

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

Desarrollo de un sistema de control de producción en un ambiente de  
producción discreta con alta variedad de productos y bajo volumen de  
producción

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingenieros Industriales**

Presentado por:

Jorge Andrés Chávez Palma

Juan Carlos Letechi Morán

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

## **DEDICATORIA**

Este proyecto se lo dedico a Jorge Chávez y Francisca Palma, que confiaron y me apoyaron en todo momento. A mi tía María Palma que desde el cielo me está protegiendo.

A mis hermanas, parte de mi familia, y amigos con los que pude compartir en todo este tiempo.

### **Jorge Chávez Palma**

A mis padres Luis y María, mis hermanos Jessica, Julissa (†) y Luis, mis sobrinos José, Xavier, Leandro, Elías, María José, Isabella y Valeria, por ese amor incondicional dado.

### **Juan Carlos Letechi Morán**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por bendecirme mucho en la vida y darme la oportunidad de estudiar en tan prestigiosa universidad. A mis padres Jorge Chávez y Francisca Palma por brindarme su apoyo incondicional, por su paciencia, su amor y sus ánimos en toda esta etapa. A mi hermana Katherine por darme el ejemplo del esfuerzo que conlleva la vida universitaria y apoyarme en todo momento. A mis profesores que me forjaron, enseñaron y compartieron sus conocimientos y tiempo en cada etapa de mi carrera universitaria en especial al Dr. Marcos Buestan y la Ing. María Isabel Alcívar.

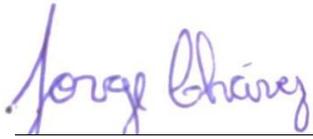
### **Jorge Chávez Palma**

A Dios, por darme todo. A Nuestra Madre la Virgen María y a San Ignacio de Loyola por interceder siempre ante Dios por todas mis peticiones. A mis padres, Luis y María por todo el amor incondicional y los valores enseñados a lo largo de mi existencia. A mis hermanos Jessica, Julissa (†) y Luis, por todo el apoyo dado a lo largo de mi vida. A mis sobrinos, José, Xavier, Leandro, Elías, María José, Isabella y Valeria por darme alegrías en mi vida. A mis amigos Gustavo Calderón S.J y Carlos Man Ging S.J, por todo el apoyo espiritual y académico dado. A mi amigo Anthony Villacís, por todo el apoyo brindado en mi carrera universitaria. A Isabel Alcívar MS y la Dra. Lucila Sigüenza por ser una gran guía y modelos que seguir por la contribución a mi formación académica. A Marcos Buestan, PhD., por su dirección a que se materialice este trabajo presentado.

**Juan Carlos Letechi Morán.**

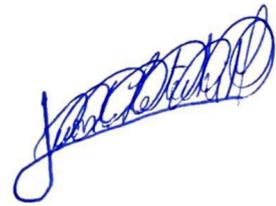
## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Jorge Andrés Chávez Palma y Juan Carlos Letechi Morán y 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"



---

Jorge Andrés Chávez  
Palma



---

Juan Carlos Letechi  
Morán

## **EVALUADORES**

.....  
**Jorge Abad M., Ph.D.**

PROFESOR DE LA MATERIA

.....  
**Marcos Buestán B., Ph.D.**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

En la última década, los productos o servicios se encuentran centrado al usuario, desarrollando en temas de educación el aprendizaje activo, que es un proceso cuyo centro es el aprendizaje del alumno. Actualmente, los estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial de la ESPOL no tienen una práctica simulada sobre un sistema de control de producción tipo Pull en cualquier tipo de ambientes de producción, solamente reciben el conocimiento teórico por parte de los docentes relacionados con la materia de sistemas de control de producción. Para el presente trabajo se realizó un prototipo acerca del desarrollo de un sistema de control de producción tipo Pull en un ambiente de producción discreto con alta variedad de productos y bajo volumen de producción, mediante la aplicación metodología JIT que permita la comprensión y aplicación de estas herramientas en una práctica de laboratorio para estudiantes de Ingeniería Industrial de una institución educativa, mediante el uso del software de simulación FlexSim, obteniendo como resultado de esta herramienta, un nivel de enseñanza superior y profesionales mejores capacitados en dichos temas. Concluimos que el uso de la técnica de simulación permite a los estudiantes de la carrera de ingeniería industrial el entendimiento de un sistema de control de producción tipo Pull, debido a que se puede visualizar en función del tiempo el comportamiento de este a través de los indicadores que miden el rendimiento del sistema.

**Palabras Clave:** Aprendizaje activo, Sistemas de Control de producción tipo Pull, Simulación, FlexSim.

## **ABSTRACT**

*In the last decade, the products or services are user-centered, developing active learning in education, which is a process whose center is the student's learning. Currently, students of Industrial Engineering at ESPOL do not have a simulated practice on a Pull type planning & production control system in any type of production environment, they only receive theoretical knowledge from teachers related to the subject of production control systems. For the present work a prototype was made about the development of a Pull type planning & production control system in a discrete production environment with a high variety of products and low production volume, through the application of JIT methodology that allows the understanding and application of these tools in a laboratory practice for students of Industrial Engineering of an educational institution, through the use of simulation software FlexSim, obtaining as a result of this tool, a higher level of education and better trained professionals in these topics. We conclude that the use of the simulation technique allows students of industrial engineering to understand a Pull type production control system, because it is possible to visualize the behavior of the system as a function of time through the indicators that measure the performance of the system.*

*Keywords: Active learning, Pull-type planning & production control systems, Simulation, FlexSim.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	I
ABSTRACT .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
CAPÍTULO 1 .....	1
1. Introducción .....	1
1.1 Descripción del problema.....	2
1.2 Definición del problema .....	2
1.2.1 5W+1H .....	2
1.2.2 Equipo de trabajo .....	3
1.2.3 VOC.....	4
1.2.4 Alcance.....	5
1.2.5 Restricciones de diseño .....	6
1.3 Justificación del problema.....	6
1.4 Objetivos .....	6
1.4.1 Objetivo General .....	6
1.4.2 Objetivos Específicos .....	7
1.5 Marco teórico .....	8
1.5.1 Seis Sigma .....	8
1.5.2 DMADV .....	8
1.5.3 Definir .....	8
1.5.4 Medir .....	8
1.5.5 Analizar .....	8

1.5.6	Diseñar .....	9
1.5.7	Verificar .....	9
1.5.8	VOC.....	9
1.5.9	QFD.....	9
1.5.10	SIPOC .....	9
1.5.11	5W + H .....	10
1.5.12	Diagrama de Afinidad.....	10
1.5.13	Metodología JIT.....	10
1.5.14	Modelo de asignación.....	10
1.5.15	Diagrama de Pareto .....	10
1.5.16	Sistema de Control de Producción tipo Pull .....	11
1.5.17	Mapa de la Cadena de Valor (VSM).....	11
1.5.18	Takt time.....	11
1.5.19	Every Product Every Cycle (EPEC).....	11
1.5.20	Sistema Kanban .....	11
CAPÍTULO 2 .....		12
2.	Metodología.....	12
2.1	Medición.....	12
2.1.1	Plan de recolección de datos .....	12
2.1.2	Tipos de datos obtenidos .....	13
2.2	Análisis .....	20
2.2.1	Análisis del estado actual .....	20
2.2.2	Propuesta 1: Tablero Kanban en todos los loops de trabajo .....	22
2.2.3	Propuesta 2: Kanban Triangular.....	32
2.2.4	Propuesta 3: Loop 1 Tablero Kanban, loop 2 Kanban triangular .....	55
2.2.5	Propuesta 4: Loop 1 Kanban Triangular, loop 2 Tablero Kanban.....	69
2.2.6	Herramientas financieras.....	86

CAPÍTULO 3 .....	87
3. Resultados y análisis .....	87
3.1 Tablas de resumen en función de los cálculos iniciales.....	87
3.2 Tablas de resumen en función del análisis de sensibilidad .....	88
3.3 Resultados de la validación de prototipo .....	90
CAPÍTULO 4 .....	91
4. Conclusiones y recomendaciones .....	91
4.1 Conclusiones .....	91
4.2 Recomendaciones .....	91
BIBLIOGRAFÍA	

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
DMADV	Define, Measure, Analyze, Design and Verification
MMP	Maestría de Mejora de Procesos
JIT	Just In Time
FIMCP	Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
SIPOC	Supplier, Input, Process, Output, Customer
VOC	Voice Of Customer
ONU	Organización de las Naciones Unidas
QFD	Quality Function Deployment
VSM	Value Stream Mapping
EPEC	Every Product Every Cycle
MPS	Master Production Schedule

## SIMBOLOGÍA

h	horas
Kg	Kilogramo

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: 5W + H .....	2
Figura 1.2: SIPOC .....	3
Figura 1.3 Equipo de trabajo .....	4
Figura 2.1 VSM propuesto en el caso de estudio .....	12
Figura 2.2: Plan de recolección de datos .....	13
Figura 2.3 Diagrama de Pareto de los rollos en función al volumen producido .....	14
Figura 2.4 Frecuencia entre arribos de los rollos.....	15
Figura 2.5 Frecuencia de arribos por producto.....	16
Figura 2.6: VSM – Propuesta 1 .....	22
Figura 2.7: Loop 1 – Área de impresión y sellado propuesta 1.....	23
Figura 2.8: LOOP 2 – Área de extrusión propuesta 1.....	29
Figura 2.9 VSM – Propuesta 2 .....	32
Figura 2.10 LOOP 1 – Área de impresión y sellado propuesta 2.....	33
Figura 2.11 Loop 2 – Área de extrusión de la propuesta 2.....	47
Figura 2.12 VSM – Propuesta 3 .....	56
Figura 2.13: Loop 1 – Área de impresión y sellado propuesta 3.....	56
Figura 2.14: Loop 2 – Área de extrusión propuesta 3.....	62
Figura 2.15: VSM – Propuesta 4 .....	69
Figura 2.16: Loop 1 – Área de impresión y sellado .....	69
Figura 2.17: Loop 2 – Área de extrusión propuesta 4.....	83
Figura 3.1 Matriz de feedback .....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Diagrama de afinidad.....	5
Tabla 2.1 Probabilidad de éxito de cada producto.....	15
Tabla 2.2 Tipo de distribución de la demanda de los rollos .....	17
Tabla 2.3 Tipo de distribución de la demanda de cada producto .....	17
Tabla 2.4 Datos del área de extrusión .....	18
Tabla 2.5 Datos del área de impresión.....	19
Tabla 2.6 Datos del área de sellado .....	19
Tabla 2.7 Datos del tiempo de procesamiento por producto en el área de sellado .....	20
Tabla 2.8 Valores del Takt time por cada estación de trabajo .....	21
Tabla 2.9 Datos de los tiempos de ciclo por centro de trabajo .....	21
Tabla 2.10 Resultados del EPEC por estación.....	22
Tabla 2.11 Cantidad de tarjetas verde según tipo de producto – Loop 1 .....	25
Tabla 2.12 Cantidad de tarjetas verde según tipo de rollo .....	30
Tabla 2.13 Resumen VSM de la propuesta 1 .....	32
Tabla 2.14 Resumen de los cálculos de la propuesta 2: Kanban triangular .....	33
Tabla 2.15 Resumen de los cálculos de la propuesta 2 usando Kanban triangular .....	48
Tabla 2.16 Resumen del VSM de la propuesta 2 .....	55
Tabla 2.17 Cantidad de producto en la tarjeta verde.....	58
Tabla 2.18 Resumen del VSM propuesta 3.....	68
Tabla 2.19. Resumen de los cálculos de la propuesta 4 usando Kanban triangular .....	70
Tabla 2.20 Cantidad en Kg de rollos en cada tarjeta verde .....	84
Tabla 2.21 Resumen del VSM Propuesta 4.....	85
Tabla 3.1 Resultados financieros de las 4 propuestas .....	87
Tabla 3.2 Resultados de la simulación de las 4 propuestas.....	87
Tabla 3.3 Análisis financiero del primer caso del análisis de sensibilidad .....	88
Tabla 3.4 Resultados de la simulación primer caso del análisis de sensibilidad .....	88
Tabla 3.5 Análisis financiero del segundo caso del análisis de sensibilidad .....	89
Tabla 3.6 Resultados de la simulación segundo caso del análisis de sensibilidad.....	89

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, un producto o servicio se encuentra centrado al usuario, en temas de educación se ha desarrollado el tema del aprendizaje activo, que es un proceso cuyo centro es el aprendizaje del alumno. El aprendizaje activo se centra en cómo aprenden los alumnos, no sólo en lo que aprenden. Se anima a los alumnos a pensar mucho, en lugar de recibir pasivamente la información del profesor. La investigación nos muestra que no es posible transmitir la comprensión a los estudiantes simplemente diciéndoles lo que lo que necesitan saber. Por el contrario, los profesores deben asegurarse de desafiar el pensamiento de sus alumnos. Con el aprendizaje activo, los alumnos desempeñan un papel importante en su propio proceso de aprendizaje donde construyen conocimiento y comprensión en respuesta a las oportunidades que les brinda su profesor(García Peñalvo et al., 2019).

La Ingeniería Industrial, es un campo que se encuentra en constante innovación debido a los desarrollos tecnológicos de la época, estos se convierten cada vez más necesarios para competir dentro de la industria. Pero, antes de incursionar con un tipo de tecnología o desarrollo académico, se necesita evaluar en un entorno simulado antes de incurrir a grandes costos que pueden afectar a la economía de la empresa, estas simulaciones se lo hacen con el propósito de corroborar su utilidad y eficiencia. Uno de los mayores desafíos que una empresa tiene miedo en realizar es la implementación de los sistemas de control de producción tipo Pull en un ambiente de producción discreto con alta variedad de productos y bajo volumen de producción, debido que, si se lo aplica mal, la industria tiene perdidas monetarias y no satisface la necesidad del cliente.

En este proyecto se diseñará un prototipo acerca del desarrollo de un sistema de control de producción en un ambiente de producción discreto con alta variedad de productos y bajo volumen de producción, que pueda ser aplicado en una práctica de laboratorio para estudiantes de Ingeniería Industrial de una institución educativa, mediante el uso de un software de simulación.

## 1.1 Descripción del problema

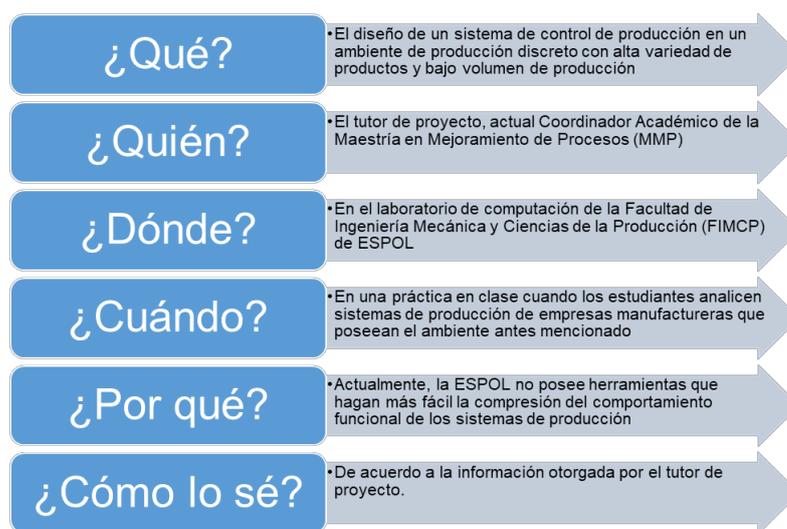
Actualmente, la carrera de Ingeniería Industrial de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) no posee prácticas de simulación que traten de los sistemas de control de la producción tipo Pull, especialmente asociadas en ambientes de producción discreta con alta variedad de productos y bajo volumen de producción, que son habituales en las grandes industrias nacionales. Esto ha ocasionado grandes dificultades por parte de los estudiantes en aplicar estos conocimientos cuando realizan sus prácticas pre-profesionales o al ejercer en el campo laboral.

Para contrarrestar el presente problema, usando la metodología DMADV (Definir, Medir, Analizar, Diseñar, Verificar) se diseñará desde cero una herramienta que sirva para entender la implementación de mejoras en los sistemas de control de producción en ambientes antes mencionado. Se inicia con la etapa de Definición del problema, el cual se encarga de identificar y buscar los clientes interesados en el desarrollo del proyecto, recolectando además las necesidades que poseen.

## 1.2 Definición del problema

### 1.2.1 5W+1H

El desarrollo de la identificación de la oportunidad del proyecto, se lo definirá por medio del uso de la herramienta 5W+1H, como se visualiza en la Figura 1.1.



**Figura 1.1: 5W + H**

(Elaboración propia)

Se llega a obtener la identificación de la oportunidad como:

*“ De acuerdo a lo solicitado por el tutor del proyecto y actual Coordinador Académico de la Maestría en Mejoramiento de Procesos (MMP), se necesita diseñar una herramienta que se pueda simular ambientes de producción discreto con alta variedad de productos y bajo volumen de producción implementando la metodología Just In Time (JIT), con el fin de que sea utilizada en estudiantes que se encuentren cursando la asignatura de Sistemas de Control de la Producción, utilizando el laboratorio de computación de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESPOL ”*

Para determinar el alcance del proyecto y los elementos que lo conforman, se realiza un diagrama SIPOC (Supplier, Input, Process, Output, Customer) de manera general, mostrado en la Figura 1.2.

Proveedor	Entradas	Procesos	Salidas	Clientes
Tutor de materia integradora	Referencias bibliográficas	Revisión literaria	Propuestas de modelos de simulación	Docentes de la materia de Sistemas de Control para la Producción
Centro de Información Bibliotecaria	Base de datos del sistema de control que se debe analizar	Recolección de los datos	Métricas de desempeño para realizar los análisis	Estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial
	Requerimientos de diseño	Análisis de los datos actuales		
	Restricciones de diseño	Desarrollo de propuestas de diseño		
		Desarrollo de simulación		
		Experimentos de prueba y ajuste		

**Figura 1.2: SIPOC**

(Elaboración propia)

### 1.2.2 Equipo de trabajo

Para llevar a cabo de forma adecuada el presente proyecto, se conformó el siguiente equipo de trabajo, visualizado en la Figura 1.3.



**Figura 1.3 Equipo de trabajo**  
(Elaboración propia)

### 1.2.3 VOC

El VOC (Voice Of Customer), es una herramienta que nos permite identificar los requerimientos que posee el cliente. Para nuestro caso, se realizó varias reuniones con el tutor de nuestro proyecto, por ser nuestro cliente.

Los hallazgos obtenidos del VOC, son las características del diseño del producto que se va a elaborar, estos son mostrados en el diagrama de afinidad, perteneciente a la Tabla 1.1.

**Tabla 1.1 Diagrama de afinidad**

(Elaboración conjunta)

<b>Necesidad</b>	<b>Puntos a trabajar</b>	<b>Características del diseño</b>
Diseñar un sistema de control de producción tipo Pull en un ambiente de producción discreto con alta variedad de productos y bajo volumen de producción	Simular una línea de producción en un ambiente antes mencionado	Indicadores de desempeño
	Recursos a usar	Software de simulación
		Computadoras del laboratorio de computación de la FIMCP
	Desarrollo didáctico	Visualizar el comportamiento del sistema de control de producción en el ambiente antes mencionado
	Implementación de la manufactura esbelta	Comparar los indicadores de desempeño
Comprobar los beneficios de aplicar las herramientas implementadas		

La necesidad de nuestro cliente es diseñar un sistema de control de producción en un ambiente de producción discreto con alto volumen de producción y baja variación de producción, debido a esto la medición se la realizará en base a los indicadores de desempeño que tenga un sistema de control de producción.

#### **1.2.4 Alcance**

El diseño de un sistema de control de producción tipo Pull en un ambiente de producción discreto con alta variedad de productos y bajo volumen de producción, impactará de manera positiva al aprendizaje de los estudiantes de Ingeniería Industrial de la ESPOL, debido que tendrá la visualización de cómo funciona un sistema de producción tipo Pull en la vida real, obteniendo como resultado una mejor formación académica al momento de ejercer la profesión.

Además, esta herramienta sirve para estudiantes que cursan la MMP y la capacitación a personas que laboren en empresas manufactureras que presenten el ambiente de producción antes mencionado.

### **1.2.5 Restricciones de diseño**

Para el presente trabajo, se tienen las siguientes restricciones de diseño:

- La realización| de la simulación del caso actual y de los sistemas propuestos, deben ser desarrollados en el software FlexSim, debido a la licencia educativa que tiene la ESPOL con la compañía.
- Los estudiantes deben tener conocimiento del lenguaje de programación C, para realizar las simulaciones en el software FlexSim.
- La réplica del modelo propuesto para casos con otra empresa debe de tener el mismo ambiente en el sistema de control de producción.
- Los requerimientos computacionales usados dificultaron el procesamiento de la simulación por parte del equipo.
- Sobrepasar los límites del modelo de la licencia educativa dada por la institución educativa.

### **1.3 Justificación del problema**

Actualmente, los estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial de la ESPOL no tienen una práctica simulada sobre un sistema de control de producción tipo Pull en ambientes de producción discreto con alta variedad de productos y bajo volumen de producción, solamente reciben el conocimiento teórico por parte de los docentes relacionados con la materia de sistemas de control de producción. La implementación de esta herramienta llevará a un nivel de enseñanza superior y se tendrá como resultado a profesionales mejores capacitados en dichos temas.

### **1.4 Objetivos**

#### **1.4.1 Objetivo General**

Diseñar un sistema de control de producción tipo Pull de un ambiente discreto con alta variedad de productos y bajo volumen de producción, mediante la aplicación metodología JIT que permita la comprensión y aplicación de estas herramientas en futuras investigaciones que realicen los estudiantes de Ingeniería Industrial.

## 1.4.2 Objetivos Específicos

Para este proyecto, se encuentran basados en los tres pilares de sostenibilidad y relacionados con algunos de los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030 de la Organización de la Naciones Unidas (ONU) (United Nations, 2015).

### **Aspecto social:**

- Elaborar herramientas que muestren diferentes alternativas de solución tipo Pull en ambientes de tipo discreto con alta variedad de productos y bajo volumen de producción que, al ser implementado por estudiantes de pregrado de la carrera de Ingeniería Industrial, MMP de ESPOL o ingenieros de compañías manufactureras se afiancen en conocimientos acerca de dichos sistemas de control de producción.

### **Aspecto ambiental:**

- Permitir a las empresas manufactureras que posean el ambiente de producción de tipo discreto con alta variedad de productos y bajo volumen de producción, apliquen los conceptos de la metodología JIT para reducir los desperdicios que son generados como la sobreproducción.

### **Aspecto financiero:**

- Elaborar herramientas financieras que demuestren como el capital de trabajo varía aplicando diferentes alternativas de solución tipo Pull en ambientes de tipo discreto con alta variedad de productos y bajo volumen de producción que, al ser usado por estudiantes de pregrado de la carrera de Ingeniería Industrial, MMP de ESPOL o ingenieros de compañías manufactureras puedan tomar decisiones tomando en cuenta el componente financiero. Se asocia al octavo objetivo de desarrollo sostenible que menciona el trabajo decente y crecimiento económico.

## **1.5 Marco teórico**

### **1.5.1 Seis Sigma**

Es una metodología desarrollada por Motorola en 1988, la cual se encuentra estructurada de forma sistemática al momento de usar la información, tanto si es obtenida la misma de fuentes primarias o secundarias que son asignadas a la medición y mejoras del desempeño de una organización por medio de la identificación y prevención de errores (Antony & Coronado, 2013).

### **1.5.2 DMADV**

Es la herramienta de la metodología Seis Sigma que sirve para el diseño o rediseño de productos o procesos mediante la recolección de la información requerida con el fin que la organización alcance un nivel Seis Sigma. Esta se encuentra conformada por cinco etapas, las cuales son: Definir, Medir, Analizar, Diseñar y Verificar (Antony & Coronado, 2013).

### **1.5.3 Definir**

Corresponde a la primera etapa de la metodología DMADV, esta tiene como objetivo identificar el problema, analizar los recursos potenciales, alcance y pronosticar el tiempo requerido del proyecto que necesita desarrollar la organización (Antony & Coronado, 2013).

### **1.5.4 Medir**

Pertenece a la segunda etapa de la metodología DMADV, esta tiene como desarrollo la medición de las variables que intervienen en el proyecto establecido por la organización, detallados en el plan de recolección de datos (Antony & Coronado, 2013).

### **1.5.5 Analizar**

Compete a la tercera etapa de la metodología DMADV, esta desarrolla los conceptos de diseño en base a los requerimientos que la organización posee, y realizar una evaluación de este analizando los beneficios y desventajas para escoger la solución más acorde para la empresa (Antony & Coronado, 2013).

### **1.5.6 Diseñar**

Concierno a la cuarta etapa de la metodología DMADV, esta tiene como deber el desarrollo de un prototipo de modelo de diseño, que es representado de forma teórica en la etapa de Análisis y es investigado en la etapa de Verificación (Antony & Coronado, 2013).

### **1.5.7 Verificar**

Refiere a la quinta y última etapa de la metodología DMADV, en el cual el diseño del prototipo es evaluado usando métodos de prueba, en la cual se toma la decisión si se extiende el desarrollo del diseño o se culmina el proyecto (Antony & Coronado, 2013).

### **1.5.8 VOC**

El Voice Of Customer, conocida en español como la Voz Del Cliente, es una herramienta que permite capturar el pensamiento del cliente, focalizado en identificar las necesidades y los requerimientos para plasmarlo en el desarrollo del proyecto (Antony & Coronado, 2013).

### **1.5.9 QFD**

El Quality Function Deployment, conocido en español como el Despliegue de Funciones de la Calidad, es una herramienta que proporciona la transformación del VOC a indicadores, lo cual despliega los requisitos al diseño del producto o servicio (Antony & Coronado, 2013).

### **1.5.10 SIPOC**

El Suppliers, Inputs, Process, Outputs and Customers, conocido en español como el diagrama de Proveedores, Entradas, Procesos, Salidas y Clientes, es una herramienta que concede identificar todos los actores que van dentro del mapeo del proceso, el cual permite tener un panorama de los componentes que se poseen y requieren antes del desarrollo del proyecto (Antony & Coronado, 2013).

### **1.5.11 5W + H**

Es una herramienta usada en la metodología DMADV para definir un problema en base a un conjunto de preguntas preestablecidas, las cuales permiten declarar el problema de manera concisa (Antony & Coronado, 2013).

Las preguntas son las siguientes:

- W1: ¿Qué?
- W2: ¿Quién?
- W3: ¿Dónde?
- W4: ¿Cuándo?
- W5: ¿Por qué?
- H: ¿Cómo lo sé?

### **1.5.12 Diagrama de Afinidad**

Es una herramienta que permite ordenar los datos subjetivos del proyecto, categorizándolos en función de relaciones intuitivas entre partes unitarias de información, por lo tanto, encuentra lo común entre las partes analizadas (Antony & Coronado, 2013).

### **1.5.13 Metodología JIT**

Es una metodología que nace de la empresa Toyota en el siglo XX, que consiste en disminuir los tiempos de flujo y los costos dentro de los sistemas de producción y la distribución de materiales mediante la regulación del flujo de trabajo de fabricación (Goldratt & Cox, 2005).

### **1.5.14 Modelo de asignación**

Es un modelo de optimización matemática desarrollado en el campo de la Investigación de Operaciones que sirve para realizar una asignación óptima para procesar un determinado objeto a un determinado puesto de trabajo (Rardin, 2017).

### **1.5.15 Diagrama de Pareto**

Es un método visual que sirve para estratificar los elementos críticos de una base de datos, donde se tiene muchos elementos triviales (Antony & Coronado, 2013).

#### **1.5.16 Sistema de Control de Producción tipo Pull**

Es una estrategia de fabricación ajustada que se utiliza para reducir el desperdicio en el proceso de producción. En este tipo de sistema, los componentes utilizados en el proceso de fabricación solo se reemplazan una vez que se han consumido, por lo que las empresas solo fabrican los productos suficientes para satisfacer la demanda de los clientes (Madariaga, 2013).

#### **1.5.17 Mapa de la Cadena de Valor (VSM)**

Es una herramienta que permite visualizar los componentes que conforman el proceso con datos de análisis de las actividades que agregan y no agregan valor y el porcentaje que estos representan en el sistema (Rother & Shook, 2000).

#### **1.5.18 Takt time**

Es un indicador que es usado para comprobar si una organización puede satisfacer la demanda de un cliente, debido que su medición es realizada en función de que tiempo se demora la organización en elaborar dicha demanda (Madariaga, 2013).

#### **1.5.19 Every Product Every Cycle (EPEC)**

Es un indicador que facilita el mínimo intervalo de tiempo en que un proceso es capaz de producir todas las referencias de productos que tienen que ser asignadas para satisfacer la demanda del cliente, en resumen, indica que tan flexible es el sistema. Además, esto permite realizar una decisión de que tipo de sistema Kanban se puede elegir para el proceso (Madariaga, 2013).

#### **1.5.20 Sistema Kanban**

Kanban es un sistema visual para gestionar el trabajo a medida que avanza en un proceso. Kanban visualiza tanto el proceso (el flujo de trabajo) como el trabajo real que pasa por ese proceso. El objetivo de Kanban es identificar posibles cuellos de botella en el proceso y solucionarlos para que el trabajo pueda fluir a través de él de forma rentable y a una velocidad o rendimiento óptimos (Madariaga, 2013; Nicholas, 2018)

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

Para la etapa de medición se realizó la evaluación de una fuente secundaria (caso de tesis de la MMP de la ESPOL) que trata de la implementación de un sistema de control de producción tipo Pull en un ambiente de producción discreto con alto volumen y baja variación de producción (Constantine, 2021). El mismo se encuentra de manera visual mediante el VSM de la figura 2.1.

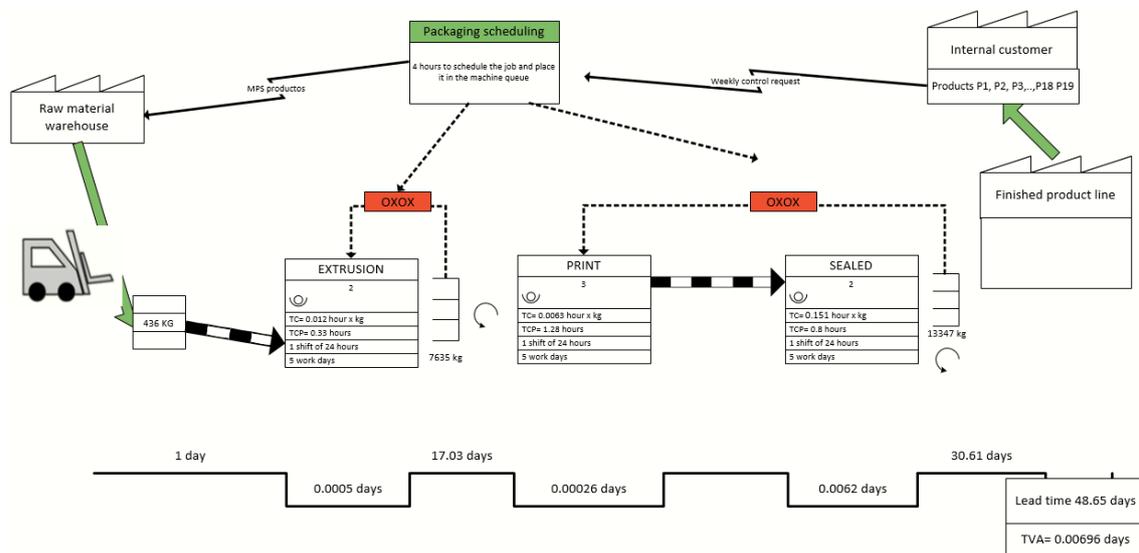


Figura 2.1 VSM propuesto en el caso de estudio

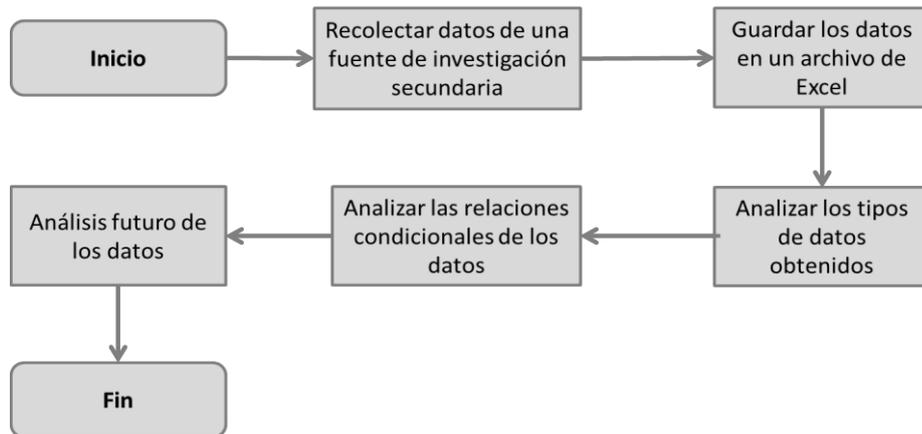
(Elaboración propia)

### 2.1 Medición

En esta etapa de la metodología DMADV, se procedió a la obtención de los datos que se necesitaron para medir qué tan eficiente es el sistema de control de producción propuesto por una empresa manufacturera plástica que tiene un ambiente de producción discreto con alto volumen y baja variación de producción mediante la revisión de una fuente secundaria.

#### 2.1.1 Plan de recolección de datos

El plan de recolección de datos detalla los pasos a seguir para la obtención de los datos con el fin de identificar las variables a medir para la realización de un análisis del uso futuro de los mismos. El mismo se lo puede visualizar en la figura 2.2.

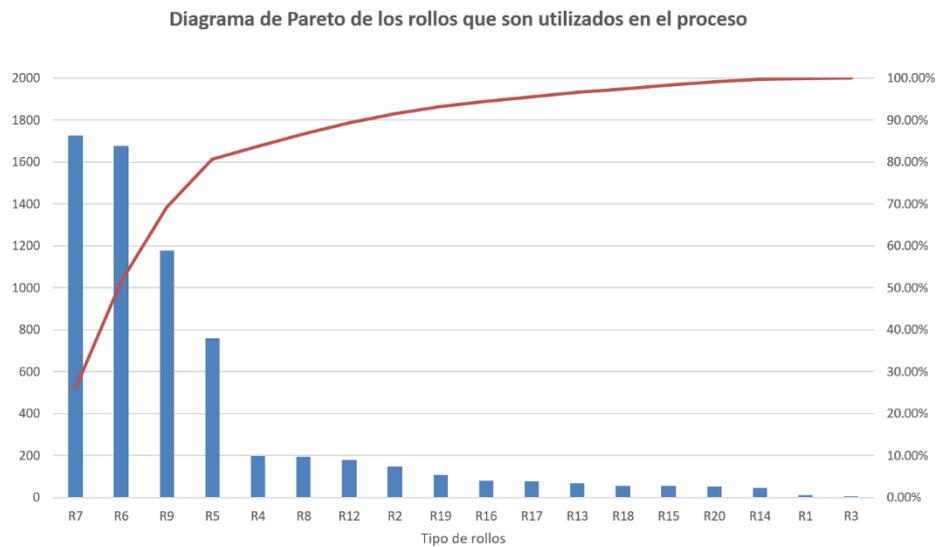


**Figura 2.2: Plan de recolección de datos**  
(Elaboración propia)

### 2.1.2 Tipos de datos obtenidos

Los datos obtenidos de la fuente de investigación secundaria son 20 tipos de rollos estándar que sirven para fabricar 64 tipos de productos primarios empacados plásticos, estos datos son cuantitativos y se dividen en dos tipos: continuos y discretos.

Debido a la restricción del software de simulación de FlexSim con respecto al número de objetos fijos que se pueden introducir en la simulación para evaluar el actual sistema control de producción, se procedió a realizar un diagrama de Pareto para estratificar que tipo de rollos, los cuales se relacionan con el tipo de productos a fabricar, cuáles son los más importantes en función al volumen producido de cada uno.



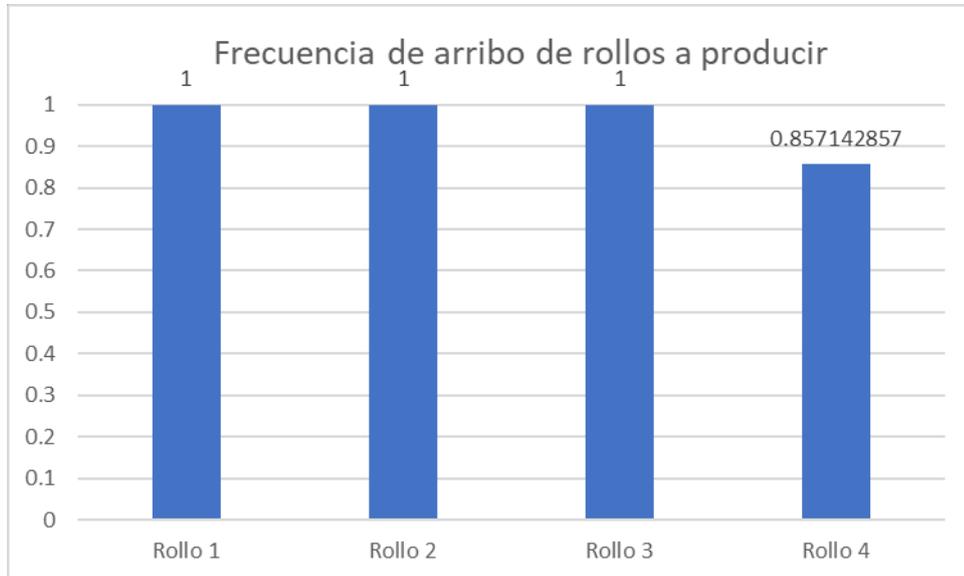
**Figura 2.3 Diagrama de Pareto de los rollos en función al volumen producido**  
(Elaboración propia)

El diagrama nos dio como resultado que 4 tipos de rollos, los cuales son el rollo 5, 6, 7 y 9, son los que me representan el 80% del volumen de kilogramos producidos por la organización, las cuales me representan 19 tipos de productos. Cabe mencionar que luego de identificar qué tipos de rollo se van a utilizar por temas prácticos se los recodificó como tipo de rollo 1, 2, 3 y 4 y los productos del 1 al 19, donde los productos del 1 al 4 son fabricados por el rollo 1, del 5 al 8 por el rollo 2, 9 al 16 el rollo 3 y del 17 al 19 el rollo 4.

Los datos de tipo discreto son la frecuencia de arribo de los productos ordenados y de los rollos utilizados para la fabricación de estos. Este tipo de dato sirve para obtener en que tiempo se ordenan los productos y son utilizados los rollos.

La frecuencia de arribo de cada rollo se lo analiza semanalmente que es cuando llegan los pedidos de los rollos, esto fue analizado en un periodo de 35 semanas, donde el rollo 1, 2 y 3 fueron utilizados todas las semanas para realizar su producción y el rollo 4 solo fue usado por 30 semanas, cuya

probabilidad de éxito a que sea pedido cada rollo de manera semanal se ve mostrada en la figura 2.4.



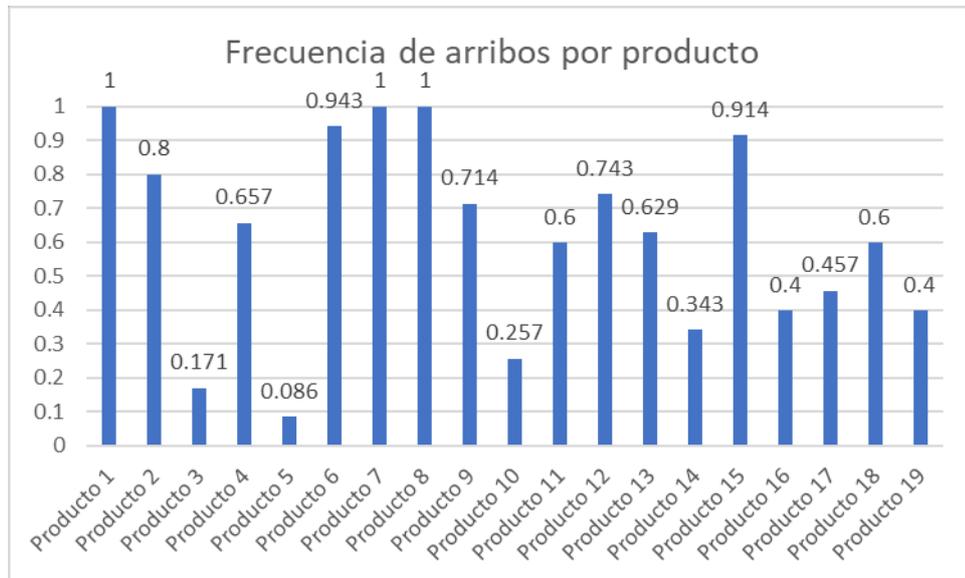
**Figura 2.4 Frecuencia entre arribos de los rollos**  
(Elaboración propia)

Además, también se realizó la medición de la frecuencia de los pedidos de los productos en las 35 semanas, las cuales cuya probabilidad de éxito se encuentran en la tabla 2.1 y se encuentra visualizado en la figura 2.5.

**Tabla 2.1 Probabilidad de éxito de cada producto**  
(Elaboración propia)

Productos	Éxito
Producto 1	1
Producto 2	0.8
Producto 3	0.171
Producto 4	0.657
Producto 5	0.086
Producto 6	0.943
Producto 7	1
Producto 8	1
Producto 9	0.714
Producto 10	0.257
Producto 11	0.6

Producto 12	0.743
Producto 13	0.629
Producto 14	0.343
Producto 15	0.914
Producto 16	0.4
Producto 17	0.457
Producto 18	0.6
Producto 19	0.4



**Figura 2.5 Frecuencia de arribos por producto**  
(Elaboración propia)

Tanto la medición de la probabilidad de éxito de la frecuencia de los arribos de los rollos y productos fueron realizados en lenguaje de programación Python.

Los datos de tipo continuos medidos fueron por un lapso de 35 semanas, lo cual se recolectó el volumen de la demanda de los rollos y productos que

son evaluados por medio del MPS (Master Production Schedule, en español conocido como el plan maestro de producción) y analizar el tipo de distribución estadística siguen, también se recolectó la información de cada estación de trabajo, como los tiempos de cambio, tiempo de procesamiento, entre otros.

Para la distribución de la demanda de los rollos y de los productos, se realizó una prueba de bondad de ajuste por cada elemento en el módulo Experfit del software de simulación FlexSim.

En los rollos obtuvimos como medición del tipo de distribución los resultados mostrados en la tabla 2.2.

**Tabla 2.2 Tipo de distribución de la demanda de los rollos**

(Elaboración propia)

Tipo de distribución	Cantidad	Tipo de rollo	Codificación en FlexSim
Beta	2	Rollo 1	beta( 5.853720, 962.455221, 1.836288, 3.333517)
		Rollo 2	beta( 0.972299, 1699.170299, 1.736644, 1.079386)
Johnson bounded	1	Rollo 3	johnsonbounded( 23.890940, 2033.943129, 1.072941, 0.553429)
Gamma	1	Rollo 4	gamma( 0.000000, 1367.071539, 0.176456)

En los productos se produjo como medición del tipo de distribución, donde el mayor % se dio con la distribución Johnson bounded los resultados mostrados en la tabla 2.3.

**Tabla 2.3 Tipo de distribución de la demanda de cada producto**

(Elaboración propia)

Tipo de distribución	Cantidad	Productos	Codificación en FlexSim
Johnson bounded	8	P1	johnsonbounded( 0.015060, 190.480654, -0.201081, 0.566788)
		P4	johnsonbounded( 0.000000, 383.385283, 0.750737, 0.086876)
		P11	johnsonbounded( 0.000000, 1446.453613, 0.901398, 0.082037)
		P13	johnsonbounded( 0.000000, 217.218294, 0.881029, 0.090973)

		P16	johnsonbounded( 0.000000, 10.010060, 1.164782, 0.095278)
		P17	johnsonbounded( 0.000000, 146.146870, 1.136028, 0.087386)
		P18	johnsonbounded( 0.000000, 20.020119, 0.896089, 0.098302)
		P19	johnsonbounded( 0.000000, 1127.132712, 1.216090, 0.079628)
Beta	3	P6	beta( 0.000000, 957.209919, 0.310417, 0.651652)
		P7	beta( 0.078835, 917.159201, 0.615904, 0.734995)
		P8	beta( 0.052557, 491.042099, 0.897881, 0.931018)
Gamma	2	P12	gamma( 0.000000, 373.010033, 0.130291)
		P14	gamma( 0.000000, 177.433170, 0.063444)
Randomwalk	2	P2	randomwalk( 0.000000, 20000000.014525, 0.007511)
		P15	randomwalk( 0.000000, 8571428.605531, 0.014938)
Weibull	4	P3	weibull( 0.000000, 0.000035, 0.101085)
		P5	weibull( 0.000000, 0.000003, 0.109420)
		P9	weibull( 0.000000, 0.000135, 0.094270)
		P10	weibull( 0.000000, 0.000752, 0.092118)

El proceso de producción consta de tres estaciones de trabajo, que son extrusión, impresión y sellado.

La información recolectada en extrusión se encuentra mostrada en la tabla 2.4.

**Tabla 2.4 Datos del área de extrusión**

(Elaboración propia)

<b>Área de extrusión</b>		
<b>Información</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades métricas</b>
<b>Número de máquinas</b>	3	Unidades
<b>Número de horas disponibles por semana</b>	288	Horas
<b>Disponibilidad del equipo</b>	98.71%	Adimensional
<b>Número de horas disponible real para fabricar</b>	284.28	Horas
<b>Throughput</b>	83	kg/h
<b>Tiempo de cambios por hora</b>	0.33	Horas

La información recolectada en impresión se encuentra mostrada en la tabla 2.5.

**Tabla 2.5 Datos del área de impresión**

(Elaboración propia)

<b>Área de impresión</b>		
<b>Información</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades métricas</b>
<b>Número de máquinas</b>	1	Unidades
<b>Número de horas disponibles por semana</b>	96	Horas
<b>Disponibilidad del equipo</b>	92.80%	Adimensional
<b>Número de horas disponible real para fabricar</b>	89.088	Horas
<b>Throughput</b>	157.89	kg/h
<b>Tiempo de cambios por hora</b>	1.28	Horas

La información recolectada en sellado se encuentra mostrada en la tabla 2.6.

**Tabla 2.6 Datos del área de sellado**

(Elaboración propia)

<b>Área de sellado</b>		
<b>Información</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades métricas</b>
<b>Número de máquinas</b>	4	Unidades
<b>Número de horas disponibles por semana</b>	480	Horas
<b>Disponibilidad del equipo</b>	95.11%	Adimensional
<b>Número de horas disponible real para fabricar</b>	456.53	Horas
<b>Tiempo de cambios por hora</b>	0.8	Horas

En esta área, cada producto tiene un tiempo de procesamiento distinto, se encuentra mostrado en la tabla 2.7.

**Tabla 2.7 Datos del tiempo de procesamiento por producto en el área de sellado**  
(Elaboración propia)

Productos	Tiempo de procesamiento	Unidades métricas
Producto 1	4.152870231	kg/h
Producto 2	7.193344753	kg/h
Producto 3	1.563564393	kg/h
Producto 4	8.406831253	kg/h
Producto 5	0.67609868	kg/h
Producto 6	21.38867879	kg/h
Producto 7	19.54388552	kg/h
Producto 8	10.41202635	kg/h
Producto 9	1.928571429	kg/h
Producto 10	4.928571429	kg/h
Producto 11	47.2204797	kg/h
Producto 12	9.418209944	kg/h
Producto 13	10.45571388	kg/h
Producto 14	5.229179744	kg/h
Producto 15	8.840928039	kg/h
Producto 16	0.357142857	kg/h
Producto 17	4.478938714	kg/h
Producto 18	3.025498745	kg/h
Producto 19	32.49606141	kg/h

## 2.2 Análisis

En esta etapa, se analizó el estado actual del sistema de control de producción que maneja la organización en base a las especificaciones de diseño, y las decisiones a tomar para el diseño de las propuestas, y estas sean para mejorar los indicadores del estado actual analizado.

### 2.2.1 Análisis del estado actual

La organización en la actualidad usa el método de tablero Kanban para su sistema de control de producción tipo Pull, para verificar que, si se puede implementar un sistema Pull de manera general, lo haremos en base al takt time, si este es mayor al tiempo de ciclo, si se puede implementar un sistema Pull al control de producción, caso contrario deben aplicar un control de producción tipo Push.

La fórmula del takt time es como lo indica la ecuación 2.1:

$$Takt\ time = \frac{Tiempo\ de\ producción\ disponible\ en\ un\ turno}{Demanda\ del\ cliente} \quad (2.1)$$

Esto nos da como resultado en cada estación de trabajo el resultado mostrado en la tabla 2.8.

**Tabla 2.8 Valores del Takt time por cada estación de trabajo**

(Elaboración propia)

Takt time	Valor	Unidades métricas
Extrusión	18.77	Kg/h
Impresión	79.93	Kg/h
Sellado	15.43	Kg/h

Los tiempos de ciclo por cada estación de trabajo se encuentran en la tabla 2.9, que es el inverso del tiempo de procesamiento.

**Tabla 2.9 Datos de los tiempos de ciclo por centro de trabajo**

(Elaboración propia)

Tiempo de ciclo	Valor	Unidades métricas
Extrusión	0.01	h/kg
Impresión	0.01	h/kg
Sellado	0.04	h/kg

Debido a que los takt time son mayores que los tiempos de ciclo por cada estación, si se puede aplicar un sistema de tipo Pull para el ambiente de producción del que se encuentra la empresa.

Ahora para saber que tipo de metodología Kanban procedimos a evaluar el indicador del EPEC, este me permite saber que tan flexible puede ser el sistema de control de producción.

El EPEC se lo calcula como indica la ecuación 2.2:

$$EPEC = \frac{\text{Tiempo de cambio de una secuencia completa}}{\text{Tiempo disponible para cambios}} \quad (2.2)$$

Los resultados obtenidos del EPEC para cada estación de trabajo se muestran en la tabla 2.10.

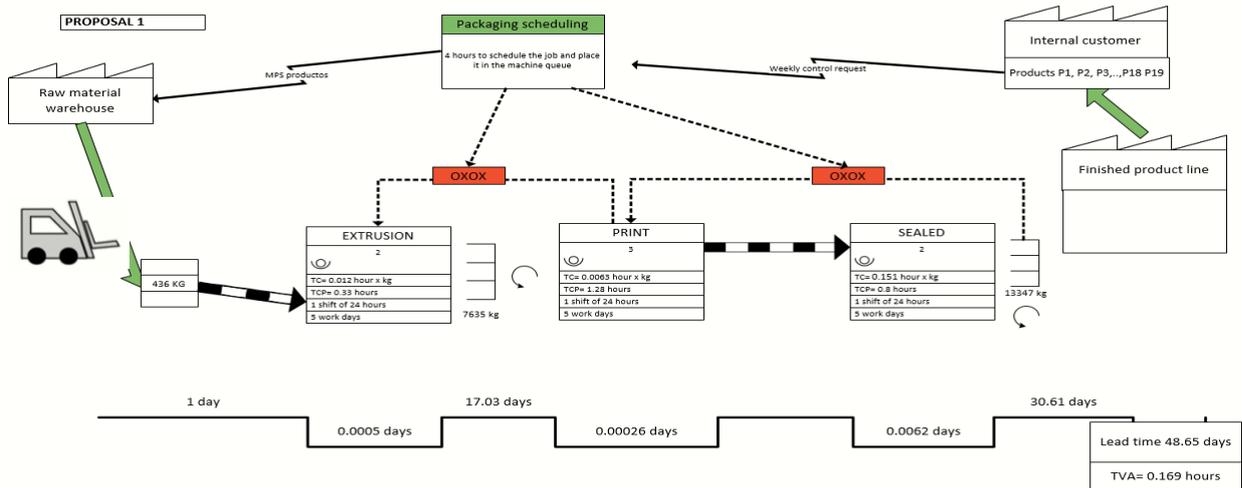
**Tabla 2.10 Resultados del EPEC por estación**  
(Elaboración propia)

EPEC	Valor	Unidades métricas
Extrusión	0.01	semana
Impresión	0.62	semana
Sellado	0.06	semana

En función de los valores dados en el cálculo del EPEC, se puede aplicar tablero Kanban y Kanban Triangular.

Ahora se explican las propuestas desarrolladas en este trabajo.

### 2.2.2 Propuesta 1: Tablero Kanban en todos los loops de trabajo

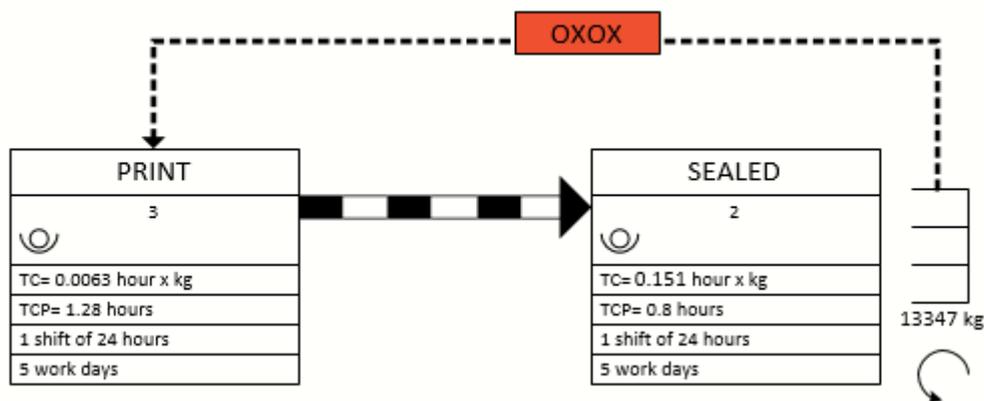


**Figura 2.6: VSM – Propuesta 1**  
(Elaboración propia)

Como primera propuesta se realizó un tablero Kanban en el todos los loops, que se encuentran detallados en la figura 2.6.

Los cálculos de este fueron los siguientes:

**Para el loop 1 que corresponden al área de impresión con sellado es:**



**Figura 2.7: Loop 1 – Área de impresión y sellado propuesta 1**  
(Elaboración propia)

**Lead time:**

Es el que muestra cuanto se tarda en producir un producto en todo el proceso analizado, para nuestro caso su unidad métrica es horas. Su fórmula es mostrada en la ecuación 2.3.

$$\begin{aligned}
 \text{Lead time} &= \text{tiempo de llenado por producto} \\
 &+ \text{tiempo de espera por producto}
 \end{aligned}
 \tag{2.3}$$

El lead time de cada producto es:

$$\text{Lead time producto 1} = 55.43 h + 12 h = 67.43 h$$

$$\text{Lead time producto 2} = 59.54 h + 12 h = 71.54 h$$

$$\text{Lead time producto 3} = 51.92 h + 12 h = 63.92 h$$

$$\text{Lead time producto 4} = 60.91 h + 12 h = 72.91 h$$

$$\begin{aligned} \text{Lead time producto 5} &= 50.97 h + 12 h = 62.97 h \\ \text{Lead time producto 6} &= 77.52 h + 12 h = 89.52 h \\ \text{Lead time producto 7} &= 75.43 h + 12 h = 87.43 h \\ \text{Lead time producto 8} &= 63.58 h + 12 h = 75.58 h \\ \text{Lead time producto 9} &= 52.35 h + 12 h = 64.35 h \\ \text{Lead time producto 10} &= 55.88 h + 12 h = 67.88 h \\ \text{Lead time producto 11} &= 106.45 h + 12 h = 118.45 h \\ \text{Lead time producto 12} &= 60.86 h + 12 h = 72.86 h \\ \text{Lead time producto 13} &= 61.91 h + 12 h = 73.91 h \\ \text{Lead time producto 14} &= 55.82 h + 12 h = 67.82 h \\ \text{Lead time producto 15} &= 60.09 h + 12 h = 72.09 h \\ \text{Lead time producto 16} &= 50.50 h + 12 h = 62.50 h \\ \text{Lead time producto 17} &= 55.48 h + 12 h = 67.48 h \\ \text{Lead time producto 18} &= 53.23 h + 12 h = 65.23 h \\ \text{Lead time producto 19} &= 89.71 h + 12 h = 101.71 h \end{aligned}$$

**Tarjeta color verde:**

Para determinar la cantidad de producto que se tendrá en la tarjeta de color verde, se eligió el consumo semanal histórico de mayor cantidad, debido a que los productos elegidos para el caso de estudio se elaboran todo el mes y pueden ser abastecidos semanalmente. Los valores de cada producto se encuentran en la tabla 2.11.

**Tabla 2.11 Cantidad de tarjetas verde según tipo de producto – Loop 1**  
(Elaboración propia)

<b>Tipo de Producto</b>	<b>Tarjeta color verde en Kg</b>
Producto 1	189
Producto 2	358
Producto 3	43
Producto 4	383
Producto 5	33
Producto 6	956
Producto 7	916
Producto 8	488
Producto 9	54
Producto 10	138
Producto 11	1445
Producto 12	215
Producto 13	217
Producto 14	80
Producto 15	185
Producto 16	10
Producto 17	146
Producto 18	20
Producto 19	1126

**Tarjeta color amarillo:**

Para calcular la cantidad que va a contener la tarjeta amarilla, se lo realizó con la fórmula de la ecuación 2.4.

$$\begin{aligned}
 & \textit{Tarjeta de color amarillo} \\
 & = \textit{Tarjeta de color verde} \\
 & \times \textit{Tiempo total de procesamiento de la tarjeta de color verde en semana}
 \end{aligned}
 \tag{2.4}$$

Para cada tipo de rollo, la cantidad de tarjeta de color amarillo es:

$$\textit{Tarjeta color amarillo producto 1} = 189 \times 0.56 = 107 \textit{ Kg}$$

$$\textit{Tarjeta color amarillo producto 2} = 358 \times 0.60 = 214 \textit{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 3} = 43 \times 0.53 = 23 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 4} = 383 \times 0.61 = 233 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 5} = 33 \times 0.52 = 18 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 6} = 956 \times 0.75 = 714 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 7} = 916 \times 0.73 = 668 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 8} = 488 \times 0.63 = 308 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 9} = 54 \times 0.54 = 29 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 10} = 138 \times 0.57 = 79 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 11} = 1445 \times 0.99 = 1427 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 12} = 215 \times 0.61 = 131 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 13} = 217 \times 0.62 = 134 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 14} = 80 \times 0.57 = 46 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 15} = 185 \times 0.60 = 112 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 16} = 10 \times 0.52 = 6 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 17} = 146 \times 0.56 = 83 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 18} = 20 \times 0.54 = 11 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 19} = 1126 \times 0.85 = 955 \text{ Kg}$$

### **Tarjeta color rojo:**

La tarjeta de color rojo es el stock de seguridad de la pila, y este es calculado mediante la ecuación 2.5.

$$\begin{aligned} \text{Tarjeta de color rojo} & & (2.5) \\ &= \text{Tarjeta de color verde} \\ &\times \text{porcentaje del stock de seguridad} \end{aligned}$$

Para cada producto, la cantidad en kilogramos de su respectiva tarjeta roja es:

*Tarjeta color rojo producto 1 = 189 × 15% = 29 Kg*

*Tarjeta color rojo producto 2 = 358 × 15% = 54 Kg*

*Tarjeta color rojo producto 3 = 43 × 15% = 7 Kg*

*Tarjeta color rojo producto 4 = 383 × 15% = 58 Kg*

*Tarjeta color rojo producto 5 = 33 × 15% = 5 Kg*

*Tarjeta color rojo producto 6 = 956 × 15% = 144 Kg*

*Tarjeta color rojo producto 7 = 916 × 15% = 138 Kg*

*Tarjeta color rojo producto 8 = 488 × 15% = 74 Kg*

*Tarjeta color rojo producto 9 = 54 × 15% = 9 Kg*

*Tarjeta color rojo producto 10 = 138 × 15% = 21 Kg*

*Tarjeta color rojo producto 11 = 1445 × 15% = 217 Kg*

*Tarjeta color rojo producto 12 = 215 × 15% = 33 Kg*

*Tarjeta color rojo producto 13 = 217 × 15% = 33 Kg*

*Tarjeta color rojo producto 14 = 80 × 15% = 12 Kg*

*Tarjeta color rojo producto 15 = 185 × 15% = 28 Kg*

*Tarjeta color rojo producto 16 = 10 × 15% = 2 Kg*

*Tarjeta color rojo producto 17 = 146 × 15% = 22 Kg*

*Tarjeta color rojo producto 18 = 20 × 15% = 3 Kg*

*Tarjeta color rojo producto 19 = 1126 × 15% = 169 Kg*

**Punto de reorden:**

Es el punto donde me indica donde debo de reordenar un producto para no quedar desabastecido y cumplir con el requerimiento del cliente, en nuestro caso está dado en kilogramos.

Para el caso de tablero Kanban su punto de reorden es cuando se consume toda la tarjeta verde.

Esto se lo cuantifica mediante la ecuación 2.6:

$$\text{Punto de reorden} = \text{tarjeta amarilla} + \text{tarjeta roja} \quad (2.6)$$

El punto de reorden de cada producto es:

$$\text{Punto de reorden producto 1} = 107 \text{ Kg} + 29 \text{ Kg} = 136 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 2} = 214 \text{ Kg} + 54 \text{ Kg} = 268 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 3} = 23 \text{ Kg} + 7 \text{ Kg} = 30 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 4} = 233 \text{ Kg} + 58 \text{ Kg} = 291 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 5} = 18 \text{ Kg} + 5 \text{ Kg} = 23 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 6} = 714 \text{ Kg} + 144 \text{ Kg} = 858 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 7} = 668 \text{ Kg} + 138 \text{ Kg} = 806 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 8} = 308 \text{ Kg} + 74 \text{ Kg} = 382 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 9} = 29 \text{ Kg} + 9 \text{ Kg} = 38 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 10} = 79 \text{ Kg} + 21 \text{ Kg} = 100 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 11} = 1427 \text{ Kg} + 217 \text{ Kg} = 1644 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 12} = 131 \text{ Kg} + 33 \text{ Kg} = 164 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 13} = 134 \text{ Kg} + 33 \text{ Kg} = 167 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 14} = 46 \text{ Kg} + 12 \text{ Kg} = 58 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 15} = 112 \text{ Kg} + 28 \text{ Kg} = 140 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 16} = 6 \text{ Kg} + 2 \text{ Kg} = 8 \text{ Kg}$$

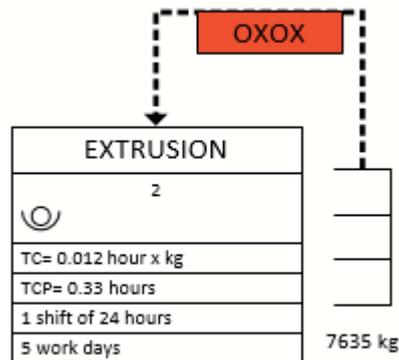
$$\text{Punto de reorden producto 17} = 83 \text{ Kg} + 22 \text{ Kg} = 105 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 18} = 11 \text{ Kg} + 3 \text{ Kg} = 14 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 19} = 955 \text{ Kg} + 169 \text{ Kg} = 1124 \text{ Kg}$$

## Loop 2: Área de extrusión de la propuesta 1

Su representación en el VSM a futuro se muestra a continuación:



**Figura 2.8: LOOP 2 – Área de extrusión propuesta 1**  
(Elaboración propia)

## Cálculos del tablero Kanban del Loop 2:

### Lead time:

Es el que muestra la ecuación 2.7 y permite saber cuánto se tarda en producir un producto en todo el proceso analizado, para nuestro caso su unidad métrica es horas.

$$\begin{aligned} \text{Lead time} &= \text{tiempo de llenado por producto} \\ &+ \text{tiempo de espera por producto} \end{aligned} \quad (2.7)$$

El lead time de cada rollo es:

$$\text{Lead time rollo 1} = 10.45 \text{ h} + 24 \text{ h} = 34.45 \text{ h}$$

$$\text{Lead time rollo 2} = 21.71 \text{ h} + 24 \text{ h} = 45.71 \text{ h}$$

$$\text{Lead time rollo 3} = 23.14 \text{ h} + 24 \text{ h} = 47.14 \text{ h}$$

$$\text{Lead time rollo 4} = 15.22 \text{ h} + 24 \text{ h} = 39.22 \text{ h}$$

### Tarjeta color verde:

Para determinar la cantidad de rollos que se tendrá en la tarjeta de color verde, se eligió el consumo semanal histórico de mayor cantidad, debido a que los productos elegidos para el caso de estudio se elaboran todo el mes y pueden ser abastecidos semanalmente. Los valores de cada rollo se encuentran en la tabla.

**Tabla 2.12 Cantidad de tarjetas verde según tipo de rollo**

(Elaboración propia)

Tipo de Rollo	Tarjeta color verde en Kg
Rollo 1	759
Rollo 2	1676
Rollo 3	1726
Rollo 4	1176

### Tarjeta color amarillo:

Para calcular la cantidad que va a contener la tarjeta amarilla, se lo realizó usando la ecuación 2.8:

$$\begin{aligned} & \textit{Tarjeta de color amarillo} && (2.8) \\ & = \textit{Tarjeta de color verde} \\ & \times \textit{Tiempo total de procesamiento de la tarjeta de color verde en semana} \end{aligned}$$

Para cada tipo de rollo, la cantidad de tarjeta de color amarillo es:

$$\textit{Tarjeta de color amarillo del rollo 1} = 759 \times 0.35 = 266 \textit{ Kg}$$

$$\textit{Tarjeta de color amarillo del rollo 2} = 1676 \times 0.55 = 922 \textit{ Kg}$$

$$\textit{Tarjeta de color amarillo del rollo 3} = 1726 \times 0.42 = 725 \textit{ Kg}$$

$$\textit{Tarjeta de color amarillo del rollo 4} = 1176 \times 0.33 = 385 \textit{ Kg}$$

### Tarjeta color rojo:

La tarjeta de color rojo es el stock de seguridad de la pila, y se lo realizó usando la ecuación 2.9:

$$\begin{aligned}
 \text{Tarjeta de color rojo} & & (2.9) \\
 &= \text{Tarjeta de color verde} \\
 &\times \text{porcentaje del stock de seguridad}
 \end{aligned}$$

Para cada rollo, la cantidad en kilogramos de su respectiva tarjeta roja es:

$$\text{Tarjeta de color rojo del rollo 1} = 759 \times 15\% = 114 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta de color rojo del rollo 2} = 1676 \times 15\% = 252 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta de color rojo del rollo 3} = 1726 \times 15\% = 259 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta de color rojo del rollo 4} = 1176 \times 15\% = 177 \text{ Kg}$$

**Punto de reorden:**

Es el punto donde me indica donde debo de reordenar un producto para no quedar desabastecido y cumplir con el requerimiento del cliente, en nuestro caso está dado en kilogramos.

Para el caso de Kanban board su punto de reorden es cuando se consume toda la tarjeta verde.

Esto se lo cuantifica con la ecuación 2.10.

$$\text{Punto de reorden} = \text{tarjeta amarilla} + \text{tarjeta roja} \quad (2.10)$$

El punto de reorden de cada rollo es:

$$\text{Punto de reorden rollo 1} = 266 \text{ Kg} + 114 \text{ Kg} = 380 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden rollo 2} = 922 \text{ Kg} + 252 \text{ Kg} = 1174 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden rollo 3} = 725 \text{ Kg} + 259 \text{ Kg} = 984 \text{ Kg}$$

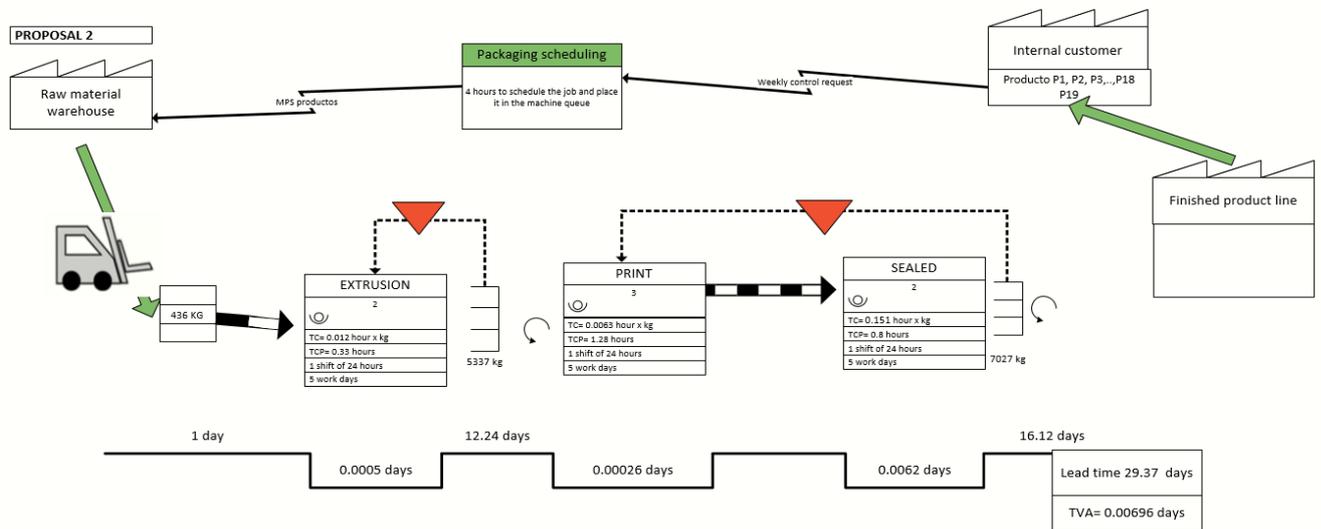
$$\text{Punto de reorden rollo 4} = 385 \text{ Kg} + 177 \text{ Kg} = 562 \text{ Kg}$$

## Resumen del VSM:

**Tabla 2.13 Resumen VSM de la propuesta 1**  
(Elaboración propia)

Tiempo de inventario Inicial	1 día
Tiempo de ciclo en extrusión	0.0005 días
Tiempo de duración supermercado extrusión	17.03 días
Tiempo de ciclo en impresión	0.00026 días
Tiempo de sellado	0.0062 días
Tiempo de duración supermercado extrusión-impresión	30.61 días
Lead time del proceso	48.65 días
Tiempo que agrega valor	0.00696 días
Eficiencia del proceso	0.0143%

### 2.2.3 Propuesta 2: Kanban Triangular



**Figura 2.9 VSM – Propuesta 2**  
(Elaboración propia)

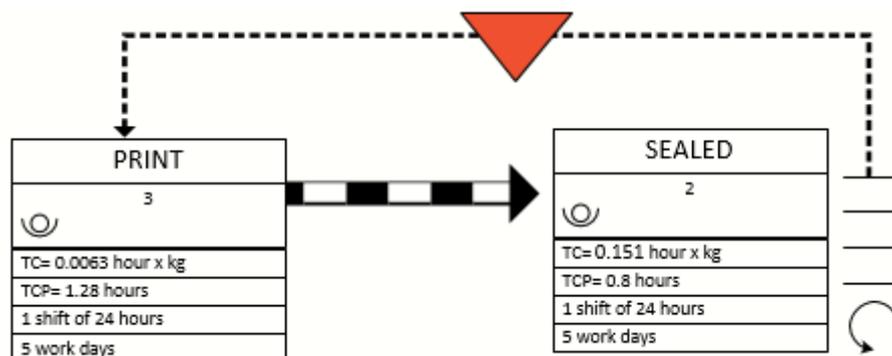
Como segunda propuesta de VSM a futuro, se optó por usar Kanban triangular, debido al resultado del EPEC; en la figura se optó con implementar un Kanban triangular en la estación de extrusión, con un supermercado que será consumido por el área de impresión, mientras que para las estaciones de sellado e impresión se procede a crear

otro Kanban triangular con una conexión de empuje para finalmente enviar el producto a la línea de producto terminado.

### Cálculos de la segunda propuesta:

#### Loop 1: Área de sellado con impresión

Su representación en el VSM a futuro se muestra a continuación:



**Figura 2.10 LOOP 1 – Área de impresión y sellado propuesta 2**  
(Elaboración propia)

Donde el loop 1 está conformado por 2 áreas que son la fase de impresión y sellado, pero para el cálculo respectivo se consideró la intervención de 2 máquinas, debido a que el producto pasa por la impresora y luego es empujado a una selladora según la asignación dada, por ende, los cálculos serían lo siguiente:

**Tabla 2.14 Resumen de los cálculos de la propuesta 2: Kanban triangular**  
(Elaboración propia)

<b>Tiempo de jornada laboral</b>	120	horas semanales
<b># de máquinas</b>	2	máquinas
<b>Tiempo disponible para producción</b>	240	horas semanales
<b>Disponibilidad de máquina</b>	92.81%	adimensional
<b>% de avería</b>	7.19%	adimensional
<b>Tiempo de pérdidas por averías</b>	12.83	horas semanales
<b>Tiempo disponible para producción</b>	178.19	horas semanales

Para iniciar los cálculos del Kanban triangular del loop 1, es necesario el cálculo del tiempo disponible de producción, sabiendo que la jornada laboral del caso de estudio es de 24 horas por 5 días, además se cuenta con 2 máquinas una de impresión y una selladora con una disponibilidad del 92.80%, procesos a calcular con la ecuación 2.11:

$$\begin{aligned} \textit{Tiempo disponible para producción} & \qquad \qquad \qquad (2.11) \\ & = (\textit{Tiempo de la jornada laboral} \times \textit{Días laborales} \\ & \quad \times \textit{\#de máquinas} \times \textit{Disponibilidad de máquinas}) \end{aligned}$$

Dónde el tiempo disponible para producción en el proceso se lo define de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \textit{Tiempo disponible para producción} \\ & = (24 \textit{ h} \times 5 \textit{ días laborales} \times 2 \textit{ máquinas} \times 92.80\%) \end{aligned}$$

$$\textit{Tiempo disponible para producción} = 222.74 \textit{ horas semanales}$$

$$\textit{Tiempo disponible para producción} = 222.74 \times 80\%$$

$$\textit{Tiempo disponible para producción} = 178.19 \textit{ horas semanales}$$

El tiempo disponible para producción que se visualiza en la ecuación 2.11 representa para los 64 SKU's que inicialmente se estaba trabajando, pero para trabajar de forma óptima en la simulación se procedió a estratificar los SKU's mediante un diagrama de Pareto, visualizado en la figura 2.2, al hacer esa clasificación se procedió a realizar una ponderación de un 80%.

Empezamos obteniendo el tiempo disponible de producción para el loop 1, que se ve afectado por el porcentaje el tiempo de pérdidas por disponibilidad según ecuación:

Donde el tiempo de pérdida disponible, correspondiente a la ecuación 2.12 es:

$$\textit{T.perd. disp} = (1 - \textit{Disponibilidad}) \times \textit{T. disp. producción} \quad (2.12)$$

$$\textit{T.perd. disp para área impresión} = (1 - 92.81\%) \times 178.19$$

$$\textit{T.perd. disp para área de impresión} = 12.83 \textit{ h}$$

### Tiempo de procesamiento por producto:

El tiempo de procesamiento por producto, indica cuanto tiempo se va a demorar por producto en procesarse, para la fase del loop 1, como lo indica la ecuación 2.13.

$$\begin{aligned} & \textit{Tiempo de procesamiento producto } P_i && \mathbf{(2.13)} \\ & = \textit{Demanda semanal} \times (\textit{CT impresión}) \times (1 + \textit{SS}) \\ & + \textit{CT sellado} \end{aligned}$$

Donde el tiempo de procesamiento de cada producto es el siguiente:

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto } P_1 = 189 \textit{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto } P_1 = 2.64 \textit{ h}$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto } P_2 = 358 \textit{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto } P_2 = 4.88 \textit{ h}$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto } P_3 = 43 \textit{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto } P_3 = 0.72 \textit{ h}$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto } P_4 = 383 \textit{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto } P_4 = 5.21 \textit{ h}$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto } P_5 = 33 \textit{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto } P_5 = 0.59 \textit{ h}$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto } P_6 = 956 \textit{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto } P_6 = 12.77 \textit{ h}$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto } P_7 = 916 \textit{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P7} = 12.24 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P8} = 488 \text{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P8} = 6.59 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P9} = 79 \text{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P9} = 1.19 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P10} = 138 \text{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P10} = 1.97 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P11} = 1445 \text{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P11} = 19.22 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P12} = 215 \text{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P12} = 2.99 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P13} = 217 \text{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P13} = 3.01 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P14} = 80 \text{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P14} = 1.21 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P15} = 185 \text{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P15} = 2.59 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P16} = 10 \text{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P16} = 0.28 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P17} = 146 \text{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P17} = 2.08 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P18} = 20 \text{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P18} = 0.42 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P19} = 1186 \text{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P19} = 15.01 \text{ h}$$

**Tiempo disponible para cambios:**

El tiempo disponible para cambios, indica cuanto tiempo se tiene disponible para realizar todos los cambios posibles, como lo indica la ecuación 2.14.

$$\begin{aligned} \text{Tiempo disponible para cambios} & \qquad \qquad \qquad (2.14) \\ & = \text{Tiempo de jornada semanal} \\ & - \text{Tiempo perdido disponible para producción} \\ & - \sum \text{ tiempo de procesamiento de rollos} \end{aligned}$$

Donde el tiempo disponible para cambios en el área de impresión y sellado, se lo define de la siguiente manera:

$$\text{Tiempo disponible para cambios} = 178.18 - 12.83 \text{ horas} - 95.63 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo disponible para cambios} = 69.72 \text{ h}$$

Para determinar el tiempo de procesamiento para cambios, se debe conocer primero cuál es el número total de cambios que se dispone en base al tiempo disponible de cambio, por ende, se procede a usar la siguiente ecuación:

$$\text{Número de cambios teóricos} = \frac{\text{Tiempo disponible para cambios}}{\text{Tiempo de setup por producto}} \qquad \qquad \qquad (2.15)$$

Donde para este caso se está analizando el área de impresión y sellado, se procede a utilizar los tiempos de cambio de dichas etapas y proceder a sumar, obteniendo lo siguiente:

$$\text{Número de cambios teóricos} = \frac{69.72 \text{ h}}{1.28 \frac{\text{h}}{\text{cambio}} + 0.80 \frac{\text{h}}{\text{cambio}}} = 33.51 \approx 33 \text{ cambios}$$

Además, para poder distribuir la cantidad de cambios sin que nos afecten al tiempo disponible, se procede asignar más cambios a productos con mayor demanda.

Con 29 cambios asignados, se procede a obtener el tiempo de procesamiento para cambios

### **Tiempo de procesamiento para cambios:**

El tiempo de procesamiento para cambios, indica cuanto tiempo se va a destinar por producto a realizar todos sus cambios en la máquina, para nuestro caso está dado en unidades métricas en horas, como lo indica la ecuación 2.16.

$$\text{Tiempo requerido para cambios} = \text{Nº de cambios asignados} \times \text{tiempo setup por producto} \quad (2.16)$$

El tiempo de procesamiento de los diferentes productos se lo define a continuación:

$$\text{Tiempo requerido para cambios producto P1} = 1 \text{ cambios} \times (1.28 + 0.8)h = 2.08 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo requerido para cambios producto P2} = 1 \text{ cambios} \times (1.28 + 0.8) = 2.08 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo requerido para cambios producto P3} = 1 \text{ cambios} \times (1.28 + 0.8)h = 2.08 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo requerido para cambios producto P4} = 1 \text{ cambios} \times (1.28 + 0.80) = 2.08 \text{ hora}$$

$$\text{Tiempo requerido para cambios producto P5} = 1 \text{ cambios} \times (1.28 + 0.80) = 2.08 \text{ hora}$$

$$\text{Tiempo requerido para cambios producto P6} = 3 \text{ cambios} \times (1.28 + 0.80) = 6.24 \text{ hora}$$

$$\text{Tiempo requerido para cambios producto P7} = 3 \text{ cambios} \times (1.28 + 0.80) = 6.24 \text{ hora}$$

$$\text{Tiempo requerido para cambios producto P8} = 2 \text{ cambios} \times (1.28 + 0.80) = 4.16 \text{ hora}$$

$$\text{Tiempo requerido para cambios producto P9} = 1 \text{ cambios} \times (1.28 + 0.80)h = 2.08 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo requerido para cambios producto P10} = 1 \text{ cambios} \times (1.28 + 0.80)h = 2.08 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo requerido para cambios producto P11} = 2 \text{ cambios} \times (1.28 + 0.80)h = 4.16 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo requerido para cambios producto P12} = 2 \text{ cambios} \times (1.28 + 0.80)h = 4.16 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo requerido para cambios producto P13} = 2 \text{ cambios} \times (1.28 + 0.80)h = 4.16 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo requerido para cambios producto P14} = 1 \text{ cambios} \times (1.28 + 0.80)h = 2.08h$$

*Tiempo requerido para cambios producto P15 = 1 cambios × (1.28 + 0.80)h = 2.08 h*  
*Tiempo requerido para cambios producto P16 = 1 cambios × (1.28 + 0.80)h = 2.08 h*  
*Tiempo requerido para cambios producto P17 = 1 cambios × (1.28 + 0.80)h = 2.08 h*  
*Tiempo requerido para cambios producto P18 = 1 cambios × (1.28 + 0.80)h = 2.08 h*  
*Tiempo requerido para cambios producto P19 = 3 cambios × (1.28 + 0.80)h = 6.24 h*

Donde el número total de horas requeridas para cambio a la semana es de 108.16h, en

**Tamaño de lote:**

El tamaño de lote me indica de qué tamaño es cada lote que se produce, en nuestro caso, para calcular el tamaño de Lote, se procede a trabajar con una cantidad "Q", que viene ser el contenido que puede ir en la caja, donde Q=1, es medido por la ecuación 2.17.

$$Lote\ productos = di \times Q \quad (2.17)$$

$$Lote\ producto\ P1 = 189\ kg \times 1\ u = 189\ kg$$

$$Lote\ producto\ P2 = 358\ kg \times 1\ u = 358\ kg$$

$$Lote\ producto\ P3 = 43\ kg \times 1\ u = 43\ kg$$

$$Lote\ producto\ P4 = 383\ kg \times 1\ u = 383\ kg$$

$$Lote\ producto\ P5 = 33\ kg \times 1\ u = 33\ kg$$

$$Lote\ producto\ P6 = 956\ kg \times 1\ u = 956\ kg$$

$$Lote\ producto\ P7 = 916\ kg \times 1\ u = 916\ kg$$

$$Lote\ producto\ P8 = 488\ kg \times 1\ u = 488\ kg$$

$$Lote\ producto\ P9 = 79\ kg \times 1\ u = 79\ kg$$

$$Lote\ producto\ P10 = 138\ kg \times 1\ u = 138\ kg$$

$$Lote\ producto\ P11 = 1445\ kg \times 1\ u = 1445\ kg$$

$$\text{Lote producto P12} = 215 \text{ kg} \times 1 \text{ u} = 215 \text{ kg}$$

$$\text{Lote producto P13} = 217 \text{ kg} \times 1 \text{ u} = 217 \text{ kg}$$

$$\text{Lote producto P14} = 80 \text{ kg} \times 1 \text{ u} = 80 \text{ kg}$$

$$\text{Lote producto P15} = 185 \text{ kg} \times 1 \text{ u} = 185 \text{ kg}$$

$$\text{Lote producto P16} = 10 \text{ kg} \times 1 \text{ u} = 10 \text{ kg}$$

$$\text{Lote producto P17} = 146 \text{ kg} \times 1 \text{ u} = 146 \text{ kg}$$

$$\text{Lote producto P18} = 20 \text{ kg} \times 1 \text{ u} = 20 \text{ kg}$$

$$\text{Lote producto P19} = 1126 \text{ kg} \times 1 \text{ u} = 1126 \text{ kg}$$

### **Tiempo de llenado:**

Es el que indica cuanto tiempo se va a demorar en producir el lote, para este caso sus unidades métricas es horas. Como lo indica la ecuación 2.18.

$$\begin{aligned} \text{Tiempo de llenado por producto} & \qquad \qquad \qquad (2.18) \\ & = \text{Tiempo de procesamiento por producto} \\ & + \text{tiempo requeridos para cambios} \end{aligned}$$

Para los productos se tiene

$$\text{Tiempo de llenado producto P1} = 2.65 \text{ h} + 2.08 \text{ h} = 4.73 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo de llenado producto P2} = 4.88 \text{ h} + 2.08 \text{ h} = 6.96 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo de llenado producto P3} = 0.72 \text{ h} + 2.08 \text{ h} = 2.80 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo de llenado producto P4} = 5.21 \text{ h} + 2.08 \text{ h} = 7.29 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo de llenado producto P5} = 0.59 \text{ h} + 2.08 \text{ h} = 2.67 \text{ h}$$

$$\textit{Tiempo de llenado producto P6} = 12.77 \textit{ h} + 6.24 \textit{ h} = 19.01 \textit{ h}$$

$$\textit{Tiempo de llenado producto P7} = 12.24 \textit{ h} + 6.24 \textit{ h} = 18.48 \textit{ h}$$

$$\textit{Tiempo de llenado producto P8} = 6.59 \textit{ h} + 4.16 \textit{ h} = 10.75 \textit{ h}$$

$$\textit{Tiempo de llenado producto P9} = 1.19 \textit{ h} + 2.08 \textit{ h} = 3.27 \textit{ h}$$

$$\textit{Tiempo de llenado producto P10} = 1.97 \textit{ h} + 2.08 \textit{ h} = 4.05 \textit{ h}$$

$$\textit{Tiempo de llenado producto P11} = 19.23 \textit{ h} + 4.16 \textit{ h} = 23.39 \textit{ h}$$

$$\textit{Tiempo de llenado producto P12} = 2.99 \textit{ h} + 4.16 \textit{ h} = 7.15 \textit{ h}$$

$$\textit{Tiempo de llenado producto P13} = 3.02 \textit{ h} + 4.16 \textit{ h} = 7.18 \textit{ h}$$

$$\textit{Tiempo de llenado producto P14} = 1.21 \textit{ h} + 2.08 \textit{ h} = 3.29 \textit{ h}$$

$$\textit{Tiempo de llenado producto P15} = 2.59 \textit{ h} + 2.08 \textit{ h} = 4.67 \textit{ h}$$

$$\textit{Tiempo de llenado producto P16} = 0.28 \textit{ h} + 2.08 \textit{ h} = 2.36 \textit{ h}$$

$$\textit{Tiempo de llenado producto P17} = 2.08 \textit{ h} + 2.08 = 4.16 \textit{ h}$$

$$\textit{Tiempo de llenado producto P18} = 0.42 \textit{ h} + 2.08 \textit{ h} = 2.50 \textit{ h}$$

$$\textit{Tiempo de llenado producto P19} = 15.01 \textit{ h} + 6.24 \textit{ h} = 21.25 \textit{ h}$$

**Lead time:**

Es el que muestra cuanto se tarda en producir un producto en todo el proceso analizado, para nuestro caso su unidad métrica es horas. Como lo indica la ecuación 2.19.

$$\begin{aligned} \text{Lead time por producto} & \qquad \qquad \qquad (2.19) \\ & = \text{tiempo de llenado por producto} \\ & + \text{tiempo de espera por producto} \end{aligned}$$

Para el caso de estudio se tiene que el tiempo de espera por producto es de 48 horas, por ende, se procede a realizar el análisis con ese tiempo.

$$\text{Lead time producto P1} = 4.73 h + 48 h = 52.73 h$$

$$\text{Lead time producto P2} = 6.96 h + 48 h = 54.96 h$$

$$\text{Lead time producto P3} = 2.80 h + 48 h = 50.80 h$$

$$\text{Lead time producto P4} = 7.29 h + 48 h = 55.29 h$$

$$\text{Lead time producto P5} = 2.67 h + 48 h = 50.67 h$$

$$\text{Lead time producto P6} = 19.01 h + 48 h = 67.01 h$$

$$\text{Lead time producto P7} = 18.48 h + 48 h = 66.48 h$$

$$\text{Lead time producto P8} = 10.75 h + 48 h = 58.75 h$$

$$\text{Lead time producto P9} = 3.27 h + 48 h = 51.27 h$$

$$\text{Lead time producto P10} = 4.05 h + 48 h = 52.05 h$$

$$\text{Lead time producto P11} = 23.39 h + 48 h = 71.39 h$$

$$\text{Lead time producto P12} = 7.15 h + 48 h = 55.15 h$$

$$\text{Lead time producto P13} = 7.18 h + 48 h = 55.18 h$$

$$\text{Lead time producto P14} = 3.29 h + 48 h = 51.29 h$$

$$\text{Lead time producto P15} = 4.67 h + 48 h = 52.67 h$$

$$\text{Lead time producto P16} = 2.36 \text{ horas} + 48 \text{ horas} = 50.36 \text{ horas}$$

$$\text{Lead time producto P17} = 4.16 h + 48 h = 52.16 h$$

$$\text{Lead time producto P18} = 2.50 h + 48 h = 50.50 h$$

$$\text{Lead time producto P19} = 21.25 h + 48 h = 69.25 h$$

Para el cálculo del punto de reorden se procede a usar el Lead time máximo, debido a que será usado como colchón de protección. Donde el lead time máximo es de 71.39 horas.

**Punto de reorden:**

Es el punto donde me indica donde debo de reordenar un producto para no quedarme desabastecido y cumplir con el requerimiento del cliente, en nuestro caso está dado en kilogramos. Como lo indica la ecuación 2.20.

$$PR_i = \frac{d_i}{T.\text{disp.prod. Máquina}} \times \text{Lead time de reposición máximo} \quad (2.20)$$

Donde:

$PR_i$ : Es el punto de reposición para el producto  $i$ .

$i$ : Son cada uno de los productos que pasan por la estación.

$d_i$ : Es la demanda del producto  $i$ .

$T. disp. prod. Máquina$ : es el tiempo disponible de producción

Este conjunto de fórmulas es usado en cada estación de trabajo para elaborar la propuesta 2, se obtiene como resultado de los cálculos las tarjetas por cada elemento.

El desarrollo del punto de reposición queda de la siguiente manera:

$$\text{Punto de reorden producto P1} = \frac{189 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 75.72 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P2} = \frac{358 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 143.43 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P3} = \frac{43 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 17.23 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P4} = \frac{383 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 153.45 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P5} = \frac{33 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 13.22 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P6} = \frac{956 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 383.01 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P7} = \frac{916 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 366.99 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P8} = \frac{488 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 195.51 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P9} = \frac{79 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 31.65 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P10} = \frac{138 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 55.29 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P11} = \frac{1445 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 561.61 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P12} = \frac{215 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 86.14 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P13} = \frac{217 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 86.94 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P14} = \frac{80 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 32.05 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P15} = \frac{185 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 74.12 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P16} = \frac{10 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 4.01 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P17} = \frac{146 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 58.49 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P18} = \frac{20 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 8.01 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P19} = \frac{1126 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 451.12 \text{ kg}$$

El número de cajas totales quedara definido por la ecuación 2.21:

$$\text{Cajas totales}_i = \frac{\text{Lote}_i}{Q} \quad (2.21)$$

Donde:

$Lote_i$ : Es el tamaño del lote para el producto  $i$

$Q$ : Es la cantidad del lote

$i$ : Son los productos por elaborar en la estación.

Dada esta información el tamaño de las cajas quedo definido de la siguiente manera:

$$\text{Cajas totales para producto P1} = \frac{189 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 189 \text{ cajas}$$

$$\text{Cajas totales para producto P2} = \frac{358 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 358 \text{ cajas}$$

$$\text{Cajas totales para producto P3} = \frac{43 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 43 \text{ cajas}$$

$$\text{Cajas totales para producto P4} = \frac{383 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 383 \text{ cajas}$$

$$\text{Cajas totales para producto P5} = \frac{33 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 33 \text{ cajas}$$

$$\text{Cajas totales para producto P6} = \frac{956 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 956 \text{ cajas}$$

$$\text{Cajas totales para producto P7} = \frac{916 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 916 \text{ cajas}$$

$$\text{Cajas totales para producto P8} = \frac{488 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 488 \text{ cajas}$$

$$\text{Cajas totales para producto P9} = \frac{79 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 79 \text{ cajas}$$

$$\text{Cajas totales para producto P10} = \frac{138 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 138 \text{ cajas}$$

$$\text{Cajas totales para producto P11} = \frac{1445 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 1445 \text{ cajas}$$

$$\text{Cajas totales para producto P12} = \frac{215 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 215 \text{ cajas}$$

$$\text{Cajas totales para producto P13} = \frac{217 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 217 \text{ cajas}$$

$$\text{Cajas totales para producto P14} = \frac{80 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 80 \text{ cajas}$$

$$\text{Cajas totales para producto P15} = \frac{185 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 185 \text{ cajas}$$

$$\text{Cajas totales para producto P16} = \frac{10 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 10 \text{ cajas}$$

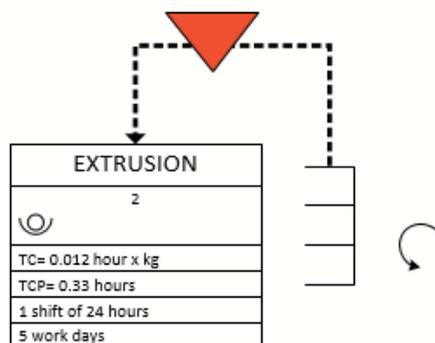
$$\text{Cajas totales para producto P17} = \frac{146 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 146 \text{ cajas}$$

$$\text{Cajas totales para producto P18} = \frac{20 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 20 \text{ cajas}$$

$$\text{Cajas totales para producto P19} = \frac{1126 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 1126 \text{ cajas}$$

## Loop 2: Área de extrusión

Su representación en el VSM a futuro se muestra a continuación:



**Figura 2.11 Loop 2 – Área de extrusión de la propuesta 2**  
(Elaboración propia)

Donde el loop 2 está conformado por 3 máquinas, por ende, los cálculos serían lo siguiente:

**Tabla 2.15 Resumen de los cálculos de la propuesta 2 usando Kanban triangular**  
(Elaboración propia)

<b>Tiempo de jornada laboral</b>	120	horas semanales
<b># de máquinas</b>	3	máquinas
<b>Tiempo disponible para producción</b>	360	horas semanales
<b>Disponibilidad de máquina</b>	98.71%	adimensional
<b>% de avería</b>	1.29%	adimensional
<b>Tiempo de pérdidas por averías</b>	3.67	horas semanales
<b>Tiempo disponible para producción</b>	284.28	horas semanales
<b>#de cambios (teórico)</b>	635	cambios

Para iniciar los cálculos del Kanban triangular del loop 2, es necesario el cálculo del tiempo disponible de producción, sabiendo que la jornada laboral del caso de estudio es de 24 horas por 5 días, además se cuenta con 3 máquinas para el proceso de extrusión con una disponibilidad del 98.71%, procede a calcular mediante la ecuación 2.22.

$$\begin{aligned}
 & \textit{Tiempo disponible para producción} && (2.22) \\
 & = (\textit{Tiempo de la jornada laboral} \times \textit{Días laborales} \\
 & \quad \times \textit{\#de máquinas} \times \textit{Disponibilidad de máquinas})
 \end{aligned}$$

Donde el tiempo disponible de producción en el proceso de extrusión se lo define de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 \textit{Tiempo disponible para producción} &= (24 \textit{ h} \times 5 \textit{ días laborales} \times 3 \textit{ máquinas} \times 98.71\%) \\
 \textit{Tiempo disponible para producción} &= 355.36 \textit{ horas semanales}
 \end{aligned}$$

El tiempo disponible para producción que se visualiza en la ecuación 2.23, representa para los 64 SKU's que inicialmente se estaba trabajando, pero para trabajar de forma óptima en la simulación se procedió a estratificar los SKU's mediante un diagrama de Pareto, visualizado en la figura 16, al hacer esa clasificación se procedió a realizar una ponderación de un 80%.

$$\text{Tiempo disponible para producción} = 355.36 \times 80\% \quad (2.23)$$

$$\text{Tiempo disponible para producción} = 284.28 \text{ horas semanales}$$

Empezamos obteniendo el tiempo disponible de producción para el área de extrusión, ya que se ve afectado por el porcentaje el tiempo de pérdidas por disponibilidad según ecuación 2.24

$$T.\text{perd. disp ara área extrusora} = (1 - \text{Disponibilidad}) \times T.\text{disp. producción} \quad (2.24)$$

$$T.\text{perd. disp para área extrusora} = (1 - 98.71\%) \times 284.28$$

$$T.\text{perd. disp para área extrusora} = 3.67 \text{ h}$$

### Tiempo de procesamiento por producto:

El tiempo de procesamiento por producto, indica cuanto tiempo se va a demorar por producto en procesarse, para la fase de extrusión se procesarán los rollos y está dado en unidades métricas en horas. Como lo indica la ecuación 2.25

$$\begin{aligned} & \text{Tiempo de procesamiento por rollos } R_i \\ & = \frac{\text{Demanda de rollo semanal} \times (1 + SS)}{\text{Througput de la máquina}} \end{aligned} \quad (2.25)$$

$$\text{Tiempo de procesamiento Rollo R1} = \frac{759 \text{ kg} \times (1 + 10\%)}{83 \frac{\text{kg}}{\text{h}}} = 10.06 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo de procesamiento Rollo R2} = \frac{1676 \text{ kg} \times (1 + 10\%)}{83 \frac{\text{kg}}{\text{h}}} = 22.21 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo de procesamiento Rollo R3} = \frac{1726 \text{ kg} \times (1 + 10\%)}{83 \frac{\text{kg}}{\text{h}}} = 22.88 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo de procesamiento Rollo R4} = \frac{1176 \text{ kg} \times (1 + 10\%)}{\frac{83\text{kg}}{\text{h}}} = 15.59 \text{ h}$$

**Tiempo disponible para cambios:**

El tiempo disponible para cambios, indica cuanto tiempo se tiene disponible para realizar todos los cambios posibles. Como lo indica la ecuación 2.26

$$\begin{aligned} \text{Tiempo disponible para cambios} & & (2.26) \\ &= \text{Tiempo de jornada semanal} \\ &- \text{Tiempo perdido disponible para producción} \\ &- \sum \text{ tiempo de procesamiento de rollos} \end{aligned}$$

Donde el tiempo disponible para cambios en el proceso extrusión se lo define de la siguiente manera:

$$\text{Tiempo disponible para cambios} = 284.28 - 3.67 \text{ h} - 70.74 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo disponible para cambios} = 209.87 \text{ h}$$

**Tiempo de procesamiento para cambios:**

El tiempo de procesamiento para cambios, indica cuanto tiempo se va a destinar por producto a realizar todos sus cambios en la máquina, para nuestro caso está dado en unidades métricas en horas.

Para el área de extrusión se cuenta con un tiempo de Setup de 0.33 horas para cada rollo a procesar, como lo indica la ecuación 2.27.

$$\begin{aligned} \text{Tiempo requerido para cambios} & & (2.27) \\ &= \# \text{ de cambios realizados} \times \text{ tiempo setup} \end{aligned}$$

Donde el tiempo requerido para cambios por rollo se lo define de la siguiente manera:

$$\text{Tiempo requerido para cambios rollo R1} = 170 \text{ cambios} \times 0.33h = 56.1 h$$

$$\text{Tiempo requerido para cambios rollo R2} = 170 \text{ cambios} \times 0.33h = 56.1 h$$

$$\text{Tiempo requerido para cambios rollo R3} = 170 \text{ cambios} \times 0.33h = 56.1 h$$

$$\text{Tiempo requerido para cambios rollo R4} = 170 \text{ cambios} \times 0.33h = 56.1 h$$

Continuando con el cálculo del número de cambios disponibles, este valor se definirá según la ecuación 2.27.

$$\# \text{ de cambios disponibles} = \frac{T. \text{ disp. para cambios}}{T. \text{ de cambios}}$$

$$\# \text{ de cambios disponibles} = \frac{209.87 \text{ horas}}{\frac{0.33h}{\text{cambios}}}$$

$$\# \text{ de cambios disponibles} = 635.96 \cong 635 \text{ cambios semanales}$$

### Tamaño de lote:

El tamaño de lote me indica de qué tamaño es cada lote que se produce, según el # de cambios designado en nuestro caso, su unidad métrica es kilogramos, detallado en la ecuación 2.28

$$\text{Lote}_i = \frac{d_i}{\text{Número de cambios}_i} \equiv d_i \times \text{Batch factor} \quad (2.28)$$

Donde:

- $d_i$ : Es la demanda diaria del producto  $i$
- $\text{Número de cambios}_i$ : Son los números de cambios asignados a el producto  $i$
- $i$ : Son los productos que pasaran por la estación.

En nuestro caso, para calcular el tamaño de lote, se procede a trabajar con una cantidad "Q", que viene ser el contenido que puede ir en la caja, como indica la ecuación 2.29.

Donde  $Q=1$

$$\text{Lote Rollos} = d_i \times Q \quad (2.29)$$

$$\text{Lote Rollos R1} = 759 \text{ kg} \times 1 u = 759 \text{ kg}$$

$$\text{Lote Rollo R2} = 1676 \text{ kg} \times 1 u = 1676 \text{ kg}$$

$$\text{Lote Rollo R3} = 1726 \text{ kg} \times 1 u = 1726 \text{ kg}$$

$$\text{Lote Rollo R4} = 1176 \text{ kg} \times 1 \text{ u} = 1176 \text{ kg}$$

**Takt time:**

Es un indicador que facilita el mínimo intervalo de tiempo en que un proceso es capaz de producir todas las referencias de productos que tienen que ser asignadas para satisfacer la demanda del cliente, en resumen, indica que tan flexible es el sistema. Para nuestro caso su unidad métrica es horas/ Kg, como lo menciona la ecuación 2.30.

$$\text{Takt time Rollo Ri} = \frac{\text{Tiempo disponible para producción}}{\text{Demanda semanal Rollo Ri}} \quad (2.30)$$

$$\text{Takt time Rollo R1} = \frac{284.28 \text{ horas}}{759 \text{ kg}} = 0.375 \frac{h}{kg}$$

$$\text{Takt time Rollo R2} = \frac{284.28 \text{ horas}}{1676 \text{ kg}} = 0.169 \frac{h}{kg}$$

$$\text{Takt time Rollo R3} = \frac{284.28 \text{ horas}}{1726 \text{ kg}} = 0.165 \frac{h}{kg}$$

$$\text{Takt time Rollo R4} = \frac{284.28 \text{ horas}}{1176 \text{ kg}} = 0.241 \frac{h}{kg}$$

**Tiempo de llenado:**

Es el que indica cuanto tiempo se va a demorar en producir el lote, para este caso sus unidades métricas es horas. Como lo indica en la ecuación 2.31

$$\begin{aligned} \text{Tiempo de llenado Rollo Ri} & \quad (2.31) \\ & = \text{Tiempo de procesamiento por rollo Ri} \\ & + \text{tiempo requeridos para cambios} \end{aligned}$$

Donde el tiempo de llenado para los rollos en el proceso de extrusión, de lo define de la siguiente manera:

$$\text{Tiempo de llenado Rollo R1} = 10.06 h + 46.2 h = 56.26 h$$

$$\text{Tiempo de llenado Rollo R2} = 22.21 h + 56.1 h = 78.31 h$$

$$\text{Tiempo de llenado Rollo R3} = 22.88 + 56.1 h = 78.98 h$$

$$\text{Tiempo de llenado rollo R4} = 15.59 h + 49.5 h = 65.09 h$$

### Lead time:

Es el que muestra cuanto se tarda en producir un producto en todo el proceso analizado, para nuestro caso su unidad métrica es horas. Como lo indica la ecuación 2.32.

$$\begin{aligned} \text{Lead time rollo } R_i & & (2.32) \\ &= \text{tiempo de llenado por rollo } R_i \\ &+ \text{tiempo de espera por rollo } R_i \end{aligned}$$

Para el caso de estudio se tiene que el tiempo de espera por producto es de 24 horas, obteniendo dicho valor se procede a calcular el lead time de cada rollo a procesar y es de la siguiente manera:

$$\text{Lead time rollo R1} = 56.26 h + 24 h = 80.26$$

$$\text{Lead time rollo R2} = 78.31 h + 24 h = 102.31 h$$

$$\text{Lead time rollo R3} = 78.98 h + 24 h = 102.98 h$$

$$\text{Lead time rollo R4} = 65.09 h + 24 h = 89.09 h$$

### Punto de reorden:

Es el punto donde me indica donde debo de reordenar un producto para no quedarme desabastecido y cumplir con el requerimiento del cliente, en nuestro caso está dado en kilogramos. Descrito en la ecuación 2.33

$$PR_i = \frac{d_i}{T.\text{disp.prod. Máquina}} \times \text{Lead time de reposición máximo} \quad (2.33)$$

Donde:

$PR_i$ : Es el punto de reposición para el producto  $i$ .

$i$ : Son cada uno de los productos que pasan por la estación.

$d_i$ : Es la demanda del producto  $i$ .

$T.\text{disp.prod. Máquina}$  : es el tiempo disponible de producción

Donde el punto de reposición o reorden de cada rollo a procesar queda de la siguiente manera:

$$\text{Punto de reorden rollo R1} = \frac{759 \text{ kg}}{284.28 \text{ h}} \times 102.98 \text{ h} = 274.95 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden rollo R2} = \frac{1676 \text{ kg}}{284.28 \text{ h}} \times 102.98 \text{ h} = 607.12 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden rollo R3} = \frac{1726 \text{ kg}}{284.28 \text{ h}} \times 102.31 \text{ h} = 621.17 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden rollo R4} = \frac{1176 \text{ kg}}{284.28 \text{ h}} \times 102.98 \text{ h} = 426 \text{ kg}$$

El número de cajas totales quedara definido por la ecuación 2.34:

$$\text{Cajas totales}_i = \frac{\text{Lote}_i}{Q} \quad (2.34)$$

Donde:

- $\text{Lote}_i$ : Es el tamaño del lote para el producto  $i$
- $Q$ : Es la cantidad que contiene un lote
- $i$ : Son los productos por elaborar en la estación.

Dada esta información el tamaño de las cajas quedo definido de la siguiente manera:

$$\text{Cajas totales para rollo R1} = \frac{759 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 759 \text{ cajas}$$

$$\text{Cajas totales para rollo R2} = \frac{1676 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 1676 \text{ cajas}$$

$$\text{Cajas totales para rollo R3} = \frac{1726 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 1726 \text{ cajas}$$

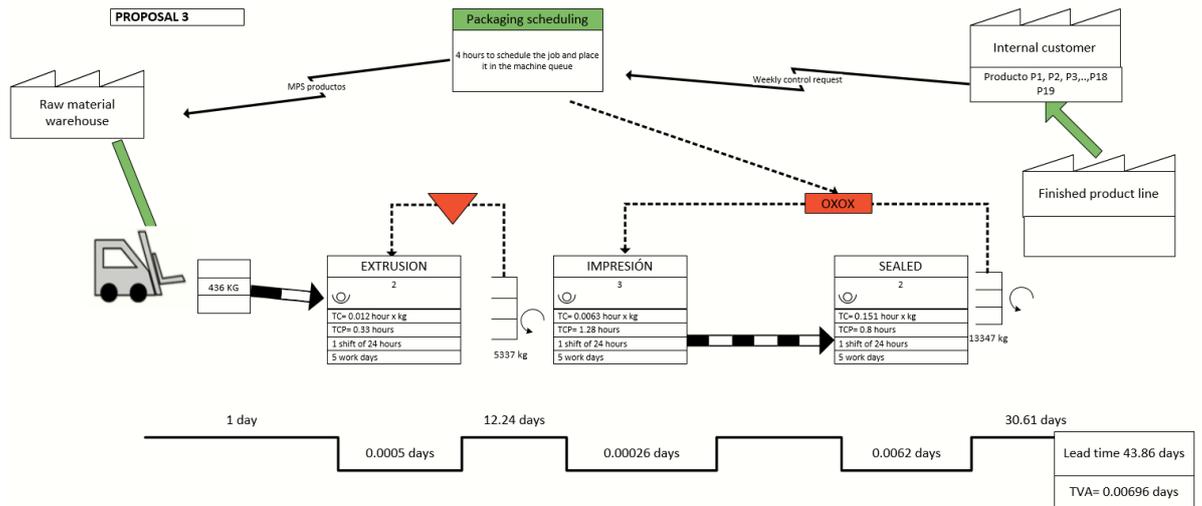
$$\text{Cajas totales para rollo R4} = \frac{1176 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 1176 \text{ cajas}$$

**Tabla 2.16 Resumen del VSM de la propuesta 2**  
(Elaboración propia)

<b>Tiempo de inventario Inicial</b>	1 día
<b>Tiempo de ciclo en extrusión</b>	0.0005 días
<b>Tiempo de duración supermercado extrusión</b>	12.24 días
<b>Tiempo de ciclo en impresión</b>	0.00026 días
<b>Tiempo de sellado</b>	0.0062 días
<b>Tiempo de duración supermercado extrusión-impresión</b>	16.12 días
<b>Lead time del proceso</b>	29.37 días
<b>Tiempo que agrega valor</b>	0.00696 días
<b>Eficiencia del proceso</b>	0.0237%

#### **2.2.4 Propuesta 3: Loop 1 Tablero Kanban, loop 2 Kanban triangular**

Como tercera propuesta de VSM a futuro, se optó con implementar un sistema de Kanban mixto, debido a que el sistema se adapta para ese tipo de análisis, y basado con el resultado del EPC, se procede a implementar un Kanban triangular en el área de extrusión, mientras que para las estaciones de sellado e impresión se implementa el tablero Kanban.

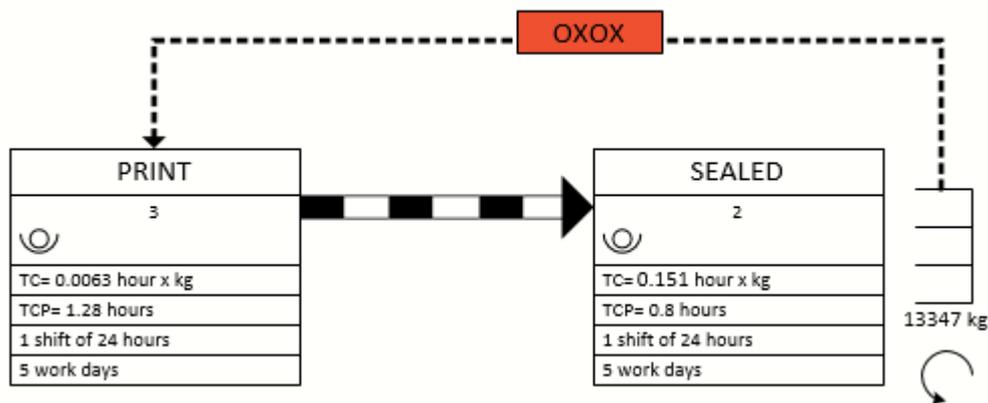


**Figura 2.12 VSM – Propuesta 3**

(Elaboración propia)

**Cálculos de la tercera propuesta:**

**Loop 1: Área de impresión y sellado**



**Figura 2.13: Loop 1 – Área de impresión y sellado propuesta 3**

(Elaboración propia)

**Lead time:**

Es el que muestra cuanto se tarda en producir un producto en todo el proceso analizado, para nuestro caso su unidad métrica es horas, este es calculado mediante la ecuación 2.35.

$$\begin{aligned} \text{Lead time} = & \text{tiempo de llenado por producto} & (2.35) \\ & + \text{tiempo de espera por producto} \end{aligned}$$

El lead time de cada producto es:

$$\begin{aligned} \text{Lead time producto 1} &= 55.43 h + 12 h = 67.43 h \\ \text{Lead time producto 2} &= 59.54 h + 12 h = 71.54 h \\ \text{Lead time producto 3} &= 51.92 h + 12 h = 63.92 h \\ \text{Lead time producto 4} &= 60.91 h + 12 h = 72.91 h \\ \text{Lead time producto 5} &= 50.97 h + 12 h = 62.97 h \\ \text{Lead time producto 6} &= 77.52 h + 12 h = 89.52 h \\ \text{Lead time producto 7} &= 75.43 h + 12 h = 87.43 h \\ \text{Lead time producto 8} &= 63.58 h + 12 h = 75.58 h \\ \text{Lead time producto 9} &= 52.35 h + 12 h = 64.35 h \\ \text{Lead time producto 10} &= 55.88 h + 12 h = 67.88 h \\ \text{Lead time producto 11} &= 106.45 h + 12 h = 118.45 h \\ \text{Lead time producto 12} &= 60.86 h + 12 h = 72.86 h \\ \text{Lead time producto 13} &= 61.91 h + 12 h = 73.91 h \\ \text{Lead time producto 14} &= 55.82 h + 12 h = 67.82 h \\ \text{Lead time producto 15} &= 60.09 h + 12 h = 72.09 h \\ \text{Lead time producto 16} &= 50.50 h + 12 h = 62.50 h \\ \text{Lead time producto 17} &= 55.48 h + 12 h = 67.48 h \\ \text{Lead time producto 18} &= 53.23 h + 12 h = 65.23 h \\ \text{Lead time producto 19} &= 89.71 h + 12 h = 101.71 h \end{aligned}$$

**Tarjeta color verde:**

Para determinar la cantidad de producto que se tendrá en la tarjeta de color verde, se eligió el consumo semanal histórico de mayor cantidad, debido a que los productos elegidos para el caso de estudio se elaboran todo el mes y pueden ser abastecidos semanalmente. Los valores de cada producto se encuentran en la tabla 2.17.

**Tabla 2.17 Cantidad de producto en la tarjeta verde**

(Elaboración propia)

<b>Tipo de Producto</b>	<b>Tarjeta color verde en Kg</b>
Producto 1	189
Producto 2	358
Producto 3	43
Producto 4	383
Producto 5	33
Producto 6	956
Producto 7	916
Producto 8	488
Producto 9	54
Producto 10	138
Producto 11	1445
Producto 12	215
Producto 13	217
Producto 14	80
Producto 15	185
Producto 16	10
Producto 17	146
Producto 18	20
Producto 19	1126

**Tarjeta color amarillo:**

Para calcular la cantidad que va a contener la tarjeta amarilla, se lo realizó con la ecuación 2.36.

$$\begin{aligned} & \textit{Tarjeta de color amarillo} && \textbf{(2.36)} \\ & = \textit{Tarjeta de color verde} \\ & \times \textit{Tiempo total de procesamiento de la tarjeta de color verde en semana} \end{aligned}$$

Para cada tipo de rollo, la cantidad de tarjeta de color amarillo es:

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 1} = 189 \times 0.56 = 107 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 2} = 358 \times 0.60 = 214 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 3} = 43 \times 0.53 = 23 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 4} = 383 \times 0.61 = 233 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 5} = 33 \times 0.52 = 18 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 6} = 956 \times 0.75 = 714 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 7} = 916 \times 0.73 = 668 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 8} = 488 \times 0.63 = 308 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 9} = 54 \times 0.54 = 29 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 10} = 138 \times 0.57 = 79 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 11} = 1445 \times 0.99 = 1427 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 12} = 215 \times 0.61 = 131 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 13} = 217 \times 0.62 = 134 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 14} = 80 \times 0.57 = 46 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 15} = 185 \times 0.60 = 112 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 16} = 10 \times 0.52 = 6 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 17} = 146 \times 0.56 = 83 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 18} = 20 \times 0.54 = 11 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color amarillo producto 19} = 1126 \times 0.85 = 955 \text{ Kg}$$

### **Tarjeta color rojo:**

La tarjeta de color rojo es el stock de seguridad de la pila, y este es calculado por medio de la ecuación 2.37.

$$\begin{aligned} \text{Tarjeta de color rojo} & \qquad \qquad \qquad (2.37) \\ & = \text{Tarjeta de color verde} \\ & \times \text{porcentaje del stock de seguridad} \end{aligned}$$

Para cada producto, la cantidad en kilogramos de su respectiva tarjeta roja es:

$$\text{Tarjeta color rojo producto 1} = 189 \times 15\% = 29 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color rojo producto 2} = 358 \times 15\% = 54 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color rojo producto 3} = 43 \times 15\% = 7 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color rojo producto 4} = 383 \times 15\% = 58 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color rojo producto 5} = 33 \times 15\% = 5 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color rojo producto 6} = 956 \times 15\% = 144 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color rojo producto 7} = 916 \times 15\% = 138 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color rojo producto 8} = 488 \times 15\% = 74 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color rojo producto 9} = 54 \times 15\% = 9 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color rojo producto 10} = 138 \times 15\% = 21 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color rojo producto 11} = 1445 \times 15\% = 217 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color rojo producto 12} = 215 \times 15\% = 33 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color rojo producto 13} = 217 \times 15\% = 33 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color rojo producto 14} = 80 \times 15\% = 12 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color rojo producto 15} = 185 \times 15\% = 28 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color rojo producto 16} = 10 \times 15\% = 2 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color rojo producto 17} = 146 \times 15\% = 22 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color rojo producto 18} = 20 \times 15\% = 3 \text{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta color rojo producto 19} = 1126 \times 15\% = 169 \text{ Kg}$$

### **Punto de reorden:**

Es el punto donde me indica donde debo de reordenar un producto para no quedar desabastecido y cumplir con el requerimiento del cliente, en nuestro caso está dado en kilogramos. Para el caso de tablero Kanban su punto de reorden es cuando se consume toda la tarjeta verde. Esto se lo cuantifica por medio de la ecuación 2.38.

$$\text{Punto de reorden} = \text{tarjeta amarilla} + \text{tarjeta roja} \quad (2.38)$$

El punto de reorden de cada producto es:

$$\text{Punto de reorden producto 1} = 107 \text{ Kg} + 29 \text{ Kg} = 136 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 2} = 214 \text{ Kg} + 54 \text{ Kg} = 268 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 3} = 23 \text{ Kg} + 7 \text{ Kg} = 30 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 4} = 233 \text{ Kg} + 58 \text{ Kg} = 291 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 5} = 18 \text{ Kg} + 5 \text{ Kg} = 23 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 6} = 714 \text{ Kg} + 144 \text{ Kg} = 858 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 7} = 668 \text{ Kg} + 138 \text{ Kg} = 806 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 8} = 308 \text{ Kg} + 74 \text{ Kg} = 382 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 9} = 29 \text{ Kg} + 9 \text{ Kg} = 38 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 10} = 79 \text{ Kg} + 21 \text{ Kg} = 100 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 11} = 1427 \text{ Kg} + 217 \text{ Kg} = 1644 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 12} = 131 \text{ Kg} + 33 \text{ Kg} = 164 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 13} = 134 \text{ Kg} + 33 \text{ Kg} = 167 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 14} = 46 \text{ Kg} + 12 \text{ Kg} = 58 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 15} = 112 \text{ Kg} + 28 \text{ Kg} = 140 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 16} = 6 \text{ Kg} + 2 \text{ Kg} = 8 \text{ Kg}$$

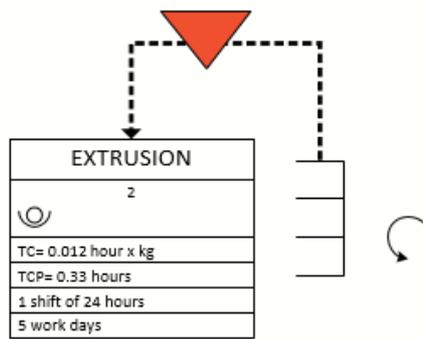
$$\text{Punto de reorden producto 17} = 83 \text{ Kg} + 22 \text{ Kg} = 105 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 18} = 11 \text{ Kg} + 3 \text{ Kg} = 14 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto 19} = 955 \text{ Kg} + 169 \text{ Kg} = 1124 \text{ Kg}$$

## **Loop 2: Área de extrusión**

Su representación en el VSM a futuro se muestra a continuación:



**Figura 2.14: Loop 2 – Área de extrusión propuesta 3**  
(Elaboración propia)

Donde el loop 2 está conformado por 3 máquinas, por ende, los cálculos serían lo siguiente:

**Tabla 2.23 Resumen de los cálculos de la propuesta 3 usando Kanban triangular**  
(Elaboración propia)

<b>Tiempo de jornada laboral</b>	120	horas semanales
<b># de máquinas</b>	3	máquinas
<b>Tiempo disponible para producción</b>	360	horas semanales
<b>Disponibilidad de máquina</b>	98.71%	Adimensional
<b>% de avería</b>	1.29%	Adimensional
<b>Tiempo de pérdidas por averías</b>	3.67	horas semanales
<b>Tiempo disponible para producción</b>	284.28	horas semanales
<b>#de cambios (teórico)</b>	635	cambios

Para iniciar los cálculos del Kanban triangular del loop 2, es necesario el cálculo del tiempo disponible de producción de la estación, procedemos a calcular por medio de la ecuación 2.39.

*Tiempo disponible para producción* **(2.39)**

$$\begin{aligned} &= (\text{Tiempo de la jornada laboral} \times \text{Días laborales} \\ &\times \text{\#de máquinas} \times \text{Disponibilidad de máquinas}) \\ &\quad \textit{Tiempo disponible para producción} \\ &= (24 \text{ horas} \times 5 \text{ días laborales} \times 3 \text{ máquinas} \times 98.71\%) \end{aligned}$$

$$\textit{Tiempo disponible para producción} = 355.36 \text{ horas semanales}$$

El tiempo disponible para producción que se visualiza en la ecuación 2.39, representa para los 64 SKU'S que inicialmente se estaba trabajando, pero para trabajar de forma óptima en la simulación se procedió a estratificar los SKU'S mediante un diagrama de Pareto, visualizado en la figura 2.2., al hacer esa clasificación se procedió a realizar una ponderación de un 80%.

$$\begin{aligned} \textit{Tiempo disponible para producción} &= 355.36 \times 80\% \\ \textit{Tiempo disponible para producción} &= 284.28 \text{ horas semanales} \end{aligned}$$

Empezamos obteniendo el tiempo disponible de producción para el área de extrusión, ya que se ve afectado por el porcentaje el tiempo de pérdidas por disponibilidad según la ecuación 2.40.

$$T.\textit{perd. disp} = (1 - \text{Disponibilidad}) \times T.\textit{disp. produccion} \quad \textbf{(2.40)}$$

$$T.\textit{perd. disp para área extrusora} = (1 - 98.71\%) \times 284.28$$

$$T.\textit{perd. disp para área extrusora} = 3.67 \text{ h}$$

### **Tiempo de procesamiento por producto:**

El tiempo de procesamiento por producto, indica cuanto tiempo se va a demorar por producto en procesarse, para la fase de extrusión se procesarán los rollos y está dado en unidades métricas en horas. La ecuación 2.41 indica de manera explícita su cálculo.

$$\begin{aligned} & \textit{Tiempo de procesamiento por rollos} & (2.41) \\ = & \frac{\textit{Demanda de rollo semanal} \times (1 + SS)}{\textit{Througput de la máquina}} \end{aligned}$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento Rollo R1} = \frac{759 \text{ kg} \times (1 + 10\%)}{83 \frac{\text{kg}}{\text{h}}} = 10.06 \text{ h}$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento Rollo R2} = \frac{1676 \text{ kg} \times (1 + 10\%)}{83 \frac{\text{kg}}{\text{h}}} = 22.21 \text{ h}$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento Rollo R3} = \frac{1726 \text{ kg} \times (1 + 10\%)}{83 \frac{\text{kg}}{\text{h}}} = 22.88 \text{ h}$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento Rollo R4} = \frac{1176 \text{ kg} \times (1 + 10\%)}{\frac{83\text{kg}}{\text{h}}} = 15.59 \text{ h}$$

### **Tiempo disponible para cambios:**

El tiempo disponible para cambios, indica cuanto tiempo se tiene disponible para realizar todos los cambios posibles. Mostrado en la ecuación 2.42.

$$\textit{Tiempo disponible para cambios} \quad (2.42)$$

= *Tiempo de jornada semanal*

– *Tiempo perdido disponible para producción*

–  $\sum$  *tiempo de procesamiento de rollos*

$$\textit{Tiempo disponible para cambios} = 284.28 \text{ h} - 3.67 \text{ h} - 70.74 \text{ h}$$

$$\textit{Tiempo disponible para cambios} = 209.87 \text{ h}$$

**Tiempo de procesamiento para cambios:**

El tiempo de procesamiento para cambios, indica cuanto tiempo se va a destinar por producto a realizar todos sus cambios en la máquina, para nuestro caso está dado en unidades métricas en horas, tal como lo indica la ecuación 2.43. Para el área de extrusión se cuenta con un tiempo de Setup de 0.33 horas para cada rollo a procesar.

$$\begin{aligned} \text{Tiempo requerido para cambios} & & (2.43) \\ & = \# \text{ de cambios realizados} \times \text{tiempo setup} \end{aligned}$$

$$\text{Tiempo requerido para cambios rollo R1} = 170 \text{ cambios} \times 0.33h = 56.1 h$$

$$\text{Tiempo requerido para cambios rollo R2} = 170 \text{ cambios} \times 0.33h = 56.1 h$$

$$\text{Tiempo requerido para cambios rollo R3} = 170 \text{ cambios} \times 0.33h = 56.1 h$$

$$\text{Tiempo requerido para cambios rollo R4} = 170 \text{ cambios} \times 0.33h = 56.1 h$$

Continuando con el cálculo del número de cambios disponibles, este valor se definirá según la ecuación 2.44.

$$\# \text{ de cambios disponibles} = \frac{T. \text{ disp. para cambios}}{T. \text{ de cambios}} \quad (2.44)$$

$$\# \text{ de cambios disponibles} = \frac{209.87 h}{\frac{0.33h}{\text{cambios}}}$$

$$\# \text{ de cambios disponibles} = 635.96 \cong 635 \text{ cambios semanales}$$

**Tamaño de lote:**

El tamaño de lote me indica de qué tamaño en cada lote que se produce, En nuestro caso, para calcular el tamaño de Lote, se procede a trabajar con una cantidad "Q", que viene ser el contenido que puede ir en la caja, no se usará el batch factor. El cálculo se lo hace mediante la ecuación 2.45

Donde  $Q=1$

$$\text{Lote Rollos} = di \times Q \quad (2.45)$$

Donde el tamaño de lote para cada rollo se lo define a continuación:

$$\text{Lote Rollos R1} = 759 \text{ kg} \times 1 \text{ u} = 759 \text{ kg}$$

$$\text{Lote Rollo R2} = 1676 \text{ kg} \times 1 \text{ u} = 1676 \text{ kg}$$

$$\text{Lote Rollo R3} = 1726 \text{ kg} \times 1 \text{ u} = 1726 \text{ kg}$$

$$\text{Lote Rollo R4} = 1176 \text{ kg} \times 1 \text{ u} = 1176 \text{ kg}$$

### **Tiempo de llenado:**

Es realizado mediante la ecuación 2.46.

$$\text{Tiempo de llenado} \quad (2.46)$$

$$= \text{Tiempo de procesamiento por producto}$$

$$+ \text{ tiempo requeridos para cambios}$$

$$\text{Tiempo de llenado Rollo R1} = 10.06 \text{ h} + 46.2 \text{ h} = 56.26 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo de llenado Rollo R2} = 22.21 \text{ h} + 56.1 \text{ h} = 78.31 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo de llenado Rollo R3} = 22.88 \text{ h} + 56.1 \text{ h} = 78.98 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo de llenado Rollo R4} = 15.59 \text{ h} + 49.5 \text{ h} = 65.09 \text{ h}$$

### **Lead time:**

Es el que muestra cuanto se tarda en producir un producto en todo el proceso analizado, para nuestro caso su unidad métrica es horas. Tal como indica la ecuación 2.47.

$$\text{Lead time} = \text{tiempo de llenado por producto} \quad (2.47)$$

$$+ \text{ tiempo de espera por producto}$$

Para el caso de estudio se tiene que el tiempo de espera por rollo es de 24 horas, por ende, se procede a realizar el análisis con ese tiempo.

$$\text{Lead time rollo R1} = 56.26 h + 24 h = 80.26 h$$

$$\text{Lead time rollo R2} = 78.31 h + 24 h = 102.31 h$$

$$\text{Lead time rollo R3} = 78.98 h + 24 h = 102.98 h$$

$$\text{Lead time rollo R4} = 65.09 h + 24 h = 89.09 h$$

**Punto de reorden:**

Se lo calcula como lo indica la ecuación 2.48.

$$PR_i = \frac{d_i}{T.\text{disp.prod. Máquina}} \times \text{Lead time de reposición máximo} \quad (2.48)$$

Donde:

$PR_i$ : Es el punto de reposición para el producto  $i$ .

$i$  : Son cada uno de los productos que pasan por la estación.

$d_i$ : Es la demanda del producto  $i$ .

$T.\text{disp.prod. Máquina}$ : es el tiempo disponible de producción

El desarrollo del punto de reposición queda de la siguiente manera:

$$\text{Punto de reorden rollo R1} = \frac{759 \text{ kg}}{284.28 \text{ h}} \times 102.98 \text{ h} = 274.95 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden rollo R2} = \frac{1676 \text{ kg}}{284.28 \text{ h}} \times 102.98 \text{ h} = 607.12 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden rollo R3} = \frac{1726 \text{ kg}}{284.28 \text{ h}} \times 102.31 \text{ h} = 621.17 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden rollo R4} = \frac{1176 \text{ kg}}{284.28 \text{ h}} \times 102.98 \text{ h} = 426 \text{ kg}$$

El número de cajas totales quedara definido por la ecuación 2.49:

$$\text{Cajas totales}_i = \frac{\text{Lote}_i}{Q} \quad (2.49)$$

Donde:

- $Lote_i$ : Es el tamaño del lote para el producto  $i$ .
- $Q$ : Es la cantidad
- $i$ : Son los productos por elaborar en la estación.

Dada esta información el tamaño de las cajas quedo definido de la siguiente manera:

$$\text{Cajas totales para rollo R1} = \frac{759 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 759 \text{ cajas}$$

$$\text{Cajas totales para rollo R2} = \frac{1676 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 1676 \text{ cajas}$$

$$\text{Cajas totales para rollo R3} = \frac{1726 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 1726 \text{ cajas}$$

$$\text{Cajas totales para rollo R4} = \frac{1176 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 1176 \text{ cajas}$$

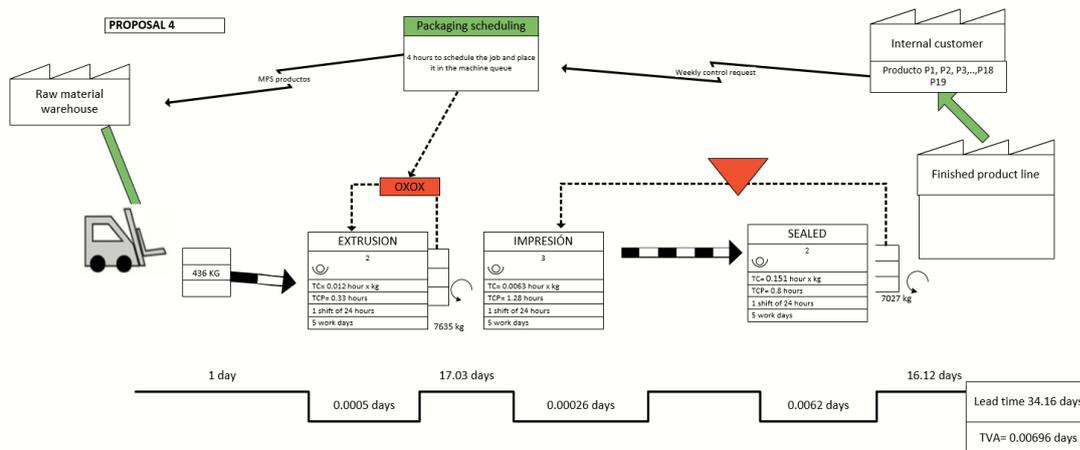
**Tabla 2.18 Resumen del VSM propuesta 3**

(Elaboración propia)

<b>Tiempo de inventario Inicial</b>	1 día
<b>Tiempo de ciclo en extrusión</b>	0.0005 días
<b>Tiempo de duración supermercado extrusión</b>	12.24 días
<b>Tiempo de ciclo en impresión</b>	0.00026 días
<b>Tiempo de sellado</b>	0.0062 días
<b>Tiempo de duración supermercado extrusión-impresión</b>	30.61 días
<b>Lead time del proceso</b>	43.86 días
<b>Tiempo que agrega valor</b>	0.00696 días
<b>Eficiencia del proceso</b>	0.0158%

## 2.2.5 Propuesta 4: Loop 1 Kanban Triangular, loop 2 Tablero Kanban

Como cuarta propuesta de VSM a futuro, se optó con implementar un sistema de Kanban mixto, debido a que el sistema se adapta para ese tipo de análisis, y basado con el resultado del EPC, se procede a implementar un tablero Kanban en el área de extrusión, mientras que para las estaciones de sellado e impresión se implementa el Kanban triangular.

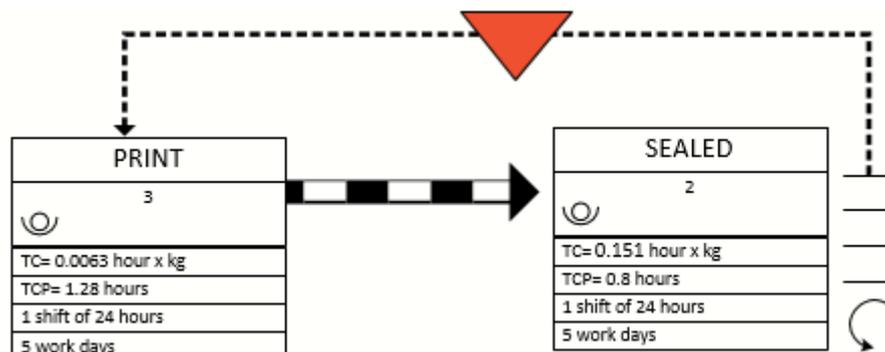


**Figura 2.15: VSM – Propuesta 4**  
(Elaboración propia)

**Cálculos de la cuarta propuesta:**

### Loop 1: Área de impresión y sellado

Su representación en el VSM a futuro se muestra a continuación:



**Figura 2.16: Loop 1 – Área de impresión y sellado**  
(Elaboración propia)



simulación, se procedió a estratificar los SKU'S mediante un diagrama de Pareto, visualizado en la figura 2.2., al hacer esa clasificación se procedió a realizar una ponderación de un 80%.

$$Tiempo\ disponible\ para\ producción = 222.74 \times 80\%$$

$$Tiempo\ disponible\ para\ producción = 178.19\ horas\ semanales$$

Empezamos obteniendo el tiempo disponible de producción para el loop 1, ya que se ve afectado por el porcentaje el tiempo de pérdidas por disponibilidad según ecuación 2.51.

$$T.\text{perd. disp} = (1 - Disponibilidad) \times T.\text{disp. producción} \quad (2.51)$$

$$T.\text{perd. disp para área impresión} = (1 - 92.81\%) \times 178.19$$

$$T.\text{perd. disp para impresión} = 12.83\ horas$$

#### **Tiempo de procesamiento por producto:**

El tiempo de procesamiento por producto, indica cuanto tiempo se va a demorar por producto en procesarse, para la fase del loop 1 al llegar al supermercado se consideró que el tiempo de procesamiento por producto total será la sumatoria del tiempo de procesamiento de impresión más el tiempo de procesamiento de sellado, se procesarán los rollos y está dado en unidades métricas en horas. Indicado en la ecuación 2.52.

$$\begin{aligned} &Tiempo\ de\ procesamiento\ producto\ P_i && (2.52) \\ &= Demanda\ semanal \times (CT\ impresión) \times (1 + SS) + CT\ sellado \end{aligned}$$

Donde el tiempo de procesamiento de producto es el siguiente:

$$Tiempo\ de\ procesamiento\ producto\ P1 = 189\ kg \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$Tiempo\ de\ procesamiento\ producto\ P1 = 2.65\ h$$

$$Tiempo\ de\ procesamiento\ producto\ P2 = 358\ kg \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$Tiempo\ de\ procesamiento\ producto\ P2 = 4.88\ h$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto P3} = 43 \textit{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto P3} = 0.72 \textit{ h}$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto P4} = 383 \textit{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto P4} = 5.21 \textit{ h}$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto P5} = 33 \textit{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto P5} = 0.59 \textit{ h}$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto P6} = 956 \textit{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto P6} = 12.77 \textit{ h}$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto P7} = 916 \textit{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto P7} = 12.24 \textit{ h}$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto P8} = 488 \textit{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto P8} = 6.59 \textit{ h}$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto P9} = 79 \textit{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto P9} = 1.19 \textit{ h}$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto P10} = 138 \textit{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto P10} = 1.97 \textit{ h}$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto P11} = 1445 \textit{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto P11} = 19.22 \textit{ h}$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto P12} = 215 \textit{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\textit{Tiempo de procesamiento producto P12} = 2.99 \textit{ h}$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P13} = 217 \text{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P13} = 3.01 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P14} = 80 \text{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P14} = 1.21 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P15} = 185 \text{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P15} = 2.59 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P16} = 10 \text{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P16} = 0.28 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P17} = 146 \text{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P17} = 2.08 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P18} = 20 \text{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P18} = 0.42 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P19} = 1186 \text{ kg} \times (0.012) \times (1 + 10\%) + 0.15$$

$$\text{Tiempo de procesamiento producto P19} = 15.01 \text{ h}$$

**Tiempo disponible para cambios:**

El tiempo disponible para cambios, indica cuanto tiempo se tiene disponible para realizar todos los cambios posibles.

$$\begin{aligned} \text{Tiempo disponible para cambios} & & (2.53) \\ &= \text{Tiempo de jornada semanal} \\ &- \text{Tiempo perdido disponible para producción} \\ &- \sum \text{ tiempo de procesamiento de rollos} \end{aligned}$$

$$\text{Tiempo disponible para cambios} = 178.18 - 12.83 \text{ h} - 95.63 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo disponible para cambios} = 69.72 \text{ h}$$

Para determinar el tiempo de procesamiento para cambios, se debe conocer primero cuál es el número total de cambios que se dispone en base al tiempo disponible de cambio, por ende, se procede a usar la siguiente ecuación:

$$\text{Número de cambios teóricos} = \frac{\text{Tiempo disponible para cambios}}{\text{Tiempo de setup por producto}} \quad (2.54)$$

Donde para este caso se está analizando el área de impresión y sellado, se procede a utilizar los tiempos de cambio de dichas etapas y proceder a sumar, obteniendo lo siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Número de cambios teóricos} &= \frac{69.72 \text{ h}}{1.28 \frac{\text{h}}{\text{cambio}} + 0.80 \frac{\text{h}}{\text{cambio}}} = 33.51 \\ &\approx 33 \text{ cambios} \end{aligned}$$

Además, para poder distribuir la cantidad de cambios sin que nos afecten al tiempo disponible, se procede a asignar más cambios a productos con mayor demanda, que son 33 cambios asignados, se procede a obtener el tiempo de procesamiento para cambios.

### **Tiempo de procesamiento para cambios:**

El tiempo de procesamiento para cambios, indica cuanto tiempo se va a destinar por producto a realizar todos sus cambios en la máquina, para nuestro caso está dado en unidades métricas en horas.

Para el área de extrusión se cuenta con un tiempo de Setup de 0.33 horas para cada rollo a procesar, según la ecuación 2.55.

$$\text{Tiemp. requerido para cambios} = N^{\circ} \text{ de cambios asignados} \times \text{tiempo setup por producto} \quad (2.55)$$

Dada esta información el tiempo requerido para cambios de los diferentes productos, quedó definido de la siguiente manera:

$$\text{Tiempo requerido para cambios producto P1} = 1 \text{ cambios} \times (1.28 + 0.8)h = .208 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo requerido para cambios producto P2} = 1 \text{ cambios} \times (1.28 + 0.8) = 2.08 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo requerido para cambios producto P3} = 1 \text{ cambios} \times (1.28 + 0.8)h = 2.08 \text{ h}$$

*Tiempo requerido para cambios producto P4 = 1 cambios  $\times$  (1.28 + 0.80)h = 2.08 h*  
*Tiempo requerido para cambios producto P5 = 1 cambios  $\times$  (1.28 + 0.80)h = 2.08 h*  
*Tiempo requerido para cambios producto P6 = 3 cambios  $\times$  (1.28 + 0.80)h = 6.24 h*  
*Tiempo requerido para cambios producto P7 = 3 cambios  $\times$  (1.28 + 0.80)h = 6.24 h*  
*Tiempo requerido para cambios producto P8 = 2 cambios  $\times$  (1.28 + 0.80)h = 4.16 h*  
*Tiempo requerido para cambios producto P9 = 1 cambios  $\times$  (1.28 + 0.80)h = 2.08 h*  
*Tiempo requerido para cambios producto P10 = 1 cambios  $\times$  (1.28 + 0.80)h = 2.08 h*  
*Tiempo requerido para cambios producto P11 = 2 cambios  $\times$  (1.28 + 0.80)h = 4.16 h*  
*Tiempo requerido para cambios producto P12 = 2 cambios  $\times$  (1.28 + 0.80)h = 4.16 h*  
*Tiempo requerido para cambios producto P13 = 2 cambios  $\times$  (1.28 + 0.80)h = 4.16 h*  
*Tiempo requerido para cambios producto P14 = 1 cambios  $\times$  (1.28 + 0.80)h = 2.08h*  
*Tiempo requerido para cambios producto P15 = 1 cambios  $\times$  (1.28 + 0.80)h = 2.08 h*  
*Tiempo requerido para cambios producto P16 = 1 cambios  $\times$  (1.28 + 0.80)h = 2.08 h*  
*Tiempo requerido para cambios producto P17 = 1 cambios  $\times$  (1.28 + 0.80)h = 2.08 h*  
*Tiempo requerido para cambios producto P18 = 1 cambios  $\times$  (1.28 + 0.80)h = 2.08 h*  
*Tiempo requerido para cambios producto P19 = 3 cambios  $\times$  (1.28 + 0.80)h = 6.24 h*

**Tamaño de lote:**

El tamaño de lote me indica de qué tamaño es cada lote que se produce, en nuestro caso, para calcular el tamaño de Lote, se procede a trabajar con una cantidad "Q", que es el contenido en kg que la caja portará. Para el respectivo cálculo definimos que el valor Q sea igual a 1, y el tamaño de lote sea calculado en base a la demanda del producto i por dicho valor Q, como lo indica la ecuación 2.56.

Donde Q=1

$$Lote\ productos = d_i \times Q \tag{2.56}$$

$$Lote\ producto\ P1 = 189\ kg \times 1\ u = 189\ kg$$

$$Lote\ producto\ P2 = 358\ kg \times 1\ u = 358\ kg$$

$$\text{Lote producto P3} = 43 \text{ kg} \times 1 \text{ u} = 43 \text{ kg}$$

$$\text{Lote producto P4} = 383 \text{ kg} \times 1 \text{ u} = 383 \text{ kg}$$

$$\text{Lote producto P5} = 33 \text{ kg} \times 1 \text{ u} = 33 \text{ kg}$$

$$\text{Lote producto P6} = 956 \text{ kg} \times 1 \text{ u} = 956 \text{ kg}$$

$$\text{Lote producto P7} = 916 \text{ kg} \times 1 \text{ u} = 916 \text{ kg}$$

$$\text{Lote producto P8} = 488 \text{ kg} \times 1 \text{ u} = 488 \text{ kg}$$

$$\text{Lote producto P9} = 79 \text{ kg} \times 1 \text{ u} = 79 \text{ kg}$$

$$\text{Lote producto P10} = 138 \text{ kg} \times 1 \text{ u} = 138 \text{ kg}$$

$$\text{Lote producto P11} = 1445 \text{ kg} \times 1 \text{ u} = 1445 \text{ kg}$$

$$\text{Lote producto P12} = 215 \text{ kg} \times 1 \text{ u} = 215 \text{ kg}$$

$$\text{Lote producto P13} = 217 \text{ kg} \times 1 \text{ u} = 217 \text{ kg}$$

$$\text{Lote producto P14} = 80 \text{ kg} \times 1 \text{ u} = 80 \text{ kg}$$

$$\text{Lote producto P15} = 185 \text{ kg} \times 1 \text{ u} = 185 \text{ kg}$$

$$\text{Lote producto P16} = 10 \text{ kg} \times 1 \text{ u} = 10 \text{ kg}$$

$$\text{Lote producto P17} = 146 \text{ kg} \times 1 \text{ u} = 146 \text{ kg}$$

$$\text{Lote producto P18} = 20 \text{ kg} \times 1 \text{ u} = 20 \text{ kg}$$

$$\text{Lote producto P19} = 1126 \text{ kg} \times 1 \text{ u} = 1126 \text{ kg}$$

### **Tiempo de llenado:**

Es el que indica cuanto tiempo se va a demorar en producir el lote, para este caso sus unidades métricas es horas, como lo indica la ecuación 2.57.

$$\begin{aligned} \text{Tiempo de llenado por producto} & \qquad \qquad \qquad (2.57) \\ & = \text{Tiempo de procesamiento por producto} \\ & + \text{tiempo requeridos para cambios} \end{aligned}$$

El desarrollo del tiempo de llenado de cada producto queda de la siguiente manera:

$$\text{Tiempo de llenado producto P1} = 2.65 \text{ h} + 2.08 \text{ h} = 4.73 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo de llenado producto P2} = 4.88 \text{ h} + 2.08 \text{ h} = 6.96 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo de llenado producto P3} = 0.72 \text{ h} + 2.08 \text{ h} = 2.80 \text{ h}$$

$$\text{Tiempo de llenado producto P4} = 5.21 \text{ h} + 2.08 \text{ h} = 7.29 \text{ h}$$

$$\begin{aligned}
\text{Tiempo de llenado producto P5} &= 0.59 h + 2.08 h = 2.67 h \\
\text{Tiempo de llenado producto P6} &= 12.77 h + 6.24 h = 19.01 h \\
\text{Tiempo de llenado producto P7} &= 12.24 h + 6.24 h = 18.48 h \\
\text{Tiempo de llenado producto P8} &= 6.59 h + 4.16 h = 10.75 h \\
\text{Tiempo de llenado producto P9} &= 1.19 h + 2.08 h = 3.27 h \\
\text{Tiempo de llenado producto P10} &= 1.97 h + 2.08 h = 4.05 h \\
\text{Tiempo de llenado producto P11} &= 19.23 h + 4.16 h = 23.39 h \\
\text{Tiempo de llenado producto P12} &= 2.99 h + 4.16 h = 7.15 h \\
\text{Tiempo de llenado producto P13} &= 3.02 h + 4.16 h = 7.18 h \\
\text{Tiempo de llenado producto P14} &= 1.21 h + 2.08 h = 3.29 h \\
\text{Tiempo de llenado producto P15} &= 2.59 h + 2.08 h = 4.67 h \\
\text{Tiempo de llenado producto P16} &= 0.28 h + 2.08 h = 2.36 h \\
\text{Tiempo de llenado producto P17} &= 2.08 h + 2.08 h = 4.16 h \\
\text{Tiempo de llenado producto P18} &= 0.42 h + 2.08 h = 2.50 h \\
\text{Tiempo de llenado producto P19} &= 15.01 h + 6.24 h = 21.25 h
\end{aligned}$$

**Lead time:**

Es el que muestra cuanto se tarda en producir un producto en todo el proceso analizado, para nuestro caso su unidad métrica es horas, como lo indica la ecuación 2.58.

$$\begin{aligned}
&\text{Lead time por producto} && (2.58) \\
&= \text{tiempo de llenado por producto} \\
&+ \text{tiempo de espera por producto}
\end{aligned}$$

Para el caso de estudio se tiene que el tiempo de espera por producto es de 48 horas, por ende, se procede a realizar el análisis con ese tiempo:

$$\begin{aligned}
\text{Lead time producto P1} &= 4.73 h + 48 h = 52.73 h \\
\text{Lead time producto P2} &= 6.96 h + 48 h = 54.96 h \\
\text{Lead time producto P3} &= 2.80 h + 48 h = 50.80 h \\
\text{Lead time producto P4} &= 7.29 h + 48 h = 55.29 h
\end{aligned}$$

$$\text{Lead time producto P5} = 2.67 h + 48 h = 50.67 h$$

$$\text{Lead time producto P6} = 19.01 h + 48 h = 67.01 h$$

$$\text{Lead time producto P7} = 18.48 h + 48 h = 66.48 h$$

$$\text{Lead time producto P8} = 10.75 h + 48 h = 58.75 h$$

$$\text{Lead time producto P9} = 3.27 h + 48 h = 51.27 h$$

$$\text{Lead time producto P10} = 4.05 h + 48 h = 52.05 h$$

$$\text{Lead time producto P11} = 23.39 h + 48 h = 71.39 h$$

$$\text{Lead time producto P12} = 7.15 h + 48 h = 55.15 h$$

$$\text{Lead time producto P13} = 7.18 h + 48 h = 55.18 h$$

$$\text{Lead time producto P14} = 3.29 h + 48 h = 51.29 h$$

$$\text{Lead time producto P15} = 4.67 h + 48 h = 52.67 h$$

$$\text{Lead time producto P16} = 2.36 h + 48 h = 50.36 h$$

$$\text{Lead time producto P17} = 4.16 h + 48 h = 52.16 h$$

$$\text{Lead time producto P18} = 2.50 h + 48 h = 50.50 h$$

$$\text{Lead time producto P19} = 21.25 h + 48 h = 69.25 h$$

Para el cálculo del punto de reorden se procede a usar el Lead time máximo, debido a que será usado como colchón de protección, donde el lead time máximo es de 71.39 horas.

### **Punto de reorden:**

Es el punto donde me indica donde debo de reordenar un producto para no quedarme desabastecido y cumplir con el requerimiento del cliente, en nuestro caso está dado en kilogramos, como se muestra en la ecuación 2.59.

$$PR_i = \frac{d_i}{T.\text{disp.prod.Máquina}} \times \text{Lead time de reposición máximo} \quad (2.59)$$

Donde:

$PR_i$ : Es el punto de reposición para el producto i.

i: Son cada uno de los productos que pasan por la estación.

$d_i$ : Es la demanda del producto i.

$T.\text{disp.prod.Máquina}$  : es el tiempo disponible de producción

El desarrollo del punto de reposición para los productos queda de la siguiente manera:

$$\text{Punto de reorden producto P1} = \frac{189 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 75.72 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P2} = \frac{358 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 143.43 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P3} = \frac{43 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 17.23 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P4} = \frac{383 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 153.45 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P5} = \frac{33 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 13.22 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P6} = \frac{956 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 383.01 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P7} = \frac{916 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 366.99 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P8} = \frac{488 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 195.51 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P9} = \frac{79 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 31.65 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P10} = \frac{138 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 55.29 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P11} = \frac{1445 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 561.61 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P12} = \frac{215 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 86.14 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P13} = \frac{217 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 86.94 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P14} = \frac{80 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 32.05 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P15} = \frac{185 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 74.12 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P16} = \frac{10 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 4.01 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P17} = \frac{146 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 58.49 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P18} = \frac{20 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 8.01 \text{ kg}$$

$$\text{Punto de reorden producto P19} = \frac{1126 \text{ kg}}{178.18 \text{ h}} \times 71.39 \text{ h} = 451.12 \text{ kg}$$

El número de cajas totales quedara definido por la ecuación 2.60.

$$Cajas\ totales_i = \frac{Lote_i}{Q} \quad (2.60)$$

Donde:

- $Lote_i$ : Es el tamaño del lote para el producto  $i$ .
- $Q$ : Es la cantidad que existe en el lote.
- $i$ : Son los productos por elaborar en la estación.

Dada esta información el tamaño de las cajas quedo definido de la siguiente manera:

$$Cajas\ totales\ para\ producto\ P1 = \frac{189\ kg}{1\ \frac{kg}{caja}} = 189\ cajas$$

$$Cajas\ totales\ para\ producto\ P2 = \frac{358\ kg}{1\ \frac{kg}{caja}} = 358\ cajas$$

$$Cajas\ totales\ para\ producto\ P3 = \frac{43\ kg}{1\ \frac{kg}{caja}} = 43\ cajas$$

$$Cajas\ totales\ para\ producto\ P4 = \frac{383\ kg}{1\ \frac{kg}{caja}} = 383\ cajas$$

$$Cajas\ totales\ para\ producto\ P5 = \frac{33\ kg}{1\ \frac{kg}{caja}} = 33\ cajas$$

$$Cajas\ totales\ para\ producto\ P6 = \frac{956\ kg}{1\ \frac{kg}{caja}} = 956\ cajas$$

$$Cajas\ totales\ para\ producto\ P7 = \frac{916\ kg}{1\ \frac{kg}{caja}} = 916\ cajas$$

$$Cajas\ totales\ para\ producto\ P8 = \frac{488\ kg}{1\ \frac{kg}{caja}} = 488\ cajas$$

$$Cajas\ totales\ para\ producto\ P9 = \frac{79\ kg}{1\ \frac{kg}{caja}} = 79\ cajas$$

$$Cajas\ totales\ para\ producto\ P10 = \frac{138\ kg}{1\ \frac{kg}{caja}} = 138\ cajas$$

$$\text{Cajas totales para producto P11} = \frac{1445 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 1445 \text{ cajas}$$

$$\text{Cajas totales para producto P12} = \frac{215 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 215 \text{ cajas}$$

$$\text{Cajas totales para producto P13} = \frac{217 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 217 \text{ cajas}$$

$$\text{Cajas totales para producto P14} = \frac{80 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 80 \text{ cajas}$$

$$\text{Cajas totales para producto P15} = \frac{185 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 185 \text{ cajas}$$

$$\text{Cajas totales para producto P16} = \frac{10 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 10 \text{ cajas}$$

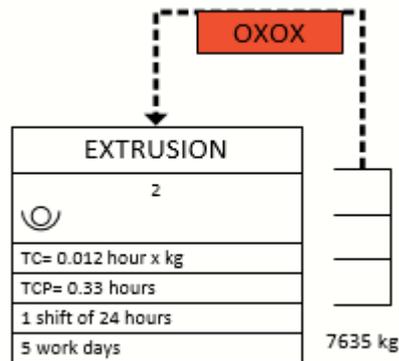
$$\text{Cajas totales para producto P17} = \frac{146 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 146 \text{ cajas}$$

$$\text{Cajas totales para producto P18} = \frac{20 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 20 \text{ cajas}$$

$$\text{Cajas totales para producto P19} = \frac{1126 \text{ kg}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{caja}}} = 1126 \text{ cajas}$$

## **Cálculo Loop 2: Área de extrusión**

Su representación en el VSM a futuro se muestra a continuación:



**Figura 2.17: Loop 2 – Área de extrusión propuesta 4**  
(Elaboración propia)

### Cálculos del Kanban Board:

#### Lead time:

Es el que muestra cuanto se tarda en producir un producto en todo el proceso analizado, para nuestro caso su unidad métrica es horas, como lo indica la ecuación 2.61.

$$\begin{aligned} \text{Lead time} &= \text{tiempo de llenado por producto} \\ &+ \text{tiempo de espera por producto} \end{aligned} \quad (2.61)$$

El lead time de cada rollo es:

$$\text{Lead time rollo 1} = 10.45 \text{ h} + 24 \text{ h} = 34.45 \text{ h}$$

$$\text{Lead time rollo 2} = 21.71 \text{ h} + 24 \text{ h} = 45.71 \text{ h}$$

$$\text{Lead time rollo 3} = 23.14 \text{ h} + 24 \text{ h} = 47.14 \text{ h}$$

$$\text{Lead time rollo 4} = 15.22 \text{ h} + 24 \text{ h} = 39.22 \text{ h}$$

#### Tarjeta color verde:

Para determinar la cantidad de rollos que se tendrá en la tarjeta de color verde, se eligió el consumo semanal histórico de mayor cantidad, debido a que los productos elegidos para el caso de estudio se elaboran todo el mes y pueden ser abastecidos semanalmente. Los valores de cada rollo se encuentran en la tabla 2.20.

**Tabla 2.20 Cantidad en Kg de rollos en cada tarjeta verde**

(Elaboración propia)

Tipo de Rollo	Tarjeta color verde en Kg
Rollo 1	759
Rollo 2	1676
Rollo 3	1726
Rollo 4	1176

### Tarjeta color amarillo:

Para calcular la cantidad que va a contener la tarjeta amarilla, se lo realizó con la ecuación 2.62.

$$\begin{aligned}
 & \textit{Tarjeta de color amarillo} && (2.62) \\
 & = \textit{Tarjeta de color verde} \\
 & \times \textit{Tiempo total de procesamiento de la tarjeta de color verde en semana}
 \end{aligned}$$

Para cada tipo de rollo, la cantidad de tarjeta de color amarillo es:

$$\textit{Tarjeta de color amarillo del rollo 1} = 759 \times 0.35 = 266 \textit{ Kg}$$

$$\textit{Tarjeta de color amarillo del rollo 2} = 1676 \times 0.55 = 922 \textit{ Kg}$$

$$\textit{Tarjeta de color amarillo del rollo 3} = 1726 \times 0.42 = 725 \textit{ Kg}$$

$$\textit{Tarjeta de color amarillo del rollo 4} = 1176 \times 0.33 = 385 \textit{ Kg}$$

### Tarjeta color rojo:

La tarjeta de color rojo es el stock de seguridad de la pila, y este es calculado por medio de la ecuación 2.63.

$$\begin{aligned}
 & \textit{Tarjeta de color rojo} && (2.63) \\
 & = \textit{Tarjeta de color verde} \\
 & \times \textit{porcentaje del stock de seguridad}
 \end{aligned}$$

Para cada rollo, la cantidad en kilogramos de su respectiva tarjeta roja es:

$$\textit{Tarjeta de color rojo del rollo 1} = 759 \times 15\% = 114 \textit{ Kg}$$

$$\textit{Tarjeta de color rojo del rollo 2} = 1676 \times 15\% = 252 \textit{ Kg}$$

$$\textit{Tarjeta de color rojo del rollo 3} = 1726 \times 15\% = 259 \textit{ Kg}$$

$$\text{Tarjeta de color rojo del rollo 4} = 1176 \times 15\% = 177 \text{ Kg}$$

**Punto de reorden:**

Es el punto donde me indica donde debo de reordenar un producto para no quedar desabastecido y cumplir con el requerimiento del cliente, en nuestro caso está dado en kilogramos. Para el caso de Kanban board su punto de reorden es cuando se consume toda la tarjeta verde. Esto se lo cuantifica por medio de la ecuación 2.64.

$$\text{Punto de reorden} = \text{tarjeta amarilla} + \text{tarjeta roja} \quad (2.64)$$

El punto de reorden de cada rollo es:

$$\text{Punto de reorden rollo 1} = 266 \text{ Kg} + 114 \text{ Kg} = 380 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden rollo 2} = 922 \text{ Kg} + 252 \text{ Kg} = 1174 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden rollo 3} = 725 \text{ Kg} + 259 \text{ Kg} = 984 \text{ Kg}$$

$$\text{Punto de reorden rollo 4} = 385 \text{ Kg} + 177 \text{ Kg} = 562 \text{ Kg}$$

**Tabla 2.21 Resumen del VSM Propuesta 4**

(Elaboración propia)

<b>Tiempo de inventario Inicial</b>	1 día
<b>Tiempo de ciclo en extrusión</b>	0.0005 días
<b>Tiempo de duración supermercado extrusión</b>	17.03 días
<b>Tiempo de ciclo en impresión</b>	0.00026 días
<b>Tiempo de sellado</b>	0.0062 días
<b>Tiempo de duración supermercado extrusión-impresión</b>	16.12 días
<b>Lead time del proceso</b>	34.16 días
<b>Tiempo que agrega valor</b>	0.00696 días
<b>Eficiencia del proceso</b>	0.0203%

## 2.2.6 Herramientas financieras

Para el presente caso académico, se procede analizar los diferentes tipos de costos que se generan por diseñar un sistema de control tipo Pull, de alta variación de productos y bajo volumen de producción, el cual según la ecuación 2.65 se analiza el costo de oportunidad que tiene el producto en ser vendido, la ecuación 2.66 el costo de mantener inventario del producto, ecuación 2.67 el costo por faltas de existencias de los productos, ecuación 2.68 ventas generadas y por último la ecuación 2.69 las utilidades.

$$\text{Costo de oportunidad} = \text{precio que es comprado el producto en USD.} \quad (2.65)$$

$$\text{Costo de mantener inventario} \quad (2.66)$$

$$= \text{costo del material} \times \text{depreciación del material en USD.}$$

$$\text{Costo por faltas de existencias de los productos} \quad (2.67)$$

$$= \text{costo de oportunidad}$$

$$\times \text{productos que no pudieron ser entregados al cliente en USD.}$$

$$\text{Ventas} = \text{costo de oportunidad} \times \text{unidades vendidas en USD.} \quad (2.68)$$

$$\text{Utilidades} = \text{ventas} - \text{costos totales en USD.} \quad (2.69)$$

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Esta sección, trata de los resultados obtenidos de la simulación en función de los requerimientos que posee el cliente.

### 3.1 Tablas de resumen en función de los cálculos iniciales

**Tabla 3.1 Resultados financieros de las 4 propuestas**

(Elaboración propia)

Análisis financiero				
Métricas	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4
Costo del material	\$ 1.48	\$ 1.48	\$ 1.48	\$ 1.48
Costo de oportunidad	\$ 7.40	\$ 7.40	\$ 7.40	\$ 7.40
Costo de mantenimiento	\$ 0.22	\$ 0.22	\$ 0.22	\$ 0.22
Costo de falta de existencias	\$ 1,068.31	\$ 14,675.16	\$ 3,429.83	\$ 14,787.62
Productos vendidos (Kg)	75982	75982	75982	75982
Ventas	\$ 562,266.80	\$ 562,266.80	\$ 562,266.80	\$ 562,266.80
Utilidades	\$ 397,422.43	\$ 475,385.03	\$ 416,645.97	\$ 453,687.51

**Tabla 3.2 Resultados de la simulación de las 4 propuestas**

(Elaboración propia)

Requerimientos del cliente	Modelos propuestos			
Métricas	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4
Inventario promedio (Kg/semana)	21078	9293	18300	12071
Lead time(días)	49.35	22.32	42.98	28.69
Porcentaje de obsolescencia	0.19%	2.61%	0.61%	2.63%
Fill rate (Nivel de servicio)	99.81%	97.39%	99.39%	97.37%
Utilidades	\$ 397,422.43	\$ 475,385.03	\$ 416,645.97	\$ 453,687.51

En función de la tabla 3.1 y 3.2, la propuesta 2 es la que posee mayor utilidad, menor lead time, menor inventario promedio y es el que tiene el menor nivel de servicio, sin embargo, cumple con el requerimiento del cliente.

### 3.2 Tablas de resumen en función del análisis de sensibilidad

Para el primer análisis de sensibilidad, se redujo el lote de unidades de reposición del supermercado en el tablero Kanban.

**Tabla 3.3 Análisis financiero del primer caso del análisis de sensibilidad**

(Elaboración propia)

<b>Análisis financiero</b>			
<b>Métricas</b>	<b>Propuesta 1</b>	<b>Propuesta 3</b>	<b>Propuesta 4</b>
<b>Costo del material</b>	\$ 1.48	\$ 1.48	\$ 1.48
<b>Costo de oportunidad</b>	\$ 7.40	\$ 7.40	\$ 7.40
<b>Costo de mantenimiento</b>	\$ 0.15	\$ 0.15	\$ 0.15
<b>Costo de falta de existencias</b>	\$ 506.04	\$ 1,461.89	\$ 13,775.54
<b>Productos vendidos (Kg)</b>	75982	75982	75982
<b>Ventas</b>	\$ 562,266.80	\$ 562,266.80	\$ 562,266.80
<b>Utilidades</b>	\$ 476,456.52	\$ 484,544.95	\$ 491,309.24

**Tabla 3.4 Resultados de la simulación primer caso del análisis de sensibilidad**

(Elaboración propia)

<b>Métricas</b>	<b>Análisis de sensibilidad</b>		
	<b>Reducción del lote de unidades de reposición del supermercado en el tablero Kanban</b>		
	<b>Propuesta 1</b>	<b>Propuesta 3</b>	<b>Propuesta 4</b>
<b>Inventario promedio (Kg/semana)</b>	16468	14722	11039
<b>Lead time(días)</b>	38.79	34.77	26.33
<b>Porcentaje de obsolescencia</b>	0.09%	0.26%	2.45%
<b>Fill rate (Nivel de servicio)</b>	99.91%	99.74%	97.55%
<b>Utilidades</b>	\$ 476,456.52	\$ 484,544.95	\$ 491,309.24

Para el segundo caso del análisis de sensibilidad, se procedió a realizar un aumento del lote de unidades de reposición del supermercado en el Kanban triangular.

**Tabla 3.5 Análisis financiero del segundo caso del análisis de sensibilidad**  
(Elaboración propia)

<b>Análisis financiero</b>			
<b>Métricas</b>	<b>Propuesta 2</b>	<b>Propuesta 3</b>	<b>Propuesta 4</b>
<b>Costo del material</b>	\$ 1.48	\$ 1.48	\$ 1.48
<b>Costo de oportunidad</b>	\$ 7.40	\$ 7.40	\$ 7.40
<b>Costo de mantenimiento</b>	\$ 0.15	\$ 0.15	\$ 0.15
<b>Costo de falta de existencias</b>	\$ 16,249.51	\$ 4,217.00	\$ 9,389.86
<b>Productos vendidos (Kg)</b>	75982	75982	75982
<b>Ventas</b>	\$ 562,266.80	\$ 562,266.80	\$ 562,266.80
<b>Utilidades</b>	\$ 451,373.51	\$ 460,790.12	\$ 446,308.80

**Tabla 3.6 Resultados de la simulación segundo caso del análisis de sensibilidad**  
(Elaboración propia)

<b>Métricas</b>	<b>Análisis de sensibilidad</b>		
	<b>Aumento del lote de unidades de reposición del supermercado en el Kanban triangular</b>		
	<b>Propuesta 2</b>	<b>Propuesta 3</b>	<b>Propuesta 4</b>
<b>Inventario promedio (Kg/semana)</b>	18271	18776	20573
<b>Lead time(días)</b>	42.91	44.1	26.33
<b>Porcentaje de obsolescencia</b>	2.89%	0.75%	1.67%
<b>Fill rate (Nivel de servicio)</b>	97.11%	99.25%	98.33%
<b>Utilidades</b>	\$ 451,373.51	\$ 460,790.12	\$ 446,308.80

En función de la tabla 3.3 y 3.4, con el análisis de sensibilidad la propuesta 4 es la que posee mayor utilidad, menor lead time, menor inventario promedio y es el que tiene el menor nivel de servicio, sin embargo, cumple con el requerimiento del cliente.

### 3.3 Resultados de la validación de prototipo

Como resultados en la validación del prototipo de validación, realizada con estudiantes por medio de sesiones virtuales, se obtuvieron como resultados, los descritos en la matriz de feedback que se encuentra en la figura 3.1.

## MATRIZ DE FEEDBACK

**Nombre de prototipo:** DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE PRODUCCIÓN EN UN AMBIENTE DE PRODUCCIÓN DISCRETA CON ALTA VARIEDAD DE PRODUCTOS Y BAJO VOLUMEN DE PRODUCCIÓN **Fecha:** 25/08/2021

<b>¿QUÉ HA GUSTADO?</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- La especificación detallada por lo que han tratado de resumir un gran proceso, adaptándolo a los recursos tecnológicos disponibles.</li><li>- La aplicación de la herramienta para implementar mejoras.</li><li>- El alto nivel de servicio.</li><li>- La implementación de un sistema pull, frecuente en las industrias, en el simulador FlexSim.</li><li>- Todos los diseños que plantearon en FLEXSIM.</li><li>- La aplicación de los diferentes sistemas Kanban durante el curso.</li><li>- La facilidad de explicación.</li><li>- La forma de realizar la simulación.</li></ul>	<b>¿QUÉ CRÍTICAS CONSTRUCTIVAS HAN HECHO?</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- No.</li><li>- El código puede estar en las diapositivas.</li><li>- La presentación de FlexSim se puede mejorar con cuadros de mando adicionales.</li><li>- El prototipo me parece muy bien ejecutado, especialmente las métricas utilizadas que pueden desarrollarse de forma satisfactoria.</li><li>- La simulación del proyecto debería mejorarse un poco, hacerla un poco más visual o distribuirla mejor.</li><li>- Si en el análisis de sensibilidad algunos indicadores dan un resultado similar, quizás no sería necesario evaluarlos.</li></ul>
<b>¿QUÉ PREGUNTAS/DUDAS HAN TENIDO?</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Comparte la tesis por favor, me parece muy interesante.</li><li>- Cómo programar la distribución de datos en flexsim.</li><li>- No hay.</li><li>- ¿Si se puede aplicar a cualquier tipo de industria?</li><li>- El indicador tiene prioridad para decidirme por una propuesta.</li></ul>	<b>¿QUÉ NUEVAS IDEAS HAN SURGIDO?</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Qué indicador tiene prioridad para que yo decida.</li><li>- Mejora continua.</li><li>- Calcular más indicadores de eficiencia como el OEE.</li><li>- Que puedan hacerlo también en flujo de procesos tipo las simulaciones de prototipos.</li><li>- Presentar un plan de implementación para la migración de un sistema Push a Pull enfocado a la empresa.</li><li>- Nuevos conocimientos de simulación de sistemas pull en flexsim.</li><li>- Se puede evidenciar la importancia de la simulación dentro de una empresa de manufactura, se deben fomentar más prototipos como este para diferentes tipos de empresas.</li></ul>

Figura 3.1 Matriz de feedback

(Elaboración propia)

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- El uso de la técnica de simulación permite a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial el entendimiento de un sistema de control de producción tipo Pull, debido a que se puede visualizar en función del tiempo el comportamiento de este a través de los indicadores que miden el rendimiento del sistema.
- Dependiendo el modelo propuesto los indicadores realizados en función a las especificaciones de diseño van a ir variando.
- Un sistema Pull, contribuye a que una organización pueda mantener inventarios promedio bajos y reducir el capital de trabajo, manteniendo o incluso aumentando el nivel de servicio para el cliente.
- Es recomendable aplicar un sistema Pull con Kanban triangular porque es el que demuestra la mayor reducción de la cantidad de inventario promedio en el proceso, lead time y posee un buen nivel de servicio con un menor capital de trabajo, generando mayores utilidades financieras.
- Al reducir el WIP en un sistema Pull podemos concluir que nuestro flujo es balanceado.

### 4.2 Recomendaciones

- Cumplir los requerimientos que exige el software FlexSim para realizar la simulación.
- Tener un conocimiento previo del uso el software FlexSim.
- Tener un conocimiento previo como se plantea un sistema de producción tipo Pull de manera manual.
- Para futuros trabajos de investigación que requieran analizar el comportamiento de la demanda en función del tiempo, se pueden implementar herramientas de inteligencia artificial en el campo del machine learning como Random Forest, entre otras.

# BIBLIOGRAFÍA

- Antony, J., & Coronado, R. B. (2013). Design for six Sigma. En *Elektron* (Vol. 19, Número 10). <https://doi.org/10.3139/9783446459489.010>
- Constantine, L. (2021). *Implementación del sistema justo a tiempo como estrategia para disminuir el inventario de empaques primarios impresos en una fábrica de plásticos*. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/19134>
- García Peñalvo, F., Alarcón, H., & Dominguez, Á. (2019). Active Learning Experiences in Engineering Education. *International Journal of Engineering Education*, 35, 604-608. <https://doi.org/10.1109/ACTEA.2009.5227902>
- Goldratt, E. M., & Cox, J. (2005). *La Meta*.
- Madariaga, F. (2013). *LEAN MANUFACTURING EXPOSICIÓN ADAPTADA A LA FABRICACIÓN REPETITIVA DE FAMILIAS DE PRODUCTOS MEDIANTE PROCESOS DISCRETOS (2.4)*.
- Nicholas, J. (2018). Lean Production for Competitive Advantage. En *Lean Production for Competitive Advantage*. <https://doi.org/10.4324/9781351139083>
- Rardin, R. I. (2017). *Optimization in Operations Research* (Pearson (ed.); 2.<sup>a</sup> ed.).
- Rother, M., & Shook, J. (2000). *Observar para crear valor: cartografía de la cadena de valor para agregar valor y eliminar «muda»* (p. 112).
- United Nations. (2015). *The Sustainable Development Goals 2030*.