

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



## FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

### MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

---

**Tema: “OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS OPERATIVOS MEDIANTE  
LA TEORÍA DE RESTRICCIONES EN LAS EMPRESAS  
METALMECÁNICAS”**

---

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado académico de

Magíster en Producción y Operaciones Industriales

Modalidad de Titulación Proyecto de Desarrollo

**Autor:** Ing. Ricardo David Espín Guerrero

**Director:** Ing. Christian Ismael Ortiz Saillema 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 las señoras: Ingeniera Jéssica Paola López Arboleda Magíster, Ingeniera Daysi Margarita Ortiz Guerrero Magíster, designados por la Unidad Académica de Titulación 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: “OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS OPERATIVOS MEDIANTE LA TEORÍA DE RESTRICCIONES EN EMPRESAS METALMECÁNICAS”, elaborado y presentado por el Señor Ingeniero, Ricardo David Espín Guerrero, 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. Jéssica Paola López Arboleda Mg.  
Miembro del Tribunal de Defensa

-----  
Ing. Daysi Margarita Ortiz Guerrero 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: “OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS OPERATIVOS MEDIANTE LA TEORÍA DE RESTRICCIONES EN EMPRESAS METALMECÁNICAS”, le corresponde exclusivamente al: Ingeniero Ricardo David Espín Guerrero, autor bajo la Dirección del Ingeniero Christian Ismael Ortiz Sailema, Magister, Director del Trabajo de Titulación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

---

Ing. Ricardo David Espín Guerrero  
**AUTOR**

---

Ing. Christian Ismael Ortiz Sailema 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.

---

Ing. Ricardo David Espín Guerrero

c.c. 180408304-4

## ÍNDICE GENERAL

### CONTENIDO

PORTADA.....	I
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	II
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	III
DERECHOS DE AUTOR .....	IV
ÍNDICE DE TABLAS .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
AGRADECIMIENTO .....	XI
DEDICATORIA .....	XII
RESUMEN EJECUTIVO .....	XIII
EXECUTIVE SUMMARY.....	XIV

### CAPÍTULO I

#### 1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción .....	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos .....	3
1.3.1 General .....	3
1.3.2 Específicos .....	3

### CAPÍTULO II

#### 2. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

2.1 Estado del arte .....	4
2.1.1 Antecedentes .....	4
2.1.2 Teoría de restricciones .....	7
2.1.3 Componentes de la teoría de restricciones .....	11
2.1.4 Criterios para la toma de decisión .....	15
2.1.5 Optimización de procesos .....	16

### CAPÍTULO III

#### 3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Ubicación .....	20
---------------------	----

3.2	Tipo de investigación .....	20
3.3	Prueba de Hipótesis .....	21
3.3.1	Hipótesis investigación .....	21
3.3.2	Hipótesis Nula .....	21
3.4	Población y muestra .....	21
3.4.1	Procesos.....	22
3.4.2	Unidades de producción .....	22
3.4.3	Máquinas .....	23
3.4.4	Recursos Humanos .....	24
3.5	Recolección de información.....	25
3.6	Procesamiento de la información .....	25
3.7	Variables respuesta o resultados alcanzados .....	26

## **CAPÍTULO IV**

### **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1	Situación actual de los procesos operativos .....	27
4.1.1	Descripción de los procesos operativos.....	27
4.1.2	Identificación de la restricción dentro de la cadena de producción .....	33
4.2	Optimización de los procesos y análisis de mejora.....	43
4.2.1	Explotación de la restricción mediante un modelo de programación lineal... 43	
4.2.2	Subordinación de todo a la restricción .....	47
4.2.3	Elevación de la restricción .....	52
4.2.4	Identificación y análisis de una nueva restricción.....	58
4.2.5	Análisis de la inversión .....	73
4.3	Discusión.....	74

## **5. CAPÍTULO V**

5.1	Conclusiones .....	76
5.2	Recomendaciones.....	77
	Bibliografía .....	78
	Anexos .....	82

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3-1.</b> Población en la investigación, procesos operativos.....	22
<b>Tabla 3-2.</b> Población de máquinas fabricadas en los últimos dos años.....	22
<b>Tabla 3-3.</b> Muestra de la producción de máquinas fabricadas. ....	23
<b>Tabla 3-4.</b> Muestra de máquinas disponibles para la producción. ....	23
<b>Tabla 3-5.</b> Muestra de herramientas para la producción. ....	24
<b>Tabla 3-6.</b> Recursos humanos. ....	24
<b>Tabla 3-7.</b> Variables respuesta o resultados alcanzados. ....	26
<b>Tabla 4-1.</b> Procesos de la elaboración de máquinas para procesamiento de madera.	29
<b>Tabla 4-2.</b> Máquinas para el procesamiento de madera fabricadas en Maquinarias Espín.....	31
<b>Tabla 4-3.</b> Talento humano que labora en Maquinarias Espín.....	33
<b>Tabla 4-4.</b> Costo de producción unitario por máquina fabricada en Maquinarias Espín. ....	36
<b>Tabla 4-5.</b> Precio de venta al público de cada máquina fabricada en Maquinarias Espín.....	37
<b>Tabla 4-6.</b> Identificación de la restricción, a partir del porcentaje de utilización mensual. ....	41
<b>Tabla 4-7.</b> Esquema óptimo mediante aplicación de la PLE.....	48
<b>Tabla 4-8.</b> Porcentaje de utilización mensual de los puestos de trabajo a partir de la subordinación de la restricción. ....	50
<b>Tabla 4-9.</b> Producción mensual actual versus producción subordinada a la restricción. ....	52
<b>Tabla 4-10.</b> Especificaciones técnicas de la máquina cortadora de plasma CNC.....	53
<b>Tabla 4-11.</b> Máquina cortadora de plasma CNC de pórtico portátil. ....	55
<b>Tabla 4-12.</b> Talento humano que laborará en una vez elevada la restricción. ....	56
<b>Tabla 4-13.</b> Costo de producción unitario por máquina fabricada en Maquinarias Espín luego de la elevación de la restricción. ....	59
<b>Tabla 4-14.</b> Precio de venta al público de cada máquina fabricada en Maquinarias Espín posterior a la elevación de la restricción. ....	60
<b>Tabla 4-15.</b> Porcentaje de utilización mensual de los puestos de trabajo a partir de la elevación de la restricción. ....	63
<b>Tabla 4-16.</b> Producción mensual actual versus producción elevada la restricción. ..	65

<b>Tabla 4-17.</b> Esquema óptimo mediante aplicación de la PLE.....	68
<b>Tabla 4-18.</b> Porcentaje de utilización mensual de los puestos de trabajo a partir de la nueva explotación y subordinación de la restricción. ....	70
<b>Tabla 4-19.</b> Producción mensual proyectada con la PLE versus producción optimizada. ....	72



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2-1.</b> Componentes de la TOC.....	12
<b>Figura 2-2.</b> Esquema de la identificación de la restricción.....	13
<b>Figura 2-3.</b> Esquema de la explotación de la restricción.....	13
<b>Figura 2-4.</b> Esquema de la subordinación a la restricción.....	14
<b>Figura 2-5.</b> Esquema de la elevación de la restricción.....	14
<b>Figura 2-6.</b> Esquema de la identificación de una nueva restricción.....	15
<b>Figura 2-7.</b> Metodología para la solución de un problema de investigación de operaciones.....	17
<b>Figura 3-1.</b> Vista panorámica de las instalaciones de Maquinarias Espín.....	20
<b>Figura 4-1.</b> Flujograma de los procesos de fabricación de máquinas para procesamiento de la madera.....	28

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo A.</b> Materia prima utilizada para la elaboración de las máquinas en Maquinarias Espín.....	82
<b>Anexo B.</b> Estudio de tiempos de los procesos operativos para la elaboración de las máquinas en Maquinarias Espín, situación actual. ....	86
<b>Anexo C.</b> Estudio de tiempos de los procesos operativos para la elaboración de las máquinas en Maquinarias Espín, situación propuesta.....	107
<b>Anexo D.</b> Registro fotográfico del estudio de tiempos realizado. ....	128
<b>Anexo E.</b> Resolución del problema de Programación Lineal Entera de maximización del rendimiento.....	129

## **AGRADECIMIENTO**

En el presente trabajo de grado principalmente agradezco a mi Dios ya que me ha permitido llegar a cumplir uno más de mis objetivos de vida.

A mis padres tan queridos Piedad y Nelson que me han apoyado en todo sentido y me han brindado siempre su amor, a mis hermanos Denice, Nelly, Soraya y Víctor que han estado pendiente y con todo su cariño me han guiado.

A la Universidad Técnica de Ambato que me ha permitido prepararme intelectualmente y como persona, de igual manera a todos mis profesores y amigos.

**Ricardo David Espín Guerrero**

## **DEDICATORIA**

En este día, que doy un paso más en mi vida e importante para mí, quiero dedicar este triunfo a mis padres que a pesar de las adversidades me han apoyado, soy muy afortunado al tenerlos a mi lado ya que ellos es uno de los motores que me impulsan a seguir adelante y preparándome, con su ejemplo han hecho de mí una gran persona llena de valores.

Quiero que quede immortalizado en esta tesis el inmenso amor, cariño, respeto y aprecio que les tengo, espero que nunca se alejen de mí, además sepan que van a vivir siempre en mi corazón y mente.

**Ricardo David Espín Guerrero**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E**  
**INDUSTRIAL**  
**MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES**

**TEMA:**

Optimización de los procesos operativos mediante la teoría de restricciones en Empresas Metalmecánicas.

**AUTOR:** Ing. Ricardo David Espín Guerrero, Ingeniero Industrial en Procesos de Automatización.

**DIRECTOR:** Ing. Christian Ismael Ortiz Sailema, Mg.

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño, materiales y producción.

**FECHA:** 06 de julio de 2021.

**RESUMEN EJECUTIVO**

La investigación versa sobre la optimización de los procesos operativos mediante la teoría de restricciones en la empresa metalmecánica Maquinarias Espín. Inicialmente se detectó que en la elaboración de máquinas de procesamiento de madera se presentaban retrasos y cuellos de botella, que obligaban a la extensión de la duración de la jornada laboral. Se consideró la producción de las siete máquinas de mayor demanda, tomando la información de la cantidad media mensual requerida según los pedidos de los dos últimos años. Se realizó un estudio de tiempos y se valoró los recursos disponibles para cuantificar la utilización de los puestos de trabajo. Como parte de la aplicación de la teoría de restricciones se identificó la existencia de dos restricciones en el corte con sierra de mano y en el torneado, con porcentajes de utilización de 111.82 y 105.11%, lo que implicó una incapacidad de cubrir la demanda mensual media. A partir de la explotación de las restricciones con base en la aplicación de la PLE para maximizar el rendimiento y una vez subordinado todo, se determinó que el máximo rendimiento mensual posible era de \$ 78470, con una utilidad neta máxima de \$ 68362.68. No obstante, el volumen de producción maximizado no abasteció la demanda media mensual, con un déficit de 5% de sierras circulares y de 75% de sierras cintas. Se optó entonces por incorporar una máquina cortadora de plasma CNC y se reordenó la distribución de los operarios y ayudantes en los puestos de trabajo. Una vez implementadas las acciones se determinó que ya no existen restricciones, pero para optimizar la producción con base en los recursos disponibles se aplicó nuevamente la PLE. Esto permitió obtener un rendimiento máximo de \$ 87768.74, una utilidad bruta mensual óptima de \$ 77188.10, con un incremento de un 12.91% de la utilidad bruta por concepto de la venta de las máquinas, habiéndose cubierto la capacidad de producción requerida por la demanda.

**Descriptores:** Máquinas de procesamiento de madera, optimización, programación lineal entera (PLE), procesos operativos, teoría de restricciones.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E**  
**INDUSTRIAL**  
**MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES**

**THEME:**

Operational Processes Optimization through the theory of constraints in Metalworking Companies.

**AUTHOR:** Ing. Ricardo David Espín Guerrero, Ingeniero Industrial en Procesos de Automatización.

**DIRECTED BY:** Ing. Christian Ismael Ortiz Sailema, Mg.

**LINE OF RESEARCH:**

Design, materials and production

**DATE:** July 6, 2021.

**EXECUTIVE SUMMARY**

The research is about the operational processes optimization using the theory of constraints in the metal-mechanical Maquinarias Espín. Initially, delays and bottlenecks were detected in the production of wood processing machines, these aspects forced the extension of the working day. The production of the seven machines with the highest demand was considered, taking into account the information of the average monthly quantity required according to the orders of the last two years. A time study was carried out and the available resources were evaluated to quantify the use of the workstations. Two constraints were identified in hand saw cutting and turning as part of the application of the theory of constraints, with utilization percentages of 111.82% and 105.11%, which implied an inability to meet the average monthly demand. From exploiting the constraints based on the application of the PLE to maximize the return and once everything was subordinated to them, the maximum possible monthly return was determined to be \$78470, with a maximum net profit of \$68362.68. However, the maximized production volume did not meet the average monthly demand, with a shortfall of 5% of circular saws and 75% of band saws. A CNC plasma cutting machine was added as well as the distribution of workers at the workstations was rearranged. It was determined that there were no longer any constraints once the actions were implemented, but the PLE was again applied to optimize production based on the available resources. These actions allowed obtaining a maximum yield of \$ 87768.74, with an optimal monthly gross profit of \$ 77188.10, an increase of 12.91% of the gross profit from the sale of the machines, having covered the production capacity required by the demand.

**Keywords:** Linear programming, operational processes, optimization, theory of constraints, wood processing machines.

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Introducción**

La investigación que se propone tiene por objeto fundamentar la importancia de la utilización de la optimización de los procesos operativos mediante la aplicación de la teoría de restricciones, como una alternativa viable para brindar soluciones a los problemas referentes a la existencia de cuellos de botella y elementos que limitan el ritmo de producción en las empresas metalmecánicas.

Se toma como referente el caso de la fabricación de máquinas para la industria maderera y metalmecánica, cuyos procesos involucrados suelen ser trazado, corte, doblado, forjado, limado, torneado, fresado, taladrado, ensamblaje, pulido, pintado y pruebas de funcionamiento. En los mencionados procesos suelen existir restricciones derivadas de las condiciones de organización de la cadena de producción, métodos de trabajo, capacidades de las máquinas, disponibilidad de los recursos materiales, tecnológicos y humanos, entre otros. Con la finalidad de particularizar la situación de una empresa específica, se considera la Empresa Maquinarias Espín, que produce máquinas tales como sierras circulares, cepilladoras, canteadoras, sierras de cinta y tupys. En la mencionada organización se han evidenciado que existen procedimientos de trabajo deficientes, retrasos en el proceso de corte y doblado, así como una mala administración de documentos del proceso. Por este motivo la gerencia ha manifestado el deseo de incorporar una máquina cortadora CNC, pero necesita contar con un estudio técnico que valide la ventaja de su incorporación en el proceso productivo [1].

En este sentido, la función del autor del proyecto de desarrollo que se propone, se centrará en el análisis de la situación actual de los procesos operativos de la fabricación de máquinas para procesamiento de madera en la Empresa Maquinarias Espín, a través de la aplicación de la teoría de restricciones. Posteriormente se

desarrollará una propuesta que se oriente al planteamiento de una alternativa para optimizar el uso de los diferentes recursos inmersos en la cadena de producción. Al mismo tiempo que se evidenciará el impacto que tendrá la implementación de la propuesta en los procesos operativos, mediante comparación de la situación actual y propuesta.

La situación del desperdicio de los recursos en la fabricación de máquinas para el procesamiento de madera se debe a varios factores, entre los cuales destacan los métodos de trabajo y la disponibilidad de los recursos tecnológicos. Dentro de las alternativas técnicas ampliamente utilizadas para la determinación de los factores que limitan o restringen la cadena de producción, se tiene a la teoría de restricciones, que se basa en un proceso sistemático aplicable a las organizaciones de carácter industrial. Paralelamente la optimización de los procesos consiste en la aplicación de herramientas matemáticas y de ingeniería, que permiten determinar la mejor alternativa para minimizar determinadas funciones objetivos, tales como minimización de costos y tiempos de producción, así como maximización de utilidades [2].

## **1.2. Justificación**

El desarrollo del estudio es importante, porque incorpora los conocimientos técnicos y científicos referentes a la aplicación de la teoría de las restricciones y optimización de procesos. Ambos son inherentes a los materiales y procesos de fabricación para la industria, a la mejora de la competitividad y productividad; considerando que dicha línea de investigación está contemplada dentro del programa de Maestría en Producción y Operaciones Industriales.

El principal beneficiario del estudio será la Empresa Maquinarias Espín, porque contarán con métodos de trabajo óptimos para el desarrollo del trabajo, teniendo todos sus procesos productivos controlados mediante una disposición correcta de su maquinaria y recursos.

El impacto que tendrá el desarrollo del proyecto que se propone consiste en la contribución en el mejoramiento de los procesos operativos de la fabricación de



máquinas de procesamiento de madera. Al mismo tiempo el estudio será una herramienta que brinde información útil para el desarrollo de tecnologías que permitan optimizar los recursos disponibles en las empresas del sector metalmecánico.

El desarrollo del estudio propuesto es factible desde el punto de vista técnico y metodológico, porque existe información disponible acerca de la teoría de restricciones y sobre las herramientas para optimización de procesos. En cuanto al aspecto económico, se cuenta con el respaldo de la gerencia de la empresa Maquinarias Espín, quien está dispuesto a desembolsar los recursos económicos que sean necesarios para el mejoramiento de la situación actual.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1 General**

Optimizar los procesos operativos mediante la aplicación de la teoría de restricciones en una empresa metalmecánica.

#### **1.3.2 Específicos**

- Analizar la situación actual de los procesos operativos para la fabricación de máquinas de procesamiento de madera mediante la aplicación de la teoría de restricciones en la Empresa Maquinarias Espín.
- Proponer una alternativa para la optimización de los procesos operativos y el mejoramiento del flujo de los recursos dentro del marco de la teoría de restricciones.
- Evidenciar el impacto en el cambio de los procesos operativos, mediante comparación de la situación actual y propuesta.

## **CAPÍTULO II**

### **ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS**

#### **2.1 Estado del arte**

##### **2.1.1 Antecedentes**

De acuerdo a la revisión de la literatura, se expone que en el mejoramiento de los métodos de trabajo y en los procesos de producción, se considera de utilidad la teoría de las restricciones, a través de la incorporación de cinco pasos principales: Identificación de las restricciones del sistema, decisión de la manera como explotar dichas restricciones, subordinación de las actividades, eliminación de las restricciones, e implementación de las acciones necesarias [3]. Otro aspecto relacionado a la teoría de las restricciones es el análisis financiero que permite establecer el costo-beneficio de un proyecto. Paralelamente, la optimización de los procesos industriales demanda la incorporación de los conocimientos matemáticos, que son de utilidad para conseguir una función objetivo, lo cual demanda de métodos estadísticos de control, programación lineal, diseño de experimentos y factoriales, gráficos de control, entre otros [4].

De acuerdo a la Federación Ecuatoriana de Industrias del Metal (FEDIMETAL), el sector metalmecánico contribuye a la economía ecuatoriana con 1.8% del producto interno bruto (PIB), mientras que a nivel de toda la industria manufacturera el sector metalmecánico representa aproximadamente el 12% de su PIB [5]. La empresa Maquinarias Espín al ser una de las pioneras y referentes en la provincia de Tungurahua en la construcción de todo tipo de maquinaria industrial, demanda la incorporación de alternativas útiles para el mejoramiento de sus procesos operativos. El principal objetivo que demanda la empresa, es la posibilidad de optimizar la cadena de producción, para fabricar las máquinas en el menor tiempo posible, con la menor cantidad de desperdicios de materia prima, lo que se verá reflejado en una disminución de los costos de producción y el incremento de las utilidades de la

empresariales. El problema detectado consiste en la presencia de cuellos de botella en el proceso de corte de la materia prima, debido a que se ejecuta mediante una cortadora de plasma manual, lo que requiere el uso de pulidoras para la eliminación de residuos y aristas cortantes, así como de limas. De igual manera, otro de los procesos conflictivos es el torneado, debido a la indisponibilidad de operarios cualificados para la manipulación de los tornos. Esta situación está ralentizando toda la cadena de producción. En este sentido, la organización está interesada en brindar apertura para el desarrollo del trabajo propuesto.

En el estudio desarrollado por Romero, Ortiz y Caicedo [6] sobre la aplicación de la teoría de restricciones y optimización mediante PLE en la industria de muebles, los autores establecieron en una industria las cantidades a fabricar de muebles para baños y cocinas y la secuencia de producción, a través de la maximización de la contabilidad del throughput o rendimiento, considerando como restricciones los puestos de trabajo que tenían una utilización superior al 100%. En dicho estudio la restricción inicial (cuello de botella) consistió en el mecanizado, que tenía una utilización del 193.71%, siendo que después de la explotación, subordinación y elevación de la restricción a través de la optimización con la PLE, permitieron que se incrementen las utilidades en 87.62%.

De manera similar, en el estudio desarrollado por parte de Herrera, Campo, Bernal y Tilves [7] sobre un modelo de teoría de restricciones con consideraciones de optimización en una industria del sector plástico, los autores destacan que la combinación de estas dos herramientas es útil para la toma de decisiones. En el caso aplicado por dichos investigadores, consiguieron un incremento de la utilidad del negocio de un 14.5%. De esa manera demostraron la ventaja que representa la combinación de la aplicación de la teoría de restricciones con la optimización en un caso real dentro del sector productivo.

Tsai, Lai y Chang [8] elaboraron un algoritmo para optimizar la decisión de productos conjuntos basado en la Teoría de las Restricciones, como una aplicación práctica de ambas herramientas en beneficio del ámbito industrial y productivo. El algoritmo creado por ellos se compone de siete pasos, cada uno de los cuales tienen en cuenta los recursos de cuello de botella en la toma de decisiones mediante el cálculo de un ratio

de prioridad para establecer su secuencia de prioridad. De acuerdo con la secuencia de prioridad del recurso más restringido, desarrollaron el programa maestro de producción inicial. Los pasos siguientes encontraron el mejor camino para alcanzar la solución óptima bajo la dirección de todos los recursos de cuello de botella. Debido a su accesibilidad y comprensibilidad, el algoritmo basado en la teoría de restricciones desarrollado por este trabajo es una herramienta práctica para obtener la decisión óptima de procesamiento posterior de productos conjuntos. Se destaca que la principal ventaja que ofrece un algoritmo de optimización basado en la teoría de restricciones consiste en que es eficiente a la hora de alcanzar la solución óptima en un problema de recursos con una o varias restricciones.

Altumi y AL-yaseer [9] realizaron un trabajo investigativo acerca de la mezcla óptima de producción a través de la Teoría de las Restricciones y la Programación Lineal. A partir de los resultados obtenidos, los autores destacan que el uso de la teoría de restricciones para la optimización de la producción es útil cuando existe más de una restricción, caso contrario es igual o más efectiva la utilización de un enfoque convencional. Es decir, ellos sugieren que se emplee la teoría de restricciones para optimizar la producción solamente cuando se identifica que haya más de una restricción. En cuanto a la programación lineal indican que ésta se suele utilizar para maximizar el beneficio a través del throughput o rendimiento de todo el sistema.

Abisambra y Mantilla [10] desarrollaron un trabajo investigativo acerca de la aplicación de la teoría de restricciones en los procesos de producción de una planta de fundición de plástico, madera y acero, con la finalidad de conseguir la reducción de inventarios, el mejoramiento del flujo de caja y de capital. Según la evaluación de la capacidad de los procesos existía un desequilibrio, que limita la capacidad general de la planta. En este sentido, gracias a la aplicación de la teoría de restricciones pudieron identificar la capacidad restrictiva, de manera que enfocaron los esfuerzos en conseguir que ésta se incremente hasta que cubra la demanda existente. Entre las acciones implementadas tuvieron que prescindir de los recursos excedentes en aquellos procesos con una capacidad superior a la demandada, específicamente reducción de personal.

Para hacer mención a algunos de los aspectos que se requieren tener en cuenta para la aplicación de la teoría de restricciones en las empresas del sector de la metalmecánica conviene hacer mención al trabajo investigativo realizado por parte de Cortabarría, Martínez y Mendoza [11]. De acuerdo a los autores se deben considerar el llevar a cabo un estudio del trabajo, tendiente a identificar la velocidad de los recursos más lentos o cuellos de botella, que se constituyen en los que determinan la velocidad del sistema de producción. Los investigadores además indican que los indicadores que permiten medir los resultados obtenidos a partir de las restricciones internas son los Throughput, inventarios y gastos operativos.

Con respecto a la programación lineal entera y mixta, la investigadora Bermúdez [12] destaca que tiene que cumplir con la condición de ser manejable, resoluble y representativa de la situación original que se desea modelar. De esa manera se podrá asegurar que las decisiones que se adopten respondan a una necesidad objetiva y real. Además, menciona que las principales contribuciones de la programación lineal se centran en la reducción de costos de producción y el ahorro de los recursos disponibles en una organización.

## **2.1.2 Teoría de restricciones**

### **2.1.2.1 Reseña histórica**

En su breve historia de 20 años, la teoría de restricciones (TOC) se ha desarrollado rápidamente en términos de metodología y áreas de aplicación. El elemento central de la filosofía de TOC es la concepción de que cualquier organización o sistema tiene una restricción o un pequeño número de restricciones que dominan todo el sistema. El secreto del éxito radica en la gestión de estas limitaciones y el sistema a medida que interactúa con estas limitaciones, para obtener lo mejor de todo el sistema. El sistema de programación Drum-Buffer-Rope (DBR), junto con los principios generales propuestos en The Goal, fueron elementos de TOC que se convirtieron en parte de una gestión de fabricación exitosa [13].

Las medidas más comunes que deben revisarse son las medidas contables, ya que TOC promueve el uso de medidas globales del sistema, en lugar de medidas locales. La

motivación para esto es que, si un sistema en su conjunto va a lograr su objetivo, es mejor que las partes individuales del sistema trabajen como un equipo en sincronía en lugar de a sus propias velocidades individuales. Debido a que en un principio la principal limitación para la mejora fue la resistencia a cambiar las medidas, no es de extrañar, por tanto, que esta sea la dirección de las empresas la que siguió TOC, para abordar esta mayor limitación de los comportamientos de adopción.

De esa manera nacieron los Procesos de Pensamiento TOC, como un conjunto de herramientas que permite a las personas aprender y utilizar los Procesos de Pensamiento que les permiten desarrollar sus propias soluciones a problemas complejos e implementarlos con éxito. Este conjunto de herramientas permite el análisis de una situación, utilizando el rigor del pensamiento de causa y efecto siguiendo estrictas reglas lógicas, combinado con la intuición y el conocimiento de las personas que poseen o están íntimamente involucradas con el problema.

Los procesos de pensamiento permiten abordar problemas más complejos y tienen mucho en común con otros enfoques de sistemas blandos, como la Metodología de sistemas blandos (SSM) y el Desarrollo y análisis de opciones estratégicas / Mapeo cognitivo desarrollado en el Reino Unido. similar a estos enfoques en que permite a los tomadores de decisiones mapear el conocimiento intuitivo y las relaciones blandas, mientras que al mismo tiempo TOC proporciona más rigor en el mapeo de estas relaciones, a través de sus reglas lógicas, las Categorías de Reserva Legítima [14].

Los procesos de pensamiento TOC ahora ofrecen mucho a los gerentes y consultores de gestión, investigadores de operaciones, analistas de sistemas y científicos de gestión, así como a los usuarios-gerentes de operaciones más tradicionales. En este sentido, son beneficiosos para cualquier persona o grupo involucrado en la estructuración de problemas o la resolución de problemas y toma de decisiones, tanto en los aspectos comerciales como personales de sus vidas. El enfoque TOC no es una panacea, ni una receta, pero es una filosofía que ayuda a conducir al éxito de una manera muy real [15].

### **2.1.2.2 Definición de teoría de restricciones**

La Teoría de las Restricciones (TOC) es una filosofía de gestión multifacética, que surgió a principios de la década de 1980. El desarrollo de TOC se atribuye principalmente a Goldratt, un físico israelí que ha tenido un impacto notable en el mundo empresarial, especialmente en los EE. UU. Su primera incursión en el mundo empresarial fue para ayudar a un amigo a organizar la fabricación de gallineros a fines de la década de 1970.

El método revolucionario de Goldratt para la programación de la producción estaba en marcado contraste con los métodos aceptados disponibles en ese momento, como la planificación de requisitos de materiales (MRP). Desde estos comienzos, se ha visto un reexamen sistemático de algunos de los problemas comerciales más fundamentales que se deben enfrentar hoy en día, que culminó en un nuevo enfoque para abordar dichos problemas. El TOC es más que un conjunto de herramientas o técnicas, aunque ciertamente contiene éstas. Es más fundamentalmente un cambio de paradigma que exige que se piense en los problemas, las metas y objetivos, políticas, procedimientos y medidas, de una manera diferente [15].

A la TOC también se le conoce por otras denominaciones tales como: administración de restricciones, fabricación de flujo sincrónico (SFM), producción sincrónica (SP) y OPT. Estos términos a veces se usan como sinónimos de la TOC, pero se usan con mayor frecuencia y de manera más correcta para describir los componentes anteriores de la TOC, en lugar de las partes más recientes, como los procesos de pensamiento [16].

TOC tiene como fundamento la Teoría de Sistemas, que surge de la consideración de que los sistemas son teleológicos; lo que quiere decir que tienen un objetivo o propósito. La TOC considera la empresa como un sistema constituido con la intencionalidad de conseguir una meta. La visión sistémica posibilita el análisis de la empresa mediante el estudio de partes menores (subsistemas que se interrelacionan entre sí en el cumplimiento de sus objetivos). En este sentido se puede considerar que “la empresa es un agrupamiento humano jerarquizado que pone en acción medios intelectuales, físicos y financieros, para extraer, transformar, transportar y distribuir

riquezas o producir servicios, conforme objetivos definidos por una dirección individual o colegiada, haciendo intervenir, en diversos grados, motivación de beneficio y de utilidad social” [3].

De acuerdo a Umble y Srikanth [17] “una restricción es cualquier elemento que limita al sistema en el cumplimiento de su meta de ganar dinero”. Es decir, el recurso restricción es un impedimento para que la empresa consiga un desempeño óptimo, por tanto, está íntimamente ligado a la generación de throughput, que se define como la velocidad a la cual el sistema genera dinero a través de las ventas.

En el ámbito industrial hay diversas categorías de restricciones, entre las que constan: mercado, manufactura, materiales, métodos de trabajo, logística, capacidad, políticas administrativas y comportamiento de las personas [18]. Las restricciones de mercado definen los límites de las cantidades de productos, y por consiguiente, afectan directamente la generación de utilidades, es decir, la meta de la empresa.

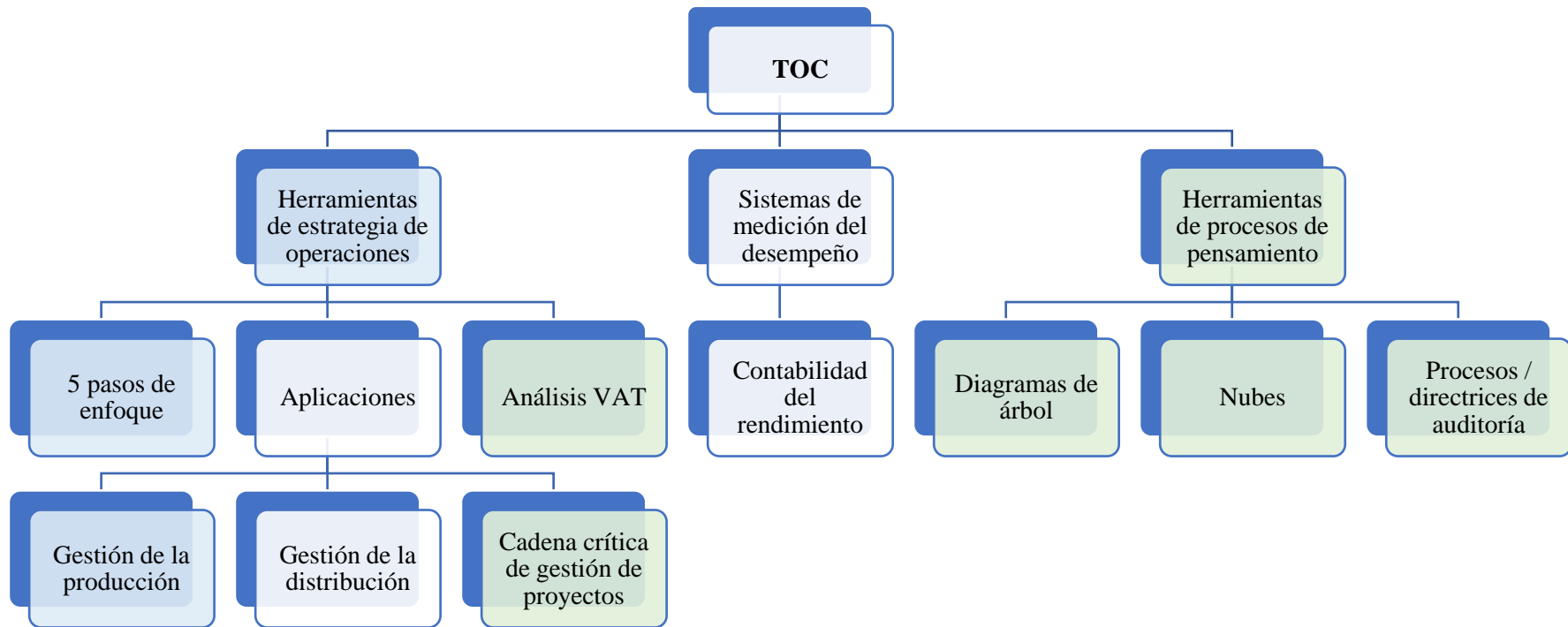
Los problemas relacionados con la capacidad y los materiales son visualizados y trabajados por los gestores empresariales con mucha más frecuencia que las restricciones de logística y comportamiento, que también son muy importantes, pero no son considerados impedimentos fuertes para el desarrollo del proceso. En cualquier situación, los gestores son los responsables por administrar adecuadamente los recursos críticos, o sea, recursos que poseen una productividad inferior a los demás [28].

Por ejemplo, si en una avenida se detecta una extensa fila de vehículos, es necesario buscar en ese punto el recurso crítico (que puede ser un semáforo), el sistema comenzará su programación en aquel punto, pues es donde más se afecta el número de carros que pasan por unidad de tiempo. Es allí donde es necesario. “tocar el tambor”, expresión utilizada como analogía para significar que en ese punto se determina el ritmo del sistema. En el caso de una fábrica que tenga, por ejemplo, nueve procesos, si se identifica el proceso cinco como cuello de botella, la programación de la fábrica debe comenzar en ese punto.



### **2.1.3 Componentes de la teoría de restricciones**

Los principales componentes de la TOC son: Herramientas de estrategia de operaciones, Sistemas de medición del desempeño y Herramientas de procesos de pensamiento. A continuación, se presenta un esquema que ilustra cada uno de los componentes de la TOC:



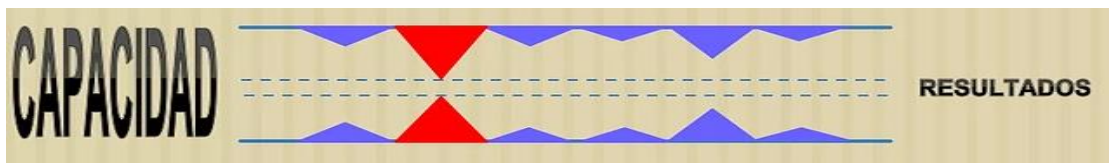
**Figura 2-1.** Componentes de la TOC [15].

## Herramientas de estrategia de operaciones

### 5 pasos de enfoque para la gestión de la producción

#### 1) Identificar la restricción

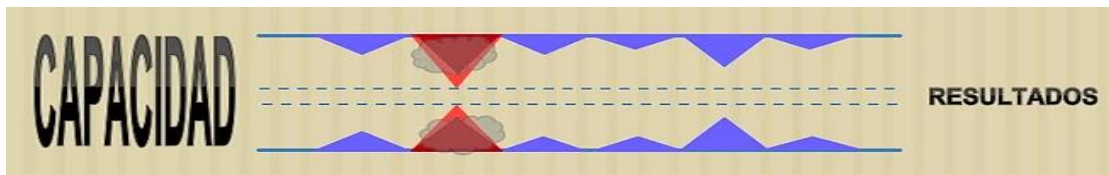
Mediante la identificación de parámetros como tiempo de proceso, capacidad de las máquinas, recursos humanos, materia prima y método de trabajo. Las restricciones limitan al sistema con la finalidad de priorizar de acuerdo al impacto que este produce.



**Figura 2-2.** Esquema de la identificación de la restricción [19].

#### 2) Explotar la restricción

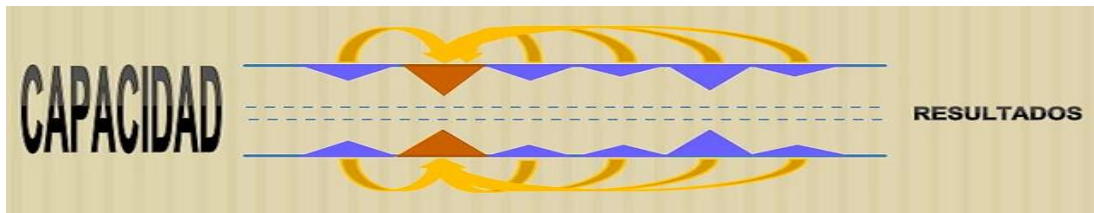
Ya identificada la restricción se requiere obtener el máximo rendimiento con la finalidad de que la capacidad esperada sea máxima y no inferior. Esto quiere decir que el enfoque son estrategias para un desempeño óptimo con la finalidad de maximizar la rentabilidad.



**Figura 2-3.** Esquema de la explotación de la restricción [19]

#### 3) Subordinar todo a la restricción

La finalidad de este paso es que todos los recursos trabajen a la velocidad de la restricción principal, para que el flujo de producción sea constante. Cada elemento debe trabajar en función a la restricción de suministros evitando así el bajo desempeño del sistema.

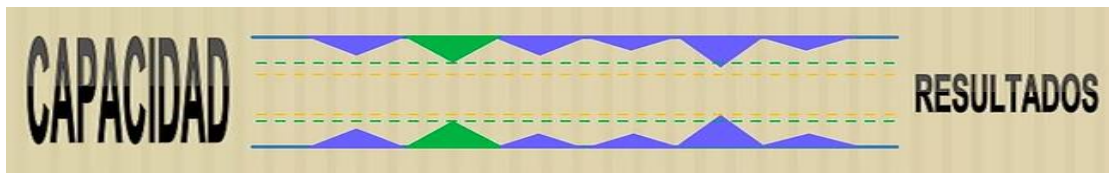


**Figura 2-4.** Esquema de la subordinación a la restricción [19].

#### 4) Aumentar la capacidad o elevar la restricción

Cumplidos los tres primeros pasos y utilizando el recurso de restricción al máximo, lo único que queda por hacer es buscar nuevas alternativas para incrementar el desempeño y la capacidad de la restricción.

¿Podemos detenernos aquí? Sí, tu intuición es correcta. Habrá otra restricción, pero verbalicémosla un poco mejor. Si elevamos y seguimos elevando una restricción, entonces debe llegar un momento en que la rompamos. Eso que hemos elevado ya no limitará el sistema. ¿El rendimiento del sistema llegará ahora al infinito? Ciertamente no. Otra restricción limitará su rendimiento y, por lo tanto, el quinto paso debe ser:

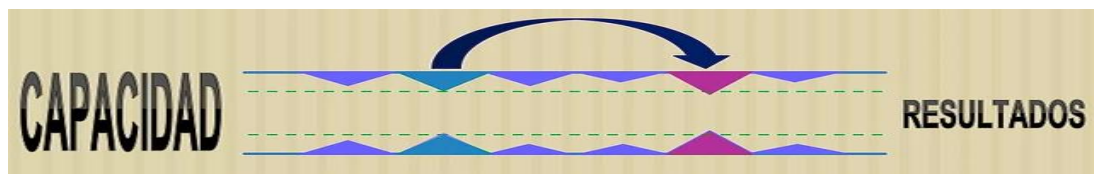


**Figura 2-5.** Esquema de la elevación de la restricción [19].

#### 5) Empezar nuevamente

Luego de haber realizado los cuatro pasos anteriores, lo más probable es que una nueva restricción tome el lugar de la restricción anterior, por lo que es necesario volver regresar al paso 1: identificar la nueva restricción. Esto se puede definir como un proceso de mejora continua. En conclusión, lo que se busca con los cinco pasos de focalización es que exista una sincronización ideal del flujo de la organización con relación a las restricciones del sistema. Una vez, adoptada TOC como una filosofía de mejora continua es fundamental medir el desempeño del sistema. Para ello TOC considera los medidores financieros como un mecanismo que permite conocer el impacto de las decisiones tomadas sobre la rentabilidad de la organización.

Desafortunadamente, no podemos indicar estos cinco pasos sin agregar una advertencia al último: "Pero no permita que la inercia cause una restricción del sistema". No podemos exagerar esta advertencia. Lo que suele ocurrir es que dentro de nuestra organización, derivamos de la existencia de las limitaciones actuales, muchas reglas. A veces de manera formal, muchas veces de forma intuitiva. Cuando se rompe una restricción, parece que no nos molestamos en volver atrás y revisar esas reglas. Como resultado, nuestros sistemas actuales están limitados principalmente por restricciones políticas. Rara vez encontramos una empresa con una limitación real del mercado, sino más bien, con limitaciones devastadoras de la política de marketing. Rara vez encontramos un verdadero cuello de botella en el taller, por lo general encontramos restricciones en la política de producción. \* Casi nunca encontramos un proveedor • Este, por cierto, es el caso descrito en El objetivo El horno y el NCX-10 no lo hicieron. realmente carecen de la capacidad necesaria para satisfacer las demandas. Alex no tuvo que comprar un horno nuevo o una nueva máquina NCX. Solo tenía que cambiar algunas de las políticas de producción que se empleaban en su planta.



**Figura 2-6.** Esquema de la identificación de una nueva restricción [19].

## **Gestión de la producción**

### **2.1.4 Criterios para la toma de decisión**

La teoría de restricciones utiliza el throughput accounting, término que se suele traducir como la contabilidad del rendimiento, que se suele definir como todo el dinero que obtiene una empresa restando el dinero que cancela a sus proveedores [20]. En el caso de las empresas de producción, el dinero destinado a los proveedores obedece al concepto de costo de la materia prima. Por consiguiente, el rendimiento se considera como la diferencia entre las ventas realizadas y el costo de la materia prima, o como la contribución marginal cuando la materia prima es el único costo variable [21].

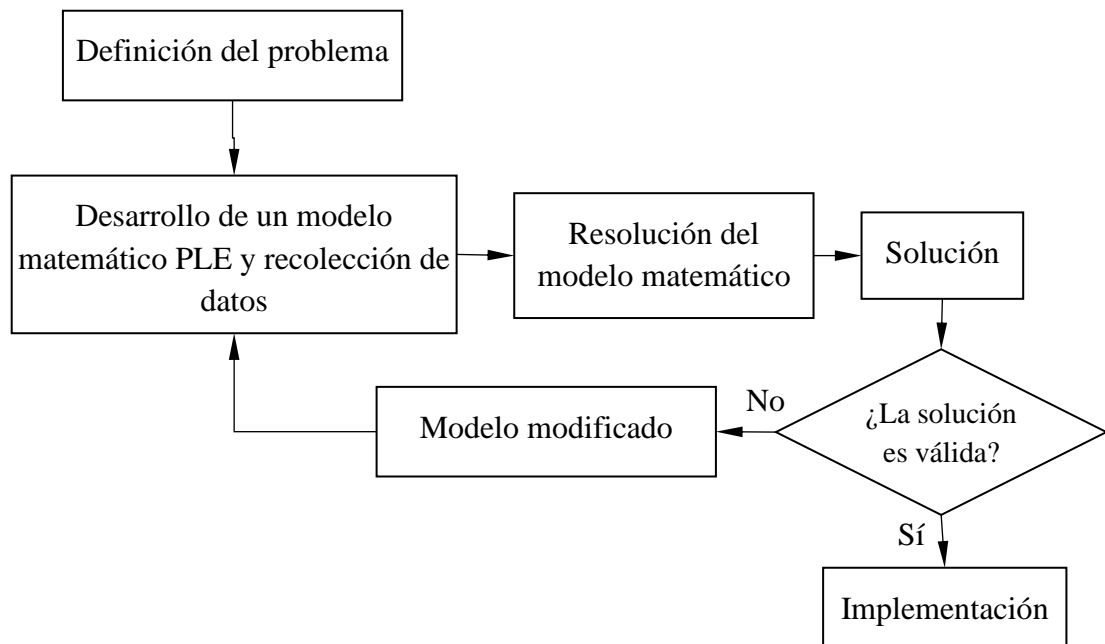
Otro parámetro de importancia es la utilidad bruta, que se define como el beneficio obtenido de la producción de un bien, que se calcula a partir de la diferencia entre los ingresos a percibir por la venta del bien menos los costos necesarios para su producción [22].

### **2.1.5 Optimización de procesos**

Varios problemas de optimización son caracterizados por la flexibilidad para establecer la utilidad entre las funciones objetivo. La estrategia experimental desempeña un papel importante para generar estas funciones objetivo, además, ésta se ha aplicado de manera conveniente para disminuir costos de calidad y en la mejora continua de la calidad de procesos y productos. Es frecuente encontrar muchas aplicaciones industriales con varias respuestas cuya finalidad es alcanzar la calidad global de un producto, por este motivo se requiere optimizar de manera simultánea las respuestas de interés. En esencia, el problema de optimización de varias respuestas involucra la selección de un conjunto de condiciones o variables independientes tales que den como resultado un producto o servicio adecuado. Es decir, se desea seleccionar los niveles de las variables independientes que optimicen todas las respuestas a la vez [24].

Para alcanzar esta meta es necesario modelar cada una de las características del proceso y luego aplicar procedimientos de optimización, uno de ellos es la función de deseabilidad modificada y el otro, derivado de la teoría de conjuntos difusos, se conoce como el método de desplazamiento ideal. El primero se caracteriza por ser un modelo de optimización multiplicativo y el segundo aditivo. Estos permitieron plantear una estrategia de optimización simultánea y se compararon con técnicas de graficación. Los dos métodos de optimización arrojan resultados similares en el proceso de optimización cuando se aplicaron a los dos casos de estudio; sus óptimos se ilustran y evalúan mediante graficas. Los métodos presentan ligeras diferencias al compararlos globalmente con la función de pérdida. Es conveniente comparar estos métodos ante distintas situaciones estadísticas, como pueden ser respuestas correlacionadas, valores aberrantes o variables de respuesta que sigan una distribución de probabilidad no normal [25].

La optimización de los procesos es parte de la investigación de operaciones, como un método cuantitativo que se lleva a cabo mediante la ejecución de una serie de pasos. De acuerdo a Mathur y Solow (1996), la metodología para abordar los problemas inherentes a las operaciones de las organizaciones, se pueden esquematizar de la siguiente manera:



**Figura 2-7.** Metodología para la solución de un problema de investigación de operaciones [6].

De acuerdo a la Figura 2-7, la solución de un problema de investigación de operaciones demanda de la incorporación de un modelo matemático, que cuantifique las variables involucradas, con la finalidad de establecer el rol que desempeñan en la cadena de producción y de que manera la interacción de las mismas inciden en un determinado problema. Comúnmente los problemas están relacionados con excesivos tiempos de producción, elevados costos asociados o con bajas utilidades de la producción de bienes. En este sentido, los modelos matemáticos más usuales en el ámbito de las empresas de producción industrial corresponden a los modelos de optimización.

Existen algunos esquemas experimentales que se pueden plantear para resolver los problemas de optimización en la industria, entre los que constan los diseños

factoriales, diseños factoriales fraccionados, diseño Box–Benhken o diseño central compuesto. Comúnmente, las variables de respuesta se pueden modelar con los resultados al aplicar alguno de estos diseños. Generalmente estos modelos suelen ser lineales y están en función de los factores [26]. De esta manera para  $r$  respuestas se tienen  $r$  modelos, el  $j$ -ésimo modelo para esa respuesta  $Y_j$  se escribe de la siguiente manera:

$$Y_j = \beta_{j0} + X^t \beta_j + X^t \beta_j X + \varepsilon_j \quad (1)$$

Donde:

$X^t = (x_1, \dots, x_k)$   $k$  factores,  $\beta_{j0}$  la constante,  $\beta_j = (\beta_{j1}, \dots, \beta_{jk})$  un vector de parámetros,  $\beta_j = (\beta_{j11}, \dots, \beta_{j1k}, \beta_{jk1}, \dots, \beta_{jkk})$  matriz simétrica de parámetros de segundo orden, y  $\varepsilon_j \sim N(0, \sigma_j^2), j = 1, \dots, r$ .

El problema consiste en determinar la combinación de los factores que produzca el óptimo global, es decir, que todas las respuestas den su mejor valor. Esta situación se puede plantear como:

$$\begin{aligned} &\text{Optimizar } Y_1 \\ &\text{Sujeto a } Y_2 = M_1 \\ &\quad Y_r = M_{r-1} \\ &X \in R, R: \text{ región experimental,} \end{aligned} \quad (2)$$

Donde los  $M_j$  ( $j = 1, \dots, r-1$ ) representan consideraciones importantes, objetivos o restricciones para las respuestas. En el procedimiento de ajuste por mínimos cuadrados los modelos descritos en (2) se expresan por:

$$\hat{Y}_j = \hat{\beta}_{j0} + X^t \hat{\beta}_j + X^t \hat{\beta}_j X, \quad (3)$$

Donde  $\hat{\beta}_{j0}$ ,  $\hat{\beta}_j$  y  $\hat{\beta}_j$  son los estimadores de mínimos cuadrados.

### 2.1.5.1 Programación lineal

La mezcla óptima de producción es un tipo de problema de planificación para un solo período, cuya solución determina las cantidades óptimas de fabricación de un conjunto



de bienes o servicios, sujetos a restricciones de capacidad y demanda del mercado. Una secuencia usualmente corresponde a una permutación de  $n$  trabajos, los cuales tienen que ser procesados en una máquina dada. Por lo general estos trabajos se colocan en diagramas Gantt [6].

A nivel mundial las organizaciones que aplican modelos de optimización obtienen reducciones en sus costos, por lo que estos modelos cada día son más relevantes entre la comunidad científica internacional [12]. La optimización matemática en programación lineal (PL) y programación lineal entera (PLE), tienen una amplia aplicación para resolver problemas empresariales reales, permitiendo la toma de decisiones individuales y conjuntas para la gestión organizacional, con el objeto de usar eficientemente los recursos e incrementar las ganancias [27]. La mayoría de investigadores están de acuerdo que los problemas de scheduling (programación) pueden resolverse óptimamente empleando técnicas de programación matemática y que la optimización en PL y PLE es útil para resolver problemas relacionados con la programación de la producción y los requerimientos de materiales [6].

En la teoría de restricciones el parámetro de maximización suele ser la contabilidad del rendimiento que al mismo tiempo repercute en una maximización de la utilidad bruta total [6].

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Ubicación

La investigación se lleva a cabo en las instalaciones de la empresa Maquinarias Espín, localizada en la Provincia de Tungurahua, Cantón Ambato, en la Vía a Guaranda km 1 sector Huachi Chico, en la calle Humberto Fierro S/N entre Noboa y Caamaño y Medardo Ángel Silva. Maquinarias Espín se dedica al diseño, construcción y mantenimiento de maquinaria, principalmente para el sector maderero y en menor grado para el metalmecánico. Específicamente se observará el proceso de fabricación de las máquinas, por consiguiente, se efectúa una investigación de campo en el área de producción. Esta investigación se realiza durante el primer trimestre del año 2021.



**Figura 3-1.** Vista panorámica de las instalaciones de Maquinarias Espín.

#### 3.2 Tipo de investigación

La investigación es de tipo descriptiva y relacional. Desde el punto de vista descriptivo, se desarrolló un estudio individualizado de las restricciones que limitan el normal desempeño de los procesos de fabricación de las máquinas, con la finalidad de

detectar las deficiencias que existen. A la vez que se tomaron los tiempos de ejecución de los procesos y se realizó una diagramación de los mismos, con la finalidad de establecer los desperdicios existentes. Por otra parte, se establece una optimización de los procesos, teniendo como objetivo la maximización de la contabilidad del rendimiento, la cual más adelante determina la utilidad bruta obtenida de la producción.

### **3.3 Prueba de Hipótesis**

La presente investigación se enfoca en la optimización de los procesos operativos de la Empresa Maquinarias Espín, mediante la aplicación de un estudio técnico basado en la teoría de las restricciones. En este sentido, se formulan las siguientes hipótesis:

#### **3.3.1 Hipótesis investigación**

H<sub>1</sub> “La aplicación de la teoría de restricciones permite optimizar los procesos operativos en una empresa metalmecánica”.

#### **3.3.2 Hipótesis Nula**

H<sub>0</sub> “La aplicación de la teoría de restricciones no permite optimizar los procesos operativos en una empresa metalmecánica”.

### **3.4 Población y muestra**

Para el desarrollo de la presente investigación la población está conformada por los procesos de fabricación de las máquinas de procesamiento de madera, así como las unidades producidas y las máquinas utilizadas para llevar a cabo la producción. En lo que respecta a los procesos, se consideran todos aquellos que corresponden a la parte operativa o de planta; mientras que, para el caso de las máquinas fabricadas, se aplica una muestra aleatoria, considerando los principales tipos de máquinas que se fabrican en la empresa.

### 3.4.1 Procesos

A continuación, se detalla la población de los procesos operativos que son observados en el desarrollo de la investigación:

**Tabla 3-1.** Población en la investigación, procesos operativos.

Ítems	Procesos
1	Preparación (trazado, corte, enderezado y doblado)
2	Maquinado (forjado, soldado, taladrado, torneado, fresado y limado)
3	Ensamblaje
4	Acabados (cepillado, pulido, pintado)
5	Pruebas de funcionamiento

### 3.4.2 Unidades de producción

En cuanto a la población de las máquinas que son fabricadas por parte de la Empresa Maquinarias Espín, a continuación, se presenta el detalle de la cantidad media anual fabricada y clasificada según el análisis ABC, de acuerdo al nivel de ventas que tienen:

**Tabla 3-2.** Población de máquinas fabricadas en los últimos dos años.

Ítems	Producción de Máquinas	Volumen anual medio	Nivel ABC*
1	Sierra circular	240	A
2	Cepilladora de 45 cm	149	A
3	Canteadora	122	A
4	Sierra de cinta	56	B
5	Tupy	45	B
6	Machimbrador	31	B
7	Afiladora de cuchillas	14	C
8	Torno	11	C
9	Cepilladora de 60 cm	9	C
10	Pulidora de pisos	4	C
11	Laminadora	2	C

\* El nivel de clasificación ABC se estableció con base en el volumen de ventas anual de las máquinas de procesamiento de madera elaboradas en Maquinarias Espín. En este sentido, la gama A representa los productos que son elaborados en mayor cantidad y que se constituyen en los denominados productos estrella. Mientras tanto que de la categoría B forman parte aquellos productos que son vendidos habitualmente, aunque

en menor cantidad que los anteriores. De su lado los productos de la gama C son aquellos que tienen un bajo nivel de pedidos, pudiendo ser incluso inferior a una unidad por mes.

Con la finalidad de poder recopilar información fiable y representativa de la situación de la producción de máquinas de procesamiento de madera es pertinente obtener una muestra de la población. Se optó por considerar un muestreo no probabilístico, con base en la disponibilidad de unidades de observación durante el lapso de estudio del presente trabajo investigativo. Por esta razón y dado la importancia de los niveles ABC, se estudiaron todas las máquinas de los niveles A y B, así como la principal máquina de nivel C por volumen de producción. En este sentido, la muestra considerada se detalla como sigue:

**Tabla 3-3.** Muestra de la producción de máquinas fabricadas.

Ítems	Producción de Máquinas	Tamaño de la muestra	Nivel ABC
1	Sierra circular	10	A
2	Cepilladora de 45 cm	10	A
3	Canteadora	10	A
4	Sierra de cinta	10	B
5	Tupy	10	B
6	Machiembrador	10	B
7	Afiladora de cuchillas	10	C

### 3.4.3 Máquinas

Las máquinas disponibles en la Empresa Maquinarias Espín y que serán utilizadas para la fabricación de la producción durante el proceso de recolección de la información se detallan en la Tabla 3-4:

**Tabla 3-4.** Muestra de máquinas disponibles para la producción.

Ítems	Máquinas	Cantidad
1	Amoladora	2
2	Cepillo de puente	2
3	Cepillo de vaivén	1
4	Fresadora	2
5	Taladro de pedestal	2
6	Sierra de cinta	2
7	Dobladora de tol	1

Ítems	Máquinas	Cantidad
8	Soldadora MIG	4
9	Torno	5
10	Fragua	2
11	Cortadora de plasma manual	1
12	Cortadora de plasma automática*	1
13	Pulidoras	3
14	Soldadora SMAW	3
15	Taladro de mano	2
16	Cizalla manual	2
17	Esmeril	2
18	Compresor	1
19	Prensa hidráulica	1

\* No disponible en la situación actual, adquirida para la propuesta.

En la Tabla 3-5 se muestran las principales herramientas disponibles en la Empresa Maquinarias Espín:

**Tabla 3-5.** Muestra de herramientas para la producción.

Ítems	Máquinas	Cantidad
1	Rayador	4
2	Llaves	-
3	Sierra manual	2
4	Dados	-
5	Matrices	6
6	Escuadras	5
7	Combos	4
8	Limas	10
9	Pistolas de pintura	2

#### 3.4.4 Recursos Humanos

Los recursos humanos que son parte de la producción de la Empresa Maquinarias Espín son los siguientes:

**Tabla 3-6.** Recursos humanos.

Ítems	Cargo	Área de trabajo	Cantidad
1	Gerente General	Producción	1
2	Jefe de Producción	Producción	1
3	Operarios	Producción	17

Ítems	Cargo	Área de trabajo	Cantidad
4	Ayudantes	Producción	11
	Total	-	30

### 3.5 Recolección de información

La recolección de la información se efectuó en el lugar de los hechos, es decir en la planta de producción de la Empresa Maquinarias Espín, tomando como referente la producción de máquinas para el procesamiento de muebles de madera, específicamente en la fabricación de sierras circulares, cepilladoras y canteadoras.

Para la toma de datos se utilizaron fichas de campo que registraron la información de los recursos materiales utilizados, máquinas asignadas, tiempos observados de procesos, demanda existente de los pedidos, responsables, costos de producción, entre otros. De igual manera se utilizaron listas de verificación para identificar las deficiencias halladas en la cadena de producción.

### 3.6 Procesamiento de la información

El procesamiento de la información y el registro de los datos se realizó con el uso de una hoja de cálculo. El análisis estadístico es de tipo descriptivo, se realizó una tabulación y se representaron los datos en gráficos y diagramas estadísticos que representan los principales resultados alcanzados para cada una de las variables, en correspondencia con los objetivos planteados.

Para llevar a cabo la optimización de los procesos operativos mediante la aplicación de la teoría de restricciones, se implementaron los cinco pasos de enfoque para la gestión de la producción dentro de las herramientas de estrategia de operaciones. En este sentido, se realizaron las siguientes actividades:

- Identificación de la restricción dentro de la cadena de producción de la empresa metalmecánica Maquinarias Espín, teniendo como parámetros de interés el factor tiempo, la demanda de los productos y los costos asociados a la cadena de producción.

- Explotación de la restricción mediante el desarrollo de un modelo matemático de programación lineal entera (PLE), para la optimización de los procesos operativos tomando en cuenta los recursos existentes.
- Subordinación de todo a la restricción, mediante ajuste de la producción a la capacidad máxima una vez resuelto el problema de programación lineal.
- Elevación de la restricción mediante la incorporación de nuevos recursos tecnológicos y actualización de la nueva capacidad de la producción.
- Identificación y análisis de una nueva restricción.

### 3.7 Variables respuesta o resultados alcanzados

A continuación, se indican las variables de respuesta consideradas en el presente estudio:

**Tabla 3-7.** Variables respuesta o resultados alcanzados.

INDEPENDIENTE	DEPENDIENTE
X <sub>1</sub> Aplicación de la teoría de restricciones.	Y <sub>1</sub> Optimización de los procesos operativos.



## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

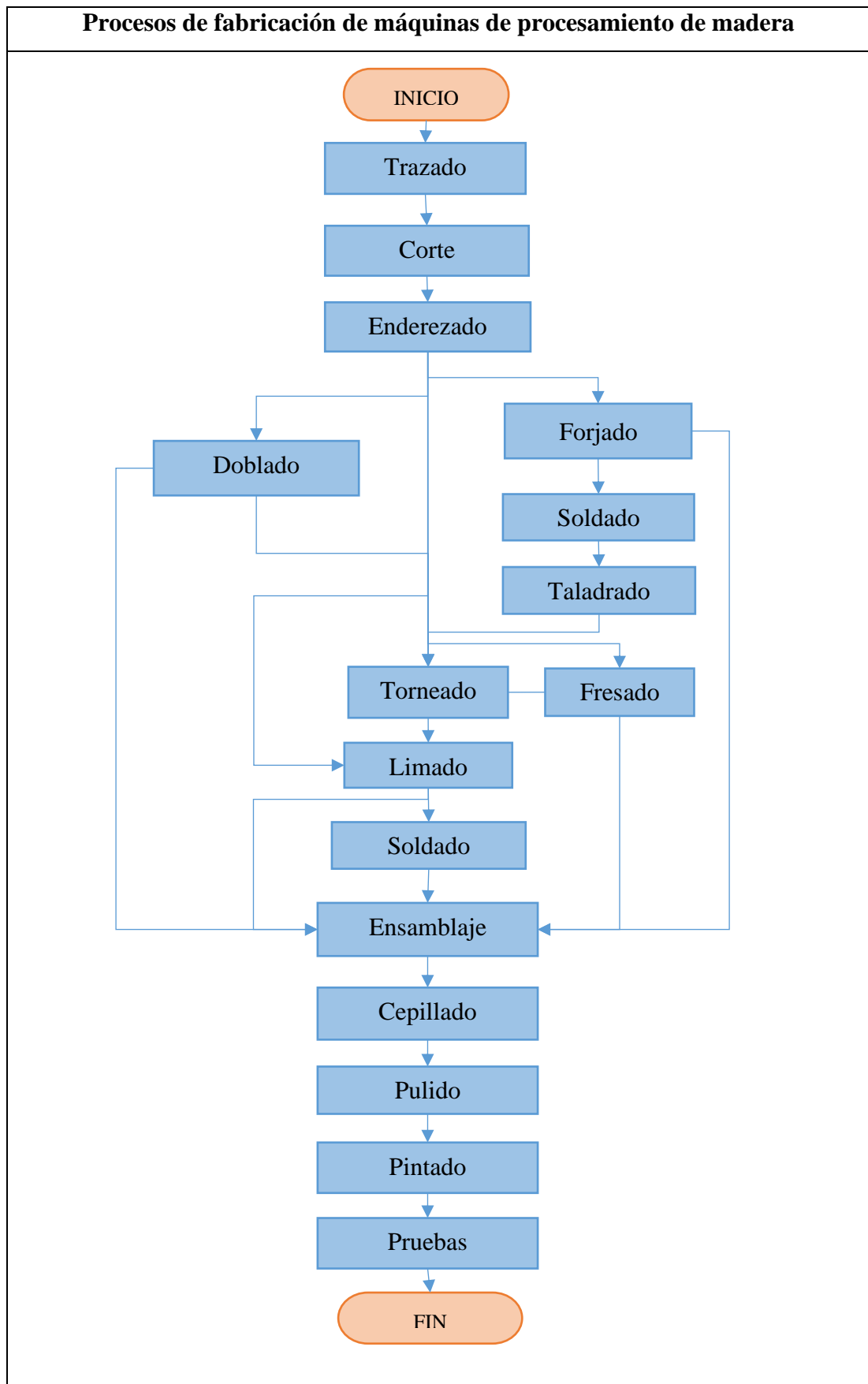
#### **4.1 Situación actual de los procesos operativos**

##### **4.1.1 Descripción de los procesos operativos**

La producción de las máquinas de procesamiento de madera en Maquinarias Espín se desarrolla en 15 procesos, que comprenden 23 puestos de trabajo. Para el efecto se utilizan las máquinas enlistadas en la Tabla 3-4, las herramientas de la Tabla 3-5 y el talento humano indicado en la Tabla 3-6 del presente documento. Debido a la diversidad de productos que se elaboran (Tabla 3-2), la gerencia general ha optado por establecer una distribución en planta por procesos.

Al mismo tiempo, debido a que los procesos y actividades desarrolladas en la fabricación de todos los tipos de máquinas de procesamiento de madera son similares, es conveniente presentar un diagrama de flujo de procesos general, que represente las operaciones realizadas y la secuencia en la que se realizan cada una de ellas. En la Figura 4-1 se presenta el diagrama de flujo de los procesos, en donde se aprecia que el primero es el trazado, seguido del corte, enderezado, doblado, forjado, soldado, taladrado, torneado, fresado, limado, soldado, ensamblaje, cepillado, pulido, pintado y pruebas de funcionamiento.

En la Tabla 4-1 se muestran imágenes del desarrollo de los procesos de trazado, corte, doblado, limado, torneado, fresado, pulido y pintado, en la elaboración de máquinas de procesamiento de madera en Maquinarias Espín. En cada una de ella se visualiza las condiciones de trabajo, tanto de las máquinas, herramientas, operarios e indumentaria de trabajo.



**Figura 4-1.** Flujograma de los procesos de fabricación de máquinas para procesamiento de la madera.

**Tabla 4-1.** Procesos de la elaboración de máquinas para procesamiento de madera.

Procesos de la elaboración de las máquinas para el procesamiento de madera.	
Trazado	Corte
	
Doblado	Limado
	
Torneado	Fresado
	

Procesos de la elaboración de las máquinas para el procesamiento de madera.	
Pulido	Pintado
	

Los principales productos que se fabrican en Maquinarias Espín son: sierras circulares, cepilladoras, canteadoras, sierras de cinta, tupys, machimbradores, afiladoras de cuchillas, tornos, cepilladoras, pulidoras de pisos y laminadoras. El volumen de producción mensual obedece a los pedidos que se reciben, los cuales suelen ser medianamente estables con pequeñas variaciones. Sin embargo, se puede establecer una media aproximada de unidades fabricadas para cada tipo de máquinas de procesamiento de madera, tomando en cuenta el historial disponible los años 2019 y 2020, conforme se indica en la Tabla 3-2. Precisamente el presente estudio se desarrolló en función de la media de producción mensual.

En la Tabla 3-2 también se establecen los niveles ABC de los productos con base en el volumen de producción, siendo los A aquellos con mayor volumen y los productos C los que se elaboran en menor cantidad. A continuación en la Tabla 4-2, se muestran los afiches con las principales especificaciones de las máquinas de procesamiento de madera fabricadas en Maquinarias Espín y fotografías de cada una de ellas:



**Tabla 4-2. Máquinas para el procesamiento de madera fabricadas en Maquinarias Espín.**

Máquinas para el procesamiento de madera	
Sierra Circular	
  <p><b>SIERRA CIRCULAR</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- MESA DE 600MM DE ANCHO POR 1100MM DE LARGO</li> <li>- EJE DE DOS VELOCIDADES (2500 Y 3500RPM)</li> <li>- CAPACIDAD MAXIMA PARA DISCO DE 20"</li> <li>- INCLUYE PERFORADORA</li> <li>- MOTOR 7.5 H.P. MONOFÁSICO BLINDADO 1800 RPM. MARCA WEG</li> </ul> <p>DIRECCION: CALLE HUMBERTO FIERRO S/N ENTRE NOBOA Y CAAMAÑO Y MEDARDO ANGEL SILVA (VIA A GUARANDA KM. 1) TELEFONOS: PLANTA: (03)2585430 DOMICILIO: (03)2825582 CEL: 099 896 9654 AMBATO -ECUADOR</p>	
Cepilladora de 45 cm	
  <p><b>CEPILLADORA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- MESA DE 300, 450 y 600MM, DE ANCHO</li> <li>- CILINDRO PARA 4 CUCHILLAS</li> <li>- MOTOR DE 7.5 H.P. TRIFASICO (3600RPM) BLINDADO MARCA WEG</li> </ul> <p>DIRECCION: CALLE HUMBERTO FIERRO S/N ENTRE NOBOA Y CAAMAÑO Y MEDARDO ANGEL SILVA (VIA A GUARANDA KM. 1) TELEFONOS: PLANTA: (03)2585430 DOMICILIO: (03)2825582 CEL: 099 896 9654 AMBATO -ECUADOR</p>	
Canteadora de Plancha	
  <p><b>CANTEADORA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- MESA DE 330MM DE ANCHO POR 2000MM DE LARGO</li> <li>- MOTOR DE 5H.P. TRIFASICO BLINDADO EN (3600RPM) MARCA WEG</li> </ul> <p>DIRECCION: CALLE HUMBERTO FIERRO S/N ENTRE NOBOA Y CAAMAÑO Y MEDARDO ANGEL SILVA (VIA A GUARANDA KM. 1) TELEFONOS: PLANTA: (03)2585430 DOMICILIO: (03)2825582 CEL: 099 896 9654 AMBATO -ECUADOR</p>	

## Máquinas para el procesamiento de madera

### Sierra de Cinta



**SIERRA DE CINTA**

- MESA RECLINABLE DE 700 x 700MM
- VOLANTES DE 450MM. DE DIAMETRO
- MOTOR DE 1 H.P. MONOFASICO 1800RPM

DIRECCION: CALLE HUMBERTO FIERRO SIN ENTRE NOBOA Y CAMAÑO Y MEDARDO ANGEL SILVA (VIA A GUARANDA KM. 1)  
TELEFONOS: PLANTA: (03)2585430 DOMICILIO: (03)2825582 CEL: 099 896 9654  
AMBATO -ECUADOR



### Tupy



**TUPY**

- MESA DE: 800MM POR 800MM
- EJE PORTAFRESA DE DOS VELOCIDADES (4000 Y 5000RPM)
- MOTOR DE 3 H.P. MONOFASICO BLINDADO EN 1750 RPM MARCA WEG

DIRECCION: CALLE HUMBERTO FIERRO SIN ENTRE NOBOA Y CAMAÑO Y MEDARDO ANGEL SILVA (VIA A GUARANDA KM. 1)  
TELEFONOS: PLANTA: (03)2585430 DOMICILIO: (03)2825582 CEL: 099 896 9654  
AMBATO -ECUADOR



### Cepillo Machimbre



**CEPILLO MACHIMBRE**

- MESA DE 450MM. DE ANCHO
- CILINDRO PARA 4 CUCHILLAS
- MOTOR DE 7.5H.P. MONOFÁSICO (3600RPM)
- DOS MOTORES DE 3 H.P. MONOFÁSICOS (1800RPM) BLINDADOS MARCA WEG

DIRECCION: CALLE HUMBERTO FIERRO SIN ENTRE NOBOA Y CAMAÑO Y MEDARDO ANGEL SILVA (VIA A GUARANDA KM. 1)  
TELEFONOS: PLANTA: (03)2585430 DOMICILIO: (03)2825582 CEL: 099 896 9654  
AMBATO -ECUADOR



#### 4.1.2 Identificación de la restricción dentro de la cadena de producción

Con base en la aplicación de la teoría de restricciones, la primera etapa corresponde a la identificación de la restricción dentro de la cadena de producción. Para el efecto se consideran todos los recursos que intervienen, tales como: talento humano, materia prima, consumo energético, máquinas y herramientas.

A continuación en la Tabla 4-3 se presenta el detalle del talento humano que labora en Maquinarias Espín, indicando el cargo que desempeñan, la cantidad de individuos que laboran, las máquinas y herramientas que utilizan, la remuneración mensual individual y el costo que representa para la empresa:

**Tabla 4-3.** Talento humano que labora en Maquinarias Espín.

Ítems	Denominación del cargo	Cantidad	Máquinas - herramientas que maneja	Remuneración mensual (\$)	Remuneración mensual total (\$)
1	Gerente General	1	-	1500	1500
2	Jefe de Producción	1	-	550	550
3	Operario 1	1	Cortadora de plasma y compresor	400	400
4	Operario 2	4	Taladro de pedestal, fresadora, escuadra, flexómetro, marcador	400	1600
5	Operario 3	1	Prensa hidráulica	400	400
6	Operario 4	1	Fragua y matrices	400	400
7	Operario 5	1	Soldadora SMAW, pistola de pintura	400	400
8	Operario 6	2	Soldadora MIG	400	800
9	Operario 7	4	Torno	400	1600
10	Operario 8	2	Herramientas manuales	400	800
11	Operario 9	1	Cepillo de puente	400	400
12	Ayudante 1	1	Esmeril y limas manuales	360	360
13	Ayudante 2	1	Sierra de mano	360	360
14	Ayudante 3	1	Fragua y matrices	360	360
15	Ayudante 4	1	Cepillo de vaivén	360	360

Ítems	Denominación del cargo	Cantidad	Máquinas - herramientas que maneja	Remuneración mensual (\$)	Remuneración mensual total (\$)
16	Ayudante 5	2	Herramientas manuales	360	720
17	Ayudante 6	1	Cepillo de puente	360	360
18	Ayudante 7	1	Sierra de cinta	360	360
19	Ayudante 8	1	Dobladora	360	360
20	Ayudante 9	1	Pulidora y herramientas para pruebas	360	360
21	Ayudante 10	1	Taladro de mano	360	360
Total mensual		30	-	-	<b>10760</b>

Como se observa en la Tabla 4-3, el talento humano de Maquinarias Espín está conformado por parte del gerente general, jefe de producción, operarios y ayudantes. Entre los operarios y los ayudantes suman un total de 28 personas. La distribución de los puestos de trabajo en el área operativa se ha establecido con base en el requerimiento para cubrir la demanda de producción existente, aunque en la práctica esta distribución no responde a la necesidad de optimización de los procesos operativos. Particularmente, de acuerdo a la percepción de la gerencia existe dificultad en la realización del proceso de corte, que suele dar lugar a la formación de cuellos de botella, dado que el tiempo de ejecución de las tareas suele estancar el flujo de la cadena de producción. Más adelante se analiza el efecto de la actual distribución de los puestos de trabajo en la capacidad de producción.

La materia prima que se utiliza para la fabricación de las máquinas de procesamiento de madera es muy diversa, así como la cantidad que se emplea en cada caso. Los materiales son entre otros: motores eléctricos, perfiles angulares, planchas de acero, cadenas, ejes, bandas, pernos, chumaceras, canales, platinas, varillas cuadradas y redondas, varillas roscadas, piñones, resortes, rodamientos, tubos cuadrados, entre otros. En el Anexo A del presente documento consta la lista completa de los materiales utilizados en cada tipo de máquina que se construye en Maquinarias Espín, también se detallan las dimensiones de los materiales, las unidades de medición, las cantidades, los costos unitarios de los materiales y los costos totales de los mismos.



Un aspecto de relevancia es el costo de los materiales, puesto que éste incide directamente en el costo de producción y condiciona el precio de venta de los productos. Adicional a los materiales, en el costo total de producción también influye la mano de obra y el consumo energético. En la Tabla 4-4 se presenta el detalle del costo de producción unitario de cada una de las siete máquinas producidas en Maquinarias Espín y que son consideradas en la muestra del presente estudio. En la información consta la denominación de la máquina, las características del motor, los costos totales de los materiales por máquina, el tiempo de ciclo para la fabricación de cada una (ver Anexo B del estudio de tiempos), el volumen de producción mensual media, el tiempo requerido para la fabricación de la cantidad de máquinas, la proporción del tiempo invertida en cada tipo de máquina respecto al total, el costo de mano de obra equivalente para cada máquina, el costo de energía unitario, el costo de energía mensual equivalente para cada tipo de máquina y el costo de producción unitario de las mismas. El costo de producción más bajo corresponde a la sierra cinta con un valor de \$ 634.44 por unidad, mientras que el costo de producción más elevado es de un cepillo machimbre con un valor de \$ 2360.44.

**Tabla 4-4.** Costo de producción unitario por máquina fabricada en Maquinarias Espín.

No.	Denominación máquina	Detalle	Costos materiales (\$)*	Tiempo unitario de fabricación (h)	Producción mensual (u)	Tiempo mensual de fabricación (h)	Frecuencia relativa de tiempo	Costo mano de obra (\$)	Costo de energía unitario (\$)	Costo de energía mensual (\$)	Costo de producción unitario (\$)
1	Sierra Circular	Motor: 7,5 H.P. Tri en 1800 Blin.; 7,5 H.P. Mono en 1800 Blin.; 5 H.P. Tri en 1800 Blin.; 5 H.P. Mono en 1800 Blin.	895.01	98	20	1960	2.1%	222.73	2.03	40.52	1119.77
2	Cepilladora de 45 cm	Motor: 7,5 H.P. Tri en 3600 Blin.; 7,5 H.P. Mono en 3600 Blin.; 5 H.P. Tri en 3600 Blin.; 5 H.P. Mono en 3600 Blin.	1496.42	86	12	1032	1.8%	195.45	1.78	21.33	1693.65
3	Canteadora de Plancha	Motor: 5 H.P. Tri en 3600 Blin.; 5 H.P. Mono en 3600 Blin.	799.22	64	10	640	1.4%	145.45	1.32	13.23	946.00
4	Sierra de Cinta	Motor: 1 H.P. Tri en 1800 Blin.; 1 H.P. Mono en 1800 Abie.	455.56	78	4	312	1.6%	177.27	1.61	6.45	634.44
5	Tupy	Motor: 3 H.P. Tri en 3600 Blin.; 3 H.P. Mono en 3600.	638.83	71	3	213	1.5%	161.36	1.47	4.40	801.66
6	Cepillo Machimbre	Motor: 1) 5 H.P. Tri en 3600 Blin, 2) 3 H.P. Tri en 3600 Abi.; 1) 7,5 H.P. Tri en 3600 Blin, 2) 3 H.P. Tri en 3600 Abi.; 1) 7,5 H.P. Mono en 3600 Blin, 2) 3 H.P. Mono en 3600 Abi.; 1) 5 H.P. Mono en 3600 Blin, 2) 3 H.P. Mono en 3600 Abi.	1812.32	239	2	478	5.0%	543.18	4.94	9.88	2360.44
7	Afiladora de Cuchillas	Motor: 1 H.P. Mono en 1800 Blin.; 0,5 H.P. Moto bomba	729.13	104	1	104	2.2%	236.36	2.15	2.15	967.64

\* En los costos de los materiales no constan los precios de los motores eléctricos.

**Tabla 4-5.** Precio de venta al público de cada máquina fabricada en Maquinarias Espín.

<b>No.</b>	<b>Denominación máquina</b>	<b>Detalle</b>	<b>Costo unitario por máquina (\$)</b>	<b>Costo motor (\$)</b>	<b>Costo unitario total (\$)</b>	<b>Utilidad (%)</b>	<b>P.V.P. Unitario (\$)</b>
1	Sierra Circular	Mesa 600 mm de ancho por 1100 mm de largo con mesa perforadora. Motor: 7,5 H.P. Tri en 1800 Blin.	1119.77	426	1545.77	83%	2826
2	Sierra Circular	Mesa 600 mm de ancho por 1100 mm de largo con mesa perforadora. Motor: 7,5 H.P. Mono en 1800 Blin.	1119.77	684	1803.77	71%	3084
3	Sierra Circular	Mesa 600 mm de ancho por 1100 mm de largo con mesa perforadora. Motor: 5 H.P. Tri en 1800 Blin.	1119.77	615	1734.77	74%	3015
4	Sierra Circular	Mesa 600 mm de ancho por 1100 mm de largo con mesa perforadora. Motor: 5 H.P. Mono en 1800 Blin.	1119.77	630	1749.77	73%	3030
5	Cepilladora de 45 cm	Mesa 300 mm de ancho, cilindro para 3 cuchillas. Motor: 7,5 H.P. Tri en 3600 Blin.	1693.65	334	2027.65	59%	3234
6	Cepilladora de 45 cm	Mesa 300 mm de ancho, cilindro para 3 cuchillas. Motor: 7,5 H.P. Mono en 3600 Blin.	1693.65	675	2368.65	51%	3575
7	Cepilladora de 45 cm	Mesa 300 mm de ancho, cilindro para 3 cuchillas. Motor: 5 H.P. Tri en 3600 Blin.	1693.65	296	1989.65	61%	3196
8	Cepilladora de 45 cm	Mesa 300 mm de ancho, cilindro para 3 cuchillas. Motor: 5 H.P. Mono en 3600 Blin.	1693.65	562	2255.65	53%	3462
9	Canteadora de plancha	Mesa 330 mm de ancho por 2000 mm de largo. Motor: 5 H.P. Tri en 3600 Blin.	946.00	296	1242.00	101%	2496
10	Canteadora de plancha	Mesa 330 mm de ancho por 2000 mm de largo. Motor: 5 H.P. Mono en 3600 Blin.	946.00	560	1506.00	83%	2760
11	Sierra de Cinta	Mesa reclinable de 700 mm de ancho por 700 mm de largo, volante de 45 cm de diámetro. Motor: 1 H.P. Tri en 1800 Blin.	634.44	136	770.44	67%	1286
11	Sierra de Cinta	Mesa reclinable de 700 mm de ancho por 700 mm de largo, volante de 45 cm de diámetro. Motor: 1 H.P. Mono en 1800 Abie.	634.44	134	768.44	67%	1284
12	Tupy	Mesa de 800 mm de ancho por 800 mm de largo, eje de 2 velocidades 4000 y 5000 RPM. Motor: 3 H.P. Tri en 3600 Blin.	801.66	205	1006.66	99%	2005

<b>No.</b>	<b>Denominación máquina</b>	<b>Detalle</b>	<b>Costo unitario por máquina (\$)</b>	<b>Costo motor (\$)</b>	<b>Costo unitario total (\$)</b>	<b>Utilidad (%)</b>	<b>P.V.P. Unitario (\$)</b>
13	Tupy	Mesa de 800 mm de ancho por 800 mm de largo, eje de 2 velocidades 4000 y 5000 RPM. Motor: 3 H.P. Mono en 3600.	801.66	210	1011.66	99%	2010
14	Cepillo Machimbre	Mesa 350 mm de ancho, cilindro para 4 cuchillas. Motor: 1) 5 H.P. Tri en 3600 Blin, 2) 3 H.P. Tri en 3600 Abi.	2360.44	706	3066.44	119%	6706
15	Cepillo Machimbre	Mesa 350 mm de ancho, cilindro para 4 cuchillas. Motor: 1) 7,5 H.P. Tri en 3600 Blin, 2) 3 H.P. Tri en 3600 Abi.	2360.44	744	3104.44	117%	6744
16	Cepillo Machimbre	Mesa 350 mm de ancho, cilindro para 4 cuchillas. Motor: 1) 7,5 H.P. Mono en 3600 Blin, 2) 3 H.P. Mono en 3600 Abi.	2360.44	1175	3535.44	103%	7175
17	Cepillo Machimbre	Mesa 350 mm de ancho, cilindro para 4 cuchillas. Motor: 1) 5 H.P. Mono en 3600 Blin, 2) 3 H.P. Mono en 3600 Abi.	2360.44	1062	3422.44	106%	7062
18	Afiladora de Cuchillas	Afiladora de 4 cuchillas. Motor: 1 H.P. Mono en 1800 Blin.	967.64	130	1097.64	21%	1330
19	Afiladora de Cuchillas	Afiladora de 4 cuchillas. Motor: 0.5 H.P. Moto bomba	967.64	50	1017.64	23%	1250

En la Tabla 4-5 se detalla el precio de venta de cada máquina de procesamiento de madera según las especificaciones correspondientes. Los precios de venta individuales se establecen en función del costo de producción de cada una, tomando en cuenta el tipo de motor eléctrico que se incorpore y dejando un margen de utilidad. Se hacen constar 19 tipos de máquinas de los 7 tipos que pertenecen a los niveles A, B y C, pero que difieren en las características de los motores eléctricos. Los precios de venta de las máquinas oscilan entre \$ 1250 para el caso de una afiladora de cuchillas con motor de 0.5 HP y \$ 7175 para un cepillo machimbre con motor de 7.5 HP.

Los márgenes de utilidad fluctúan entre 21% y 119% con respecto al costo de producción, según la máquina. Las menores utilidades corresponden a las afiladoras de cuchillas debido a que su nivel de producción es de tipo C, por lo que tienen una menor demanda. En todos los demás casos la utilidad excede el 50%, que se considera un margen aceptable, aunque se puede mejorar.

Una vez cuantificados los costos de producción, corresponde establecer si la capacidad de producción de la planta en función de los operarios y de las máquinas y herramientas disponibles satisface el requerimiento de tiempo. Cabe destacar que el tiempo requerido se estableció mediante un estudio de tiempos realizado para los 7 tipos de productos estudiados, conforme la muestra de la Tabla 3-3 del presente documento. El parámetro de interés para valorar la capacidad de producción es la utilización, que se establece mediante la relación entre el tiempo requerido y el tiempo disponible en cada puesto de trabajo. Para cada caso, el factor limitante es el menor entre la cantidad de operarios y el número de puestos de trabajo.

En la Tabla 4-6 se hace constar el detalle de cada proceso, los puestos de trabajo correspondientes, la cantidad de operarios, el número de máquinas por puesto de trabajo, los tiempos unitarios de las 7 principales máquinas fabricadas en Maquinarias Espín, la capacidad mensual requerida en horas (suma de los productos del número de máquinas a ser elaboradas por el tiempo estándar unitario de producción), la capacidad mensual disponible en horas (obtenida del producto del recurso limitante en cada puesto de trabajo, bien sea el número de operarios o la cantidad de máquinas, por 22 días laborables y 8 horas diarias laborables) y el porcentaje de utilización (relación entre la capacidad mensual requerida y la capacidad mensual disponible, ambas

expresadas en horas). Se consideró que si el porcentaje de utilización excede el valor del 100%, el puesto de trabajo correspondiente no abastece el requerimiento, por lo que restringe el normal desempeño del proceso operativo.

**Tabla 4-6.** Identificación de la restricción, a partir del porcentaje de utilización mensual.

Proceso	Puestos de trabajo	Operarios	Número de máquinas/ herramientas	Tiempo unitario de producción (horas)							Capacidad mensual requerida (h)	Capacidad mensual disponible (h)	Utilización (%)
				Sierra Circular	Cepilladora de 45 cm	Canteadora de Plancha	Sierra de Cinta	Tupy	Cepillo Machimbre	Afiladora de Cuchillas			
Trazado	Trazado	2	4	4	8	2	4	8	16	16	284	352	80.68%
Corte	Sierra de mano	1	2	8	0.8	0.4	4.8	0	1.6	0.8	196.8	176	111.82%
	Sierra de cinta	1	2	4	1.8	0.8	1.6	4	6.4	3.2	144	176	81.82%
	Cortadora de plasma manual	1	1	4	1.4	2.8	1.6	4	8	4	163.2	176	92.73%
Enderezado	Prensa hidráulica	1	1	4	2	4	2	2	4	4	170	176	96.59%
Doblado	Doblado	1	1	2	2	2	8	4	16	8	168	176	95.45%
Forjado	Fragua	2	2	3	8	4	4	4	16	0	256	352	72.73%
Soldado	Soldadora SMAW	1	3	2	0.8	1.2	0.8	0.8	5.6	0.8	79.2	176	45.00%
	Soldadora MIG	2	4	8	3.2	2.8	7.2	7.2	10.4	7.2	304.8	352	86.59%
Taladrado	Taladro de mano	1	2	2.4	2.4	1.5	2.4	3	7.2	1.6	126.4	176	71.82%
	Taladro de pedestal	2	2	5.6	5.6	3.5	1.6	3	8.8	2.4	249.6	352	70.91%
Torneado	Torno	4	5	16	10	10	10	10	50	30	740	704	105.11%
Fresado	Fresadora	2	2	0	8	4	3	4	8	8	184	352	52.27%

Proceso	Puestos de trabajo	Operarios	Número de máquinas/herramientas	Tiempo unitario de producción (horas)							Capacidad mensual requerida (h)	Capacidad mensual disponible (h)	Utilización (%)
				Sierra Circular	Cepilladora de 45 cm	Canteadora de Plancha	Sierra de Cinta	Tupy	Cepillo Machimbre	Afiladora de Cuchillas			
Limado	Limado manual	1	10	2	0.8	0.6	2.4	0.8	0.4	1.6	70	176	39.77%
	Cepillo de vaivén	1	1	3	3.2	2.4	1.6	1.2	0.6	2.4	136	176	77.27%
Ensamblaje	Matrices	2	6	0	4	1	1.6	2	16.8	0.8	104.8	352	29.77%
	Herramientas manuales	4	-	16	12	9	14.4	6	31.2	7.2	699.2	704	99.32%
Cepillado	Cepillo de puente	2	2	8	2	6	0	0	10	0	264	352	75.00%
Pulido	Pulidora	1	3	2	1.5	1	3	2.8	8	1.8	106.2	176	60.34%
	Esmeril	1	2	2	3.5	1	1	1.2	2	1.2	104.8	176	59.55%
Pintado	Compresor	1	1	0.5	0.4	0.2	0.2	0.2	1.6	0.1	21.5	176	12.22%
	Pistola de pintura	1	1	0.5	3.6	1.8	1.8	1.8	6.4	0.9	97.5	176	55.40%
Pruebas	Pruebas de funcionamiento	1	-	1	1	2	1	1	4	2	69	176	39.20%
Producción mensual o demanda (unidades) de cada máquina				20	12	10	4	3	2	1	-	-	-



De acuerdo a la información de la Tabla 4-6, las restricciones identificadas corresponden a los procesos de corte con sierra de mano y torneado, dado que los porcentajes de utilización son de 111.82% y 105.11%, respectivamente, que son superiores al 100%. Esto quiere decir que en la actualidad la capacidad de los mencionados puestos de trabajo no abastece el requerimiento existente.

## **4.2 Optimización de los procesos y análisis de mejora**

Una vez descrita la situación general de la producción de las máquinas de procesamiento de madera en Maquinarias Espín y en virtud de que se observa que el porcentaje de utilización no abastece el requerimiento, corresponde optimizar el volumen de producción de las máquinas tomando en cuenta el rendimiento de cada tipo de máquina (obtenido a partir de la diferencia entre el precio de venta y el costo de materiales).

### **4.2.1 Explotación de la restricción mediante un modelo de programación lineal**

La fase de la explotación de la restricción tiene por objeto el máximo aprovechamiento del recurso que representa el cuello de botella. En este sentido, se procura maximizar la contabilidad del rendimiento de la producción teniendo como referentes a los dos puestos de trabajo que restringen la producción, dado que tienen una utilización superior al 100%, que corresponde a los de corte con sierra de mano y torneado. Para el efecto se hace uso de la programación lineal entera (PLE), como una herramienta matemática de optimización. El establecimiento de la PLE requiere de una función objetivo y restricciones para el problema, no obstante se comienza por definir las variables y los parámetros constantes.

Definición de las variables de decisión:

$C_i$  = Cantidad mensual a producir de cada máquina  $i$ .

$i$  = Subíndice que identifica el tipo de producto a fabricar (máquinas de procesamiento de madera), donde  $i = 1, 2, 3, \dots, N$ .

Parámetros constantes:

$R_i$  = Rendimiento o velocidad a la que un producto se mueve a través del puesto de trabajo (throughput) por producto  $i$  fabricado.

$D_i$  = Demanda mensual de cada producto  $i$ .

$T_{ri}$  = Tiempo requerido por producto  $i$  en cada puesto de trabajo crítico.

$T_d$  = Tiempo disponible total de cada puesto de trabajo crítico.

**Función objetivo.** El objetivo planteado es la maximización del rendimiento que se encuentra dado por la expresión:

$$Max \sum_{i=1}^N R_i \cdot C_i \quad , \quad i = 1, 2, 3, \dots, N. \quad (4)$$

Para las máquinas de procesamiento de madera a ser fabricadas se emplea la siguiente identificación para el subíndice  $i$ :

1 Sierra circular.

2 Cepilladora de 45 cm.

3 Canteadoras.

4 Sierra de Cinta.

5 Tupy.

6 Cepillo Machimbre.

7 Afiladora de Cuchillas.

### **Restricciones del problema:**

El modelo matemático considera las siguientes restricciones: demanda, capacidad disponible y variables enteras y no negativas.

a) Restricción de demanda:

$$C_i \geq D_i \quad , \quad i = 1, 2, 3, \dots, N. \quad (5)$$

Nota: En la fase de explotación de la restricción se considera que el límite superior de la capacidad de producción sería menor o igual a la demanda de cada máquina. Es decir:

$$C_i \leq D_i \quad , \quad i = 1, 2, 3, \dots, N. \quad (6)$$

- b) Restricción de capacidad. La restricción de capacidad para el o los puestos de trabajo críticos es:

$$\sum_{i=1}^N T_{ri} \cdot C_i \leq T_d \quad , \quad i = 1, 2, 3, \dots, N. \quad (7)$$

- c) Restricción de variables enteras y no negativas. Debido a la naturaleza de los productos (máquinas de procesamiento de madera), se requiere que las variables de decisión sean enteras y no negativas:

$$C_i \in Z^+ \quad , \quad i = 1, 2, 3, \dots, N. \quad (8)$$

De acuerdo a las condiciones establecidas para el problema de optimización del rendimiento en la producción de las siete máquinas de procesamiento de madera de la empresa Maquinarias Espín, la expresión (4) se convierte en la siguiente función a maximizar:

$$Max \sum_{i=1}^7 R_i \cdot C_i \quad , \quad i = 1, 2, 3, \dots, 7.$$

Los valores de los rendimientos ( $R_i$ ) de cada máquina se obtuvieron a partir de la diferencia entre el precio de venta al público y el costo de los materiales invertidos para la elaboración de cada máquina. De esta manera la función de maximización es la siguiente:

$$1504.99 C_1 + 1903.58 C_2 + 1400.78 C_3 + 694.44 C_4 + 1161.17 C_5 + 4187.68 C_6 + 470.87 C_7$$

Las restricciones se convierten en:

- a) Restricción de demanda:

En este caso se considera que el límite superior de la capacidad sería menor o igual a la demanda de cada máquina, dado que la utilización es superior al 100%, lo que no abastece la demanda existente. Es decir que la expresión (6) se convierte en:

$$C_i \leq D_i \quad , \quad i = 1, 2, 3, \dots, 7.$$

$$C_1 \leq 20$$

$$C_2 \leq 12$$

$$C_3 \leq 10$$

$$C_4 \leq 4$$

$$C_5 \leq 3$$

$$C_6 \leq 2$$

$$C_7 \leq 1$$

b) La restricción en los procesos críticos a partir de la expresión (7) es:

$$\sum_{i=1}^7 T_{ri} \cdot C_i \leq T_d \quad , \quad i = 1, 2, 3, \dots, 7.$$

Para el caso del proceso crítico de corte con sierra de mano se tiene:

$$8 C_1 + 0.8 C_2 + 0.4 C_3 + 4.8 C_4 + 0 C_5 + 1.6 C_6 + 0.8 C_7 \leq 176 \frac{h}{mes}$$

Para el caso del proceso crítico de torneado se tiene:

$$16 C_1 + 10 C_2 + 10 C_3 + 10 C_4 + 10 C_5 + 50 C_6 + 30 C_7 \leq 704 \frac{h}{mes}$$

c) Restricción de variables enteras y no negativas:

$$C_i \in Z^+ \quad , \quad i = 1, 2, 3, \dots, 7.$$

$$C_1 \geq 0$$

$$C_2 \geq 0$$

$$C_3 \geq 0$$

$$C_4 \geq 0$$

$$C_5 \geq 0$$

$$C_6 \geq 0$$

$$C_7 \geq 0$$

La resolución del problema conlleva establecer la cantidad de máquinas de procesamiento de madera de cada tipo que se podrían fabricar optimizando la capacidad actual de las restricciones. De manera que se obtenga el mayor rendimiento y utilidad en un mes de producción.

La PLE se resolvió considerando las condiciones indicadas anteriormente mediante el empleo de los softwares MATLAB y R, cuyos códigos se muestran en el Anexo E del presente documento. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Función objetivo maximizada: Rendimiento máximo \$ 78470.

Máquinas a fabricar:

C<sub>1</sub> Sierra circular: 19.

C<sub>2</sub> Cepilladora de 45 cm: 12.

C<sub>3</sub> Canteadoras: 10.

C<sub>4</sub> Sierra de Cinta: 1.

C<sub>5</sub> Tupy: 3.

C<sub>6</sub> Cepillo Machimbre: 2.

C<sub>7</sub> Afiladora de Cuchillas: 1.

#### **4.2.2 Subordinación de todo a la restricción**

Una vez determinadas las cantidades óptimas de producción mensual de los siete tipos de máquinas consideradas en la muestra, corresponde subordinar todo a la restricción. Esto implica determinar el nuevo porcentaje de utilización de todos los puestos de trabajo, a la vez que cuantificar los costos de todos los recursos inmersos en la producción y establecer los tiempos requeridos y disponibles.

En la Tabla 4-7 se muestra el esquema óptimo que establece la solución de la PLE. De acuerdo a la información indicada, el rendimiento (throughput) máximo que se alcanzaría bajo la condición de producir el número óptimo de máquinas de cada tipo sería de \$ 78469.69, lo que permitiría obtener una utilidad mensual máxima de \$ 68362.68. La secuencia de producción indica el beneficio que se puede conseguir de

la fabricación de las máquinas, así el mayor beneficio se obtendría de la fabricación de cepillos machimbres y el menor de todos de la afiladora de cuchillas. En cuanto a los tiempos acumulados requeridos en la restricción, todos son inferiores y lo más cercanos posible al tiempo disponible de 176 horas/mes en los puestos de trabajo restrictivos (corte con sierra de mano y torneado). Esto representa que se satisfacen las condiciones del problema.

**Tabla 4-7.** Esquema óptimo mediante aplicación de la PLE.

ESQUEMA ÓPTIMO							
Costos Unitarios	Sierra Circular	Cepilladora de 45 cm	Canteadora de Plancha	Sierra de Cinta	Tupy	Cepillo Machimbre	Afiladora de Cuchillas
Costo de materiales (\$)	895.01	1496.42	799.22	455.56	638.83	1812.32	729.13
Costo mano de obra (\$)	222.73	195.45	145.45	177.27	161.36	543.18	236.36
Costos indirectos o energéticos (\$)	2.03	1.78	1.32	1.61	1.47	4.94	2.15
P.V.P. (\$)	2400	3400	2200	1150	1800	6000	1200
Rendimiento (Ri) (\$)	1504.99	1903.58	1400.78	694.44	1161.17	4187.68	470.87
Rendimiento por tiempo en la restricción (\$/h)	188.12	2379.47	3501.95	144.68	0.00	2617.30	588.59
Utilidad (\$)	1280.23	1706.35	1254.00	515.56	998.34	3639.56	232.36
SOLUCIÓN POR EL MÉTODO DE LA PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA (PLE)							
Cantidades a fabricar (u)	19	12	10	1	3	2	1
Secuencia de producción	3	2	4	6	5	1	7
Máximo rendimiento (\$)	78469.69						
Utilidades (\$)	68362.68						
SOLUCION POR EL METODO DE LA CONTABILIDAD DEL RENDIMIENTO							
Cantidades a fabricar (u)	19	12	10	1	3	2	1
Secuencia de producción	3	2	4	6	5	1	7
Tiempo requerido en la restricción (h)	152	9.6	4	4.8	0	3.2	0.8
Tiempo acumulado requerido en la restricción (h)	164.8	12.8	168.8	173.6	168.8	3.2	174.4
Tiempo disponible en la restricción (h)	176						

Por su parte, en la Tabla 4-8 se presentan los nuevos porcentajes de utilización de todos los puestos de trabajo en caso de considerarse la producción de la cantidad de máquinas establecidas por la solución de la PLE. Se puede observar que, en condiciones ideales ninguno de los puestos de trabajo tendría un porcentaje de utilización superior al 100%. Esto significa que no habría déficit de tiempo para el volumen de producción establecido por la PLE.

**Tabla 4-8.** Porcentaje de utilización mensual de los puestos de trabajo a partir de la subordinación de la restricción.

Proceso	Puestos de trabajo	Operarios	Número de máquinas/herramientas	Tiempo unitario de producción (horas)							Capacidad mensual requerida (h)	Capacidad mensual disponible (h)	Utilización (%)
				Sierra Circular	Cepilladora de 45 cm	Canteadora de Plancha	Sierra de Cinta	Tupy	Cepillo Machimbre	Afiladora de Cuchillas			
Trazado	Trazado	2	4	4	8	2	4	8	16	16	268	352	76.14%
Corte	Sierra de mano	1	2	8	0.8	0.4	4.8	0	1.6	0.8	174.4	176	99.09%
	Sierra de cinta	1	2	4	1.8	0.8	1.6	4	6.4	3.2	135.2	176	76.82%
	Cortadora de plasma manual	1	1	4	1.4	2.8	1.6	4	8	4	154.4	176	87.73%
Enderezado	Prensa hidráulica	1	1	4	2	4	2	2	4	4	160	176	90.91%
Doblado	Doblado	1	1	2	2	2	8	4	16	8	142	176	80.68%
Forjado	Fragua	2	2	3	8	4	4	4	16	0	241	352	68.47%
Soldado	Soldadora SMAW	1	3	2	0.8	1.2	0.8	0.8	5.6	0.8	74.8	176	42.50%
	Soldadora MIG	2	4	8	3.2	2.8	7.2	7.2	10.4	7.2	275.2	352	78.18%
Taladrado	Taladro de mano	1	2	2.4	2.4	1.5	2.4	3	7.2	1.6	116.8	176	66.36%
	Taladro de pedestal	2	2	5.6	5.6	3.5	1.6	3	8.8	2.4	239.2	352	67.95%
Torneado	Torno	4	5	16	10	10	10	10	50	30	694	704	98.58%
Fresado	Fresadora	2	2	0	8	4	3	4	8	8	175	352	49.72%



Proceso	Puestos de trabajo	Operarios	Número de máquinas/herramientas	Tiempo unitario de producción (horas)							Capacidad mensual requerida (h)	Capacidad mensual disponible (h)	Utilización (%)
				Sierra Circular	Cepilladora de 45 cm	Canteadora de Plancha	Sierra de Cinta	Tupy	Cepillo Machimbre	Afiladora de Cuchillas			
Limado	Limado manual	1	10	2	0.8	0.6	2.4	0.8	0.4	1.6	60.8	176	34.55%
	Cepillo de vaivén	1	1	3	3.2	2.4	1.6	1.2	0.6	2.4	128.2	176	72.84%
Ensamblaje	Matrices	2	6	0	4	1	1.6	2	16.8	0.8	100	352	28.41%
	Herramientas manuales	4	-	16	12	9	14.4	6	31.2	7.2	640	704	90.91%
Cepillado	Cepillo de puente	2	2	8	2	6	0	0	10	0	256	352	72.73%
Pulido	Pulidora	1	3	2	1.5	1	3	2.8	8	1.8	95.2	176	54.09%
	Esmeril	1	2	2	3.5	1	1	1.2	2	1.2	99.8	176	56.70%
Pintado	Compresor	1	1	0.5	0.4	0.2	0.2	0.2	1.6	0.1	20.4	176	11.59%
	Pistola de pintura	1	1	0.5	3.6	1.8	1.8	1.8	6.4	0.9	91.6	176	52.05%
Pruebas	Pruebas de funcionamiento	1	-	1	1	2	1	1	4	2	65	176	36.93%
Producción mensual o demanda (unidades) de cada máquina				19	12	10	1	3	2	1	-	-	-

No obstante, corresponde valorar si el volumen de producción asignado en respuesta a la PLE satisface la demanda existente. Para el efecto en la Tabla 4-9 se presentan las cantidades correspondientes a la producción idealizada con la PLE y la demanda media mensual existente según los registros de producción de los últimos dos años en Maquinarias Espín:

**Tabla 4-9.** Producción mensual actual versus producción subordinada a la restricción.

<b>Producto</b>	<b>Producción mensual actual</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	3	3	0%
Cepillo Machimbre	2	2	0%
Afiladora de Cuchillas	1	1	0%
Total	52	48	7.69%

Conforme la información mostrada en la Tabla 4-9, se aprecia que en el caso de las sierras circulares y las sierras de cinta existe un déficit de la demanda (5 y 75%, respectivamente). En términos generales el déficit representa el 7.69% del volumen requerido. Por consiguiente, bajo la capacidad de producción optimizada en función de los recursos actuales de Maquinarias Espín no es posible hallar una solución que satisfaga el requerimiento existente para la fabricación de máquinas de procesamiento de madera.

#### **4.2.3 Elevación de la restricción**

Como alternativa que permita contrarrestar la incapacidad de la planta para cubrir la demanda media existente, se optó por considerar la siguiente solución:

- Adquisición e incorporación de una máquina cortadora de plasma CNC de pórtico portátil, para sustituir los procesos de corte con sierra de mano.

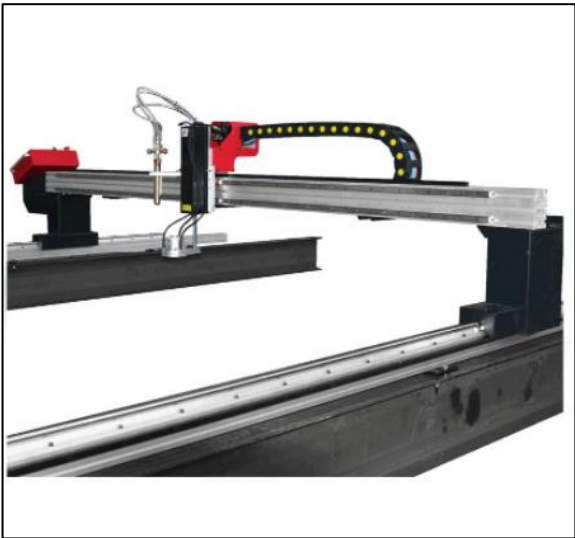
- Reordenamiento de los operarios y ayudantes en los puestos de trabajo, e incorporación de operarios adicionales de ser necesario.

#### 4.2.3.1 Máquina cortadora de plasma CNC de pórtico portátil

Con la finalidad de disminuir el tiempo requerido en el corte con sierra de mano se ha optado por adquirir una máquina de plasma CNC de pórtico portátil. Al mismo tiempo este cambio conlleva la supresión del proceso de trazado y su reemplazo por un proceso de diseño.

En la Tabla 4-10 se presentan las especificaciones de la máquina cortadora de plasma CNC adquirida y financiada por parte de la gerencia de Maquinarias Espín, para la elevación de la restricción del proceso de corte de la materia prima:

**Tabla 4-10.** Especificaciones técnicas de la máquina cortadora de plasma CNC.

Esquema de la máquina cortadora de plasma CNC de pórtico portátil	
	
Especificaciones.	
Nombre	Cortadora de plasma CNC
Tipo	De pórtico portátil Steel Tailor DragonIII
Tensión de alimentación	110 V - 220 V
Frecuencia	50 Hz – 60 Hz
Potencia de entrada	210 W
Rango de corte efectivo	- 3000X2500 mm (1)

<b>Esquema de la máquina cortadora de plasma CNC de pórtico portátil</b>	
	- 6000X2500 mm (2)
Velocidad máxima de funcionamiento	8000 mm / min
Dimensión de la máquina	- 3300X3510 mm (1) - 3300X6510 mm (2)
Velocidad cortante	Corte por plasma: (0 ~ 6000) mm / min
Repetibilidad	0,2 mm
Espesor de corte	Oxígeno: $\leq 150$ mm Plasma: depende de la potencia del plasma
Manera de conducción de la viga transversal	Unidad dual
Rango de elevación de la antorcha	145 mm
Modo de corte	Plasma / oxicomcombustible
Antorcha de elevación eléctrica y THC	Plasma AVTHC (estándar) Elevación eléctrica en modo oxígeno (oxígeno THC es opcional)
Software	Versión estándar FastCAM
<b>Costos asociados:</b>	
Tablero de control CNC.	\$ 16000
Pórtico móvil con antorcha de corte.	\$ 6000
Pórtico portátil base.	\$ 3000
Transporte e instalación.	\$ 500

De acuerdo a la información mostrada en la Tabla 4-10, la máquina cortadora de plasma CNC de pórtico portátil consta de tres partes principales:

- Pórtico portátil base.
- Pórtico móvil con antorcha de corte.
- Tablero de control CNC.



El pórtico portátil base es la estructura de soporte de toda la máquina, consta de dos estructuras o pórticos paralelos que contienen rieles a través de los cuales se realiza la movilización longitudinal del pórtico móvil. En el espacio intermedio del pórtico móvil se ubica el material a cortar.

El pórtico móvil es una estructura que se desplaza longitudinalmente por el pórtico base, posee un riel para el movimiento transversal de la antorcha de corte. Además, consta de un pequeño riel vertical que permite el avance de la antorcha en la profundidad del material.

El tablero de control CNC (Control numérico por computadora) es la pantalla de programación, que permite la asignación de dimensiones del corte mediante coordenadas dadas en el programa FastCAM. Las coordenadas se determinan sobre los el plano horizontal (X y Y) y el eje vertical (Z).

En la Tabla 4-11 se presentan las imágenes de la cortadora plasma CNC una vez instalada en la planta de producción de Maquinarias Espín:

**Tabla 4-11.** Máquina cortadora de plasma CNC de pórtico portátil.

Cortadora de plasma CNC	
Vista general	Vista frontal
	
Monitor de control CNC	Pórtico móvil



**Pórtico fijo**

**Cortadora plasma**

#### 4.2.3.2 Reordenamiento de los operarios y ayudantes en los puestos de trabajo

La distribución de los operarios y ayudantes en los diferentes puestos de trabajo sufre modificaciones en vista de que el trazado se suprime y se lo sustituye con el de diseño, además de que se toma la decisión de incorporar un nuevo operario tornero para subsanar el déficit existente que hace que dicho puesto sea una restricción. La nueva distribución de puesto hace que también se deba actualizar el costo total de la mano de obra. En la Tabla 4-12 se presenta el detalle de la nueva distribución de los operarios y ayudantes en el área operativa de Maquinarias Espín:

**Tabla 4-12.** Talento humano que laborará en una vez elevada la restricción.

Ítems	Denominación del cargo	Cantidad	Máquinas - herramientas que maneja	Remuneración mensual (\$)	Remuneración mensual total (\$)
1	Gerente General	1	-	1500	1500
2	Jefe de Producción	1	-	550	550

Ítems	Denominación del cargo	Cantidad	Máquinas - herramientas que maneja	Remuneración mensual (\$)	Remuneración mensual total (\$)
3	Operario 1	1	Cortadora de plasma, dobladora y taladro de mano	400	400
4	Operario 2	1	Herramientas de diseño y compresor para pintura	400	400
5	Operario 3	1	Prensa hidráulica	400	400
6	Operario 4	2	Sierra de cinta, cortadora plasma CNC y matrices	400	800
7	Operario 5	5	Soldadora MIG, taladro de pedestal, fresadora y cepillo de puente	400	2000
8	Operario 6	5	Torno, pulidora	400	2000
9	Operario 7	2	Herramientas manuales, Cepillo de vaivén	400	800
10	Ayudante 1	1	Cortadora de plasma, dobladora y taladro de mano	360	360
11	Ayudante 2	1	Pistola de pintura y herramientas para pruebas	360	360
12	Ayudante 3	1	Soldadora SMAW	360	360
13	Ayudante 4	3	Herramientas manuales, Cepillo de vaivén	360	1080
14	Ayudante 5	2	Fragua y limas	360	720
15	Ayudante 6	1	Soldadora MIG, taladro de pedestal, fresadora y cepillo de puente	360	360
16	Ayudante 7	1	Esmeril	360	360
Total mensual		29	-	-	<b>10400</b>

Conforme la información detallada en la Tabla 4-12, se establece la incorporación de un tornero adicional, con lo cual pasan a ser cinco en total. Adicionalmente se

reordenan algunos de los operarios y ayudantes en los puestos de trabajo, lo que permite que en total se demande de 17 operarios y 7 ayudantes. Esto implica que se puede prescindir de un trabajador, con lo que el total pasará a ser 29 en lugar de los 30 que existían inicialmente. Con estas modificaciones el costo mensual del talento humano disminuye de \$ 10760 a \$ 10400, lo que repercute en el aumento de la utilidad de la fabricación de las máquinas, como se demuestra más adelante en la Tabla 4-17.

#### **4.2.4 Identificación y análisis de una nueva restricción**

En la Tabla 4-13 se presenta el detalle del costo de producción unitario de cada una de las siete máquinas producidas en Maquinarias Espín una vez adoptadas las medidas para la elevación de las restricciones. En la información consta la denominación de la máquina, las características del motor, los costos totales de los materiales por máquina, el tiempo de ciclo para la fabricación de cada una en horas, con base en el estudio de tiempos actualizado (ver Anexo C para la ficha y Anexo D para el registro fotográfico de la toma de tiempos), el volumen de producción mensual media, el tiempo requerido para la fabricación de la cantidad de máquinas, la proporción del tiempo invertida en cada tipo de máquina respecto al total, el costo de mano de obra equivalente para cada máquina, el costo de energía unitario, el costo de energía mensual equivalente para cada tipo de máquina y el costo de producción unitario de las mismas. El costo de producción más bajo corresponde a la sierra cinta con un valor de \$ 623.91 por unidad, mientras que el costo de producción más elevado es de un cepillo machimbre con un valor de \$ 2330.79. Lo importante es que en términos generales existe una disminución del costo unitario de la fabricación de cada una de las máquinas de procesamiento de madera:



**Tabla 4-13.** Costo de producción unitario por máquina fabricada en Maquinarias Espín luego de la elevación de la restricción.

No.	Denominación máquina	Detalle	Costos materiales (\$)	Tiempo unitario de fabricación (h)	Producción mensual (u)	Tiempo mensual de fabricación (h)	Frecuencia relativa de tiempo	Costo mano de obra (\$)	Costo de energía unitario (\$)	Costo de energía mensual (\$)	Costo unitario por máquina (\$)
1	Sierra Circular	Motor: 7,5 H.P. Tri en 1800 Blin.; 7,5 H.P. Mono en 1800 Blin.; 5 H.P. Tri en 1800 Blin.; 5 H.P. Mono en 1800 Blin.	895.01	87.50	20	1750.00	2.0%	198.86	1.96	39.26	1095.84
2	Cepilladora de 45 cm	Motor: 7,5 H.P. Tri en 3600 Blin.; 7,5 H.P. Mono en 3600 Blin.; 5 H.P. Tri en 3600 Blin.; 5 H.P. Mono en 3600 Blin.	1496.42	80.88	12	970.60	1.9%	183.83	1.81	21.77	1682.06
3	Canteadora de Plancha	Motor: 5 H.P. Tri en 3600 Blin.; 5 H.P. Mono en 3600 Blin.	799.22	61.72	10	617.17	1.4%	140.27	1.38	13.84	940.87
4	Sierra de Cinta	Motor: 1 H.P. Tri en 1800 Blin.; 1 H.P. Mono en 1800 Abie.	455.56	73.35	4	293.40	1.7%	166.70	1.65	6.58	623.91
5	Tupy	Motor: 3 H.P. Tri en 3600 Blin.; 3 H.P. Mono en 3600.	638.83	63.67	3	191.00	1.5%	144.70	1.43	4.28	784.95
6	Cepillo Machimbre	Motor: 1) 5 H.P. Tri en 3600 Blin, 2) 3 H.P. Tri en 3600 Abi.; 1) 7,5 H.P. Tri en 3600 Blin, 2) 3 H.P. Tri en 3600 Abi.; 1) 7,5 H.P. Mono en 3600 Blin, 2) 3 H.P. Mono en 3600 Abi.; 1) 5 H.P. Mono en 3600 Blin, 2) 3 H.P. Mono en 3600 Abi.	1812.32	225.90	2	451.80	5.2%	513.41	5.07	10.13	2330.79
7	Afiladora de Cuchillas	Motor: 1 H.P. Mono en 1800 Blin.; 0,5 H.P. Moto bomba	729.13	93.37	1	93.37	2.1%	212.20	2.09	2.09	943.42

\* En los costos de los materiales no constan los precios de los motores eléctricos.

**Tabla 4-14.** Precio de venta al público de cada máquina fabricada en Maquinarias Espín posterior a la elevación de la restricción.

<b>No.</b>	<b>Denominación máquina</b>	<b>Detalle</b>	<b>Costo unitario por máquina (\$)</b>	<b>Costo motor (\$)</b>	<b>Costo unitario total (\$)</b>	<b>Utilidad (%)</b>	<b>P.V.P. Unitario (\$)</b>
1	Sierra Circular	Mesa 600 mm de ancho por 1100 mm de largo con mesa perforadora. Motor: 7,5 H.P. Tri en 1800 Blin.	1095.84	426	1521.84	86%	2826
2	Sierra Circular	Mesa 600 mm de ancho por 1100 mm de largo con mesa perforadora. Motor: 7,5 H.P. Mono en 1800 Blin.	1095.84	684	1779.84	73%	3084
3	Sierra Circular	Mesa 600 mm de ancho por 1100 mm de largo con mesa perforadora. Motor: 5 H.P. Tri en 1800 Blin.	1095.84	615	1710.84	76%	3015
4	Sierra Circular	Mesa 600 mm de ancho por 1100 mm de largo con mesa perforadora. Motor: 5 H.P. Mono en 1800 Blin.	1095.84	630	1725.84	76%	3030
5	Cepilladora de 45 cm	Mesa 300 mm de ancho, cilindro para 3 cuchillas. Motor: 7,5 H.P. Tri en 3600 Blin.	1682.06	334	2016.06	60%	3234
6	Cepilladora de 45 cm	Mesa 300 mm de ancho, cilindro para 3 cuchillas. Motor: 7,5 H.P. Mono en 3600 Blin.	1682.06	675	2357.06	52%	3575
7	Cepilladora de 45 cm	Mesa 300 mm de ancho, cilindro para 3 cuchillas. Motor: 5 H.P. Tri en 3600 Blin.	1682.06	296	1978.06	62%	3196
8	Cepilladora de 45 cm	Mesa 300 mm de ancho, cilindro para 3 cuchillas. Motor: 5 H.P. Mono en 3600 Blin.	1682.06	562	2244.06	54%	3462
9	Canteadora de plancha	Mesa 330 mm de ancho por 2000 mm de largo. Motor: 5 H.P. Tri en 3600 Blin.	940.87	296	1236.87	102%	2496
10	Canteadora de plancha	Mesa 330 mm de ancho por 2000 mm de largo. Motor: 5 H.P. Mono en 3600 Blin.	940.87	560	1500.87	84%	2760
11	Sierra de Cinta	Mesa reclinable de 700 mm de ancho por 700 mm de largo, volante de 45 cm de diámetro. Motor: 1 H.P. Tri en 1800 Blin.	623.91	136	759.91	69%	1286
11	Sierra de Cinta	Mesa reclinable de 700 mm de ancho por 700 mm de largo, volante de 45 cm de diámetro. Motor: 1 H.P. Mono en 1800 Abie.	623.91	134	757.91	69%	1284
12	Tupy	Mesa de 800 mm de ancho por 800 mm de largo, eje de 2 velocidades 4000 y 5000 RPM. Motor: 3 H.P. Tri en 3600 Blin.	784.95	205	989.95	103%	2005

<b>No.</b>	<b>Denominación máquina</b>	<b>Detalle</b>	<b>Costo unitario por máquina (\$)</b>	<b>Costo motor (\$)</b>	<b>Costo unitario total (\$)</b>	<b>Utilidad (%)</b>	<b>P.V.P. Unitario (\$)</b>
13	Tupy	Mesa de 800 mm de ancho por 800 mm de largo, eje de 2 velocidades 4000 y 5000 RPM. Motor: 3 H.P. Mono en 3600.	784.95	210	994.95	102%	2010
14	Cepillo Machimbre	Mesa 350 mm de ancho, cilindro para 4 cuchillas. Motor: 1) 5 H.P. Tri en 3600 Blin, 2) 3 H.P. Tri en 3600 Abi.	2330.79	706	3036.79	121%	6706
15	Cepillo Machimbre	Mesa 350 mm de ancho, cilindro para 4 cuchillas. Motor: 1) 7,5 H.P. Tri en 3600 Blin, 2) 3 H.P. Tri en 3600 Abi.	2330.79	744	3074.79	119%	6744
16	Cepillo Machimbre	Mesa 350 mm de ancho, cilindro para 4 cuchillas. Motor: 1) 7,5 H.P. Mono en 3600 Blin, 2) 3 H.P. Mono en 3600 Abi.	2330.79	1175	3505.79	105%	7175
17	Cepillo Machimbre	Mesa 350 mm de ancho, cilindro para 4 cuchillas. Motor: 1) 5 H.P. Mono en 3600 Blin, 2) 3 H.P. Mono en 3600 Abi.	2330.79	1062	3392.79	108%	7062
18	Afiladora de Cuchillas	Afiladora de 4 cuchillas. Motor: 1 H.P. Mono en 1800 Blin.	943.42	130	1073.42	24%	1330
19	Afiladora de Cuchillas	Afiladora de 4 cuchillas. Motor: 0.5 H.P. Moto bomba	943.42	50	993.42	26%	1250

En la Tabla 4-14 se detallan los precios de venta de cada máquina de procesamiento de madera según las especificaciones correspondientes. Los precios de venta individuales seguirán siendo los mismos que se establecían antes de la elevación de la restricción. Se hacen constar 19 tipos de máquinas de los 7 tipos que pertenecen a los niveles A, B y C, pero que difieren en las características de los motores eléctricos. Los precios de venta de las máquinas oscilan entre \$ 1250 para el caso de una afiladora de cuchillas con motor de 0.5 HP y \$ 7175 para un cepillo machimbre con motor de 7.5 HP. Los márgenes de utilidad individual mantendrán una fluctuación entre 21% y 119% con respecto al costo de producción, según la máquina.

Una vez cuantificados los costos de producción, corresponde establecer si la capacidad de producción de la planta en función de los operarios y de las máquinas y herramientas disponibles satisface el requerimiento de tiempo. El parámetro de interés para valorar la capacidad de producción es la utilización, que se establece mediante la relación entre el tiempo requerido y el tiempo disponible en cada puesto de trabajo. Para cada caso, el factor limitante el menor entre la cantidad de operarios y el número de puestos de trabajo.

En la Tabla 4-15 se hace constar el detalle de cada proceso, los puestos de trabajo correspondientes, la cantidad de operarios, el número de máquinas por puesto de trabajo, los tiempos unitarios de las 7 principales máquinas fabricadas en Maquinarias Espín, la capacidad mensual requerida en horas, la capacidad mensual disponible en horas y el porcentaje de utilización. Se considera que, si el porcentaje de utilización excede el valor del 100%, el puesto de trabajo correspondiente no abastece el requerimiento, por lo que restringe el normal desempeño del proceso operativo.

**Tabla 4-15.** Porcentaje de utilización mensual de los puestos de trabajo a partir de la elevación de la restricción.

Proceso	Puestos de trabajo	Operarios	Número de máquinas/ herramientas	Tiempo unitario de producción (horas)							Capacidad mensual requerida (h)	Capacidad mensual disponible (h)	Utilización (%)
				Sierra Circular	Cepilladora de 45 cm	Canteadora de Plancha	Sierra de Cinta	Tupy	Cepillo Machimbre	Afiladora de Cuchillas			
Diseño	Diseño	1	4	2	4	1	3	3.33	8	8.33	144	176	82.01%
Corte	Cortadora plasma CNC	1	2	1.5	0.33	0.25	2	0	0.5	0.33	46	176	26.04%
	Sierra de cinta	1	2	4	1.8	0.8	1.6	4.00	6.4	3.2	144	176	81.82%
	Cortadora plasma CNC	1	1	2	0.75	1.67	0.75	1.33	4	1.5	82	176	46.69%
Enderezado	Prensa hidráulica	1	1	4	2	4	2	2	4	4	170	176	96.59%
Doblado	Doblado	1	1	2	2	2	8	4	16	8	168	176	95.45%
Forjado	Fragua	2	2	3	8	4	4	4	16	0	256	352	72.73%
Soldado	Soldadora SMAW	1	3	2	0.8	1.2	0.8	0.8	5.6	0.8	79	176	45.00%
	Soldadora MIG	2	4	8	3.2	2.8	7.2	7.2	10.4	7.2	305	352	86.59%
Taladrado	Taladro de mano	1	2	2.4	2.4	1.5	2.4	3	7.2	1.6	126	176	71.82%
	Taladro de pedestal	2	2	5.6	5.6	3.5	1.6	3	8.8	2.4	250	352	70.91%
Torneado	Torno	5	5	16	10	10	10	10	50	30	740	880	84.09%
Fresado	Fresadora	2	2	0	8	4	3	4	8	8	184	352	52.27%
Limado	Limado manual	1	10	2	0.8	0.6	2.4	0.8	0.4	1.6	70	176	39.77%

Proceso	Puestos de trabajo	Operarios	Número de máquinas/ herramientas	Tiempo unitario de producción (horas)							Capacidad mensual requerida (h)	Capacidad mensual disponible (h)	Utilización (%)
				Sierra Circular	Cepilladora de 45 cm	Canteadora de Plancha	Sierra de Cinta	Tupy	Cepillo Machimbre	Afiladora de Cuchillas			
	Cepillo de vaivén	1	1	3	3.2	2.4	1.6	1.2	0.6	2.4	136	176	77.27%
Ensamblaje	Matrices	1	6	0	4	1	1.6	2	16.8	0.8	105	176	59.55%
	Herramientas manuales	5	-	16	12	9	14.4	6	31.2	7.2	699	880	79.45%
Cepillado	Cepillo de puente	2	2	8	2	6	0	0	10	0	264	352	75.00%
Pulido	Pulidora	1	3	2	1.5	1	3	2.8	8	1.8	106	176	60.34%
	Esmeril	1	2	2	3.5	1	1	1.2	2	1.2	105	176	59.55%
Pintado	Compresor	1	1	0.5	0.4	0.2	0.2	0.2	1.6	0.1	22	176	12.22%
	Pistola de pintura	1	1	0.5	3.6	1.8	1.8	1.8	6.4	0.9	98	176	55.40%
Pruebas	Pruebas de funcionamiento	1	-	1	1	2	1	1	4	2	69	176	39.20%
Producción mensual o demanda (unidades) de cada máquina				20	12	10	4	3	2	1	-	-	-

De acuerdo a la información de la Tabla 4-15, no existirían restricciones, debido a que en ningún caso se excede el porcentaje máximo de utilización, que es del 100%. En estas circunstancias corresponde identificar si la nueva capacidad de la planta satisface el requerimiento de la demanda. Para el efecto se hace una comparación de la producción mensual actual versus la producción elevada la restricción, como se indica en la Tabla 4-16:

**Tabla 4-16.** Producción mensual actual versus producción elevada la restricción.

<b>Producto</b>	<b>Producción mensual actual</b>	<b>Producción elevada la restricción</b>	<b>Déficit de la demanda</b>
Sierra Circular	20	20	0%
Cepilladora de 45 cm	12	12	0%
Canteadora de Plancha	10	10	0%
Sierra de Cinta	4	4	0%
Tupy	3	3	0%
Cepillo Machimbre	2	2	0%
Afiladora de Cuchillas	1	1	0%
Total	52	52	0%

De acuerdo a la información de la Tabla 4-16 ya no existe déficit de la demanda para ningún tipo de máquina. Es decir, se ha dado solución al problema del incumplimiento del volumen de producción requerido por la demanda durante una jornada laboral regular. Esto representa que, en condiciones de trabajo regulares, ya no existen restricciones y no será necesario recurrir a laborar en horas extras para abastecer la producción requerida.

Sin embargo, según se observa en la Tabla 4-15, el hecho de que los nuevos porcentajes de utilización de todos los puestos de trabajo estén por debajo del 97%, brinda la oportunidad de que se pudiera optimizar la producción, que en términos prácticos significa fabricar más hasta alcanzar el 100% de utilización en los puestos que están cerca de constituirse en nuevas restricciones (enderezado en la prensa hidráulica con un 96.59% y doblado con un 95.45% de utilización).

De acuerdo a las nuevas condiciones establecidas para el problema de optimización del rendimiento en la producción de las siete máquinas de procesamiento de madera de la empresa Maquinarias Espín, se tiene la siguiente función a maximizar:

$$\text{Max} \sum_{i=1}^7 R_i \cdot C_i \quad , \quad i = 1, 2, 3, \dots, 7.$$

$$1504.99 C_1 + 1903.58 C_2 + 1400.78 C_3 + 694.44 C_4 + 1161.17 C_5 + 4187.68 C_6 + 470.87 C_7$$

Las restricciones ahora se convierten en:

a) Restricción de demanda:

$$C_i \geq D_i \quad , \quad i = 1, 2, 3, \dots, 7.$$

$$C_1 \geq 20$$

$$C_2 \geq 12$$

$$C_3 \geq 10$$

$$C_4 \geq 4$$

$$C_5 \geq 3$$

$$C_6 \geq 2$$

$$C_7 \geq 1$$

b) La restricción en los procesos críticos es:

$$\sum_{i=1}^7 T_{ri} \cdot C_i \leq T_d \quad , \quad i = 1, 2, 3, \dots, 7.$$

Para el caso del proceso crítico de enderezado en la prensa hidráulica se tiene:

$$4 C_1 + 2 C_2 + 4 C_3 + 2 C_4 + 2 C_5 + 4 C_6 + 4 C_7 \leq 176 \frac{h}{mes}$$

Para el caso del proceso crítico de doblado se tiene:

$$2 C_1 + 2 C_2 + 2 C_3 + 8 C_4 + 4 C_5 + 16 C_6 + 8 C_7 \leq 176 \frac{h}{mes}$$



c) Restricción de variables enteras y no negativas:

$$C_i \in Z^+ , \quad i = 1, 2, 3, \dots, 7.$$

$$C_1 \geq 0$$

$$C_2 \geq 0$$

$$C_3 \geq 0$$

$$C_4 \geq 0$$

$$C_5 \geq 0$$

$$C_6 \geq 0$$

$$C_7 \geq 0$$

Al igual que en el caso anterior, la PLE se resolvió considerando las condiciones indicadas anteriormente mediante el empleo de los softwares MATLAB y R, cuyos códigos se muestran en el Anexo E del presente documento. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Función objetivo maximizada: Rendimiento máximo \$ 87769.

Máquinas a fabricar:

C<sub>1</sub> Sierra circular: 20.

C<sub>2</sub> Cepilladora de 45 cm: 15.

C<sub>3</sub> Canteadoras: 10.

C<sub>4</sub> Sierra de Cinta: 4.

C<sub>5</sub> Tupy: 3.

C<sub>6</sub> Cepillo Machimbre: 2.

C<sub>7</sub> Afiladora de Cuchillas: 1.

En la Tabla 4-17 se muestra el esquema óptimo que establece la solución de la PLE. De acuerdo a la información indicada, el rendimiento (throughput) máximo que se alcanzaría bajo la condición de producir el número óptimo de máquinas de cada tipo sería de \$ 87768.74, lo que permitiría obtener una utilidad mensual máxima de \$ 77188.10. La secuencia de producción indica el beneficio que se puede conseguir de la fabricación de las máquinas, así el mayor beneficio se obtendría de la fabricación

de cepillos machimbres por tener más elevados márgenes de utilidad y el menor beneficio de todos a partir de la afiladora de cuchillas. En cuanto a los tiempos acumulados requeridos en la restricción, todos son inferiores y lo más cercanos posible al tiempo disponible de 176 horas/mes en los puestos de trabajo restrictivos (enderezado en la prensa hidráulica y doblado). Esto representa que se satisfacen las condiciones del problema.

**Tabla 4-17.** Esquema óptimo mediante aplicación de la PLE.

ESQUEMA ÓPTIMO							
Costos Unitarios	Sierra Circular	Cepilladora de 45 cm	Canteadora de Plancha	Sierra de Cinta	Tupy	Cepillo Machimbre	Afiladora de Cuchillas
Costo de materiales (\$)	895.01	1496.42	799.22	455.56	638.83	1812.32	729.13
Costo mano de obra (\$)	198.86	183.83	140.27	166.70	144.70	513.41	212.20
Costos indirectos o energéticos (\$)	1.96	1.81	1.38	1.65	1.43	5.07	2.09
P.V.P. (\$)	2400	3400	2200	1150	1800	6000	1200
Rendimiento (Ri) (\$)	1504.99	1903.58	1400.78	694.44	1161.17	4187.68	470.87
Rendimiento por tiempo en la restricción (\$/h)	376.25	951.79	350.19	347.22	580.59	1046.92	117.72
Utilidad (\$)	1304.16	1717.94	1259.13	526.09	1015.05	3669.21	256.58
SOLUCIÓN POR EL MÉTODO DE LA PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA (PLE)							
Cantidades a fabricar (u)	20	15	10	4	3	2	1
Secuencia de producción	3	2	4	6	5	1	7
Máximo rendimiento (\$)	87768.74						
Utilidades (\$)	77188.10						
SOLUCION POR EL METODO DE LA CONTABILIDAD DEL RENDIMIENTO							
Cantidades a fabricar (u)	20	15	10	4	3	2	1
Secuencia de producción	3	2	4	6	5	1	7
Tiempo requerido en la restricción (h)	30	5.00	2.5	8	0	1	0.33
Tiempo acumulado requerido en la restricción (h)	36.00	6.00	38.50	46.50	38.50	1.00	46.83
Tiempo disponible en la restricción (h)	176						

En la Tabla 4-18 se presentan los nuevos porcentajes de utilización de todos los puestos de trabajo en caso de considerarse la producción de la cantidad de máquinas

establecidas por la solución de la PLE. El porcentaje de incremento de la utilidad es del 12.91%.

**Tabla 4-18.** Porcentaje de utilización mensual de los puestos de trabajo a partir de la nueva explotación y subordinación de la restricción.

Proceso	Puestos de trabajo	Operarios	Número de máquinas/herramientas	Tiempo unitario de producción (horas)							Capacidad mensual requerida (h)	Capacidad mensual disponible (h)	Utilización (%)
				Sierra Circular	Cepilladora de 45 cm	Canteadora de Plancha	Sierra de Cinta	Tupy	Cepillo Machimbre	Afiladora de Cuchillas			
Diseño	Diseño	1	4	2	4	1	3	3.33	8	8.33	156	176	88.83%
Corte	Cortadora plasma CNC	1	2	1.5	0.33	0.25	2	0	0.5	0.33	47	176	26.61%
	Sierra de cinta	1	2	4	1.8	0.8	1.6	4.00	6.4	3.2	149	176	84.89%
	Cortadora plasma CNC	1	1	2	0.75	1.67	0.75	1.33	4	1.5	84	176	47.96%
Enderezado	Prensa hidráulica	1	1	4	2	4	2	2	4	4	176	176	100.00%
Doblado	Doblado	1	1	2	2	2	8	4	16	8	174	176	98.86%
Forjado	Fragua	2	2	3	8	4	4	4	16	0	280	352	79.55%
Soldado	Soldadora SMAW	1	3	2	0.8	1.2	0.8	0.8	5.6	0.8	82	176	46.36%
	Soldadora MIG	2	4	8	3.2	2.8	7.2	7.2	10.4	7.2	314	352	89.32%
Taladrado	Taladro de mano	1	2	2.4	2.4	1.5	2.4	3	7.2	1.6	134	176	75.91%
	Taladro de pedestal	2	2	5.6	5.6	3.5	1.6	3	8.8	2.4	266	352	75.68%
Torneado	Torno	5	5	16	10	10	10	10	50	30	770	880	87.50%
Fresado	Fresadora	2	2	0	8	4	3	4	8	8	208	352	59.09%
Limado	Limado manual	1	10	2	0.8	0.6	2.4	0.8	0.4	1.6	72	176	41.14%

Proceso	Puestos de trabajo	Operarios	Número de máquinas/ herramientas	Tiempo unitario de producción (horas)							Capacidad mensual requerida (h)	Capacidad mensual disponible (h)	Utilización (%)
				Sierra Circular	Cepilladora de 45 cm	Canteadora de Plancha	Sierra de Cinta	Tupy	Cepillo Machimbre	Afiladora de Cuchillas			
	Cepillo de vaivén	1	1	3	3.2	2.4	1.6	1.2	0.6	2.4	146	176	82.73%
Ensamblaje	Matrices	1	6	0	4	1	1.6	2	16.8	0.8	117	176	66.36%
	Herramientas manuales	5	-	16	12	9	14.4	6	31.2	7.2	735	880	83.55%
Cepillado	Cepillo de puente	2	2	8	2	6	0	0	10	0	270	352	76.70%
Pulido	Pulidora	1	3	2	1.5	1	3	2.8	8	1.8	111	176	62.90%
	Esmeril	1	2	2	3.5	1	1	1.2	2	1.2	115	176	65.51%
Pintado	Compresor	1	1	0.5	0.4	0.2	0.2	0.2	1.6	0.1	23	176	12.90%
	Pistola de pintura	1	1	0.5	3.6	1.8	1.8	1.8	6.4	0.9	108	176	61.53%
Pruebas	Pruebas de funcionamiento	1	-	1	1	2	1	1	4	2	72	176	40.91%
Producción mensual o demanda (unidades) de cada máquina				20	15	10	4	3	2	1	-	-	-

Según la información de la Tabla 4-18, se puede observar que, en condiciones ideales ninguno de los puestos de trabajo tendría un porcentaje de utilización superior al 100%. Esto significa que no habría déficit de tiempo para el volumen de producción establecido por la PLE y que por el contrario existirá una holgura que posibilitará la fabricación de máquinas adicionales, que podrán servir para mantener un stock o reserva.

Finalmente resta corroborar si el volumen de producción asignado en respuesta a la PLE satisface la demanda existente. Para el efecto en la Tabla 4-19 se presentan las cantidades correspondientes a la producción mensual idealizada con la PLE, la producción optimizada y la capacidad de cubrir la demanda:

**Tabla 4-19.** Producción mensual proyectada con la PLE versus producción optimizada.

<b>Producto</b>	<b>Producción mensual actual</b>	<b>Producción optimizada</b>	<b>Capacidad de cubrir la demanda</b>
Sierra Circular	20	20	100%
Cepilladora de 45 cm	12	15	125%
Canteadora de Plancha	10	10	100%
Sierra de Cinta	4	4	100%
Tupy	3	3	100%
Cepillo Machimbre	2	2	100%
Afiladora de Cuchillas	1	1	100%
Total	52	55	105.77%

Conforme la información mostrada en la Tabla 4-19, se aprecia que en todos los casos al menos se cubre la demanda existente, con la posibilidad de tener una producción excedente equivalente al 25% de cepilladoras de 45 cm. Esto representa que mensualmente se pueden elaborar un 5.77% de unidades extras para stock o reserva. Por consiguiente, bajo la capacidad de producción optimizada en función de los recursos actuales más la incorporación de la máquina cortadora plasma CNC y el reordenamiento de los operarios y ayudantes, la solución final del problema permite no solamente satisfacer la demanda existente sin necesitar de horas extras durante la jornada laboral, sino que además la opción de disponer de excedentes de máquinas cepilladoras.

#### 4.2.5 Análisis de la inversión

Es necesario determinar el período de recuperación de la inversión realizada para llevar a cabo la fase de elevación de la restricción, en lo correspondiente al desembolso de dinero para la adquisición de la máquina cortadora de plasma CNC y la incorporación de un operario tornero (aunque esto conlleva la reducción de un trabajador en total). Para el efecto se calculó el valor actual neto (VAN), conocido también como valor presente neto (VPN), a través de la fórmula siguiente:

$$VAN = -I_o + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_o + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n} \quad (9)$$

Donde:

$I_o$  = es la inversión inicial previa, el valor del desembolso que la empresa realiza en el momento inicial de efectuar la inversión.

$F_t$  = son los flujos netos de efectivo, representan la diferencia entre los ingresos y gastos que se obtienen por la ejecución del proyecto de inversión.

$t$  = son los períodos de vigencia del proyecto de inversión (en este caso mensuales).

$k$  = tasa de descuento, costo o tasa de oportunidad, es la tasa de retorno requerida sobre la inversión. Refleja la oportunidad perdida de gastar o invertir en el presente.

$n$  = Número de períodos evaluados del proyecto.

Se toma una tasa de descuento igual a 10% anual (0.83% mensual). Al evaluar el VAN en la expresión (9) para un período de cuatro meses se obtuvo:

$$VAN = -25500 + \sum_{t=1}^4 \frac{8825.42}{(1+0.0083)^t}$$
$$VAN = -25500 + \frac{8825.42}{(1+0.0083)} + \frac{8825.42}{(1+0.0083)^2} + \frac{8825.42}{(1+0.0083)^3} + \frac{8825.42}{(1+0.0083)^4}$$
$$VAN = \$9078.31$$

Evalutando el VAN en un período de tres meses se obtuvo:

$$VAN = -25500 + \sum_{t=1}^3 \frac{8825.42}{(1 + 0.83)^t}$$

$$VAN = -25500 + \frac{8825.42}{(1 + 0.83)} + \frac{8825.42}{(1 + 0.83)^2} + \frac{8825.42}{(1 + 0.83)^3}$$

$$VAN = \$541.04$$

El valor actual neto que se estimar conseguir a los tres meses de producción es de \$541.04, mientras que a los cuatro meses se ubicaría en \$9078.31. Es decir que la inversión requerida para la fase de elevación de la restricción se recuperará en tres meses de producción y partir de entonces se obtendrán ganancias, siempre y cuando se generen los volúmenes de producción estipulados en la función optimizada.

### 4.3 Discusión

De la revisión de la literatura con respecto a la aplicación de la teoría de las restricciones y la optimización en la planificación de la producción, se encontraron trabajos relacionados que aportan información de referencia para contrastar los resultados obtenidos en el presente trabajo investigativo.

En el presente estudio, también se optó por desarrollar un procedimiento similar al de Romero et al. [6], maximizando el rendimiento con la PLE considerando la producción de los 7 tipos de máquinas de procesamiento de madera más comunes, lo que permitió obtener un incremento de la utilidad bruta del 12.91%, con la posibilidad de cubrir la demanda y contar con unidades de producción de reserva.

La utilidad alcanzada en Maquinarias Espín gracias al aporte brindado durante el desarrollo del presente estudio fue del 12.91%, porcentaje que concuerda con la utilidad obtenida en el trabajo investigativo efectuado por Herrera, Campo, Bernal y Tilves [7], que fue de 14.5% y que también estuvo enfocado en la optimización con base en la aplicación de la teoría de restricciones. Bajo estas circunstancias se corrobora que en las investigaciones referidas y en la realizada en este trabajo se alcanzó una mejora de la situación de la producción.



Adicionalmente se destaca que existen necesidades futuras de investigación que complementarían este trabajo investigativo desarrollado. Particularmente surge el interés por integrar una simulación de los distintos escenarios que podrían presentarse considerando la existencia de múltiples restricciones, de manera que se podrían determinar nuevas funciones objetivo y se obtendrían nuevos valores de maximización del rendimiento y de la utilidad, para cada caso particular. De esta manera se tendría una programación dinámica para el control del sistema de producción en la empresa.

## CAPÍTULO V

### 5.1 Conclusiones

- Los procesos operativos de la elaboración de máquinas de procesamiento de madera en Maquinarias Espín presentaban cuellos de botella en los puestos de corte con sierra de mano y torneado, cuyos porcentajes de utilización eran de 111.82 y 105.11%, lo que representa que ambos puestos de trabajo no tenían la capacidad de cubrir la cantidad media mensual de productos requeridos. Por lo tanto, los dos mencionados puestos de trabajo se constituían en las restricciones de la producción.
- A partir de la explotación de las restricciones con base en la aplicación de la programación lineal entera para maximizar el rendimiento y una vez subordinado todo, se determinó que el máximo rendimiento posible fue de \$ 78470, con una utilidad neta máxima de \$ 68362.68, correspondiendo una producción mensual optimizada de 19 sierras circulares, 12 cepilladoras, 10 canteadoras, 3 tupys, 2 cepillos machimbres, 1 sierra de cinta y 1 afiladora de cuchillas. Sin embargo, el volumen de producción maximizado no abastece toda la demanda media mensual existente, con un déficit de 5% de sierras circulares y de 75% de sierras cintas.
- Como parte de la elevación de la restricción se incorporó una máquina cortadora de plasma CNC de pórtico portátil para sustituir el corte con sierra de mano y se reordenó la distribución de los operarios y ayudantes en los puestos de trabajo. Se identificaron las posibles nuevas restricciones, encontrándose que no existen, dado que ahora todos los puestos de trabajo tienen la capacidad de producir el volumen de producción mensual demandado. Sin embargo, existe una holgura de tiempo, que al ser explotada mediante la función de maximización de la PLE permitiría obtener un rendimiento máximo de \$ 87768.74, con una utilidad bruta de \$ 77188.10, correspondiendo una producción mensual optimizada de 20 sierras circulares, 15 cepilladoras, 10 canteadoras, 4 sierras de cinta, 3 tupys, 2 cepillos machimbres y 1 afiladora de cuchillas. Al comparar la situación actual con la propuesta, se determina que mediante la aplicación de la teoría de restricciones y la optimización se puede eliminar las restricciones existentes e

incrementar en un 12.91% la utilidad por concepto de la venta de las máquinas producidas en maquinarias Espín.

## **5.2 Recomendaciones**

- Actualizar la optimización de la producción de manera periódica tomando en cuenta los registros medios mensuales de la demanda existente de las máquinas de procesamiento de madera, con la finalidad de detectar y explotar de ser el caso las nuevas restricciones que pudieran aparecer.
- Considerar la incorporación de nuevos recursos tecnológicos que permitan incrementar la capacidad de producción, con lo cual se podría aplicar nuevamente la función de maximización de la programación lineal para optimizar aún más el rendimiento y la utilidad bruta de la producción de máquinas de procesamiento de madera.
- Desarrollar un estudio complementario enfocado en evaluar el desempeño laboral de los operarios y ayudantes, para adoptar medidas tendientes a disminuir los tiempos estándar de producción de las máquinas.

## Bibliografía

- [1] D. Sánchez y C. Mariño, «Mejora continua de los procesos en la metalmecánica Maquinarias Espín», p. 6, 2017.
- [2] J. Álvarez M, J. Inche M., y G. Salvador W., «Programación de operaciones mediante la Teoría de Restricciones.», *idata*, vol. 7, n.º 1, Art. n.º 1, mar. 2014, doi: 10.15381/idata.v7i1.6095.
- [3] G. Villagómez, J. V. Moya, y A. Medina, «Teoría de restricciones para procesos de manufactura», *Enfoque UTE*, vol. 3, n.º 1, Art. n.º 1, 2012, doi: 10.29019/enfoqueute.v3n1.7.
- [4] P. Vergara, *Optimización de procesos industriales y control de calidad*. Santiago de Chile: Universidad Tecnológica Metropolitana, 2005.
- [5] Pro Ecuador, «Metalmecánica y Automotriz», *Pro Ecuador Negocios sin frontera*, 2018. <https://www.proecuador.gob.ec/metalmecanica-y-automotriz/> (accedido may 31, 2021).
- [6] J. Romero, V. Ortiz, y Á. Caicedo, «La teoría de restricciones y la optimización como herramientas gerenciales para la programación de la producción. Una aplicación en la industria de muebles», *Revista de Métodos Cuantitativos para la economía y la empresa*, n.º 27, pp. 74-90, 2019.
- [7] G. Herrera-Vidal, J. Campo-Juvinao, J. Bernal-Hernandez, y R. Tilves, «Modelo de teoría de restricciones con consideraciones de optimización y simulación—Un caso de estudio», *Revista Espacios*, vol. 39, n.º 3, pp. 1-18, 2018.
- [8] W.-H. Tsai, C.-W. Lai, y J. C. Chang, «An algorithm for optimizing joint products decision based on the Theory of Constraints», *International Journal of Production Research*, vol. 45, n.º 15, pp. 3421-3437, 2007, doi: 10.1080/00207540600891382.
- [9] A. Altumi y A. AL-yaseer, «The Conventional, the Theory of Constraints, and the Linear Programming: Three Approaches to the Optimum Production Mix: A Comparative Study - ProQuest», *International Journal of Computer Engineering and Information Technology*, vol. 8, n.º 7, pp. 125-140, 2016.

- [10] A. J. Abisambra-Lemus y L. A. Mantilla-Cuadros, «Aplicación de la teoría de restricciones (TOC) a los procesos de producción de la planta de fundición de Imusa», p. 13, 2014.
- [11] L. A. Cortabarría, S. J. Martínez, y O. H. Mendoza, «Diseño, implementación y análisis de una metodología para aplicar TOC a empresas metalmecánicas con restricciones físicas internas – caso de aplicación: Colombia», *Revista Espacios*, vol. 37, n.º 31, pp. 1-30, 2016.
- [12] Y. Bermúdez, «Aplicaciones de programación lineal, entera y mixta», *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, vol. II, n.º 7, pp. 85-104, 2011.
- [13] W. M. Marín y E. V. G. Gutiérrez, «Desarrollo e implementación de un modelo de Teoría de Restricciones para sincronizar las operaciones en la cadena de suministro.», *Revista EIA*, vol. 10, n.º 19, Art. n.º 19, 2013.
- [14] J. W. Penagos, M. B. Acuña, y L. Galvis, «Teoría de Restricciones Aplicada a empresas manufactureras y de servicios», *Ingeniare*, n.º 12, Art. n.º 12, 2012.
- [15] V. Mabin y S. Balderstone, *The world of the Theory of Constraints. a review of the international literature*. CRC Press, 1999.
- [16] C. S. Checa Ramírez, «Plan de mejora de la productividad en la planta de hormigón premezclado mediante el uso de la Teoría de Restricciones», Posgrado, Universidad de las Américas, Quito, 2018.
- [17] J. W. Penagos Vargas, M. B. Acuña Guerrero, y L. L. Galvis Crespo, «Teoría de Restricciones aplicada a empresas manufactureras y de servicios.», *Ingeniare*, n.º 12, Art. n.º 12, 2012.
- [18] J. A. González Gómez, K. Ortegón Mosquera, y L. Rivera Cadavid, «Desarrollo de una metodología de implementación de los conceptos de TOC (Teoría de restricciones), para empresas colombianas.», *Estudios Gerenciales*, vol. 19, n.º 87, Art. n.º 87, 2003.
- [19] M. Birrell y M. B. R., *Simplicidad Inherente: Fundamentos de la Teoría de Restricciones*. LibrosEnRed, 2004.
- [20] G. Lopez Limon, «Los 5 pasos de TOC», *toclatino*, 2018. <https://www.toclatino.com/post/los-5-pasos-de-toc> (accedido mar. 08, 2021).

- [21] V. Ortiz-T., «Mezcla óptima de producción desde el enfoque gerencial de la contabilidad del throughput: el caso de una pequeña empresa de calzado», *Cuadernos de Contabilidad*, vol. 15, n.º 37, p. 26, 2014, doi: 10.11144/Javeriana.cc15-37.mopd.
- [22] L. Juiña, V. Cabrera, y S. Reina, «Aplicación de la teoría de restricciones en la implementación de un sistema de manufactura CAD-CAM en la industria Metalmecánica-Plástica», *Enfoque*, vol. 8, n.º 3, Art. n.º 3, 2017.
- [23] A. González, E. Zamudio, y O. Rojas, «Maximización de la utilidad bruta en la mezcla de productos de una empresa de la rama de la iluminación», oct. 2016, p. 8. [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Omar-Rojas/publication/310124083\\_Maximizacion\\_de\\_la\\_utilidad\\_bruta\\_en\\_la\\_mezcla\\_de\\_productos\\_de\\_una\\_empresa\\_de\\_la\\_rama\\_de\\_la\\_iluminacion/links/58294fef08ae254c50869a75/Maximizacion-de-la-utilidad-bruta-en-la-mezcla-de-productos-de-una-empresa-de-la-rama-de-la-iluminacion.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Omar-Rojas/publication/310124083_Maximizacion_de_la_utilidad_bruta_en_la_mezcla_de_productos_de_una_empresa_de_la_rama_de_la_iluminacion/links/58294fef08ae254c50869a75/Maximizacion-de-la-utilidad-bruta-en-la-mezcla-de-productos-de-una-empresa-de-la-rama-de-la-iluminacion.pdf)
- [24] M. Anciiu, *Practical Optimization with MATLAB*, 1.<sup>a</sup> ed. Newcastle upon Tyne, United Kingdom: Cambridge Scholars Publishing, 2019.
- [25] J. Domínguez, «Optimización simultánea para la mejora continua y reducción de costos en procesos», *Ingeniería y Ciencia*, vol. 2, n.º 4, Art. n.º 4, 2006.
- [26] A. M. F. Garcia, «Optimización de Procesos mediante el desarrollo de empleados. Caso: Empresa metalmecánica de fabricación de moldes.», n.º 58, Art. n.º 58, 2019.
- [27] C. Guédez, «Programación Lineal e Ingeniería Industrial: Una aproximación al Estado del Arte», *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, vol. II, n.º 6, pp. 61-78, 2011.
- [28] K. Mirallas y P. Portes, «Diseño de una Máquina Cortadora por Plasma CNC», Tesis de Maestría, ESPOL, Guayaquil, Ecuador, 2015.
- [29] E. Baquela y A. Redchuk, *Optimización Matemática con R. Introducción al modelado y resolución de problemas*, 1.<sup>a</sup> ed., vol. I. Madrid, España, 2013.
- [30] J. A. Uribe-Gómez y S. Quintero-Ramírez, «Aplicación de los modelos de simulación en entornos productivos bajo la metodología de Teoría de las Restricciones.», *Revista CEA*, vol. 3, n.º 6, Art. n.º 6, 2017.

- [31] A. C. García Erazo, «Propuesta de mejoramiento de la productividad en el departamento de producción de la empresa Remodularsa S.A. mediante la aplicación de la teoría de restricciones (TOC).», Pregrado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2020.
- [32] E. Goldratt, *Theory of constraints*. North River: Croton on-Hudson, 1990. Accedido: feb. 11, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://brharnetc.edu.in/br/wp-content/uploads/2018/11/5.pdf>

## Anexos

**Anexo A.** Materia prima utilizada para la elaboración de las máquinas en Maquinarias Espín.

SIERRA CIRCULAR							
No	Denominación	Dimensiones	Cantidad	Unidad	Cantidad estándar	Costo Unitario [\$]	Costo [\$]
1	Ángulo	1/4" x 3"	9	m	6	70	105.00
2	Ángulo	1/4" x 2 1/2"	3	m	6	60	30.00
3	Plancha	10 mm	0.77	m <sup>2</sup>	2.9768	290	75.01
4	Plancha	6 mm	0.45	m <sup>2</sup>	2.9768	170	25.70
5	Eje	1 3/4"	0.8	m	6	174	23.20
6	Eje	2 1/4"	0.5	m	1	360	180.00
7	Eje	1 1/4"	0.7	m	1	108	75.60
8	Bandas A	A 40	2	unidad	1	4.50	9.00
9	Pernos	1/4" x 3/4"	30	kg	1	2.70	81.00
10	Pernos	3/8" x 3/4"	30	kg	1	2.70	81.00
11	Pernos	1/2" x 1 1/4"	65	kg	1	2.70	175.50
12	Chumacera de eje perforado	4"	2	u	1	17	34.00

CEPILLADORA DE 45 CM							
No	Denominación	Dimensiones	Cantidad	Unidad	Cantidad estándar	Costo Unitario [\$]	Costo [\$]
1	Plancha	5 mm	0.671	m <sup>2</sup>	2.9768	165	37.19
2	Plancha	12 mm	0.976	m <sup>2</sup>	2.9768	325	106.56
3	Plancha	8 mm	0.976	m <sup>2</sup>	2.9768	210	68.85
4	Plancha	40 mm	0.0875	m <sup>2</sup>	2.9768	1800	52.91
5	Canal U	4" x 2" x 2mm	2	m	6	21.54	7.18
6	Platina	1/2" x 1 1/2"	4	m	6	35	23.33
7	Platina	1/2" x 2"	2	m	6	43	14.33
8	Platina	1/2" x 2 1/2"	2	m	6	60	20.00
9	Platina	3/8" x 1"	3	m	6	19	9.50
10	Platina	1/2" x 4"	6	m	6	100	100.00
11	Platina	1/2" x 1"	1.35	m	6	23	5.18
12	Piñones	3" 15 dts, p 40	3	u	1	7.5	22.50
13	Piñones	6" 30 dts, p 40	2	u	1	18	36.00
14	Varilla cuadrada	1"	1.6	m	6	60	16.00
15	Varilla cuadrada	3/4"	1.4	m	6	50	11.67
16	Varilla redonda	1"	1.65	m	6	26.99	7.42
17	Varilla redonda	7/8"	1.2	m	6	35	7.00
18	Resortes	1 1/4"	4	u	1	3	12.00



### CEPILLADORA DE 45 CM

No	Denominación	Dimensiones	Cantidad	Unidad	Cantidad estándar	Costo Unitario [\$]	Costo [\$]
19	Eje	1"	0.4	m	6	72	4.80
20	Eje	1 1/8"	0.6	m	6	81	8.10
21	Eje	2 1/4"	0.6	m	6	360	36.00
22	Eje	4"	0.6	m	6	1164	116.40
23	Eje	2"	0.6	m	6	300	30.00
24	Cadena	1/2"	3	m	3	22	22.00
25	Pernos	7/16" x 3"	30	kg	1	2.70	81.00
26	Pernos	3/8" x 2"	20	kg	1	2.70	54.00
27	Pernos	1/4" x 1/2"	15	kg	1	2.70	40.50
28	Pernos	3/8" x 1"	20	kg	1	2.70	54.00
29	Tol	1/16"	12	m <sup>2</sup>	1	41	492.00

### CANTEADORA DE PLANCHA

No	Denominación	Dimensiones	Cantidad	Unidad	Cantidad estándar	Costo Unitario [\$]	Costo [\$]
1	Plancha	6 mm	2.4	m <sup>2</sup>	2.9768	170	137.06
2	Plancha	12 mm	0.57	m <sup>2</sup>	2.9768	325	62.23
3	Plancha	5 mm	0.48	m <sup>2</sup>	2.9768	165	26.61
4	Ángulo	1/4" x 2 1/2"	1	m	6	60	10.00
5	Ángulo	1/4" x 2"	0.3	m	6	35	1.75
6	Platina	1/2" x 1 1/2"	4	m	1	35	140.00
7	Platina	1/4" x 4"	1.2	m	1	40	48.00
8	Canal U-V	3"	2	m	1	25	50.00
9	Varilla roscada	5/8"	0.70	m	6	15	1.75
10	Eje	4"	0.50	m	6	1164	97.00
11	Eje	1 1/2"	0.40	m	6	156	10.40
12	Chumacera de eje perforado	4 1/2"	2	u	1	18	36.00
13	Rodamientos	620722	6	u	1	4.5	27.00
14	Pernos	1/4" x 1/2"	30	kg	1	2.7	81.00
15	Pernos	3/8" x 1"	15	kg	1	2.7	40.50
16	Pernos	5/16" x 1/4"	10	kg	1	2.7	27.00

### SIERRA DE CINTA

No	Denominación	Dimensiones	Cantidad	Unidad	Cantidad estándar	Costo Unitario [\$]	Costo [\$]
1	Plancha	6 mm	0.36	m <sup>2</sup>	1	170	61.20
2	Tubo cuadrado	2" x 2mm	2	m	6	24.63	8.21
3	Tubo cuadrado	4" x 3mm	2	m	6	69.17	23.06
4	Tubo cuadrado	8"	1	m	6	150	25.00

SIERRA DE CINTA							
No	Denominación	Dimensiones	Cantidad	Unidad	Cantidad estándar	Costo Unitario [\$]	Costo [\$]
5	Tol	1/16"	1.44	m <sup>2</sup>	1	41	59.04
6	Platina	1/2" x 1 1/4"	2.4	m	6	28	11.20
7	Platina	1/4" x 4"	1.5	m	6	40	10.00
8	Platina	3/8" x 1 1/4"	1.2	m	1	21	25.20
9	Eje	1"	0.6	m	6	72	7.20
10	Eje	1 1/4"	0.4	m	6	108	7.20
11	Pernos	5/16" x 3/4"	15	kg	1	2.70	40.50
12	Pernos	1/4" x 1/2"	20	kg	1	2.70	54.00
13	Pernos	1/4" x 3/8"	15	kg	1	2.70	40.50
14	Pernos	1/4" x 7/16"	20	kg	1	2.70	54.00
15	Varilla redonda	5/8"	0.7	m	6	45	5.25
16	Chumacera	208 - 24	2	u	1	12	24.00

TUPY							
No	Denominación	Dimensiones	Cantidad	Unidad	Cantidad estándar	Costo Unitario [\$]	Costo [\$]
1	Ángulo	1/4" x 2 1/2"	4	m	6	60	40.00
2	Ángulo	1/2" x 1 1/2"	8	m	6	50	66.67
3	Ángulo	1/4" x 2"	5	m	6	35	29.17
4	Ángulo	1/4" x 4"	5	m	6	85	70.83
5	Ángulo	3/8" x 2 1/2"	3.5	m	6	98	57.17
7	Ángulo	1/4" x 1 1/2"	5	m	6	27	22.50
8	Eje 705	1 3/4"	0.8	m	1	195	156.00
9	Varilla redonda	7/8"	0.8	m	6	35	4.67
10	Tol	1/16"	1.44	m <sup>2</sup>	1	41	59.04
11	Pernos	1/4" x 1/2"	45	kg	1	2.7	121.50
12	Plancha	8 mm	0.16	m <sup>2</sup>	2.9768	210	11.29

CEPILLO MACHIMBRE							
No	Denominación	Dimensiones	Cantidad	Unidad	Cantidad estándar	Costo Unitario [\$]	Costo [\$]
1	Ángulo	1/2" x 4"	2.5	m	6	92	38.33
2	Ángulo	1/4" x 1/2"	2.5	m	6	25	10.42
3	Plancha	5 mm	0.671	m <sup>2</sup>	2.9768	165	37.19
4	Plancha	12 mm	0.976	m <sup>2</sup>	2.9768	325	106.56
5	Plancha	8 mm	0.976	m <sup>2</sup>	2.9768	210	68.85
6	Plancha	40 mm	0.0875	m <sup>2</sup>	2.9768	1800	52.91
7	Plancha	6 mm	0.28	m <sup>2</sup>	2.9768	170	15.99
8	Plancha	10 mm	0.18	m <sup>2</sup>	2.9768	290	17.54

CEPILLO MACHIMBRE							
No	Denominación	Dimensiones	Cantidad	Unidad	Cantidad estándar	Costo Unitario [\$]	Costo [\$]
9	Canal U	4" x 2" x 2mm	2	m	6	21.54	7.18
10	Platina	1/2" x 1 1/2"	4	m	6	35	23.33
11	Platina	1/2" x 2"	2	m	6	43	14.33
12	Platina	1/2" x 2 1/2"	2	m	6	60	20.00
13	Platina	3/8" x 1"	3	m	6	19	9.50
14	Platina	1/2" x 4"	6	m	6	100	100.00
15	Platina	1/2" x 1"	1.35	m	6	23	5.18
16	Piñones	3" 15 dts, p 40	3	u	1	7.5	22.50
17	Piñones	6" 30 dts, p 40	2	u	1	18	36.00
18	Varilla cuadrada	1"	1.6	m	6	60	16.00
19	Varilla cuadrada	3/4"	1.4	m	6	50	11.67
20	Varilla redonda	1"	1.65	m	6	26.99	7.42
21	Varilla redonda	7/8"	1.2	m	6	35	7.00
22	Resortes	1 1/4"	4	u	1	3	12.00
23	Eje	1"	0.7	m	6	72	8.40
24	Eje	1 1/8"	0.6	m	6	81	8.10
25	Eje	2 1/4"	0.6	m	6	360	36.00
26	Eje	4"	0.6	m	6	1164	116.40
27	Eje	2"	0.6	m	6	300	30.00
28	Eje	1 1/2"	0.5	m	6	156	13.00
29	Cadena	1/2"	3	m	3	22	22.00
30	Pernos	7/16" x 3"	30	kg	1	2.70	81.00
31	Pernos	3/8" x 2"	20	kg	1	2.70	54.00
32	Pernos	1/4" x 1/2"	15	kg	1	2.70	40.50
33	Pernos	3/8" x 1"	20	kg	1	2.70	54.00
34	Tol	1/16"	13.22	m <sup>2</sup>	1	41	542.02
35	Hierro fundido	1 1/4" x 3/4"	5	u	1	25	125.00
36	Hoja de resorte	1"	6	u	1	7	42.00

AFILADORA DE CUCHILLAS							
No	Denominación	Dimensiones	Cantidad	Unidad	Cantidad estándar	Costo Unitario [\$]	Costo [\$]
1	Tol	1/16"	2.70	m <sup>2</sup>	1	41	110.70
2	Ángulo	1/4" x 1 1/2"	2	m	6	27	9.00
3	Plancha	10 mm	1.22	m <sup>2</sup>	2.9768	290	118.85
4	Plancha	22 mm	0.976	m <sup>2</sup>	2.9768	630	206.56
5	Ángulo	3/4" x 3"	1	m	6	85	14.17
6	Eje	1 3/4"	1.4	m	6	174	40.60
7	Eje	1 1/2"	1	m	6	156	26.00
8	Canal U-V	8"	0.55	m	1	75	41.25
9	Pernos	3/8" x 1 1/2"	30	kg	1	2.7	81.00
10	Pernos	3/8" x 3/4"	30	kg	1	2.7	81.00

**Anexo B.** Estudio de tiempos de los procesos operativos para la elaboración de las máquinas en Maquinarias Espín, situación actual.

ESTUDIO DE TIEMPOS SIERRA CIRCULAR																	
Fecha: 20/03/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)													Precisión +- 50 ms/día		
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10													Cronometraje con Regreso a cero		
No.	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño C	Tiempo Normal TN	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
1	Trazado	313.1	280.1	319.3	294.4	241.3	289.6	325.9	300.1	255.1	325.7	<b>294.46</b>	Operario 2	75	<b>220.84</b>	0.09	<b>240.72</b>
2	Corte con sierra de mano	428.7	424.8	422.7	428.2	422.7	426	430.5	424.2	424.8	427.4	<b>425.99</b>	Ayudante 2	100	<b>425.99</b>	0.13	<b>481.37</b>
3	Corte con sierra de banco	214.8	215.5	215.9	254.7	211.4	234.1	210.4	235.1	205.3	225.3	<b>222.24</b>	Ayudante 7	100	<b>222.24</b>	0.08	<b>240.02</b>
4	Corte de plasma manual	202.4	211.9	198.2	225.9	219.2	217.7	203.2	212	237.5	209.9	<b>213.79</b>	Operario 1	100	<b>213.79</b>	0.13	<b>241.58</b>
5	Enderezado mediante una prensa hidráulica	198	188.4	211.5	193.9	198.3	149.8	113.5	145.5	102.5	197.5	<b>169.89</b>	Operario 3	125	<b>212.37</b>	0.14	<b>242.10</b>
6	Doblado	105.6	104.6	102.4	99.97	100.3	101.9	107.1	120.3	117.5	100.5	<b>106.03</b>	Ayudante 8	100	<b>106.03</b>	0.15	<b>121.93</b>
7	Forjado mediante una fragua	151.9	114.8	165	135.1	171	175.9	169.8	148.4	185.4	180.5	<b>159.77</b>	Operario 4, Ayudante 3	100	<b>159.77</b>	0.13	<b>180.54</b>
8	Soldado SMAW	77.08	80.83	83.08	79.62	87.5	89.75	82.03	84.67	91.85	81.27	<b>83.77</b>	Operario 5	125	<b>104.71</b>	0.15	<b>120.42</b>

ESTUDIO DE TIEMPOS SIERRA CIRCULAR																	
Fecha: 20/03/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)													Precisión +- 50 ms/día		
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10													Cronometraje con Regreso a cero		
No.	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño C	Tiempo Normal TN	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
9	Soldado MIG	316.4	327.1	305.5	325.6	321.6	324.2	387.5	323.3	380.1	328.9	334.00	Operario 6	125	417.49	0.15	480.12
10	Taladrado manual	123.5	119.6	121.5	117.6	125.9	126	133.1	120	137.5	122.8	124.75	Ayudante 10	100	124.75	0.16	144.71
11	Taladrado de pedestal	300.8	294.6	289.9	292.1	290.8	298.3	295.7	288.3	280	291.8	292.24	Operario 2	100	292.24	0.15	336.08
12	Torneado	651.8	647.2	693.1	618.5	576	725.8	710.6	710.5	650.6	700.4	668.45	Operario 7	125	835.56	0.15	960.90
13	Limado manual	129.7	133.1	143.1	147.8	142.4	122.5	141.7	150.8	165.5	163.8	144.04	Ayudante 1	75	108.03	0.12	121.00
14	Limado de vaivén	269.2	254.1	199.8	263.7	220.7	228.7	108.9	229.6	195.3	176.4	214.64	Ayudante 4	75	160.98	0.12	180.30
15	Ensamble de Herramientas manuales	805.7	830.3	773.3	760.5	806.3	787.5	881.7	866	856.5	845	821.28	Operario 8, Ayudante 5	100	821.28	0.17	960.90
16	Cepillado con cepillo de puente	414.7	436.8	411	434	441.2	417.2	423.9	405.4	419	415.9	421.90	Operario 9, Ayudante 6	100	421.90	0.14	480.97
17	Pulido manual	142.4	126.4	145.6	138.6	151	147	139	142.4	110.7	179.7	142.29	Ayudante 9	75	106.71	0.13	120.59

ESTUDIO DE TIEMPOS SIERRA CIRCULAR																	
Fecha: 20/03/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)													Precisión +- 50 ms/día		
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10													Cronometraje con Regreso a cero		
No .	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño C	Tiempo Normal TN	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
18	Pulido con esmeril	122.6	141.1	149.7	133.5	150	139.5	151.4	151.8	134	147.2	142.07	Ayudante 1	75	106.55	0.13	120.40
19	Pintado con compresor	34.02	31.31	36.58	30.82	40.11	31.5	36.45	32.72	38.63	37.82	35.00	Operario 1	75	26.25	0.15	30.18
20	Pintado con pistola de pintura	34.69	34.12	36.68	36.14	34.52	35.36	34.58	35.51	34.33	35.22	35.12	Operario 5	75	26.34	0.15	30.29
21	Pruebas de funcionamiento	49.83	49.92	49.45	50.92	49.24	50.65	51.8	52.77	56.06	54.02	51.47	Ayudante 9	100	51.47	0.17	60.22
Tiempo de ciclo		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5103.16	-	-	5165.29	-	5895.31

ESTUDIO DE TIEMPOS CEPILLADORA DE 45 CM																	
Fecha: 27/03/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)														Precisión +- 50 ms/día	
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10														Cronometraje con Regreso a cero	
No .	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño C	Tiempo Normal TN	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
1	Trazado	563.8	575.2	584.2	590.2	610.5	588.9	579.5	585.1	600	595.5	<b>587.29</b>	Operario 2	75	<b>440.47</b>	0.09	<b>480.11</b>
2	Corte con sierra de mano	40.55	41.64	43.64	48.97	45.31	41.07	44.26	39.65	43.66	41.42	<b>43.02</b>	Ayudante 2	100	<b>43.02</b>	0.13	<b>48.61</b>
3	Corte con sierra de banco	98.09	100.1	95.44	104.3	102.1	90.75	102.5	99.59	108.6	100.9	<b>100.23</b>	Ayudante 7	100	<b>100.23</b>	0.08	<b>108.25</b>
4	Corte de plasma manual	77.46	75.21	78.57	76.36	78.55	71.53	77.85	71.7	70.82	73.96	<b>75.20</b>	Operario 1	100	<b>75.20</b>	0.13	<b>84.98</b>
5	Enderezado mediante una prensa hidráulica	79.78	95.21	73.93	76.55	98.07	80.61	71.35	97.17	82.63	92.04	<b>84.73</b>	Operario 3	125	<b>105.92</b>	0.14	<b>120.75</b>
6	Doblado	97.38	124.2	90.65	95.33	98.28	92.7	114.8	110.2	123	98.59	<b>104.51</b>	Ayudante 8	100	<b>104.51</b>	0.15	<b>120.19</b>
7	Forjado mediante una fragua	452.8	413.9	436.7	397.6	431.8	431.8	398.3	435.3	412.3	437.8	<b>424.82</b>	Operario 4, Ayudante 3	100	<b>424.82</b>	0.13	<b>480.05</b>
8	Soldado SMAW	30.62	34.07	33.29	31.65	39.3	31.23	35.81	37.32	31.09	30.81	<b>33.52</b>	Operario 5	125	<b>41.90</b>	0.15	<b>48.18</b>
9	Soldado MIG	151	125.1	148.6	156.6	112.8	160.7	99.81	100.5	158.3	125.8	<b>133.93</b>	Operario 6	125	<b>167.42</b>	0.15	<b>192.53</b>

ESTUDIO DE TIEMPOS CEPILLADORA DE 45 CM																	
Fecha: 27/03/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)													Precisión +- 50 ms/día		
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10													Cronometraje con Regreso a cero		
No.	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño C	Tiempo Normal TN	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
10	Taladrado manual	114.1	153.2	110.2	145.6	129.9	111.5	120.9	143.4	109.6	107.2	124.54	Ayudante 10	100	124.54	0.16	144.46
11	Taladrado de pedestal	295.2	283.3	281.6	295.9	300.8	291.2	288.3	295.8	300.3	297	292.94	Operario 2	100	292.94	0.15	336.88
12	Torneado	451.4	470.7	369.6	391.5	453.1	388	380.5	437.1	412	420.5	417.44	Operario 7	125	521.80	0.15	600.07
13	Fresado	324.6	312.4	316.2	317.7	399.4	300.4	310.2	328.3	343.3	358.2	331.08	Operario 2	125	413.85	0.16	480.07
14	Limado manual	60.4	54.95	59.06	55.91	59.94	56.22	55.97	58.92	57.06	60.53	57.90	Ayudante 1	75	43.42	0.12	48.63
15	Limado de vaivén	234.2	250.2	245.4	253.3	261.2	246.5	204.8	200.5	191	206.1	229.31	Ayudante 4	75	171.98	0.12	192.62
16	Ensamble de Matrices	212.8	207.9	207.8	210.5	209	206.3	204.5	205.2	200.5	210.3	207.47	Operario 4, Ayudante 3	100	207.47	0.16	240.67
17	Ensamble de Herramientas manuales	621.7	600.9	625.3	606	628	614.4	613.1	617.4	624	608.3	615.90	Operario 8, Ayudante 5	100	615.90	0.17	720.61
18	Cepillado con cepillo de puente	100.7	106	105.4	98.82	125.2	95.22	110.3	100.6	105.7	109	105.69	Operario 9,	100	105.69	0.14	120.49



ESTUDIO DE TIEMPOS CEPILLADORA DE 45 CM																	
Fecha: 27/03/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)													Precisión +- 50 ms/día		
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10													Cronometraje con Regreso a cero		
No.	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño C	Tiempo Normal TN	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
													Ayudante 6				
19	Pulido manual	121.9	109.1	100.2	110.7	109.7	89.77	95.93	106.2	123.1	98.88	106.53	Ayudante 9	75	79.90	0.13	90.29
20	Pulido con esmeril	264.3	281.4	285.3	245.4	215.1	246.7	276.5	220.7	239.3	209.2	248.40	Ayudante 1	75	186.30	0.13	210.51
21	Pintado con compresor	24.74	31.56	26.12	32.13	25.86	34.38	29.57	28.88	22.72	22.65	27.86	Operario 1	75	20.90	0.15	24.03
22	Pintado con pistola de pintura	295.9	230.1	215.7	258.1	241.3	221	285.9	244.3	268.1	251.2	251.15	Operario 5	75	188.36	0.15	216.62
23	Pruebas de funcionamiento	55.01	51.98	54.28	52.36	49.9	50.06	53.83	51.06	50.93	51.61	52.10	Ayudante 9	100	52.10	0.17	60.96
Tiempo de ciclo		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4655.56	-	-	4528.63	-	5170.54

ESTUDIO DE TIEMPOS CANTEADORA																	
Fecha: 03/04/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)														Precisión +- 50 ms/día	
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10														Cronometraje con Regreso a cero	
No .	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño o C	Tiempo Normal TN	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
1	Trazado	105.9	107.9	176.9	107.9	137.8	165.7	196.1	186.2	156.1	136.8	147.72	Operario 2	75	110.79	0.09	120.76
2	Corte con sierra de mano	21.59	21.56	21.33	21.21	21.55	21.31	21.15	21.38	21.43	21.58	21.41	Ayudante 2	100	21.41	0.13	24.19
3	Corte con sierra de banco	42.89	43.08	52.8	49.94	42.94	40.96	43.11	51.14	42.74	40.11	44.97	Ayudante 7	100	44.97	0.08	48.57
4	Corte de plasma manual	103.1	166.7	174.9	131.8	147.6	120	178.7	144.2	159.3	168.6	149.49	Operario 1	100	149.49	0.13	168.92
5	Enderezado mediante una prensa hidráulica	178	156.8	198.5	192.5	125.5	200.9	147.3	133	155.9	200.2	168.87	Operario 3	125	211.08	0.14	240.63
6	Doblado	106.6	136.8	99.47	102.8	102.7	99.58	103.1	96.89	98.99	97.88	104.48	Ayudante 8	100	104.48	0.15	120.15
7	Forjado mediante una fragua	215.1	211.9	228.1	210.7	209.1	213.9	209.4	218.6	211.5	202.5	213.06	Operario 4, Ayudante 3	100	213.06	0.13	240.76
8	Soldado SMAW	44.49	60.97	52.86	53.95	58.93	37.9	50.32	48.8	58.48	39.98	50.67	Operario 5	125	63.34	0.15	72.84
9	Soldado MIG	148.1	92.32	100.2	149	116	91.62	106.9	148.2	145.6	74.04	117.20	Operario 6	125	146.50	0.15	168.47
10	Taladrado manual	79.28	72.87	78.45	81.57	78.94	75.03	78.69	80.23	75.74	77.12	77.79	Ayudante 10	100	77.79	0.16	90.24

ESTUDIO DE TIEMPOS CANTEADORA																	
Fecha: 03/04/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)														Precisión +- 50 ms/día	
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10														Cronometraje con Regreso a cero	
No .	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño o C	Tiempo Normal TN	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
11	Taladrado de pedestal	179.1	184.1	173.9	187.9	201.8	185.9	156.9	174.9	215.7	169	182.91	Operario 2	100	182.91	0.15	210.34
12	Torneado	382.1	433.9	436.3	420.8	413.1	427.8	419.9	380.7	441	423.9	417.94	Operario 7	125	522.43	0.15	600.79
13	Fresado	204.9	104.8	121.5	101	145.8	215.9	121.2	206.4	185.7	253.5	166.06	Operario 2	125	207.57	0.16	240.78
14	Limado manual	30.16	49.87	45.88	32.36	52	41.11	50.11	38.46	45.39	49.15	43.45	Ayudante 1	75	32.59	0.12	36.50
15	Limado de vaivén	160.4	169.1	155.3	178.5	159.8	200.4	174.9	169	199.4	158.9	172.58	Ayudante 4	75	129.43	0.12	144.97
16	Ensamble de Matrices	52.73	48.67	53.85	52.53	52.34	48.82	52.56	51.27	52.35	52.01	51.71	Operario 4, Ayudante 3	100	51.71	0.16	59.99
17	Ensamble de Herramientas manuales	4546	4488	4550	4685	4633	4419	4535	4723	4607	4843	4602.87	Operario 8, Ayudante 5	100	4602.87	0.17	5385.36
18	Cepillado con cepillo de puente	297.1	319.5	306.7	337.2	325.1	291.5	293.6	310.9	367	313.9	316.24	Operario 9, Ayudante 6	100	316.24	0.14	360.52
19	Pulido manual	51.26	92.29	50.41	97.34	81.44	70.01	59.84	61.75	89.34	59.7	71.34	Ayudante 9	75	53.50	0.13	60.46

ESTUDIO DE TIEMPOS CANTEADORA																	
Fecha: 03/04/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)														Precisión +- 50 ms/día	
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10														Cronometraje con Regreso a cero	
No .	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño C	Tiempo Normal TN	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
20	Pulido con esmeril	81.13	71.14	69.03	88.78	68.61	52.62	54	75.61	60.72	89.52	71.12	Ayudante 1	75	53.34	0.13	60.27
21	Pintado con compresor	10.3	26.53	21.24	15.74	10.7	18.59	10.17	9.78	10.58	15.87	14.95	Operario 1	75	11.21	0.15	12.89
22	Pintado con pistola de pintura	86.41	95.55	136.5	105.9	147.5	135.4	152.9	127	140.4	129.3	125.68	Operario 5	75	94.26	0.15	108.40
23	Pruebas de funcionamiento	96.51	107.8	97.6	102	101.8	100.1	101.9	102.8	114	104.7	102.91	Ayudante 9	100	102.91	0.17	120.40
Tiempo de ciclo		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7435.41	-	-	7503.88	-	8697.20

ESTUDIO DE TIEMPOS SIERRA DE CINTA																	
Fecha: 10/04/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)														Precisión +- 50 ms/día	
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10														Cronometraje con Regreso a cero	
No .	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño C	Tiempo Normal TN	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
1	Trazado	282.6	302.2	265.4	315.8	280.3	244.2	324.1	312.9	291.7	325.8	<b>294.48</b>	Operario 2	75	<b>220.86</b>	0.09	<b>240.74</b>
2	Corte con sierra de mano	255.6	255.5	254.2	257.5	256.5	254.1	258.9	257.3	248.3	258.6	<b>255.65</b>	Ayudante 2	100	<b>255.65</b>	0.13	<b>288.88</b>
3	Corte con sierra de banco	85.52	85.82	106.4	85.8	76.2	96.27	85.97	85.84	95.65	85.51	<b>88.89</b>	Ayudante 7	100	<b>88.89</b>	0.08	<b>96.00</b>
4	Corte de plasma manual	100.7	83.85	96.29	63.87	73.24	91.27	75.52	95.33	71.8	104.1	<b>85.59</b>	Operario 1	100	<b>85.59</b>	0.13	<b>96.72</b>
5	Enderezado mediante una prensa hidráulica	80.21	107.6	88.42	81.19	73.35	87.94	81.64	70.86	100.2	75.83	<b>84.73</b>	Operario 3	125	<b>105.91</b>	0.14	<b>120.74</b>
6	Doblado	416.7	393.8	425	405.7	445.8	392.2	403.9	407.1	432.1	456.2	<b>417.84</b>	Ayudante 8	100	<b>417.84</b>	0.15	<b>480.52</b>
7	Forjado mediante una fragua	198.8	209.5	200.6	241.3	180.8	207.1	237.1	247	230.8	175.6	<b>212.83</b>	Operario 4, Ayudante 3	100	<b>212.83</b>	0.13	<b>240.50</b>
8	Soldado SMAW	35.77	31.99	40.18	29.32	30.53	32.98	31.73	43.42	28.26	35.89	<b>34.01</b>	Operario 5	125	<b>42.51</b>	0.15	<b>48.89</b>
9	Soldado MIG	319.1	330.6	315.4	284.4	266.8	305.6	300	290.4	281.1	316	<b>300.94</b>	Operario 6	125	<b>376.17</b>	0.15	<b>432.60</b>

ESTUDIO DE TIEMPOS SIERRA DE CINTA																	
Fecha: 10/04/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)														Precisión +- 50 ms/día	
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10														Cronometraje con Regreso a cero	
No .	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño C	Tiempo Normal TN	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
10	Taladrado manual	119.2	129.2	119.4	115.9	121.9	124.5	117.9	158.4	124.5	116.8	124.77	Ayudante 10	100	124.77	0.16	144.73
11	Taladrado de pedestal	77.59	80.58	78.39	81.55	85.59	99.92	81.77	79.7	89.09	80.88	83.51	Operario 2	100	83.51	0.15	96.03
12	Torneado	421.5	412.9	435.5	448.6	416.9	411.5	416.8	411.8	401.4	403.2	418.01	Operario 7	125	522.51	0.15	600.88
13	Fresado	102.2	137.1	151.1	106.6	92.85	114.4	110.8	95.5	182.7	149.7	124.29	Operario 2	125	155.36	0.16	180.21
14	Limado manual	171.4	148.8	154.6	183.6	187.9	197.8	155.7	189.7	137	195.2	172.18	Ayudante 1	75	129.13	0.12	144.63
15	Limado de vaivén	121.2	133.8	112.2	95.41	102.1	138.9	93.35	128.5	100.7	122.2	114.84	Ayudante 4	75	86.13	0.12	96.46
16	Ensamble de Matrices	81.52	85.23	77.21	81.25	77.2	81.89	82.74	96.32	82.99	87.35	83.37	Operario 4, Ayudante 3	100	83.37	0.16	96.71
17	Ensamble de Herramientas manuales	727.2	762.1	741.8	695.8	744.4	759.7	743.2	722	709.6	787.2	739.30	Operario 8, Ayudante 5	100	739.30	0.17	864.98
18	Pulido manual	231	180.6	250.8	149.2	205.7	241	176.5	200.4	256	234.8	212.60	Ayudante 9	75	159.45	0.13	180.18

ESTUDIO DE TIEMPOS SIERRA DE CINTA																	
Fecha: 10/04/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)														Precisión +- 50 ms/día	
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10														Cronometraje con Regreso a cero	
No .	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño C	Tiempo Normal TN	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
19	Pulido con esmeril	51.38	70.68	62.74	77.2	81.93	60.09	82.59	78.98	81.43	68.06	71.51	Ayudante 1	75	53.63	0.13	60.60
20	Pintado con compresor	15.05	10.59	19.03	18.62	9.92	11.79	16.22	11.68	11.96	16.91	14.18	Operario 1	75	10.63	0.15	12.23
21	Pintado con pistola de pintura	137.7	89.15	94.63	123.4	145.7	142.4	133.9	135.6	107.4	143.9	125.38	Operario 5	75	94.03	0.15	108.14
22	Pruebas de funcionamiento	50.89	49.12	49.87	51.22	48.79	52.74	49.81	52.56	51.36	57.77	51.41	Ayudante 9	100	51.41	0.17	60.15
Tiempo de ciclo		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4110.28	-	-	4099.48	-	4691.51

ESTUDIO DE TIEMPOS TUPY																	
Fecha: 17/04/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)														Precisión +- 50 ms/día	
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10														Cronometraje con Regreso a cero	
No .	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificaci ón del desempeñ o C	Tiempo Normal TN	Suplem entos	Tiempo Estándar Ts
1	Trazado	579.3	584.7	560.1	610.3	592.1	584.3	593.5	607.6	556.9	603	<b>587.18</b>	Operario 2	75	<b>440.38</b>	0.09	<b>480.02</b>
3	Corte con sierra de banco	235.6	225.4	224.9	213.6	225	215.2	225.7	214.3	235.5	215.3	<b>223.05</b>	Ayudant e 2	100	<b>223.05</b>	0.08	<b>240.90</b>
4	Corte de plasma manual	230	201.1	215	218	210.3	200.9	221	214.3	218.5	200.5	<b>212.96</b>	Ayudant e 7	100	<b>212.96</b>	0.13	<b>240.65</b>
5	Enderezado mediante una prensa hidráulica	92.05	79.07	81.88	89.64	82.17	70.86	98.51	88.13	85.25	77.13	<b>84.47</b>	Operario 1	125	<b>105.59</b>	0.14	<b>120.37</b>
6	Doblado	225.2	213.7	194	218.7	199.8	202.8	213.4	197.6	215.5	206.9	<b>208.77</b>	Operario 3	100	<b>208.77</b>	0.15	<b>240.08</b>
7	Forjado mediante una fragua	201.7	229.5	214.7	197	232.5	189.3	201.3	243.8	185	237.6	<b>213.23</b>	Ayudant e 8	100	<b>213.23</b>	0.13	<b>240.95</b>
8	Soldado SMAW	29.54	31.98	32.92	38.6	27.1	41.11	42.23	34.08	25.86	36.67	<b>34.01</b>	Operario 4, Ayudant e 3	125	<b>42.51</b>	0.15	<b>48.89</b>
9	Soldado MIG	353.7	365.3	340.9	354.6	269.2	248.2	287.5	239.2	261	290.2	<b>300.98</b>	Operario 5	125	<b>376.22</b>	0.15	<b>432.65</b>
10	Taladrado manual	154.3	159.5	156.8	159.7	160	162	146.8	160.1	149.4	152.6	<b>156.12</b>	Operario 6	100	<b>156.12</b>	0.16	<b>181.10</b>



ESTUDIO DE TIEMPOS TUPY																	
Fecha: 17/04/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)														Precisión +- 50 ms/día	
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10														Cronometraje con Regreso a cero	
No .	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño C	Tiempo Normal TN	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
11	Taladrado de pedestal	145.5	161.5	144.7	162	150.9	146.5	150	147.4	156.5	157.6	152.26	Ayudante 10	100	152.26	0.15	175.10
12	Torneado	446.4	460.4	449.6	371.7	390	443.9	422.8	351.9	423.6	416.7	417.69	Operario 2	125	522.11	0.15	600.43
13	Fresado	209.7	208.2	215.1	205.5	205.3	209.9	204.4	204.7	197.7	204.9	206.54	Operario 7	125	258.17	0.16	299.48
14	Limado manual	52.33	51.98	60.21	48.75	59.16	52.21	56.62	69.09	62.49	58.8	57.16	Operario 2	75	42.87	0.12	48.02
15	Limado de vaivén	99.81	82.72	84.22	80.6	79.85	92.78	89.28	73.61	93.55	83.71	86.01	Ayudante 1	75	64.51	0.12	72.25
16	Ensamble de Matrices	97.17	100.3	103.8	104.8	100.2	96.44	105.8	105.7	105.4	96.97	101.65	Ayudante 4	100	101.65	0.16	117.91
17	Ensamble de Herramientas manuales	306	310.9	280.4	316	348.5	300.8	321.4	314.2	278.3	301	307.74	Operario 4, Ayudante 3	100	307.74	0.17	360.05
18	Pulido manual	155.7	222.7	194.4	215.2	180.2	221.7	189.3	198	182.4	228.8	198.85	Operario 9, Ayudante 6	75	149.13	0.13	168.52
19	Pulido con esmeril	81.85	76.87	87.63	83.08	82.91	83.03	89.68	85.04	92.7	95.06	85.79	Ayudante 9	75	64.34	0.13	72.70

ESTUDIO DE TIEMPOS TUPY																	
Fecha: 17/04/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)														Precisión +- 50 ms/día	
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10														Cronometraje con Regreso a cero	
No .	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificaci ón del desempeñ o C	Tiempo Normal TN	Suplem entos	Tiempo Estándar Ts
20	Pintado con compresor	14.05	13.75	14.05	13.68	13.25	15.74	14.13	13.05	14.03	13.85	<b>13.96</b>	Ayudante 1	75	<b>10.47</b>	0.15	<b>12.04</b>
21	Pintado con pistola de pintura	125.9	120.2	131.1	132.4	125.3	121.5	131.6	124.1	113.2	130.6	<b>125.59</b>	Operario 1	75	<b>94.19</b>	0.15	<b>108.32</b>
22	Pruebas de funcionamiento	53.19	50.38	52.75	51.96	49.54	50.22	51.45	53.94	53.39	53.79	<b>52.06</b>	Operario 5	100	<b>52.06</b>	0.17	<b>60.91</b>
	<b>Tiempo de ciclo</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>3826.05</b>	-	-	<b>3798.34</b>	-	<b>4321.34</b>

ESTUDIO DE TIEMPOS CEPILLO MACHIMBRE																	
Fecha: 24/04/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)														Precisión +- 50 ms/día	
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10														Cronometraje con Regreso a cero	
No .	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificaci ón del desempeño o C	Tiempo Normal TN	Supleme ntos	Tiempo Estándar Ts
1	Trazado	1088	1007	1053	1148	1268	1248	1363	1362	1259	959.4	<b>1175.48</b>	Operario 2	75	<b>881.61</b>	0.09	<b>960.95</b>
2	Corte con sierra de mano	85.44	84.89	85.4	86.34	84.62	85.34	85.58	85.22	85.12	86.25	<b>85.42</b>	Ayudante 2	100	<b>85.42</b>	0.13	<b>96.52</b>
3	Corte con sierra de banco	352.7	364.5	353.5	373.4	365.1	345	365.1	344.1	355.2	344.4	<b>356.31</b>	Ayudante 7	100	<b>356.31</b>	0.08	<b>384.81</b>
4	Corte de plasma manual	415.8	424.1	404.8	418.8	411.3	427.9	410.4	442.9	400.1	499.6	<b>425.58</b>	Operario 1	100	<b>425.58</b>	0.13	<b>480.91</b>
5	Enderezado mediante una prensa hidráulica	175	180	150.1	178.9	157.8	138.8	168.2	159.6	175.8	200.5	<b>168.47</b>	Operario 3	125	<b>210.59</b>	0.14	<b>240.07</b>
6	Doblado	863.8	794.4	871.8	795.4	888.7	868.8	854.9	790.2	838.9	785.2	<b>835.20</b>	Ayudante 8	100	<b>835.20</b>	0.15	<b>960.48</b>
7	Forjado mediante una fragua	890.1	852.4	842.6	810.9	824.3	821	841.7	936.3	845.3	833.1	<b>849.77</b>	Operario 4, Ayudante 3	100	<b>849.77</b>	0.13	<b>960.23</b>
8	Soldado SMAW	288	224.2	219.5	221	255.9	237.4	228.2	238.5	220	208.9	<b>234.14</b>	Operario 5	125	<b>292.68</b>	0.15	<b>336.58</b>
9	Soldado MIG	448.8	463.1	441	400.1	405.6	436.3	408.4	412.9	471	458.1	<b>434.54</b>	Operario 6	125	<b>543.18</b>	0.15	<b>624.66</b>

ESTUDIO DE TIEMPOS CEPILLO MACHIMBRE																	
Fecha: 24/04/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)														Precisión +- 50 ms/día	
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10														Cronometraje con Regreso a cero	
No.	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificaci ón del desempeñ o C	Tiempo Normal TN	Supleme ntos	Tiempo Estándar Ts
10	Taladrado manual	394.4	380.5	387.6	359.7	365.3	387.5	351.3	367.1	356.3	379.2	<b>372.89</b>	Ayudante 10	100	<b>372.89</b>	0.16	<b>432.55</b>
11	Taladrado de pedestal	442.9	473.7	455.8	452.5	469.3	426.9	464.4	465.4	487.1	456.6	<b>459.46</b>	Operario 2	100	<b>459.46</b>	0.15	<b>528.38</b>
12	Torneado	2229	1838	2212	2414	1930	2229	1807	2251	1802	2164	<b>2087.59</b>	Operario 7	125	<b>2609.49</b>	0.15	<b>3000.92</b>
13	Fresado	339.1	341.1	306.5	360.9	303.2	368.4	331.7	327.3	323.2	315.9	<b>331.72</b>	Operario 2	125	<b>414.65</b>	0.16	<b>480.99</b>
14	Limado manual	310.3	297.9	295.7	284.2	271.6	310.5	284.9	268.3	271.7	270.1	<b>286.51</b>	Ayudante 1	75	<b>214.88</b>	0.12	<b>240.67</b>
15	Limado de vaivén	416.5	420.9	472.6	422.4	451.3	451.4	405.9	406.5	413.8	432.3	<b>429.37</b>	Ayudante 4	75	<b>322.02</b>	0.12	<b>360.67</b>
16	Ensamble de Matrices	910.9	892	850.2	900.1	865.7	850.2	819.6	874.6	881	849.2	<b>869.35</b>	Operario 4, Ayudante 3	100	<b>869.35</b>	0.16	<b>1008.44</b>
17	Ensamble de Herramientas manuales	1588	1593	1584	1657	1656	1505	1587	1665	1593	1576	<b>1600.38</b>	Operario 8, Ayudante 5	100	<b>1600.38</b>	0.17	<b>1872.44</b>
18	Cepillado con cepillo de puente	513	531.2	538.6	540.5	553.6	556	514.4	523.3	493.7	501	<b>526.51</b>	Operario 9,	100	<b>526.51</b>	0.14	<b>600.22</b>

ESTUDIO DE TIEMPOS CEPILLO MACHIMBRE																	
Fecha: 24/04/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)													Precisión +- 50 ms/día		
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10													Cronometraje con Regreso a cero		
No.	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificaci ón del desempeño o C	Tiempo Normal TN	Supleme ntos	Tiempo Estándar Ts
													Ayudante 6				
19	Pulido manual	553.1	563.5	566.4	549.4	578.2	566	577.1	585	569.9	555.5	566.41	Ayudante 9	75	424.80	0.13	480.03
20	Pulido con esmeril	124.2	139.9	146.1	158.8	137	134.2	158.6	145.8	129.8	144.3	141.87	Ayudante 1	75	106.40	0.13	120.24
21	Pintado con compresor	127.3	110.7	108.5	124.8	105.8	113.8	120.2	103.8	104.2	100.2	111.94	Operario 1	75	83.96	0.15	96.55
22	Pintado con pistola de pintura	442.2	456.2	435	447.6	462.7	429	446.4	455.3	434.5	451.5	446.04	Operario 5	75	334.53	0.15	384.71
23	Pruebas de funcionamiento	222.7	211.3	223.9	193.8	195.7	199.8	195.1	198	212	205.2	205.74	Ayudante 9	100	205.74	0.17	240.72
	Tiempo de ciclo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13000.67	-	-	13025.38	-	14892.72

ESTUDIO DE TIEMPOS AFILADORA DE CUCHILLAS																	
Fecha: 30/04/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)														Precisión +- 50 ms/día	
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10														Cronometraje con Regreso a cero	
No .	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño C	Tiempo Normal TN	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
1	Trazado	1246	1039	1328	1321	1231	952	1112	1235	1132	1155	1175.22	Operario 2	75	881.41	0.09	960.74
2	Corte con sierra de mano	42.32	43.1	42.3	42.7	42.45	42.36	42.35	42.38	43.02	42.3	42.53	Ayudante 2	100	42.53	0.13	48.06
3	Corte con sierra de banco	172.1	192.5	171.8	181.7	172.4	182.5	172.7	170.9	191.7	172.5	178.08	Ayudante 7	100	178.08	0.08	192.33
4	Corte de plasma manual	207.8	213	212.3	208	200.3	223.9	205.7	202.8	238.1	217.7	212.95	Operario 1	100	212.95	0.13	240.64
5	Enderezado mediante una prensa hidráulica	155.8	167.2	196.3	189.2	174.8	182	159.5	165.6	146.9	147	168.44	Operario 3	125	210.55	0.14	240.02
6	Doblado	401.5	421.8	417	427.7	406.6	413.5	426.8	414.4	436.9	415.7	418.18	Ayudante 8	100	418.18	0.15	480.91
7	Soldado SMAW	30.31	38.46	30.28	39.55	32.29	30.44	31.09	32.05	32.99	39.38	33.68	Operario 5	125	42.11	0.15	48.42
8	Soldado MIG	299	300.6	311.8	310.7	329.6	270.4	300.8	284.6	316.5	287.1	301.09	Operario 6	125	376.37	0.15	432.82
9	Taladrado manual	81.21	78.94	80.92	82.36	81.93	83.53	85.11	77.26	83.75	81.47	81.65	Ayudante 10	100	81.65	0.16	94.71

ESTUDIO DE TIEMPOS AFILADORA DE CUCHILLAS																	
Fecha: 30/04/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)														Precisión +- 50 ms/día	
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10														Cronometraje con Regreso a cero	
No .	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño C	Tiempo Normal TN	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
10	Taladrado de pedestal	116	121.2	128.1	125	123.9	127.7	123.7	126.2	127.6	127.2	<b>124.66</b>	Operario 2	100	<b>124.66</b>	0.15	<b>143.36</b>
11	Torneado	1218	1215	1241	1253	1215	1264	1267	1282	1285	1286	<b>1252.77</b>	Operario 7	125	<b>1565.96</b>	0.15	<b>1800.85</b>
12	Fresado	425.4	387.5	424.4	387.9	418.4	421.2	398	430.5	408.5	370.9	<b>407.27</b>	Operario 2	125	<b>509.09</b>	0.16	<b>590.54</b>
13	Limado manual	103.7	113.6	129.9	112	110.9	130.1	123.1	101	108.4	114.2	<b>114.70</b>	Ayudante 1	75	<b>86.02</b>	0.12	<b>96.34</b>
14	Limado de vaivén	193.5	159.9	177	181.5	161.3	166.2	181.9	156.3	177.8	163.6	<b>171.90</b>	Ayudante 4	75	<b>128.92</b>	0.12	<b>144.39</b>
15	Ensamble de Matrices	41.78	41.25	43.14	42.29	41.91	42.39	40.32	42.73	38.58	38.47	<b>41.29</b>	Operario 4, Ayudante 3	100	<b>41.29</b>	0.16	<b>47.89</b>
16	Ensamble de Herramientas manuales	360.2	349.4	364.2	378.6	375.2	391.5	360.1	371.7	382	361.8	<b>369.45</b>	Operario 8, Ayudante 5	100	<b>369.45</b>	0.17	<b>432.26</b>
17	Pulido manual	138.2	128.9	119.2	133.1	122.5	136.6	120.3	135.9	119.5	123.1	<b>127.73</b>	Ayudante 9	75	<b>95.80</b>	0.13	<b>108.25</b>
18	Pulido con esmeril	81.24	83.01	87.61	82.4	82.76	87.8	89.64	85.75	87.32	83.16	<b>85.07</b>	Ayudante 1	75	<b>63.80</b>	0.13	<b>72.10</b>

ESTUDIO DE TIEMPOS AFILADORA DE CUCHILLAS																	
Fecha: 30/04/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)														Precisión +- 50 ms/día	
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10														Cronometraje con Regreso a cero	
No.	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño C	Tiempo Normal TN	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
19	Pintado con compresor	7.08	7.23	7.01	7.25	7	7.36	7.89	7.86	7.35	7.83	<b>7.39</b>	Operario 1	75	<b>5.54</b>	0.15	<b>6.37</b>
20	Pintado con pistola de pintura	63.99	60.55	66.82	65.2	63.87	58.12	62.34	60.65	64.09	65.6	<b>63.12</b>	Operario 5	75	<b>47.34</b>	0.15	<b>54.44</b>
21	Pruebas de funcionamiento	99.99	102.5	104.3	99.37	107.4	97.51	96.01	114.3	98.98	113.3	<b>103.37</b>	Ayudante 9	100	<b>103.37</b>	0.17	<b>120.95</b>
	<b>Tiempo de ciclo</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>5480.53</b>	-	-	<b>5585.06</b>	-	<b>6356.39</b>



**Anexo C.** Estudio de tiempos de los procesos operativos para la elaboración de las máquinas en Maquinarias Espín, situación propuesta.

<b>ESTUDIO DE TIEMPOS SIERRA CIRCULAR</b>																	
Fecha: 03/05/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)													Precisión +- 50 ms/día		
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10													Cronometraje con Regreso a cero		
No.	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño C	Tiempo Normal Tn	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
1	Diseño	156.5	140	159.6	147.2	120.6	144.8	162.9	150	127.5	162.8	<b>147.20</b>	Operario 2	75	<b>110.40</b>	0.09	<b>120.34</b>
2	Corte con cortadora de plasma CNC	80.25	79.52	79.14	80.16	79.14	79.75	80.59	79.42	79.53	80.01	<b>79.75</b>	Operario 1, Ayudante 1	100	<b>79.75</b>	0.13	<b>90.12</b>
3	Corte con sierra de banco	214.8	215.5	215.9	254.7	211.4	234.1	210.4	235.1	205.3	225.3	<b>222.24</b>	Operario 4	100	<b>222.24</b>	0.08	<b>240.02</b>
4	Corte con cortadora de plasma CNC	100.6	105.3	98.51	112.3	109	108.2	101	105.4	118.1	104.3	<b>106.27</b>	Operario 4	100	<b>106.27</b>	0.13	<b>120.08</b>
5	Enderezado mediante una prensa hidráulica	198	188.4	211.5	193.9	198.3	149.8	113.5	145.5	102.5	197.5	<b>169.89</b>	Operario 3	125	<b>212.37</b>	0.14	<b>242.10</b>
6	Doblado	105.6	104.6	102.4	99.97	100.3	101.9	107.1	120.3	117.5	100.5	<b>106.03</b>	Operario 1, Ayudante 1	100	<b>106.03</b>	0.15	<b>121.93</b>
7	Forjado mediante una fragua	151.9	114.8	165	135.1	171	175.9	169.8	148.4	185.4	180.5	<b>159.77</b>	Ayudante 5	100	<b>159.77</b>	0.13	<b>180.54</b>
8	Soldado SMAW	77.08	80.83	83.08	79.62	87.5	89.75	82.03	84.67	91.85	81.27	<b>83.77</b>	Ayudante 3	125	<b>104.71</b>	0.15	<b>120.42</b>

ESTUDIO DE TIEMPOS SIERRA CIRCULAR																	
Fecha: 03/05/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)												Precisión +- 50 ms/día			
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10												Cronometraje con Regreso a cero			
No.	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño o C	Tiempo Normal T	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
9	Soldado MIG	316.4	327.1	305.5	325.6	321.6	324.2	387.5	323.3	380.1	328.9	334.00	Operario 5, Ayudante 6	125	417.49	0.15	480.12
10	Taladrado manual	123.5	119.6	121.5	117.6	125.9	126	133.1	120	137.5	122.8	124.75	Operario 1, Ayudante 1	100	124.75	0.16	144.71
11	Taladrado de pedestal	300.8	294.6	289.9	292.1	290.8	298.3	295.7	288.3	280	291.8	292.24	Operario 5, Ayudante 6	100	292.24	0.15	336.08
12	Torneado	651.8	647.2	693.1	618.5	576	725.8	710.6	710.5	650.6	700.4	668.45	Operario 6	125	835.56	0.15	960.90
13	Limado manual	129.7	133.1	143.1	147.8	142.4	122.5	141.7	150.8	165.5	163.8	144.04	Ayudante 5	75	108.03	0.12	121.00
14	Limado de vaivén	269.2	254.1	199.8	263.7	220.7	228.7	108.9	229.6	195.3	176.4	214.64	Operario 7, Ayudante 4	75	160.98	0.12	180.30
15	Ensamble de Herramientas manuales	805.7	830.3	773.3	760.5	806.3	787.5	881.7	866	856.5	845	821.28	Operario 7, Ayudante 4	100	821.28	0.17	960.90

ESTUDIO DE TIEMPOS SIERRA CIRCULAR																	
Fecha: 03/05/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)												Precisión +- 50 ms/día			
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10												Cronometraje con Regreso a cero			
No.	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño o C	Tiempo Normal T	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
16	Cepillado con cepillo de puente	414.7	436.8	411	434	441.2	417.2	423.9	405.4	419	415.9	421.90	Operario 5, Ayudante 6	100	421.90	0.14	480.97
17	Pulido manual	142.4	126.4	145.6	138.6	151	147	139	142.4	110.7	179.7	142.29	Operario 6	75	106.71	0.13	120.59
18	Pulido con esmeril	122.6	141.1	149.7	133.5	150	139.5	151.4	151.8	134	147.2	142.07	Ayudante 7	75	106.55	0.13	120.40
19	Pintado con compresor	34.02	31.31	36.58	30.82	40.11	31.5	36.45	32.72	38.63	37.82	35.00	Operario 2	75	26.25	0.15	30.18
20	Pintado con pistola de pintura	34.69	34.12	36.68	36.14	34.52	35.36	34.58	35.51	34.33	35.22	35.12	Ayudante 2	75	26.34	0.15	30.29
21	Pruebas de funcionamiento	49.83	49.92	49.45	50.92	49.24	50.65	51.8	52.77	56.06	54.02	51.47	Ayudante 2	100	51.47	0.17	60.22
Tiempo de ciclo		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4502.15	-	-	4601.09	-	5262.18

ESTUDIO DE TIEMPOS CEPILLADORA DE 45 CM																	
Fecha: 08/05/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)													Precisión +- 50 ms/día		
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10													Cronometraje con Regreso a cero		
No.	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño C	Tiempo Normal Tn	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
1	Diseño	281.7	287.4	291.9	294.9	305	294.2	289.6	292.3	299.8	297.5	293.44	Operario 2	75	220.08	0.09	239.89
2	Corte con cortadora de plasma CNC	16.91	17.36	18.2	20.42	18.9	17.13	18.46	16.54	18.22	17.28	17.94	Operario 1, Ayudante 1	100	17.94	0.13	20.27
3	Corte con sierra de banco	98.09	100.1	95.44	104.3	102.1	90.75	102.5	99.59	108.6	100.9	100.23	Operario 4	100	100.23	0.08	108.25
4	Corte con cortadora de plasma CNC	41.37	40.16	41.95	40.77	41.9	38.19	41.58	38.28	37.81	39.49	40.15	Operario 4	100	40.15	0.13	45.37
5	Enderezado mediante una prensa hidráulica	79.78	95.21	73.93	76.55	98.07	80.61	71.35	97.17	82.63	92.04	84.73	Operario 3	125	105.92	0.14	120.75
6	Doblado	97.38	124.2	90.65	95.33	98.28	92.7	114.8	110.2	123	98.59	104.51	Operario 1, Ayudante 1	100	104.51	0.15	120.19
7	Forjado mediante una fragua	452.8	413.9	436.7	397.6	431.8	431.8	398.3	435.3	412.3	437.8	424.82	Ayudante 5	100	424.82	0.13	480.05
8	Soldado SMAW	30.62	34.07	33.29	31.65	39.3	31.23	35.81	37.32	31.09	30.81	33.52	Ayudante 3	125	41.90	0.15	48.18
9	Soldado MIG	151	125.1	148.6	156.6	112.8	160.7	99.81	100.5	158.3	125.8	133.93	Operario 5,	125	167.42	0.15	192.53

ESTUDIO DE TIEMPOS CEPILLADORA DE 45 CM																	
Fecha: 08/05/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)													Precisión +- 50 ms/día		
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10													Cronometraje con Regreso a cero		
No.	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño C	Tiempo Normal TN	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
													Ayudante 6				
10	Taladrado manual	114.1	153.2	110.2	145.6	129.9	111.5	120.9	143.4	109.6	107.2	124.54	Operario 1, Ayudante 1	100	124.54	0.16	144.46
11	Taladrado de pedestal	295.2	283.3	281.6	295.9	300.8	291.2	288.3	295.8	300.3	297	292.94	Operario 5, Ayudante 6	100	292.94	0.15	336.88
12	Torneado	451.4	470.7	369.6	391.5	453.1	388	380.5	437.1	412	420.5	417.44	Operario 6	125	521.80	0.15	600.07
13	Fresado	324.6	312.4	316.2	317.7	399.4	300.4	310.2	328.3	343.3	358.2	331.08	Operario 5, Ayudante 6	125	413.85	0.16	480.07
14	Limado manual	60.4	54.95	59.06	55.91	59.94	56.22	55.97	58.92	57.06	60.53	57.90	Ayudante 5	75	43.42	0.12	48.63
15	Limado de vaivén	234.2	250.2	245.4	253.3	261.2	246.5	204.8	200.5	191	206.1	229.31	Operario 7, Ayudante 4	75	171.98	0.12	192.62
16	Ensamble de Matrices	212.8	207.9	207.8	210.5	209	206.3	204.5	205.2	200.5	210.3	207.47	Operario 4	100	207.47	0.16	240.67

ESTUDIO DE TIEMPOS CEPILLADORA DE 45 CM																	
Fecha: 08/05/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)													Precisión +- 50 ms/día		
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10													Cronometraje con Regreso a cero		
No.	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño C	Tiempo Normal TN	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
17	Ensamble de Herramientas manuales	621.7	600.9	625.3	606	628	614.4	613.1	617.4	624	608.3	615.90	Operario 7, Ayudante 4	100	615.90	0.17	720.61
18	Cepillado con cepillo de puente	100.7	106	105.4	98.82	125.2	95.22	110.3	100.6	105.7	109	105.69	Operario 5, Ayudante 6	100	105.69	0.14	120.49
19	Pulido manual	121.9	109.1	100.2	110.7	109.7	89.77	95.93	106.2	123.1	98.88	106.53	Operario 6	75	79.90	0.13	90.29
20	Pulido con esmeril	264.3	281.4	285.3	245.4	215.1	246.7	276.5	220.7	239.3	209.2	248.40	Ayudante 7	75	186.30	0.13	210.51
21	Pintado con compresor	24.74	31.56	26.12	32.13	25.86	34.38	29.57	28.88	22.72	22.65	27.86	Operario 2	75	20.90	0.15	24.03
22	Pintado con pistola de pintura	295.9	230.1	215.7	258.1	241.3	221	285.9	244.3	268.1	251.2	251.15	Ayudante 2	75	188.36	0.15	216.62
23	Pruebas de funcionamiento	55.01	51.98	54.28	52.36	49.9	50.06	53.83	51.06	50.93	51.61	52.10	Ayudante 2	100	52.10	0.17	60.96
Tiempo de ciclo		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4301.59	-	-	4248.12	-	4862.37

ESTUDIO DE TIEMPOS CANTEADORA																	
Fecha: 15/05/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)														Precisión +- 50 ms/día	
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10														Cronometraje con Regreso a cero	
No.	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño C	Tiempo Normal TN	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
1	Diseño	52.85	53.83	88.26	53.83	68.74	82.65	97.82	92.91	77.87	68.24	<b>73.70</b>	Operario 2	75	<b>55.28</b>	0.09	<b>60.25</b>
2	Corte con cortadora de plasma CNC	13.41	13.39	13.25	13.18	13.39	13.24	13.14	13.28	13.31	13.41	<b>13.30</b>	Operario 1, Ayudante 1	100	<b>13.30</b>	0.13	<b>15.03</b>
3	Corte con sierra de banco	42.89	43.08	52.8	49.94	42.94	40.96	43.11	51.14	42.74	40.11	<b>44.97</b>	Operario 4	100	<b>44.97</b>	0.08	<b>48.57</b>
4	Corte con cortadora de plasma CNC	61.13	98.87	103.7	78.18	87.51	71.18	105.9	85.49	94.45	99.99	<b>88.65</b>	Operario 4	100	<b>88.65</b>	0.13	<b>100.17</b>
5	Enderezado mediante una prensa hidráulica	178	156.8	198.5	192.5	125.5	200.9	147.3	133	155.9	200.2	<b>168.87</b>	Operario 3	125	<b>211.08</b>	0.14	<b>240.63</b>
6	Doblado	106.6	136.8	99.47	102.8	102.7	99.58	103.1	96.89	98.99	97.88	<b>104.48</b>	Operario 1, Ayudante 1	100	<b>104.48</b>	0.15	<b>120.15</b>
7	Forjado mediante una fragua	215.1	211.9	228.1	210.7	209.1	213.9	209.4	218.6	211.5	202.5	<b>213.06</b>	Ayudante 5	100	<b>213.06</b>	0.13	<b>240.76</b>
8	Soldado SMAW	44.49	60.97	52.86	53.95	58.93	37.9	50.32	48.8	58.48	39.98	<b>50.67</b>	Ayudante 3	125	<b>63.34</b>	0.15	<b>72.84</b>

ESTUDIO DE TIEMPOS CANTEADORA																	
Fecha: 15/05/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)														Precisión +- 50 ms/día	
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10														Cronometraje con Regreso a cero	
No.	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño C	Tiempo Normal TN	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
9	Soldado MIG	148.1	92.32	100.2	149	116	91.62	106.9	148.2	145.6	74.04	117.20	Operario 5, Ayudante 6	125	146.50	0.15	168.47
10	Taladrado manual	79.28	72.87	78.45	81.57	78.94	75.03	78.69	80.23	75.74	77.12	77.79	Operario 1, Ayudante 1	100	77.79	0.16	90.24
11	Taladrado de pedestal	179.1	184.1	173.9	187.9	201.8	185.9	156.9	174.9	215.7	169	182.91	Operario 5, Ayudante 6	100	182.91	0.15	210.34
12	Torneado	382.1	433.9	436.3	420.8	413.1	427.8	419.9	380.7	441	423.9	417.94	Operario 6	125	522.43	0.15	600.79
13	Fresado	204.9	104.8	121.5	101	145.8	215.9	121.2	206.4	185.7	253.5	166.06	Operario 5, Ayudante 6	125	207.57	0.16	240.78
14	Limado manual	30.16	49.87	45.88	32.36	52	41.11	50.11	38.46	45.39	49.15	43.45	Ayudante 5	75	32.59	0.12	36.50
15	Limado de vaivén	160.4	169.1	155.3	178.5	159.8	200.4	174.9	169	199.4	158.9	172.58	Operario 7, Ayudante 4	75	129.43	0.12	144.97



ESTUDIO DE TIEMPOS CANTEADORA																	
Fecha: 15/05/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)														Precisión +- 50 ms/día	
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10														Cronometraje con Regreso a cero	
No.	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño C	Tiempo Normal TN	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
16	Ensamble de Matrices	52.73	48.67	53.85	52.53	52.34	48.82	52.56	51.27	52.35	52.01	51.71	Operario 4	100	51.71	0.16	59.99
17	Ensamble de Herramientas manuales	4546	4488	4550	4685	4633	4419	4535	4723	4607	4843	4602.87	Operario 7, Ayudante 4	100	4602.87	0.17	5385.36
18	Cepillado con cepillo de puente	297.1	319.5	306.7	337.2	325.1	291.5	293.6	310.9	367	313.9	316.24	Operario 5, Ayudante 6	100	316.24	0.14	360.52
19	Pulido manual	51.26	92.29	50.41	97.34	81.44	70.01	59.84	61.75	89.34	59.7	71.34	Operario 6	75	53.50	0.13	60.46
20	Pulido con esmeril	81.13	71.14	69.03	88.78	68.61	52.62	54	75.61	60.72	89.52	71.12	Ayudante 7	75	53.34	0.13	60.27
21	Pintado con compresor	10.3	26.53	21.24	15.74	10.7	18.59	10.17	9.78	10.58	15.87	14.95	Operario 2	75	11.21	0.15	12.89
22	Pintado con pistola de pintura	86.41	95.55	136.5	105.9	147.5	135.4	152.9	127	140.4	129.3	125.68	Ayudante 2	75	94.26	0.15	108.40
23	Pruebas de funcionamiento	96.51	107.8	97.6	102	101.8	100.1	101.9	102.8	114	104.7	102.91	Ayudante 2	100	102.91	0.17	120.40
Tiempo de ciclo		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7292.44	-	-	7379.42	-	8558.78

ESTUDIO DE TIEMPOS SIERRA DE CINTA																	
Fecha: 22/05/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)														Precisión +- 50 ms/día	
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10														Cronometraje con Regreso a cero	
No.	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño C	Tiempo Normal TN	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
1	Diseño	211.4	226.1	198.5	236.2	209.6	182.7	242.4	234.1	218.2	243.7	<b>220.28</b>	Operario 2	75	<b>165.21</b>	0.09	<b>180.08</b>
2	Corte con cortadora de plasma CNC	106.2	106.1	105.6	107	106.5	105.5	107.5	106.9	103.1	107.4	<b>106.18</b>	Operario 1, Ayudante 1	100	<b>106.18</b>	0.13	<b>119.98</b>
3	Corte con sierra de banco	85.52	85.82	106.4	85.8	76.2	96.27	85.97	85.84	95.65	85.51	<b>88.89</b>	Operario 4	100	<b>88.89</b>	0.08	<b>96.00</b>
4	Corte con cortadora de plasma CNC	47.33	39.43	45.28	30.03	34.44	42.92	35.51	44.83	33.76	48.94	<b>40.25</b>	Operario 4	100	<b>40.25</b>	0.13	<b>45.48</b>
5	Enderezado mediante una prensa hidráulica	80.21	107.6	88.42	81.19	73.35	87.94	81.64	70.86	100.2	75.83	<b>84.73</b>	Operario 3	125	<b>105.91</b>	0.14	<b>120.74</b>
6	Doblado	416.7	393.8	425	405.7	445.8	392.2	403.9	407.1	432.1	456.2	<b>417.84</b>	Operario 1, Ayudante 1	100	<b>417.84</b>	0.15	<b>480.52</b>
7	Forjado mediante una fragua	198.8	209.5	200.6	241.3	180.8	207.1	237.1	247	230.8	175.6	<b>212.83</b>	Ayudante 5	100	<b>212.83</b>	0.13	<b>240.50</b>

ESTUDIO DE TIEMPOS SIERRA DE CINTA																	
Fecha: 22/05/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)														Precisión +- 50 ms/día	
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10														Cronometraje con Regreso a cero	
No.	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño C	Tiempo Normal TN	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
8	Soldado SMAW	35.77	31.99	40.18	29.32	30.53	32.98	31.73	43.42	28.26	35.89	34.01	Ayudante 3	125	42.51	0.15	48.89
9	Soldado MIG	319.1	330.6	315.4	284.4	266.8	305.6	300	290.4	281.1	316	300.94	Operario 5, Ayudante 6	125	376.17	0.15	432.60
10	Taladrado manual	119.2	129.2	119.4	115.9	121.9	124.5	117.9	158.4	124.5	116.8	124.77	Operario 1, Ayudante 1	100	124.77	0.16	144.73
11	Taladrado de pedestal	77.59	80.58	78.39	81.55	85.59	99.92	81.77	79.7	89.09	80.88	83.51	Operario 5, Ayudante 6	100	83.51	0.15	96.03
12	Torneado	421.5	412.9	435.5	448.6	416.9	411.5	416.8	411.8	401.4	403.2	418.01	Operario 6	125	522.51	0.15	600.88
13	Fresado	102.2	137.1	151.1	106.6	92.85	114.4	110.8	95.5	182.7	149.7	124.29	Operario 5, Ayudante 6	125	155.36	0.16	180.21
14	Limado manual	171.4	148.8	154.6	183.6	187.9	197.8	155.7	189.7	137	195.2	172.18	Ayudante 5	75	129.13	0.12	144.63
15	Limado de vaivén	121.2	133.8	112.2	95.41	102.1	138.9	93.35	128.5	100.7	122.2	114.84	Operario 7,	75	86.13	0.12	96.46

ESTUDIO DE TIEMPOS SIERRA DE CINTA																	
Fecha: 22/05/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)														Precisión +- 50 ms/día	
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10														Cronometraje con Regreso a cero	
No.	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño C	Tiempo Normal TN	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
													Ayudante 4				
16	Ensamble de Matrices	81.52	85.23	77.21	81.25	77.2	81.89	82.74	96.32	82.99	87.35	83.37	Operario 4	100	83.37	0.16	96.71
17	Ensamble de Herramientas manuales	727.2	762.1	741.8	695.8	744.4	759.7	743.2	722	709.6	787.2	739.30	Operario 7, Ayudante 4	100	739.30	0.17	864.98
18	Pulido manual	231	180.6	250.8	149.2	205.7	241	176.5	200.4	256	234.8	212.60	Operario 6	75	159.45	0.13	180.18
19	Pulido con esmeril	51.38	70.68	62.74	77.2	81.93	60.09	82.59	78.98	81.43	68.06	71.51	Ayudante 7	75	53.63	0.13	60.60
20	Pintado con compresor	15.05	10.59	19.03	18.62	9.92	11.79	16.22	11.68	11.96	16.91	14.18	Operario 2	75	10.63	0.15	12.23
21	Pintado con pistola de pintura	137.7	89.15	94.63	123.4	145.7	142.4	133.9	135.6	107.4	143.9	125.38	Ayudante 2	75	94.03	0.15	108.14
22	Pruebas de funcionamiento	50.89	49.12	49.87	51.22	48.79	52.74	49.81	52.56	51.36	57.77	51.41	Ayudante 2	100	51.41	0.17	60.15
Tiempo de ciclo		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4110.28	-	-	4099.48	-	4691.51

ESTUDIO DE TIEMPOS TUPY																	
Fecha: 29/05/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)														Precisión +- 50 ms/día	
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10														Cronometraje con Regreso a cero	
No.	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño C	Tiempo Normal TN	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
1	Diseño	242.2	244.5	234.2	255.2	247.6	244.3	248.1	254	232.8	252.1	<b>245.49</b>	Operario 2	75	<b>184.12</b>	0.09	<b>200.69</b>
2	Corte con sierra de banco	235.6	225.4	224.9	213.6	225	215.2	225.7	214.3	235.5	215.3	<b>223.05</b>	Operario 4	100	<b>223.05</b>	0.08	<b>240.90</b>
3	Corte con cortadora de plasma CNC	77.35	67.65	72.32	73.33	70.72	67.58	74.33	72.06	73.5	67.44	<b>71.63</b>	Operario 4	100	<b>71.63</b>	0.13	<b>80.94</b>
4	Enderezado mediante una prensa hidráulica	92.05	79.07	81.88	89.64	82.17	70.86	98.51	88.13	85.25	77.13	<b>84.47</b>	Operario 3	125	<b>105.59</b>	0.14	<b>120.37</b>
5	Doblado	225.2	213.7	194	218.7	199.8	202.8	213.4	197.6	215.5	206.9	<b>208.77</b>	Operario 1, Ayudante 1	100	<b>208.77</b>	0.15	<b>240.08</b>
6	Forjado mediante una fragua	201.7	229.5	214.7	197	232.5	189.3	201.3	243.8	185	237.6	<b>213.23</b>	Ayudante 5	100	<b>213.23</b>	0.13	<b>240.95</b>
7	Soldado SMAW	29.54	31.98	32.92	38.6	27.1	41.11	42.23	34.08	25.86	36.67	<b>34.01</b>	Ayudante 3	125	<b>42.51</b>	0.15	<b>48.89</b>
8	Soldado MIG	353.7	365.3	340.9	354.6	269.2	248.2	287.5	239.2	261	290.2	<b>300.98</b>	Operario 5, Ayudante 6	125	<b>376.22</b>	0.15	<b>432.65</b>
9	Taladrado manual	154.3	159.5	156.8	159.7	160	162	146.8	160.1	149.4	152.6	<b>156.12</b>	Operario 1, Ayudante 1	100	<b>156.12</b>	0.16	<b>181.10</b>
10	Taladrado de pedestal	145.5	161.5	144.7	162	150.9	146.5	150	147.4	156.5	157.6	<b>152.26</b>	Operario 5, Ayudante 6	100	<b>152.26</b>	0.15	<b>175.10</b>

ESTUDIO DE TIEMPOS TUPY																	
Fecha: 29/05/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)														Precisión +- 50 ms/día	
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10														Cronometraje con Regreso a cero	
No.	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño C	Tiempo Normal TN	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
11	Torneado	446.4	460.4	449.6	371.7	390	443.9	422.8	351.9	423.6	416.7	<b>417.69</b>	Operario 6	125	<b>522.11</b>	0.15	<b>600.43</b>
12	Fresado	209.7	208.2	215.1	205.5	205.3	209.9	204.4	204.7	197.7	204.9	<b>206.54</b>	Operario 5, Ayudante 6	125	<b>258.17</b>	0.16	<b>299.48</b>
13	Limado manual	52.33	51.98	60.21	48.75	59.16	52.21	56.62	69.09	62.49	58.8	<b>57.16</b>	Ayudante 5	75	<b>42.87</b>	0.12	<b>48.02</b>
14	Limado de vaivén	99.81	82.72	84.22	80.6	79.85	92.78	89.28	73.61	93.55	83.71	<b>86.01</b>	Operario 7, Ayudante 4	75	<b>64.51</b>	0.12	<b>72.25</b>
15	Ensamble de Matrices	97.17	100.3	103.8	104.8	100.2	96.44	105.8	105.7	105.4	96.97	<b>101.65</b>	Operario 4	100	<b>101.65</b>	0.16	<b>117.91</b>
16	Ensamble de Herramientas manuales	306	310.9	280.4	316	348.5	300.8	321.4	314.2	278.3	301	<b>307.74</b>	Operario 7, Ayudante 4	100	<b>307.74</b>	0.17	<b>360.05</b>
17	Pulido manual	155.7	222.7	194.4	215.2	180.2	221.7	189.3	198	182.4	228.8	<b>198.85</b>	Operario 6	75	<b>149.13</b>	0.13	<b>168.52</b>
18	Pulido con esmeril	81.85	76.87	87.63	83.08	82.91	83.03	89.68	85.04	92.7	95.06	<b>85.79</b>	Ayudante 7	75	<b>64.34</b>	0.13	<b>72.70</b>
19	Pintado con compresor	14.05	13.75	14.05	13.68	13.25	15.74	14.13	13.05	14.03	13.85	<b>13.96</b>	Operario 2	75	<b>10.47</b>	0.15	<b>12.04</b>
20	Pintado con pistola de pintura	125.9	120.2	131.1	132.4	125.3	121.5	131.6	124.1	113.2	130.6	<b>125.59</b>	Ayudante 2	75	<b>94.19</b>	0.15	<b>108.32</b>

ESTUDIO DE TIEMPOS TUPY																	
Fecha: 29/05/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)														Precisión +/- 50 ms/día	
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10														Cronometraje con Regreso a cero	
No.	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño C	Tiempo Normal TN	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
21	Pruebas de funcionamiento	53.19	50.38	52.75	51.96	49.54	50.22	51.45	53.94	53.39	53.79	52.06	Ayudante 2	100	52.06	0.17	60.91
	Tiempo de ciclo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3343.03	-	-	3400.74	-	3882.3

ESTUDIO DE TIEMPOS CEPILLO MACHIMBRE																	
Fecha: 05/06/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)														Precisión +- 50 ms/día	
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10														Cronometraje con Regreso a cero	
No.	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Califica ción del desemp eño C	Tiempo Normal TN	Suple mentos	Tiempo Estándar Ts
1	Diseño	544.3	504	526.7	574.4	634.7	624.5	681.8	681.3	630.1	480.1	<b>588.18</b>	Operario 2	75	<b>441.14</b>	0.09	<b>480.84</b>
2	Corte con cortadora de plasma CNC	26.87	26.7	26.86	27.16	26.62	26.84	26.92	26.8	26.77	27.13	<b>26.87</b>	Operario 1, Ayudante 1	100	<b>26.87</b>	0.13	<b>30.36</b>
3	Corte con sierra de banco	352.7	364.5	353.5	373.4	365.1	345	365.1	344.1	355.2	344.4	<b>356.31</b>	Operario 4	100	<b>356.31</b>	0.08	<b>384.81</b>
4	Corte con cortadora de plasma CNC	207.7	211.8	202.1	209.2	205.4	213.7	205	221.2	199.8	249.5	<b>212.52</b>	Operario 4	100	<b>212.52</b>	0.13	<b>240.15</b>
5	Enderezado mediante una prensa hidráulica	175	180	150.1	178.9	157.8	138.8	168.2	159.6	175.8	200.5	<b>168.47</b>	Operario 3	125	<b>210.59</b>	0.14	<b>240.07</b>
6	Doblado	863.8	794.4	871.8	795.4	888.7	868.8	854.9	790.2	838.9	785.2	<b>835.20</b>	Operario 1, Ayudante 1	100	<b>835.20</b>	0.15	<b>960.48</b>
7	Forjado mediante una fragua	890.1	852.4	842.6	810.9	824.3	821	841.7	936.3	845.3	833.1	<b>849.77</b>	Ayudante 5	100	<b>849.77</b>	0.13	<b>960.23</b>
8	Soldado SMAW	288	224.2	219.5	221	255.9	237.4	228.2	238.5	220	208.9	<b>234.14</b>	Ayudante 3	125	<b>292.68</b>	0.15	<b>336.58</b>
9	Soldado MIG	448.8	463.1	441	400.1	405.6	436.3	408.4	412.9	471	458.1	<b>434.54</b>	Operario 5, Ayudante 6	125	<b>543.18</b>	0.15	<b>624.66</b>



ESTUDIO DE TIEMPOS CEPILLO MACHIMBRE																	
Fecha: 05/06/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)														Precisión +- 50 ms/día	
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10														Cronometraje con Regreso a cero	
No.	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Califica ción del desemp eño C	Tiempo Normal TN	Suple mentos	Tiempo Estándar Ts
10	Taladrado manual	394.4	380.5	387.6	359.7	365.3	387.5	351.3	367.1	356.3	379.2	<b>372.89</b>	Operario 1, Ayudante 1	100	<b>372.89</b>	0.16	<b>432.55</b>
11	Taladrado de pedestal	442.9	473.7	455.8	452.5	469.3	426.9	464.4	465.4	487.1	456.6	<b>459.46</b>	Operario 5, Ayudante 6	100	<b>459.46</b>	0.15	<b>528.38</b>
12	Torneado	2229	1838	2212	2414	1930	2229	1807	2251	1802	2164	<b>2087.59</b>	Operario 6	125	<b>2609.49</b>	0.15	<b>3000.92</b>
13	Fresado	339.1	341.1	306.5	360.9	303.2	368.4	331.7	327.3	323.2	315.9	<b>331.72</b>	Operario 5, Ayudante 6	125	<b>414.65</b>	0.16	<b>480.99</b>
14	Limado manual	310.3	297.9	295.7	284.2	271.6	310.5	284.9	268.3	271.7	270.1	<b>286.51</b>	Ayudante 5	75	<b>214.88</b>	0.12	<b>240.67</b>
15	Limado de vaivén	416.5	420.9	472.6	422.4	451.3	451.4	405.9	406.5	413.8	432.3	<b>429.37</b>	Operario 7, Ayudante 4	75	<b>322.02</b>	0.12	<b>360.67</b>
16	Ensamble de Matrices	910.9	892	850.2	900.1	865.7	850.2	819.6	874.6	881	849.2	<b>869.35</b>	Operario 4	100	<b>869.35</b>	0.16	<b>1008.44</b>
17	Ensamble de Herramientas manuales	1588	1593	1584	1657	1656	1505	1587	1665	1593	1576	<b>1600.38</b>	Operario 7, Ayudante 4	100	<b>1600.38</b>	0.17	<b>1872.44</b>
18	Cepillado con cepillo de puente	513	531.2	538.6	540.5	553.6	556	514.4	523.3	493.7	501	<b>526.51</b>	Operario 5, Ayudante 6	100	<b>526.51</b>	0.14	<b>600.22</b>

ESTUDIO DE TIEMPOS CEPILLO MACHIMBRE																	
Fecha: 05/06/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)														Precisión +- 50 ms/día	
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10														Cronometraje con Regreso a cero	
No.	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Califica ción del desemp eño C	Tiempo Normal TN	Suple mentos	Tiempo Estándar Ts
19	Pulido manual	553.1	563.5	566.4	549.4	578.2	566	577.1	585	569.9	555.5	<b>566.41</b>	Operario 6	75	<b>424.80</b>	0.13	<b>480.03</b>
20	Pulido con esmeril	124.2	139.9	146.1	158.8	137	134.2	158.6	145.8	129.8	144.3	<b>141.87</b>	Ayudante 7	75	<b>106.40</b>	0.13	<b>120.24</b>
21	Pintado con compresor	127.3	110.7	108.5	124.8	105.8	113.8	120.2	103.8	104.2	100.2	<b>111.94</b>	Operario 2	75	<b>83.96</b>	0.15	<b>96.55</b>
22	Pintado con pistola de pintura	442.2	456.2	435	447.6	462.7	429	446.4	455.3	434.5	451.5	<b>446.04</b>	Ayudante 2	75	<b>334.53</b>	0.15	<b>384.71</b>
23	Pruebas de funcionamiento	222.7	211.3	223.9	193.8	195.7	199.8	195.1	198	212	205.2	<b>205.74</b>	Ayudante 2	100	<b>205.74</b>	0.17	<b>240.72</b>
	<b>Tiempo de ciclo</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>12141.7 6</b>	-	-	<b>12313.3</b>	-	<b>14105.6 9</b>

ESTUDIO DE TIEMPOS AFILADORA DE CUCHILLAS																	
Fecha: 12/06/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)														Precisión +- 50 ms/día	
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10														Cronometraje con Regreso a cero	
No.	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño C	Tiempo Normal TN	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
1	Diseño	648.5	540.9	691.3	687.8	640.9	495.6	578.9	643	589.4	601.5	611.77	Operario 2	75	458.83	0.09	500.12
2	Corte con cortadora de plasma CNC	18.24	18.57	18.23	18.4	18.29	18.26	18.25	18.26	18.54	18.23	18.33	Operario 1, Ayudante 1	100	18.33	0.13	20.71
3	Corte con sierra de banco	172.1	192.5	171.8	181.7	172.4	182.5	172.7	170.9	191.7	172.5	178.08	Operario 4	100	178.08	0.08	192.33
4	Corte con cortadora de plasma CNC	78.2	80.15	79.91	78.27	75.4	84.26	77.44	76.33	89.63	81.92	80.15	Operario 4	100	80.15	0.13	90.57
5	Enderezado mediante una prensa hidráulica	155.8	167.2	196.3	189.2	174.8	182	159.5	165.6	146.9	147	168.44	Operario 3	125	210.55	0.14	240.02
6	Doblado	401.5	421.8	417	427.7	406.6	413.5	426.8	414.4	436.9	415.7	418.18	Operario 1, Ayudante 1	100	418.18	0.15	480.91
7	Forjado mediante una fragua	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	Ayudante 5	100	0.00	0.13	0.00
8	Soldado SMAW	30.31	38.46	30.28	39.55	32.29	30.44	31.09	32.05	32.99	39.38	33.68	Ayudante 3	125	42.11	0.15	48.42
9	Soldado MIG	299	300.6	311.8	310.7	329.6	270.4	300.8	284.6	316.5	287.1	301.09	Operario 5, Ayudante 6	125	376.37	0.15	432.82

ESTUDIO DE TIEMPOS AFILADORA DE CUCHILLAS																	
Fecha: 12/06/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)														Precisión +- 50 ms/día	
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10														Cronometraje con Regreso a cero	
No.	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño C	Tiempo Normal TN	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
10	Taladrado manual	81.21	78.94	80.92	82.36	81.93	83.53	85.11	77.26	83.75	81.47	<b>81.65</b>	Operario 1, Ayudante 1	100	<b>81.65</b>	0.16	<b>94.71</b>
11	Taladrado de pedestal	116	121.2	128.1	125	123.9	127.7	123.7	126.2	127.6	127.2	<b>124.66</b>	Operario 5, Ayudante 6	100	<b>124.66</b>	0.15	<b>143.36</b>
12	Torneado	1218	1215	1241	1253	1215	1264	1267	1282	1285	1286	<b>1252.77</b>	Operario 6	125	<b>1565.96</b>	0.15	<b>1800.85</b>
13	Fresado	425.4	387.5	424.4	387.9	418.4	421.2	398	430.5	408.5	370.9	<b>407.27</b>	Operario 5, Ayudante 6	125	<b>509.09</b>	0.16	<b>590.54</b>
14	Limado manual	103.7	113.6	129.9	112	110.9	130.1	123.1	101	108.4	114.2	<b>114.70</b>	Ayudante 5	75	<b>86.02</b>	0.12	<b>96.34</b>
15	Limado de vaivén	193.5	159.9	177	181.5	161.3	166.2	181.9	156.3	177.8	163.6	<b>171.90</b>	Operario 7, Ayudante 4	75	<b>128.92</b>	0.12	<b>144.39</b>
16	Ensamble de Matrices	41.78	41.25	43.14	42.29	41.91	42.39	40.32	42.73	38.58	38.47	<b>41.29</b>	Operario 4	100	<b>41.29</b>	0.16	<b>47.89</b>
17	Ensamble de Herramientas manuales	360.2	349.4	364.2	378.6	375.2	391.5	360.1	371.7	382	361.8	<b>369.45</b>	Operario 7, Ayudante 4	100	<b>369.45</b>	0.17	<b>432.26</b>
18	Pulido manual	138.2	128.9	119.2	133.1	122.5	136.6	120.3	135.9	119.5	123.1	<b>127.73</b>	Operario 6	75	<b>95.80</b>	0.13	<b>108.25</b>
19	Pulido con esmeril	81.24	83.01	87.61	82.4	82.76	87.8	89.64	85.75	87.32	83.16	<b>85.07</b>	Ayudante 7	75	<b>63.80</b>	0.13	<b>72.10</b>

ESTUDIO DE TIEMPOS AFILADORA DE CUCHILLAS																	
Fecha: 12/06/2021		MUESTRA DE TIEMPOS OBSERVADOS (Unidad de medición: Minutos)														Precisión +/- 50 ms/día	
Resolución 10ms		Unidades observadas: 10														Cronometraje con Regreso a cero	
No.	SUBPROCESOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tiempo Observado (medio) To	Operario	Calificación del desempeño C	Tiempo Normal TN	Suplementos	Tiempo Estándar Ts
20	Pintado con compresor	7.08	7.23	7.01	7.25	7	7.36	7.89	7.86	7.35	7.83	7.39	Operario 2	75	5.54	0.15	6.37
21	Pintado con pistola de pintura	63.99	60.55	66.82	65.2	63.87	58.12	62.34	60.65	64.09	65.6	63.12	Ayudante 2	75	47.34	0.15	54.44
22	Pruebas de funcionamiento	99.99	102.5	104.3	99.37	107.4	97.51	96.01	114.3	98.98	113.3	103.37	Ayudante 2	100	103.37	0.17	120.95
	Tiempo de ciclo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4760.08	-	-	5005.47	-	5718.36

**Anexo D. Registro fotográfico del estudio de tiempos realizado.**

Toma de tiempos en los puestos de trabajo	
Trazado	Corte
	
Torneado	Pintado
	

**Anexo E.** Resolución del problema de Programación Lineal Entera de maximización del rendimiento.

**CÓDIGO EN MATLAB**

```
% SITUACIÓN INICIAL
% Función a maximizar.
%Z=1504.99C1+1903.58C2+1400.78C3+694.44C4+1161.17C5+4187.68C6
+470.87C7
% Variables:
f=[-1504.99 -1903.58 -1400.78 -694.44 -1161.17 -4187.68
-470.87];
% Matriz de coeficientes de las restricciones con desigualdades:
A=[1 0 0 0 0 0 0;
    0 1 0 0 0 0 0;
    0 0 1 0 0 0 0;
    0 0 0 1 0 0 0;
    0 0 0 0 1 0 0;
    0 0 0 0 0 1 0;
    0 0 0 0 0 0 1;
    8 0.8 0.4 4.8 0 1.6 0.8;
    16 10 10 10 10 50 30];
b=[20 12 10 4 3 2 1 176 704]; % Vector de constantes de
las desigualdades.
Aeq=[]; % Matriz de coeficientes de las restricciones de
las igualdades.
beq=[]; % Vector de constantes de las igualdades.
lb=zeros(7,1); % Límites inferiores
ub=[]; % Límites superiores
intcon=1:7; % Variables enteras.
% Resolución de la PLE.
[x,fval]=intlinprog(f,intcon,A,b,Aeq,beq,lb,ub)
disp('RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE PROGRAMACIÓN LINEAL
ENTERA DE MAXIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO')
fprintf('La cantidad de Sierras Circulares a fabricarse
mensualmente es: %.f.\n',x(1))
fprintf('La cantidad de Cepilladoras de 45 cm a
fabricarse mensualmente es: %.f.\n',x(2))
fprintf('La cantidad de Canteadoras a fabricarse
mensualmente es: %.f.\n',x(3))
fprintf('La cantidad de Sierras de Cinta a fabricarse
mensualmente es: %.f.\n',x(4))
fprintf('La cantidad de Tupys a fabricarse mensualmente
es: %.f.\n',x(5))
fprintf('La cantidad de Cepillos Machimbres a fabricarse
mensualmente es: %.f.\n',x(6))
fprintf('La cantidad de Afiladoras de Cuchillas a
fabricarse mensualmente es: %.f.\n',x(7))
fprintf('La función maximizada es igual a: %.f USD.\n',-
fval)
```

```

%=====
% SITUACIÓN PROPUESTA
% Función a maximizar.
%Z=1504.99C1+1903.58C2+1400.78C3+694.44C4+1161.17C5+4187.68C6
+470.87C7
% Variables:
f=[-1504.99 -1903.58 -1400.78 -694.44 -1161.17 -4187.68
-470.87];
% Matriz de coeficientes de las restricciones con
desigualdades:
A=[-1 0 0 0 0 0 0;
    0 -1 0 0 0 0 0;
    0 0 -1 0 0 0 0;
    0 0 0 -1 0 0 0;
    0 0 0 0 -1 0 0;
    0 0 0 0 0 -1 0;
    0 0 0 0 0 0 -1;
    4 2 4 2 2 4 4;
    2 2 2 8 4 16 8];
b=[-20 -12 -10 -4 -3 -2 -1 176 176]; % Vector de
constantes de las desigualdades.
Aeq=[]; % Matriz de coeficientes de las restricciones
de las igualdades.
beq=[]; % Vector de constantes de las igualdades.
lb=zeros(7,1); % Límites inferiores
ub=[]; % Límites superiores
intcon=[1:7]; % Variables enteras.
% Resolución de la PLE.
[x,fval]=intlinprog(f,intcon,A,b,Aeq,beq,lb,ub)

disp('RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE PROGRAMACIÓN LINEAL
ENTERA DE MAXIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO')
fprintf('La cantidad de Sierras Circulares a fabricarse
mensualmente es: %.f.\n',x(1))
fprintf('La cantidad de Cepilladoras de 45 cm a
fabricarse mensualmente es: %.f.\n',x(2))
fprintf('La cantidad de Canteadoras a fabricarse
mensualmente es: %.f.\n',x(3))
fprintf('La cantidad de Sierras de Cinta a fabricarse
mensualmente es: %.f.\n',x(4))
fprintf('La cantidad de Tupys a fabricarse mensualmente
es: %.f.\n',x(5))
fprintf('La cantidad de Cepillos Machimbres a fabricarse
mensualmente es: %.f.\n',x(6))
fprintf('La cantidad de Afiladoras de Cuchillas a
fabricarse mensualmente es: %.f.\n',x(7))
fprintf('La función maximizada es igual a: %.f USD.\n',-
fval)

```



## CÓDIGO EN R

```
# SITUACIÓN INICIAL
library(lpSolve)
# Maximizar Z=
1504.99C1+1903.58C2+1400.78C3+694.44C4+1161.17C5+4187.68
C6+470.87C7
funcion_obj <-
c(1504.99,1903.58,1400.78,694.44,1161.17,4187.68,470.87)
restricciones <- matrix(c(1,0,0,0,0,0,0,
                          0,1,0,0,0,0,0,
                          0,0,1,0,0,0,0,
                          0,0,0,1,0,0,0,
                          0,0,0,0,1,0,0,
                          0,0,0,0,0,1,0,
                          0,0,0,0,0,0,1,
                          8,0.8,0.4,4.8,0,1.6,0.8,
                          16,10,10,10,10,50,30),
                        nrow=9, byrow=T)

restricciones
restricciones_direccion <-
c("<=", "<=", "<=", "<=", "<=", "<=", "<=", "<=", "<=")
restricciones_derecho <- c(20,12,10,4,3,2,1,176,704)
# Solución de la función objetivo.
PLE <- lp(direction="max", objective.in = funcion_obj,
          const.mat = restricciones, const.dir =
restricciones_direccion,const.rhs =
restricciones_derecho, int.vec = c(1:7), all.int =
T,compute.sens = T)
PLE
PLE$solution
cat('La cantidad de Sierras Circulares a fabricarse
mensualmente es:',PLE$solution[1])
cat('La cantidad de Cepilladoras de 45 cm a fabricarse
mensualmente es:',PLE$solution[2])
cat('La cantidad de Canteadoras a fabricarse
mensualmente es:',PLE$solution[3])
cat('La cantidad de Sierras de Cinta a fabricarse
mensualmente es:',PLE$solution[4])
cat('La cantidad de Tupys a fabricarse mensualmente
es:',PLE$solution[5])
cat('La cantidad de Cepillos Machimbres a fabricarse
mensualmente es:',PLE$solution[6])
cat('La cantidad de Afiladoras de Cuchillas a fabricarse
mensualmente es:',PLE$solution[7])
cat('La función maximizada es igual a:',
round(PLE$objval,0))
```

```

%=====
% SITUACIÓN PROPUESTA
# Maximizar Z=
1504.99C1+1903.58C2+1400.78C3+694.44C4+1161.17C5+4187.68
C6+470.87C7
funcion_obj2 <-
c(1504.99,1903.58,1400.78,694.44,1161.17,4187.68,470.87)
restricciones2 <- matrix(c(1,0,0,0,0,0,0,
                           0,1,0,0,0,0,0,
                           0,0,1,0,0,0,0,
                           0,0,0,1,0,0,0,
                           0,0,0,0,1,0,0,
                           0,0,0,0,0,1,0,
                           0,0,0,0,0,0,1,
                           4,2,4,2,2,4,4,
                           2,2,2,8,4,16,8),
                           nrow=9, byrow=T)

restricciones2
restricciones_direccion2 <-
c(">=", ">=", ">=", ">=", ">=", ">=", ">=", "<=", "<=")
restricciones_derecho2 <- c(20,12,10,4,3,2,1,176,176)
# Solución de la función objetivo.
PLE2 <- lp(direction="max", objective.in = funcion_obj2,
           const.mat = restricciones2, const.dir =
restricciones_direccion2,const.rhs =
restricciones_derecho2, int.vec = c(1:7), all.int =
T,compute.sens = T)
PLE2
PLE2$solution
cat('La cantidad de Sierras Circulares a fabricarse
mensualmente es:',PLE2$solution[1])
cat('La cantidad de Cepilladoras de 45 cm a fabricarse
mensualmente es:',PLE2$solution[2])
cat('La cantidad de Canteadoras a fabricarse
mensualmente es:',PLE2$solution[3])
cat('La cantidad de Sierras de Cinta a fabricarse
mensualmente es:',PLE2$solution[4])
cat('La cantidad de Tupys a fabricarse mensualmente
es:',PLE2$solution[5])
cat('La cantidad de Cepillos Machimbres a fabricarse
mensualmente es:',PLE2$solution[6])
cat('La cantidad de Afiladoras de Cuchillas a fabricarse
mensualmente es:',PLE2$solution[7])
cat('La función maximizada es igual a:',
round(PLE2$objval,0))

```