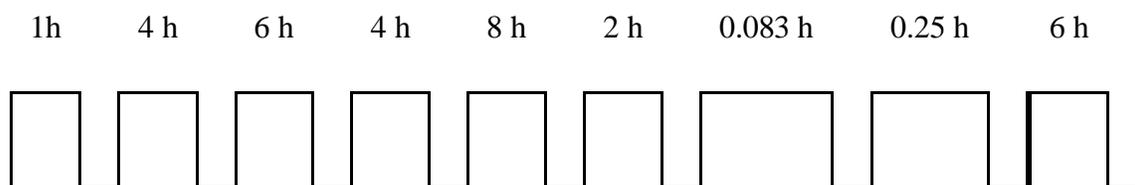


Figura 4.5 Mapa de valor de tiempo de la fase 1

Tabla 4.12 Determinación de VA y VNA para las actividades  
de la fase 2.

<b>Descripción</b>	<b>Tiempo (horas) VA</b>	<b>%</b>	<b>Tiempo (horas) VNA</b>	<b>%</b>
Recibir orden de compra	0	0%	240	74%
Localizar materiales	0	0%	8	2%
Revisar inventario de herramientas	0	0%	1	0%
Ruta de compras de materiales y herramientas	0	0%	2.5	1%
Comprar materiales foráneos	0	0%	48	15%
Elaborar diseño, dibujo o documento	8	2%	0	0%
Validar diseño con cliente	0	0%	16	5%
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>2%</b>	<b>315.5</b>	<b>98%</b>
<b>Total de la fase</b>	<b>323.5</b>			<b>100%</b>

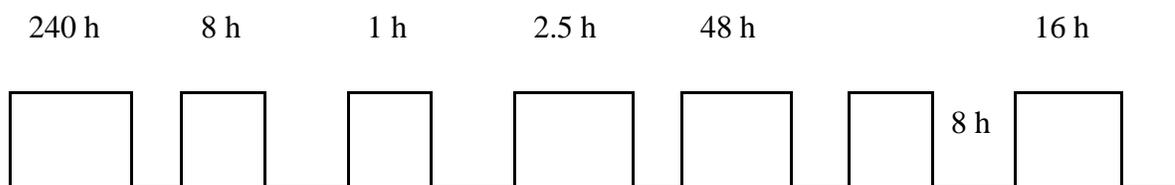


Figura 4.6 Mapa de valor de tiempo de la fase 2.

Tabla 4.13 Determinación de VA y VNA para las actividades de la fase 3.

Descripción	Tiempo (horas) VA	%	Tiempo (horas) VNA	%
Medición para corte de material	0.25	5%	0	0%
corte de material	1	19%	0	0%
dimensionado de material	3	57%	0	0%
verificación de dimensiones	0	0%	1	19%
Se cumplen dimensiones de diseño	0	0%	0	0%
Total	4.25	81%	1	19%
Total de la fase	5.25			100%

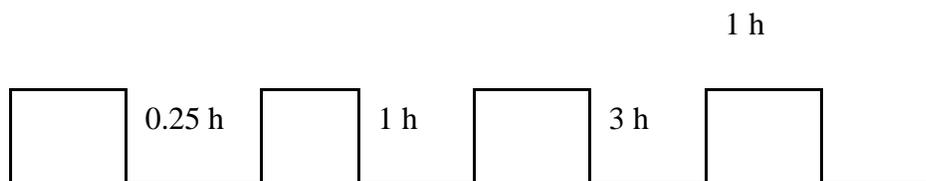


Figura 4.7 Mapa de valor de tiempo de la fase 3.

Tabla 4.14 Determinación de VA y VNA para las actividades

de la fase 4.

Descripción	Tiempo (horas) VA	%	Tiempo (horas) VNA	%
Set up para maquinados en fresadora	2	14%	0	0%
Preparación de herramientas	0	0%	1	7%
Montar pieza en fresadora	0.5	3%	0	0%
Definir X0, Y0	1	7%	0	0%
Maquinar de acuerdo a plano	8	55%	0	0%
Verificar dimensiones de acuerdo al plano	0	0%	1	7%
Validar pieza	0	0%	1	7%
Total	11.5	79%	3	21%
Total de la fase	14.5			100%

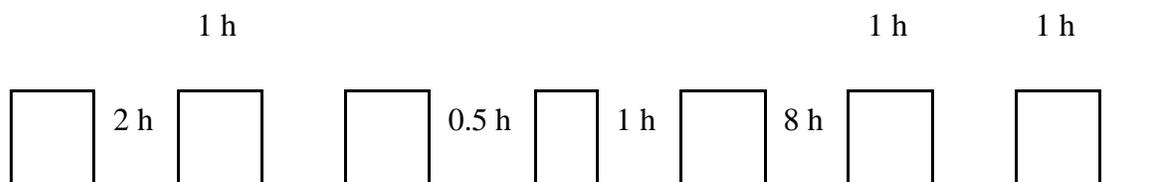


Figura 4.8 Mapa de valor de tiempo de la fase 4.

Tabla 4.15 Determinación de VA y VNA para las actividades de la fase 5.

Descripción	Tiempo (horas) VA	%	Tiempo (horas) VNA	%
Set up para maquinados en torno	0.5	4%	0	0%
Preparación de herramientas	0	0%	2	14%
Montar pieza en torno	0.5	4%	0	0%
Medir excentricidad	1	7%	0	0%
Maquinar de acuerdo a plano	8	57%	0	0%
Verificar dimensiones de acuerdo al plano	0	0%	1	7%
Validar pieza	0	0%	1	7%
Total	10	71%	4	29%
Total de la fase	14			100%

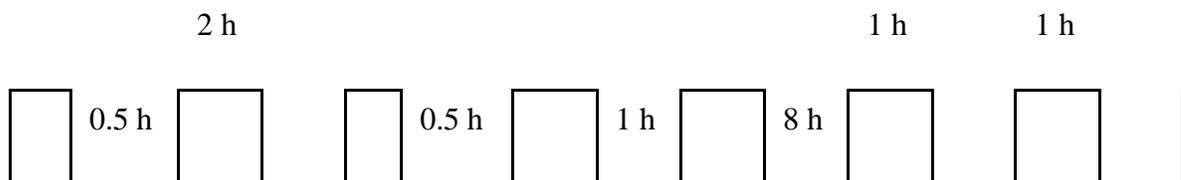


Figura 4.9 Mapa de valor de tiempo de la fase 5.

Tabla 4.16 Determinación de VA y VNA para las actividades  
de la fase 6.

Descripción	Tiempo (horas) VA	%	Tiempo (horas) VNA	%
Enviar orden a proveedor para maquinado en CNC (correo)	0	0%	3	6%
Recibir componentes ordenados	48	91%	0	0%
Verificar dimensiones y acabados de acuerdo al plano	0	0%	1	2%
Validar pieza	0	0%	1	2%
Componentes aceptados	0	0%	0	0%
Total	48	91%	5	9%
Total de la fase	53			100%

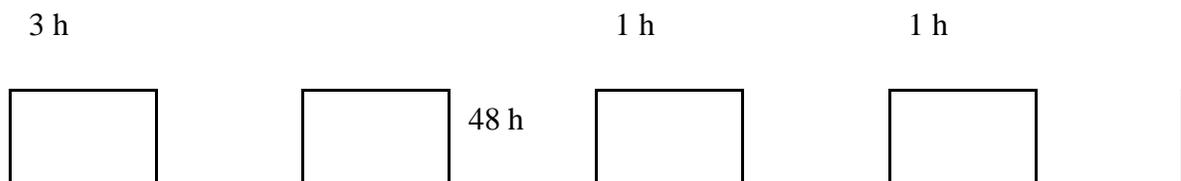


Figura 4.10 Mapa de valor de tiempo de la fase 6.

Tabla 4.17 Determinación de VA y VNA para las actividades

de la fase 7.

Descripción	Tiempo (horas) VA	%	Tiempo (horas) VNA	%
Elaborar ensambles	8	62%	0	0%
Verificar funcionamiento y acabados	2	15%	0	0%
Empaque y etiqueta	0	0%	1	8%
Generar factura	0	0%	0.5	4%
Imprimir orden de compra y factura	0	0%	0.5	4%
Entregar en instalaciones de cliente	1	8%	0	0%
Total	11	85%	2	15%
Total de la fase	13			100%

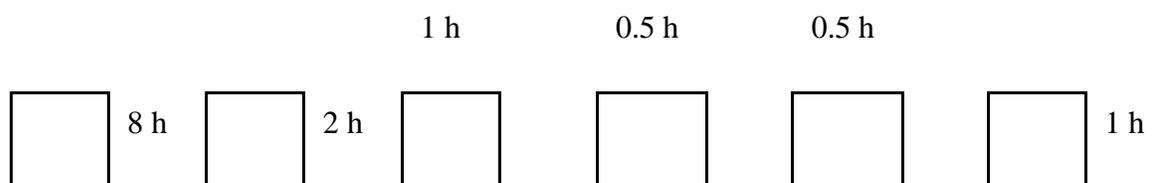


Figura 4.11 Mapa de valor de tiempo de la fase 7.

En la Tabla 4.18 se observa un concentrado de los resultados de VNA y VA obtenidos por fase, con la finalidad de realizar una comparación y obtener algunas conclusiones. En la Figura 4.12 se muestra el porcentaje de VNA por fase respecto al total de VNA, así, es posible afirmar que las fases en las cuales se debe prestar especial atención son la 1 en primer lugar, y la 2 en segundo lugar, ya que presentan los índices de VNA más elevados con 100% y 98% respectivamente.

Tabla 4.18 Concentrado de tiempos y porcentajes por fase.

<b>Fase</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tiempo de VNA (horas)</b>	<b>% VNA (por fase)</b>	<b>Tiempo de VA (horas)</b>	<b>% VA (por fase)</b>	<b>Tiempo total de la fase (horas)</b>	<b>% de la fase respecto al total</b>
1	Propuesta	31.3	100%	0	0%	31.3	7%
2	Orden de compra	315.5	98%	8	2%	323.5	71%
3	Medición y corte de material	1	19%	4.25	81%	5.25	1%
4	Maquinados en fresadora	3	21%	11.5	79%	14.5	3%
5	Maquinados en torno	4	29%	10	71%	14	3%
6	Maquinados en CNC	5	9%	48	91%	53	12%
7	Ensamble y entrega	2	15%	11	85%	13	3%
<b>Total</b>		<b>361.83</b>	<b>80%</b>	<b>92.75</b>	<b>20%</b>	<b>454.583</b>	<b>100%</b>

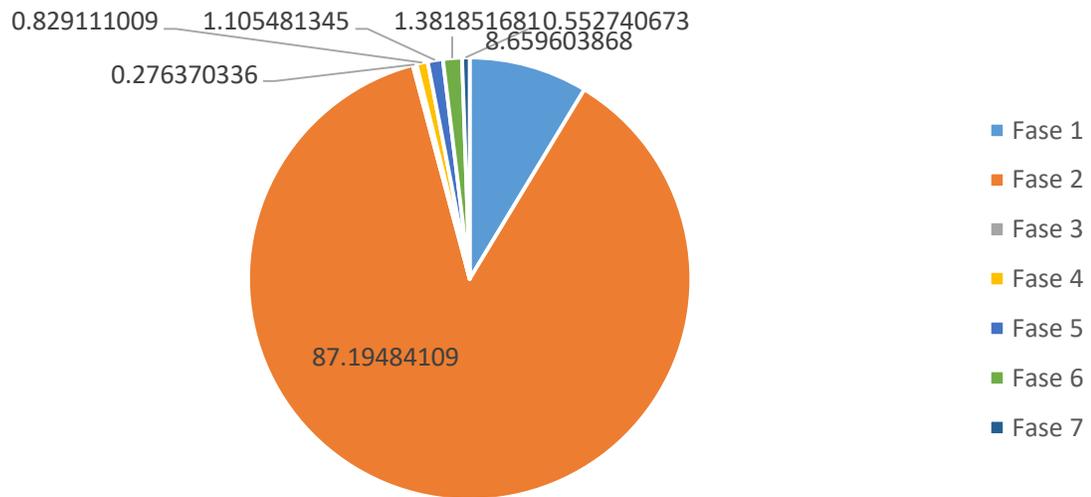


Figura 4.12 Gráfico que muestra el porcentaje de VNA por fase respecto al total de VNA.

#### 4.4. Agrupación de posibles soluciones alternativas, evaluación y eliminación de las no validas

En esta etapa se desea “enlistar” las posibles soluciones al problema planteado, además de la realización de una evaluación (financiera, tecnológica, de impacto ambiental, social) para determinar las no válidas y descartarlas como opción, ver Figura 4.13. Para, finalmente, llegar a la conclusión de cuál es la mejor opción como solución del problema inicial.

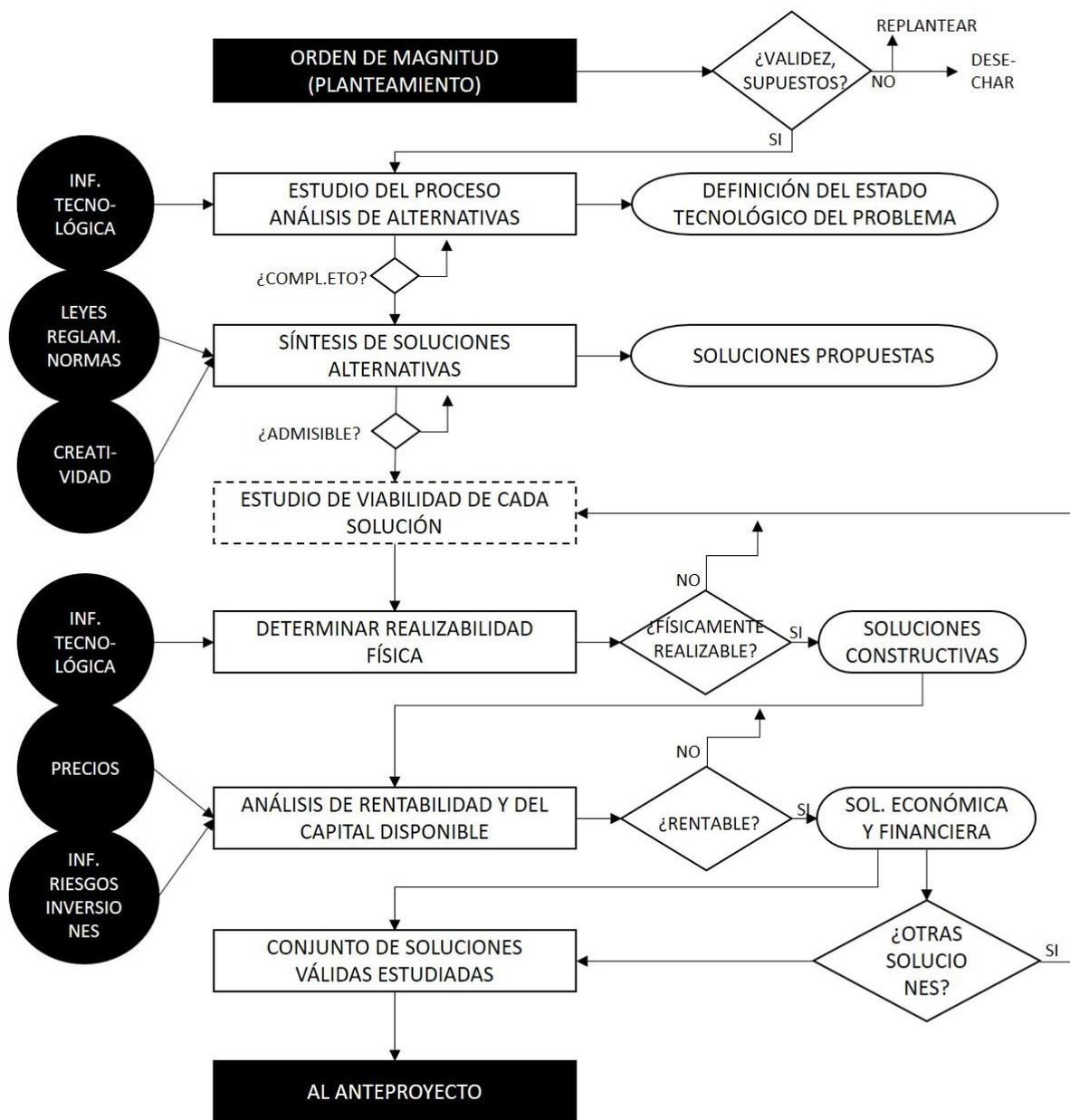


Figura 4.13 Etapas del estudio preliminar

Fuente. Gómez-Senent y Capuz (1999).

Se presenta un enfoque en las fases que presentan mayores porcentajes de VNA, con las siguientes propuestas de solución para disminución de los porcentajes observados.

1. Actualización periódica sobre componentes, materiales y costos estándar para evitar tener que estar investigando en cada propuesta.
  - 1.1 Solicitar a proveedores el envío de listas de precios periódicas (cada determinado periodo de tiempo, vía correo electrónico), para mantener actualizada la base de datos.
  - 1.2 Implementación de metodología MRP.
2. Desarrollar un sistema de cotización para agilizar el proceso de costeo y cotizaciones.
  - 2.1 Se propone la implementación de la herramienta de trabajo estándar, a través del desarrollo de una “tarjeta” estandarizada, la cual permita seleccionar las características del producto solicitado por el cliente con la finalidad de agilizar el método de costeo y cotización.
  - 2.2 Se propone el desarrollo de un programa (software) que permita seleccionar el número y el tipo de operaciones según el diseño del producto, para agilizar el proceso de cotización y costeo, se desarrolla una base de datos como fuente de alimentación en la determinación de costos. Metodología aplicada según López *et al* (2019):
    - 2.2.1 Formulación del problema al que se enfrenta la empresa de manufactura
    - 2.2.2 Definición de los parámetros y variables para generar un modelo de simulación del proceso llevado a cabo por la empresa
    - 2.2.3 Proceso de la recopilación y análisis de los datos (las listas de tiempos de ejecuciones para cada una de las estaciones, los tiempos de llegada de un nuevo lote de cajas, la organización de las líneas de ensamblaje y el historial de pedidos)

- 2.2.4 Formular el modelo de simulación
  - 2.2.5 Trasladar el modelo a un lenguaje de programación
  - 2.2.6 Simulación del modelo para obtener resultados y observar su comportamiento (ver donde se debe reducir el tiempo y como)
  - 2.2.7 Validación del modelo para comprobar si se ajusta a sistema real
3. Se propone la implementación de un inventario de herramientas y materiales estándar para la disminución del tiempo de búsqueda y compras (Kanban), en función de la lógica CIMO (contexto-intervención-mecanismo-resultados), propuesta por Nurmala *et al* (2017); en un contexto (C), las intervenciones (I) se utilizan para generar mecanismos (M), que conducirán a resultados (O).
  4. Catálogo de productos para ofrecer al cliente (ofrecer operaciones o prototipos básicos)

Para la selección de la alternativa más viable, se analiza la posibilidad de aplicar alguna de las técnicas para ayuda a la toma de decisiones multicriterio, se decide utilizar la técnica de análisis por Suma Producto, en la Tabla 4.19 se muestra un resumen de las alternativas que se evaluarán en la toma de la decisión, así mismo, en la tabla 4.20 se mencionan los criterios utilizados para llevar a cabo dicha evaluación, se incluye una breve descripción de cada criterio.

Tabla 4.19 Resumen de alternativas.

<b>Alternativas</b>	
A1	Envío de listas de precio periódicas
A2	Implementación de MRP
A3	Tarjeta estandarizada
A4	Software para cotizaciones
A5	Inventario de herramientas y materiales estándar
A6	Catálogo de productos

Tabla 4.20 Criterios a considerar para el análisis multicriterio.

<b>Criterios</b>		<b>Descripción criterio</b>
C1	Costo de implementación	Costo total por implementar la alternativa
C2	Plazo	Tiempo que tomará la implementación hasta la puesta en marcha
C3	Consideraciones tecnológicas	Tecnología que se debe considerar para la correcta implementación
C4	Influencia del entorno	Nivel de influencia de los factores externos (proveedores, clientes, políticas gubernamentales)
C5	Complejidad	Definir si se presentan complicaciones en la implementación por la naturaleza de la alternativa
C6	Nivel de criticidad	Determinar si la alternativa representa un punto crítico para la empresa
C7	Factibilidad	Nivel de posibilidades para implementar la alternativa

En las Tablas 4.21, 4.22 y 4.23 se muestran los datos obtenidos de los diferentes cálculos desarrollados para obtener el resultado de la mejor alternativa de solución para el planteamiento del problema. En la Tabla 4.21 se presenta la matriz original con las alternativas calificadas según cada criterio y su objetivo (minimizar o maximizar), en función de la

importancia de cada una; las calificaciones asignadas son cualitativas, ya que más que un medible, estas representan un atributo para la alternativa, y la calificación muestra su nivel de relevancia o el peso que aporta a la misma, siendo 10 la calificación para un criterio de mayor relevancia y el 1, una calificación para un relevancia menor, casi insignificante, por ejemplo, para el criterio C1 Costo de implementación, una calificación de 10 indica un costo muy alto de implementación, y una calificación de 1 indica un costo muy bajo, lo cual se desarrolló de la manera antes descrita debido a la incertidumbre en los datos reales para estos criterios.

Tabla 4.21 Planteamiento original de la matriz multicriterio.

<b>Criterio</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>	<b>C7</b>	<b>Total</b>	
Max/min	Min	Min	Min	Min	Min	Max	Max		
Calificación	8	8	7	6	8	10	10	57	
Porcentaje	0.14035	0.14035	0.12281	0.10526	0.14035	0.17544	0.1754	1	
<b>Alternativa</b>	<b>A1</b>	4	3	2	10	3	4	8	34
	<b>A2</b>	8	10	9	5	9	6	5	52
	<b>A3</b>	5	1	1	2	1	8	9	27
	<b>A4</b>	10	8	8	7	8	10	6	57
	<b>A5</b>	7	9	6	8	7	1	1	39
	<b>A6</b>	6	6	4	4	5	3	3	31
<b>Total</b>	40	37	30	36	33	32	32		

En la Tabla 4.22 se presenta la matriz normalizada al cabo de todas las operaciones, la normalización es un paso muy importante en el procedimiento del análisis para la toma de decisiones multicriterio, ya que la normalización asegura que todos los criterios se encuentren medidos en las mismas unidades, independientemente de la técnica que se haya utilizado para

calificar, de esta forma se evita “favorecer” a alguno de los criterios y así, se evitan problemas de veracidad en resultados al momento de realizar las debidas comparaciones entre alternativas.

Tabla 4.22 Matriz normalizada.

<b>Criterio</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>	<b>C7</b>	
Max/min	Min	Min	Min	Min	Min	Max	Max	
Calificación	8	8	7	6	8	10	10	
Porcentaje	0.14035	0.14035	0.12281	0.10526	0.14035	0.17544	0.1754	
<b>Alternativa</b>	<b>A1</b>	0.1	0.08108	0.06667	0.27778	0.09091	0.125	0.25
	<b>A2</b>	0.2	0.27027	0.3	0.13889	0.27273	0.1875	0.1563
	<b>A3</b>	0.125	0.02703	0.03333	0.05556	0.0303	0.25	0.2813
	<b>A4</b>	0.25	0.21622	0.26667	0.19444	0.24242	0.3125	0.1875
	<b>A5</b>	0.175	0.24324	0.2	0.22222	0.21212	0.03125	0.0313
	<b>A6</b>	0.15	0.16216	0.13333	0.11111	0.15152	0.09375	0.0938
<b>Total</b>	1	1	1	1	1	1	1	

En la Tabla 4.23 se muestra la conversión de todos los criterios a minimización para asegurar la concordancia entre calificaciones, en este paso es necesario que todas las calificaciones se midan en el mismo sentido, ya sea como maximización o como minimización, ¿Por qué se decidió minimizar los resultados? Al tener siete criterios en consideración, de los cuales cinco se analizan con el objetivo de minimizar, es más sencillo convertir los dos restantes que se deben maximizar (C6 y C7), a minimizar, en lugar de hacer lo contrario, ya que en ese caso tendríamos que convertir cinco criterios. Para realizar este procedimiento, solamente es necesario multiplicar por  $-1$  a toda la columna del criterio que se desea convertir de maximización a minimización. Además, en la Tabla 4.23 también se observa la columna “Vector de resultados por alternativa”, la cual muestra los resultados de la operación Suma

Producto, que es la que se obtiene de la sumatoria de los productos del valor de la alternativa y el porcentaje del criterio, y se obtiene por renglón, es decir, para cada alternativa, por ejemplo, para la alternativa A1 se realizan los siguientes cálculos:

$$\begin{aligned}
 4.1 \quad & (\text{porcentaje C1}) (\text{alternativa A1 respecto a C1}) + \\
 & (\text{porcentaje C2}) (\text{alternativa A1 respecto a C2}) + \\
 & (\text{porcentaje C3}) (\text{alternativa A1 respecto a C3}) + \\
 & (\text{porcentaje C4}) (\text{alternativa A1 respecto a C4}) + \\
 & (\text{porcentaje C5}) (\text{alternativa A1 respecto a C5}) + \\
 & (\text{porcentaje C6}) (\text{alternativa A1 respecto a C6}) + \\
 & (\text{porcentaje C7}) (\text{alternativa A1 respecto a C7})
 \end{aligned}$$

Al realizar la sustitución de la fórmula:

$$\begin{aligned}
 4.2 \quad & (0.14035)(0.1) + (0.14035)(0.08108) + \\
 & (0.12281)(0.06667) + (0.10526)(0.27778) + \\
 & (0.14035)(0.09091) + (-0.1754)(-0.125) + \\
 & (-0.1754)(-0.25)
 \end{aligned}$$

Se obtiene como resultado:

$$4.3 \quad \text{valor por alternativa 1} = 0.14139043$$

Una vez hecho este procedimiento para cada alternativa, se comparan los resultados obtenidos para determinar cuál es la mejor alternativa bajo el objetivo de minimización, lo cual significa que se debe seleccionar la alternativa con menor puntuación.

Tabla 4.23 Conversión de criterios de Max a Min y vector de resultados.

<b>Criterio</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>	<b>C7</b>	Vector de resultados por alternativa	
Max/min	Min								
Calificación	8	8	7	6	8	-10	-10		
Porcentaje	0.14035	0.14035	0.12281	0.10526	0.14035	-0.1754	-0.1754		
<b>Alternativa</b>	<b>A1</b>	0.1	0.08108	0.06667	0.27778	0.09091	-0.125	-0.25	0.14139043
	<b>A2</b>	0.2	0.27027	0.3	0.13889	0.27273	-0.1875	-0.1563	0.21604936
	<b>A3</b>	0.125	0.02703	0.03333	0.05556	0.0303	-0.25	-0.2813	0.12873346
	<b>A4</b>	0.25	0.21622	0.26667	0.19444	0.24242	-0.3125	-0.1875	0.24039398
	<b>A5</b>	0.175	0.24324	0.2	0.22222	0.21212	-0.0313	-0.0313	0.14739033
	<b>A6</b>	0.15	0.16216	0.13333	0.11111	0.15152	-0.0938	-0.0938	0.12604243
<b>Total</b>	1	1	1	1	1	-1	-1		

En la Figura 4.14 se muestra un gráfico que representa el puntaje obtenido por cada alternativa, en este grafico es evidente que la mejor alternativa se encuentra entre A3 y A6 ya que, continuando con el objetivo de minimización, se busca el menor puntaje, lo cual se confirma en la Tabla 4.24, donde se muestran los puntajes obtenidos en cada alternativa, ordenados de forma ascendente.

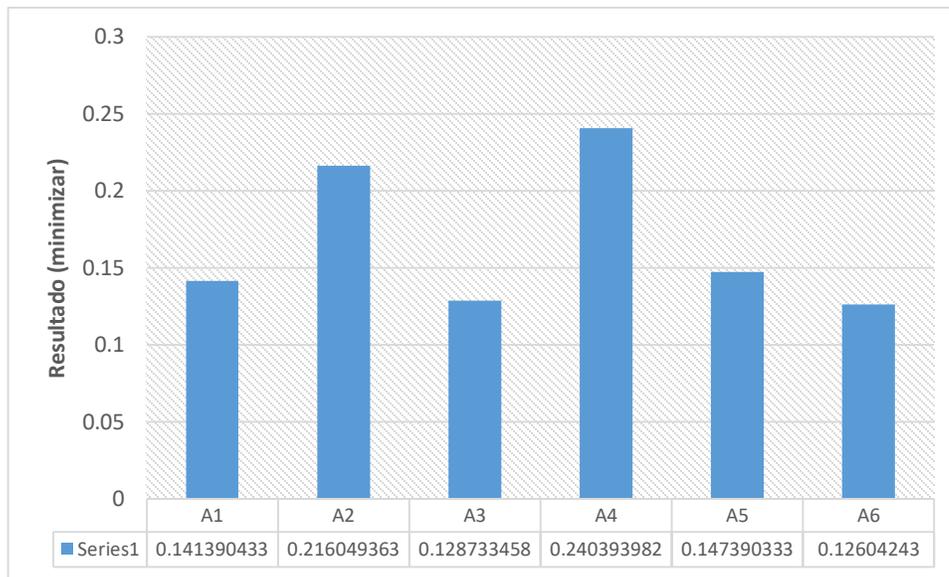


Figura 4.14 Resultados de análisis multicriterio de alternativas de solución

Tabla 4.24 Alternativas y vector de resultados en orden ascendente.

Alternativa	Puntuación
A6	0.126
A3	0.129
A1	0.141
A5	0.147
A2	0.216
A4	0.240

Al analizar los resultados obtenidos, se aprecia claramente que las alternativas A6 Catálogo de productos y A3 Tarjeta estandarizada, son las más viables, ya que cuentan con la menor puntuación y al observar que sus puntajes son bastante cercanos entre sí, se concluye que una buena opción es realizar una “mezcla” entre ellas, por lo cual se propone la definición

de un procedimiento que permita combinarlas de algún modo para obtener una herramienta de solución un tanto más compleja y asegurar que de alguna manera se pueda abarcar un porcentaje más amplio de las áreas objeto de estudio para la solución del problema.

#### **4.5. Programación del diseño básico o anteproyecto, formulación de modelos**

Una vez que se ha seleccionado una opción como válida, se procede con el diseño de la misma, en función de las necesidades establecidas previamente y con el objetivo de solucionar el planteamiento del problema que se presenta.

#### **4.6. Análisis de sensibilidad, de compatibilidad y estabilidad de variables**

Así mismo, se desea analizar y verificar la factibilidad del diseño establecido y validarlo para ofrecer su implementación en el sistema de la empresa. En primer lugar, se desarrolla el análisis de sensibilidad (determinación de factores que afectan en mayor medida y ajustarlos), seguido del análisis de compatibilidad (entre variables, por ejemplo, tolerancias geométricas, acoplamiento de componentes, seguridad, tolerancia química), finalizando con el análisis de estabilidad (estudio del comportamiento del sistema para determinar posibles causas de inestabilidad), todos estos análisis para confirmar lo anterior.

## 4.7.Optimización

Ya que se han validado las etapas anteriores, se utiliza la optimización para producir resultados favorables en el desarrollo del proyecto, así, se aplica diseño de experimentos que conduzca a la “Mejora continua” en el proceso, ver Figura 4.15 y Figura 4.16.

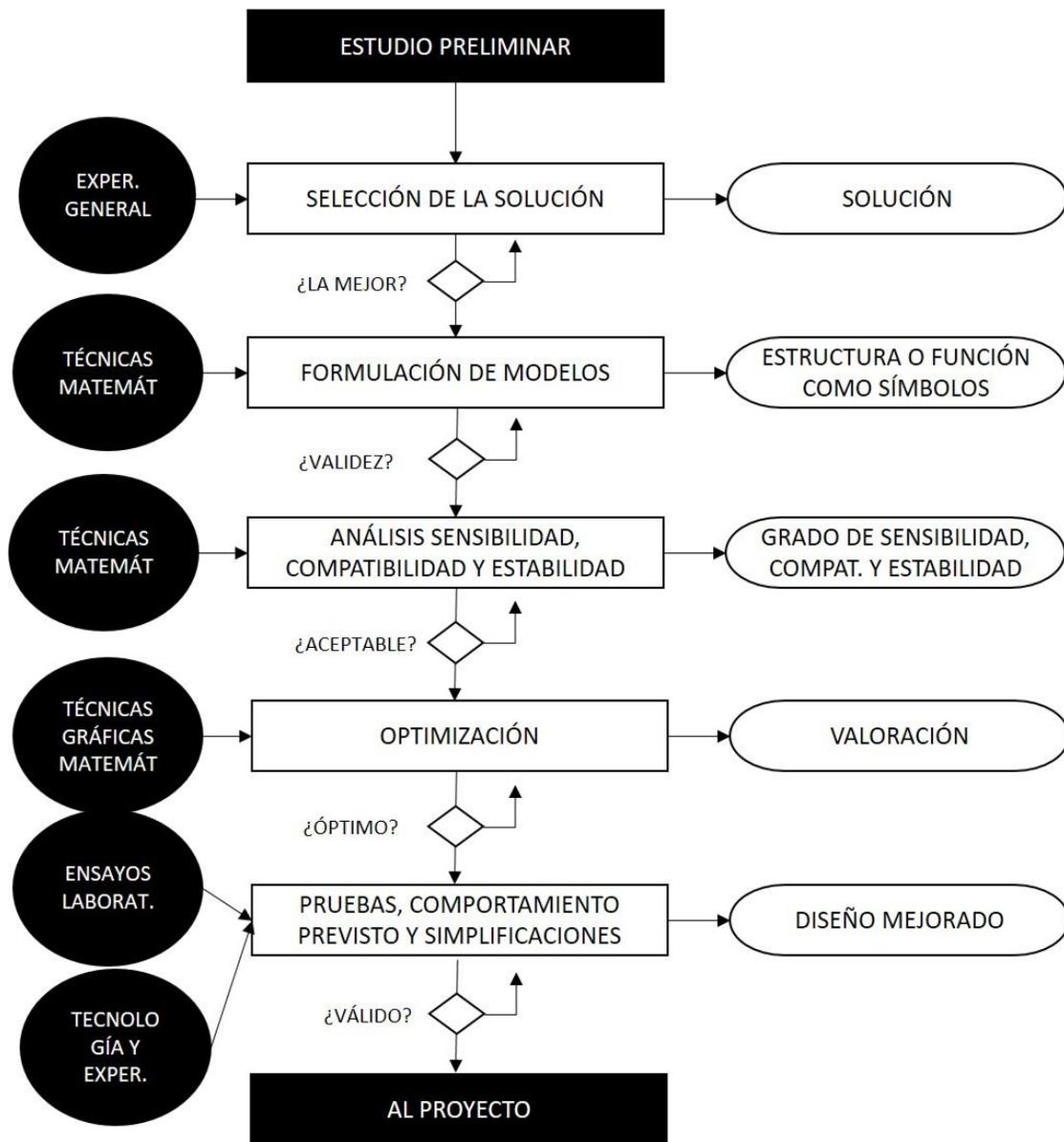


Figura 4.15 Etapas de la fase Anteproyecto (macroestructura).

Fuente. Gómez-Senent y Capuz (1999).

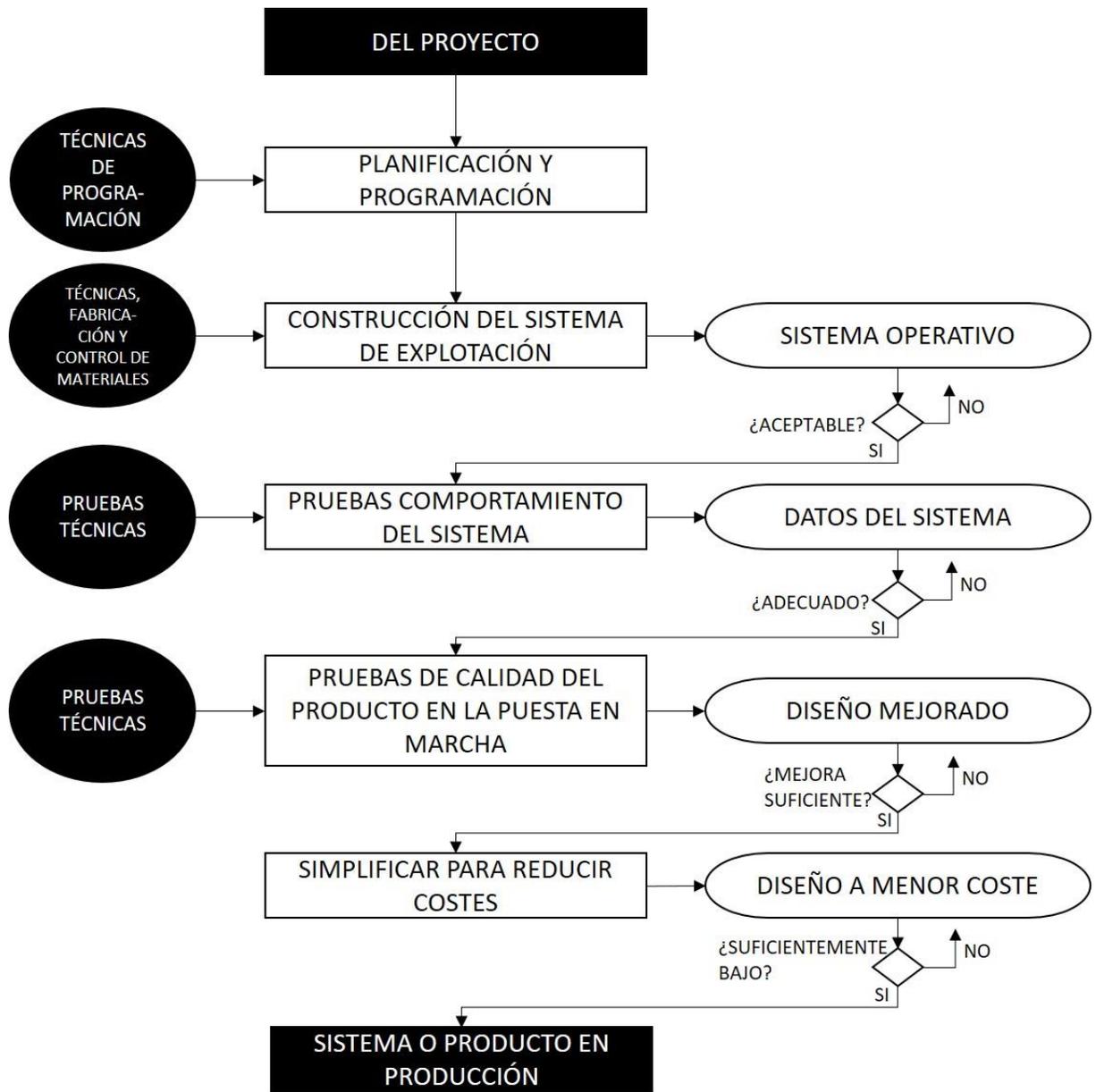


Figura 4.16 Etapas de la fase de realización

Fuente. Gómez-Senent y Capuz (1999).

## 5. RESULTADOS

En esta investigación se realizó un análisis sobre distintas técnicas y/o herramientas de ingeniería industrial que podrían aplicarse en la empresa objeto de estudio, con el único propósito de encontrar la más apropiada para el control de producción y las ordenes de trabajo, sin embargo, este proyecto se ha presentado únicamente como una propuesta, ya que los directivos de la empresa son quienes tienen la última palabra respecto a la implementación del mismo, según sus necesidades, sin mencionar que otro factor importante que ha limitado el proceso de implementación y ejecución de la herramienta seleccionada durante el desarrollo de la investigación, es el tiempo que se tiene disponible para su aplicación, ya que el proceso de implementación, evaluación, optimización y mejora puede llegar a ser muy extenso, por estos motivos es que no se observan ni se registran resultados cuantitativos en cuanto a reducción de tiempos de VNA y costos.

Los resultados esperados después de la implementación del proyecto son:

- Proceso controlado y estandarizado
- Optimización en el uso de recursos
- Producto terminado de la mejor calidad a menor costo
- Satisfacción del cliente

## 6. CONCLUSIONES

Se selecciona un proyecto de investigación con aplicación en una empresa de maquinados convencionales debido a la gran variedad de necesidades dentro de la misma, se recomienda la continuidad del presente proyecto para ofrecer soluciones, las cuales pueden ser aplicables no sólo en el área industrial, sino en distintas áreas de conocimiento. En esta investigación se confirman las principales causas que han llevado al crecimiento de la industria metal – mecánica en la ciudad de Chihuahua, a través del diagnóstico obtenido sobre la misma, lo anterior conlleva a la eficiente identificación de las áreas de oportunidad tanto de la industria metal – mecánica en general, en la ciudad de Chihuahua, como en la empresa objeto de estudio, ya que se ha realizado una comparación con diferentes empresas del ramo, lo cual ha guiado a una evaluación eficiente de su sistema de producción y a la elección de la metodología de solución más adecuada para el problema planteado.

A través del análisis de distintas bibliografías, como libros y artículos, se encontraron algunas metodologías y/o herramientas de ingeniería industrial que podrían haber sido de utilidad para la solución del problema antes mencionado, las cuales se han evaluado para determinar la más adecuada, llegando a la conclusión de que un catálogo de productos y una tarjeta estandarizada son las herramientas más viables para su aplicación dentro del sistema de producción de la empresa.

## 7. REFERENCIAS

- Báez, O., Torres, R., Alvarado, A., Ortiz, F., y Moras, G., (2008) Metodología de ayuda a la decisión para el plan de producción en sistemas de manufactura flexible. *Revista de la Ingeniería Industrial*, 2, 1-13.
- Banco Bilbao Vizcaya Argentina S.A. (2019) *Clasificación de empresas según su tamaño*. Obtenido de <https://www.bbva.es/general/finanzas-vistazo/empresas/clasificacion-de-empresas-por-tamano/index.jsp> (2019).
- Bermúdez, M., Espinoza, S., y Arias, C., (2017) Diseño e implementación de un sistema de control de gestión en una empresa de manufactura para mejorar su desempeño. *DSpace en Escuela Superior Politécnica del Litoral*.
- Bravo, J. (2008) *Gestión de procesos*. Editorial Evolución. Santiago, Chile, 2008.
- Cámara Nacional de la Industria de Transformación (CANACINTRA), (2015). *Estudio para determinar la competitividad de la industria metalmecánica de la CANACINTRA. Entregable final*. México, 2015.
- Caparoso, I., Avilés, O. y Hernández, J. (1999) *Una introducción a la Robótica industrial*. Revista de la Facultad de Ingeniería. Universidad Militar Nueva Granada (1999), 53 – 67.
- Capuz, S. (1999) *Introducción al proyecto de producción. Ingeniería concurrente para el diseño de producto*. Universidad Politécnica de Valencia. Servicio de Publicaciones. Valencia, España, 1999.
- Cengel, Y. y Boles, M. (2012) *Termodinámica*. MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES. México, D. F, 2012.

- Chapman, S (2006). *Planificación y control de la producción*. Pearson Education, México, 2006.
- Chapman, S. (2012) *Máquinas eléctricas*. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES. México, D. F, 2012.
- Chase, R., Jacobs, R. y Aquilano, N, (2009) *Administración de operaciones: Producción y cadena de suministro*. Mc Graw Hill. México, 2009.
- Chen, M., and Abrishami, P. (2014) *A mathematical model for production planning in hybrid manufacturing-remanufacturing systems*. Int J Adv Manuf Technol (2014) 71:1187–1196.
- Darsan, S., Chandra, R. and Sankar, S. (2017). Study on Performance of EDM Electrodes Produced Through Rapid Tooling Route. *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, 16(4), 357-374 (2017) World Scientific Publishing Company.
- De Weerd, Mathijs., Van Den Bogaerd, Pim. (2018) Multi-machine scheduling lower bounds using decision diagrams. *Operations Research Letters*, 46, 616–621, 2018.
- Del río González, C. (1998) *Costos I*. Editorial Ecafsa. México, 1998.
- Ebner, J., Young, P. and Geraghty, J. (2019) *Intelligent self-designing production control strategy: Dynamic allocation hybrid pull-type mechanism applicable to closed-loop supply chains*. *Computers & Industrial Engineering* 135 (2019) 1127–1144
- Gaia, G., Pacifici, A. and Pferschy, U. (2017) *Competitive multi-agent scheduling with an iterative selection rule*. *4OR-Q J Oper Res* (2018) 16:15–29
- Gaither, N. y Frazier, G. (2007) *Administración de producción y operaciones*. International Thomson. Estados Unidos, 2007.

- Gao, Q, and Lu, X. (2013) *Two machine flow shop scheduling with individual operation's rejection*. Asia-Pacific Journal of Operational Research, Vol. 31, No. 1 (2014) 1450002 (13 pages).
- Goldratt, E. y Cox, J. (1996) *La meta. Un proceso de mejora continua*. Ediciones Castillo. Nuevo León, México, 1996.
- Gómez – Senet, E. (Ed.) y Capuz, S. (Ed.). (1999) *El Proyecto y su Dirección y Gestión*. Universidad Politécnica de Valencia. Servicio de Publicaciones. Valencia, España, 1999.
- González, C., Hernández, M. y Jiménez, J. (2019) *Propuesta de método para identificar factores que contribuyen al buen funcionamiento de una línea de producción metal mecánica*. Theorema Revista Científica. Vol. 10, enero–junio 2019: 76 – 81.
- Gutiérrez, E., Hurtado, M., Panteleeva, O. y González, C. (2013) *Aplicación de un modelo de inventario con revisión periódica para la fabricación de transformadores de distribución*. Ingeniería Investigación y Tecnología, volumen XIV (número 4), octubre-diciembre 2013: 537-551.
- Hamidi, M., Shahanaghi, K., Jabbarzadeh, A., Jahani, E., y Pousti, Z. (2017) *Determining production level under uncertainty using fuzzy simulation and bootstrap technique, a case study*. *J Ind Eng Int*, 13, 487–497.
- Huete, C., Martínez, D. y Sánchez, M. (2017). *Apuntes de máquinas hidráulicas*. Universidad Carlos III de Madrid, Escuela Politécnica Superior, Leganés (2017)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2018). *Síntesis metodológica del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte, México SCIAN 2018*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México: INEGI, 2018.

- Krim, H., Benmansour, R., Duvivier, D., and Artiba, A. (2019) *A variable neighborhood search algorithm for solving the single machine scheduling problem with periodic maintenance*. RAIRO Operations Research, 53 (2019), 289 – 302.
- Krimi, I., Benmansour, R., Hanafi, S., and Elhachemi, N. (2019) *Two-machine flow shop with synchronized periodic maintenance*. RAIRO Operations Research, 53 (2019), 351 – 365.
- López, A., González, A., y Alcaraz, S. (2019) *Simulación para la optimización de la producción de ejes en la línea de ensamblaje de una empresa de manufactura*. Ingeniería Investigación y Tecnología. Vol XX, No. 1 (2019) 1-9.
- Matos, M., Lopes de Sousa, A., Kannan, D., and Chiappetta, C. (2017) *Contingency theory, climate change, and low-carbon operations management*, Supply Chain Management: An International Journal, Vol. 22 Issue: 3, pp.223-236.
- Nurmala, N., de Leeuw, S. and Dullaert, W. (2017) *Humanitarian–business partnerships in managing humanitarian logistics*, Supply Chain Management: An International Journal, Vol. 22 Issue: 1, pp.82-94.
- Ortiz, F., Nuño, P., Torres, R. y Báez, O. (2008) *Comparación del sistema de costos estándar y la teoría de restricciones para el control del flujo de materiales mediante un modelo de simulación*. Academia Journals, vol. 2, no. 1, 14–28.
- Parry, G., Brax, S., Maull, R. and Ng, I., (2016) *Operationalising IoT for reverse supply: the development of use-visibility measures*, Supply Chain Management: An International Journal, Vol. 21 Issue: 2, pp.228-244.

- Pellicer, E., Catalá, J. y Pellicer, E. (2000) *Prontuario de la Investigación Científica*. Universidad Politécnica de Valencia. Servicio de Publicaciones. Valencia, España, 2000.
- Pérez, D., Fernández, C. y Pérez, I. (2015) *Asignación de la producción en área de moldeo con el uso del modelo de tamaño de lote capacitado*. *Theorema Revista Científica*, 42 – 47.
- Ramírez, M., González, A., Ramírez, A., Rivas, L., y Arrendo, F. (2018) *Mejoramiento de la gestión del almacén aplicando herramientas de mejora continua*. *Theorema Revista Científica*, 159–166.
- Rodríguez, M., Rodríguez, L., Híjar, H. y Rodríguez M. (2015) *Modelo de ponderación para la toma de decisiones multicriterio*. *Theorema Revista Científica*, 56 – 62.
- Salazar, E. y Medina, J. (2013) *Minimización del makespan en máquinas paralelas idénticas con tiempos de preparación dependientes de la secuencia utilizando un algoritmo genético*. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, volumen XIV (número1), enero-marzo 2013: 43-51.
- Salazar, E. y Rojas, R. (2010) *Configuración multi-objetivo de sistemas de producción utilizando estrategias evolutivas*. *Ingeniería Investigación y Tecnología*. Vol.XI. Núm.4. 2010 423-420, ISSN 2594-0732, FI-UNAM (artículo arbitrado) DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/fi.25940732e.2010.11n4.036>
- Salazar, E. y Schriels, G. (2014). *Estrategias evolutivas para la minimización del makespan en una máquina con tiempos de preparación dependientes de la secuencia*. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, volumen XV (número 1), enero-marzo 2014: 1-10.

- Schrage, L. (1970) *Solving Resource-Constrained Network Problems by Implicit Enumeration—Preemptive Case*. University of Chicago, Chicago, Illinois.
- Taborga, H. (1966) *La Tesis de Grado. Técnica de Elaboración*. Los Amigos del Libro. La Paz, Cochabamba, Bolivia, 1966.
- Treiblmaier, H. (2018) *The impact of the blockchain on the supply chain: a theory-based research framework and a call for action*, Supply Chain Management: An International Journal, Vol. 23 Issue: 6, pp.545-559.
- Viergutz, C. and Knust, S. (2014) *Integrated production and distribution scheduling with lifespan constraints*. Ann Oper Res (2014) 213:293–318.