

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

“Diseño de un sistema de control de producción para ambiente de alta  
variedad y bajo volumen de producción”

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingenieras Industriales**

Presentado por:

Nicole Doménica Alvarado Díaz

Samantha Nicole Carrillo Ríos

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

Año: 2022

## DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a mi madre, Patricia Díaz, quien me ha apoyado en todas las aventuras que he experimentado en mi vida universitaria.

A mis hermanas, Gabriela y Madelyne, quienes han sido una constante fuente de inspiración para ser mi mejor versión.

A mis familiares cercanos, tía Mercy, tío Gerardo, abuela Yola, por estar siempre pendientes y orgullosos de todos mis logros.

A Sebastián Flores, por ser mi complemento y acompañarme en los momentos más significativos.

Y a la memoria de mi padre, Arturo Alvarado, que estoy segura está orgulloso de todo lo que hemos logrado desde su partida.

**Nicole Alvarado Díaz**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo se lo dedico a mis padres, hermanas, demás familiares y amigos, quienes han sido mi guía y apoyo durante toda mi vida.

**Samantha Carrillo Ríos**

# AGRADECIMIENTOS

A Dios y guías espirituales por ser piezas claves en mi crecimiento y evolución.

A mi madre y hermanas, fieles compañeras, por su inmenso amor e incondicional apoyo en todas las instancias de mi vida.

A mi enamorado, familiares cercanos y amigos de la familia por darme ánimos y estar pendientes de mis proyectos personales.

A mis amigos de la universidad y colegio por ser una valiosa compañía. A Samantha Carrillo por ser mi querida compañera de tesis, amiga y próximamente colega.

A Marcos Buestán, PhD. y Cinthia Pérez, PhD. por su paciencia y guía en mis primeros pasos en investigación y en el desarrollo de este proyecto integrador.

A los profesores que aportaron a mi crecimiento profesional, especialmente a Isabel Alcívar, MSc. por su constante apoyo y mentoría durante toda la carrera.

**Nicole Alvarado Díaz**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres, Henry Carrillo y Fanny Ríos, por todo su amor y apoyo incondicional.

A mis hermanas, Samira y Sabrina por ser mis compañeras de aventuras y locuras.

A mis amigos de la universidad, porque estos 5 años no hubiesen sido lo mismo sin ustedes.

A Nicole Alvarado por ser una gran amiga y estar presente durante todos los momentos importantes de la carrera.

A cada uno de mis profesores por sus enseñanzas y sabios consejos. En especial, a Isabel Alcívar MSc., Marcos Buestán, PhD. y Cinthia Pérez, PhD. por su colaboración en este trabajo.

**Samantha Carrillo Ríos**

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Nicole Doménica Alvarado Díaz y Samantha Nicole Carrillo Ríos* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”.

---

Nicole Doménica Alvarado Díaz

---

Samantha Nicole Carrillo Ríos

# EVALUADORES

---

**Marcos Buestán B., Ph.D.**

PROFESOR DE LA MATERIA

---

**Marcos Buestán B., Ph.D.**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló en una empresa dedicada a la fabricación y comercialización de productos metálicos expandidos y perforados ubicada en la ciudad de Guayaquil, Ecuador. Dentro de la compañía surge la necesidad de implementar un sistema de control de producción debido a que la dinámica con que se labora es basada únicamente en la experiencia de los colaboradores; además, se ha identificado una oportunidad de mejora en la comunicación y asignación de fechas de entrega a los clientes. De esta manera, se busca incrementar el nivel de servicio y mejorar la rapidez de respuesta a los requerimientos diarios.

Para el desarrollo del proyecto se utilizó la metodología DMADV (Definición, Medición, Análisis, Diseño y Verificación), la cual permite comprender a fondo las necesidades de la empresa y relacionarlas con las mejores opciones de diseño. La opción óptima encontrada fue adaptar a la empresa el sistema de producción conocido como COBACABANA, el cual se basa en controlar los trabajos en piso con el uso de tarjetas. Así, fue posible lograr trazabilidad de las órdenes de pedido, brindar fechas de entrega ajustadas al tipo de producto y mejorar el nivel de servicio.

**Palabras clave:** COBACABANA, control de carga de trabajo, control visual, taller de trabajo, alta variedad – bajo volumen.



## **ABSTRACT**

*This work was developed in a company dedicated to the manufacture and marketing of expanded and perforated metal products located in the city of Guayaquil, Ecuador. Within the company, there is a need to implement a production control system because the dynamics with which the company works are based solely on the experience of the employees; in addition, an opportunity for improvement has been identified in the communication and assignment of delivery dates to customers. In this way, we seek to increase the level of service and improve the speed of response to daily requirements.*

*The DMADV (Definition, Measurement, Analysis, Design, and Verification) methodology was used for the development of the project, which allows a thorough understanding of the company's needs and relates them to the best design options. The optimal option found was to adapt to the company the production system known as COBACABANA, which is based on controlling the work on the floor with the use of cards. Thus, it was possible to achieve traceability of orders, provide delivery dates adjusted to the type of product and improve the level of service.*

**Keywords:** *COBACABANA, Workload control, visual control, job shop, high variety - low volume.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS .....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Descripción del problema.....	1
1.2. Justificación del problema.....	2
1.3. Objetivos .....	4
1.4. Marco teórico .....	4
CAPÍTULO 2.....	8
2. METODOLOGÍA.....	8
2.1. Etapa de definición.....	8
2.2. Etapa de medición .....	16
2.3. Etapa de análisis.....	20
CAPÍTULO 3.....	29
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	29
3.1. Plan de Prototipado.....	29
3.2. Diseño final .....	31
3.3. Resultados de los Indicadores de Desempeño .....	34
3.4. Métricas de Sostenibilidad .....	37
CAPÍTULO 4.....	40
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	40
4.1. Conclusiones.....	40
4.2. Recomendaciones .....	40
BIBLIOGRAFÍA.....	41
APÉNDICES.....	43

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
DMADV	<i>Define, Measure, Analyze, Design, Verify</i>
VOC	<i>Voice of Customer</i>
QFD	<i>Quality Function Deployment</i>
SIPOC	<i>Supplier, Input, Process, Output, Customer</i>
COBACABANA	<i>Control of balance by card-based navigation</i>
PYMEs	Pequeñas y Medianas Empresas

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Indicador Lateness calculado desde marzo a junio de 2022 .....	3
Figura 1.2	Indicador de nivel de servicio calculado desde marzo a junio de 2022 .....	3
Figura 2.1	Macro mapa de procesos de la empresa metalmecánica .....	9
Figura 2.2	Matriz SIPOC de la empresa metalmecánica .....	9
Figura 2.3	QFD de la empresa metalmecánica .....	15
Figura 2.4	Diagrama de 5W + 1H .....	16
Figura 2.5	Diagrama de la situación actual de la empresa .....	21
Figura 2.6	Diagrama de la alternativa de diseño 1 .....	22
Figura 2.7	Diagrama de la alternativa de diseño 2 .....	23
Figura 2.8	Diagrama de la alternativa de diseño 3 .....	24
Figura 3.1.	Flujo de asignación de fechas de entrega .....	32
Figura 3.2	Flujo de navegación de tarjetas en el sistema.....	34
Figura 3.3	Resultados del nivel de servicio .....	35
Figura 3.4	Resultados de las pruebas estadísticas .....	35
Figura 3.5	Resultados del indicador de retraso en días .....	36
Figura 3.6	Resultados de las pruebas estadísticas .....	37
Figura 3.7	Resultados del indicador de Emisiones de CO2 por uso de papel .....	38
Figura 3.8	Resultados de posibles ventas perdidas .....	38
Figura 3.9	Resultados del índice de satisfacción de trabajadores.....	39

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Priorización de requerimientos del cliente .....	12
Tabla 2.2 Evaluación de competidores.....	13
Tabla 2.3 Especificaciones de Diseño .....	13
Tabla 2.4 Evaluación de las relaciones entre las especificaciones de diseño .....	14
Tabla 2.5 Plan de recolección de datos.....	18
Tabla 2.6 Matriz de relaciones de Pugh.. .....	25
Tabla 2.7 Lista de costos tangibles .....	26
Tabla 2.8 Nivel de servicio para cada alternativa de diseño.....	27
Tabla 2.9 Horas extras para cada alternativa de diseño .....	28
Tabla 2.10 Resultados del Análisis de Costos - Beneficios .....	28
Tabla 3.1 Plan de prototipado.....	30
Tabla 3.2 Clasificación por franjas según la fecha de entrega estimada.....	33
Tabla 3.3 Clasificación por franjas de colores según el tiempo de procesamiento.....	33

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación (1).....	7
Ecuación (2).....	31

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Dos de las principales ventajas competitivas que buscan muchas empresas son la confiabilidad en la entrega de los pedidos y la flexibilidad en el volumen y variedad de los productos. Para alcanzar un mayor nivel de competencia en cada una de estas dimensiones es necesario disponer de una planificación y control de producción acorde al proceso productivo de la empresa.

Según Chapman (2006), existen 5 categorías para describir los procesos de una compañía, los cuales son: por proyectos, proceso de trabajo (*Job shop*), proceso por lotes, proceso repetitivo o de flujo y proceso continuo. Una empresa tipo *Job Shop* se caracteriza por brindar una amplia variedad de productos según especificaciones personalizadas, y así mismo por producir distintos volúmenes; buscando lograr flexibilidad y confiabilidad en las entregas. Por la naturaleza de este tipo de empresas los sistemas de control de producción son complejos y poco aplicados en la industria a diferencia de aquellas que manejan un proceso repetitivo o continuo.

El presente proyecto se enfoca en una organización metalmecánica cuyas características encajan con un proceso tipo *Job shop*, y cuyas principales actividades son la producción y comercialización de productos metálicos expandidos y perforados. Los principales clientes son parte de la industria de la construcción y de la industria alimenticia. Al momento, la empresa cuenta con tres instalaciones: la oficina principal, el almacén y la planta de producción.

### 1.1. Descripción del problema

Actualmente la planificación y control de producción en piso de una empresa metalmecánica ubicada en Guayaquil se basa únicamente en los conocimientos adquiridos por los trabajadores durante los años que llevan laborando en la empresa. Además, se evidencia una falta de comunicación efectiva entre el Departamento de Ventas y el Departamento de Producción en la asignación de fechas de entrega.

Por consiguiente, existe un elevado porcentaje de órdenes que no son cumplidas en su fecha de entrega prometida generando que el nivel de servicio sea bajo. De igual manera, no existe agilidad de respuesta en órdenes urgentes ni ante eventos inesperados. Esto afecta directamente a los clientes actuales puesto que deben esperar más días para recibir su pedido, disminuye la probabilidad de captar nuevos clientes y provoca conflictos internos entre departamentos, principalmente entre Ventas y Producción.

### **1.1.1. Alcance**

El presente trabajo se enfoca en la interacción entre los Departamentos de Ventas y de Producción. Por un lado, se centra en modificar el proceso de asignación de fechas de entrega, las cuales actualmente son fijas para cualquier pedido, sin embargo, se busca que se basen en la cantidad, las características personalizadas del producto y principalmente en el nivel de carga a tiempo real de la empresa. Asimismo, el proyecto pretende mejorar la planificación de la producción en la semana y lograr un control eficiente de las órdenes de producción en piso.

### **1.2. Justificación del problema**

El proceso de asignación de fechas de entrega, así como, la planificación y control de producción en piso de la empresa metalmecánica se realizan únicamente por experiencia adquirida por los trabajadores. Ellos, a pesar de que han laborado por años en la compañía, no están alejados de cometer errores humanos que afecten el cumplimiento de órdenes según lo prometido. En efecto, dicha falta de herramientas y métodos adecuados ha generado que desde el inicio de sus operaciones hasta la actualidad exista una gran cantidad de pedidos que se entreguen con días de retraso, especialmente cuando la demanda es alta.

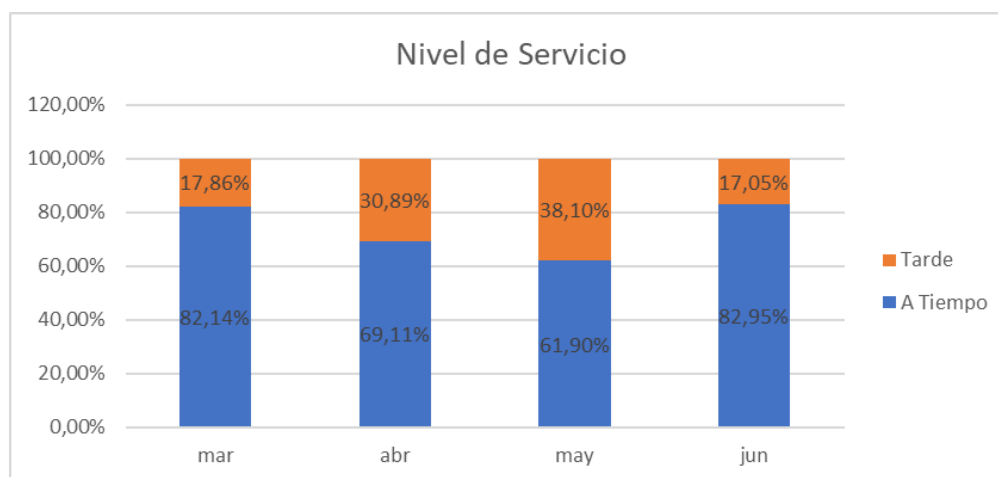
A continuación, se visualiza un histórico de marzo a junio de 2022 del indicador *lateness*, el cual consiste en medir los días de retraso de una orden respecto a su fecha de entrega y puede tener valores positivos o negativos.





**Figura 1.1** Indicador días de retraso calculado desde marzo a junio de 2022

De la Figura 1.1 se puede apreciar que en promedio una orden que ha sido entregada con retraso se demora 2,42 días más que su fecha prometida. Así también, se puede observar en la Figura 1.2 que el nivel de servicio que posee la empresa desde mayo a junio de 2022 es en promedio 74%, siendo el más bajo 61,90% y únicamente logrando alcanzar en junio el 82,95% como máximo.



**Figura 1.2** Indicador de nivel de servicio calculado desde marzo a junio de 2022

Es evidente que se requiere aplicar métodos y herramientas que permitan aumentar el nivel de servicio de la compañía y a su vez eliminar o disminuir los días de retraso. De esta manera, será posible mejorar la posición de la compañía en el mercado ecuatoriano.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Diseñar un sistema de control de la producción para un entorno de producción de alta variedad y bajo volumen que conduzca a aumentar el nivel de servicio de la empresa, ajustar los plazos de entrega y asegurar la gestión de la planta mediante la mejora de la coordinación de los departamentos de ventas y producción a la hora de establecer las fechas de entrega y los cambios.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Evaluar la situación actual del sistema de producción y control de la empresa.
- Definir los requisitos del cliente y traducirlos en especificaciones técnicas.
- Analizar las diferentes alternativas de diseño (prototipos) mediante un estudio de viabilidad.
- Validar los prototipos propuestos en la planta de ventas y producción para mejorar su interacción.
- Evaluar los resultados de la aplicación de la opción de diseño seleccionada.

## **1.4. Marco teórico**

A continuación, se presentan los conceptos necesarios para el desarrollo del proyecto en las cinco fases de la metodología *Design from Scratch* (Definición, Recolección de Datos, Análisis, Propuestas de Mejora, Diseño y Prototipado) utilizada en el Capítulo 2 y Capítulo 3.

### **1.4.1. Definición**

Primera etapa en donde se busca definir el proceso y los objetivos del proyecto. A continuación, se presentan definiciones de las herramientas utilizadas en esta etapa:

- **Macro-mapa de procesos**

Es un diagrama en donde se representan de manera interrelacionada los procesos existentes dentro de una organización, agrupados en tres categorías: estratégicos, claves y de apoyo (Fundación Universidad Empresa Región de Murcia, 2017).

- **Diagrama SIPOC**

Es utilizado para identificar elementos significativos de un proceso previo a iniciar un proyecto de mejora continua six sigma, muestra a detalle los proveedores, clientes, entradas y salidas de un proceso (Marques y Requeijo, 2009). Su nombre es un acrónimo del inglés *Supplier, Input, Output & Customer*.

- **Voz del cliente**

También conocida como *Voice of Customer (VOC)*, es una herramienta que permite recopilar los deseos y requerimientos del cliente sobre a un producto o servicio (Cruz-Rivero et al., 2014) por medio de entrevistas y/o encuestas. El VOC permite capturar la información desde la fuente primaria en forma de opiniones para posteriormente determinar las necesidades del cliente.

- **Despliegue de la función calidad**

Herramienta que traduce los requerimiento y necesidades del cliente en especificaciones técnicas para el desarrollo de productos o servicios orientados al cliente final (Ginting et al., 2020), también se conoce como QFD por sus siglas del inglés *Quality Function Deployment*.

- **5W1H**

Método basado en la dinámica “preguntar para descubrir”, permite crear las condiciones adecuadas para identificar un problema haciendo uso de análisis (Knop y Mielczarek, 2018). Su nombre proviene de cinco interrogantes que inician con W y 1 con H en inglés, la traducción al español de las preguntas se presenta a continuación: ¿Quién? ¿Por qué? ¿Qué? ¿Cuándo? ¿Cómo? y ¿Dónde?

### 1.4.2. Recolección de datos

En esta etapa se realiza la recolección de datos y se verifica su confiabilidad. Entre las herramientas utilizadas en esta etapa, se pueden destacar las siguientes:

- **Muestreo**

Procedimiento estadístico utilizado para seleccionar una porción de observaciones de una población, el muestreo permite hacer inferencias de la población desde un grupo de menor cuantía (Zurita, 2010).

- **Gemba**

Técnica utilizada para observar y entender la forma en la que se realiza un trabajo de modo que oportunidades de mejora puedan ser identificadas. Los objetivos del gemba son: observar a los que realizan el trabajo, observar en el lugar de trabajo e interactuar con quienes realizan el trabajo (Dalton, 2019).

### 1.4.3. Análisis

En esta fase se desarrolla el análisis de la factibilidad de posibles alternativas de diseño. A continuación, se presentan definiciones de las herramientas y conceptos utilizados en esta etapa:

- **Matriz de Pugh**

Es un método de decisión que se basa de una matriz que relaciona criterios específicos con varias alternativas de diseño. Permite evaluar cada una de ellas y seleccionar la opción que mejor satisface las necesidades del usuario (Cervone, 2009).

- **COBACABANA**

Es una aplicación a ambientes de producción tipo talleres de trabajo, *job shop*, basado en el concepto de control de la carga de trabajo y el uso de tarjetas. Su nombre viene del inglés *Control of Balance by Card-Based Navigation* (Land, 2008).

### 1.4.4. Diseño

En esta fase se implementa la propuesta de diseño presentada y se verifica el cumplimiento de los objetivos planteados al inicio del proyecto. A continuación, se presentan definiciones de las herramientas utilizadas en esta etapa:

- **Ley de Little**

Es un teorema desarrollado por John Little el cual indica que para todo nivel de inventario (WIP), este se lo puede calcular como el producto entre la tasa de producción (TH-Throughput) y el tiempo de ciclo (CT-Cycle time) (Hopp y Spearman, 2008).

A continuación, se muestra la ecuación:

$$WIP = TH \cdot CT \tag{1}$$

#### **1.4.5. Prototipado**

En esta última fase, se hacen las validaciones del funcionamiento de la propuesta y se evalúan los resultados. A continuación, se presentan definiciones de las herramientas utilizadas en esta etapa:

- **Plan de Implementación**

Es una herramienta utilizada principalmente en la gestión de un proyecto con el fin de describir y asignar tareas que permitirán cumplir con los objetivos estratégicos planteados al inicio. Describe los responsables de cada tarea, así como la forma en que se llevarán a cabo, el tiempo de duración y el estado de implementación. (Team Asana, 2021)

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

Mediante la metodología Design from Scratch, se busca conocer la situación actual de la organización metalmeccánica, analizar las posibles mejoras de implementación y diseñar un sistema de control de producción que se adapte a la dinámica de la organización. Adicionalmente, se espera que sea replicable a otras empresas similares en el Ecuador y que perdure en el tiempo.

### 2.1. Etapa de definición

En esta etapa inicial, se recolectó información sobre la situación actual de la organización además de las necesidades y requerimientos de los clientes; con la finalidad de determinar especificaciones de diseño, alcance del proyecto, restricciones y la oportunidad que existe en base a los puntos anteriormente descritos.

Como primer paso, se llevó a cabo una reunión ejecutiva con la Directora de Operaciones y el Gerente Comercial de la organización. Se pactó la colaboración de los directivos de la empresa para con el proyecto y se estableció que las principales partes interesadas son:

- Gerente General
- Directora de Operaciones
- Gerente Comercial

#### 2.1.1. Situación actual

Para un mejor entendimiento de la situación actual de la empresa y la interrelación de los procesos internos, se diagramó un macro mapa de procesos que fue validado por el Gerente Comercial y Jefe de Producción. De acuerdo con la información recopilada en entrevistas para la elaboración del diagrama, existen dificultades en los procesos operacionales señalados en la figura 2.1, los cuales forman parte en el Departamento de Producción y Ventas.

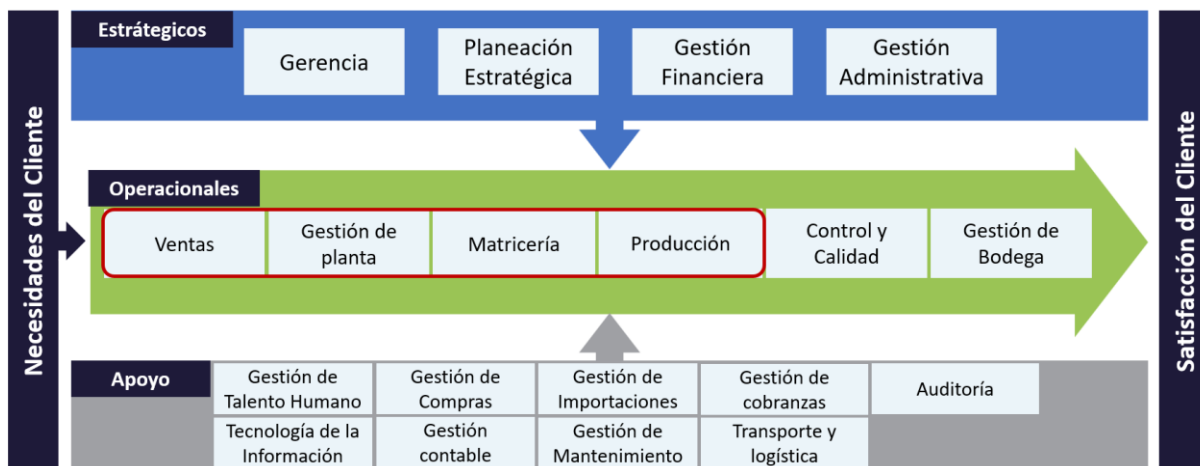
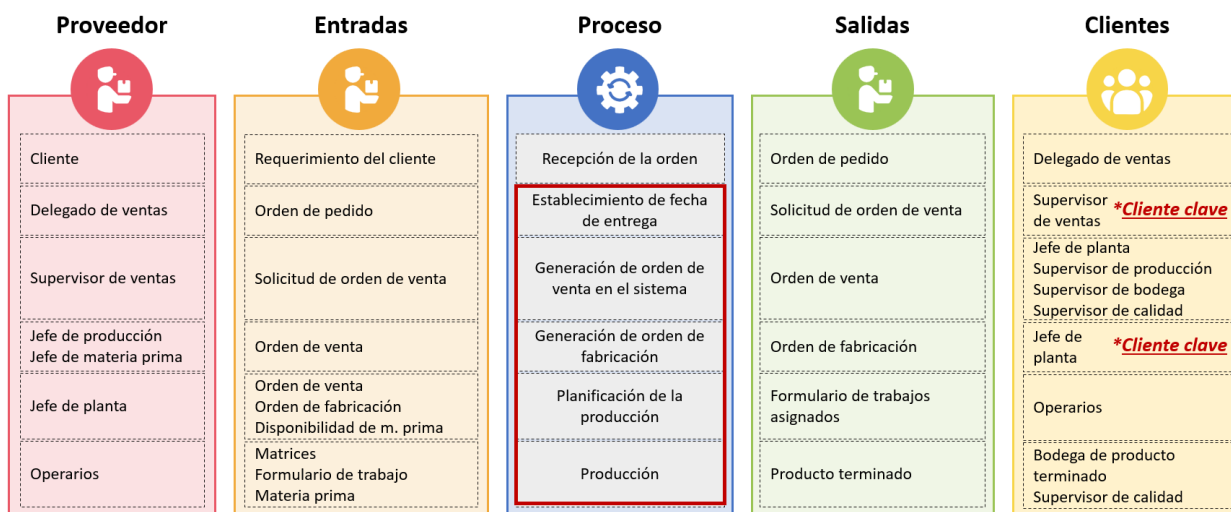


Figura 2.1 Macro mapa de procesos de la empresa metalmeccánica

### 2.1.2. Alcance

Se elaboró un diagrama SIPOC para determinar el alcance en función de las actividades de los procesos, abarcando desde el establecimiento de fecha de entrega hasta la producción. Adicionalmente, se definió como clientes clave al Supervisor de Ventas y el Jefe de Planta tal como se observa en la Figura 2.2.



Macro mapa de procesos: Operacionales



Figura 2.2 Matriz SIPOC de la empresa metalmeccánica

De este modo, se decidió trabajar en el proceso de fijación de las fechas de entrega, y en la planificación y el control de la producción.

### 2.1.3. Restricciones

Por medio de entrevistas realizadas a cada una de las partes interesadas de la empresa, se identificó cuatro principales restricciones que deberán ser consideradas en el diseño e implementación del proyecto. A continuación, se describen cada una de ellas.

- **Dinero:** Para la implementación de la solución propuesta se deberá considerar un presupuesto máximo de 900 dólares.
- **Tiempo:** El diseño debe desarrollarse e implementarse en un periodo inferior a seis meses.
- **Fuerza de trabajo:** No es posible que una sola persona gestione la solución debido a la corta plantilla (7 trabajadores) con la que trabajan.
- **Conocimiento:** El diseño debe ser entendido y manejado por todo el personal operativo, se requiere bajo conocimiento de planificación y control de la producción.

### 2.1.4. Voz del cliente

A través de entrevistas a distintos actores dentro de los Departamentos de Ventas y Producción, se recolectó la voz del cliente. Luego de consolidar la información, se identificó las siguientes necesidades:

- Sistema que pueda trabajar con un amplio rango de productos y con un flujo cambiante.
- Sistema flexible que permita secuenciar y re-secuenciar las ordenes de trabajo.
- Ajustar los tiempos de entrega.
- Mejorar el nivel de servicio.
- Mejorar la coordinación entre ventas y producción al momento de establecer fechas de entrega y cambios.
- Sistema escalable y adaptable a cambios en la organización.
- Fácil de usar por cualquier trabajador.



- Que no requiera softwares costosos.

### **2.1.5. Despliegue de la función calidad**

Para traducir las necesidades del cliente en especificaciones de diseño se utilizó el diagrama de despliegue de la función calidad, también conocido como QFD.

- **Requerimientos del cliente**

A partir de las necesidades del cliente recolectadas con la herramienta VOC, se definieron como requerimientos del cliente los siguientes:

1. Un sistema que pueda trabajar con una amplia gama de productos y con un alto flujo cambiante.
2. Sistema flexible para secuenciar y re-secuenciar órdenes de trabajo.
3. Mejorar los tiempos de entrega de las órdenes.
4. Mejorar el nivel de servicio.
5. Mejorar la coordinación entre ventas y producción al momento de establecer fechas de entrega y cambios.
6. Escalable y adaptable a cambios en la organización.
7. Fácil de utilizar por cualquier trabajador.
8. Que no requiera el uso de software.

- **Priorización de requerimientos del cliente**

Se realizó una entrevista a clientes claves para solicitar la calificación a cada requerimiento del cliente considerando una escala del 1 al 10, siendo “1” baja prioridad y “5” alta prioridad. Posteriormente, se calculó el porcentaje de importancia de cada necesidad en base a la calificación de prioridad del cliente.

**Tabla 2.1 Priorización de requerimientos del cliente**

**Fuente: Elaboración propia**

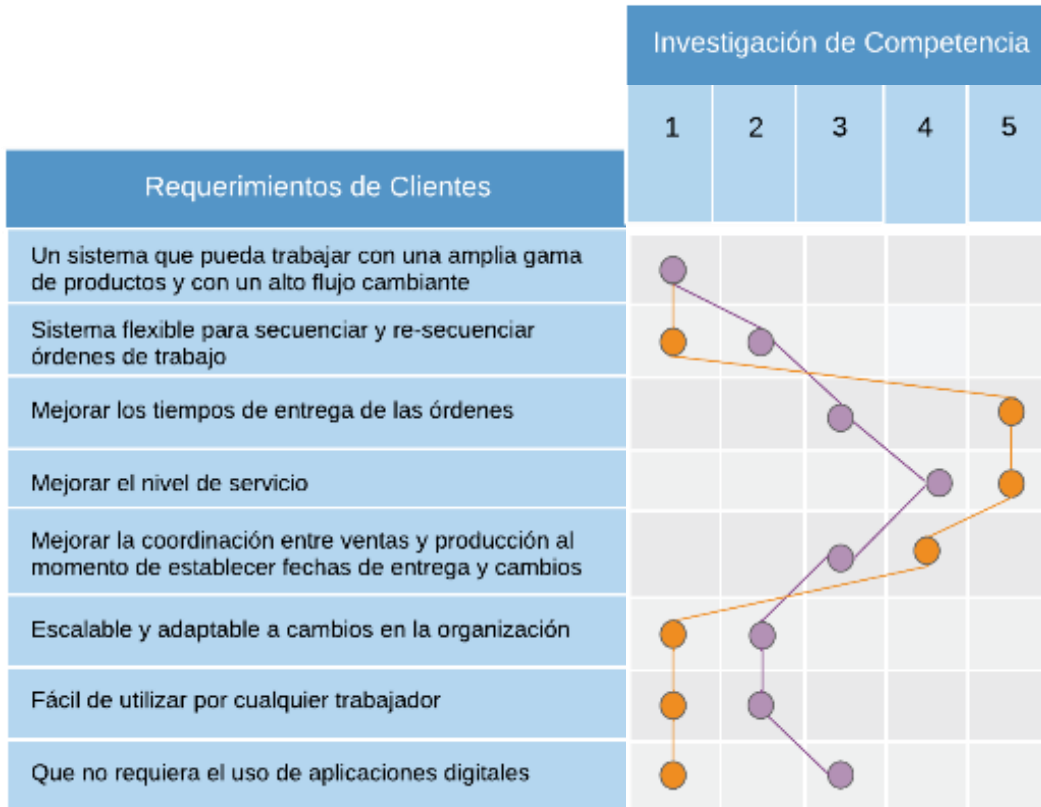
Requerimientos de Clientes	Ratio
Un sistema que pueda trabajar con una amplia gama de productos y con un alto flujo cambiante	8
Sistema flexible para secuenciar y re-secuenciar órdenes de trabajo	10
Mejorar los tiempos de entrega de las órdenes	9
Mejorar el nivel de servicio	9
Mejorar la coordinación entre ventas y producción al momento de establecer fechas de entrega y cambios	8
Escalable y adaptable a cambios en la organización	6
Fácil de utilizar por cualquier trabajador	5
Que no requiera el uso de aplicaciones digitales	5

- **Evaluación de competidores**

Se compararon a dos competidores de la ciudad de Guayaquil con la empresa de productos metalmecánicos en donde se está desempeñando el presente trabajo. La evaluación está basada en el cumplimiento de cada uno de los requerimientos del cliente en una escala del 1 al 5, siendo “1” no cumple y “5” si cumple tal como se muestra en la Tabla 2.2.

**Tabla 2.2 Evaluación de competidores**

**Fuente: Elaboración propia**



- **Especificaciones de Diseño**

Se definieron diez especificaciones de diseño que satisfacen a uno o más requerimientos del cliente.

**Tabla 2.3 Especificaciones de Diseño**

**Fuente: Elaboración propia**

Sistema de planificación y control para un ambiente tipo General Flow Shop
Establecer un buffer de tiempo de 1 día para órdenes de alta prioridad
Fechas de entrega prometidas ajustada al tipo de producto
Tener un nivel de servicio mínimo del 85%
Estandarizar el proceso de comunicación de fecha de entrega entre Ventas y Producción
Trazabilidad de las órdenes de trabajo entre Ventas y Producción.
Visibilidad del progreso de la producción como mínimo 2 veces al día.
Un sistema que considere la posible adición de máquinas en planta.
Un sistema realizado con material no digital
Visibilidad de existencia de materia prima y otros recursos necesarios para una orden de trabajo.

- **Evaluación de las relaciones entre las especificaciones de diseño**

En esta matriz se desarrollan las correlaciones existentes entre cada una de las especificaciones de diseño. La correlación fuerte positiva está representada por (++) , positiva (+), negativa (-), fuerte negativa (--), no hay correlación ( )

**Tabla 2.4 Evaluación de las relaciones entre las especificaciones de diseño**

**Fuente: Elaboración propia**

Sistema de planificación y control para un ambiente tipo General Flow Shop									
Establecer un buffer de tiempo de 1 día para órdenes de alta prioridad	x								
Fechas de entrega prometidas ajustada al tipo de producto	++	x							
Tener un nivel de servicio mínimo del 85%	x	++	x						
Estandarizar el proceso de comunicación de fecha de entrega entre Ventas y Producción	++	x	++	x					
Trazabilidad de las órdenes de trabajo entre Ventas y Producción.	x	++	x	x	x				
Visibilidad del progreso de la producción como mínimo 2 veces al día.	++	x	++	x	++	x			
Un sistema que considere la posible adhesión de máquinas en planta.							x		
Un sistema realizado con material no digital							++	++	
Visibilidad de existencia de materia prima y otros recursos necesarios para una orden de trabajo.								x	

- **Relación entre requerimientos del cliente y especificaciones de diseño**

Esta parte del QFD fue desarrollado en conjunto con el jefe de planta de la empresa metalmeccánica. Se calificó el tipo de relación existente siendo círculo relleno la fuerte, círculo blanco la mediana, triángulo invertido la débil y un espacio en blanco cuando es inexistente.

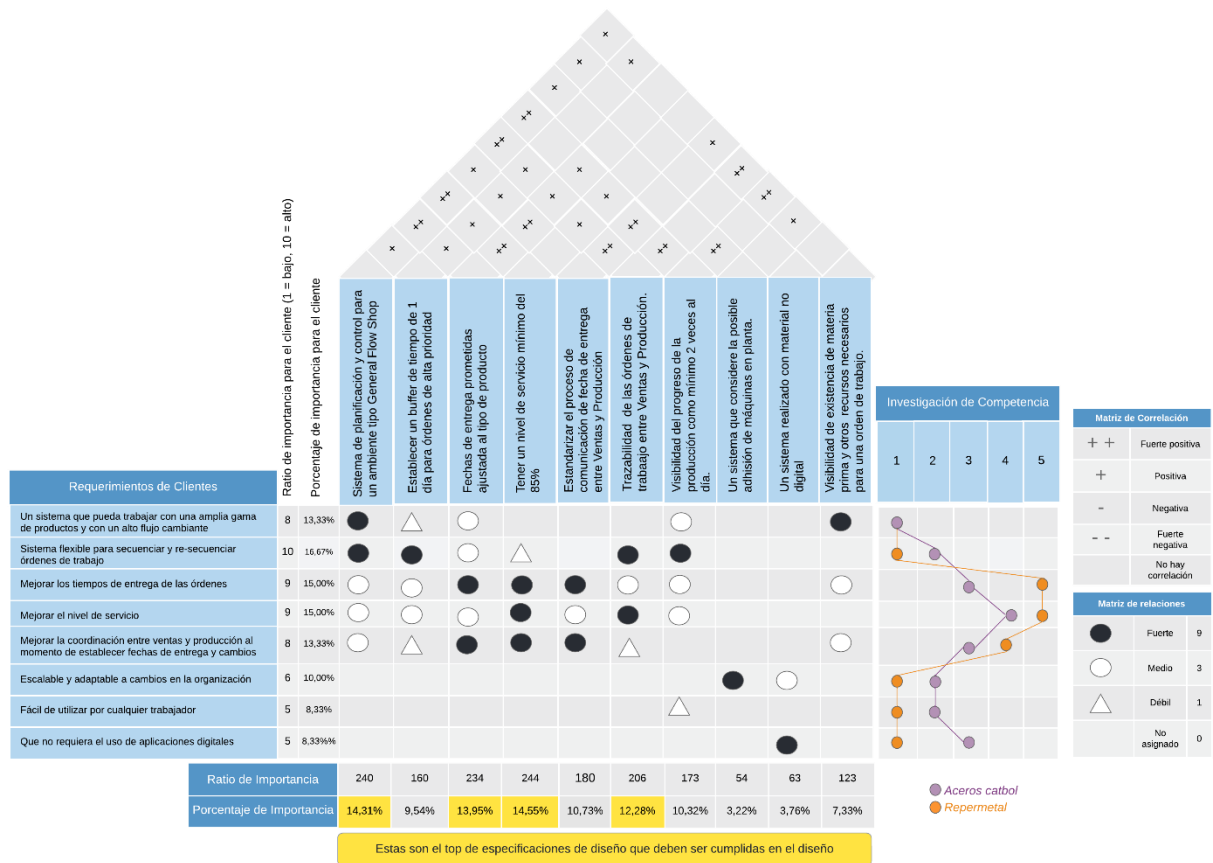


Figura 2.3 QFD de la empresa metalmeccánica

Fuente: Elaboración propia

• **Ratio de importancia**

Para determinar el ratio de importancia de las necesidades de los clientes, validamos cada una de ellas con el cliente clave y una parte interesada.

**2.1.6. Especificaciones de diseño**

Las especificaciones de diseño más significativas de acuerdo con el porcentaje de importancia del QFD se enuncian a continuación:

- Sistema de planificación y control para un ambiente tipo General Flow Shop.
- Tener un nivel mínimo de servicio de 85%.
- Fechas de entrega prometidas ajustado al tipo de producto.

- Trazabilidad de las órdenes de trabajo entre Ventas y Producción.

### 2.1.7. Declaración de la oportunidad

Se utilizó la herramienta 5W1H para la declaración de la oportunidad tomando en cuenta las preguntas ¿Quién? ¿Por qué? ¿Qué? ¿Cuándo? ¿Cómo? y ¿Dónde?.



**Figura 2.4 Diagrama de 5W + 1H**

**Fuente: Elaboración propia**

Como resultado, la declaración de la oportunidad se presenta a continuación:

*“Los Departamentos de Ventas y Producción de una empresa que fabrica productos metalmecánicos necesitan un sistema de control de la producción para un entorno de alta variedad y bajo volumen de producción, desde el inicio de sus operaciones han presentado un bajo nivel de servicio que no permite cumplir con la planificación de la producción principalmente debido a la falta de comunicación efectiva entre Ventas y Producción para la asignación de fechas de entrega.”*

## 2.2. Etapa de medición

En esta segunda etapa se busca cuantificar las variables que impactan directamente al proyecto, para lo cual se realiza un plan de recolección de datos, y se mide la

confiabilidad de estos. La información recolectada servirá para elaborar un análisis de las distintas alternativas de diseño y seleccionar la óptima.

### **2.2.1. Plan de recolección de datos**

Con el fin de conocer a detalle los datos que serán requeridos en el diseño del sistema de control de producción, se hizo una revisión de literatura previa a la elaboración del plan de recolección de datos.

A continuación, se describe la información encontrada de 2 fuentes bibliográficas:

- Marcello Braglia, Leonardo Marrazzini & Luca Padellini (2020) en su artículo sobre el diseño de un sistema de control de producción basado en Cobacabana analizaron 3 distintas variables: mean total throughput time, días promedio de retraso de una orden y porcentaje de órdenes enviadas tarde.
- Matthias Thürer, Martin J. Land, Mark Stevenson & Lawrence D. Fredendall (2016) en su trabajo refinan al existente diseño de sistema de control de producción COBACABANA adecuando la estimación de la fecha de entrega.

En la empresa metalmecánica se estudiaron las variables anteriormente mencionadas y mediante entrevistas con los colaboradores de la compañía se definió lo que debía recolectarse para poder medir dichas variables. En la tabla 2.5, se puede observar el plan que se realizó tomando en consideración los siguientes parámetros:

- Categoría, definición operacional, unidad de medición y tipo de dato.
- Fuente de información
- Fecha y lugar de la recolección de información
- La técnica de observación, el método de recolección y de validación
- El uso futuro de los datos
- Responsables de la recolección
- Estado actual de la información recolectada

Tabla 2.5 Plan de recolección de datos

Fuente: Elaboración propia

¿Qué?					¿Dónde?	¿Cuándo?	¿Cómo?			¿Por qué?	¿Quién?	Estado de Recolección
N°	Categoría	Definición Operacional	Unidad de Medición	Tipo de Data	Fuente	Tiempo	Método de Observación	Método de Recolección	Método de Validación	Uso a futuro	Responsable	
1	Productos	N° de familia de productos	Unidad	Cuantitativo	Bitácoras de Producción, Formulario de Trabajos Asignados	Durante la Fase de Medición	Observación Directa	Solicitar las bitácoras de producción y los formularios de trabajos asignados para revisar la información relacionada con los grupos de productos.	Validar con el Gerente de Planta que la información recolectada a través de las bitácoras y formularios usados sea correcta.	Esta información será usada en la etapa de Análisis para diagramar las familias de productos.	S. Carrillo N. Alvarado	En Proceso
2	Fecha	Fecha de despacho del producto	Fecha	Cuantitativo – Discreto	Base de datos SAP	Durante la Fase de Medición	Observación Directa	Descarga los datos históricos de las guías de remisión de abril a junio de 2022.	Validar que la fecha de despacho del producto final sea registrada correctamente por el personal de almacén antes de guardarlo en el sistema ERP.	Para calcular indicadores como <i>Nivel de Servicio y Días de Tardanza</i> . Esta información será usada en la etapa de Análisis	S. Carrillo N. Alvarado	En Proceso
3	Fecha	Fecha de finalización de una orden de producción	Fecha	Cuantitativo – Discreto	Base de datos SAP	Durante la Fase de Medición	Observación Directa	Descarga los datos históricos de las órdenes de fabricación de abril a junio de 2022.	Validar que la fecha en que un producto finaliza su proceso de fabricación esté correctamente ingresada en el sistema ERP contrastando la información con un formulario entregado al personal de producción.	Para calcular indicadores como <i>Nivel de Servicio, Tiempo medio de rendimiento total y Tiempo de producción total</i> . Esta información será usada en la etapa de Análisis	S. Carrillo N. Alvarado	En Proceso
4	Fecha	Fecha de emisión de Orden de Venta	Fecha	Cuantitativo – Discreto	Base de datos SAP	Durante la Fase de Medición	Observación Directa	Descarga los datos históricos de las órdenes de venta de abril a junio de 2022.	Validar que la fecha de venta de un producto esté correctamente registrada en el Sistema ERP actual contrastando la información con un formulario de validación entregado al personal de ventas	Para calcular indicadores como <i>Tiempo medio de rendimiento total y Días de Tardanza</i> . Esta información será usada en la etapa de Análisis.	S. Carrillo N. Alvarado	En Proceso
5	Gente	Índice de satisfacción laboral	Porcentaje	Cuantitativo – Continuo	Google Forms	Durante la Fase de Medición	Encuestas	Enviar la encuesta de Google Forms al Departamento de Ventas y Producción	Basada en la encuesta de satisfacción laboral creada por Paul E. Spector, miembro del departamento de psicología de la Universidad del Sur de Florida. Luego, se validó con el Gerente de Planta y se envió al Departamento de Ventas y Producción.	Para evaluar el impacto social del prototipo. Estos datos se utilizarán en la fase de análisis y prototipo.	S. Carrillo N. Alvarado	En Proceso
6	Costo	Costo de Horas Extra	USD \$	Cuantitativo – Continuo	Base de datos de Finanzas	Durante la Fase de Medición	Observación Directa	Descargar la base de datos financiera de abril a junio de 2022 y filtrar el costo total de horas extras.	El costo de la hora extra se validó mediante la observación directa del rol de pago de cada trabajador de abril a junio.	Calcular la cantidad de dinero invertido en costos de horas extras. Estos datos se utilizarán en la fase de análisis y prototipo.	S. Carrillo N. Alvarado	En Proceso
7	Recursos	Uso de papel	Número de hojas / día	Cuantitativo – Continuo	Registros de producción	Durante la Fase de Medición	Entrevistas	Datos históricos físicos guardados en el Departamento de Producción	Se validó a través de gamba contando cada una de las hojas impresas en los 3 meses.	Asegurarse de que con el diseño implementado no aumente la cantidad de uso de papel. Estos datos se utilizarán en la fase de análisis y prototipo.	S. Carrillo N. Alvarado	En proceso



### **2.2.2. Verificación de los datos**

De cada uno de los datos descritos en la tabla anterior se verificó que la fuente y el método de recolección sean confiables, con el fin de obtener resultados correctos.

- Se definió la familia de productos en conjunto con el Jefe de Planta y se validó mediante la revisión detallada de los distintos tipos de productos registrados en las bitácoras de producción por máquina y en los reportes de los trabajos asignados diarios.
- Para los datos que entran en la categoría fecha, se comparó los reportes generados en el módulo de SAP con una muestra descrita en una hoja de cálculo de Excel, la cual recolectó los datos más importantes de las órdenes de venta, las órdenes de fabricación cerradas, y las guías de remisión emitidas. Se comprobó que los datos coincidían en un 100% demostrando que la información ingresada en los reportes de SAP es correcta.
- El índice de satisfacción laboral se obtuvo mediante una encuesta enviada por Google Forms y tomando como base las preguntas diseñadas por Paul E. Spector, miembro del departamento de psicología de la Universidad del Sur de Florida. Luego, se validó cada una de las preguntas con el Gerente de Planta y se envió al Departamento de Ventas y Producción. Los resultados coincidieron con los hallazgos realizados en la primera etapa del proyecto.
- El cálculo del costo de horas extras se obtuvo mediante el reporte de nómina mensual considerando los meses de marzo, abril y mayo. La verificación se llevó a cabo mediante observación directa de cada una de los roles de pago de los empleados de planta. Se comprobó que el 100% de la información descrita en los reportes es correcta y por lo tanto confiable.

- El conteo del uso de papel se realizó mediante observación directa y una entrevista al Jefe de Planta. Para ello, se sacaron cada una de las carpetas de los formularios de trabajos asignados y del cronograma diario de producción de los últimos 3 meses y se contaron todas las hojas archivadas.

## **2.3. Etapa de análisis**

En esta etapa se describen las distintas alternativas de diseño y se selecciona la más adecuada, considerando las especificaciones técnicas obtenidas del QFD, las restricciones de diseño y un análisis financiero que permitirá conocer la opción más factible.

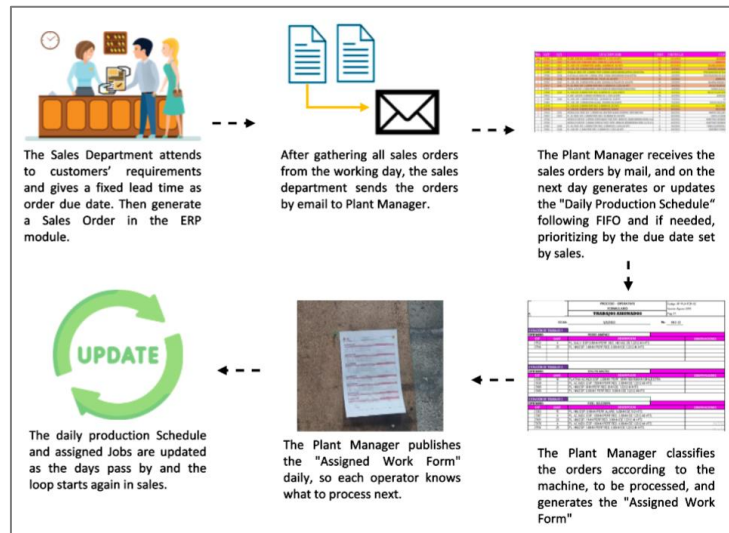
### **2.3.1. Opciones de Diseño**

#### **2.2.1.1 Alternativa 0**

La alternativa cero contempla la situación actual de la empresa, en donde el establecimiento de la fecha de entrega de una orden lo da el personal de ventas con respecto a unas fechas fijas de entrega. Al dar fechas de entrega, ventas no toma en cuenta la carga presente en la planta al momento de aceptar la orden; en consecuencia, las fechas de entrega no se cumplen y el nivel de servicio es bajo.

En la Figura 2.5, se grafica el diagrama de la situación actual de la empresa. A continuación, se procede a explicar la dinámica. Cuando un cliente llega a las oficinas de ventas, ubicadas en la matriz, el personal de ventas acepta ordenes dando fechas de entrega fijas preestablecidas. En el transcurso del día recolectan todas las órdenes de ventas, posteriormente se las suben al módulo de ERP y se las envían por correo al Jefe de Planta.

El Jefe de planta por su parte, en base a la información sobre las ventas enviadas al finalizar del día anterior, procede a crear el cronograma de producción diario con las actualizaciones necesarias al igual que el formato de trabajos asignados en donde se explica el ruteo de la orden y la persona encargada de procesarla.



**Figura 2.5 Diagrama de la situación actual de la empresa**

**Fuente: Elaboración propia**

### 2.2.1.2 Alternativa 1

La presente alternativa se basa en la propuesta de Land con refinamientos en el cálculo de la fecha de entrega (Thürer et al. 2014). Se divide en la gestión de consulta de los clientes en donde el departamento de ventas calcula la fecha de entrega basándose en el “*Tablero de Ventas*” y el “*Tablero de planificación*”; cuenta además con un tablero de espera en donde se posicionan las órdenes previas a ser liberadas al tablero de planificación. Las limitaciones de esta propuesta radican en que el tablero de espera no cuenta con un orden en específico, sino que las ordenes sólo se liberan tomando en cuenta la fecha de entrega prometida; además, las tarjetas de los tableros de *planificación* y *ventas* son de tres tamaños y representan horas.

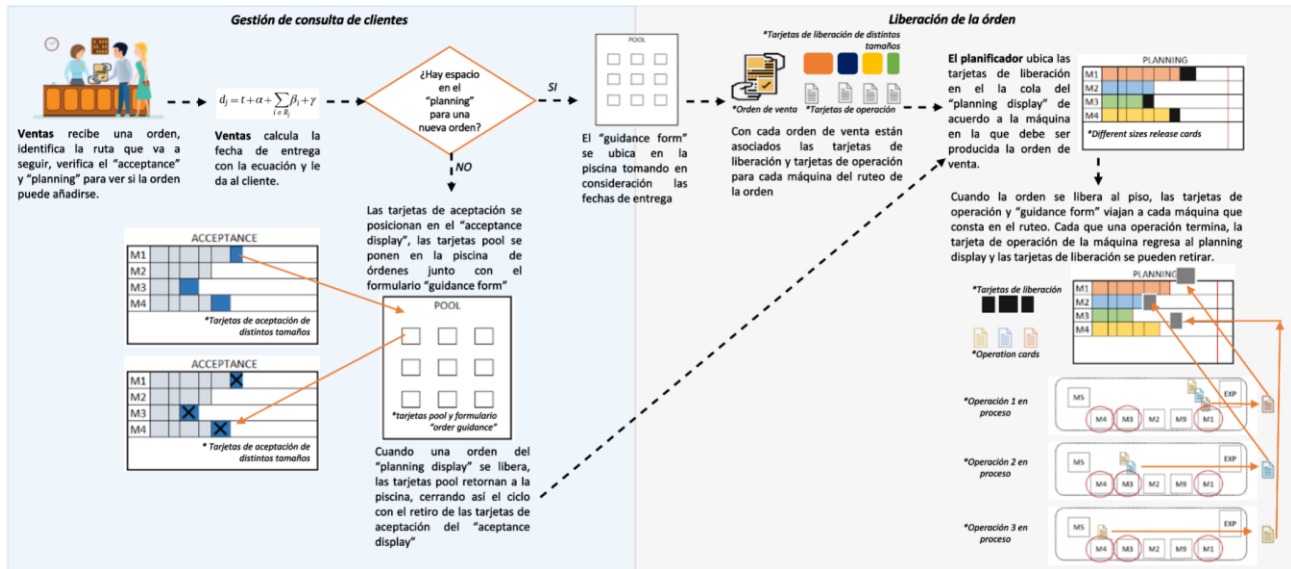


Figura 2.6 Diagrama de la alternativa de diseño 1

Fuente: Elaboración propia

### 2.2.1.3 Alternativa 2

Esta opción se basa en el artículo titulado en inglés como “*COBACABANA: a real industrial application in a job shop system*” escrito por Marcello Braglia, Leonardo Marrazzini y Luca Padellini (2020). El caso de estudio consiste en colocar 3 tableros en la planta de producción, el primero titulado “Tablero de Espera”, el cual permite tener una alerta de las órdenes que están por vencer. El segundo es el “Tablero de planificación”, el cual brinda una idea de la ocupación de cada máquina en la planta. Y el tercero es el “Tablero de Ventas”, el cual muestra todas las órdenes que han sido liberadas a piso con el fin de lograr trazabilidad de estas. La principal limitación de esta alternativa es que no se considera la interacción con el departamento de ventas, es decir que no es posible estimar una fecha de entrega prometida al cliente.

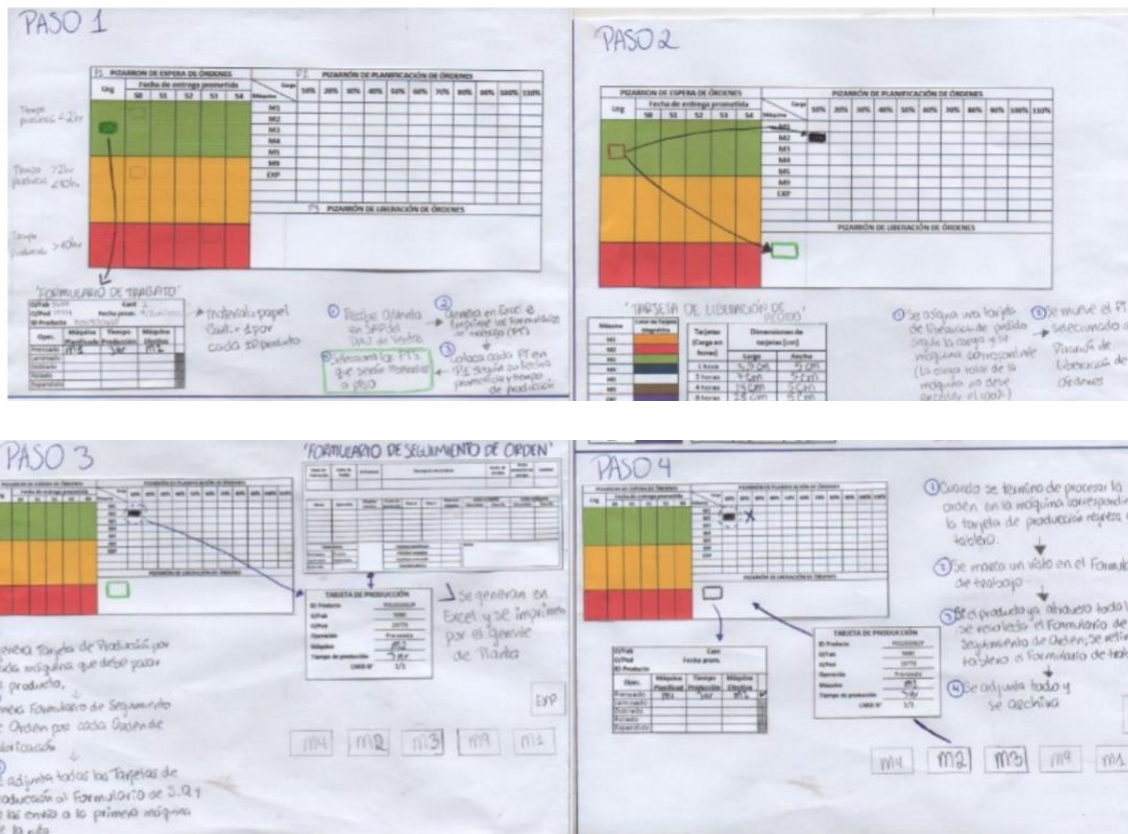


Figura 2.7 Diagrama de la alternativa de diseño 2

Fuente: Elaboración propia

### 2.2.1.4 Alternativa 3:

Para el desarrollo de esta opción se tuvo como base los dos artículos mencionados en la opción 1 y opción 2, escogiendo las herramientas que mejor se adaptan a la dinámica de la empresa. De la Alternativa 1, se acogió el “Tablero de Espera” con el fin de dar seguimiento a las órdenes y alertarse cuando una está por vencer; mientras que de la alternativa 2, se hizo uso del “Tablero de planificación” y el “Tablero de Ventas”, ambos con el fin de conocer la ocupación real de la planta y tener trazabilidad de las órdenes.

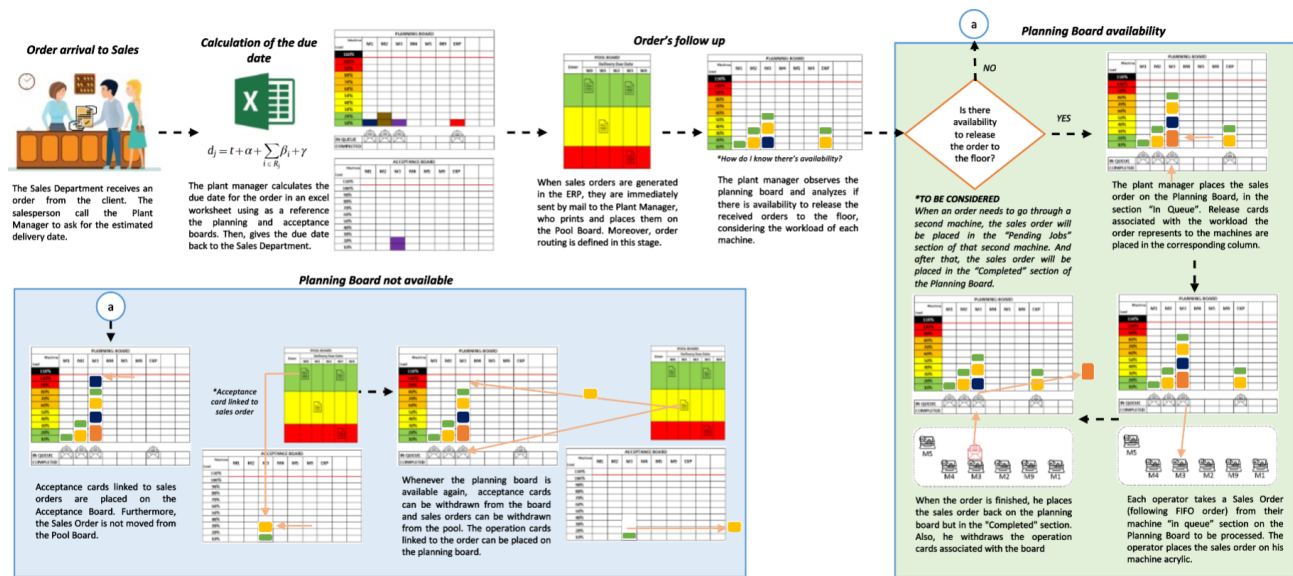


Figura 2.8 Diagrama de la alternativa de diseño 3

Fuente: Elaboración propia

### 2.3.2. Análisis de alternativas según las restricciones de diseño

Para analizar si las alternativas propuestas cumplen o no con las especificaciones técnicas y con las restricciones de diseño se realizó una matriz de Pugh. Con la ayuda del Jefe de Planta se evaluó el nivel de importancia de cada criterio considerando una escala de 1 a 5, y para medir la relación se usa 1 si la opción satisface el criterio y 0 si no lo hace. En la tabla 2.6 se presenta la matriz en cuestión.

**Tabla 2.6 Matriz de relaciones de Pugh. Fuente: elaboración propia.**

	Criterios	Importancia	Alternativa 0	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
			Situación actual	Refinamiento COBACABAN A (2016)	Aplicación real en la industria (2020)	Modelo combinado adaptado
<b>Requerimientos técnicos críticos</b>	Tener un nivel de servicio mínimo del 85%.	5	0	1	0	1
	Sistema de planificación y control para un entorno de General Flow Shop.	4	0	1	1	1
	Plazos de entrega prometidos ajustados al tipo de productos	5	0	1	0	1
	Trazabilidad de órdenes de trabajo entre Ventas y Producción.	4	1	1	0	1
<b>Requerimientos adicionales</b>	Un Sistema hecho con material no digital.	2	0	1	1	1
	Un sistema que considere la posible adhesión de máquinas en la planta.	2	0	0	0	1
	Establezca un margen de tiempo de 1 día para cualquier pedido.	3	0	0	0	1
<b>Restricciones de diseño</b>	La solución propuesta no debe requerir más de \$900.	4	1	1	1	1
	El diseño debe ser desarrollado e implementado en menos de 6 meses.	4	1	1	1	1
	No es posible tener una sola persona administrando la solución debido a la corta fuerza laboral	4	0	0	1	1
	El diseño debe ser entendido y manejado por todo el personal operativo.	5	1	0	0	1
<b>PESO TOTAL</b>			<b>17</b>	<b>28</b>	<b>18</b>	<b>42</b>

### 2.3.3. Análisis Financiero

#### 2.3.3.1. Definir la unidad de costo del Análisis Costo-Beneficio (ACB)

El análisis costo beneficio será aplicado a una empresa metal mecánica cuya inversión inicial será de \$445. La principal prioridad en este análisis son los elementos de pago único como consecuencia de la implementación del diseño elegido en previas fases.

#### 2.3.3.2. Lista de costos tangibles

A continuación, se describen como costos tangibles los materiales a utilizarse en los diseños.

**Tabla 2.7 Lista de costos tangibles**

**Fuente: Elaboración propia**

Rubro	Precio [\$]	Cantidad [u]	Total [\$]
Sobre de acrílico para máquinas	10	10	100
Tablero de espera de corcho medidas 96x100 [cm]	50	1	50
Tachuelas	0,50	50	25
Tablero de ventas de acrílico medidas: 80x90 [cm]	50	1	50
Tarjetas de aceptación de orden N cantidad	0,10	50	5
Tablero de planificación de acrílico medidas: 80x90 [cm]	50	1	50
Tarjetas de liberación de orden N cantidad	0,10	50	5
Acrílicos de orden en cola y orden terminada	10	16	160
<b>Total</b>			<b>445</b>



### 2.3.3.3. Lista de beneficios esperados

- **Mejora en la comunicación Ventas-Producción**

Este beneficio logrará aumentar la productividad de la compañía, lo cual a su vez permite que se incrementen las ventas.

La opción 0 y opción 1 no consideran un flujo de información entre el departamento de ventas y de producción; mientras que la alternativa 2 involucra a ambos departamentos en la dinámica de trabajo de los tableros de control, sin embargo, por la disposición física de las áreas dentro de la empresa este trabajo en conjunto no es factible. En cambio, la alternativa 3 garantiza una comunicación fluida gracias a las políticas y procedimientos que el diseño incluye. Por lo tanto, esta última opción garantizará una mejora productividad y con ello un aumento en ventas.

- **Reducción de posibles ventas perdidas**

Este beneficio considera que a menor nivel de servicio es más probable que un cliente no desee volver adquirir un producto en la compañía y, por lo tanto, se considera un cliente perdido. A continuación, se muestra el nivel de servicio para cada una de las alternativas de diseño y su impacto directo en el costo por posibles ventas perdidas.

**Tabla 2.8 Nivel de servicio para cada alternativa de diseño**

Fuente: Elaboración propia

<b>Alternativa</b>	<b>Nivel de Servicio</b>	<b>Costo por posibles ventas perdidas [\$]</b>
Alternativa 0	74%	28000
Alternativa 1	80%	21000
Alternativa 2	80%	21000
Alternativa 3	90%	10000

- **Tiempo (Horas Extras)**

Para este análisis se utilizó el costo de horas extras por mes calculado en la etapa de medición y se tomó como supuesto la reducción de horas extras según la alternativa.

**Tabla 2.9 Horas extras para cada alternativa de diseño**

Fuente: Elaboración propia

Alternativa	Supuesto	Costo por mes [\$]
Alternativa 0	No hay cambios	612,95
Alternativa 1	Reducción del 75%	459,72
Alternativa 2	Reducción del 75%	459,72
Alternativa 3	Reducción del 50%	306,48

Basado en el análisis de los costos tangibles y de los beneficios esperados se muestran los resultados en la siguiente tabla.

**Tabla 2.10 Resultados del Análisis de Costos - Beneficios**

Fuente: Elaboración propia

Costo / Beneficio	Alternativa 0	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Tangibles (Materiales)	0	- 445	- 445	- 445
Mejora en el nivel de servicio	0	+ 7000	+ 7000	+18000
Reducción de horas extras	0	+ 153,23	+153,23	+ 306,47
Total	0	+ 6.708,23	+ 6.708,23	+ 17.860,47

Por lo tanto, se estima que la alternativa 3 conlleve mejores beneficios monetarios a la compañía.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1. Plan de Prototipado

Una vez seleccionado el mejor sistema que se adapta a los procesos y características de la compañía se procedió a definir un plan de prototipado que garantice cumplir con el desarrollo correcto del proyecto. Para ello, se inició con capacitaciones al personal operativo, seguido de las primeras pruebas piloto donde se brindó un gran acompañamiento por parte de las líderes, conforme fueron adquiriendo experiencia en el manejo de los tableros y tarjetas se les dejó de manera, siempre cuidando que se cumpla con los lineamientos del sistema.

Se consideró también pedir retroalimentación a los operarios y al jefe de planta en todo momento con el fin de buscar mejoras para la solución propuesta. Finalmente, se realizaron pruebas estadísticas que permitan medir el desempeño y eficiencia del diseño mejorado.

A continuación, se detalla las actividades asignadas en el plan, así como las fechas y los responsables de realizar cada una de ellas.

### 3.1.1. Plan de prototipo

**Tabla 3.1 Plan de prototipado**

Fuente: Elaboración propia

Fecha		Lugar	Descripción		Herramientas	Costo	Responsables	Estado de Validación
Inicio	Final	¿Dónde?	¿Qué?	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Qué tanto?	¿Quién?	
22-Ago	22-Ago	Planta	Capacitar al gerente de planta y personal operativo sobre el funcionamiento del nuevo sistema	Permite a los operadores y gerentes conocer las nuevas actividades que deben desarrollar en la implementación de los sistemas.	Marcadores, post-its, cinta adhesiva, comida	24\$	Nicole Alvarado & Samantha Carrillo	Terminado
22-Ago	26-Ago	Planta	Realizar pruebas piloto considerando solo el tablero de producción con una norma infinita	Permite controlar las órdenes de producción liberadas al piso.	Software Microsoft Excel, Prototipo de valor mínimo	0\$	Nicole Alvarado & Samantha Carrillo	Terminado
29-Ago	8-Sept	Planta	Realizar ajustes en función de los resultados de las pruebas piloto para proceder a la implantación del MVP 2.0	Se pueden controlar las órdenes de producción liberadas al piso y en espera.	Software Microsoft Excel, prototipo de valor mínimo	0\$	Nicole Alvarado & Samantha Carrillo	Terminado
1-Sept	1-Sept	Planta	Validar el sistema aplicado con los operadores	Garantiza el cumplimiento de las especificaciones y restricciones de diseño.	Cálculos del software Microsoft Excel, estadística inferencial y descriptiva	0\$	Nicole Alvarado & Samantha Carrillo	Terminado
2-Sept	2-Sept	Casa	Ajustar el sistema de acuerdo con la retroalimentación del cliente	Garantizar que la adaptación del diseño esté alineada con la dinámica de la empresa.	Software Microsoft Excel y Power Point, Autocad	0\$	Nicole Alvarado & Samantha Carrillo	Terminado
3-Sept	4-Sept	Casa	Desarrollar un análisis de sensibilidad para el sistema propuesto.	Le permite determinar los límites de funcionalidad del sistema seleccionado.	Microsoft Excel Software	0\$	Nicole Alvarado & Samantha Carrillo	Terminado
5-Sept	5-Sept	Planta	Compra de los tableros y otros materiales que se utilizarán en el sistema.	Se utilizará para la implementación de la sistema de control de producción.	A través de proveedores	900\$	Nicole Alvarado & Samantha Carrillo	En proceso
6-Sept	7-Sept	Planta	Instalar los tableros y otros materiales en la planta.	Se utilizará para la implementación del sistema de control de producción.	Tableros, herramientas de mano	0\$	Nicole Alvarado & Samantha Carrillo	En proceso
8-Sept	8-Sept	Planta	Mida las métricas de resultados finales triples	Evaluar el cumplimiento de las métricas de sostenibilidad.	Microsoft Excel Software	0\$	Nicole Alvarado & Samantha Carrillo	Terminado

### 3.2. Diseño final

Se realizaron pruebas piloto durante 3 semanas seguidas con el fin de evaluar el rendimiento del diseño propuesto y su impacto sostenible en la compañía, así también se pidió retroalimentación por parte del jefe de planta y el personal operativo buscando conocer la experiencia del usuario durante la interacción con el sistema. Gracias a ello fue posible considerar mejoras en la propuesta logrando definir el diseño y su flujo de información como se ve a continuación:

#### 3.2.1. Proceso de Asignación de fechas de entrega

El proceso inicia cuando el cliente solicita un pedido a la persona encargada del departamento de ventas, dicha persona registra las características del producto indicado y se contacta con el Jefe de planta para pedir la fecha de entrega estimada. El jefe de planta calcula la fecha en una plantilla de Excel basándose en la carga actual de los tableros del sistema; los dos posibles escenarios son:

##### 3.2.1.1. Escenario 1: Existe Disponibilidad en el Tablero de Planificación

La fecha de entrega es igual a la suma de las normas de cada una de las máquinas por las que pasa la orden de producción considerando además 3 días por espera de materia prima y 1 día de la operación logística para el despacho del producto.

$$Fecha\ de\ entrega = \frac{\sum_i^n N_i}{7,5\ horas} + 4\ días$$

(22)

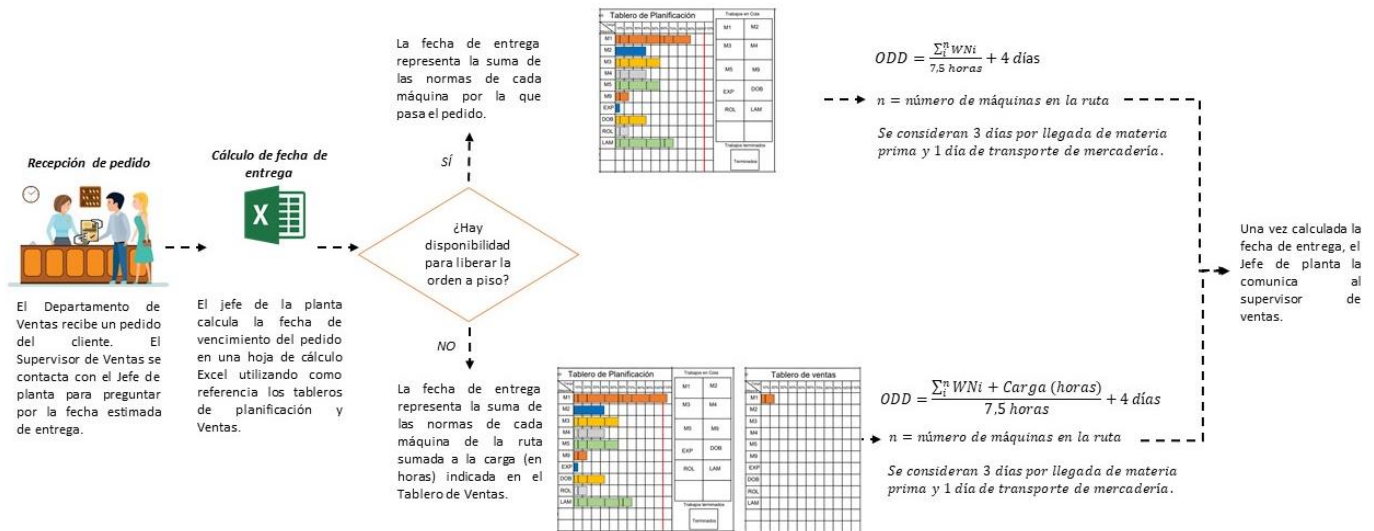
$N_i$  = Norma de la máquina  $i$

$n$  = número de máquinas en la ruta de trabajo

##### 3.2.1.2. Escenario 2: No existe Disponibilidad en el Tablero de Planificación

La fecha de entrega es igual a la suma de las normas de cada una de las máquinas por las que pasa la orden de producción agregando la carga actual de dicha máquina en el Tablero de Ventas y considerando 3 días por espera de materia prima y 1 día de la operación logística para el despacho del producto.

En la siguiente imagen se aprecia el flujo del proceso descrito:



**Figura 3.1. Flujo de asignación de fechas de entrega**

**Fuente: Elaboración propia**

### 3.2.2. Proceso de Posicionamiento de tarjetas en los tableros

Este proceso involucra únicamente al personal de planta e inicia cuando el jefe de planta recibe órdenes de ventas enviadas a través de correo electrónico, seguido decide la ruta que va a seguir cada una de las órdenes y analiza la disponibilidad de carga en de las máquinas a usarse. Así como en el proceso anterior se pueden presentar dos casos:

#### 3.2.2.1. Escenario 1: Existe Disponibilidad en el Tablero de Planificación

Cuando existe disponibilidad en el tablero de planificación se procede a liberar la orden a piso y se asigna una tarjeta de carga (5%, 10%, 15% o 20%) según su tiempo de procesamiento. Inmediatamente, se imprime la orden de venta que servirá para que los operarios conozcan las especificaciones del producto que deberán realizar. Una vez que

se ha terminado de producir el pedido la orden de venta se regresa al tablero de planificación a la sección “Completado” y se saca la tarjeta vinculada a dicho producto.

### 3.2.2.2. Escenario 2: No existe Disponibilidad en el Tablero de Planificación

Si no existe disponibilidad en el tablero de planificación se procede a colocar la orden de venta impresa en el tablero de espera considerando dos parámetros:

**Fecha de entrega estimada:** se ubican según la columna correspondiente tomando la fecha inicial como el día en que se aceptó y se facturó el pedido.

**Tabla 3.2 Clasificación por franjas según la fecha de entrega estimada**

Fuente: Elaboración propia

Clasificación	Rango
Emergencia	Mismo día
S0	De 1 a 7 días
S1	De 8 a 14 días
S2	De 15 a 21 días
S3	De 22 a 28 días
S4	Mayor a 28 días

**Tiempo de procesamiento:** se ubica según la fila correspondiente considerando los siguientes tiempos en horas.

**Tabla 3.3 Clasificación por franjas de colores según el tiempo de procesamiento**

Fuente: Elaboración propia

Clasificación	Tiempo de procesamiento
Verde	$t \leq 2$ horas
Amarillo	$2 \text{ horas} < t < 10 \text{ horas}$
Rojo	$t \geq 10$ horas

Adicional, se coloca una tarjeta en el tablero de ventas para que represente la carga de trabajo de la orden que se encuentra en espera y, apenas se liberen órdenes del tablero de planificación se procede a enviar el pedido a producción.

En la siguiente imagen se observa el flujo descrito para este proceso:

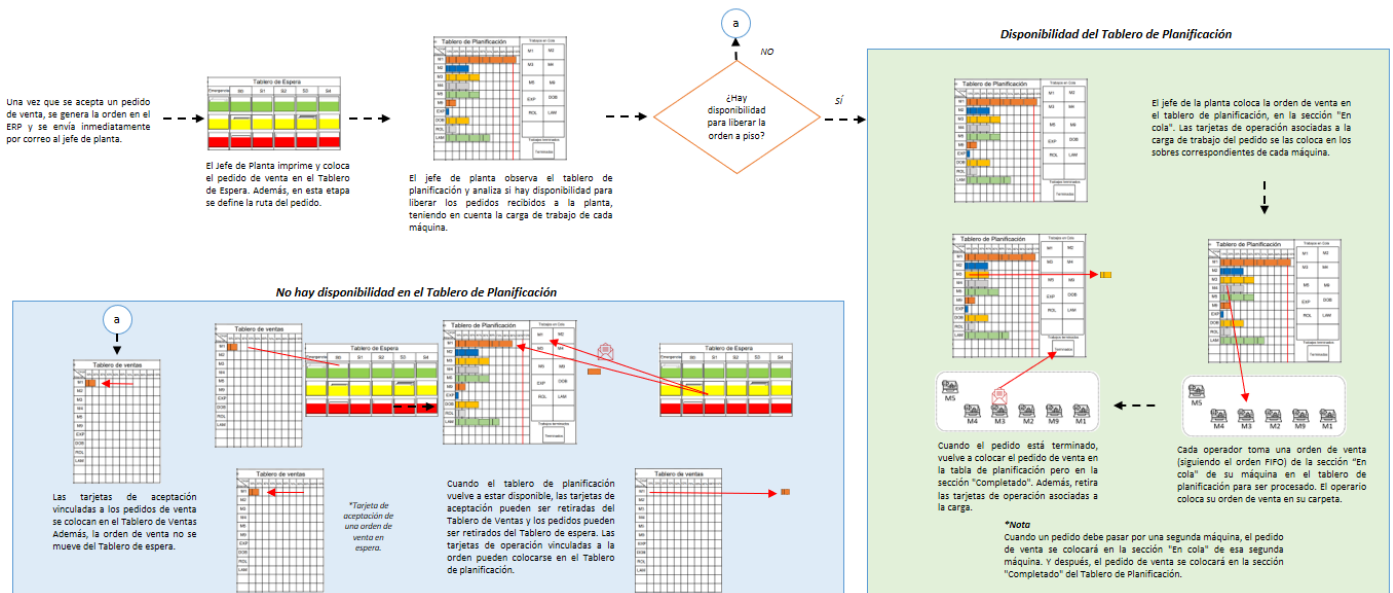


Figura 3.2 Flujo de navegación de tarjetas en el sistema

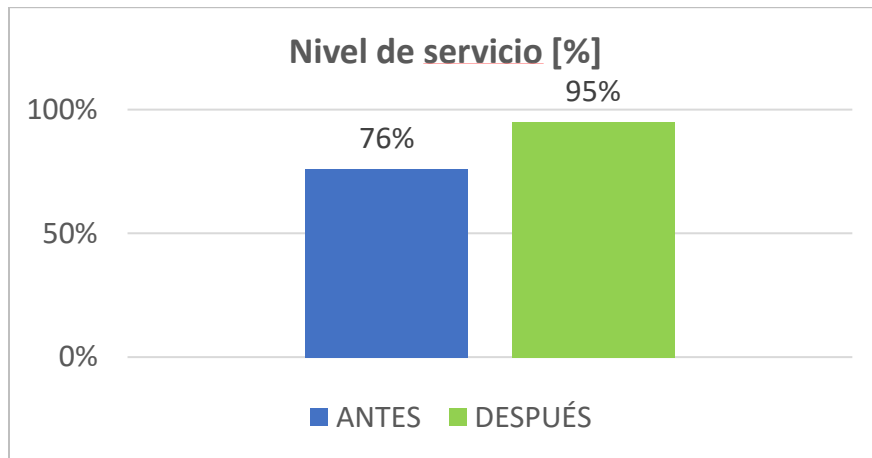
Fuente: Elaboración propia

### 3.3. Resultados de los Indicadores de Desempeño

#### 3.3.1. Nivel de Servicio [%]

El nivel de servicio en el presente proyecto se definió como el porcentaje de pedidos que se logran entregar dentro del plazo prometido al cliente. Con la implementación del nuevo sistema el nivel de servicio aumentó en un 19% llegando a cumplir con la fecha de entrega en un 95% de las órdenes.





**Figura 3.3 Resultados del nivel de servicio**

**Fuente: Elaboración propia**

Se realizó la prueba estadística de proporciones con  $\alpha$  de 0.5 en donde se probaron las siguientes hipótesis:

- $H_0$  | La proporción muestral de dos grupos son iguales.  
 $H_1$  | La proporción muestral de dos grupos son distintos.

Null hypothesis	$H_0: p_1 - p_2 = 0$	
Alternative hypothesis	$H_1: p_1 - p_2 \neq 0$	
<b>Method</b>	<b>Z-Value</b>	<b>P-Value</b>
Normal approximation	3,71	0,000
Fisher's exact		0,004

*The normal approximation may be inaccurate for small samples.*

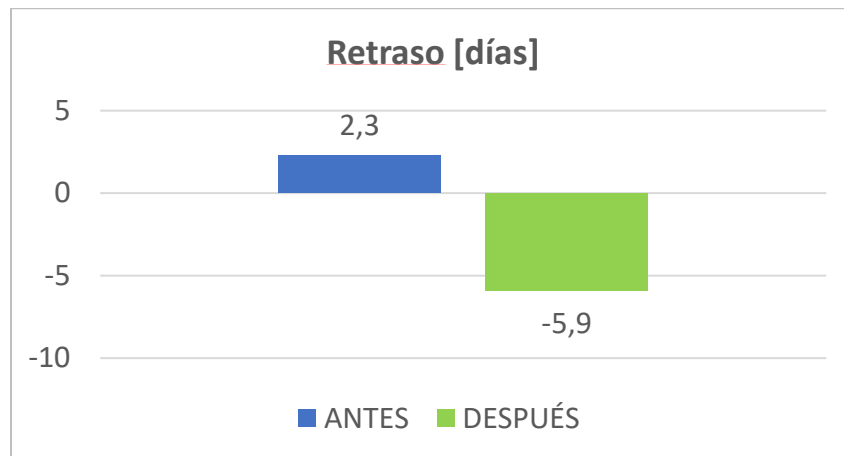
**Figura 3.4 Resultados de las pruebas estadísticas**

**Fuente: Elaboración propia**

Debido a que el valor  $p \leq \alpha$ , existe una diferencia estadísticamente significativa entre las proporciones muestrales; por ende, las proporciones de los dos grupos son distintas.

### 3.3.2. Retraso [días]

El retraso representa el número de días posteriores o con antelación a la fecha prometida al cliente en que se despacha una orden. Previo a la implementación de la solución, la empresa presentaba un retraso de 2,3 días, es decir que en promedio las órdenes eran entregadas 2,3 días después de su fecha límite. Por otro lado, cuando se implementó el sistema de control la compañía fue capaz de entregar sus órdenes con 5,9 días de antelación.



**Figura 3.5 Resultados del indicador de retraso en días**

**Fuente: Elaboración propia**

Se verificó normalidad en los datos sobre días de retraso recolectados durante la implementación del mínimo producto viable (MPV), obteniendo que la data no sigue una distribución normal.

Posteriormente, se utilizó la prueba estadística no paramétrica U de Mann-Whitney con  $\alpha$  de 0.5 en donde se probaron las siguientes hipótesis:

- |                |  |   |
|----------------|--|---|
| H <sub>0</sub> |  | Las medianas de los dos grupos son iguales.   |
| H <sub>1</sub> |  | Las medianas de los dos grupos son distintas. |

Null hypothesis	$H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$	
Alternative hypothesis	$H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$	
<b>Method</b>	<b>W-Value</b>	<b>P-Value</b>
Not adjusted for ties	3127,50	0,000
Adjusted for ties	3127,50	0,000

**Figura 3.6 Resultados de las pruebas estadísticas**

**Fuente: Elaboración propia**

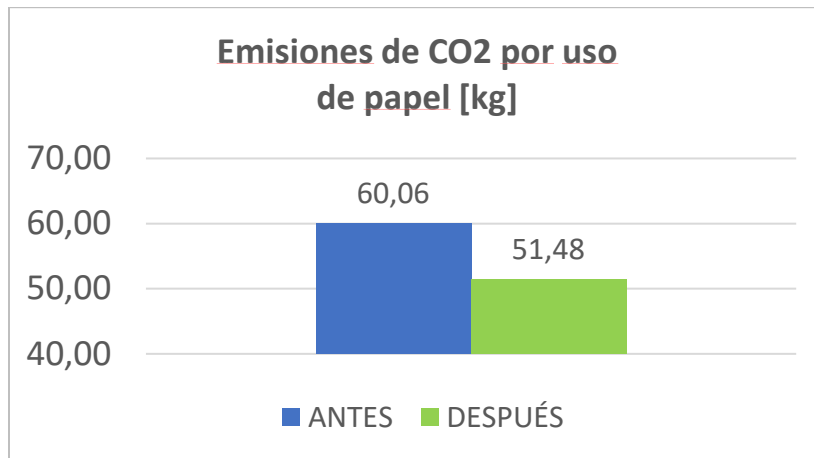
Debido a que el valor  $p \leq \alpha$ , existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas; por ende, las medianas de los dos grupos son distintas.

### **3.4. Métricas de Sostenibilidad**

#### **3.4.1. Reducción en las emisiones de CO2 por uso de papel por año**

Para la métrica relacionada con el medio ambiente, se consideró el indicador de emisiones de CO2 por uso de papel. La situación previa a la implementación del sistema COBACABANA en departamento de producción de la empresa es la siguiente, se imprimen dos hojas diarias de trabajos asignados en donde se muestran las órdenes liberadas al piso de trabajo, además, las órdenes de ventas que en promedio son 130 órdenes/mes también se imprimen para entregar al área de matricería y operadores de la planta. De este modo, tomando en cuenta que 1 Kg de hojas de papel genera aproximadamente 3.3 kg de CO2, la generación de CO2 anual para este primer escenario es de 60,06 Kg.

Para el escenario en donde COBACABANA es implementado, sólo se necesitarán las órdenes de venta más no los formularios de trabajos asignado debido a que esta función la suple el sistema COBACABANA, por ello la generación anual en Kg sería de 51,48 Kg.

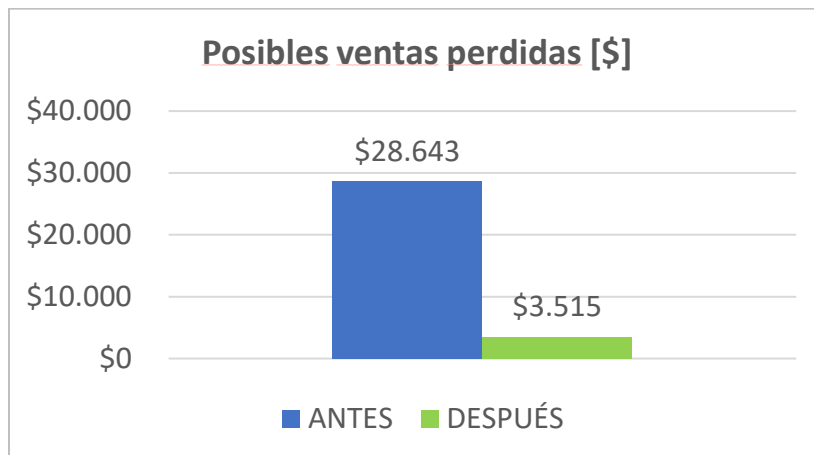


**Figura 3.7 Resultados del indicador de Emisiones de CO2 por uso de papel**

**Fuente: Elaboración propia**

### 3.4.2. Reducción en posibles ventas perdidas por mes

Este indicador considera la situación en que un cliente recibió su pedido al menos un día tarde generando que tenga una mala experiencia de usuario, y por lo tanto es muy probable que no desee volver adquirir un producto en la compañía. Antes de utilizar el nuevo sistema, existía la posibilidad de que la empresa deje de percibir cerca de 29 mil dólares como ingresos, mientras que con la situación mejorada se redujo dicha posibilidad en ventas perdidas a 3515 dólares.

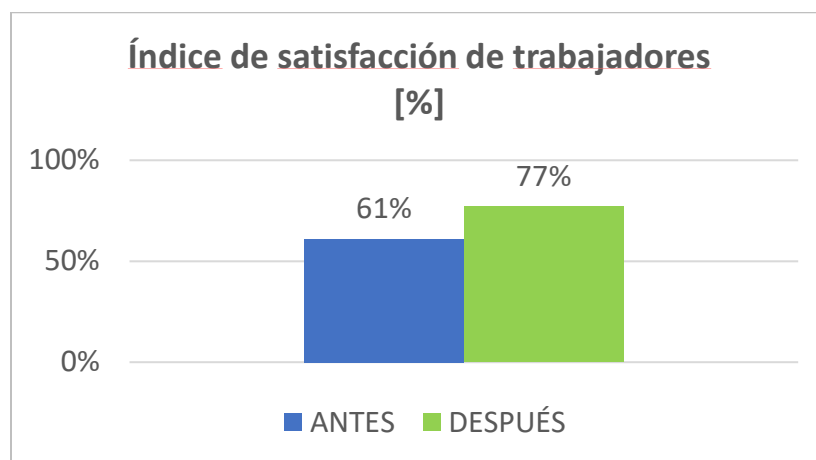


**Figura 3.8 Resultados de posibles ventas perdidas**

**Fuente: Elaboración propia**

### 3.4.3. Índice de satisfacción de trabajadores

La medición se basó en el mismo cuestionario utilizado en la segunda fase del proyecto; se contrastaron los resultados y se obtuvo que el nivel de satisfacción laboral aumentó en un 16% a la situación anterior. Esto quiere decir que los colaboradores poseen una mejor comunicación con sus compañeros y entre departamentos, además se sienten que su trabajo tiene un gran impacto a la empresa y reciben más reconocimientos por su buen desempeño.



**Figura 3.9 Resultados del índice de satisfacción de trabajadores**

**Fuente: Elaboración propia**

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

Las principales conclusiones obtenidas del presente trabajo son:

- El diseño se ajusta a las necesidades del cliente, a las especificaciones técnicas y a las restricciones establecidas en las fases anteriores, por lo tanto, fue posible mejorar la planificación y control de órdenes desde el ingreso del pedido hasta su despacho. Así también, se mejoraron las métricas de sostenibilidad como es el índice de satisfacción laboral.
- Con la implementación de la solución propuesta es posible conocer la carga de trabajo y los pedidos en proceso que posee cada máquina a tiempo real. De esta manera, es factible ofrecer fechas de entrega más confiables puesto que son ajustadas al tipo de producto.
- Se logró aumentar el nivel de servicio en un 19%, garantizando que el 95% de pedidos sean entregados a tiempo según la fecha prometida al cliente. Así también, se mejoró el indicador de días de retraso (*lateness*) pasando de entregar una orden con casi 3 días de atraso a poder entregar con 5 días de antelación.

### 4.2. Recomendaciones

- Adaptar el sistema COBACABANA a una solución innovadora y económica basada en la industria 4.0 considerando todas las limitaciones que existen en las PYMEs.
- Evaluar el funcionamiento del tablero de producción con distintos sets de normas por máquina para determinar la norma óptima.
- Evaluar la posibilidad de acoplar el sistema de ERP actual de la empresa con los conceptos y el flujo que maneja COBACABANA.
- Evaluar la adopción de normas dependientes al grado de ocupación que tiene la empresa (temporada alta y baja de ventas).

# BIBLIOGRAFÍA

- Cervone, F. (2009). Applied digital library project management: Using Pugh matrix analysis in complex decision-making situations. *OCLC Systems & Services* , 25, 228-232.
- Chapman Stephen N. (2006). *Planificación y Control de la Producción* (1er ed.). Pearson Educación de México.
- Cruz-Rivero, L., Mar-Orozco, C. E., Pérez-Salazar, M. D. R., Ortiz-Martínez, J. & Lince-Olguín, E. (2014). *Uso De TRIZ, VOC Y QFD como Herramientas para el Diseño de Nuevos Productos*. 17 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura
- Dalton, J. (2019). Gemba Walks. In *Great Big Agile*, 173-174.
- Fundación Universidad Empresa Región de Murcia, (2017). *Manual de Calidad*. Obtenido de [https://www.enaes.es/sites/default/files/sites/default/files/imagenes-editor/manual\\_calidad.pdf](https://www.enaes.es/sites/default/files/sites/default/files/imagenes-editor/manual_calidad.pdf)
- Ginting, R., Ishak, A., Fauzi Malik, A., & Satrio, M. R. (2020). Product Development with Quality Function Deployment (QFD): A Literature Review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1003, 012022. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1003/1/012022>
- Hopp, J., & Spearman, L. (2008). *Factory Physics* (3er ed.). Waveland Press, Inc.
- Knop, K., & Mielczarek, K. (2018). Using 5W-1H and 4M Methods to Analyse and Solve the Problem with the Visual Inspection Process-case study. In *MATEC Web of Conferences*, 183, 03006. DOI: 10.1051/mateconf/201818303006
- Marcello Braglia, Leonardo Marrazzini & Luca Padellini (2020). COBACABANA: a real industrial application in a job shop system. *Production Planning & Control*, 33, 1061-1077. DOI: 10.1080/09537287.2020.1843197
- Marques, P., & Requeijo, J. (2009). SIPOC: A Six Sigma Tool Helping on ISO 9000 Quality Management Systems. Artículo presentado en 3rd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management, XIII Congreso de Ingeniería de Organización Barcelona-Terrasa, Barcelona, España.
- Niebel, B. W., & Freivalds, A. (2014). *Ingeniería Industrial de Niebel: métodos, estándares y diseño del trabajo* (13ava ed.). McGraw Hill.
- Team Asana (2021), ¿Qué es un plan de implementación? Descubre cómo crear uno en tan solo 6 pasos. Asana, Inc. Accedido el 25 de julio, 2022 desde <https://asana.com/es/resources/implementation-plan>

Thürer, M., Land J. M., and Stevenson, M. (2014). Card-Based Workload Control for Job Shops: Improving COBACABANA. *International Journal of Production Economics*, 147 (PART A), 180–88. DOI:10.1016/j.ijpe.2013.09.015.

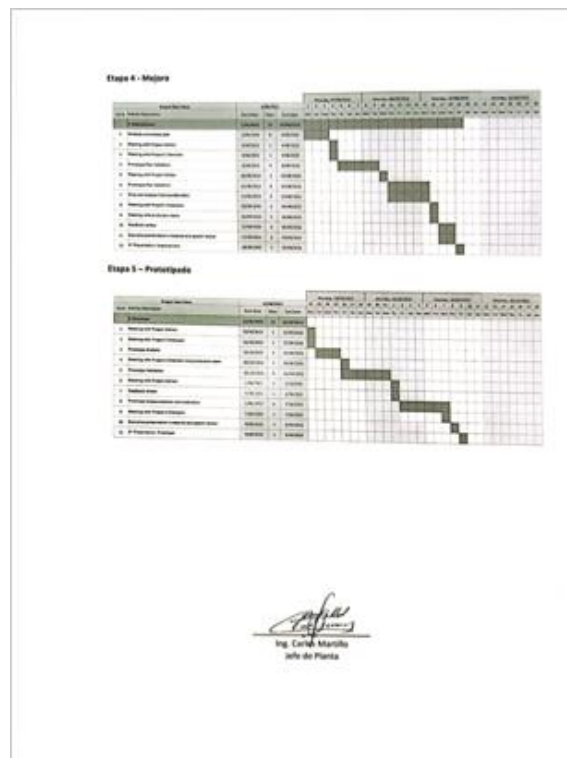
Zurita, G. (2010). *Probabilidad y Estadística Fundamentos y Aplicaciones* (2da ed.). Ediciones del Instituto de Ciencias Matemáticas ESPOL, Guayaquil-Ecuador



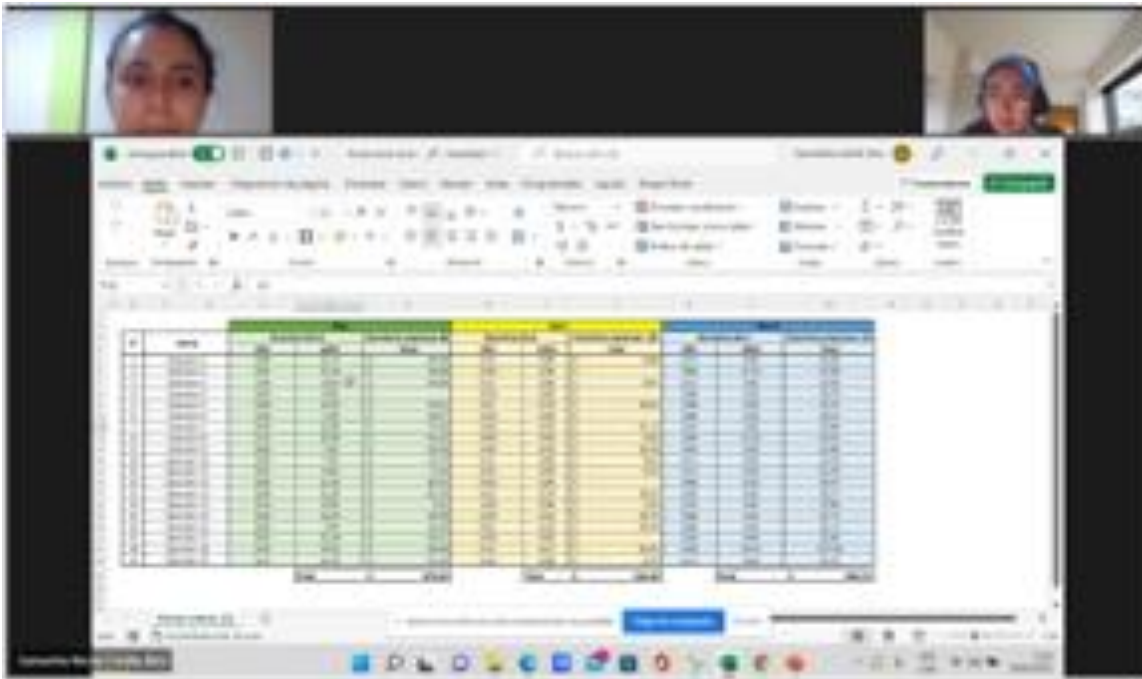
# APÉNDICES



Recolección y validación de las necesidades del cliente en la etapa de Definición.



Aprobación de la etapa de Definición por parte del Key Customer.



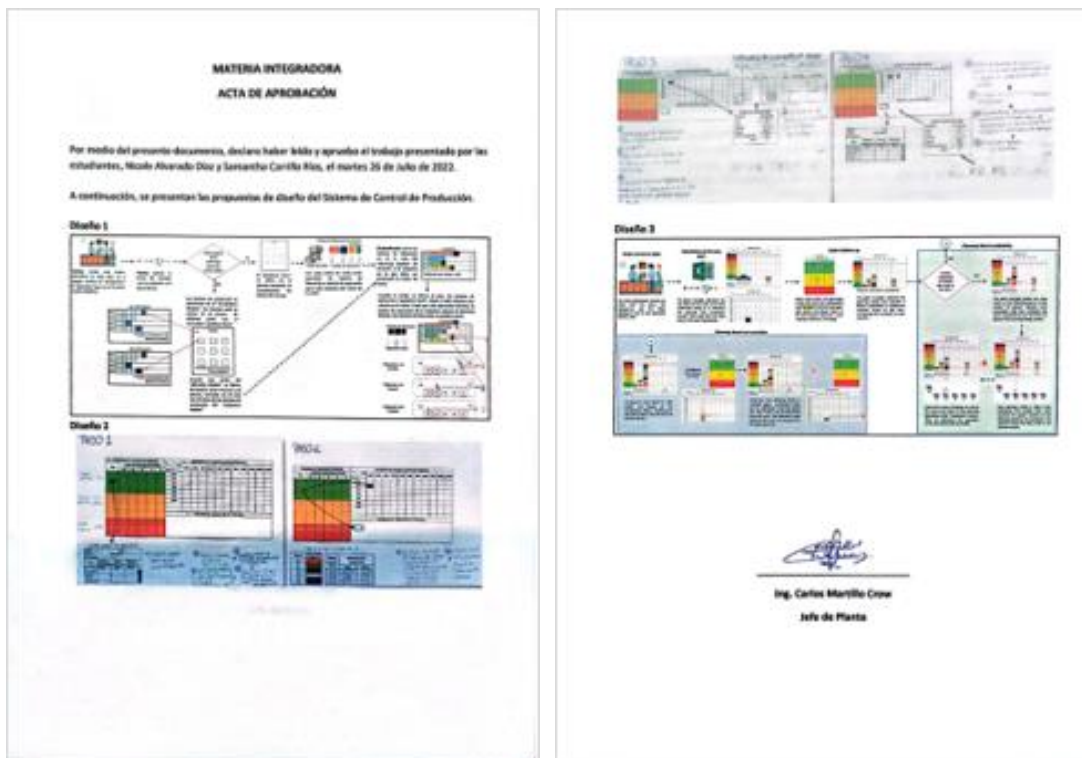
**Equipo trabajando en la etapa de Recolección de datos.**



**Aprobación de la etapa de Recolección de Datos por la compañía.**



Equipo de trabajo desarrollando las distintas alternativas de diseño en la etapa de Análisis.



Acta de aprobación de las alternativas de diseño por parte del Jefe de Planta.