

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



## FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMA, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

### MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

**Tema:** **“SISTEMA DE PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN MEDIANTE UN PLAN AGREGADO DE PRODUCCIÓN, PARA EL MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD”.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado académico de Magister en Producción y Operaciones Industriales.

Modalidad de Titulación: Proyecto de Desarrollo

**Autor:** Ing. Edison Saúl Córdova Córdova

**Director:** Ing. Jaime Iván Acosta Velarde Mg.

Ambato – Ecuador

2021

## **APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

El Tribunal receptor de la Defensa del Trabajo de Titulación presidido por la Ingeniera Elsa Pilar Urrutia Urrutia Magíster, Presidenta del Tribunal, e integrado por los señores: Ingeniero Israel Ernesto Naranjo Chiriboga Magister., Ingeniero Edwin Leonardo Sánchez Almeida Magister., designados por la Unidad Académica de Titulación de Posgrado de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “SISTEMA DE PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN MEDIANTE UN PLAN AGREGADO DE PRODUCCIÓN, PARA EL MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD”, elaborado y presentado por el Señor, Ingeniero Edison Saúl Córdova Córdova, para optar por el Grado Académico de Magister en Producción y Operaciones Industriales; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la Universidad Técnica de Ambato.

-----  
Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia Mg.  
Presidenta y Miembro del Tribunal de Defensa

-----  
Ing. Israel Ernesto Naranjo Chiriboga Mg.  
Miembro del Tribunal de Defensa

-----  
Ing. Edwin Leonardo Sánchez Almeida Mg.  
Miembro del Tribunal de Defensa

## **AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: “SISTEMA DE PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN MEDIANTE UN PLAN AGREGADO DE PRODUCCIÓN, PARA EL MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD”, le corresponde exclusivamente al: Ingeniero Edison Saúl Córdova Córdova, Autor bajo la Dirección del Ingeniero Jaime Iván Acosta Velarde Magíster, Director del Trabajo de Titulación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

-----  
Ing. Edison Saúl Córdova Córdova  
**AUTOR**

-----  
Ing. Jaime Iván Acosta Velarde Mg.  
**DIRECTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad Técnica de Ambato.

-----  
Ingeniero Edison Saúl Córdova Córdova  
c.c.: 180283788-8

## ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR .....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
AGRADECIMIENTO .....	xi
DEDICATORIA .....	xii
RESUMEN EJECUTIVO .....	xiii
EXECUTIVE SUMMARY.....	xv
CAPITULO I.....	1
1.1    Introducción.....	1
1.2    Justificación.....	2
1.3    Objetivos .....	2
1.3.1    General .....	2
1.3.2    Específicos .....	2
CAPITULO II .....	3
2.1    Fundamentación teórica .....	3
2.1.1    Planificación de la producción .....	3
2.1.2    Pronóstico de la demanda.....	5
2.1.3    Plan agregado de la producción .....	6
2.1.4    Plan maestro de la producción .....	6
2.2    Revisión de literatura.....	7
2.2.1    Gestión de la producción.....	7
2.2.2    Pronósticos de la demanda.....	9
2.2.3    Planificación agregada de la producción.....	10
2.2.4    Plan maestro de producción .....	12
CAPITULO III .....	14
3.1    Ubicación.....	14
3.2    Equipos y materiales .....	15

3.3	Tipo de Investigación .....	15
3.3.1	Descriptiva .....	15
3.3.2	Cuantitativa .....	15
3.3.3	Correlacional .....	16
3.4	Prueba de hipótesis .....	16
3.5	Población o muestra .....	17
3.6	Recolección de información .....	18
3.7	Procesamiento de la información y análisis estadístico .....	19
3.8	Variables respuesta .....	20
3.8.1	Variable independiente.....	20
3.8.2	Variable dependiente.....	21
CAPITULO IV .....		22
4.1	Productos de la empresa .....	22
4.2	Distribución de planta para la fabricación de máquinas industriales .....	23
4.3	Proceso de fabricación de máquinas industriales .....	24
4.4	Modelo de gestión de planificación de la producción .....	25
4.5	Análisis de la situación actual de la planificación de la producción .....	26
4.5.1	Productividad antes del diseño del sistema de planificación .....	26
4.5.2	Horas disponibles de trabajo .....	26
4.5.3	Horas reales de trabajo .....	27
4.5.4	Producción mensual promedio .....	29
4.5.5	Producción planificada.....	30
4.5.6	Productividad, eficiencia y eficacia antes del sistema de planificación.....	30
4.6	Pronóstico de la demanda.....	31
4.6.1	Horizonte y análisis de las máquinas a pronosticar .....	31
4.6.2	Análisis de ventas históricas .....	33
4.6.3	Análisis estadístico de la serie de datos .....	33
4.6.4	Seleccionar el modelo de pronóstico de ventas.....	38
4.6.5	Pronóstico de la demanda de las máquinas industriales.....	39
4.6.6	Pronósticos de sierra circular de 600 mm .....	39
4.6.7	Pronósticos de cepilladora de 450 mm.....	40
4.6.8	Pronóstico de canteadora de 330 mm.....	42

4.6.9	Resumen de pronósticos.....	43
4.7	Plan agregado de la producción.....	44
4.7.1	Salario básico unificado .....	45
4.7.2	Costo de hora extra.....	45
4.7.3	Costos de contratar un operario.....	46
4.7.4	Costo de despedir un operario.....	46
4.7.5	Inventario inicial .....	47
4.7.6	Costo de almacenar .....	47
4.7.7	Producción promedio por operario.....	49
4.7.8	Resumen de los costos para el cálculo del plan agregado.....	49
4.7.9	Cálculo de los planes agregados .....	50
4.8	Plan maestro de la producción.....	50
4.8.1	Demanda para el plan maestro de producción .....	50
4.8.2	Desarrollo del Plan Maestro de Producción.....	52
4.9	Productividad después de diseño del sistema de planificación .....	53
4.9.1	Horas reales de trabajo .....	53
4.9.2	Producción mensual .....	54
4.9.3	Productividad, eficiencia y eficacia después del sistema de planificación .....	55
4.10	Indicadores de la mejora.....	56
4.11	Beneficios del desarrollo del sistema de planificación de la producción.....	56
4.11.1	Optimización económica del tiempo improductivos.....	56
CAPITULO V .....		58
5.1	Conclusiones .....	58
5.2	Recomendaciones .....	59
5.3	Bibliografía.....	60
5.4	Anexos.....	63
Anexo 01: Producción mensual planificada versus producción subordinada a la restricción .....		63
Anexo 02: Plan agregado 1: Fuerza laboral variable-producción exacta .....		64
Anexo 03: Plan agregado 2: Fuerza laboral constante-inventario variable.....		65
Anexo 04: Plan agregado 3: Fuerza laboral constante-tiempo extras .....		66

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 3-1: Departamentos y personal .....	18
Tabla 3-2: Recolección de información .....	18
Tabla 3-3: Operacionalización de variable independiente .....	20
Tabla 3-4: Operacionalización de variable dependiente .....	21
Tabla 4-1: Portafolio de máquinas .....	22
Tabla 4-2: Macro proceso de la gestión de la planificación.....	25
Tabla 4-3: Tiempos improductivos .....	27
Tabla 4-4: Registro de tiempos para generar orden de trabajo .....	28
Tabla 4-5: Producción año 2021 .....	29
Tabla 4-6: Diagrama de Pareto .....	32
Tabla 4-7: Ventas históricas por tipo de máquina.....	33
Tabla 4-8: Ventas sierra circular .....	34
Tabla 4-9: Ventas cepilladora .....	36
Tabla 4-10: Ventas canteadora.....	37
Tabla 4-11: Pronóstico de sierra circular .....	39
Tabla 4-12: Pronóstico de cepilladora .....	41
Tabla 4-13: Pronóstico de canteadora.....	42
Tabla 4-14: Resumen de pronósticos .....	43
Tabla 4-15: Demanda mensual 2021-2022 .....	44
Tabla 4-16: Salario básico unificado .....	45
Tabla 4-17: Costos de contratar .....	46
Tabla 4-18: Costos de despedir.....	47
Tabla 4-19: Inventario inicial.....	47
Tabla 4-20: Gastos de bodega.....	48
Tabla 4-21: Costos requeridos para la PAP .....	49
Tabla 4-22: Resumen de costos de planes agregados .....	50
Tabla 4-23: Desglose de la demanda mensual por tipo de maquina.....	51
Tabla 4-24: Horas de producción requeridas .....	51
Tabla 4-25: Capacidad diseñada y efectiva de la planta .....	51

Tabla 4-26: Plan maestro de producción.....	52
Tabla 4-27: Tiempo 2 en generar una orden de trabajo .....	53
Tabla 4-28: Producción mensual 2021 .....	55
Tabla 4-29: Resumen de indicadores .....	56
Tabla 4-30: Ahorro económico .....	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Factores interno y externos de la planeación de la producción.....	3
Figura 3-1: Ubicación geográfica de Maquinarias Espín.....	14
Figura 3-2: Procesamiento de datos .....	19
Figura 4-1: Distribución de planta .....	23
Figura 4-2: Diagrama de flujo.....	24
Figura 4-3: Gráfico de Pareto.....	32
Figura 4-4: Gráfico de dispersión de ventas sierra circular .....	35
Figura 4-5: Gráfico de dispersión de ventas cepilladora.....	36
Figura 4-6: Gráfico de dispersión de ventas canteadora .....	38
Figura 4-7: Gráfico de dispersión del pronóstico de sierra circular.....	40
Figura 4-8: Gráfico de dispersión del pronóstico de cepilladora .....	41
Figura 4-9: Gráfico de dispersión del pronóstico de canteadora.....	43

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento a la Universidad Técnica de Ambato por la oportunidad brindada para cumplir con mis objetivos y metas planteadas en mi vida profesional.

A todos los profesores que supieron impartir sus conocimientos y experiencias profesionales durante el periodo académico de formación como Magister.

A mi director: Ing. Iván Acosta Mg. quien aportó con sus conocimientos para la culminación de este proyecto.

A MAQUINARIAS ESPIN por brindarme la oportunidad de desarrollar este proyecto de investigación en sus instalaciones.

## **DEDICATORIA**

**A Dios** por la oportunidad de seguir sobreviviendo ante esta difícil situación sanitaria de la pandemia Covid-19 a nivel mundial, y hacer de cada situación difícil un arma para buscar nuevas oportunidades y seguir adelante.

**A mi esposa Elisa Raza** y mis hijas por su amor y apoyo, quienes han sido el soporte y la fortaleza de mi caminar diario para culminar una meta más en mi crecimiento profesional.

**A mis padres Luis Córdova y Luz Córdova** que me han inculcado los valores para ser una persona de bien, hermanos Karina, Lucy y Henry Córdova por su apoyo incondicional.

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELÉCTRONICA E INDUSTRIAL

### MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

#### TEMA:

“Sistema de planificación de la producción mediante un plan agregado de producción, para el mejoramiento de la productividad”

**AUTOR:** Ing. Edison Saúl Córdova Córdova

**DIRECTOR:** Ing. Jaime Iván Acosta Velarde Mg.

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Materiales y procesos de fabricación para la industria

**FECHA:** 14 de agosto del 2021

#### RESUMEN EJECUTIVO

A través de la investigación se ha diseñado un sistema de planificación de la producción mediante un plan agregado de producción para el mejoramiento de la productividad. Antes del diseño del sistema se realiza un análisis de la situación actual de la planificación de la producción midiendo su productividad actual la cual se encuentra en un 74,39 %, mediante un análisis estadístico con el diagrama de Pareto se determina que el 82,44 % de las ventas de mayor rotación son las maquinas sierra circular de 600 mm, cepilladora de 450 mm y canteadora 330 mm, de estos tres tipos de máquinas se realiza un pronóstico de la demanda futura a través de un modelo de regresión lineal a partir de las ventas históricas de los periodos 2017 al 2020, la demanda estimada se usa como entrada para el cálculo de los tres tipos de planes agregados de producción que se plantea desarrollar, las tres formas con las que se plantea llevar la producción son: Plan 1: fuerza laboral variable y producción exacta, Plan 2: fuerza laboral constante e inventario variable y el Plan 3: fuerza laboral constante y tiempo extras, con la utilización del software de Excel se realizan los cálculos para dichos planes y se obtiene como resultado que el Plan 2: fuerza laboral constante e inventario variable es el más económico con 170.043,87 dólares con respecto

al Plan 1 con un costo de 17.0985, 34 dólares y el Plan 2 con un costo de 176.874,86 dólares, en conclusión el Plan 2 es el que se ajusta más a las condiciones del diseño de producción y los recursos de la empresa, luego se desarrolla un plan maestro de la producción para satisfacer la demanda futura estimada en esta investigación, y finalmente se mide la productividad luego del diseño del sistema de planificación obteniendo un incremento de productividad en un 12,64 %.

**Descriptor:** Capacidad instalada, planeación agregada, planeación maestra de producción, planificación de producción, pronósticos de demanda, ventas históricas.

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELÉCTRONICA E INDUSTRIAL

### MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

#### THEME:

“Production planning system by means of an aggregated production plan, for the improvement of productivity”

**AUTHOR:** Ing. Edison Saúl Córdova Córdova,

**DIRECTED BY:** Ing. Jaime Iván Acosta Velarde Mg.

**LINE OF RESEARCH:** Materials and Manufacturing processes for industry

**DATE:** august 14<sup>th</sup>, 2021

#### EXECUTIVE SUMMARY

Through research, a production planning system has been designed through an aggregate production plan to improve productivity. Before the design of the system an analysis of the current situation of production planning is carried out measuring its current productivity which is at 74.39 %, by means of a statistical analysis with the Pareto diagram it is determined that 82.44 % of the sales of greater rotation are the circular saw machines of 600 mm, 450 mm planer and 330 mm edger, of these three types of machines a forecast of future demand is made through a linear regression model from the historical sales of the periods 2017 to 2020, the estimated demand is used as input for the calculation of the three types of aggregate production plans that it is proposed to develop, the three ways with which it is proposed to carry out the production are: Plan 1: variable labor force and exact production, Plan 2: constant labor force and variable inventory and Plan 3: constant labor force and extra time, with the use of Excel software the calculations for these plans are made and it is obtained as a result that Plan 2: constant workforce and variable inventory is the most economical with 170.043.87 dollars with respect to Plan 1 with a cost of 17.0985,34 dollars and Plan 2 with a cost of 176.874.86 dollars, in conclusion Plan 2 is the one that best fits the conditions of the production design and resources of the

company, then a production master plan is developed to meet the estimated future demand in this research, and finally productivity is measured after the design of the planning system obtaining an increase in productivity by 12.64%.

**Keywords:** Installed capacity, aggregate planning, master production scheduling, production planning, demand forecasts, historical sales.

# **CAPITULO I**

## **EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1 Introducción**

La investigación ejecutada en MAQUINARIAS ESPÍN con el tema “Sistema de planificación de la producción mediante un plan agregado de producción, para el mejoramiento de la productividad” se encuentra estructurado de manera práctica a través de pronósticos de la demanda y planes de producción para alcanzar los objetivos planteados y poder solventar los cambios y exigencias en el mercado, la misma se encuentra dividido en 5 capítulos.

En el Capítulo I se describe el problema de investigación donde se realiza una breve introducción, justificación del porqué generan las paras en la producción y al realizar una planificación de la producción se espera obtener una mejora en los procesos.

En el Capítulo II se encuentra la fundamentación teórica donde muestran las investigaciones realizadas respecto a la aplicación de la planificación de la producción, resultados y aspectos relevantes de la investigación. El Capítulo III comprende el marco metodológico que se debe seguir para procesar la información necesaria en el normal desarrollo de la investigación.

El Capítulo IV detalla el análisis actual de la planificación de la producción de la empresa, se realiza una estimación de la demanda futura y se desarrolla un sistema de planificación agregada de la producción, como resultado se obtiene el Plan 2: fuerza laboral constante-inventario variable con un coste de 170.043,87 dólares.

Finalmente, el Capítulo V contiene las conclusiones y recomendaciones más importantes encontradas en la investigación.

## **1.2 Justificación**

En la actualidad las empresas metalmecánicas en el Ecuador debido a las exigencias del mercado están enfocadas en realizar una planificación de la producción que permita ser más productivos y flexibles, ante estas exigencias la empresa MAQUINARIAS ESPÍN dedicada a la producción de maquinaria para el sector maderero con una venta de 1763 máquinas en los últimos 4 años, ha visto la necesidad de mejorar su productividad que se ve afectada por la paralizaciones en la producción al iniciar sus operaciones, la empresa registra un promedio de 45 minutos de retraso para iniciar sus actividades por falta de un orden de producción, a través del diseño de un sistema de planificación de la producción se espera mejorar su productividad y ser más competitivos en el mercado.

Esta investigación es indispensable para MAQUINARIAS ESPÍN porque existe la necesidad de mejorar la productividad en la fabricación de máquinas, con la implementación de un sistema de planificación de la producción se logra minimizar las paralizaciones en la producción y consecuentemente mejorar la productividad.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 General**

Diseñar un sistema de planificación de la producción mediante un plan agregado de producción, para el mejoramiento de la productividad.

### **1.3.2 Específicos**

- Realizar un análisis del plan de producción existente para determinar la situación actual de la empresa.
- Estimar la demanda futura mediante un modelo de pronósticos de ventas.
- Desarrollar un plan agregado de producción a través del método heurístico para la empresa MAQUINARIAS ESPÍN.
- Elaborar un plan maestro de producción que dé cumplimiento a la demanda pronosticada.

## CAPITULO II

### ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

#### 2.1 Fundamentación teórica

##### 2.1.1 Planificación de la producción

En la Figura 1. muestra los factores internos y externos que constituyen el entorno de planeación de la producción. En general, el ambiente externo se encuentra fuera del control directo del responsable del plan, pero en algunas empresas, es posible manejar la demanda del producto. Mediante una cooperación estrecha entre mercadotecnia y operaciones, las actividades promocionales y la reducción de precios se pueden usar para crear demanda durante periodos de recesión. Por el contrario, cuando la demanda es alta, es posible reducir las actividades promocionales y elevar los precios para maximizar los ingresos obtenidos de aquellos productos o servicios que la empresa tiene la capacidad de proporcionar [1].

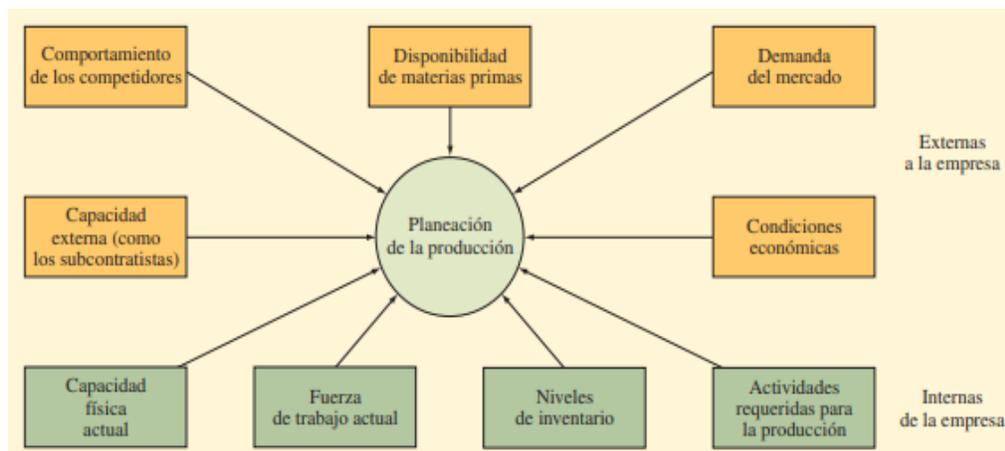


Figura 2-1: Factores interno y externos de la planeación de la producción [1].

Dentro de los indicadores a analizar dentro de la investigación son la productividad del área de producción, eficiencia de las horas reales de trabajo con respecto a las horas disponibles y la eficacia de la producción real con respecto a la producción planificada.

- **Productividad**

Podemos definir la productividad como un empleo óptimo de los recursos con la menor pérdida y mermas de todos los factores de producción, no solo en la mano de obra, que es la que normalmente se tiene en cuenta, para obtener la mayor cantidad de producto de los insumos, en cantidad planificada y con calidad, sino que en todos los aspectos que significa conseguirlo[2].

Cuando se enfatiza en que la productividad es “hacer más con menos” o una “relación entre las salidas y las entradas”, generalmente se asume el término como sinónimo de eficiencia, eficacia o efectividad organizacional [3]. En la ecuación (1) se representará así.

$$\mathbf{Productividad} = \mathbf{Eficiencia} * \mathbf{Eficacia} \quad (1)$$

- **Eficiencia**

Se puede resumir como la utilización óptima de los recursos. Un trabajador eficiente debe utilizar los materiales con el mínimo de desperdicio; emplear el mínimo tiempo posible en la producción, sin deteriorar la calidad del producto; utilizar los servicios (electricidad, agua, gas, etc.) en las cantidades necesarias, sin desperdicio, y utilizar los medios tecnológicos (máquinas, equipos, herramientas, etc.) de manera tal que no se deterioren más de lo normal [4]. En la ecuación (2) se representará así.

$$\mathbf{Eficiencia} = \frac{\mathbf{Horas\ real}}{\mathbf{Horas\ disponibles}} \quad (2)$$

- **Eficacia**

La eficacia o efectividad se define como el logro exitoso de objetivos establecidos. Es el grado en que se satisfacen las necesidades del cliente. De alguna manera el trabajador debe estar enterado de la forma cómo su contribución al valor agregado del producto sirve para satisfacer las necesidades y exigencias de los clientes [4]. En la ecuación (3) se representará así.

$$\mathbf{Productividad} = \frac{\mathbf{Producción\ real}}{\mathbf{Producción\ planificada}} \quad (3)$$

### 2.1.2 Pronóstico de la demanda

La aleatoriedad de la demanda es frecuente debido a los cambios que se dan en los mercados por cuestiones como crisis económicas, apertura de relaciones comerciales entre otros, es por esto que es importante tener en cuenta modelos estadísticos que logren caracterizarla para hacer un buen pronóstico cada vez más acercado a la realidad futura[5].

Los modelos de pronósticos requieren muchos datos históricos para verificar el cumplimiento de los supuestos teóricos subyacentes sobre la estructura de los modelos y para garantizar una buena confiabilidad de los resultados. Estos supuestos, en muchos casos no se cumplen y en otros puede ser difícil, si no imposible, o muy complejo o costoso conseguir la suficiente información requerida para el adecuado modelamiento [6].

- **Modelo de regresión lineal**

El análisis de regresión lineal, representa uno de los métodos para realizar pronósticos, que se basan en la tendencia. Para ello se define a Y la variable dependiente y X la variable independiente. Al haber una relación entre ambas variables, esta se puede representar mediante una línea recta, con la siguiente ecuación (4), los valores de a y b en la ecuación de la recta, son valores que minimizan la suma de las distancias cuadráticas entre la línea de regresión y los puntos dados [7].

$$\mathbf{Y} = \mathbf{a X} + \mathbf{b} \quad (4)$$

### **2.1.3 Plan agregado de la producción**

La planeación agregada, permite minimizar cada uno de los recursos más importantes: producción, inventario y mano de obra, considerados factores importantes que intervienen en la producción. Dicha técnica permite calcular el plan de producción más adecuado o más conveniente, para un futuro determinado, y con la ayuda del pronóstico de la demanda. El objetivo de la planeación agregada consiste en minimizar los costos para el periodo de planeación, mediante la combinación de los recursos adecuados en términos generales o globales. La finalidad principal de la planificación agregada es determinar la combinación de ritmos de producción, mano de obra y niveles de existencia, que minimice costos y logre satisfacer la demanda prevista [8].

La planeación agregada es un método para determinar la cantidad de producción y su desarrollo en el tiempo a mediano plazo. Se refiere a la determinación de la fuerza laboral, a la cantidad de producción y niveles de inventario en orden de satisfacer la demanda para un horizonte temporal de planificación específico a mediano plazo, y el término agregada, hace referencia a que la planificación no desglosa la cantidad de producción por detalles de productos, sino que los considera en varias familias, sin importar sus diferentes variantes de diseño o modelo [9].

### **2.1.4 Plan maestro de la producción**

El Plan Maestro de Producción [MPS], es una herramienta funcional que proporciona información valiosa para áreas como operaciones, marketing y finanzas. Algunos autores sostienen que el plan maestro de producción se obtiene del plan agregado de producción acorde a su jerarquización de la producción. El principal insumo de información para el MPS es el inventario inicial y los pronósticos de ventas. Por medio de este se controla la disponibilidad de un recurso y se anticipa la demanda de los clientes para iniciar la producción antes de que llegue a la compañía la orden de pedido, para cumplir con las entregas en el tiempo estipulado con el cliente [10].

- **Capacidad de la planta**

Por el tema de la Capacidad de la planta regularmente en las compañías los departamentos de ventas y de producción siempre entran en conflicto gracias al origen de sus objetivos. El Departamento de ventas acepta pedidos sin considerar el efecto sobre la planeación de la capacidad que se encuentra en manos del Departamento de producción - que tiene como objetivo cumplir con las fechas estipuladas de entrega [10].

## **2.2 Revisión de literatura**

El antecedente investigativo para esta investigación ha sido revisado desde las perspectivas del proceso de la planificación de la producción, dividiendo en 3 etapas: pronósticos de la demanda, plan agregada de la producción [PAP], hasta el desarrollo de un plan maestro de producción [MPS].

### **2.2.1 Gestión de la producción**

La gestión de la producción según R. Vilcarromero (2017), manifiesta que en las empresas industriales la aplicación de la gestión de producción es la clave para que asegure su éxito. Por lo tanto, en estas empresas su componente más importante es la producción, en tanto es fundamental que cuenten con un buen control y planificación para que mantengan su desarrollo en un nivel óptimo. Podemos decir que la gestión de producción es el conjunto de herramientas administrativas, que va a maximizar los niveles de la productividad de una empresa, por lo tanto, la gestión de producción se centra en la planificación, demostración, ejecución y control de diferentes maneras, para así obtener un producto de calidad.

Toda empresa antes de iniciar sus operaciones debe medir todas las acciones a tomar, para que en un momento del curso de operaciones pueda detectar las fallas y así corregirlas, para eso del control debe tener un nivel estratégico, táctico y operativo. A medida que aumenta el tamaño de la empresa el control se vuelve más complejo y por lo tanto más difícil de controlarlo, por ello el administrador debe delegar responsabilidades[2].

El artículo realizado por Siravit Swangnop (2019), se centra en el diseño del proceso de planificación de producción para una panadería. En las pequeñas tiendas de panadería, una buena planificación de la producción puede no ser necesaria y generar una orden diaria, pero para una fábrica a gran escala un buen plan de producción es un factor crítico para satisfacer las demandas de los clientes y tener una alta tasa de utilización y productividad.

La fábrica objetivo del estudio tiene en funcionamiento de dos años y no tiene un procedimiento estándar para generar el plan de producción. Describe que los operadores en el taller hacen un plan con un día de anticipación de acuerdo con sus experiencias. El resultado del estudio preliminar manifiesta que existen horas extras, mientras que la utilización de los recursos, especialmente los hornos en la estación de cocción, que puede verse como un proceso de cuello de botella en una fábrica considerada, es muy baja.

El concepto del proceso de planificación de producción desarrollado es comenzar a programar el proceso de horneado, agrupar los grupos de productos en secuencia de productos según la temperatura y verificar la disponibilidad de recursos. El resultado de este agrupamiento muestra que hacer pan puede reducirse en un 49.73 por ciento su tiempo, por lo que el paso adicional es desarrollar una herramienta de apoyo para facilitar que los operadores generen el plan de producción [11].

El artículo denominado ingeniería experimental para la planificación de la producción de accionamientos eléctricos realizado por Achim Kampker (2017), detalla que debido a los altos costos de los experimentos de hardware, una ubicación fija dentro de los modelos de proceso de fase de desarrollo y la falta de un examen teórico y práctico de este campo, los potenciales no se explotan de manera integral y se presentó un enfoque para abolir las barreras técnicas y organizativas antes mencionadas y muestra cómo un proceso estructurado de planificación de la información, así como las fases flexibles de creación de prototipos dentro del desarrollo de productos con respecto a la programación y el contenido, pueden permitir un aumento de la eficiencia en los procesos de innovación ya mediante la recopilación de información y conocimiento para la planificación de la

producción ya que este tiene un impacto en la eficiencia del desarrollo así como la posibilidad de recopilar información para la planificación de la producción además de elaborar una cinemática completa del proceso de producción contribuyeron decisivamente al proyecto [12].

En el estudio sobre planificación de producción jerárquica para sistemas de máquinas individuales realizado por G. Xue y H. Zhou (2009), propone un modelo de planificación de producción jerárquica de dos niveles con tiempo de configuración familiar independiente de la secuencia, incluida la planificación de producción agregada (APP) y la planificación de desagregación familiar (FDP) para un sistema de producción de una sola máquina multi producto en donde APP, las restricciones sobre inventario, pedidos pendientes y tiempo regular se revisan de acuerdo con la situación práctica; y en FDP, la APP resultante en el primer período se descompone en un plan detallado de dimensionamiento de lotes para cada familia de productos en cada sub período y se garantiza su finalización. Como solución se adoptan dos tipos de información de retroalimentación para ajustar el plan agregado en diferentes etapas de un período y el rendimiento del modelo se valida con datos de una empresa [13].

### **2.2.2 Pronósticos de la demanda**

En el estudio realizado para la Comparación de metodologías estadísticas en los pronósticos de la demanda según S. Ramírez (2013), la aleatoriedad de la demanda es frecuente debido a los cambios que se dan en los mercados por cuestiones como crisis económicas, apertura de relaciones comerciales entre otros, es por esto importante tener en cuenta modelos estadísticos que logren caracterizarla para hacer un buen pronóstico cada vez más acercado a la realidad futura.

Algunos de los modelos de pronóstico clásicos basan sus estimaciones y distribuciones probabilísticas en el comportamiento de las variables involucradas y estimar su demanda futura. Existen métodos de pronósticos de demanda, tradicionalmente utilizados en la optimización de inventarios, donde se evidencia una falta de validación necesaria de supuestos en los errores, haciendo énfasis principalmente en el proceso matemático y

estadístico para realizar los pronósticos y no en dichos supuestos (normalidad y errores no auto correlacionados) [5].

En la planeación de inventarios con demanda dinámica según el artículo de M. Valencia Cárdenas (2015), indica que se debe incorporar factores cambiantes en el tiempo, ya que los estáticos no son robustos ante esta evidente variabilidad. Además, en los modelos de inventarios es necesario reconocer la gran incertidumbre de la demanda. En la actualidad, las organizaciones enfrentan muchas dinámicas donde los modelos de inventarios estáticos parecen insuficientes para representar adecuadamente el sistema.

Estos modelos matemáticos que contemplan todos los factores fijos en el tiempo son poco robustos por su incapacidad de incorporar una gran variedad de fluctuaciones en la logística interna empresarial, así como por la falta de precisión en los pronósticos, el efecto látigo, que indica variaciones fuertes debidas a cambios drásticos o al supuesto de independencia de la demanda en relación a otras variables de estos procesos, o en políticas de inventario con pedidos constantes. Por lo tanto, se considera que, para el manejo de inventarios de esta naturaleza, la demanda fija para todos los períodos, o simplemente, un valor esperado constante, no es lo más adecuado [6].

### **2.2.3 Planificación agregada de la producción**

El estudio de planificación de producción agregada de la línea de producción en empresas siderúrgicas basadas en algoritmo genético realizado por Guozhang Jiang (2008), propone un modelo de plan de producción agregado de la línea de productos de la empresa siderúrgica, que se calcula utilizando la función de biblioteca estándar de la caja de herramientas del algoritmo genético Matlab7.0 para programar, el resultado obtenido está de acuerdo básicamente con los planes de producción de la empresa mediante el algoritmo [14].

En la planificación de producción agregada con datos pequeños en la fabricación de TFT-LCD según Y. Lee y C. Chiangb (2015), proponen un marco de investigación de dos fases para abordar el problema del desajuste de la capacidad y la demanda en la industria de alta

tecnología. En la primera etapa, debido a las características de los datos pequeños, aplica el proceso de generación de datos virtuales (VDGP) para apoyar el aprendizaje de datos para el pronóstico de la demanda. En la segunda etapa, en función de la demanda, la técnica de programación estocástica (SP) y la técnica de arrepentimiento minimax (MMR) proporcionan una decisión de capacidad sólida que aborda la incertidumbre de la demanda en la cual se realizó un estudio empírico de una empresa TFT-LCD para validar el marco propuesto. El resultado muestra que el marco propuesto, en particular la técnica SP, proporciona niveles de capacidad robustos que abordan el problema del desajuste de la capacidad y la demanda [15].

El documento Integración Planificación y mantenimiento de la producción agregada utilizando programación lineal de enteros mixto determinan los niveles de producción e inventario para minimizar el costo total de producción con recursos limitados de mano de obra y equipo, además del objetivo de la planificación del mantenimiento es mejorar la eficiencia de los equipos para satisfacer los requisitos de producción. En este documento se desarrolla un modelo integrado de planificación de producción agregada y planificación de mantenimiento para determinar el plan óptimo de producción y mantenimiento preventivo en cada período [16].

La Planificación de la producción de pedidos basada en el plazo de entrega y la producción equilibrada según Chen y Wang (2016), se realizó porque no existe una planificación de producción de pedidos basada en el tiempo de entrega y la producción equilibrada y las empresas necesitan producir cada vez más para mantener un equilibrio en sus costos, propone un modelo de planificación de producción de pedidos basado en el tiempo de entrega y la producción equilibrada mediante un modelo de programación para restringir la capacidad de los recursos en el proceso de producción, en el que primero se utilizó el Proceso de Jerarquía Analítica [AHP] para identificar la clase prioritaria, y luego se encontró la solución utilizando la programación MATLAB y finalmente se detalla un análisis empírico [17].

El documento llamado optimización lineal estocástica para modelar la incertidumbre en la planificación de la producción agregada realizada por Zhao Yong-quan (2006), propone un enfoque estocástico de optimización lineal para estudiar la incertidumbre de la demanda en el problema de planificación de la producción agregada en el cual la decisión integradora de la planificación de la producción y la política de inventario se analiza además de la variación del inventario en la demanda estocástica, y el inventario promedio en los períodos de planificación se invita al modelo APP. El resultado de la planificación en cada período son variables estocásticas que tienen las mismas distribuciones con las demandas de producción. El análisis de sensibilidad muestra la influencia significativa del ciclo de producción y la desviación estándar en el punto de reproducción óptimo y el beneficio esperado [18].

#### **2.2.4 Plan maestro de producción**

En el documento llamado como plan de la predicción de inestabilidad mediante el aprendizaje automático de la planificación maestra de producción realizado por T. Lauer y S. Legner (2019), se centra en la planificación maestra de producción para un horizonte temporal a medio plazo en un entorno volátil, diverso y con capacidad limitada, se describe un marco para medir la inestabilidad del plan de cantidad y configuración. Posteriormente, se desarrolla y aplica un enfoque aleatorio de aprendizaje automático de bosques en datos reales de un fabricante de semiconductores. El algoritmo diseñado predice los objetivos de producción y un análisis de sensibilidad permite una mejora de los parámetros de entrada disminuyendo la inestabilidad. Los resultados fomentan el concepto y el campo de aplicación, pero solicitan extensiones para restricciones de capacidad, para comparaciones de algoritmos y para optimizaciones prescriptivas [19].

La reorganización de la planificación maestra del proceso de fabricación basada en la complejidad de la personalización masiva desarrollada por Xin Cheng and Dan Li detalla que para mantener la flexibilidad y la inteligencia de la planificación maestra del proceso de fabricación en la personalización masiva, es importante controlar su complejidad en la toma de decisiones, en la cual se presentó la descripción del árbol de toma de decisiones de la planificación maestra del proceso de fabricación, y luego se presentaron las reglas

de poda del árbol de toma de decisiones y la construcción de un subárbol de toma de decisiones basado en la función de mecanizado para proporcionar un objeto modelo para el análisis de complejidad. En segundo lugar, la complejidad ciclomática se emplea para explorar la complejidad de la toma de decisiones característica del conocimiento de planificación de procesos de fabricación además de la complejidad del diseño del módulo del subárbol de toma de decisiones y la complejidad de integración del árbol de toma de decisiones se definieron respectivamente, finalmente, se realizó un estudio de caso para explicar los principios y métodos mencionados [20].

## CAPITULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Ubicación

La investigación se desarrolló en MAQUINARIAS ESPÍN en el área de producción para hacer un análisis y mejora al sistema de planificación de la producción, la empresa se encuentra ubicada en la Provincia de Tungurahua, Cantón Ambato, en la Vía a Guaranda Km 1 sector Huachi Chico, calle Humberto Fierro S/N entre Noboa y Caamaño y Medardo Ángel Silva. Es una empresa dedicada al diseño, construcción y mantenimiento de maquinaria, tanto para el sector maderero como para el metalmecánico.

Esta investigación inició desde el mes de septiembre del 2020 y se desarrolló durante el tiempo permitido de prórroga de titulación para la Maestría en Producción y Operaciones Industriales.

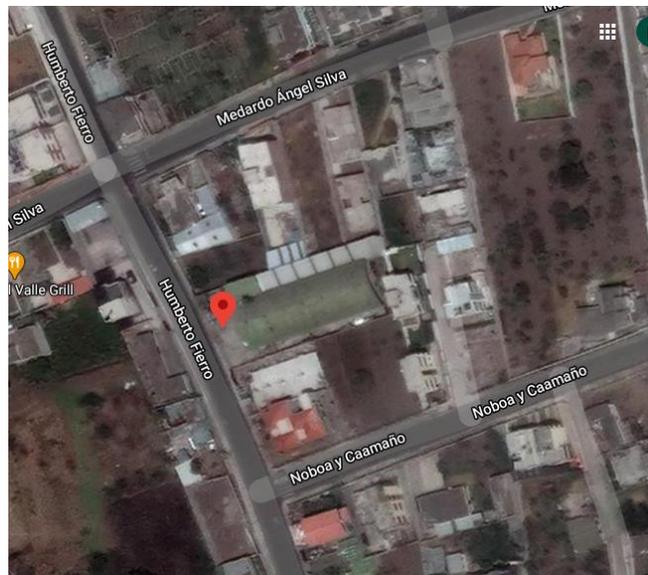


Figura 3-1: Ubicación geográfica de Maquinarias Espín

## **3.2 Equipos y materiales**

Para la realización de la presente investigación se ha utilizado recurso humano, asesoramiento técnico del tutor y materiales de investigación técnica y científica, tales como:

- Computadora
- Impresora
- Software de soporte
- Tablero soporta hojas
- Hojas
- Registros
- Esferos

## **3.3 Tipo de Investigación**

### **3.3.1 Descriptiva**

El tipo de investigación es descriptiva, es una metodología que permite al investigador hacer una recolección de datos, clasificación de la información, diseñar, identificar, interpretar y diagnosticar los actuales sistemas de planificación de la producción en la empresa Maquinarias Espín.

### **3.3.2 Cuantitativa**

Este tipo de Investigación tiene un enfoque cuantitativo ya que permitió identificar y analizar las variables en el diseño de un sistema de planificación de la producción mediante un plan agregado, obtener datos en determinados periodos de tiempo que permitan analizar la productividad de la empresa.

**Primera Fase.** Como primera fase se realizó el análisis de la productividad del área de producción de máquinas industriales para poder determinar la situación actual con respecto a la planificación de la producción, para el cálculo de la productividad se

consideran los registros de la producción real y planificada de la empresa, las horas reales y disponibles de trabajo.

**Segunda Fase.** Se revisaron los registros y facturas en el departamento de ventas de los cuales se agruparon por tipo de producto, se evidencia en registros de la empresa los 5 últimos años el histórico de ventas, con estos datos se realiza una estimación de la demanda futura con la utilización del modelo de pronóstico de ventas que se ajusten a la distribución de la serie de datos.

**Tercera Fase.** Una vez que se determina la demanda futura estimada mediante el modelo de regresión lineal para el periodo julio 2021 a junio 2022 se desarrolló un plan agregado de la producción utilizando el método heurístico, posterior se determinó cual es el mejor método que se adapte a las condiciones de la empresa.

**Cuarta Fase.** como resultado se generó un plan maestro de producción para dar cumplimiento a la demanda pronosticada para el periodo 2021 a 2022 y finalmente se lo determinaron los indicadores de productividad, eficiencia y eficacia después del desarrollo del sistema de la planificación de la producción.

### **3.3.3 Correlacional**

Se considera que el alcance de esta investigación es correlacional porque se determina la relación entre la variable independiente de planificación de la producción y la variable dependiente la mejora de la productividad, los resultados se analizaron para determinar si existió un incremento o disminución en la productividad por la aplicación de la planificación de la producción.

### **3.4 Prueba de hipótesis**

El presente trabajo de investigación busca una relación entre el diseño de un sistema de planificación de la producción y el mejoramiento de la productividad del área de producción, para esto el siguiente procedimiento:

- **Formulación de hipótesis:** Para la comprobación de la prueba de hipótesis se define en primer lugar las hipótesis de investigación y la hipótesis nula.

#### **Hipótesis de investigación**

Ha “Un sistema de planificación de la producción permitirá mejorar la productividad en área de producción”.

#### **Hipótesis nula**

Ho “Un sistema de planificación de la producción no permitirá mejorar la productividad en el área de producción”.

- **Nivel de significancia [ $\alpha$ ]:** para la prueba de hipótesis el nivel de significancia es de 0,05 para esta investigación, es decir se considera un error del 5% de rechazar la hipótesis nula que puede ser verdadera.
- **Selecciona la prueba estadística:** determinar la normalidad de los datos mediante la prueba T de student y se consideran los siguientes criterios, el tipo de estudio, el diseño de investigación, el comportamiento de los datos.
- **Lectura del p-valor:** se calcula el p-valor y debe estar por debajo del nivel de significancia establecido como límite del 5%.
- **Decisión:** Una vez calculado el p-valor, si es menor del 5% se rechaza la hipótesis nula y afirma la hipótesis de investigación, si el p-valor es mayor al 5% no se rechaza la hipótesis y la hipótesis de investigación no se ha demostrado.

### **3.5 Población o muestra**

En la investigación la población de estudio se encuentra en la empresa Maquinarias Espín, el área financiera con los costos, ventas con los históricos de ventas y producción con los indicadores de producción, el personal de la empresa se muestra como indica en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1: Departamentos y personal

<b>Ítem</b>	<b>Departamentos</b>	<b>Número de Personas</b>	<b>(%)</b>
1	Gerente Propietario	1	3%
2	Administrativo	1	3%
3	Ventas	1	3%
4	Supervisor de Producción	1	3%
5	Operarios	17	53%
6	Ayudantes	11	34%
<b>Total</b>		<b>32</b>	

Por el número de personal involucrados la presente investigación y al ser menor a 100, no se requiere de una muestra y/o cantidad representativa para ser estudiada o analizada y se trabaja con todo el universo.

### 3.6 Recolección de información

Para el desarrollo de la investigación el personal que labora en MAQUINARIAS ESPÍN son los que proporcionaron la información a través de los registros de la empresa para ser medidos los objetivos planteados en la investigación.

Tabla 3-2: Recolección de información

<b>PREGUNTAS BÁSICAS</b>	<b>EXPLICACIÓN</b>
1.- ¿Para qué?	Para alcanzar los objetivos de la investigación
2.- ¿De qué persona u objetos?	Proceso, registros de la empresa
3.- ¿Sobre qué aspectos?	Planificación, ventas, productividad
4.- ¿Quién?	El investigador
5.- ¿Cuándo?	El año 2021
6.- ¿Dónde?	Empresa Maquinarias Espín.
7.- ¿Cuántas veces?	Dos veces, (Registros actuales y registros con implementación)
8.- ¿Técnicas de recolección?	Registros de la empresa
9.- ¿Instrumentos?	Análisis de tiempos

### 3.7 Procesamiento de la información y análisis estadístico

En el procesamiento de la información se realizó con la ayuda del software de Excel, según la Figura 3-2, muestra el proceso como se realizó la recolección de datos de producción de máquinas, tiempos improductivos y las ventas mensuales de los registros de la empresa, en el procesamiento de la información se agrupan los datos de producción y ventas por tipo de máquina para ser analizados mediante el software de Excel, por último los resultados tabulados son representados mediante gráficos, tablas y ecuaciones.

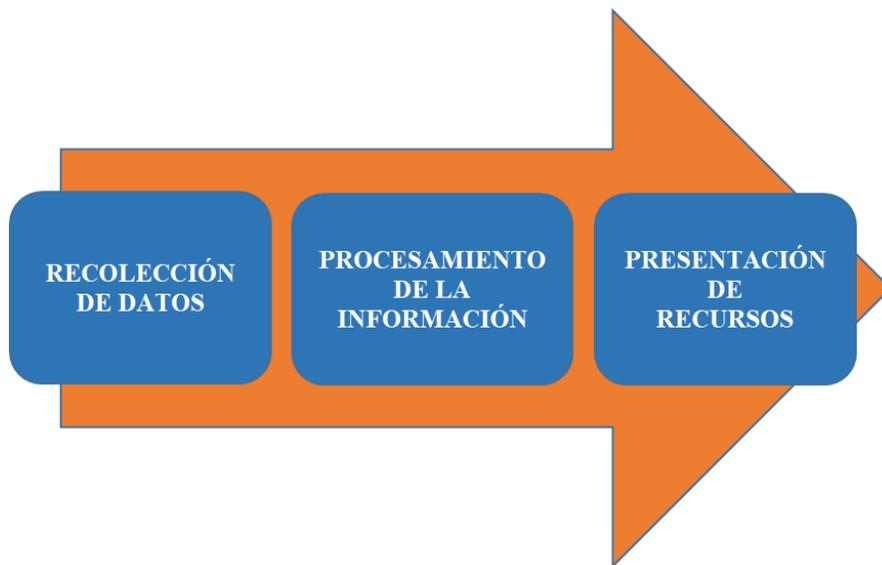


Figura 3-2: Procesamiento de datos

### 3.8 Variables respuesta

#### 3.8.1 Variable independiente

Tabla 3-3: Operacionalización de variable independiente

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Técnica e Instrumento
Sistema de Planificación de la Producción	El sistema de planificación de la producción consiste en establecer un plan de trabajo dependiendo de la cantidad de pedidos o de las ventas estimadas. Esta planificación se hace teniendo en cuenta los planes agregados, los planes maestros, la gestión de materiales, siempre considerando los materiales disponibles y sus plazos de entrega.	X1: Demanda estimada	Ventas mensual / Ventas estimadas	<b>Técnica</b> Observación  <b>Instrumento</b> Pronósticos
		X2: Plan agregado	Producción / mes	<b>Técnica</b> Observación  <b>Instrumento</b> Modelos heurísticos
		X3: Plan maestro	Producción / semana	<b>Técnica</b> Observación  <b>Instrumento</b> Registros de producción

### 3.8.2 Variable dependiente

Tabla 3-4: Operacionalización de variable dependiente

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Técnica e Instrumento
Mejoramiento de la Productividad	El mejoramiento de la productividad es el resultado de la articulación entre el aumento cuantitativo y cualitativo de la producción, la utilización óptima de los materiales, el mejoramiento de la calidad del producto, así como de la calidad de los recursos humanos.	Y1: Eficiencia	Tiempo real / Tiempo disponible	<b>Técnica</b> Observación  <b>Instrumento</b> Registros de tiempos
		Y2: Eficacia	Producción real / Producción planificada	<b>Técnica</b> Observación  <b>Instrumento</b> Registros

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Productos de la empresa

La empresa Maquinarias Espín ha desarrollado a lo largo de su trayectoria 12 tipos de máquinas, a pesar de todas las dificultades que se presentaron a partir del año 2020 al presente año 2021 por la pandemia de Covid-19 la empresa actualmente se encuentra aprobando un diseño para la producción de una nueva máquina cepilladora de doble cara, la empresa espera tener para la venta en el mercado ecuatoriano para el mes de octubre del 2021, poder recuperar mercado y mantenerse a pesar de la crisis económica a causa de la pandemia es uno de las estrategias con el diseño de esta nueva máquina.

A continuación, en la Tabla 4.1, se muestra el tipo de máquinas que son fabricadas y el tipo de producción con el que Maquinarias Espín programa sus operaciones, de las cuales un 25% se están produciendo para inventario por mantener una rotación en sus ventas y el 75% restante se los fabrica únicamente bajo pedido.

Tabla 4-1: Portafolio de máquinas

<b>Nº</b>	<b>Tipo de Máquinas</b>	<b>Tipo de Producción</b>
1	Sierra circular industrial de 600 mm	Inventario
2	Cepilladora de 450 mm	Inventario
3	Canteadora industrial de 330 mm	Inventario
4	Sierra de cinta de 700 mm	Bajo pedido
5	Tupy de 800 mm	Bajo pedido
6	Cepillo machimbre de 300 mm	Bajo pedido
7	Afiladora de 4 cuchillas	Bajo pedido
8	Cepilladora de 600 mm	Bajo pedido
9	Pulidora de pisos de 300 mm	Bajo pedido
10	Laminadora	Bajo pedido
11	Sierra circular industrial balsa de 600 mm	Bajo pedido
12	Cepilladora de 300 mm	Bajo pedido

## 4.2 Distribución de planta para la fabricación de máquinas industriales

En la Figura 4-1, se muestra la forma como están relacionadas las áreas en la línea principal de producción de la empresa Maquinarias Espín, también se puede observar un diagrama general de recorrido de los procesos de una sierra circular.

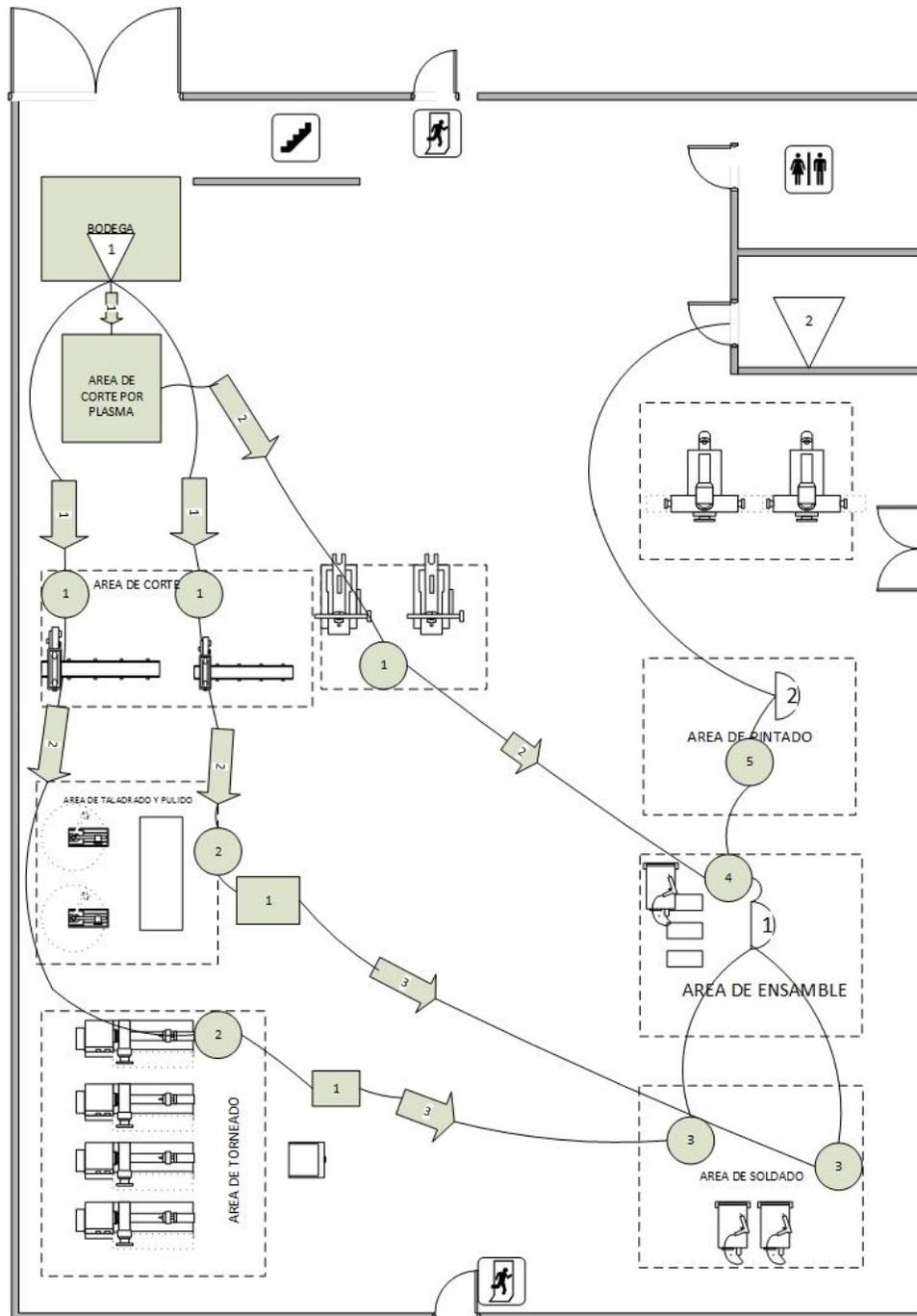


Figura 4-1: Distribución de planta

### 4.3 Proceso de fabricación de máquinas industriales

En la Figura 4-2, se muestra los procesos de fabricación de las máquinas en forma general para varias máquinas empezando por un trazado, corte y enderezado, posterior a este proceso se direcciona según su ficha técnica y el tipo de máquina a terminar, para finalmente su ensamblado, pintado, pulido, y como último las pruebas de funcionalidad.

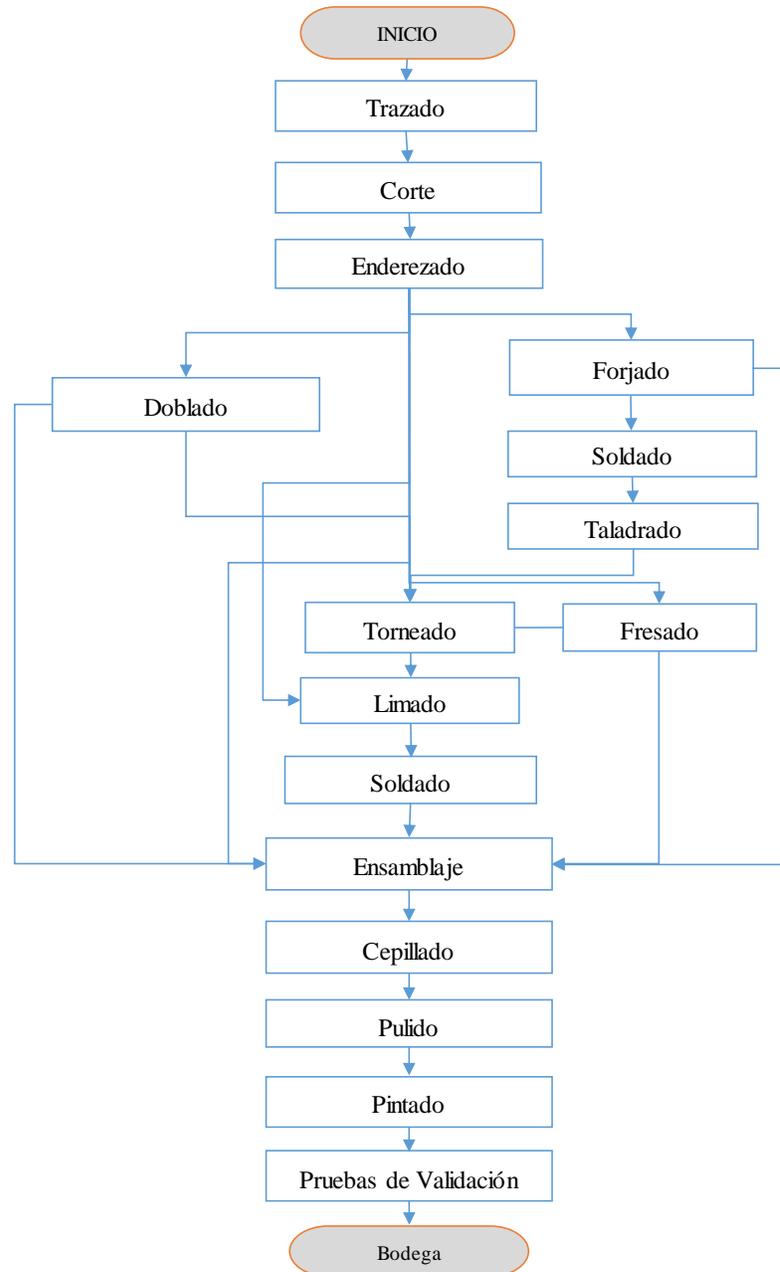


Figura 4-2: Diagrama de flujo

#### 4.4 Modelo de gestión de planificación de la producción

El modelo de gestión para la planificación y control de la producción en Maquinarias Espín se conforma de un conjunto de elementos con un horizonte de planeación a corto y mediano y largo plazo según las etapas de planificación que a continuación se detalla en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2: Macro proceso de la gestión de la planificación

		<b>Planificación y Control de la Producción</b>	
		Código: REG: 001	Fecha: 2021-07-12
<b>Responsable:</b> Supervisor de producción			
<b>Objetivo:</b> Gestionar el desarrollo y cumplimiento del sistema de gestión de la producción			
ENTRADAS	ACTIVIDADES		SALIDAS
	<b>Planear</b>		
	Planificación estratégica de la empresa		
	Planificar la demanda		
	Planificar la capacidad de la planta		
	Planificar los materiales		
	Plan agregado de producción		
	Plan maestro de producción		Plan estratégico a largo plazo
	<b>Hacer</b>		
Ventas históricas	Pronosticar la demanda para un periodo		Pronóstico de ventas
Cantidad de máquinas y operarios	Calcular la capacidad para la demanda		Capacidad de diseño y efectiva
Inventario de materiales	Generar órdenes de compra		Registro de inventarios
Pronóstico de la demanda	Realizar plan agregado a mediano plazo		Órdenes de compra
Plan agregado de la producción	Realizar el plan maestro a corto plazo		Plan de agregado mediano plazo
Plan de auditoría	<b>Verificar</b>		Orden de trabajo
	Verificar desvíos de los pronósticos		Reportes de producción
	Verificar el cumplimiento de los planes		Informes de auditorías
	Verificar el cumplimiento órdenes trabajo		
	Verificar las especificaciones del producto		
	<b>Actuar</b>		
	Acciones preventivas		
	Acciones correctivas		
	Acciones mejora continua		
RECURSOS			
Humano	Infraestructura y Tecnología	Comunicación	
Gerente propietario	Planta de producción	Teléfono	
Supervisor de producción	Maquinaria y equipos	Correo electrónico	
Operarios	Equipos de computación		

#### **4.5 Análisis de la situación actual de la planificación de la producción**

Para este tema de investigación las paralizaciones en la producción es un problema a resolver, se ha identificado que los inicios de las operaciones en el área de producción son tardíos por no contar con una orden de trabajo, por lo que es necesario identificar y medir los tiempos improductivos que se generan de forma mensual, mediante el diseño de una planificación de la producción se trata de minimizar los tiempos improductivos y mejorar la productividad.

Para realizar el análisis de la situación actual de la planificación de la producción y como ésta influye en la productividad, se empieza con el cálculo de la productividad actual en el departamento de producción utilizando como datos los existentes en registros de la empresa, la medición se lo realiza en base a la cantidad de producción de máquinas en un mes con respecto a las horas reales de trabajo en el mes, esta información sirve para determinar en qué porcentaje se encuentra la productividad antes y comparar después de realizar el diseño de la planificación de la producción y objetivos planteados en la investigación.

##### **4.5.1 Productividad antes del diseño del sistema de planificación**

Los datos obtenidos para el cálculo de la productividad en esta investigación son fundamentales e importantes ya que están relacionados directamente con las paralizaciones de la producción, esto nos permite determinar en qué porcentaje se están utilizando las horas reales de trabajo mensual con respecto a las horas disponibles de trabajo, los cálculos se los realiza con la siguiente forma.

##### **4.5.2 Horas disponibles de trabajo**

Las horas disponibles de trabajo es igual al número de turnos que la empresa tiene multiplicadas para los días laborables del mes, en el caso de Maquinarias Espín tiene un turno de 8 horas y 22 días laborables, se calcula con la siguiente forma.

$$\text{Horas trabajo disponibles} = \text{jornada laboral} * \text{días laborables mes} \quad (5)$$

$$\text{Horas de trabajo disponibles} = 8 \text{ horas/día} * 22 \text{ días/mes}$$

$$\text{Horas de trabajo disponibles} = 176 \text{ horas/mes}$$

### 4.5.3 Horas reales de trabajo

A continuación, se determina las horas reales de trabajo mensual para lo cual se mide los tiempos improductivos y se restan de las horas disponibles de trabajo mensual como se muestra en la siguiente forma.

$$\text{Horas reales de trabajo} = \text{horas disponibles} - \text{horas improductivas} \quad (6)$$

En la Tabla 4-3, se muestran los tiempos en horas para una jornada de 8 horas, estos tiempos son asignados como política de la empresa para que los operarios recuperen sus energías y limpieza de sus puestos de trabajo al terminar la jornada.

Tabla 4-3: Tiempos improductivos

<b>Tiempos Improductivos</b>		
Para por refrigerio mañana	10	Min
Para por refrigerio tarde	10	Min
Limpieza de puesto de trabajo	15	Min
Total	35	Min
Tiempo improductivo	0,583	Horas

#### **Análisis:**

El tiempo improductivo es de 0,583 horas, es necesario realizar el cálculo de manera mensual para determinar la productividad mensual, por tal razón lo multiplicamos por 22 días que son el promedio de días laborables para el mes.

$$\text{Tiempo improductivo mensual} = 0,583 \text{ horas/día} * 22 \text{ días/mes}$$

$$\text{Tiempo improductivo mensual} = 12.83 \text{ horas/mes}$$

Al registrar los tiempos improductivos se pudo evidenciar que se producen paralizaciones en el inicio de la producción al preparar una orden de trabajo por no disponer de una planificación en ventas y operaciones, por lo que se considera realizar un registro para tomar los tiempos improductivos durante 22 días que representan el promedio de días laborables para un mes. Este tiempo fue medido y registrado en la Tabla 4-4.

Tabla 4-4: Registro de tiempos para generar orden de trabajo

<b>Tiempos en generar una orden de trabajo</b>			
Nº	Tiempo (min)	Nº	Tiempo (min)
1	52	12	45
2	45	13	53
3	50	14	46
4	43	15	50
5	45	16	51
6	35	17	48
7	48	18	35
8	55	19	47
9	58	20	34
10	40	21	31
11	51	22	30
Tiempo Promedio			45
Tiempo improductivo en horas			0,752

$$\textit{T tiempo improductivo mensual} = 0,752 \text{ horas/día} * 22 \text{ días/mes}$$

$$\textit{T tiempo improductivo mensual} = 16,54 \text{ horas/mes}$$

Una vez determinado y medidos los tiempos improductivos destinados como políticas de la empresa y los tiempos improductivos al generar una orden de trabajo tardía a continuación se suman los tiempos improductivos.

$$\textit{T tiempo improductivo} = 12,83 \text{ horas/mes} + 16,54 \text{ horas/mes}$$

$$\textit{T tiempo improductivo} = 29,37 \text{ horas/mes}$$

Con los valores ya calculados tanto para las horas de trabajo disponibles y las horas o tiempo improductivo se calcula las horas reales de trabajo mensual de manera descrita anteriormente.

$$\textit{Horas reales de trabajo} = \textit{horas disponibles} - \textit{horas improductivas} \quad (7)$$

$$\textit{Horas reales de trabajo} = 176 \textit{ horas/mes} - 29,37 \textit{ horas/mes}$$

$$\textit{Horas reales de trabajo} = 146,63 \textit{ horas/mes}$$

**Análisis:**

Se puede evidenciar como resultado que las horas reales de trabajo son de 146,63 horas al mes con respecto a las horas disponibles que son de 176 horas al mes que en porcentaje representa el 83,32 % de tiempo trabajado del tiempo disponible.

**4.5.4 Producción mensual promedio**

Los datos de la producción mensual se obtienen al revisar los registros del área producción de la empresa, se obtienen los siguientes datos de producción hasta mayo del año 2021 como se muestra en la Tabla 4-5.

Tabla 4-5: Producción año 2021

<b>Meses</b>	<b>Producción 2021</b>
Enero	50
Febrero	48
Marzo	52
Abril	51
Mayo	50
Junio	0
Julio	0
<b>Promedio</b>	<b>50</b>

### **Análisis:**

Para el cálculo de la productividad se toma la producción promedio mensual hasta mayo del año 2021 con un valor igual a 50 máquinas por mes.

#### **4.5.5 Producción planificada**

La producción mensual planificada según el Anexo 1 es de 56 máquinas mensuales, es decir tiene una producción promedio de 14 máquinas por semana.

$$**Producción planificada** = 56 maq.$$

#### **4.5.6 Productividad, eficiencia y eficacia antes del sistema de planificación**

Se realiza el cálculo de la productividad, eficiencia y eficacia antes del desarrollo del sistema de planificación de la producción

$$**Productividad** = Eficiencia * Eficacia \tag{1}$$

$$**Productividad** = \frac{Horas real}{Horas disponible} * \frac{Producción real}{Producción planificada} \tag{8}$$

$$**Productividad** = \frac{146,63 horas}{176 horas} * \frac{50 maq.}{56 maq.}$$

$$**Productividad** = 0,8331 * 0,8928$$

$$**Productividad** = 0,7439 = 74,39%$$

### **Análisis:**

Podemos evidenciar que al momento la empresa opera con una eficiencia del 83.31%, una eficacia de 89,28% y una productividad actual del 74,39%, valores que serán referenciales para medir los resultados alcanzados luego del desarrollo del sistema de planificación de la producción.

## **4.6 Pronóstico de la demanda**

La empresa no cuenta con ningún tipo de estudio, análisis o estimación de la demanda futura, por lo que es fundamental realizar un pronóstico de la demanda a través de un modelo de pronósticos que se ajusten a la serie de datos históricos con los que la empresa Maquinarias Espín tiene en sus registros.

Para el desarrollo del sistema de pronósticos definiremos a continuación las etapas a considerar en el sistema de pronósticos:

- Horizonte del pronóstico y análisis de las máquinas que se va a pronosticar.
- Análisis de las ventas históricas.
- Análisis estadístico de la serie de datos
- Seleccionar el modelo de pronóstico que se ajuste a los datos.
- Realizar el pronóstico.

### **4.6.1 Horizonte y análisis de las máquinas a pronosticar**

El horizonte del pronóstico de esta investigación se lo realiza para un periodo de 12 meses a partir de las ventas históricas dentro del periodo 2017 a junio del 2021, Con el aporte del personal administrativo y el supervisor de producción se pudo obtener los datos para la estimación de la demanda futura, dando un número de periodos total de 54 datos de ventas mensuales, este valor representa el tamaño de la muestra del total de ventas de la empresa en ese periodo.

Para determinar los tipos de máquina de las que se realiza el análisis de pronósticos y estimación de la demanda futura se utiliza una herramienta estadística que permite clasificar gráficamente las ventas de mayor a menor, en la Tabla 4-6, se muestra las ventas durante el periodo 2017 a junio del 2021 y que tipo de máquina ha generado mayor rotación en ese periodo.

Tabla 4-6: Diagrama de Pareto

Tipos de Máquinas	Frecuencia	%	Frecuencia Acumulada	% Acumulado
Sierra circular de 600 mm	742	35,50%	742	35,50%
Cepilladora de 450 mm	538	25,74%	1280	61,24%
Canteadora de 330 mm	443	21,20%	1723	82,44%
Sierra de cinta de 700 mm	140	6,70%	1863	89,14%
Tupy de 800 mm	76	3,64%	1939	92,78%
Cepillo machimbre de 300 mm	51	2,44%	1990	95,22%
Afiladora de 4 cuchillas	34	1,63%	2024	96,84%
Cepilladora de 600 mm	30	1,44%	2054	98,28%
Pulidora de pisos de 300 mm	20	0,96%	2074	99,23%
Laminadora	11	0,53%	2085	99,76%
Sierra circular industrial balsa	4	0,19%	2089	99,95%
Cepilladora de 300 mm	1	0,05%	2090	100,00%
<b>Total</b>	<b>2090</b>			

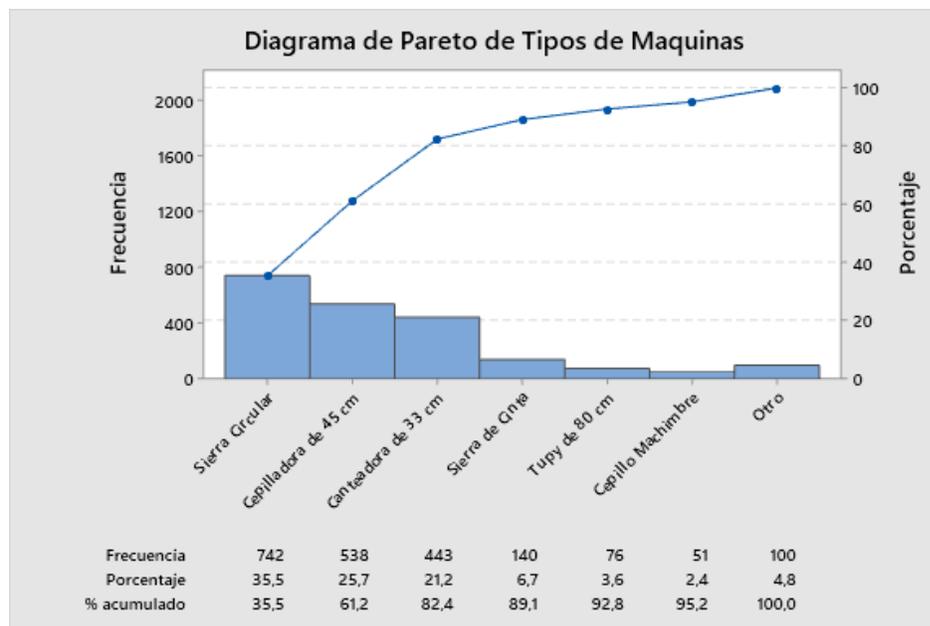


Figura 4-3: Gráfico de Pareto

### Análisis:

En la gráfica del Diagrama de Pareto se puede ver como se encuentra clasificado las ventas de mayor a menor según las ventas históricas de cada tipo de máquina. Esta herramienta estadística presenta como resultado que la sierra circular, cepilladora y la canteadora

representa el 82,44% del total de las ventas, con este análisis indica que son los tres tipos de máquinas a realizar los pronósticos de la demanda.

#### 4.6.2 Análisis de ventas históricas

Las series de datos obtenidos de los registros de ventas históricas de la empresa Maquinaria Espín se analizan según la Tabla 4-7, se muestran las ventas durante el periodo 2017 a junio del 2021 de la Sierra Circular de 600 mm, cepilladora de 450 mm, canteadora de 330 mm.

Tabla 4-7: Ventas históricas por tipo de máquina

<b>Años</b>	<b>Sierra circular de 600 mm</b>	<b>Cepilladora de 450 mm</b>	<b>Canteadora de 330 mm</b>	<b>Total</b>
2017	115	98	72	<b>285</b>
2018	125	105	85	<b>315</b>
2019	197	134	114	<b>445</b>
2020	170	133	97	<b>400</b>
2021	135	68	75	<b>278</b>
<b>Total</b>	<b>742</b>	<b>538</b>	<b>443</b>	

#### Análisis:

Las ventas que se muestran en la Tabla 4-7 se utilizan para realizar el pronóstico de la demanda de los tres tipos de máquinas, la sierra circular cuenta con 742 máquinas como mayor volumen de venta con respecto a la cepilladora con 538 y la canteadora con 443 máquinas durante el periodo 2017 a junio 2021.

#### 4.6.3 Análisis estadístico de la serie de datos

Se aplica el análisis estadístico a la serie de datos de las ventas históricas de los tres tipos de máquinas, sierra circular de 600 mm, cepilladora de 450 mm y canteadora de 330 mm seleccionados mediante el análisis estadístico del diagrama de Pareto y que permite determinar a qué modelo se asemeja la serie de datos.

Se realiza una gráfica de dispersión a la serie de datos de los tres tipos de máquinas y determinar si son cíclicos, tienen una tendencia, estacionalidad o son de variaciones

aleatorias, esto permite seleccionar el modelo más adecuado a utilizar para el pronóstico de la demanda futura, el coeficiente de determinación [ $R^2$ ] refleja el ajuste, la dispersión, consistencia y que tan linealmente se comportan los datos.

- **Sierra circular de 600 mm**

En la Tabla 4-8, se muestra las ventas trimestrales de la máquina durante el periodo 2017 a 2021 y en la Figura 4-4, se muestra el valor de  $R^2$  para la serie de datos.

Tabla 4-8: Ventas sierra circular

<b>Años</b>	<b>Trimestre</b>	<b>Periodos</b>	<b>Ventas</b>
2017	1	1	25
	2	2	30
	3	3	30
	4	4	30
2018	1	5	25
	2	6	40
	3	7	30
	4	8	30
2019	1	9	42
	2	10	50
	3	11	50
	4	12	55
2020	1	13	45
	2	14	35
	3	15	45
	4	16	45
2021	1	17	70
	2	18	65

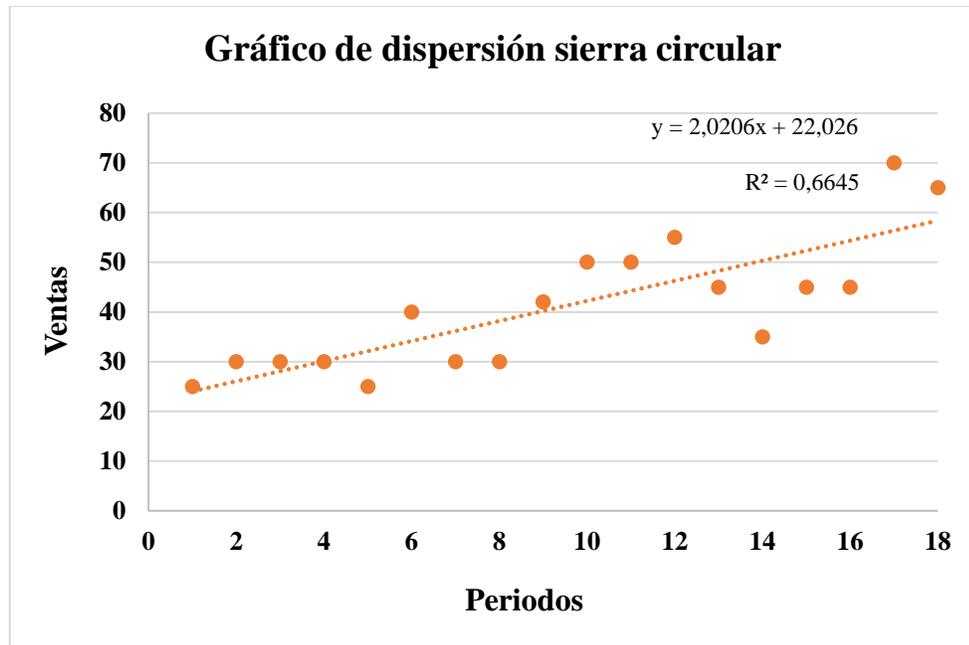


Figura 4-4: Gráfico de dispersión de ventas sierra circular

**Análisis:**

El gráfico de dispersión de las ventas de la sierra circular muestra un análisis de forma vertical con un coeficiente de determinación de 0,6645 igual a 66.45%, la gráfica presenta una tendencia creciente, esto indica que los datos de la serie son consistentes, con un buen ajuste y se asemeja más a un modelo de regresión lineal.

- **Cepilladora de 450 mm**

En la Tabla 4-9, se muestra las ventas trimestrales de la máquina durante el periodo 2017 a 2021 y en la Figura 4-5, se muestra el valor de R<sup>2</sup> para la serie de datos.

Tabla 4-9: Ventas cepilladora

Años	Trimestre	Periodos	Ventas
2017	1	1	26
	2	2	25
	3	3	25
	4	4	22
2018	1	5	30
	2	6	26
	3	7	26
	4	8	24
2019	1	9	35
	2	10	34
	3	11	34
	4	12	31
2020	1	13	36
	2	14	30
	3	15	33
	4	16	34
2021	1	17	36
	2	18	32

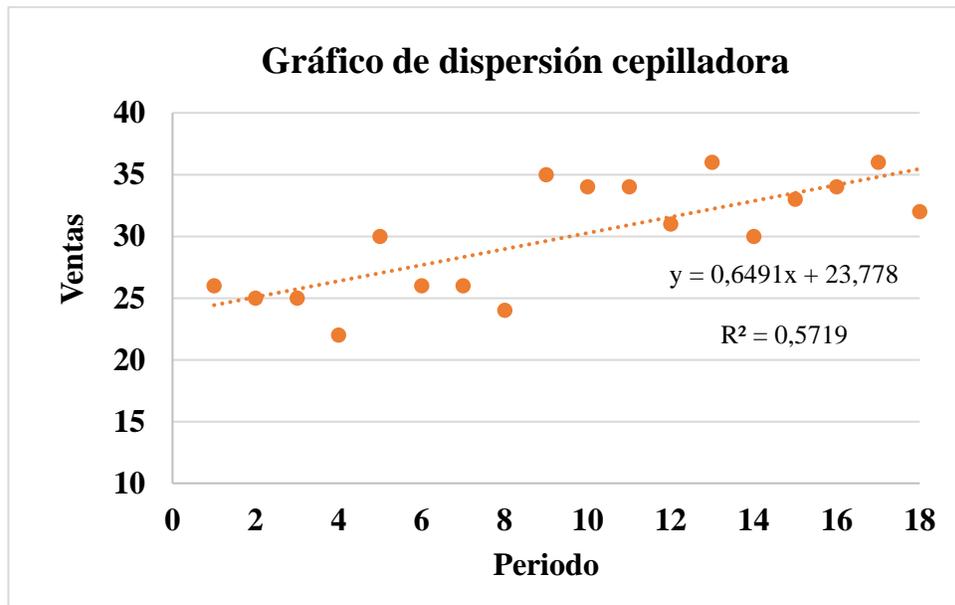


Figura 4-5: Gráfico de dispersión de ventas cepilladora

### **Análisis:**

El gráfico de dispersión de las ventas de la cepilladora muestra un análisis de forma vertical con un coeficiente de determinación de 0,5719 igual a 57.19%, la gráfica presenta una tendencia creciente, esto indica que la serie de datos son consistentes y se asemeja a un modelo de regresión lineal.

- **Canteadora de 330 mm**

En la Tabla 4-10, se muestra las ventas trimestrales de la máquina durante el periodo 2017 a 2021 y en la Figura 4-6, se muestra el valor de  $R^2$  para la serie de datos.

Tabla 4-10: Ventas canteadora

<b>Años</b>	<b>Trimestre</b>	<b>Periodos</b>	<b>Ventas</b>
2017	1	1	19
	2	2	17
	3	3	19
	4	4	17
2018	1	5	21
	2	6	21
	3	7	22
	4	8	21
2019	1	9	33
	2	10	29
	3	11	26
	4	12	26
2020	1	13	28
	2	14	21
	3	15	26
	4	16	22
2021	1	17	40
	2	18	35

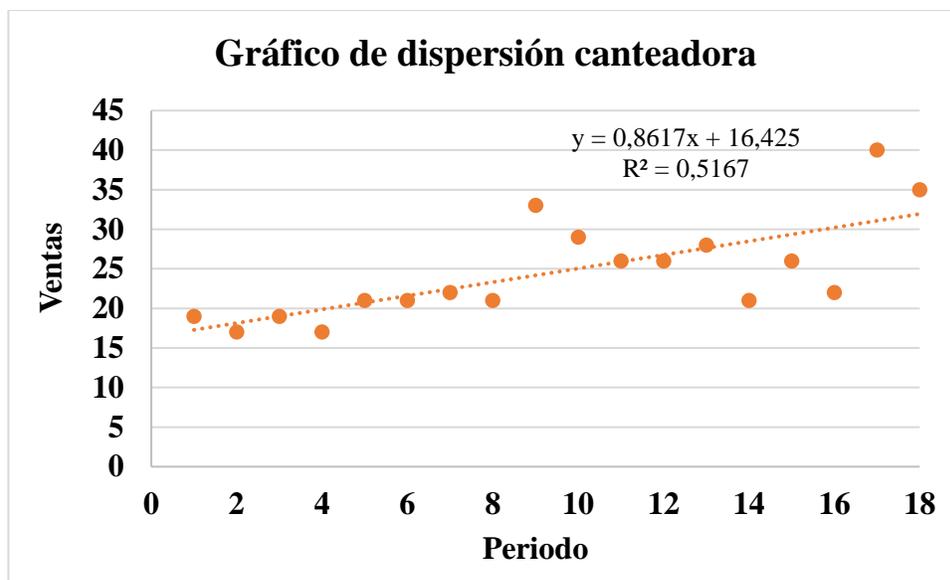


Figura 4-6: Gráfico de dispersión de ventas canteadora

#### Análisis:

El gráfico de dispersión de las ventas de la canteadora muestra un análisis de forma vertical con un coeficiente de determinación de 0,5167 igual a 51.67%, la gráfica presenta una tendencia creciente, esto nos indica que los datos de la serie son consistentes y se asemeja a un modelo de regresión lineal.

#### 4.6.4 Seleccionar el modelo de pronóstico de ventas

En esta investigación para seleccionar el modelo que se utiliza para los cálculos de los pronósticos de la demanda futura, según los análisis estadísticos de la serie de datos de los tres tipos de máquinas que representa el máximo volumen de ventas de la empresa presentan un patrón de tendencia lineal creciente sin estacionalidad y con un  $R^2$  de un ajuste aceptable.

El modelo que se ajusta a una serie de datos con una tendencia creciente sin estacionalidad es el modelo de regresión lineal y nos permite ver que existe una relación entre la variable periodo y las ventas. En conclusión, podemos decir que el modelo a utilizar para este estudio de pronósticos de la demanda según el comportamiento de la serie de datos es el modelo de regresión lineal.

#### 4.6.5 Pronóstico de la demanda de las máquinas industriales

En el cálculo del pronóstico de la demanda para los tres tipos de máquinas se utiliza el método de regresión lineal para predecir el comportamiento de la variable dependiente con respecto a la variable independiente, la serie de datos analizados para los tres tipos de máquinas presentan una tendencia creciente.

A continuación, se calcula el error para los pronósticos de los tres tipos de máquinas, la Desviación Absoluta de la Media [DAM] que permite analizar el error promedio entre las ventas reales con el pronóstico y finalmente se determina el Porcentaje de error Medio Absoluto [MAPE] que permite tener una estimación porcentual del error del pronóstico.

#### 4.6.6 Pronósticos de sierra circular de 600 mm

Mediante el modelo de regresión lineal se realiza los cálculos del pronóstico como muestra en la Tabla 4-11.

Tabla 4-11: Pronóstico de sierra circular

Años	Trimestre	Periodos	Ventas	Pronósticos	Error ABS DAM	MAPE
2017	1	1	25	24	0,95	0,04
	2	2	30	26	3,93	0,13
	3	3	30	28	1,91	0,06
	4	4	30	30	0,11	0,00
2018	1	5	25	32	7,13	0,29
	2	6	40	34	5,85	0,15
	3	7	30	36	6,17	0,21
	4	8	30	38	8,19	0,27
2019	1	9	42	40	1,79	0,04
	2	10	50	42	7,77	0,16
	3	11	50	44	5,75	0,11
	4	12	55	46	8,73	0,16
2020	1	13	45	48	3,29	0,07
	2	14	35	50	15,31	0,44
	3	15	45	52	7,33	0,16
	4	16	45	54	9,36	0,21
2021	1	17	70	56	13,62	0,19
	2	18	65	58	6,60	0,10
	3	19		<b>60</b>	<b>6,32</b>	<b>16%</b>
	4	20		<b>62</b>		
2022	1	21		<b>64</b>		
	2	22		<b>66</b>		

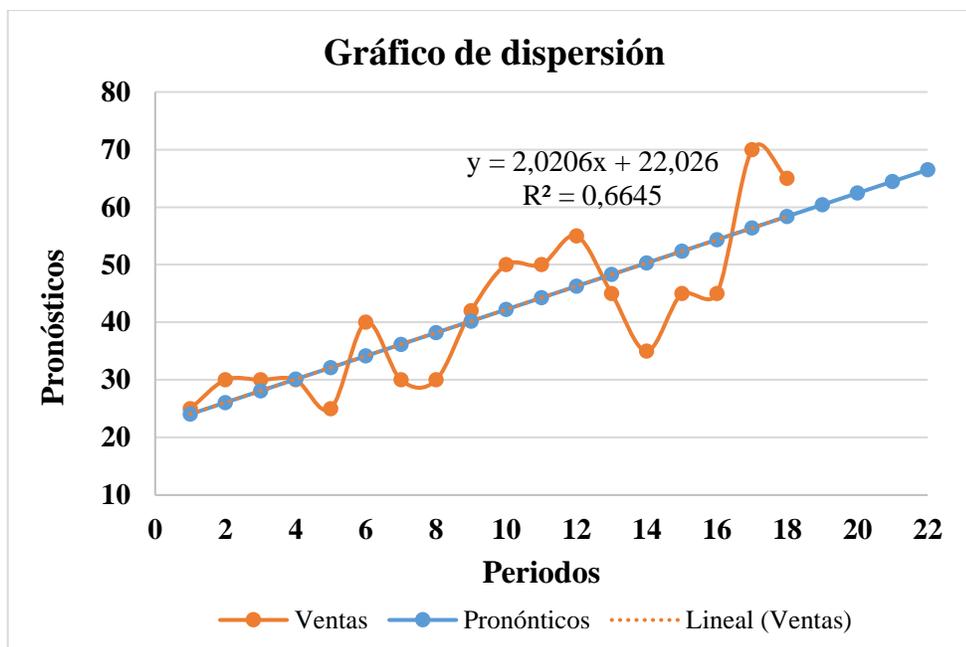


Figura 4-7: Gráfico de dispersión del pronóstico de sierra circular

**Análisis:**

Luego de realizar el cálculo de los pronósticos para la sierra circular se observa que el error entre las ventas y el pronóstico conocido como el MAPE es del 16%.

**4.6.7 Pronósticos de cepilladora de 450 mm**

Mediante el modelo de regresión lineal se realiza los cálculos del pronóstico como muestra en la Tabla 4-12.

Tabla 4-12: Pronóstico de cepilladora

Años	Trimestre	Periodos	Ventas	Pronósticos	Error ABS DAM	MAPE
2017	1	1	26	24	1,57	0,06
	2	2	25	25	0,08	0,00
	3	3	25	26	0,73	0,03
	4	4	22	26	4,37	0,20
2018	1	5	30	27	2,98	0,10
	2	6	26	28	1,67	0,06
	3	7	26	28	2,32	0,09
	4	8	24	29	4,97	0,21
2019	1	9	35	30	5,38	0,15
	2	10	34	30	3,73	0,11
	3	11	34	31	3,08	0,09
	4	12	31	32	0,57	0,02
2020	1	13	36	32	3,78	0,11
	2	14	30	33	2,87	0,10
	3	15	33	34	0,51	0,02
	4	16	34	34	0,16	0,00
2021	1	17	36	35	1,19	0,03
	2	18	32	35	3,46	0,11
	3	19		<b>36</b>	<b>2,41</b>	<b>8%</b>
	4	20		<b>37</b>		
2022	1	21		<b>37</b>		
	2	22		<b>38</b>		

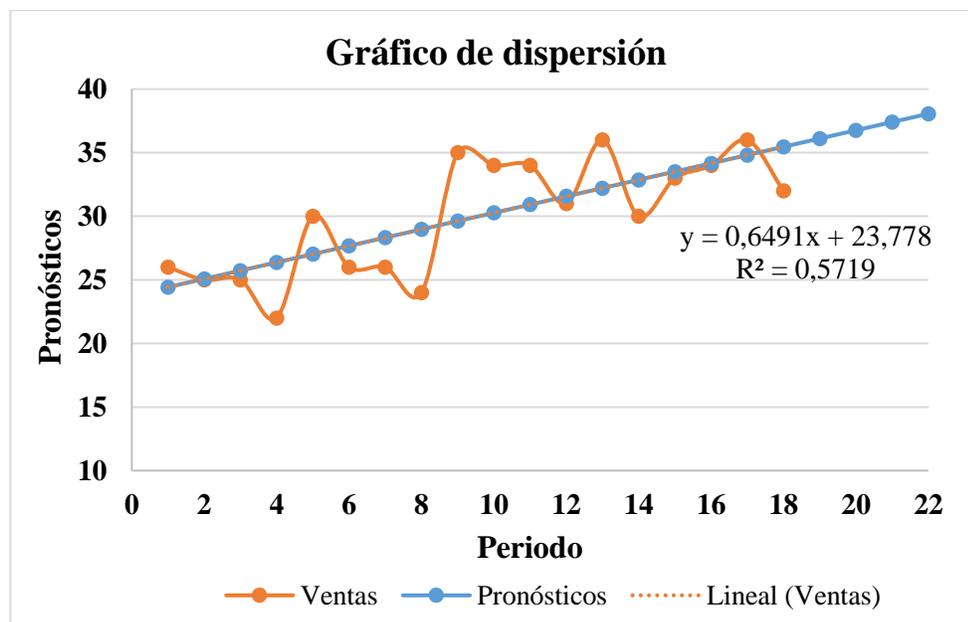


Figura 4-8: Gráfico de dispersión del pronóstico de cepilladora

### Análisis:

Luego de realizar el cálculo de los pronósticos para la cepilladora podemos ver que el error entre las ventas y el pronóstico conocido como el MAPE es del 8%.

#### 4.6.8 Pronóstico de canteadora de 330 mm

Mediante el modelo de regresión lineal se realiza los cálculos del pronóstico como muestra en la Tabla 4-13.

Tabla 4-13: Pronóstico de canteadora

Años	Trimestre	Periodos	Ventas	Pronósticos	Error ABS DAM	MAPE
2017	1	1	19	17	1,71	0,09
	2	2	17	18	1,15	0,07
	3	3	19	19	0,01	0,00
	4	4	17	20	2,87	0,17
2018	1	5	21	21	0,27	0,01
	2	6	21	22	0,60	0,03
	3	7	22	22	0,46	0,02
	4	8	21	23	2,32	0,11
2019	1	9	33	24	8,82	0,27
	2	10	29	25	3,96	0,14
	3	11	26	26	0,10	0,00
	4	12	26	27	0,77	0,03
2020	1	13	28	28	0,37	0,01
	2	14	21	28	7,49	0,36
	3	15	26	29	3,35	0,13
	4	16	22	30	8,21	0,37
2021	1	17	40	31	8,93	0,22
	2	18	35	32	3,06	0,09
	3	19		<b>33</b>	<b>3,02</b>	<b>12%</b>
	4	20		<b>34</b>		
2022	1	21		<b>35</b>		
	2	22		<b>35</b>		

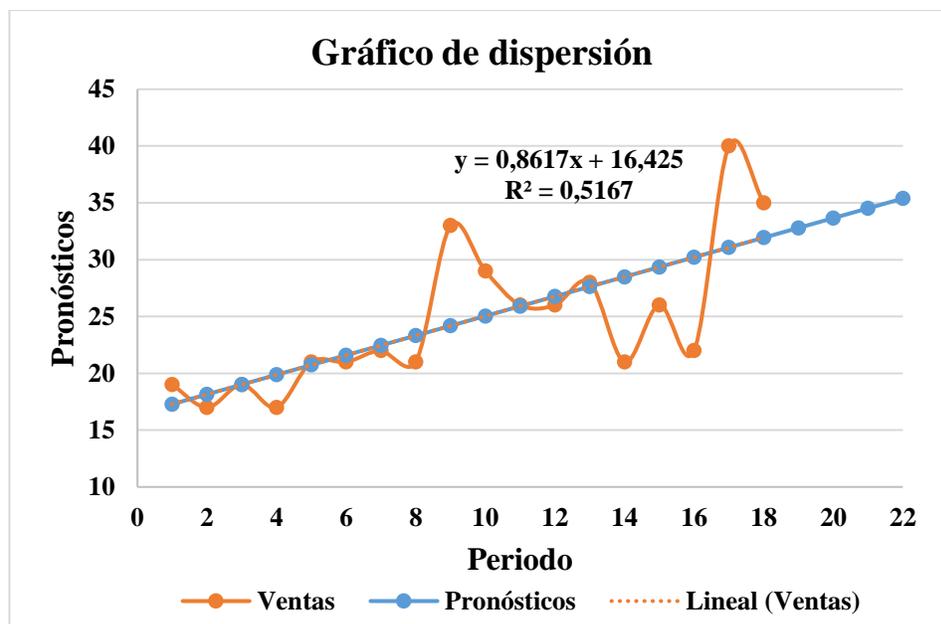


Figura 4-9: Gráfico de dispersión del pronóstico de canteadora

### Análisis:

Luego de realizar el cálculo de los pronósticos para la canteadora podemos ver que el error entre las ventas y el pronóstico conocido como el MAPE es del 12%.

### 4.6.9 Resumen de pronósticos

Para el desarrollo de una planificación agregada es necesario determinar cómo entrará la demanda de máquinas a producir para los 12 meses del año a partir del mes de junio del 2021 a julio del 2022. En la Tabla 4-14, se muestra las cantidades por trimestre, por tipo de máquina y el total del pronóstico de la demanda calculado.

Tabla 4-14: Resumen de pronósticos

Periodo	Sierra circular	Cepilladora	Canteadora	Total
1	60	36	33	129
2	62	37	34	133
3	64	37	35	136
4	66	38	35	140
				538

A continuación, con los pronósticos estimados se desarrolla un cuadro de la demanda para los tres tipos de máquinas para los 12 meses, en la Tabla 4-15, se muestra las cantidades mensuales de la demanda como entrada para la PAP.

Tabla 4-15: Demanda mensual 2021-2022

<b>Periodo</b>	<b>Demanda</b>
Julio	43
Agosto	43
Septiembre	43
Octubre	45
Noviembre	44
Diciembre	44
Enero	46
Febrero	45
Marzo	45
Abril	47
Mayo	47
Junio	46
	<b>538</b>

#### **4.7 Plan agregado de la producción**

En el desarrollo de la planificación agregada de la producción a través del método heurístico se plantean realizar tres tipos de planes:

- Plan 1: Fuerza laboral variable-producción exacta
- Plan 2: Fuerza laboral constante-inventario variable
- Plan 3: Fuerza laboral constante-tiempo extras

Para el cálculo de los tres planes intervienen varios costos como el de mano de obra, costos de almacenar, nivel de inventario, etc., que están involucrados directamente en el proceso de producción de las máquinas, con la información del departamento financiero de la empresa Maquinarias Espín a continuación se realiza sus cálculos.

#### 4.7.1 Salario básico unificado

El salario básico unificado para el año 2021 es de 400 dólares, en la Tabla 4-16, se muestra un detalle de todos los costos complementarios.

Tabla 4-16: Salario básico unificado

<b>SALARIO BÁSICO UNIFICADO</b>		
<b>FUNCIÓN: OPERARIOS</b>	<b>TURNO (08h00 - 17h00)</b>	
SALARIO BÁSICO UNIFICADO	400,00	
PREMIO RESPONSABILIDAD	-	
PREMIO PRODUCTIVIDAD	-	
RECARGO NOCTURNO	-	<b>\$400,00</b>
APORTE PATRONAL IESS	44,60	
DECIMO TERCERO	33,33	
DECIMO CUARTO	33,33	
VACACIONES	16,67	
FONDO DE RESERVA	33,33	<b>\$161,27</b>
	<b>TOTAL SUELDO MES :</b>	<b>\$561,27</b>
	<b>VALOR HORA NORMAL / HORAS MES ==&gt;</b>	<b>\$ 2,34</b>
	<b>VALOR HORA EXTRA (100%) ==&gt;</b>	<b>\$ 4,68</b>

Para efectos de cálculos en la planificación agregada el costo mensual por operario es de 561,21 dólares de una jornada de trabajo de 8 horas diarias de lunes a viernes en jornada diurna.

#### 4.7.2 Costo de hora extra

Las horas extras al trabajo realizado fuera de la jornada de trabajo de 8 horas, según el Código Orgánico de Trabajo con el que se regula la actividad laboral en el Ecuador en el Art. 55 menciona que:

- Horas extras del 50% de recargo son horas fuera de la jornada de trabajo hasta las 24:00.

- Horas extras del 100% de recargo son horas de trabajo en sábados, domingos y días feriados.

Para los cálculos en la planificación agregada el costo de hora extra es 4,68 dólares como el costo de hora extra del 100% en una jornada diurna para los días sábados y días feriados.

#### 4.7.3 Costos de contratar un operario

En el cálculo se registran costos de publicación de la oferta laboral en la prensa escrita, selección del personal, exámenes pre-ocupacionales, equipos de seguridad industrial, horas de capacitación, estos son entre los costos más relevantes para la contratar un operario. En la Tabla 4-17, se muestra un detalle de los costos.

Tabla 4-17: Costos de contratar

<b>DETALLE</b>	<b>COSTO</b>
Publicidad	\$35,00
Proceso de selección	\$15,00
Exámenes pre ocupacionales	\$85,00
Implementos personales	\$60,00
Capacitación	\$30,00
	<b>\$225,00</b>

#### 4.7.4 Costo de despedir un operario

En Ecuador los costos de despedir a un operario que ha cumplido el periodo de prueba (3 meses) la empresa puede despedir o continuar con un contrato de trabajo anual, Maquinarias Espín reconoce todos los beneficios por los meses o años de trabajo estipulados en el Código Orgánico de Trabajo instrumento que regula la actividad laboral en Ecuador, se calcula los proporcionales del décimo tercer sueldo, décimo cuarto sueldo, vacaciones y fondos de reserva, costos considerados en el salario para un operario a prueba durante 3 meses o más.

Adicionalmente se agregan otros costos como los exámenes pre-ocupacionales, antigüedad y las utilidades que son valores fluctuantes. En la Tabla 4-18 se muestra un detalle.

Tabla 4-18: Costos de despedir

<b>DETALLE</b>	<b>COSTO</b>
Subsidio de antigüedad y utilidades	\$20,00
Exámenes pre ocupacionales	\$85,00
	<b>\$105,00</b>

#### 4.7.5 Inventario inicial

En la Tabla 4-19, se muestra la cantidad de máquinas en existencia para el inicio del segundo semestre del año 2021.

Tabla 4-19: Inventario inicial

<b>Máquinas</b>	<b>Inventario</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Total</b>
Sierra circular de 600 mm	10	\$1.120	\$11.198
Cepilladora de 450 mm	5	\$1.694	\$8.468
Canteadora 330 mm	5	\$946	\$4.730
	<u>20</u>		<u>\$24.396</u>

#### 4.7.6 Costo de almacenar

Los costos de almacenar varias máquinas en una bodega o almacén son variables, dependen de la cantidad de máquinas y el tiempo que permanezcan en bodega, para cálculos de esta variable se considera el inventario actual a junio del 2021 para determinar su costo de almacenar una máquina.

- Se calcula el monto de inventario promedio que es igual a inventario inicial a enero del 2021 más el inventario final a junio del 2021 esto dividido para 2:

$$\text{Inventario Promedio} = \frac{\text{inventario inicial} + \text{inventario final}}{2} \quad (9)$$

$$\text{Inventario Promedio} = \frac{32 + 20}{2}$$

$$\text{Inventario Promedio} = 26 \text{ máquinas}$$

- Calcular los gastos del almacén durante un mes, en Tabla 4-20, se muestran los gastos que generan en la sección de almacén, estos datos fueron entregados por el área financiera de la empresa.

Tabla 4-20: Gastos de bodega

<b>Detalle del Gasto</b>	<b>Costo</b>
Mano de obra directa	\$75,00
Materiales de embalaje	\$50,00
Servicios básicos	\$30,00
Seguros	\$25,00
	<b>\$180,00</b>

- **Cálculo del costo de almacenar:** Se divide los gastos de la bodega para el inventario promedio.

$$\text{Costo de Almacenar} = \frac{\text{Gastos de bodega}}{\text{Inventario promedio}} \quad (10)$$

$$\text{Costo de Almacenar} = 3,85 \text{ dólares/máquina}$$

Con los costos obtenidos se realiza el cálculo de los tres planes agregados de la producción e identificar cuál es el plan que mejor se ajusta a las condiciones y requerimientos de la empresa Maquinarias Espín.

#### 4.7.7 Producción promedio por operario

La producción promedio por operario es calculado de la siguiente manera según la ecuación (11).

$$\textit{Producción promedio/operario} = \frac{\textit{Producción promedio mensual}}{\textit{N}^{\circ} \textit{ operarios}} \quad (11)$$

$$\textit{Producción promedio por operario} = \frac{50 \textit{ máquinas}}{28 \textit{ operarios}}$$

$$\textit{Producción promedio por operario} = 1,79 \textit{ máquinas/operario}$$

#### 4.7.8 Resumen de los costos para el cálculo del plan agregado

En esta Tabla 4.21, se hace un resumen de todos los costos requeridos para realizar los cálculos en la planificación agregada, estos costos fueron obtenidos de los registros financieros y calculados por el investigador.

Tabla 4-21: Costos requeridos para la PAP

<b>COSTOS</b>		
<b>Producción promedio</b>	1,79	Máquinas/operario
<b>Operarios actuales</b>	28	Operarios
<b>Costo por operario</b>	\$561	Mensual /operario
<b>Costo por contratar un operario</b>	\$225	Operario
<b>Costo por despedir un operario</b>	\$105	Operario
<b>Costo por almacenar</b>	\$3,85	Máquina
<b>Costo por hora extra</b>	\$4,68	Hora
<b>Horas por jornada de trabajo</b>	8	Horas
<b>Producción promedio</b>	50	Máquinas/mes
<b>Inventario inicial</b>	20	Máquinas
<b>Costo promedio</b>	\$1.253	Por máquina

#### 4.7.9 Cálculo de los planes agregados

El cálculo de los tres planes agregados analizados según las condiciones y características de la producción en la empresa Maquinarias Espín se puede evidenciar en la Tabla 4-22.

Tabla 4-22: Resumen de costos de planes agregados

<b>PLAN</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
Plan 1: Fuerza laboral variable-producción exacta	\$170.985,34
Plan 2: Fuerza laboral constante-inventario variable	\$170.043,87
Plan 3: Fuerza laboral constante-tiempo extras	\$176.874,86

A continuación, en los anexos se muestran la estructura del cálculo de los tres tipos de planes planteados para esta investigación, el Anexo 2: se muestra el Plan 1: fuerza laboral variable y producción exacta, el Anexo 3: el Plan 2: fuerza laboral constante y un inventario variable y el Anexo 4: el Plan 3: fuerza laboral constante y tiempo extra.

#### 4.8 Plan maestro de la producción

Según las condiciones de operación de la empresa Maquinarias Espín y de sus ventas se ha considera manejar un horizonte de planificación maestra de cada 8 semanas, pudiendo realizar algunos ajustes según sea el caso de que se generen ventas bajo pedido de máquinas que no se fabrican para inventario y no se encuentran dentro del cálculo del pronóstico de la demanda para este año.

##### 4.8.1 Demanda para el plan maestro de producción

Una vez definido el horizonte del plan maestro de producción para 8 semanas se desglosa la demanda mensual calculada mediante los pronósticos para los tres tipos de máquinas como se muestra en la Tabla 4-23.

Tabla 4-23: Desglose de la demanda mensual por tipo de maquina

Meses	Familia de Producto (Plan agregado)	Sierra Circular 600 mm	Cepilladora 450 mm	Canteadora 330 mm
Julio	43	20	12	11
Agosto	43	20	12	11
Producir	<b>86</b>	<b>40</b>	<b>24</b>	<b>22</b>

Para la ejecución del plan maestro de producción es necesario también determinar la capacidad de diseño de la planta para la producción de los tres tipos de máquinas. En la Tabla 4-24, se muestran las variables para determinar el tiempo de producción requerido para la producción de la semana 1.

Tabla 4-24: Horas de producción requeridas

Producto	Cantidad Semana 1	Estandar Producción (máquina/hora)	Personas	Tamaño Lote	Nº Lotes	Tiempo Prod. (horas)
Sierra circular	5	0,28	13	5	1	17,61
Cepilladora	3	0,28	8	4	1	10,56
Canteadora	3	0,28	7	3	1	10,56
			<b>28</b>			<b>38,73</b>

Tabla 4-25: Capacidad diseñada y efectiva de la planta

Nº Líneas	Días Semana	Horas día	Capacidad Diseño (horas/semana)	Eficiencia	Capacidad Efectiva (horas/semana)	Utilización
2	5	8	80	0,82	66	48%

### Análisis:

En la Tabla 4-25, se muestra los cálculos de la capacidad diseñada y capacidad efectiva con respecto al tiempo requerido para la producción de la semana 1 igual a 38,73 horas con una producción de 11 máquinas, la capacidad efectiva con una eficiencia del 82% y 5 días de trabajo a la semana es de 66 horas, si para las semanas que siguen se incrementa

el número de máquinas según la demanda calculada es necesario ajustar las variables que afectan la capacidad como el número de turnos, días de trabajo o número de operarios.

#### 4.8.2 Desarrollo del Plan Maestro de Producción

Tabla 4-26: Plan maestro de producción

		Julio				Agosto				
		Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Sierra circular 600 mm</b>	<b>Inventario inicial</b>	10	5	0	0	0	0	0	0	0
	<b>Unidades pronosticadas</b>	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	<b>Pedidos de clientes</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<b>Inventario final</b>	5	0	0	0	0	0	0	0	0
	<b>MPS</b>	0	0	5	5	5	5	5	5	5
	<b>Tamaño de lote (5 maq.)</b>	<b>5</b>								
<b>Cepilladora 450 mm</b>	<b>Inventario inicial</b>	5	2	3	1	2	3	4	1	
	<b>Unidades pronosticadas</b>	3	3	3	3	3	3	3	3	
	<b>Pedidos de clientes</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	
	<b>Inventario final</b>	2	3	1	2	3	4	1	2	
	<b>MPS</b>	0	4	0	4	4	4	0	4	
	<b>Tamaño de lote (4 maq.)</b>	<b>4</b>								
<b>Canteadora 330 mm</b>	<b>Inventario inicial</b>	5	2	3	3	1	1	1	2	
	<b>Unidades pronosticadas</b>	3	3	3	2	3	3	3	2	
	<b>Pedidos de clientes</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	
	<b>Inventario final</b>	2	3	3	1	1	1	2	3	
	<b>MPS</b>	0	3	3	0	3	3	3	3	
	<b>Tamaño de lote (3 maq.)</b>	<b>3</b>								
<b>Capacidad promedio de planta</b>		12	12	12	12	12	12	12	12	12

#### Análisis:

El plan maestro desarrollado para los meses de julio y agosto homologadas a 8 semanas de producción se evidencia los resultados según la Tabla 4-28, que su capacidad efectiva es superior a su demanda pronosticada para las primeras 8 semanas, esto significa que la empresa no requiere de la realización de horas extras.

El plan maestro puede variar si en el transcurso de las semanas se presentan ventas de maquinaria que solo se fabrican bajo pedido por su baja rotación, si los valores de las

ventas superan la capacidad efectiva debe hacerse los ajustes al plan maestro de la producción.

#### 4.9 Productividad después de diseño del sistema de planificación

Para determinar la productividad, eficiencia y eficacia luego del desarrollo del sistema de planificación de la producción, se registran los tiempos de inicio de las operaciones al entregar una orden de trabajo resultado de la planificación maestra de la producción y comparar si se incrementó la productividad.

##### 4.9.1 Horas reales de trabajo

En la Tabla 4-27, se puede evidenciar que el tiempo promedio de generar una orden de trabajo ha disminuido de 45 min a 12 min con el desarrollo del sistema de planificación.

Tabla 4-27: Tiempo 2 en generar una orden de trabajo

<b>Tiempo 2 en Generar una Orden de Trabajo</b>			
Nº	Tiempo (min)	Nº	Tiempo (min)
1	15	12	12
2	13	13	11
3	10	14	10
4	12	15	12
5	10	16	9
6	14	17	13
7	12	18	13
8	14	19	15
9	10	20	13
10	12	21	12
11	9	22	11
<b>Tiempo promedio</b>			<b>12</b>
<b>Tiempo en horas</b>			<b>0,198</b>

Con el registro del nuevo tiempo promedio improductivo de 12 min en la generación de una orden de trabajo se calcula el tiempo improductivo mensual.

$$\textit{T tiempo improductivo} = 0,198 \textit{ horas} * 22 \textit{ días}$$

$$\mathbf{T tiempo improductivo = 4,36 horas/mes}$$

Se suma el nuevo tiempo improductivo como política de la empresa de 12,83 horas por mes y el nuevo tiempo improductivo en generar una orden de trabajo calculado de 4,36 horas por mes.

$$\mathbf{T tiempo improductivo = 12,83 horas + 4,36 horas}$$

$$\mathbf{T tiempo improductivo = 17,19 horas/mes}$$

A continuación, se realiza el cálculo del tiempo o de las horas reales de trabajo mensual, se resta al tiempo disponible de 176 horas mensual el nuevo tiempo improductivo mensual.

$$\mathbf{Horas reales de trabajo = horas disponibles - horas improductivas \quad (6)}$$

$$\mathbf{Horas reales de trabajo = 176 horas/mes - 17,19 horas/mes}$$

$$\mathbf{Horas reales de trabajo = 158,82 horas/mes}$$

#### **4.9.2 Producción mensual**

En la Tabla 4-28, se registrar la producción de los meses de junio y julio con la aplicación del sistema de planificación de la producción y se calcula la producción promedio para el cálculo de la productividad.

Tabla 4-28: Producción mensual 2021

Meses	Producción 2021
Enero	50
Febrero	48
Marzo	52
Abril	51
Mayo	50
Junio	54
Julio	56
<b>Promedio</b>	<b>52</b>

**Análisis:**

Para el cálculo de la productividad se toma la producción promedio mensual hasta julio del 2021 con un valor igual a 52 máquinas por mes.

**4.9.3 Productividad, eficiencia y eficacia después del sistema de planificación**

Se calcula la productividad después de realizar la mejora en la planificación mediante una relación entre la eficiencia y eficacia:

$$\mathbf{Productividad} = \mathbf{Eficiencia} * \mathbf{Eficacia} \quad (1)$$

$$\mathbf{Productividad} = \frac{\mathbf{Horas\ real}}{\mathbf{Horas\ disponible}} * \frac{\mathbf{Producción\ real}}{\mathbf{Producción\ planificada}} \quad (8)$$

$$\mathbf{Productividad} = \frac{158,82\ horas}{176\ horas} * \frac{52\ maq.}{56\ maq.}$$

$$\mathbf{Productividad} = 0,9024 * 0,9286$$

$$\mathbf{Productividad} = 0,8379 = 83,79\%$$

### **Análisis:**

Se evidencia una eficiencia del 90.24% y una eficacia de 92,86%, dando como resultado una productividad del 83,79%, significa que la productividad ha incrementado en un 12,64% al desarrollar un sistema de planificación de la producción.

#### **4.10 Indicadores de la mejora**

En la Tabla 4-29, se muestra la mejora en porcentaje tanto de la eficiencia, eficacia y productividad del antes y del después del desarrollo del sistema de planificación de la producción.

Tabla 4-29: Indicadores de la mejora

<b>Indicadores de Productividad</b>				
<b>Antes</b>		<b>Después</b>		<b>Mejora</b>
Eficiencia	83,31%	Eficiencia	90,24%	8,32%
Eficacia	89,28%	Eficacia	92,86%	4,01%
Productividad	74,39%	Productividad	83,79%	12,64%

#### **4.11 Beneficios del desarrollo del sistema de planificación de la producción**

El beneficio económico que la empresa ha obtenido con el desarrollo de la investigación y la implementación del sistema de planificación de la producción al reducir los tiempos improductivos en el inicio de las operaciones por las entregas tardías en las órdenes de trabajo a los operarios en la línea de producción son los siguientes.

##### **4.11.1 Optimización económica del tiempo improductivos**

El tiempo improductivo en las entregas tardías de las órdenes de trabajo, se da porque la empresa no cuenta con un sistema de gestión de la producción que planifique sus pronósticos de la demanda, sus planes y programas de producción.

En la Tabla 4-30, muestra los costos asociados como el costo por minuto de mano de obra igual a 0,039 centavos de dólar, el tiempo improductivo ahorrado por la implementación del sistema de gestión de la producción es de 33 min y finalmente los operarios que están afectados por este tiempo improductivo es de 28 operarios.

Tabla 4-30: Ahorro económico

<b>Tiempo Improductivo (min)</b>	<b>Cantidad Operarios</b>	<b>Costo M.O/min</b>	<b>Costo Improductivo (día)</b>	<b>costo Improductivo (mes)</b>	<b>costo Improductivo (año)</b>
33	28	\$0,039	36,036	\$793	<b>\$9.514</b>

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

#### 5.1 Conclusiones

- Se realiza el análisis de la situación actual de la planificación de la producción en la empresa Maquinarias Espín mediante la medición del indicador de la productividad y actualmente se encuentra en 74,39%.
- Las estimaciones de la demanda futura no se realizan en la empresa porque no existe una planificación. Se realiza una revisión de los registros de ventas históricas para un periodo del 2017 a junio del 2018, a través de un análisis estadístico con el diagrama de Pareto se determina que el 82,44% de las ventas de mayor rotación son las maquinas sierra circular, cepilladora y canteadora, el análisis de la demanda futura se realiza mediante un modelo de regresión lineal para estos tres tipos de máquina para un periodo de 12 meses y el 17.56% restante se lo programara su producción bajo pedido por su baja rotación en ventas.
- Con los datos de la demanda pronosticada en esta investigación se desarrolla los siguientes planes, Plan 1: Fuerza laboral variable-producción exacta, Plan 2: Fuerza laboral constante-inventario variable y Plan 3: Fuerza laboral constante-tiempo extra y según las condiciones de operación de la empresa el Plan 2 con un costo de 170.043,87 dólares con una fuerza laboral constante y un inventario variable es la que más se ajusta a los recursos de la empresa.

- La planificación maestra de la producción se obtiene del plan agregado desarrollado en la investigación y sirve para determinar que, cuanto y cuando se va a producir para cumplir con la demanda estimada, la planificación maestra para las primeras 8 semanas se tiene como resultado una utilización del 70% de la capacidad diseñada con relación a la capacidad requerida.
- Al desarrollar e implementar el modelo de sistema de gestión de la producción la productividad ha mejorado de un 74,39% antes y después a 83,79% es decir a incrementado en un 12,64%.
- Al minimizar el tiempo improductivo de 45 min a 12 min en la entrega de las órdenes de trabajo al iniciar las operaciones se obtiene una optimización en costos de mano de obra igual a 9.514 dólares anuales.

## **5.2 Recomendaciones**

- Se recomienda realizar una socialización con todos los colaboradores de la empresa de Maquinarias Espín de los nuevos sistemas de planificación y control de la producción, para mantener un compromiso y cumplimiento de sus responsabilidades con los cambios.
- Se recomienda realizar una revisión trimestral de los pronósticos de la demanda futura para determinar la variabilidad con respecto a los pedidos, generar un registro para mantener una evidencia de las ventas para futuros análisis de la demanda, esto debido a que se realiza por primera vez este tipo de estudios de pronósticos en la empresa.
- Se recomienda dar seguimiento mensual al plan agregado para mantener un equilibrio entre la capacidad de la planta con respecto a la variabilidad de la demanda de las máquinas, para que los costos de producción no afecten al flujo de la empresa.

- Se recomienda realizar una planificación de requerimiento de materiales, para mantener los niveles de inventario adecuados, actualizados y determinar en qué periodos de tiempo generar las órdenes de compra.

### 5.3 Bibliografía

- [1] R. B. Chase *et al.*, *Administración de Operaciones: Producción y Cadena de Suministros*, 12 ed. México; Bogota: McGraw-Hill/Interamericana Editores, 2009. [
- [2] R. Vilcarrromero Ruiz, «Gestión de la producción», *Univ. Tecnológica Perú*, 2017, Accedido: ago. 14, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/908>
- [3] Y. V. de Naime, C. R. Monoy, y W. Guaita, «Modelo de los productividad factores que afectan la productividad.<br /> Model of the factors that affect productivity», *6th Int. Conf. Ind. Eng. Ind. Manag.*, pp. 847-854, jul. 2012.
- [4] L. M. Alvarez, R. E. Pupi, y J. F. Raffaele, «[Clinical trials with di-insulin]», *Sem. Medica*, vol. 104, n.º 11, pp. 308-310, mar. 1954.
- [5] S. Ramírez, D. González, J. Cardona, y M. V. Cárdenas, «Comparación de metodologías estadísticas en el pronóstico de la demanda», 2013, p. 17, 2013.
- [6] M. Valencia Cárdenas, F. J. Díaz Serna, y J. C. Correa Morales, «Inventory planning with dynamic demand. A state of art review», *DYNA*, vol. 82, n.º 190, pp. 182-191, may 2015, doi: 10.15446/dyna.v82n190.42828.
- [7] J. C. S. Romero, «Pronóstico de la demanda de un Proyecto de inversión», *Vida Científica Bol. Científico Esc. Prep. No 4*, vol. 9, n.º 18, Art. n.º 18, jul. 2021.
- [8] J. P. R. Vasquez y C. G. M. Velis, «Plan Agregado de Producción Mediante el Uso de un Algoritmo de Programación Lineal: Un caso de Estudio», *Rev. Politécnica*, vol. 34, n.º 1, Art. n.º 1, ago. 2014.
- [9] M. Eliana, «Planificación, Programación y Control de la Producción», p. 10, 2010.
- [10] E. P. Dogadina, Y. A. Kropotov, y A. Y. Proskuryakov, «A model of simultaneous optimization of production planning», en *2019 International Seminar on Electron Devices Design and Production (SED)*, Prague, Czech Republic, abr. 2019, pp. 1-5. doi: 10.1109/SED.2019.8798473.

- [11] S. Swangnop, T. Duangdee, y J. Duangdee, «Design of Production Planning Process for Bakery Manufacturer», en *2019 IEEE 6th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)*, abr. 2019, pp. 178-182. doi: 10.1109/IEA.2019.8714851.
- [12] A. Kampker, K. Kreisköther, y M. K. Büning, «Experimental engineering for electric drive production planning», en *2017 7th International Electric Drives Production Conference (EDPC)*, dic. 2017, pp. 1-6. doi: 10.1109/EDPC.2017.8328155.
- [13] G. Xue y H. Zhou, «Study on hierarchical production planning for single machine systems», en *2009 16th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, oct. 2009, pp. 916-919. doi: 10.1109/ICIEEM.2009.5344204.
- [14] Guozhang Jiang, Jianyi Kong, y Gongfa Li, «Aggregate production planning model of production line in iron and steel enterprise based on genetic algorithm», en *2008 7th World Congress on Intelligent Control and Automation*, jun. 2008, pp. 7716-7719. doi: 10.1109/WCICA.2008.4594130.
- [15] C.-Y. Lee y M.-C. Chiang, «Aggregate production planning with small data in TFT-LCD manufacturing», en *2015 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, ago. 2015, pp. 647-648. doi: 10.1109/CoASE.2015.7294151.
- [16] M. Erfanian y M. Pirayesh, «Integration aggregate production planning and maintenance using mixed integer linear programming», en *2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, dic. 2016, pp. 927-930. doi: 10.1109/IEEM.2016.7798013.
- [17] X.-L. Chen y X.-G. Wang, «Order production planning based on lead time and balanced production», en *2009 16th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, oct. 2009, pp. 994-998. doi: 10.1109/ICIEEM.2009.5344220.
- [18] Zhao Yong-quan, Lu Li-bin, y Fang Shu-fen, «Stochastic Linear Optimization for Modeling Uncertainty in Aggregate Production Planning», en *International*

*Conference on Autonomic and Autonomous Systems (ICAS'06)*, jul. 2006, pp. 31-31.  
doi: 10.1109/ICAS.2006.57.

- [19] T. Lauer y S. Legner, «Plan instability prediction by machine learning in master production planning», en *2019 IEEE 15th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, ago. 2019, pp. 703-708. doi: 10.1109/COASE.2019.8842918.
- [20] X. Cheng, D. Li, y X. Xu, «Reorganization of Master Manufacturing Process-Planning Based on Complexity in Mass Customization», en *2010 International Conference of Information Science and Management Engineering*, ago. 2010, vol. 2, pp. 481-484. doi: 10.1109/ISME.2010.221.

## 5.4 Anexos

### Anexo 01: Producción mensual planificada versus producción subordinada a la restricción

<b>Producto</b>	<b>Producción mensual planificada</b>	<b>Producción subordinada a la restricción</b>	<b>Déficit de la demanda</b>
Sierra circular	20	19	5%
Cepilladora de 45 cm	12	12	0%
Canteadora de plancha	10	10	0%
Sierra de Cinta	4	1	75%
Tupy	5	5	0%
Cepillo machimbre	3	3	0%
Afiladora de Cuchillas	2	2	0%
Total	56	52	7.69%

Fuente: Adaptada por el Autor

## Anexo 02: Plan agregado 1: Fuerza laboral variable-producción exacta

<b>PLAN 1: Fuerza laboral variable-producción exacta</b>													
	<b>JULIO</b>	<b>AGOSTO</b>	<b>SEP.</b>	<b>OCT.</b>	<b>NOV.</b>	<b>DIC.</b>	<b>ENERO</b>	<b>FEBRERO</b>	<b>MARZO</b>	<b>ABRIL</b>	<b>MAYO</b>	<b>JUNIO</b>	<b>TOTAL</b>
Demanda	43	43	43	45	44	44	46	45	45	47	47	46	538
Producción promedio por operario	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	
Op. Requeridos (Demanda/ Prod. promedio por operario)	24	24	24	25	25	25	26	25	25	26	26	26	
Op. actuales	28	24	24	24	25	25	25	26	25	25	26	26	
Op. Contratados (Op. Requeridos- Op. actuales)	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	
Op. Despedidos ( Op.actules-Op. requeridos)	4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
Op. Utilizados (Op. Actuales+ Op.contratados - Op. despedidos)	24	24	24	25	25	25	26	25	25	26	26	26	
Unidades producidas (Prod. Promedio*Op. Requeridos)	43	43	43	45	44	44	46	45	45	47	47	46	538
Unidades disponibles (Inv. Inicial + U producidas)	63	63	63	65	64	64	66	65	65	67	67	66	
Inventario final (U disponibles- demanda)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	

<b>COSTO DE PLAN AGREGADO DE PRODUCCIÓN</b>														<b>TOTAL</b>
Por contratar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 225	\$ -	\$ -	\$ 225	\$ -	\$ -	\$ 225	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 675
Por despedir	\$ 418	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 105	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 34	\$ 557
Por mano de obra	\$ 13.477	\$ 13.477	\$ 13.477	\$ 14.038	\$ 14.038	\$ 14.038	\$ 14.599	\$ 14.038	\$ 14.038	\$ 14.599	\$ 14.599	\$ 14.417	\$ 168.830	
De almacenar	\$ 77	\$ 77	\$ 77	\$ 77	\$ 77	\$ 77	\$ 77	\$ 77	\$ 77	\$ 77	\$ 77	\$ 77	\$ 924	
Costo total	\$ 13.971	\$ 13.554	\$ 13.554	\$ 14.340	\$ 14.115	\$ 14.115	\$ 14.901	\$ 14.220	\$ 14.115	\$ 14.901	\$ 14.676	\$ 14.528	\$ 170.985	

### Anexo 03: Plan agregado 2: Fuerza laboral constante-inventario variable

<b>PLAN 2: Fuerza laboral constante-inventario variable</b>														
	<b>JULIO</b>	<b>AGOSTO</b>	<b>SEP.</b>	<b>OCT.</b>	<b>NOV.</b>	<b>DIC.</b>	<b>ENERO</b>	<b>FEBRERO</b>	<b>MARZO</b>	<b>ABRIL</b>	<b>MAYO</b>	<b>JUNIO</b>	<b>TOTAL</b>	
<b>Demanda</b>	<b>43</b>	<b>43</b>	<b>43</b>	<b>45</b>	<b>44</b>	<b>44</b>	<b>46</b>	<b>45</b>	<b>45</b>	<b>47</b>	<b>47</b>	<b>46</b>	<b>538</b>	
Producción promedio por operario	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79		
Op. Actuales	28	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25		
Op. Despedir (Op. Actuales - Op. Utilizados)	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Operarios utilizados (Demanda anual/(Prod. Promedio*12))	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25		
Unidades producidas (Prod. Promedio * Op. Utilizados)	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	<b>538</b>	
Unidades disponibles (Inv. Inicial + U. Producidas)	65	67	69	70	70	71	72	71	71	70	68	66		
Inventario final (U. Disponibles - Demanda)	22	24	26	25	26	27	26	26	26	23	21	20		
<b>COSTO DE PLAN AGREGADO DE PRODUCCIÓN</b>													<b>TOTAL</b>	
Por Contratar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	<b>\$ -</b>
Por Despedir	\$ 310	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	<b>\$ 310</b>
Por Mano de Obra	\$ 14.051	\$ 14.051	\$ 14.051	\$ 14.051	\$ 14.051	\$ 14.051	\$ 14.051	\$ 14.051	\$ 14.051	\$ 14.051	\$ 14.051	\$ 14.051	\$ 14.051	<b>\$ 168.613</b>
De Almacenar	\$ 84	\$ 91	\$ 98	\$ 98	\$ 101	\$ 104	\$ 99	\$ 99	\$ 98	\$ 90	\$ 81	\$ 77	\$ 77	<b>\$ 1.120</b>
Por Horas Extras	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	<b>\$ -</b>
Costo Total	\$ 14.445	\$ 14.142	\$ 14.149	\$ 14.149	\$ 14.152	\$ 14.155	\$ 14.151	\$ 14.150	\$ 14.149	\$ 14.141	\$ 14.133	\$ 14.128	\$ 14.128	<b>\$ 170.044</b>

### Anexo 04: Plan agregado 3: Fuerza laboral constante-tiempo extras

<b>PLAN 3: Fuerza laboral constante-tiempo extras</b>														
	<b>JULIO</b>	<b>AGOSTO</b>	<b>SEP.</b>	<b>OCT.</b>	<b>NOV.</b>	<b>DIC.</b>	<b>ENERO</b>	<b>FEBRERO</b>	<b>MARZO</b>	<b>ABRIL</b>	<b>MAYO</b>	<b>JUNIO</b>	<b>TOTAL</b>	
<b>Demanda</b>	<b>43</b>	<b>43</b>	<b>43</b>	<b>45</b>	<b>44</b>	<b>44</b>	<b>46</b>	<b>45</b>	<b>45</b>	<b>47</b>	<b>47</b>	<b>46</b>	<b>538</b>	
Producción promedio por operario	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79		
Op. Actuales	28	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26		
Op. Despedidos (Op. Actuales - Op. Utilizados)	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Operarios utilizados	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26		
Unidades producidas (Prod. Promedio * Op. Utilizados)	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	<b>558</b>	
Unidades disponibles (Inv. Inicial + U. Producidas)	67	70	74	77	79	81	84	84	86	87	87	86		
Inventario final (U. Disponibles - Demanda)	24	27	31	32	35	37	38	39	41	40	40	40		
<b>COSTO DE PLAN AGREGADO DE PRODUCCIÓN</b>														
													<b>TOTAL</b>	
Por Contratar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Por Despedir	\$ 210	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 210
Por Mano de Obra	\$ 14.586	\$ 14.586	\$ 14.586	\$ 14.586	\$ 14.586	\$ 14.586	\$ 14.586	\$ 14.586	\$ 14.586	\$ 14.586	\$ 14.586	\$ 14.586	\$ 14.586	\$ 175.032
De Almacenar	\$ 91	\$ 104	\$ 118	\$ 124	\$ 134	\$ 143	\$ 145	\$ 151	\$ 157	\$ 156	\$ 154	\$ 156	\$ 156	\$ 1.633
Por Horas Extras	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 14.887	\$ 14.690	\$ 14.704	\$ 14.710	\$ 14.720	\$ 14.729	\$ 14.731	\$ 14.737	\$ 14.743	\$ 14.742	\$ 14.740	\$ 14.742	\$ 14.742	\$ 176.875