

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

Diseño de un sistema de control de producción en un ambiente de producción discreto con bajo volumen de producción y alta variación de productos.

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingenieros Industriales**

Presentado por:

Alberto Isaac Mosquera Vargas

Geovanny Daniel Maruri Quijije

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

Año: 2021

## DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a mi familia y amigos cercanos, Especialmente a mis padres que si ellos nada de esto fuera posible. Todos mis logros se los debo a ellos.

**Geovanny Maruri Q.**

## DEDICATORIA

Este proyecto lo dedico a mi padres y hermanos quienes siempre estuvieron a lado mío dándome apoyo incondicional durante todo este trayecto. Todos los logros se los debo a ellos por el cariño y fe que han tenido en mí.

**Alberto Mosquera V.**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por brindarme tranquilidad en momentos difíciles. A mis padres por ser mi soporte y darme fuerza para seguir adelante.

**Geovanny Maruri**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres por siempre motivarme a ser una mejor persona y profesional.

A mis hermanos, por el cariño y fe que siempre han tenido en mí.

A Soanny, por ser mi fiel compañera y paz emocional.

A mi abuela, una madre más que siempre ha estado para mi cuando la necesitaba.


Sin ustedes siendo mis pilares de la vida, nada de esto hubiera sido posible.

Gracias.

**Alberto Mosquera V.**

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Alberto Isaac Mosquera Vargas y Geovanny Daniel Maruri Quijije 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".



Alberto Isaac  
Mosquera Vargas



Geovanny Daniel  
Maruri Quijije

## **EVALUADORES**

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

PROFESOR DE LA MATERIA

.....  
**Marcos Buestán B., Ph.D.**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

El presente trabajo se elaboró con un caso de estudio propuesto con el fin de elaborar una simulación en Flexsim [espol.edu.ec/52-...-FSSTU22.1](http://espol.edu.ec/52-...-FSSTU22.1) que permita la comprensión de las herramientas Lean a los estudiantes y así poder observar visualmente la importancia de estas. Los objetivos de este proyecto son: elaborar una simulación de un sistema de producción Pull, demostrar los beneficios de las herramientas lean mediante la evaluación de varias herramientas lean aplicables al caso.

La metodología utilizada es Design from scratch el cual comprende las siguientes fases: Definición, medición, análisis, propuesta e implementación. Luego de levantar el proceso actual, se propuso 4 propuestas para el proceso de producción las cuales se validaron mediante cálculos teóricos además de sus respectivas simulaciones, con el fin de analizar su comportamiento en un entorno potencialmente real. Para la programación de los modelos se consideraron las restricciones del caso como la demanda promedio, limitaciones financieras y capacidad del proceso.

Con la propuesta ganadora, se logró reducir: el tiempo de entrega hasta a un 64.40%, se redujo el tiempo promedio de inventario de materia prima a un 96.11% y el tiempo de inventario en proceso promedio de un 96.67%. Por otro lado, se logró tener un nivel de servicio del 100% considerando un periodo de tiempo de 1 año.

**Palabras Clave:** Pull, Flexsim, Design from scratch, Simulación.



## **ABSTRACT**

*This research work was developed with a case study proposal in order to design a simulation in Flexsim that would allow students to understand and watch the importance of the Lean tools. The objectives of this project are to create a simulation of a Pull production system and to demonstrate the benefits of Lean tools through the evaluation of different tools applicable to the case.*

*The methodology that was applied in this work is Design from scratch included the following phases: definition, measurement, analysis, propose and implementation. After lifting the current process, there were four proposals for the production process that were validated by theoretical calculations with the respective simulations, in order to analyze their behavior in a real environment. Moreover, to program the models the restrictions of the case were considered such as average demand, financial constraints and process capacity.*

*The chosen proposal managed to reduce the delivery time up to 64.40%; the average raw material inventory to 96.11% and the average time of inventory in process to 96.67%. On the other hand, with the proposal it was possible to obtain a level of service of 100% considering a period of one year.*

**Keywords:** *Pull, Flexsim, Design from scratch, simulation*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
CAPÍTULO 1.....	1
1    Introducción .....	1
1.1    Descripción del problema .....	1
1.2    Definir .....	1
1.2.1    Declaración de oportunidad .....	1
1.2.2    Alcance del proyecto.....	2
1.2.3    Voz del cliente.....	3
1.2.4    Restricciones .....	4
1.2.5    Despliegue de calidad.....	4
1.2.6    Plan de diseño .....	6
1.3    Justificación del problema .....	6
1.4    Objetivos .....	7
1.4.1    Objetivo General.....	7
1.4.2    Objetivos Específicos.....	7
1.5    Marco teórico.....	7
1.5.1    Herramientas por utilizar.....	7
CAPÍTULO 2.....	10
2    Metodología .....	10

2.1	Medición .....	10
2.1.1	Plan de recolección de datos .....	10
2.1.2	Estudio de productos .....	11
2.1.3	Verificación de datos.....	11
2.2	Análisis .....	12
2.2.1	Cadena de valor actual .....	13
2.2.2	Propuestas para diseño del sistema .....	16
2.2.3	Estudio de propuestas según las restricciones .....	21
2.2.4	Resumen escenarios propuestos.....	22
2.2.5	Estudio de las propuestas según requerimientos del cliente .....	23
2.3	Diseño .....	24
2.3.1	Aplicación de Kaizen.....	24
2.3.2	Crear flujo continuo mediante células en U .....	25
2.3.3	Consideraciones elaboración Sillón D .....	28
2.3.4	Calcular el EPEC. ....	28
2.3.5	Desarrollo Propuesta 1 .....	33
2.3.6	Desarrollo Propuesta 2 .....	45
2.3.7	Desarrollo Propuesta 3 .....	57
2.3.8	Desarrollo Propuesta 4 .....	63
2.3.9	Validación tiempo de entrega Sillón D .....	67
2.3.10	Secuenciación de la producción .....	69
2.4	Construcción de los modelos .....	70
2.4.1	Configuraciones generales .....	70
2.4.2	Modificaciones propuesta 1 .....	74
2.4.3	Modificaciones propuesta 2 .....	77
2.4.4	Modificaciones propuesta 3 .....	78
2.4.5	Modificaciones propuesta 4 .....	79

CAPÍTULO 3.....	80
3    Resultados y análisis .....	80
3.1    Evaluación de las propuestas.....	80
3.1.1    Análisis técnico .....	80
3.1.2    Análisis de sensibilidad.....	83
3.2    Resultados generados con la simulación del modelo.....	84
3.2.1    Tiempo de entrega máximo .....	84
3.2.2    Inventario de materia prima .....	85
3.2.3    Inventario de producto en proceso.....	85
3.2.4    Inventario de producto terminado .....	86
3.3    Resultados Focus Group.....	86
3.3.1    Calificación del manual .....	87
3.3.2    Calificación de la exposición.....	87
3.3.3    Retroalimentación del focus group.....	88
CAPÍTULO 4.....	89
4    Conclusiones y recomendaciones .....	89
4.1    Conclusiones.....	89
4.2    Recomendaciones.....	90

BIBLIOGRAFIA

APÉNDICES

## ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
VOC	Voice of Customer
QFD	Quality Function Deployment
CTQ	Critical to Quality
MTO	Make to Order
VSM	Value stream mapping
FIFO	First In First Out
EPEC	Every Product Every Cycle
CT	Cycle Time
LT	Lead Time
TP	Tiempo de proceso
SS	Safety Stock
WIP	Work in progress
TNAV	Tiempo que no agrega valor
TAV	Tiempo que agrega valor
Im	Inventario Medio
LTR	Lead Time de Reaprovisionamiento
PR	Punto de Reposición

## SIMBOLOGÍA

- X tiempos de proceso a la operación
- $\mu$  Tiempo de proceso promedio
- Z Probabilidad aleatoria de tiempo de ejecución
- $\sigma$  Variación del tiempo de ejecución
- min Minutos
- u Unidades
- k Kanban
- s Segundos
- Q Cantidad de unidades por kanban
- D Demanda diaria

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Declaración de oportunidad .....	2
Figura 1.2 SIPOC del proyecto .....	3
Figura 1.3 QFD .....	5
Figura 1.4 Plan de diseño .....	6
Figura 2.1 VSM Actual .....	13
Figura 2.2 Takt time vs Cycle time .....	15
Figura 2.3 Herramientas Lean propuestas en el VSM Actual .....	16
Figura 2.4 Propuesta 1 VSM a Futuro .....	18
Figura 2.5 Propuesta 2 VSM a Futuro .....	19
Figura 2.6 Propuesta 3 VSM a Futuro .....	20
Figura 2.7 Propuesta 4 VSM a Futuro .....	21
Figura 2.8 Célula elaboración de kits .....	26
Figura 2.9 Loop 1 Propuesta 1 .....	33
Figura 2.10 Kanban de producción Máquina A .....	38
Figura 2.11 Kanban de producción Máquina B .....	40
Figura 2.12 Loop 1 Propuesta 2 .....	45
Figura 2.13 Kanban de señal Máquina A .....	47
Figura 2.14 Representación Kanban de Señal Máquina A .....	51
Figura 2.15 Kanban de señal Máquina B .....	52
Figura 2.16 Representación Kanban Señal Máquina B .....	55
Figura 2.17 FIFO Lane producto D .....	56
Figura 2.18 Loop 1 Propuesta 3 .....	58
Figura 2.19 Kanban de producción Elaboración de Kits .....	61
Figura 2.20 Loop 1 Propuesta 4 .....	64
Figura 2.21 Loop 2 Propuesta 4 .....	65
Figura 2.22 Loop 3 Propuesta 4 .....	66
Figura 2.23 Ruta Sillón D propuesta Kanban de señal .....	67
Figura 2.24 Ruta Sillón D propuesta Kanban de tarjetas .....	68
Figura 2.25 Tablero de secuenciación .....	70
Figura 2.26 Configuración demanda de los sillones .....	71
Figura 2.27 Layout secuenciación .....	72
Figura 2.28 Layout Rabbit chase .....	72

Figura 2.29 Configuración dispatcher rabbit chase .....	73
Figura 2.30 Layout supermercado de proveedores .....	73
Figura 2.31 Configuración arribos de materia prima.....	74
Figura 2.32 Layout Propuesta 1 .....	74
Figura 2.33 Representación Supermercado PT P1 .....	75
Figura 2.34 Configuración Supermercado PT .....	75
Figura 2.35 Corte de madera P1 .....	76
Figura 2.36 Trigger Corte de madera .....	76
Figura 2.37 Elaboración de kits P1 .....	77
Figura 2.38 Configuración Kanban triangular propuesta 2 .....	77
Figura 2.39 Layout propuesta 3.....	78
Figura 2.40 Configuración Kanban de producción.....	79
Figura 3.1 Resultados simulación propuesta 1 .....	81
Figura 3.2 Resultados simulación propuesta 2.....	81
Figura 3.3 Resultados simulación propuesta 4.....	82
Figura 3.4 Resultados simulación propuesta 4.....	83
Figura 3.5 Resultados análisis de sensibilidad.....	84
Figura 3.6 Reducción tiempo máximo de entrega .....	85
Figura 3.7 Reducción tiempo promedio de materia prima .....	85
Figura 3.8 Reducción tiempo promedio de WIP .....	86
Figura 3.9 Reducción de inventario de producto terminado .....	86



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Demanda mensual.....	11
Tabla 2.2 Resultados prueba de normalidad .....	11
Tabla 2.3 Matriz Pugh según restricciones.....	22
Tabla 2.4 Tabla resumen.....	22
Tabla 2.5 Resumen de escenarios propuestos .....	23
Tabla 2.6 Matriz Pugh según requisitos del cliente .....	23
Tabla 2.7 Tabla resumen.....	24
Tabla 2.8 Datos Máquinas corte de Madera (A y B).....	24
Tabla 2.9 Parámetros Célula Elaboración de kits.....	26
Tabla 2.10 Parámetros Célula Ensamble y Empaque .....	27
Tabla 2.11 Parámetros Máquina A .....	29
Tabla 2.12 Parámetros Máquina B .....	31
Tabla 2.13 Datos para el cálculo del Kanban de proveedores .....	42
Tabla 2.14 Resumen Propuesta 1 .....	45
Tabla 2.15 Parámetros FIFO Lane Prop. 2 Loop 1.....	46
Tabla 2.16 Parámetros Supermercado PT Prop. 2.....	46
Tabla 2.17 Parámetros FIFO Lane Sillón D.....	56
Tabla 2.18 Parámetros kanban de suministro .....	56
Tabla 2.19 Resumen propuesta 2 .....	57
Tabla 2.20 Resumen Kanban de producción Máquina A .....	60
Tabla 2.21 Resumen Kanban de producción Máquina B .....	60
Tabla 2.22 Resumen Propuesta 3 .....	63
Tabla 2.23 Resumen propuesta 4 .....	66
Tabla 2.24 Sucesión D Kanban de señal .....	67
Tabla 2.25 Sucesión D Kanban de tarjeta .....	68
Tabla 3.1 Indicadores de desempeño .....	80
Tabla 3.2 Indicadores análisis de sensibilidad.....	83
Tabla 3.3 Participantes del Focus Group .....	87
Tabla 3.4 Calificación del manual.....	87
Tabla 3.5 Calificación de la exposición.....	88
Tabla A.0.1 Parámetros de producción .....	92
Tabla A.0.2 Demanda por producto.....	92

Tabla A.0.1 Plan de recolección de datos .....	93
Tabla A.0.2 Datos de los procesos .....	94
Tabla 0.1 Resultados Focus Group .....	96
Tabla .1 Demanda promedio mensual.....	2
Tabla .2 Parámetros Kanban de suministro .....	4
Tabla .3 Datos Máquinas corte de madera.....	5
Tabla .4 EPEC Máquinas corte de madera .....	5
Tabla .5 Tiempos de subprocesos - Elaboración de Kits.....	5
Tabla .6 Tiempos de proceso por trabajador y máquina - Elaboración de Kits.....	6
Tabla .7 Tiempos de subprocesos - Ensamble y empaque .....	7

# CAPÍTULO 1

## 1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años, las metodologías Lean están tomando cada vez más importancia en el ambiente industrial debido principalmente por los excelentes resultados que implica la aplicación de estas herramientas.

Estos conceptos hoy en día son impartidos de manera acentuada en la carrera de Ingeniería Industrial en ESPOL, demostrando que su aplicación y beneficios es variada; sin embargo, muchos estudiantes hoy en día no logran apreciar su importancia con los conceptos teóricos enseñados por los tutores debido a la falta de ejemplos prácticos que ofrezcan al estudiante una mejor comprensión del impacto de estas herramientas.

Es por lo que se plantea diseñar un sistema de producción Lean basado en un caso de estudio, simulando la implementación de este en un entorno aplicable que permita profundizar aún más los conocimientos de la carrera y así apreciar de una mejor manera todos los beneficios que estas herramientas ofrecen.

### 1.1 Descripción del problema

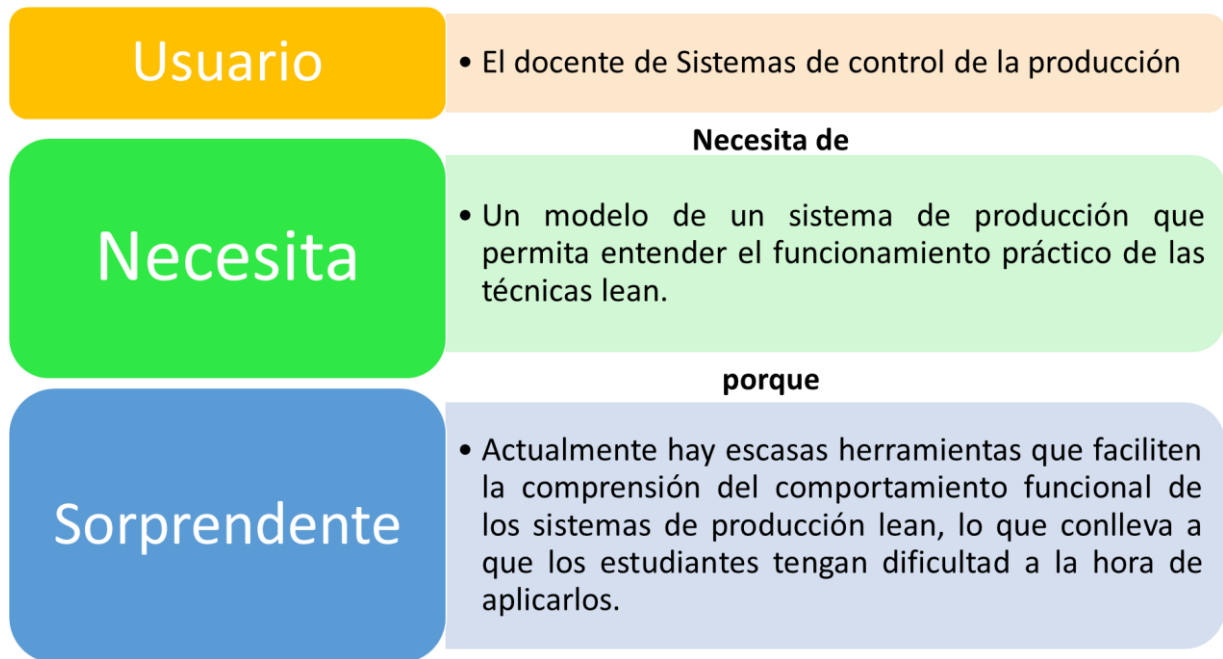
Actualmente, los docentes de sistemas de control para la producción cuentan con escasas herramientas a la hora de explicar el funcionamiento práctico sistemas de producción asociados a ambientes discretos con bajo volumen de producción y alta variación de productos, esto se ve reflejado en los inconvenientes que tienen los estudiantes a la hora de aplicar las herramientas aprendidas en la materia.

Para hacer frente a esta situación, se diseña un sistema de control de la producción basado en un caso de estudio, empleando la metodología Design for lean Six Sigma.

### 1.2 Definir

#### 1.2.1 Declaración de oportunidad

El desarrollo de la declaración de oportunidad se muestra en la Figura 1.1.



**Figura 1.1 Declaración de oportunidad [Elaboración propia]**

Se definió como oportunidad el siguiente enunciado: “El docente de sistemas de control de la producción necesita un modelo de un sistema de producción que permita entender el funcionamiento práctico de las técnicas lean porque actualmente hay escasas herramientas que faciliten la comprensión del comportamiento funcional de los sistemas de producción lean, lo que conlleva a que los estudiantes tengan dificultad a la hora de aplicarlos”.

### **1.2.2 Alcance del proyecto**

El uso de la herramienta SIPOC, contribuirá para tener una visión general y de tal manera definir el alcance del proyecto. Esto se lo demuestra en la Figura 1.2.

S Proveedores	I Suministros	P Proceso	O Salidas	C Clientes
• Tutor de proyecto integrador	• Caso de estudio • Restricciones y requerimientos para el caso	• Análisis de situación actual • Elaboración de diseño	• VSM actual • Propuesta de herramientas a utilizar	• Tutor de proyecto integrador
• Análisis de situación actual • Propuesta de sistema de control	• VSM actual • Propuesta de herramientas a utilizar	• Recolección de datos	• Propuesta de sistema de control	• Tutor de proyecto integrador
• Recolección de datos	• Propuesta de sistema de control	• Elaboración de la simulación	• Rendimiento de las propuestas	• Tutor de proyecto
• Elaboración de la simulación	• Rendimiento de las propuestas	• Ajustes del sistema	• Sistema de control de la producción	• Tutor de proyecto

**Figura 1.2 SIPOC del proyecto [Elaboración propia]**

En el proyecto procura diseñar un modelo en un ambiente con alta variación de productos y baja demanda. El equipo usará herramientas de producción Pull para minimizar los desperdicios que se encuentren en el proceso. El sistema será verificado y ajustado por medio de sistemas Pull y por medio de una simulación digital, la misma que servirá como herramienta didáctica para los estudiantes de la materia sistemas de control de la producción.

### 1.2.3 Voz del cliente

Con el fin de conocer las expectativas del cliente e identificar sus necesidades; se decidió usar el VOC, el cual permite identificar cual es la problemática actual y los temores. De esto se pudo identificar lo siguiente:

- Crear un sistema aplicable a la industria.
- Aplicar herramientas lean.
- Emplear metodologías Pull.
- Diseñar un modelo de simulación.

#### **1.2.4 Restricciones**

- El modelo de simulación debe realizarse en el software Flexsim, en la versión facilitada por el tutor.
- Se deben cumplir todas las restricciones planteadas en el caso de estudio.
  - No existe capital de inversión.
  - Tiempo mínimo de entrega de proveedores 1 semana.
  - Capacidad máxima de contenedores es de 2 unidades para los productos A, B y C. y 1 unidad máximo para D.

#### **1.2.5 Despliegue de calidad**

Luego de identificar las necesidades del cliente, es importante transformar dichos requerimientos en variables medibles que puedan ser controladas y ejecutadas; para que las mismas puedan ser clasificadas, según la importancia del cliente con el objetivo de optimizar el resultado final. En la Figura 1.3 a continuación se presenta la herramienta utilizada.

Peso relativo	Importancia del cliente	Dirección de mejora	Requerimientos funcionales									Evaluación competitiva del cliente		
			□	□	▲	▲	□	▼	▼	▼	▼	▼	Inventario de producto terminado	Nuestro producto
		Requerimientos del cliente	# de Corridas	# de Propuestas	Operatividad del software	Variedad de herramientas	Pruebas estadísticas	Tiempos de entrega	Tiempos de procesos	Inventario en proceso	Inventario de materia prima			
18%	4	Sistema aplicable a la industria	▽	●	●	●							4	4
9%	2	Verificación de mejoras	●	▽	●	●	●	●	●	●	●	●	5	3
9%	2	Indicadores del modelo	●	○	●	○	●	●	●	●	●	●	5	2
14%	3	Flexibilidad del modelo	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●	5	0
5%	1	Ambiente físico del modelo		▽	●								4	0
14%	3	Comprensión del modelo		▽	●								5	0
23%	5	Modelado en software de simulación	○		●								5	0
9%	2	Dinamismo del modelo			●								4	3
Importancia relativa			373	340.9	613.6	314	286.4	286	286	286	286	286		
Ponderación relativa			11%	10%	18%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%		
Nuestro producto			4	5	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4
Situación actual			3	4	0	4	3	4	3	4	3	4	3	3
Evaluación técnica competitiva														

**Figura 1.3 QFD [Elaboración propia]**

Se utilizó la herramienta anterior con el fin de identificar las necesidades del cliente, y así poder tener las especificaciones técnicas requeridas. Con el objetivo de tener un mejor producto.

### 1.2.6 Plan de diseño

En la Figura 1.4 Plan de diseño [Elaboración propia] se presenta el plan de trabajo con el cual se desarrollará el proyecto:

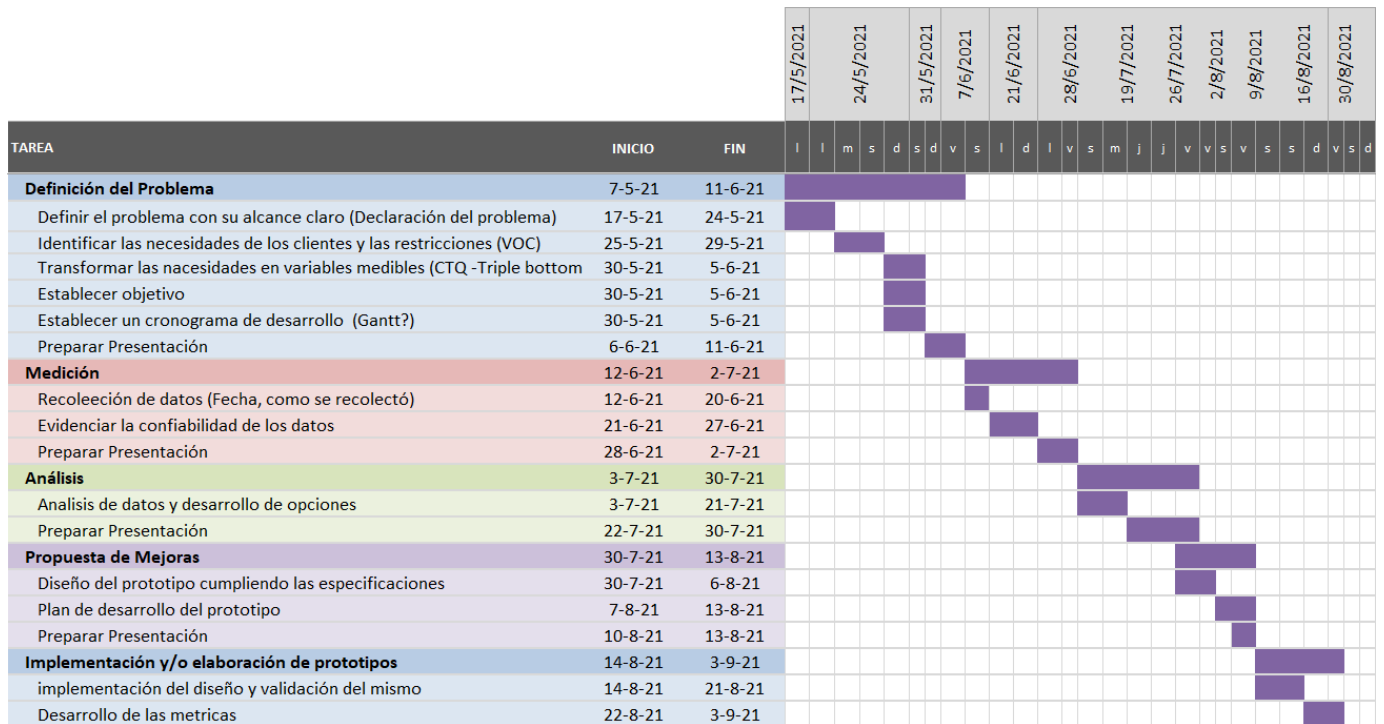


Figura 1.4 Plan de diseño [Elaboración propia]

### 1.3 Justificación del problema

El docente de la materia de sistemas de control de la producción ha expresado su necesidad de hallar una forma más visual a la hora de explicar el funcionamiento del material explicado en clase, esto se debe principalmente a las restricciones con las que él cuenta a la hora de explicar el funcionamiento de los sistemas de producción pull y herramientas lean en ambientes discretos.

La impartición de las clases en conjunto de un modelo visual transformará la experiencia educativa facilitando el aprendizaje y mejorando la comprensión de los temas relacionados con sistemas de control de la producción.



## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo General

Elaborar un modelo de un sistema de control de la producción Lean aplicable en un entorno real que facilite la comprensión de estas herramientas a los estudiantes de Ingeniería Industrial.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Elaborar un sistema de producción Pull según las restricciones dadas por el profesor de la materia de sistema de control de producción en la carrera de Ingeniería Industrial en ESPOL.
- Evaluar varias opciones para la creación del sistema Lean con el fin de comparar y elegir la más adecuada al caso.
- Demostrar los beneficios de un sistema Pull mediante la simulación del proceso utilizando Flexsim [espol.edu.ec52-...-FSSTU22.1](http://espol.edu.ec52-...-FSSTU22.1).

## 1.5 Marco teórico

En el apartado continuo se dará una breve explicación de los términos que se utilizarán en las etapas del proyecto.

### 1.5.1 Herramientas por utilizar

#### 1.5.1.1 Definición

- **Voice of the customer (VOC):** Conocido en el español como Voz del cliente es una técnica que se focaliza en recolectar las necesidades que tienen todas las partes interesadas tanto internas como externas, entre las internas se tiene: colaboradores, gerencias y otras áreas dentro de la empresa; las externas pueden ser: proveedores, clientes, accionistas y la sociedad en general. (Silva, 2021)
- **Critical to quality tree (CTQ):** Método que se utiliza para interpretar las necesidades del cliente en factores o variables medibles para la empresa, con el objetivo de alinear las especificaciones del producto o servicio con las expectativas que tiene el cliente. (Thomsett, 2005)
- **SIPOC:** Gráfico que tabula los eslabones claves en algún proceso en específico, entre los cuales están: suministradores, insumos, proceso, resultados y clientes,

El uso de esta técnica permite tener una visión global del proceso, con el objetivo de buscar el o los eslabones débiles para tomarlos como una oportunidad de mejora. (Soleimannejed, 2004)

#### **1.5.1.2 Medición**

- **VSM:** El mapa de la cadena de valor por sus siglas en inglés (Value Stream mapping) es una herramienta utilizada para poder observar todas las actividades que se deben realizar para poder transformar la materia prima hasta producto terminado en las manos del cliente; este gráfico muestra todas las actividades que aportan valor al proceso como también aquellas que no aportan valor, pero pasan por el flujo de proceso. (Madariaga, 2020)
- **Lead Time:** Existen varias definiciones de lead time, según su aplicación y el caso; sin embargo, en este contexto se entiende como el tiempo que requiere la materia prima en ser elaborada hasta convertirse en producto terminado. (Nichilas, 2018)

#### **1.5.1.3 Análisis**

- **Takt time:** Es la relación entre el tiempo planificado de producción y la demanda del cliente. Esta tasa permite conocer el tiempo máximo requerido para poder elaborar una unidad del producto y cumplir con toda la demanda en los tiempos establecidos. (Joachim Linck, 1999)

#### **1.5.1.4 Diseño**

- **Kanban:** El término Kanban es la composición de dos palabras japonesas Kan que significa Ver y Ban que es la traducción de Tablero. Este término se aplica a una estrategia Just in Time la cual consiste en controlar la producción mediante tarjetas que indican la cantidad de producción y así evitar niveles antes de inventario. (James C. Vatalaro, 2003)

#### **1.5.1.5 Verificación**

- **Flexsim [espol.edu.ec/52-...-FSSTU22.1](http://espol.edu.ec/52-...-FSSTU22.1):** Programa computacional que emplea para simular sistemas en ambientes de tipo discretos. Dicho software simula un

ambiente 3D que permite analizar estadísticamente el proceso mediante Dashboards y análisis de flujo. (Malcolm Beaverstock, 2011)

# CAPÍTULO 2

## 2 METODOLOGÍA

### 2.1 Medición

Con el fin de elaborar un sistema de control de la producción más real posible; se realizará un estudio de los datos obtenidos del tutor de la materia con el fin de verificar la validez y confiabilidad de estos.

#### 2.1.1 Plan de recolección de datos

Con el fin de evaluar todas las variables del caso, se decidió realizar un plan de recolección de datos como se observa en la Tabla A.0.1 Plan de recolección de datos del apéndice.

Debido a que el caso posee varios procesos de fabricación manuales se decidió validar la confiabilidad de los datos, su distribución y su variación. Los procesos evaluados son:

- Dibujo de líneas.
- Transporte al área de corte.
- Corte de tela.
- Corrección de imperfecciones.
- Empaquetado y codificación.
- Corte de madera.
- Armado del armazón.
- Transporte 1.
- Fijación de accesorios.
- Colocación de esponja.
- Transporte 2.
- Ubicación de la tela.
- Transporte 3.
- Empaquetado.

### 2.1.2 Estudio de productos

Actualmente el caso cuenta con un catálogo de 4 sillones, de los cuales los sillones A, B y C se producen Make to stock, a diferencia del producto D que se produce bajo pedido.

En la Tabla 2.1 se muestran la demanda mensual y la variación para cada producto.

**Tabla 2.1 Demanda mensual [Elaboración propia]**

Producto	Demanda mensual (unidades)	Variación
A	100	±10%
B	100	±10%
C	340	±10%
D	60	±10%

### 2.1.3 Verificación de datos

Para comprobar la validez de los datos correspondiente al proceso de fabricación mostrados en la Tabla A.0.2 del apéndice, se usó el método de la transformada inversa con la ecuación a continuación:

$$X = \mu + Z\sigma \quad (2.1)$$

Donde:

- X. – Son los tiempos de proceso de la operación.
- $\mu$ . – Es el tiempo de proceso promedio de la operación.
- Z. – Es la probabilidad aleatoria del tiempo de ejecución.
- $\sigma$ . – Es la variación del tiempo de ejecución del proceso.

Obteniendo 30 tiempos de procesos aleatorio por cada puesto de trabajo, se procedió a realizar una prueba de normalidad con los mismos datos y así validar su distribución estadística; los resultados se muestran a continuación en la Tabla 2.2.

**Tabla 2.2 Resultados prueba de normalidad [Elaboración propia]**

Prueba de normalidad		
Proceso	Valor p	Comentario

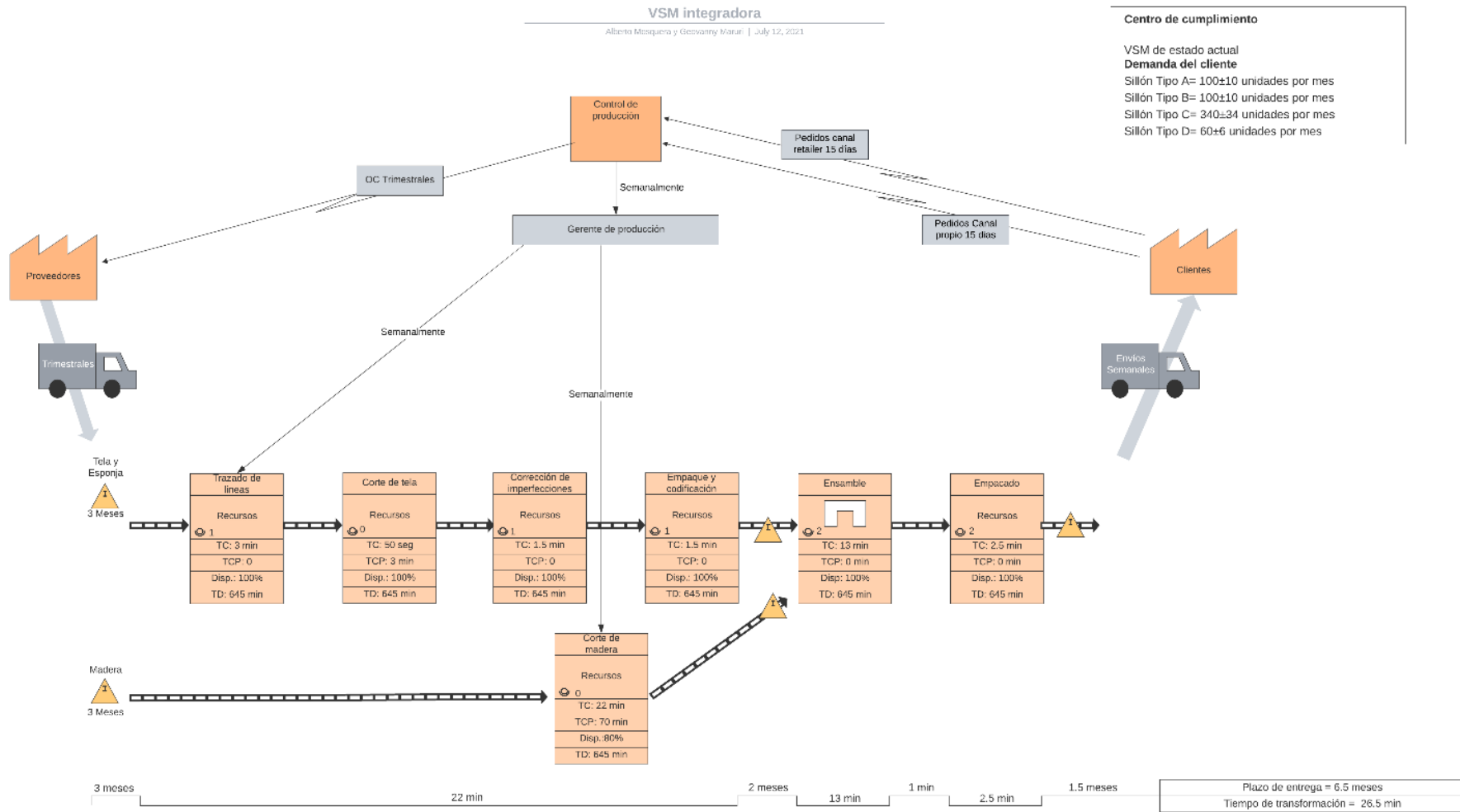
1. Dibujo de líneas	Tela	0,235	Considerando un nivel de confianza del 95%, no se puede rechazar la hipótesis nula; por lo tanto, los datos tienen una distribución normal.
	Esponja	0,235	
2. Transporte al área de corte	Tela	0,235	
	Esponja	0,230	
3. Corrección de imperfecciones	Tela	0,130	
	Esponja	0,130	
4. Empaque y codificación	Tela	0,538	
	Esponja	0,538	
5. Ensamble	Sillón A/B/C/D		
5.1 Ensamble de armazón		0,428	
5.2 Transporte		0,428	
5.3 Fijación de accesorios		0,502	
5.4 Colocación de esponja		0,428	
5.5 Transporte 2		0,428	
5.6 Colocación de esponja		0,428	
5.7 Transporte 3		0,428	
6. Empaque		0,563	

## 2.2 Análisis

Se procedió a levantar las propuestas de solución del caso; considerando las restricciones de este y las opciones factibles según los conceptos teóricos aplicables al proyecto.

Las métricas principales para este caso fueron enfocadas en reducir el inventario en proceso y los tiempos de entrega; dando así mayor flexibilidad al sistema de producción.

## 2.2.1 Cadena de valor actual



**Figura 2.1 VSM Actual [Elaboración propia]**

### **2.2.1.1 Análisis VSM actual**

Desde la Figura 2.1 VSM Actual, se puede observar que actualmente el sistema de producción requiere altos niveles de inventario en casi todas las etapas críticas del proceso; es el caso del inventario de materia prima (3 meses), Producto en proceso (2 meses) y producto terminado (1.5 meses).

Por otro lado, se observa que los tiempos de producción entre las distintas áreas están desbalanceadas; quitando un adecuado flujo del proceso y así, aumentando los tiempos que no agregan valor.

Por otro lado, la intermitencia en la comunicación con los clientes hace que la organización no logre cumplir con las órdenes de último momento.

### **2.2.1.2 Análisis Takt time vs Tiempo de ciclo**

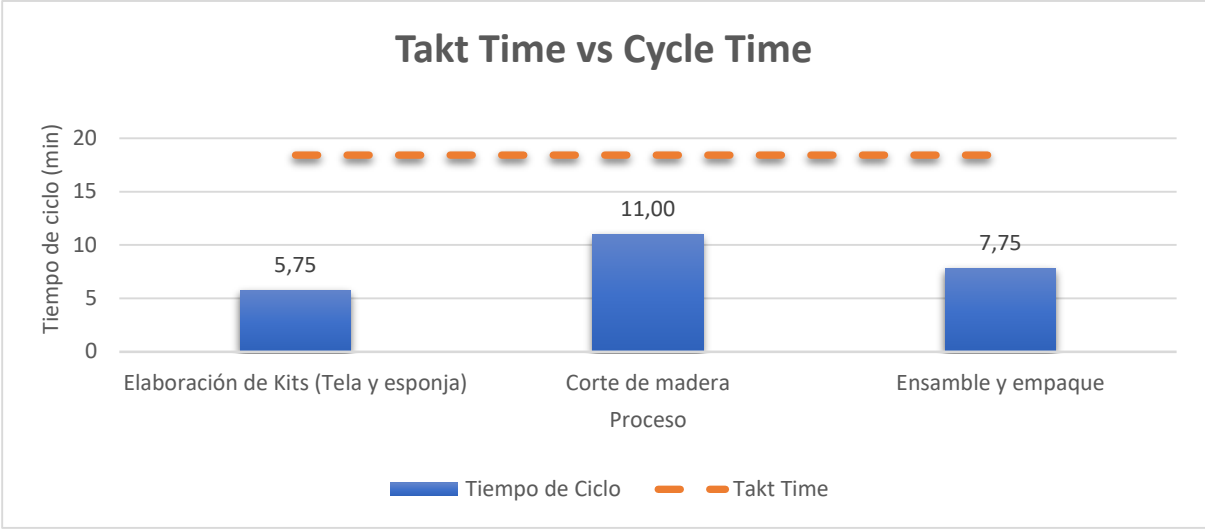
Se procedió a calcular el Takt time de la nueva disposición de los procesos de producción:

$$Takt\ time = \frac{Tiempo\ disponible\ en\ turno}{Requerimiento\ del\ cliente\ por\ día} \quad (2.2)$$

$$Takt\ time = \frac{645\ (minutos)}{35\ (piezas)} = 18.43\ \frac{minutos}{pieza} \quad (2.3)$$

Con este resultado se comparan los valores de tiempo de ciclo de las nuevas estaciones de trabajo; como se puede observar en la Figura 2.2 Takt time vs Cycle time, las nuevas postaciones se encuentran por debajo del Takt time demostrando que el sistema Pull propuesto puede sostener la demanda actual de la empresa.





**Figura 2.2 Takt time vs Cycle time [Elaboración propia]**

## 2.2.2 Propuestas para diseño del sistema

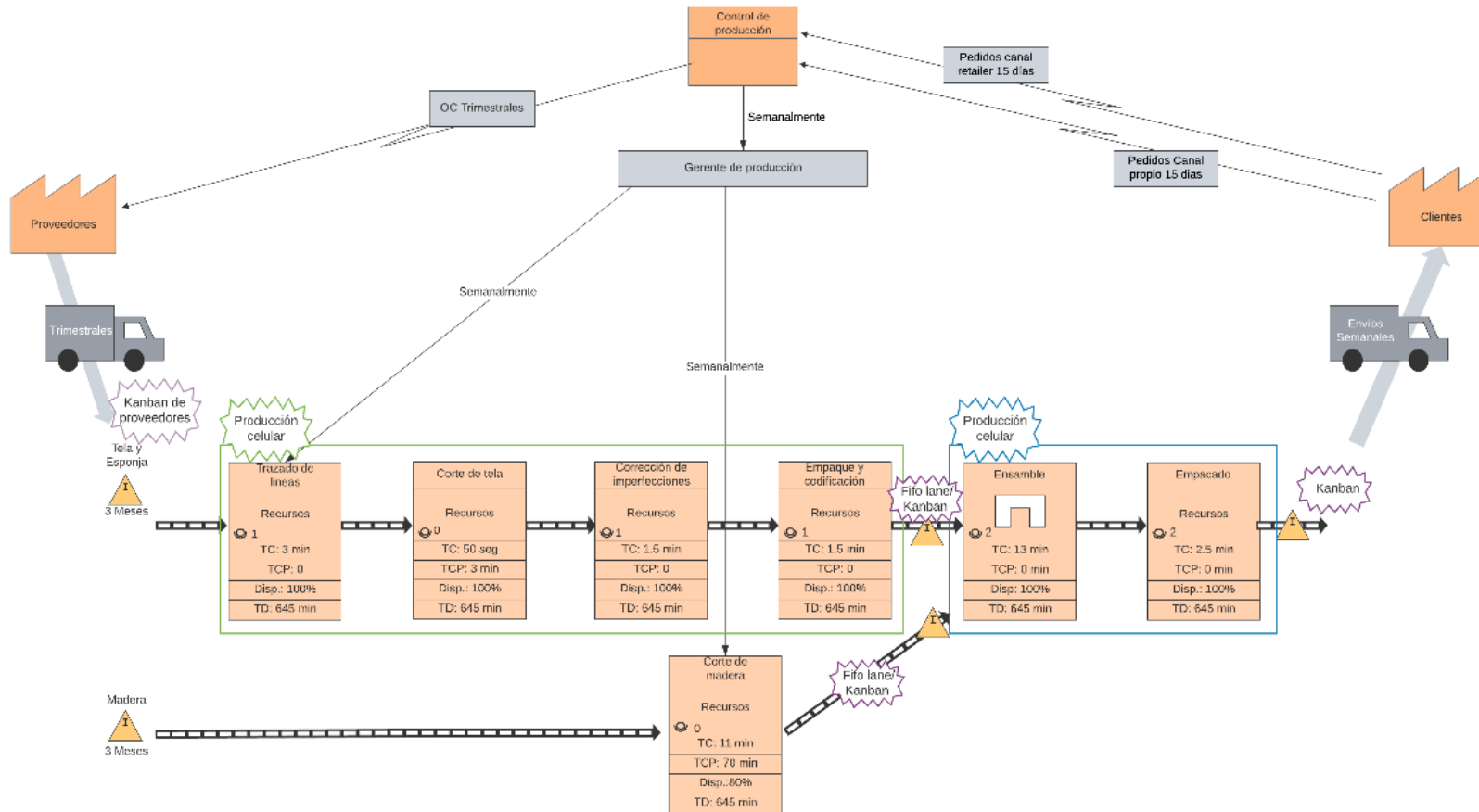


Figura 2.3 Herramientas Lean propuestas en el VSM Actual [Elaboración propia]

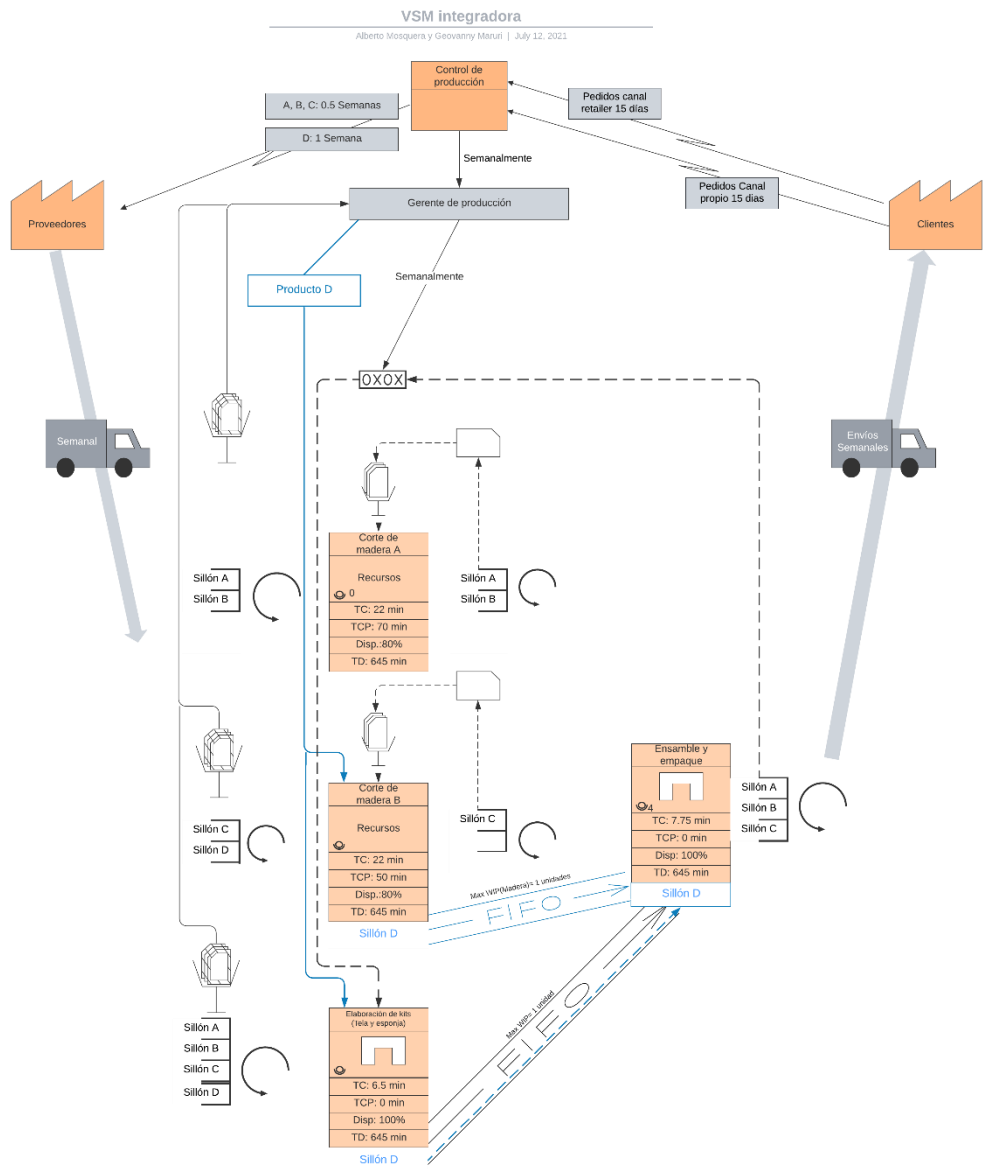
Al realizar la propuesta de mejora, se realizó un nuevo VSM a futuro con los tiempos de ciclos de las nuevas estaciones de trabajo; dicho esto se muestran el VSM actual con las técnicas a utilizar.

En la Figura 2.3 Herramientas Lean propuestas en el VSM Actual, los procesos que se encuentran en la zona verde pasarán a conformar una sola célula que se llamará Elaboración de Kits, de igual manera los procesos de la zona azul pasarán a conformar la célula Ensamble y Empaque. Además de esto todos los procesos serán unidos por medio de FIFO Lane o algún sistema Kanban dependiendo de los parámetros de cada propuesta.

A continuación, se presentan los VSM futuros propuestos, sin embargo, los cálculos se detallarán en la etapa de diseño. Una vez se elaboren las propuestas se procederá a modelarlas por medio de Flexsim [espol.edu.ec52-...-FSSTU22.1](http://espol.edu.ec52-...-FSSTU22.1) como se podrá apreciar en la etapa de prototipado.

### **2.2.2.1 Propuesta 1**

Como primera propuesta de VSM a futuro, se optó con crear un Kanban de producción para las dos estaciones de corte de madera y un FIFO Lane para la conexión entre las estaciones Elaboración de Kits y Ensamble y empaquetado. Tal como se demuestra en la Figura 2.4.



**Figura 2.4 Propuesta 1 VSM a Futuro [Elaboración propia]**

### 2.2.2.2 Propuesta 2

La segunda propuesta de VSM a futuro representada por la Figura 2.5, presenta un triángulo Kanban para las dos estaciones de corte de madera mientras que para la nueva célula Elaboración de Kits se utilizará un FIFO Lane para todos los productos elaborados.

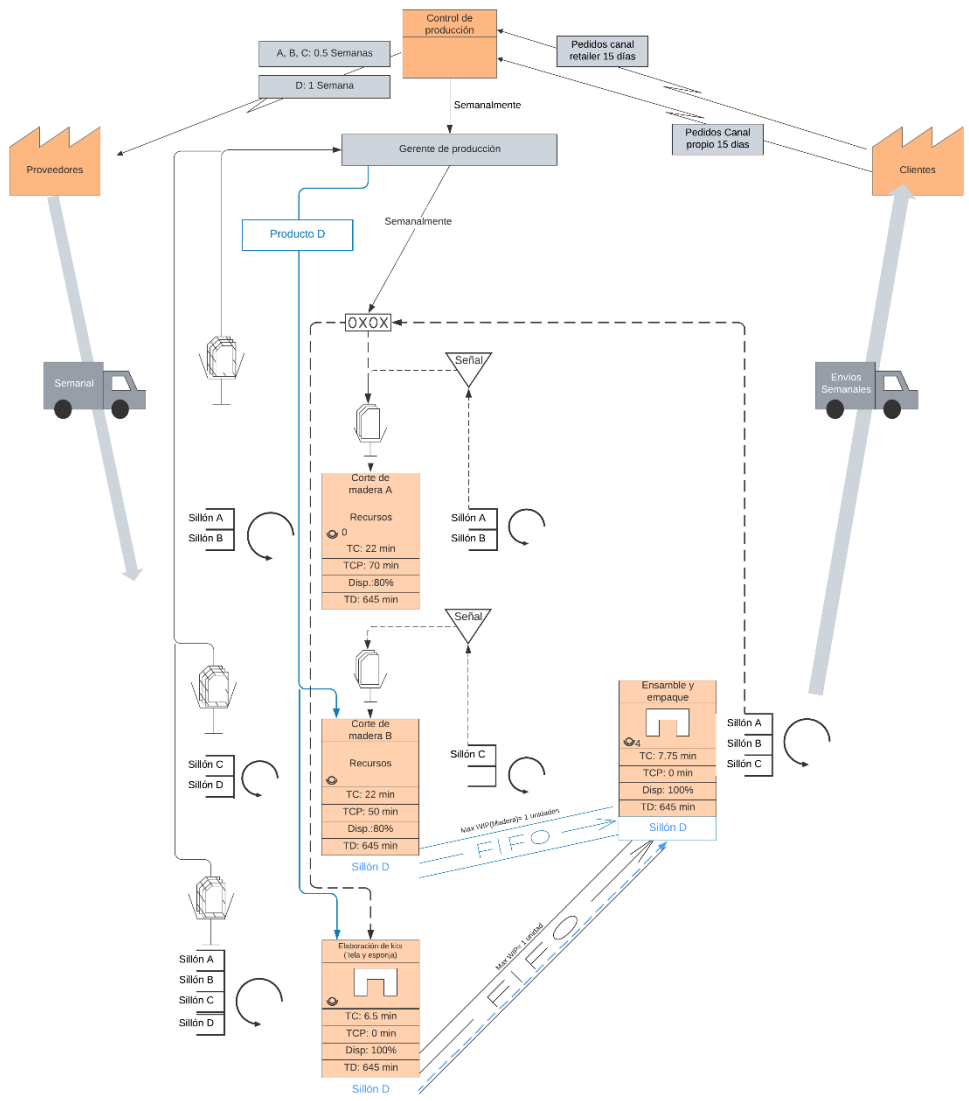


Figura 2.5 Propuesta 2 VSM a Futuro [Elaboración propia]

### 2.2.2.3 Propuesta 3

Como tercera propuesta, se decidió evaluar la posibilidad de implementar un Kanban de producción para las estaciones de corte de madera como también para la elaboración de kits con la particularidad que el producto D pasará por una serie de FIFO Lane.

El VSM a futuro con las propuestas mencionadas, se presenta la Figura 2.6.

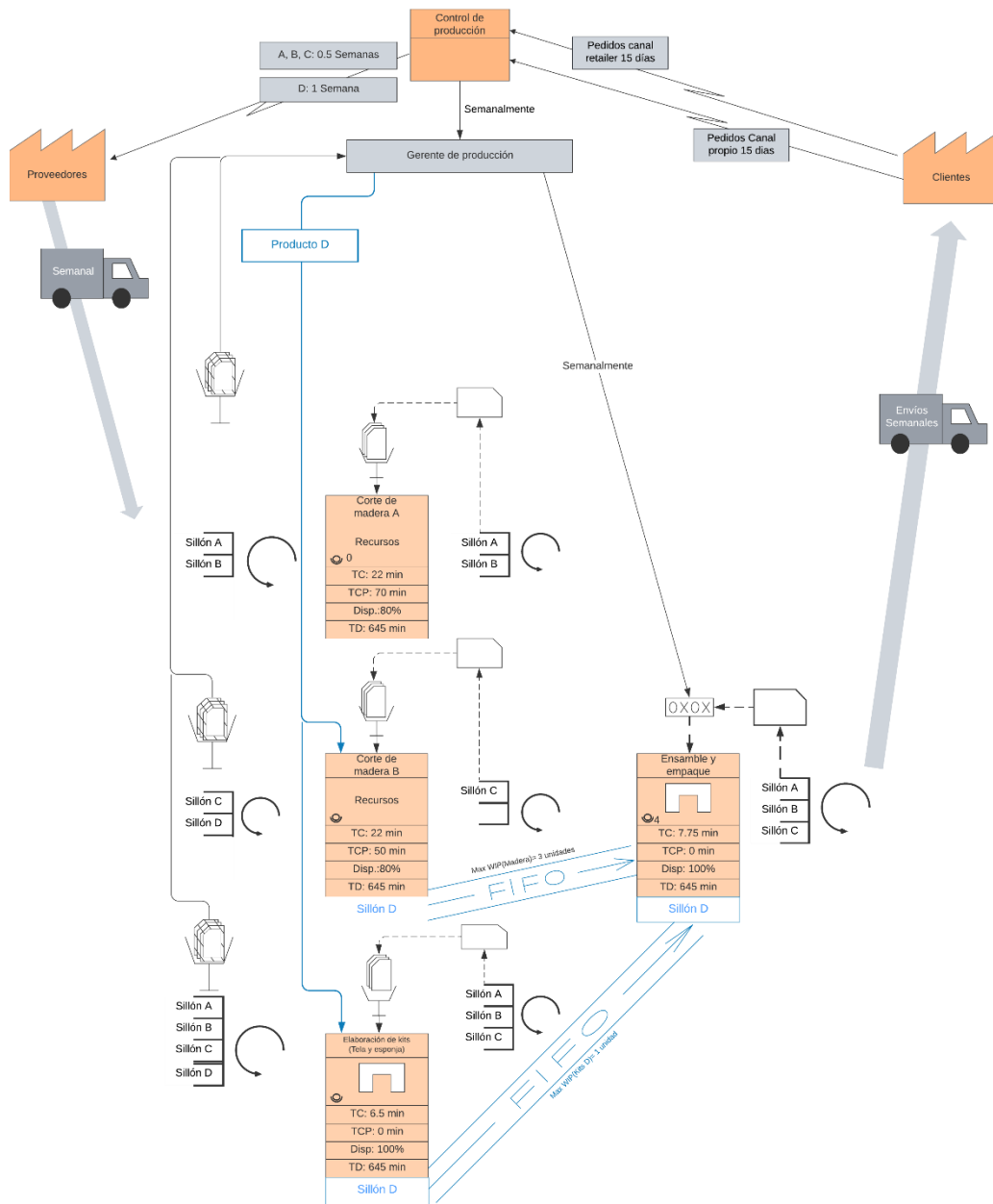


Figura 2.6 Propuesta 3 VSM a Futuro [Elaboración propia]

#### 2.2.2.4 Propuesta 4

En la cuarta propuesta, se optó elaborar un Kanban triangular para las dos estaciones de corte de madera mientras que para la estación elaboración de kits se optó crear un Kanban de producción para los sillones A, B y C.

El VSM a futuro con dichas variaciones se adjunta a la Figura 2.7.

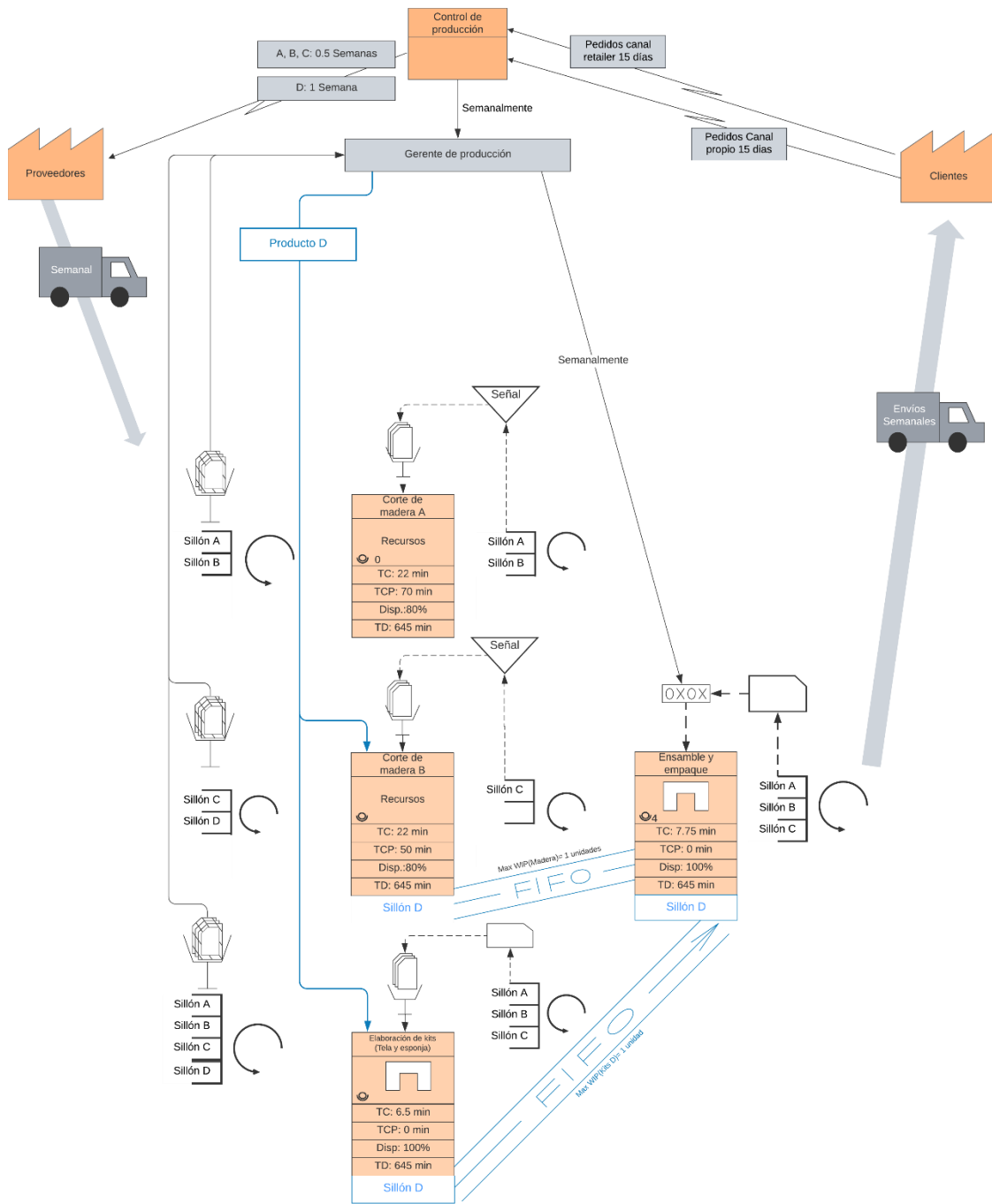


Figura 2.7 Propuesta 4 VSM a Futuro [Elaboración propia]

### 2.2.3 Estudio de propuestas según las restricciones

Se utilizó la herramienta Matriz Pugh para analizar que las propuestas que las propuestas planteadas cumplan con las restricciones establecidas para el diseño. En la Tabla 2.3 y en la Tabla 2.4 se muestra el desarrollo de la herramienta utilizada.

**Tabla 2.3 Matriz Pugh según restricciones [Elaboración propia]**

Restricciones del diseño	Factor ponderado	Propuesta 1 (KP-KT-FL-SC)	Propuesta 2 (KP-KS-FL-SC)	Propuesta 3 (KP-KT-KT-SC)	Propuesta 4 (KP-KS-KT-SC)
Software de simulación	5	1	1	1	1
Capital de inversión	4	1	1	1	1
Suministro de recursos	2	1	1	1	1
Capacidad contenedores	4	1	1	1	1

**Tabla 2.4 Tabla resumen [Elaboración propia]**

Tabla resumen				
Total 1s	4	4	4	4
Total 0s	0	0	0	0
Total -1s	0	0	0	0
Peso total ponderado	15	15	15	15

Como se muestra en la Tabla 2.3 Matriz Pugh según restricciones todas cumplen con las restricciones del diseño lo que quiere decir que todas serán tomadas en cuenta para la siguiente etapa.

#### **2.2.4 Resumen escenarios propuestos**

Para mayor comprensión de las propuestas utilizadas a continuación se muestra una tabla resumen con cada propuesta y las herramientas planteadas para cada proceso.



**Tabla 2.5 Resumen de escenarios propuestos [Elaboración propia]**

Proceso	Herramientas por utilizar			
	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4
Suministro	Kanban de suministro	Kanban de suministro	Kanban de suministro	Kanban de suministro
Corte de Madera 1	Kanban de tarjetas	Kanban de señal	Kanban de tarjetas	Kanban de señal
Corte de Madera 2	Kanban de tarjetas	Kanban de señal	Kanban de tarjetas	Kanban de señal
Elaboración de kits	FIFO Lane	FIFO Lane	Kanban de tarjetas	Kanban de tarjetas
Ensamble y Empaque	Kanban de tarjetas	Kanban de tarjetas	Kanban de tarjetas	Kanban de tarjetas

### 2.2.5 Estudio de las propuestas según requerimientos del cliente

Para finalizar se decidió utilizar la herramienta Matriz Pugh con el fin de analizar las propuestas con respecto a las necesidades de los clientes, los resultados de la herramienta se muestran en la Tabla 2.6 y la Tabla 2.7.

**Tabla 2.6 Matriz Pugh según requisitos del cliente [Elaboración propia]**

Requisitos del cliente	Factor ponderado	Estado actual	Propuesta 1 (KP-KT-FL-SC)	Propuesta 2 (KP-KS-FL-SC)	Propuesta 3 (KP-KT-KT-SC)	Propuesta 4 (KP-KS-KT-SC)
			0	0	0	0
Aplicable a la industria	2		0	0	0	0
Contraste de mejoras	2		1	1	1	1
Indicadores del modelo	2		1	1	1	1
Flexibilidad del modelo	4		1	1	1	1
Ambiente físico del modelo	1		1	1	1	1
Comprensión del modelo	3		1	1	1	1
Modelado en software de simulación	5		1	1	1	1
Dinamismo del modelo	1		1	1	1	1

**Tabla 2.7 Tabla resumen [Elaboración propia]**

Tabla resumen					
Total 1s		7	7	7	7
Total 0s		1	1	1	1
Total -1s		0	0	0	0
Peso total ponderado		18	18	18	18

Finalmente, en conjunto al cliente se eligió realizar las cuatro propuestas.

## 2.3 Diseño

### 2.3.1 Aplicación de Kaizen

#### 2.3.1.1 Balance de producción en corte de madera

Analizando las características de cada máquina cortadora como se evidencia en la Tabla 2.8 se puede observar que los tiempos de proceso de cada sillón varía según la Máquina en la que es elaborada; según Tabla 2.8:

**Tabla 2.8 Datos Máquinas corte de Madera (A y B) [Elaboración propia]**

Máquina	Set UP (min)	Disponibilidad	Producto	Tiempo de proceso (min)
Máquina A	70	80%	Sillón A	19
			Sillón B	20
			Sillón C	21
			Sillón D	22
Máquina B	50	90%	Sillón A	21
			Sillón B	22
			Sillón C	20
			Sillón D	22

Al analizar dichas diferencias, se observó que la Máquina A tiene menos tiempos de proceso para el producto A y B respecto a la Máquina B mientras que los tiempos de proceso para el sillón C y D son menores en la Máquina B. Con estas consideraciones,

se verificará dicha opción con el cálculo del EPEC para cada máquina con el fin de balancear el tiempo de ocupación y así equilibrar el proceso en dicha estación.

### **2.3.1.2 Elaboración de Kits**

Como se puede observar en la Figura 2.3 Herramientas Lean propuestas en el VSM Actual, para elaborar la esponja y tela necesaria para realizar un mismo sillón, se necesita pasar por el mismo proceso; esto implica que en algún momento se podrá tener un alto nivel de inventario de una materia prima mientras que de la otra se podría estar desabastecido; interrumpiendo así el flujo del proceso.

Debido a estas consideraciones, se optó por unificar dicho proceso y entregar a la estación de ensamble y empaque un lote completo de kit con la tela y esponja necesaria para la elaboración del sillón requerido; de esta manera, se espera reducir la intermitencia y mejorar el throughput de dicha sección del proceso.

## **2.3.2 Crear flujo continuo mediante células en U**

Como se puede apreciar en la Figura 2.3 Herramientas Lean propuestas en el VSM Actual, se decidió aplicar manufactura celular en dos secciones de la cadena de valor en Elaboración de Kits y Ensamble y empaque, con el objetivo de crear flujo continuo esta implementación se desarrolló para todas las propuestas presentadas. El desarrollo de ambas células se muestra a continuación.

### **2.3.2.1 Célula Elaboración de kits**

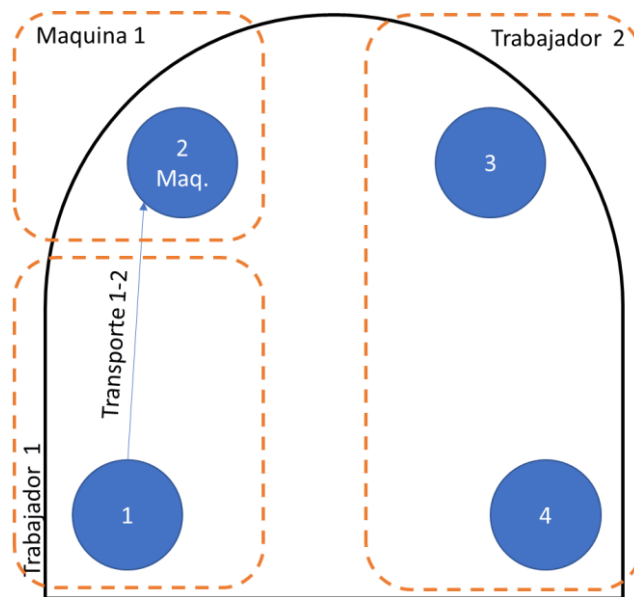
La célula llamada Elaboración de kits, está conformada por dos operadores los cuales se reparten las operaciones que se desarrollan junto a la bodega de materias, cabe recalcar que la actividad Corte de tela se desarrolla de manera automática por una máquina, es decir que no necesita de ningún operario, más solo para encenderla.

Debido a la ventaja que se lleva al Takt time se decidió unir la elaboración de kit tela y esponja para poder controlar de mejor manera el inventario y evitar problemas de comunicación y desigualdades de inventario en los procesos aguas abajo.

**Tabla 2.9 Parámetros Célula Elaboración de kits [Elaboración propia]**

Estación	Tiempo de proceso	Unidad
1. Trazado de líneas	5	Minutos
Transporte 1-2	0,75	Minutos
Transporte 2-1	0,75	Minutos
2. Corte de Tela o Esponja	4,66	Minutos
3. Corrección de imperfecciones	2,5	Minutos
4. Empaque y codificación	2,5	Minutos
Total	15,41	Minutos

Esta célula se la decidió agrupar en 3 sub-células que permiten tener un trabajo equitativo entre cada uno de los operarios, además que permite la especialización de la mano de obra. La célula se la desarrolló de la siguiente manera.



**Figura 2.8 Célula elaboración de kits [Elaboración propia]**

Para la resolución de la célula se utilizaron los tiempos de proceso que se muestran en la Tabla 2.9 Parámetros Célula Elaboración de kits.

$$\begin{aligned} \text{Trabajador 1} &= \text{Trazado de líneas tela} + \text{Trazado de líneas Esponja} \\ &+ \text{Transporte 1 a 2} + \text{Transporte 2 a 1} \end{aligned} \quad (2.4)$$

$$\text{Trabajador 1} = 3 \text{ min} + 2 \text{ min} + 0,75 \text{ min} = 6,5 \text{ min} \quad (2.5)$$

$$\text{Máquina 1} = \text{Corte de tela} + \text{Set up} + \text{Corte de esponja} \quad (2.6)$$

$$\text{Máquina 1} = 0,83 \text{ min} + 3 \text{ min} + 0,83 \text{ min} = 4,66 \text{ min} \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned} \text{Trabajador 2} = & \text{Corrección de imperfecciones tela} \\ & + \text{Corrección de imperfecciones esponja} \\ & + \text{Empaque y Codificación tela} \\ & + \text{Empaque y Codificación esponja} \end{aligned} \quad (2.8)$$

$$\text{Trabajador 2} = 1,5 \text{ min} + 1 \text{ min} + 1,5 \text{ min} + 1 \text{ min} = 5 \text{ minutos} \quad (2.9)$$

$$\text{Cell CT} = \text{Max}(\text{CT Trabajadores}, \text{CT Máquina más lenta}) \quad (2.10)$$

$$\text{Cell CT} = 6,5 \text{ minutos} \quad (2.11)$$

### 2.3.2.2 Célula de Ensamble y Empaque

La célula Ensamble y empaque, está conformada por la célula de ensamblado de sillones y el proceso de Empacado de muebles, ambos cuentan con 2 operadores cada uno. En la Tabla 2.10 se detallan las actividades que pasarán a tomar parte de la nueva célula.

**Tabla 2.10 Parámetros Célula Ensamble y Empaque [Elaboración propia]**

Estación	Tiempo de proceso (minutos)
Armado de armazón	5
Transporte de operación 1 a 2	2
Colocación de accesorios	6
Colocación de Esponja	5
Transporte de operación 3 a 4	1
Colocación de Tela	6
Transporte operación 4 a Emp.	1
Empacado	5

Debido a que no se encontró una manera de designar a las actividades de manera equitativa entre los operarios se tomó la decisión de optar por un sistema Rabbit Chase en la que todos los operarios pasan por cada una de las estaciones de trabajo. Una vez dicho esto el CT de la célula queda definido de la siguiente manera a partir de los datos mostrados en la Tabla 2.10 Parámetros Célula Ensamble y Empaque:

$$\text{Cell CT} = \frac{\text{Tiempo de operaciones} + \text{Tiempo de transporte}}{\text{Número de trabajadores}} \quad (2.12)$$

$$\text{Cell CT} = \frac{(5 \text{ min} + 6 \text{ min} + 5 \text{ min} + 6 \text{ min} + 5 \text{ min}) + (2 \text{ min} + 1 \text{ min} + 1 \text{ min})}{4} \quad (2.13)$$

$$\text{Cell CT} = 7,75 \text{ minutos}$$

(2.14)

### 2.3.3 Consideraciones elaboración Sillón D

Como se ha evidenciado en todos las propuestas mencionados, el producto D se considerará como MTO y, por ende, dicho producto no pasará por los supermercados desarrollados en sus varias postaciones debido a que este sillón será hecho bajo pedido y no tendrá que esperar en ser solicitado por algún cliente; para esto, los pedidos que se soliciten de dicho sillón serán recibidos por la organización al gerente de producción el cual se encargará de notificar la novedad al organizador de la producción para que se pueda ejecutar. Para esto, se realizará el siguiente proceso:

- Las órdenes son enviadas por el cliente y es receptada por el gerente de producción el cual a su vez balancea la producción según lo que indique el Heijunka.
- Estas órdenes balanceadas, son notificadas a la estación Corte de madera y Elaboración de Kits para que procedan su fabricación.
- Debido a la naturaleza del sillón D (MTO), el producto pasará directamente por los FIFO Lane correspondientes a cada estación y así agilizar y priorizar su fabricación.
- Apenas la materia prima haya sido elaborada en las primeras estaciones paralelas; la madera y los kits elaborados serán enviados directamente en la estación de ensamble y empaquetado para ser concluido y enviado al solicitante en el momento que se haya concluido su elaboración.

### 2.3.4 Calcular el EPEC.

Con el fin de evaluar el mejor sistema para unir el proceso de corte de madera con el de ensamble, se decidió realizar el cálculo del EPEC por cada máquina considerando la distribución de la carga laboral de cada una; de esta manera, el EPEC, permitirá conocer cual herramienta Pull se adapta más al sistema y sus necesidades.

### 2.3.4.1 EPEC Corte de madera Máquina A

Cabe recalcar que en la Máquina A se producirán los cortes de madera para los sillones A y B, ya mencionado esto se empieza con el desarrollo:

**Tabla 2.11 Parámetros Máquina A [Elaboración propia]**

Corte de Madera Máquina A		
Referencia	Sillón A	Sillón B
Demanda Diaria (u/día)	6	6
% Perdida calidad	0	0
Tiempo de ciclo (min/u)	19	20
T. de Cambio (min)	70	70
Disponibilidad (%)	80	80

Empezando con el cálculo del tiempo de ejecución diario para de tal manera obtener el tiempo disponible para cambios. El tiempo de ejecución diario quedará definido a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Tiempo de ejecución diario} = \sum \text{Tiempos de ejecución de corte} \quad (2.15)$$

El tiempo de ejecución de corte para cada producto se lo obtendrá por medio de la multiplicación de la demanda diaria de cada producto por su tiempo de ejecución respectivos, los datos para el siguiente cálculo se muestran en la Tabla 2.11 Parámetros Máquina A.

$$\text{Tiempo de ejecución (Corte A)} = 6 \frac{u}{\text{día}} \times 19 \frac{\text{min}}{u} = 114 \frac{\text{min}}{\text{día}} \quad (2.16)$$

$$\text{Tiempo de ejecución (Corte B)} = 6 \frac{u}{\text{día}} \times 20 \frac{\text{min}}{u} = 120 \frac{\text{min}}{\text{día}} \quad (2.17)$$

Dados los valores de la ecuación (2.16) y (2.17) se procedió con el cálculo del tiempo de ejecución diario según la ecuación (2.15).

$$\text{Tiempo de ejecución diario} = 114 \frac{\text{min}}{\text{día}} + 120 \frac{\text{min}}{\text{día}} = 234 \frac{\text{min}}{\text{día}} \quad (2.18)$$

Se continuó con el cálculo del tiempo disponible para cambios el cual va a estar definido por la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Tiempo disp. para cambios} \\ = T. \text{ disp. producción} - T. \text{ ejec. diario} - T. \text{ perd. disp} \end{aligned} \quad (2.19)$$

Donde:

*T. disp. producción.* - es el tiempo disponible de producción diario el cual se lo especifica en la Tabla A.0.1 Parámetros de producción.

*T. ejec. diario.* – es el tiempo de ejecución diario para la Máquina 1 de corte de madera el cual se menciona en la ecuación (2.18).

*T. perd. disp.* – es el tiempo de pérdidas debido a la disponibilidad de la Máquina.

El *T. perd. disp.* va a estar delimitado por la siguiente ecuación con la disponibilidad que se encuentra en la Tabla 2.11 Parámetros Máquina A y el *T. disp. Producción* se los puede obtener de la Tabla A.0.1 Parámetros de producción.

$$T. \text{ perd. disp} = (1 - \text{Disponibilidad}) \times T. \text{ disp. producción} \quad (2.20)$$

$$T. \text{ perd. disp} = (1 - 80\%) \times 645 \frac{\text{min}}{\text{día}} = 129 \frac{\text{min}}{\text{día}} \quad (2.21)$$

Usando los datos de la ecuación (2.18), (2.21) y la Tabla 2.11 Parámetros Máquina A se procedió a obtener el tiempo disponible para cambios según la ecuación (2.19).

$$\text{Tiempo disp. para cambios} = 645 \frac{\text{min}}{\text{día}} - 234 \frac{\text{min}}{\text{día}} - 129 \frac{\text{min}}{\text{día}} = 282 \frac{\text{min}}{\text{día}} \quad (2.22)$$

Antes de calcular el EPEC se obtuvo el tiempo requerido de cambio que va a ser igual a suma de los tiempos de cambio de cada producto que pasa por la línea que en este caso son el sillón A y B, estos datos se precisan en la Tabla 2.11 Parámetros Máquina A. El cálculo para el tiempo requerido de cambios se muestra a continuación:

$$\text{Tiempo req. para cambios} = 70 \text{ min} + 70 \text{ min} = 140 \text{ min} \quad (2.23)$$



Finalmente se calculó el EPEC con ayuda de la siguiente ecuación y utilizando los resultados de la ecuación (2.22) y (2.23):

$$EPEC = \frac{\text{Tiempo requerido para cambios}}{\text{Tiempo disponible para cambios}} \quad (2.24)$$

$$EPEC = \frac{140 \text{ min}}{282 \frac{\text{min}}{\text{día}}} = 0.49645 \text{ Días} \quad (2.25)$$

Como se observa en la ecuación (2.25), el EPEC es menor a un día demostrando que la demanda diaria puede ser satisfecha en su totalidad en menos de un medio día laborable. Por lo tanto, los sistemas de producción potenciales para esta Máquina son: Kanban de producción y Kanban triangular ya que, en ambos casos, para su aplicación, se requiere que el EPEC sea menor de un día.

#### 2.3.4.2 EPEC Corte de madera Máquina B

Sabiendo que la Máquina B será encargada de elaborar únicamente los sillones C y D se decidió considerar la demanda total de ambos productos; además de considerar sus restricciones que se presentan en la Tabla 2.12:

**Tabla 2.12 Parámetros Máquina B [Elaboración propia]**

Corte de Madera Máquina B		
Referencia	Sillón C	Sillón D
Demanda Diaria (u)	19	4
% Perdida calidad	0	0
Tiempo de ciclo (min)	20	22
T. de Cambio (min)	50	50
Disponibilidad (%)	90	90

Usando los datos de la Tabla 2.12 Parámetros Máquina se calculó el tiempo de ejecución para cada producto el cual, está definido como la multiplicación de la demanda diaria de cada producto por el tiempo de ejecución de mismo.

$$\text{Tiempo de ejecución (Corte C)} = 19 \frac{u}{\text{día}} \times 20 \frac{\text{min}}{u} = 380 \frac{\text{min}}{\text{día}} \quad (2.26)$$

$$\text{Tiempo de ejecución (Corte D)} = 4 \frac{u}{\text{día}} \times 22 \frac{\text{min}}{u} = 88 \frac{\text{min}}{\text{día}} \quad (2.27)$$

Teniendo en cuenta los datos de la ecuación (2.26) y (2.27), se procedió a calcular el tiempo de ejecución diaria por medio de la ecuación (2.15).

$$\text{Tiempo de ejecución diario} = 380 \frac{\text{min}}{\text{día}} + 88 \frac{\text{min}}{\text{día}} = 468 \frac{\text{min}}{\text{día}} \quad (2.28)$$

Continuando con el cálculo del tiempo perdido por disponibilidad el cual va a estar definido por la ecuación (2.20), en la cual se usó el valor de la disponibilidad que se encuentra en la Tabla 2.12 Parámetros Máquina B y el tiempo disponible de producción que se muestra en la Tabla A.0.1 Parámetros de producción.

$$T. \text{perd. disp} = (1 - 90\%) \times 645 \frac{\text{min}}{\text{día}} = 64,5 \frac{\text{min}}{\text{día}} \quad (2.29)$$

Usando la ecuación (2.19) se procedió a obtener el tiempo disponible para cambios, donde el tiempo disponible de producción se obtuvo de la Tabla A.0.1 Parámetros de producción, el tiempo de ejecución diario y el tiempo por pérdida de disponibilidad se obtuvieron de las ecuaciones (2.28) y (2.29) respectivamente.

$$\text{Tiempo disp. para cambios} = 645 \frac{\text{min}}{\text{día}} - 468 \frac{\text{min}}{\text{día}} - 64,5 \frac{\text{min}}{\text{día}} = 112,5 \frac{\text{min}}{\text{día}} \quad (2.30)$$

Continuando con el cálculo del tiempo requerido para cambios, el cual está definido por la suma de los tiempos de cambios de cada uno de los productos que se elaboraran en la máquina, estos se detallan en la Tabla 2.12 Parámetros Máquina B.

$$\text{Tiempo req. para cambios} = 50 \text{ min} + 50 \text{ min} = 100 \text{ min} \quad (2.31)$$

Por último, se obtuvo el valor del EPEC según la ecuación (2.24) utilizando los valores de la ecuación (2.30) y (2.31).

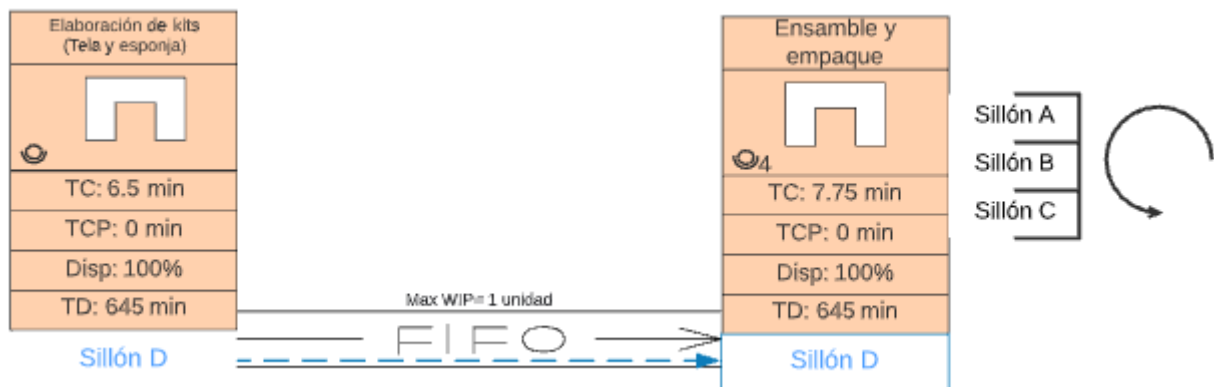
$$EPEC = \frac{100 \text{ min}}{112,5 \frac{\text{min}}{\text{día}}} = 0.88889 \text{ Días} \quad (2.32)$$

Con un EPEC de 0.89 Días, se puede optar por implementar un sistema Kanban de producción y un Kanban triangular ya que para ambos sistemas de producción se requiere que la demanda logre ser satisfecha en su totalidad en menos de un día.

## 2.3.5 Desarrollo Propuesta 1

### 2.3.5.1 Loop 1

Su representación en el VSM a futuro se muestra en la Figura 2.9:



**Figura 2.9 Loop 1 Propuesta 1 [Elaboración propia]**

#### 2.3.5.1.1 Desarrollo del FIFO Lane

En la propuesta 1 planteada, se evaluó la opción de crear un FIFO Lane para conectar a los procesos Elaboración de Kits y Ensamble y Empacado debido a su poca diferencia entre los tiempos de proceso y Set Up; por este medio, pasarán todos los sillones elaborados por la Máquina aguas arriba.

El WIP Máximo se calculó con la fórmula a continuación:

$$WIP \text{ MAX} = \frac{\text{Tiempo de desbalance}}{\text{Takt time}} \times SS \quad (2.33)$$

Donde:

- Tiempo de desbalance. – Es la diferencia que existe entre los tiempos de proceso de dos estaciones distintas y conectadas.
- Takt Time. – Es la tasa a la que deberían salir los productos del proceso con el fin de cumplir con la demanda.
- SS. – Es el porcentaje adicional de la desviación entre tiempo de procesos que se desea considerar con el fin de reducir el riesgo de desabastecimiento.

Los tiempos de proceso fueron obtenidos en la ecuación (2.11) y (2.14) para Elaboración de Kits y Ensamble y empaçado respectivamente. Se procedió a calcular el WIP Máximo que habrá en el mencionado FIFO Lane.

$$WIP\ MAX = \frac{7,75(min) - 6,50(min)}{18,43(\frac{min}{u})} \times 1.20 = 0.078 \approx 1\ unidad \quad (2.34)$$

Se decidió considerar un porcentaje de seguridad del 20% como se observa en la ecuación (2.34) debido a la variabilidad que existe en la demanda (10%) y un batch adicional (10%) con el fin de reducir al mínimo los riesgos de desabastecimiento.

Por último, se calculó el tiempo que no agrega valor correspondiente al FIFO lane; aplicando la Ley de Little, como se muestra a continuación:

$$TNAV = \frac{WIP}{TH} \quad (2.35)$$

Considerando que el Takt Time es el que determinará la tasa con la que los productos son liberados hacia los procesos aguas abajo, se procede a calcular el TNAV:

$$TNAV = \frac{1(u)}{1/18.43\ (min/u)} = 18.43\ minutos \quad (2.36)$$

#### 2.3.5.1.2 Desarrollo supermercado de producto terminado

Con el fin de garantizar constantemente la disponibilidad de los sillones, se decidió realizar un Kanban supermercado de producto terminado utilizando la ecuación (2.37).

Se calculó el inventario del supermercado en base a la demanda del producto y la capacidad del proceso.

Para calcular dicho inventario se procedió de la siguiente manera:

$$K_i = \frac{(LT_i + (LT_i \times SS)) \times D_i}{Q} \quad (2.37)$$

Donde:

- $SS$ . – es el stock de seguridad que se considero basado en la variación de la demanda.
- $D_i$ . – es la demanda diaria para los productos  $i$ .
- $Q$ . – es la cantidad de unidades por van a haber por Kanban.
- $i$ .- son los productos A, B y C.
- $LT_{i,-}$  es el lead time para el flujo de proceso que se muestra en la ecuación (2.38).

A causa de que con el FIFO Lane se amortigua el desbalance, se toma a todo transcurso mientras pasa desde la célula de elaboración de kits hasta la célula de ensamble/empaque como un flujo continuo, lo que conlleva a que para el cálculo del lead time se tome en consideración que la tarjeta tiene que pasar por todo ese flujo. Además, para el cálculo del lead time se considerará que están en cola la producción una tarjeta de cada uno de los otros productos. Mencionado esto, el cálculo del lead time se realizó de la siguiente manera:

$$LT_A = \sum TP(kits)_i + \sum TNAV(FIFO)_i + \sum TP(EE) \quad (2.38)$$

Donde:

- $\sum TP(kits)_i$ . – Es igual a la sumatoria de los tiempos requeridos para elaborar un kit de cada sillón.
- $\sum TNAV(FIFO)_i$ . – Es igual a la sumatoria de los tiempos que le toma pasar por el FIFO lane para un kit de cada sillón.

- $\sum TP(EE)_i$ . – Es igual a la sumatoria de los tiempos requeridos para ensamblar y empacar un sillón de cada producto.

Con estas consideraciones, se procedió a calcular el tiempo que no agrega valor con los tiempos de ciclo para la elaboración de kits como se muestra en la ecuación (2.11), tiempo que no agrega valor en el FIFO Lane (2.36) y el tiempo de proceso de la célula de ensamble y empaque (2.14).

$$\begin{aligned}
 LT &= \left( 6,50 \left( \frac{\text{min}}{\text{pieza}} \right) + 6,50 \left( \frac{\text{min}}{\text{pieza}} \right) + 6,50 \left( \frac{\text{min}}{\text{pieza}} \right) \right) \\
 &\quad + \left( 18,43 \left( \frac{\text{min}}{\text{pieza}} \right) + 18,43 \left( \frac{\text{min}}{\text{pieza}} \right) + 18,43 \left( \frac{\text{min}}{\text{pieza}} \right) \right) \\
 &\quad + \left( 7,75 \left( \frac{\text{min}}{\text{pieza}} \right) + 7,75 \left( \frac{\text{min}}{\text{pieza}} \right) + 7,75 \left( \frac{\text{min}}{\text{pieza}} \right) \right) \\
 &= 130,72 \left( \frac{\text{min}}{\text{pieza}} \right)
 \end{aligned} \tag{2.39}$$

Con este LT presenta, se procedió a calcular el número de Kanban con la ecuación (2.37) para cada producto que existirá en dicho supermercado:

$$K_A = \frac{(130,72(\text{min}) + (130,72(\text{min}) \times 0,5)) \times 0,01 \left( \frac{u}{\text{min}} \right)}{1(u)} = 1,49 \approx 2 \text{ Cajas} \tag{2.40}$$

$$K_B = \frac{(130,72(\text{min}) + (130,72(\text{min}) \times 0,5)) \times 0,01 \left( \frac{u}{\text{min}} \right)}{1(u)} = 1,49 \approx 2 \text{ Cajas} \tag{2.41}$$

$$K_C = \frac{(130,72(\text{min}) + (130,72(\text{min}) \times 0,5)) \times 0,03 \left( \frac{u}{\text{min}} \right)}{1(u)} = 5,09 \approx 6 \text{ Cajas} \tag{2.42}$$

Para determinar el tiempo que no agregan valor, se determinó el inventario medio de cada uno de los Kits correspondiente:

$$I_m = \frac{\left( \frac{LT}{2} + (LT \times SS) \right) \times D}{Q} \tag{2.43}$$

Donde:

Im. – Es el inventario medio existente en el supermercado.

LT. – Es el tiempo, en minutos, que transcurre para que se realice la reposición del Kit i al supermercado considerando el supuesto caso en que dicha tarjeta deba esperar en cola la realización de los otros 3 productos que pasan por el proceso.

SS. – El batch de seguridad que se considera para reducir el riesgo de desabastecimiento (50%).

D. – Es la demanda diaria de cada Kit.

Q. – Capacidad de Kit por cada tarjeta Kanban.

Con estos datos, se procede a calcular el inventario medio para cada sillón que se hallará en el supermercado mencionado:

$$Im_A = \frac{\left(\frac{130,72(\text{min})}{2} + (130,72(\text{min}) \times 0,5)\right) \times 0,01\left(\frac{u}{\text{min}}\right)}{1(u)} = 0,99 \approx 1 \text{ Caja} \quad (2.44)$$

$$Im_B = \frac{\left(\frac{130,72(\text{min})}{2} + (130,72(\text{min}) \times 0,5)\right) \times 0,01\left(\frac{u}{\text{min}}\right)}{1(u)} = 0,99 \approx 1 \text{ Caja} \quad (2.45)$$

$$Im_C = \frac{\left(\frac{130,72(\text{min})}{2} + (130,72(\text{min}) \times 0,5)\right) \times 0,03\left(\frac{u}{\text{min}}\right)}{1(u)} = 3.39 \approx 4 \text{ Cajas} \quad (2.46)$$

Teniendo el inventario medio que existirá en el supermercado, se calcula el tiempo que no agrega valor a continuación; tomando en cuenta el Takt Time de la demanda ya que este definirá el ritmo a que los productos serán entregados a los procesos aguas abajo.

$$Tiempo NAV = Im \times Takt Time \quad (2.47)$$

Los tiempos que no agregan valor por cada producto se presenta a continuación:

$$Tiempo NAV_A = \frac{0,99(u)}{0,01\left(\frac{u}{\text{min}}\right)} = 130,72 \text{ minutos} \quad (2.48)$$

$$Tiempo NAV_B = \frac{0,99(u)}{0,01\left(\frac{u}{\text{min}}\right)} = 130,72 \text{ minutos} \quad (2.49)$$

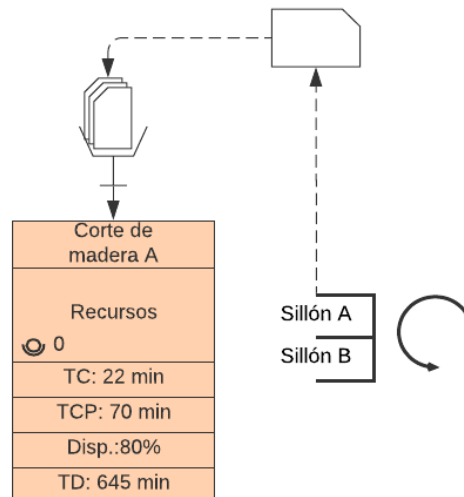
$$Tiempo NAV_c = \frac{3,39(u)}{0,03(\frac{u}{min})} = 130.72 \text{ minutos} \quad (2.50)$$

### 2.3.5.2 Loop 2

Debido a que en las estaciones de corte de madera las máquinas A y B cuentan con un EPEC de 0.4965 días y 0.8889 días, se validó que un Kanban de tarjetas es una potencial opción para implementar.

#### 2.3.5.2.1 Kanban producción Máquina A

La representación en el VSM a futuro se presenta en la Figura 2.10:



**Figura 2.10 Kanban de producción Máquina A [Elaboración propia]**

Los datos de la Máquina A se mencionan en la Tabla 2.11 Parámetros Máquina A y los mismos serán usados para este sistema.

Para poder realizar el cálculo de tarjetas Kanban necesarias, se consideró el lead time como el tiempo necesario estimado que la tarjeta Kanban requerirá hasta volver a su supermercado; de esta forma, se consideró el caso en que dicha tarjeta deba esperar en cola mientras que otra tarjeta de producto diferente se atendido por la máquina. El cálculo de este se presenta a continuación:

$$LT_{A,B} = Set up_A + T.prod._A + Set up_B + T.prod._B \quad (2.51)$$



$$LT_{A,B} = 70 \text{ min} + 19 \text{ min} + 70 \text{ min} + 20 \text{ min} = 179 \text{ min} \quad (2.52)$$

Considerando el resultado de la ecuación (2.52) se procede a realizar el cálculo de las tarjetas Kanban según la ecuación (2.37):

$$K_A = \frac{(179 \text{ min} + (179 \text{ min} \times 0,5)) \times 0,01 \frac{u}{\text{min}}}{1 u} = 2,685 \approx 3 \text{ Tarjetas} \quad (2.53)$$

$$K_B = \frac{(179 \text{ min} + (179 \text{ min} \times 0,5)) \times 0,01 \frac{u}{\text{min}}}{1 u} = 2,685 \approx 3 \text{ Tarjetas} \quad (2.54)$$

Teniendo el número de tarjetas necesarias para el proceso, se procedió a calcular el inventario medio estimado del supermercado de producto elaborado con el fin de conocer el tiempo que no agrega valor al proceso, Según la ecuación (2.43).

$$Im_A = \frac{\left(\frac{179 \text{ min}}{2} + (179 \text{ min} \times 0,5)\right) \times 0,01 \frac{u}{\text{min}}}{1 u} = 1,79 \text{ Cajas} \approx 2 \text{ Cajas} \quad (2.55)$$

$$Im_B = \frac{\left(\frac{179 \text{ min}}{2} + (179 \text{ min} \times 0,5)\right) \times 0,01 \frac{u}{\text{min}}}{1 u} = 1,79 \text{ Cajas} \approx 2 \text{ Cajas} \quad (2.56)$$

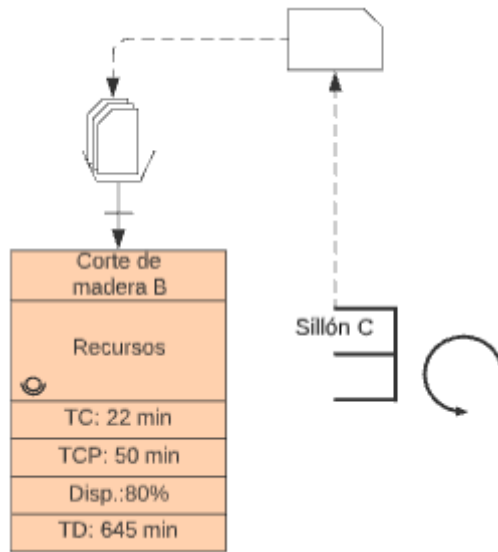
Se procede a calcular el tiempo que no agrega valor de cada producto considerando el inventario medio según la ecuación (2.47):

$$\text{Tiempo NAV}_A = \frac{2 u}{0,01 \frac{u}{\text{min}}} = 261,82 \text{ min} \quad (2.57)$$

$$\text{Tiempo NAV}_B = \frac{2 u}{0,01 \frac{u}{\text{min}}} = 261,82 \text{ min} \quad (2.58)$$

#### 2.3.5.2.2 Kanban de producción Máquina B

Su representación en el VSM a futuro se muestra a continuación en la Figura 2.11.



**Figura 2.11 Kanban de producción Máquina B [Elaboración propia]**

Se procedió a realizar el mismo cálculo de las tarjetas Kanban para la Máquina B; tomando en cuenta los parámetros de dicha Máquina como se menciona en la Tabla 2.12 Parámetros Máquina B y con la particularidad que el sillón D será elaborado como MTO por lo que se considerará en el LT de proceso, pero no para el cálculo de Tarjetas Kanban debido a que este producto no se proyecta tener en stock a menos que sea explícitamente solicitado por el cliente.

Para esta máquina, el LT requerido será similar al mencionado en la Máquina A; es decir, se supone el caso en que la tarjeta deberá esperar en cola para hacer atendida en la Máquina procesadora mientras esta elabora una tarjeta del otro producto, el cálculo se presenta a continuación:

$$LT_C = Set\ up_D + T.\ prod._D + Set\ up_C + T.\ prod._C \quad (2.59)$$

$$LT_C = 50\ min + 20\ min + 50\ min + 22\ min = 142\ min \quad (2.60)$$

Con el valor obtenido en la ecuación (2.60) se procedió a obtener el número de tarjetas kanban por a través de la ecuación (2.37).

$$K_C = \frac{(142\ min + (142\ min \times 0,5)) \times 0,026 \frac{u}{min}}{1\ u} = 5,538 \approx 6\ Tarjetas \quad (2.61)$$

Teniendo el número de tarjetas Kanban requeridas para sillón C, se procedió a calcular el inventario medio de este producto en el supermercado de producto elaborado con la ayuda de la ecuación (2.43):

$$Im_A = \frac{\left(\frac{142 \text{ min}}{2} + (142 \text{ min} \times 0,5)\right) \times 0,026 \frac{u}{\text{min}}}{1 u} = 3,692 \text{ Cajas} \approx 4 \text{ Cajas} \quad (2.62)$$

Finalmente, para conocer el tiempo que no agrega valor de este supermercado, se calcula el TNAV tomando en cuenta el inventario medio y la demanda según la ecuación (2.47):

$$\text{Tiempo NAV}_B = \frac{4 u}{0,026 \frac{u}{\text{min}}} = 153.85 \text{ min} \quad (2.63)$$

### 2.3.5.2.3 FIFO Lane Producto D

Para el FIFO Lane entre Corte de madera y la célula Ensamble y empaclado, se consideró para el cálculo del WIP Máximo la ecuación (2.33) con la particularidad que en este caso los tiempos de desbalance serán los de Set UP ya que es donde se evidencia la mayor diferencia de tiempos entre una estación y la otra; por otro lado, debido a que este es un proceso interno, se reemplazó el takt time con el tiempo promedio de demanda.

El tiempo de cambio para la Máquina corte de madera se muestra en la Tabla 2.12 mientras que para la elaboración de Kit es 0 minutos; dicho esto, el WIP Máximo se presenta a continuación:

$$WIP \text{ MAX} = \frac{50\left(\frac{\text{min}}{\text{pieza}}\right) - 0\left(\frac{\text{min}}{\text{pieza}}\right)}{161,25\left(\frac{\text{min}}{\text{pieza}}\right)} \times 1,20 = 0,31 \approx 1 \text{ unidad} \quad (2.64)$$

Así mismo, se calculó el tiempo que no agrega valor con respecto al FIFO Lane con la ecuación (2.47) y los resultados se muestran a continuación:

$$TNAV = \frac{1}{1/161,25 \text{ (min/pieza)}} = 161.25 \text{ minutos} \quad (2.65)$$

### 2.3.5.3 Kanban de suministro

Para controlar la cantidad de materia prima se decidió realizar un Kanban de proveedores con el fin de no tener sobre inventario y escasez de materia prima.

Debido a que para realizar los sillones se necesita diferentes productos se decidió calcular los requerimientos de suministro por sillón recordando la demanda promedio por producto mencionado en la Tabla A.0.2 Demanda por producto. Existen dos proveedores una que abastece la tela y esponja y otro que abastece la madera, los cuales se utilizan en dos procesos que se realizan en paralelo, por lo cual será necesario tener dos supermercados de materia prima. Pero con la particularidad que ambos tendrán la misma configuración.

Para establecer el número de tarjetas de Kanban se definió los parámetros requeridos para el cálculo:

**Tabla 2.13 Datos para el cálculo del Kanban de proveedores [Elaboración propia]**

Número de unidades (k)
Periodo de reaprovisionamiento (p)
Lead time de reaprovisionamiento (LTR)
Tiempo de transporte (t)
Stock de seguridad (SS)

Donde:

- D. – es la demanda semanal del producto.
- K. – Número de unidades a transportar por lote.
- P. – Periodo de reaprovisionamiento por semana.
- LTR. – Tiempo de reaprovisionamiento.
- T. – Tiempo de transporte.
- SS. – Safety stock; se considerará de media semana en caso de que surjan inconvenientes durante la entrega del proveedor.

Obteniendo los parámetros, se procede a calcular el número de tarjeta Kanban de cada sillón con la ecuación presentada a continuación:

$$N_{KS} = \frac{d \times (p + LTR + t + SS)}{k} \quad (2.66)$$

Los resultados de cada producto son:

$$N_{KS \text{ sillón A}} = \frac{28 \frac{u}{sem} \times (0,5 \text{ sem} + 1 \text{ sem} + 1 \text{ sem} + 0,5 \text{ sem})}{7 \frac{u}{kanban}} = 8 \text{ Kanban} \quad (2.67)$$

$$N_{KS \text{ sillón B}} = \frac{28 \frac{u}{sem} \times (0,5 \text{ sem} + 1 \text{ sem} + 1 \text{ sem} + 0,5 \text{ sem})}{7 \frac{u}{kanban}} \quad (2.68)$$

$$= 8 \text{ Kanban}$$

$$N_{KS \text{ sillón C}} = \frac{94 \frac{u}{sem} \times (0,5 \text{ sem} + 1 \text{ sem} + 1 \text{ sem} + 0,5 \text{ sem})}{4 \frac{u}{kanban}} \quad (2.69)$$

$$= 47 \text{ Kanban}$$

$$N_{KS \text{ sillón D}} = \frac{17 \frac{u}{sem} \times (0,5 \text{ sem} + 1 \text{ sem} + 1 \text{ sem} + 0,5 \text{ sem})}{5 \frac{u}{kanban}} \quad (2.70)$$

$$= 9 \text{ Kanban}$$

Con el fin de conocer el tiempo que no agrega valor en el nuevo VSM, se procedió a calcular el inventario medio por cada sillón con la ecuación presentada a continuación:

$$\text{Inventario medio (Kanban)} = \left( \frac{d \times p}{2k} \right) + \left( \frac{d \times SS}{k} \right) \quad (2.71)$$

Los resultados por cada sillón son:

$$\begin{aligned} \text{Inventario medio sillón A} &= \left( \frac{28 \frac{u}{sem} \times 0,5 sem}{2(7 \frac{u}{kanban})} \right) + \left( \frac{28 \times 0,5}{7 \frac{u}{kanban}} \right) \\ &= 2 \text{ Kanban} \end{aligned} \quad (2.72)$$

$$\begin{aligned} \text{Inventario medio sillón B} &= \left( \frac{28 \frac{u}{sem} \times 0,5 sem}{2(7 \frac{u}{kanban})} \right) + \left( \frac{28 \frac{u}{sem} \times 0,5 sem}{7 \frac{u}{kanban}} \right) \\ &= 2 \text{ Kanban} \end{aligned} \quad (2.73)$$

$$\begin{aligned} \text{Inventario medio sillón C} &= \left( \frac{94 \frac{u}{sem} \times 0,5 sem}{2(4 \frac{u}{kanban})} \right) + \left( \frac{94 \frac{u}{sem} \times 0,5 sem}{4 \frac{u}{kanban}} \right) \\ &= 12 \text{ Kanban} \end{aligned} \quad (2.74)$$

$$\begin{aligned} \text{Inventario medio sillón D} &= \left( \frac{17 \frac{u}{sem} \times 0,5 sem}{2(5 \frac{u}{kanban})} \right) + \left( \frac{17 \frac{u}{sem} \times 0,5 sem}{5 \frac{u}{kanban}} \right) \\ &= 3 \text{ Kanban} \end{aligned} \quad (2.75)$$

Por último, se procedió a calcular el tiempo que no agrega valor para el nuevo VSM según la ecuación (2.47).

$$\text{Tiempo NAV sillón A} = \frac{14 u}{28 \frac{u}{sem}} = 0,5 \text{ semanas} \quad (2.76)$$

$$\text{Tiempo NAV sillón B} = \frac{14 u}{28 \frac{u}{sem}} = 0,5 \text{ semanas} \quad (2.77)$$

$$\text{Tiempo NAV sillón C} = \frac{48 u}{94 \frac{u}{sem}} = 0,51 \text{ semanas} \quad (2.78)$$

$$\text{Tiempo NAV sillón D} = \frac{15 u}{17 \frac{u}{sem}} = 0,88 \text{ semanas} \quad (2.79)$$

Por lo tanto, el tiempo que no agrega valor del supermercado de proveedores será 0,88 semanas debido a que el producto D será el que más tiempo pase en dicho supermercado.

### 2.3.5.4 Resumen Propuesta 1

Luego de desarrollar los cálculos, se recopilaron los tiempos que agregan y no agregan valor; con el fin de conocer la eficiencia de la propuesta planteada.

Los resultados se adjuntan a continuación en la Tabla 2.14.

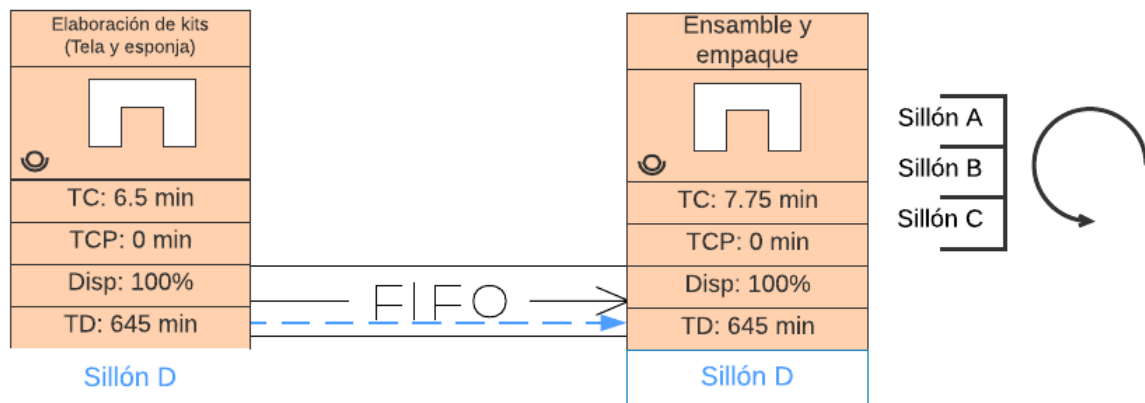
**Tabla 2.14 Resumen Propuesta 1 [Elaboración propia]**

Categoría	Proceso	Tiempos (min)	Tiempo (días)
NAV	Kanban suministro	6336,00	4,40
AV	Corte de Madera	22,00	0,02
NAV	Kanban producción	261,82	0,18
AV	Ensamble y empaque	7,75	0,01
NAV	Kanban PT	127,72	0,09
Total AV		29,75	0,02
Total NAV		6725,54	4,67

### 2.3.6 Desarrollo Propuesta 2

#### 2.3.6.1 Loop 1

El flujo del Loop 1 de la propuesta 2 se muestra en la Figura 2.12 Loop 1 Propuesta 2, en el cual está conformado por la célula Elaboración de kits y la célula Ensamble y empaque las cuales están unidas por un FIFO Lane y finalmente consta de un supermercado de producto terminado.



**Figura 2.12 Loop 1 Propuesta 2 [Elaboración propia]**

### 2.3.6.1.1 Desarrollo FIFO Lane

Como se muestra en la ecuación (2.33) Figura 2.12 Loop 1 Propuesta 2, el WIP Máximo va a estar definido el desbalance que existe entre la célula Ensamble y empaque con la célula Elaboración de kits.

Dicho esto, el desarrollo del FIFO Lane queda exactamente igual que en la sección 2.3.5.1.1. A continuación, se detalla una tabla con los parámetros del FIFO Lane.

**Tabla 2.15 Parámetros FIFO Lane Prop. 2 Loop 1 [Elaboración propia]**

Parámetros	Valor	Unidad
WIP Max	1	u
TNAV	18.43	min
Productos	A, B, C y D	-

### 2.3.6.1.2 Desarrollo supermercado producto terminado

En la Figura 2.12 Loop 1 Propuesta 2 se puede constatar que el supermercado de producto terminado va a depender de todo el flujo desde la célula elaboración de kits hasta la célula ensamble y empaque.

Es así como el supermercado de producto terminado para la propuesta 2 resultó equivalente a la sección 2.3.5.1.2, posteriormente se muestra la tabla de los parámetros del supermercado de producto terminado.

**Tabla 2.16 Parámetros Supermercado PT Prop. 2 [Elaboración propia]**

Parámetros	Valor	Unidad
LT	130,72	min
# Kanbans A	2	Cajas
# Kanbans B	2	Cajas
# Kanbans C	6	Cajas
Inv. Medio A	1	Caja
Inv. Medio B	1	Caja
Inv. Medio C	4	Cajas
Tiempo NAV (A)	130,72	min
Tiempo NAV (B)	130,72	min
Tiempo NAV (C)	130,72	min



### 2.3.6.2 Loop 2

El flujo del Loop 2 va a esta conformado por las Máquinas de corte de madera y sus sistemas kanban. Debido a que nuestro EPEC es menor a un día no se va a tener ningún problema con utilizar un este método para controlar la producción.

#### 2.3.6.2.1 Kanban de señal Máquina A

Seguidamente se mostrará la representación para el kanban de señal de la máquina A en la Figura 2.13.

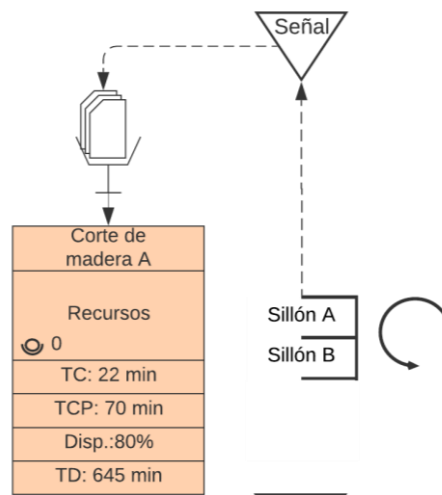


Figura 2.13 Kanban de señal Máquina A [Elaboración propia]

Se empezó, obteniendo el tiempo disponible de producción para la máquina A se va a ver afectado por el porcentaje el tiempo de perdidas por disponibilidad que se muestra en la ecuación (2.21).

La ecuación para el  $T. disp. prod. Máquina A$  queda de la siguiente manera donde el tiempo disponible para producción se muestra en la Tabla A.0.1 Parámetros de producción:

$$T. disp. prod. Máquina A = T. disp. producción - T. perd. d \quad (2.80)$$

$$T. disp. prod. Máquina A = 645 \text{ min} - 129 \text{ min} = 516 \text{ min} \quad (2.81)$$

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

$$\# \text{ de cambios disponibles} = \frac{T. \text{ disp. para cambios}}{T. \text{ de cambios}} \quad (2.82)$$

Donde el tiempo disponible para cambios estará dado por la ecuación (2.22) y el tiempo de cambios se encontrará en la Tabla 2.11 Parámetros Máquina A:

$$\# \text{ de cambios disponibles} = \frac{282 \frac{\text{min}}{\text{día}}}{70 \frac{\text{min}}{\text{cambio}}} = 4.028 \frac{\text{cambios}}{\text{día}} \quad (2.83)$$

Teniendo los números de cambios se definió los tamaños de los lotes según la siguiente ecuación:

$$\text{Lote}_i = \frac{d_i}{\# \text{ Número de cambios}_i} \quad (2.84)$$

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.

Para la definición de los lotes se asignó un cambio a cada producto con el objetivo de estar preparados sobre cualquier eventualidad. Para la demanda diaria se utilizaron los datos de la Tabla 2.11 Parámetros Máquina A.

$$\text{Lote}_A = \frac{6 \frac{u}{\text{día}}}{1 \frac{\text{cambio}}{\text{día}}} = 6 \text{ unidades} \quad (2.85)$$

$$\text{Lote}_B = \frac{6 \frac{u}{\text{día}}}{1 \frac{\text{cambio}}{\text{día}}} = 6 \text{ unidades} \quad (2.86)$$

El número de cajas quedara definido por la siguiente fórmula:

$$Cajas\ totales_i = \frac{Lote_i}{\# Cambios_i} \quad (2.87)$$

Donde:

- $Lote_i$ . – Es el tamaño del lote para el producto  $i$ .
- $\# Cambios_i$ . – Es el número de cambios asignados para el producto  $i$ .
- $i$ . - Son los productos por elaborar en la estación.

Cabe recalcar que se cuenta con una restricción de máximo dos unidades por caja, por lo cual solo se tuvieron dos opciones para el tamaño del lote, se decidió escoger un tamaño de lote de 1 unidad debido a que es múltiplo para todos los productos con lo que se evita realizar redondeos. El lote para el producto A y B están definidos en las ecuaciones (2.85) y (2.86) en el mismo orden mencionado.

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

$$Cajas\ totales_A = \frac{6\ unidades}{1\ \frac{unidad}{caja}} = 6\ cajas \quad (2.88)$$

$$Cajas\ totales_B = \frac{6\ unidades}{1\ \frac{unidad}{caja}} = 6\ cajas \quad (2.89)$$

Solo queda definir el punto de reposición, para el cual se necesita el lead time de reposición, el cual se fijó tomando en consideración el caso en que, al momento de solicitar un producto, justamente se empezara a realizar todo el lote del otro producto. A esto hay que sumarle el tiempo de cambio de producción y el tiempo que toma realizar una caja del producto necesario. Los datos para los siguientes cálculos se muestran en la Tabla 2.11 Parámetros Máquina A y en las ecuaciones (2.85) y (2.86).

$$\begin{aligned} Lead\ time\ de\ reposición_A &= (70\ min + (6\ u \times 20\ min)) + 70\ min + 19\ min \\ &= 279\ minutos \end{aligned} \quad (2.90)$$

$$\begin{aligned} \text{Lead time de reposición}_B &= (70 \text{ min} + (6 \text{ u} \times 19 \text{ min})) + 70 \text{ min} + 20 \text{ min} \\ &= 274 \text{ minutos} \end{aligned} \quad (2.91)$$

El punto de reposición va a estar definido por la siguiente fórmula:

$$PR_i = \frac{d_i}{T. \text{disp. prod. Máquina}} \times \text{Lead time de reposición} \quad (2.92)$$

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 de la máquina A, que se detalla en la ecuación (2.83).

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

$$PR_A = \frac{6 \frac{\text{u}}{\text{día}}}{516 \text{ min}} \times 279 \text{ min} = 3.24 \text{ u} \approx 4 \text{ Cajas} \quad (2.93)$$

$$PR_B = \frac{6 \frac{\text{u}}{\text{día}}}{516 \text{ min}} \times 274 \text{ min} = 3.19 \text{ u} \approx 4 \text{ Cajas} \quad (2.94)$$

Finalmente se cuantificó el tiempo que no agrega valor según el inventario medio, que está definido por el tamaño del lote dividido para dos. El desarrollo se muestra a continuación.

$$\text{Inventario medio}_A = \frac{6 \text{ u}}{2} = 3 \text{ unidades} \quad (2.95)$$

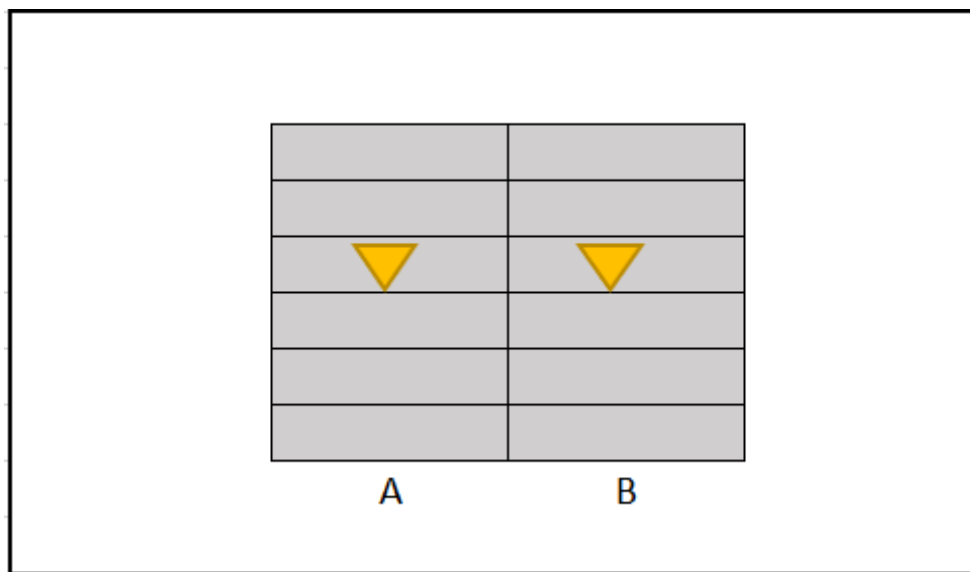
$$\text{Inventario medio}_B = \frac{6 \text{ u}}{2} = 3 \text{ unidades} \quad (2.96)$$

El tiempo que no agrega valor será igual al inventario medio que se muestra en las ecuaciones (2.95) y (2.96) para los productos A y B respectivamente sobre la demanda diaria que se muestra en la Tabla 2.11 Parámetros Máquina A. Todo esto se detalla en las siguientes ecuaciones.

$$Tiempo NAV_A = \frac{3 u}{6 \frac{u}{día}} = 0.5 \text{ Días} \quad (2.97)$$

$$Tiempo NAV_B = \frac{3 u}{6 \frac{u}{día}} = 0.5 \text{ Días} \quad (2.98)$$

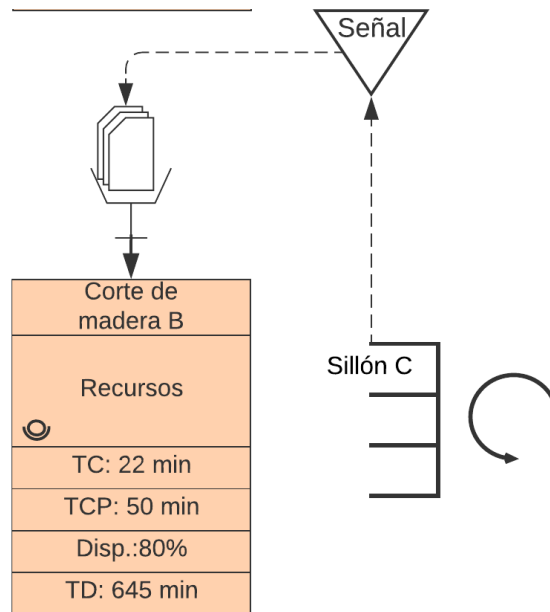
Por lo tanto, el Kanban de señal quedaría como se presenta en la Figura 2.14.



**Figura 2.14 Representación Kanban de Señal Máquina A [Elaboración propia]**

#### 2.3.6.2.2 Kanban de señal Máquina B

Posteriormente se muestra la ilustración del kanban de señal en la Figura 2.15.



**Figura 2.15 Kanban de señal Máquina B [Elaboración propia]**

El Kanban de señal para la máquina B, cuenta con la particularidad de que los sillones D, son producidos por medio de pedidos. Debido a esto el tiempo disponible de producción no se va a ver afectado por la disponibilidad del 90% sino que también por el tiempo que toma producir la demanda diaria del producto D.

$$T. \text{ disp. prod.} = (T. \text{ dispo. prod. total} - T. \text{ req. de prod.}_D) \times \text{Disponibilidad} \quad (2.99)$$

Para esto, se procede a calcular el tiempo requerido de producción para el sillón D con los datos mencionados en la Tabla 2.12 ya que este último no pasará por el Kanban de señal:

$$T. \text{ req. de prod.}_D = T. \text{ req. proceso} + T. \text{ Set up} \quad (2.100)$$

$$T. \text{ req. de prod.}_D = (4 (u) \times 22(\text{min})) + 50(\text{min}) = 138 (\text{min}) \quad (2.101)$$

Con este último dato, se procede a calcular el tiempo requerido de producción para el sillón C:

$$\begin{aligned} \text{Tiempo disp. producción}_c &= (645 \text{ min} - 138 \text{ min}) \times 0.9 \\ &= 456,3 \text{ minutos} \end{aligned} \quad (2.102)$$

El tiempo disponible para cambios, el número de cambios y el tamaño del lote se lo calcula de la misma manera que en la máquina A.

$$T \text{ disp. para cambios} = T. \text{ disp de producción} - T. \text{ req para producir} \quad (2.103)$$

$$T \text{ disp. para cambios} = 456,3 \text{ min} - 380 \text{ min} = 76 \text{ min} \quad (2.104)$$

$$\# \text{ de cambios disponibles} = \frac{T \text{ disp. para cambios}}{T \text{ req. para cambios}} \quad (2.105)$$

$$\# \text{ de cambios disponibles} = \frac{76 \frac{\text{min}}{\text{día}}}{50 \frac{\text{min}}{\text{cambio}}} = 1,52 \approx 1 \frac{\text{cambio}}{\text{día}} \quad (2.106)$$

Teniendo los números de cambios, se definieron los tamaños de los lotes según la fórmula (2.84).

$$\text{Lote}_c = \frac{19 \frac{u}{\text{día}}}{1 \frac{\text{cambio}}{\text{día}}} = 19 \text{ unidades} \quad (2.107)$$

En este caso también se tomó la decisión de tener lotes de una sola unidad por lo tanto las cajas totales quedan de la siguiente manera tomando en consideración la ecuación (2.87):

$$\text{Cajas totales}_c = \frac{19 \text{ unidades}}{1 \frac{\text{unidad}}{\text{caja}}} = 19 \text{ cajas} \quad (2.108)$$

En este caso el lead time de reposición estará definido por el tiempo de producción de la demanda del producto diaria del Sillón D más el tiempo que tomará cambiar al producto C y elaborar una caja de este.

$$\begin{aligned} \text{Lead time de reposición}_C &= (50 \text{ min} + (4 u \times 22 \text{ min})) + 50 \text{ min} + 20 \text{ min} \\ &= 208 \text{ minutos} \end{aligned} \quad (2.109)$$

Continuando con el tiempo que no agrega valor según el inventario medio, el cual está definido por el lote de producto D que se muestra en la ecuación (2.107) dividido para dos.

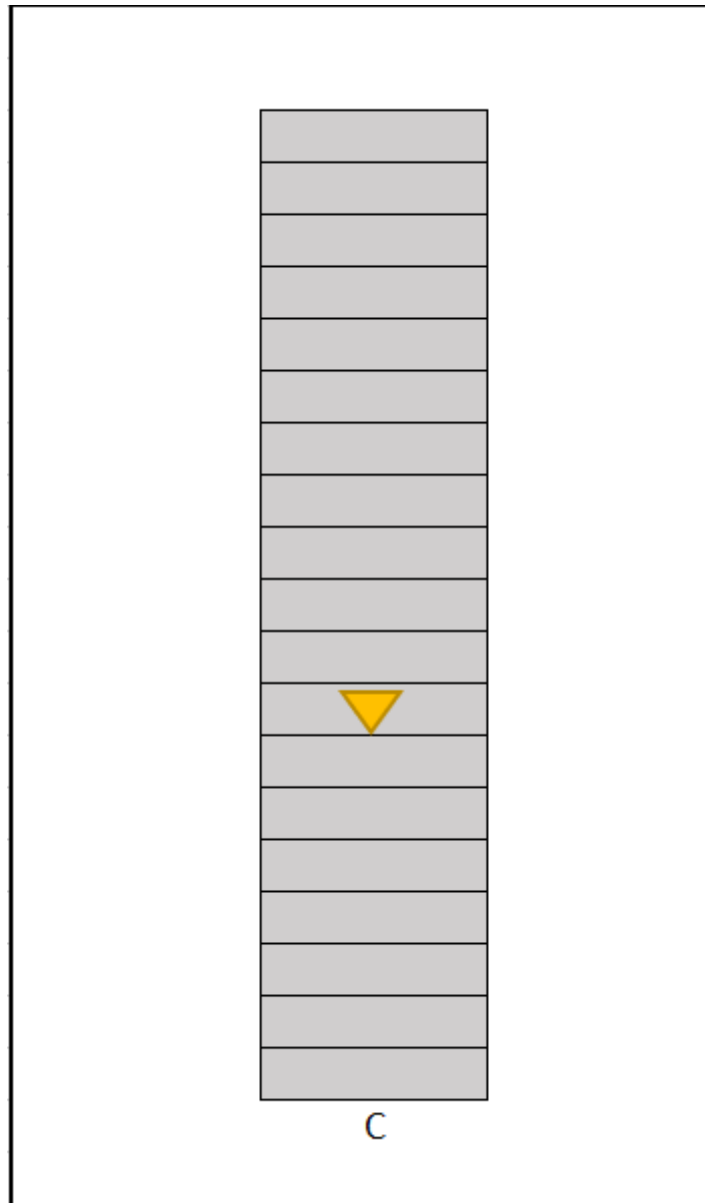
$$\text{Inventario medio}_C = \frac{19 u}{2} = 9.5 \approx 10 \text{ unidades} \quad (2.110)$$

Finalmente se dividió para la demanda diaria para obtener el tiempo que no agrega valor.

$$\text{Tiempo NAV}_C = \frac{9.5 u}{19 \frac{u}{\text{día}}} = 0.53 \text{ Dias} \quad (2.111)$$

Así mismo, se procede a mostrar la representación gráfica del Kanban de señal para el producto C en la Figura 2.16:

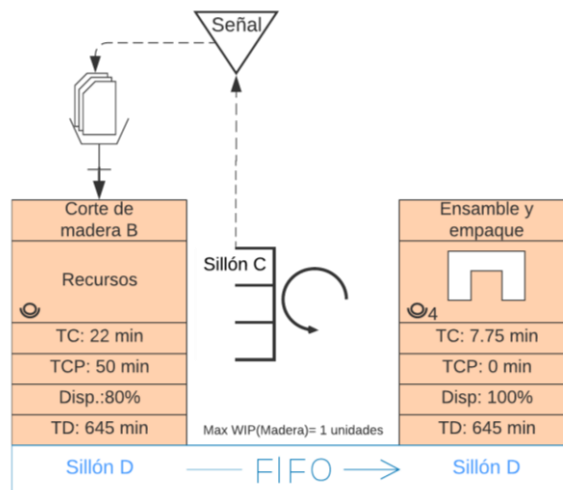




**Figura 2.16 Representación Kanban Señal Máquina B [Elaboración propia]**

#### 2.3.6.2.3 FIFO Lane producto D

Debido a que el sillón D se producirá bajo pedido, se dispuso de un FIFO Lane exclusivo para su flujo, el cual va a empezar desde la Máquina B tal como se muestra en la Figura 2.17:



**Figura 2.17 FIFO Lane producto D [Elaboración propia]**

Dadas las condiciones de que es un carril exclusivo y depende de la Máquina B de corte de madera y la célula Ensamble y empaque. El desarrollo del FIFO Lane va a ser equivalente a la sección 2.3.5.2.3, con la particularidad que en este caso se tomará en consideración el tiempo de set up de la máquina B debido a su alto tiempo de configuración (50 minutos). Dicho esto, a continuación, se presenta el resumen de los cálculos en la Tabla 2.17.

**Tabla 2.17 Parámetros FIFO Lane Sillón D [Elaboración propia]**

Parámetros	Valor	Unidad
WIP Max	3	u
TNAV	55.28	min
Productos	D	-

### 2.3.6.3 Kanban de suministro

El Kanban de suministro quedará de manera idéntica a la sección 2.3.5.3. A, continuación se adjunta el resumen de los parámetros para el kanban de suministro en la Tabla 2.18.

**Tabla 2.18 Parámetros kanban de suministro [Elaboración propia]**

Parámetros	Valor	Unidad
p	0.5	Semana
LTR	1	Semana
t	1	Semana

SS	1	Semana
# Kanbans A	8	Cajas
# Kanbans B	8	Cajas
# Kanbans C	47	Cajas
# Kanbans D	9	Cajas
Inv. Medio A	2	Caja
Inv. Medio B	2	Caja
Inv. Medio C	12	Cajas
Inv. Medio D	3	Cajas
Tiempo NAV (A)	0.5	Semana
Tiempo NAV (B)	0.5	Semana
Tiempo NAV (C)	0.51	Semana
Tiempo NAV (D)	0.88	Semana

#### 2.3.6.4 Resumen propuesta 2

La propuesta 2 para el sistema de control de la producción se resume de la siguiente manera según la Tabla 2.19.

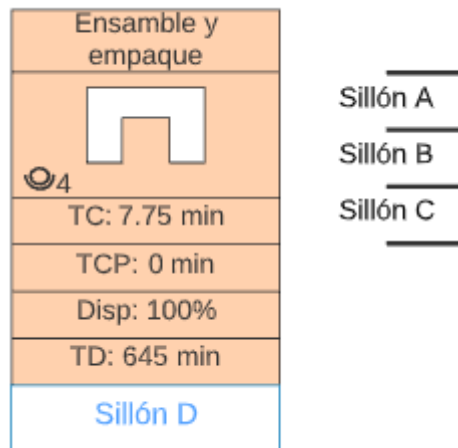
**Tabla 2.19 Resumen propuesta 2 [Elaboración propia]**

Propuesta 2			
Categoría	Proceso	Tiempos (min)	Tiempo (días)
NAV	Kanban suministro	6336.00	4.40
AV	Corte de Madera	22.00	0.02
NAV	Kanban de señal	792.00	0.55
AV	Ensamble y empaque	7.75	0.01
NAV	Kanban PT	127.72	0.09
Total AV		29.75	0.02
Total NAV		7255.72	5.04

### 2.3.7 Desarrollo Propuesta 3

#### 2.3.7.1 Loop 1

Para esta propuesta el Loop 1 será compuesto por la célula presentada a continuación en la Figura 2.18.



**Figura 2.18 Loop 1 Propuesta 3 [Elaboración propia]**

En el caso que se aplique un sistema Kanban de tarjetas para las estaciones de corte de madera; existirá un supermercado que amortiguará el desbalance entre los tiempos de procesos de corte de madera y ensamble y empaçado por lo tanto el LT a considerar será únicamente el tiempo que tarda la última estación mencionada. Para el cálculo del Kanban se seguirán los detalles de la ecuación (2.37).

Dicho esto, y con el objetivo de reducir el riesgo de desabastecimiento se decidió considerar el LT como el tiempo que se necesita para poder elaborar 1 kit de cada producto usando la fórmula a continuación:

$$LT = TP_A + TP_B + TP_C + TP_D \quad (2.112)$$

Teniendo en cuenta el TP de la estación de ensamble y empaçado que se menciona en la ecuación (2.14), se procede a calcula el LT:

$$LT = 7.75(\text{min}) + 7.75(\text{min}) + 7.75(\text{min}) + 7.75(\text{min}) = 31\text{min} \quad (2.113)$$

Este LT permite generar el número de Kanban por sillón usando la ecuación (2.37) como se presenta a continuación:

$$K_A = \frac{(31(\text{min}) + (31(\text{min}) \times 0,5)) \times 0,01 \left(\frac{u}{\text{min}}\right)}{1(u)} = 0,36 \approx 1 \text{ Cajas} \quad (2.114)$$

$$K_B = \frac{(127,72(\text{min}) + (127,72(\text{min}) \times 0,5)) \times 0,01 \left(\frac{u}{\text{min}}\right)}{1(u)} = 0,36 \approx 1 \text{ Cajas} \quad (2.115)$$

$$K_C = \frac{(127,72(\text{min}) + (127,72(\text{min}) \times 0,5)) \times 0,03 \left(\frac{u}{\text{min}}\right)}{1(u)} = 1,21 \approx 2 \text{ Cajas} \quad (2.116)$$

Así mismo, se procedió a calcular el inventario medio de dicho supermercado usando la ecuación (2.43).

$$Im_A = \frac{\left(\frac{31(\text{min})}{2} + (31(\text{min}) \times 0,5)\right) \times 0,01 \left(\frac{u}{\text{min}}\right)}{1(u)} = 0,24 \approx 1 \text{ Caja} \quad (2.117)$$

$$Im_B = \frac{\left(\frac{31(\text{min})}{2} + (31(\text{min}) \times 0,5)\right) \times 0,01 \left(\frac{u}{\text{min}}\right)}{1(u)} = 0,24 \approx 1 \text{ Caja} \quad (2.118)$$

$$Im_C = \frac{\left(\frac{31(\text{min})}{2} + (31(\text{min}) \times 0,5)\right) \times 0,03 \left(\frac{u}{\text{min}}\right)}{1(u)} = 0,81 \approx 1 \text{ Caja} \quad (2.119)$$

Por último, se procede a calcular el tiempo que no agrega valor de cada producto usando la ecuación (2.47) y los resultados se muestran a continuación:

$$\text{Tiempo NAV}_A = \frac{0,24(u)}{0,01 \left(\frac{u}{\text{min}}\right)} = 31 \text{ minutos} \quad (2.120)$$

$$\text{Tiempo NAV}_B = \frac{0,24(u)}{0,01 \left(\frac{u}{\text{min}}\right)} = 31 \text{ minutos} \quad (2.121)$$

$$\text{Tiempo NAV}_C = \frac{0,81(u)}{0,03 \left(\frac{u}{\text{min}}\right)} = 31 \text{ minutos} \quad (2.122)$$

### 2.3.7.2 Loop 2

En esta propuesta 2, el Loop 2 será conformado por las dos máquinas cortadora de madera y su desarrollo es idéntico que en el inciso Kanban producción Máquina A y Kanban de producción Máquina B.

A continuación, se presenta un resumen de los resultados obtenidos para la máquina A en la Tabla 2.20.

**Tabla 2.20 Resumen Kanban de producción Máquina A [Elaboración propia]**

Parámetros	Valor	Unidad
LT	179	min
# Kanban A	3	Cajas
# Kanban B	3	Cajas
Inv. Medio A	2	Caja
Inv. Medio B	2	Caja
Tiempo NAV (A)	261,82	min
Tiempo NAV (B)	261,82	min

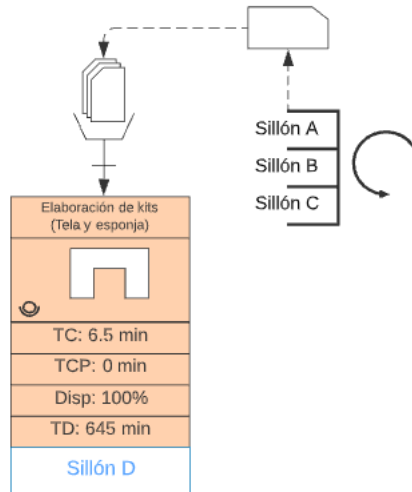
Así mismo, se presenta a continuación los resultados obtenidos para la máquina B en la Tabla 2.21.

**Tabla 2.21 Resumen Kanban de producción Máquina B [Elaboración propia]**

Parámetros	Valor	Unidad
LT	142	min
# Kanban C	6	Cajas
Inv. Medio C	4	Caja
Tiempo NAV (C)	153,85	min

### **2.3.7.3 Loop 3**

El Loop 3 en esta propuesta está compuesto por la célula Elaboración de Kits y el Kanban de producción correspondiente a dicho puesto de trabajo como se presenta a continuación en la Figura 2.19.



**Figura 2.19 Kanban de producción Elaboración de Kits [Elaboración propia]**

Se procede a calcular el LT de este proceso el cual se considera el caso en que la tarjeta deba esperar en cola el proceso de elaboración de una tarjeta de cada producto elaborado en la misma usando la ecuación a continuación:

$$LT_i = TP_A + TP_B + TP_C + TP_D \quad (2.123)$$

Donde:

TP<sub>i</sub>. – Son los tiempos de procesos requeridos por cada uno de los sillones.

$$LT_i = 6,5(\text{min}) + 6,5(\text{min}) + 6,5(\text{min}) + 6,5(\text{min}) = 26 \text{ min} \quad (2.124)$$

Teniendo el LT del proceso, se procede a calcular el número de tarjetas Kanban para cada uno de los sillones mencionados con la ecuación (2.37):

$$K_A = \frac{26(\text{min}) \times 0,01\left(\frac{u}{\text{min}}\right)}{1\left(\frac{u}{\text{lote}}\right)} = 0,29 \approx 1 \text{ kanban} \quad (2.125)$$

$$K_B = \frac{26(\text{min}) \times 0,01\left(\frac{u}{\text{min}}\right)}{1\left(\frac{u}{\text{lote}}\right)} = 0,29 \approx 1 \text{ kanban} \quad (2.126)$$

$$K_C = \frac{26(\text{min}) \times 0,03\left(\frac{u}{\text{min}}\right)}{1\left(\frac{u}{\text{lote}}\right)} = 1,01 \approx 2 \text{ kanban} \quad (2.127)$$

Para determinar el tiempo que no agregan valor, se determinó el inventario medio de cada uno de los Kits correspondiente usando la ecuación (2.43):

$$Im_A = \frac{\left(\frac{26}{2}\left(\frac{\text{min}}{\text{pieza}}\right) + (26\left(\frac{\text{min}}{\text{pieza}}\right) \times 0,5)\right) \times 0,01(\text{pieza})}{1} = 0,1986 \approx 1 \text{ Caja} \quad (2.128)$$

$$Im_B = \frac{\left(\frac{26}{2}\left(\frac{\text{min}}{\text{pieza}}\right) + (26\left(\frac{\text{min}}{\text{pieza}}\right) \times 0,5)\right) \times 0,01(\text{pieza})}{1} = 0,1986 \approx 1 \text{ Caja} \quad (2.129)$$

$$Im_C = \frac{\left(\frac{26}{2}\left(\frac{\text{min}}{\text{pieza}}\right) + (26\left(\frac{\text{min}}{\text{pieza}}\right) \times 0,5)\right) \times 0,03(\text{pieza})}{1} = 0,6753 \approx 1 \text{ Caja} \quad (2.130)$$

Teniendo el inventario medio que existirá en el supermercado, se calcula el tiempo que no agrega valor a continuación; tomando en cuenta el Takt Time de la demanda ya que esta definirá el ritmo a que los productos serán entregados a los procesos aguas abajo usando la ecuación (2.47).

Los tiempos que no agregan valor por cada producto se presenta a continuación:

$$\text{Tiempo NAV}_A = 1(\text{pieza}) \times 18,43\left(\frac{\text{min}}{\text{pieza}}\right) = 18,43 \text{ minutos} \quad (2.131)$$

$$\text{Tiempo NAV}_B = 1(\text{pieza}) \times 18,43\left(\frac{\text{min}}{\text{pieza}}\right) = 18,43 \text{ minutos} \quad (2.132)$$

$$\text{Tiempo NAV}_C = 1(\text{pieza}) \times 18,43\left(\frac{\text{min}}{\text{pieza}}\right) = 18,43 \text{ minutos} \quad (2.133)$$

Llegando a la conclusión que el tiempo que no agrega valor en el supermercado de Kits es de 18,43 minutos.



#### **2.3.7.4 Kanban de suministro**

El cálculo del Kanban de suministro es el mismo que se realizó en el capítulo 2.3.5.3 por lo tanto, a continuación, en la Tabla 2.18 Parámetros kanban de suministro se presenta un resumen de los resultados obtenidos.

#### **2.3.7.5 Resumen Propuesta 3**

A continuación, se presenta el resumen de todas las etapas del proceso según la propuesta 3 y los tiempos que agregan y no agregan valor:

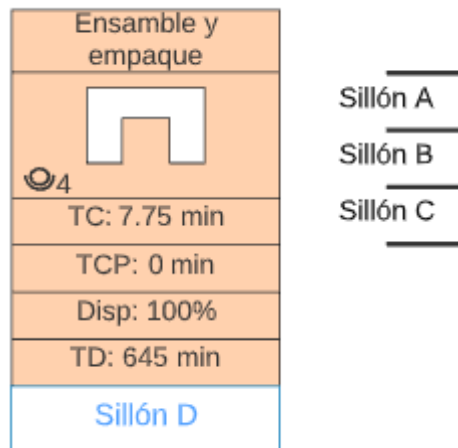
**Tabla 2.22 Resumen Propuesta 3 [Elaboración propia]**

Categoría	Proceso	Tiempos (min)	Tiempo (días)
NAV	Kanban suministro	6336,00	4,40
AV	Corte de Madera	22,00	0,02
NAV	Kanban producción	261,82	0,18
AV	Ensamble y empaque	7,75	0,01
NAV	Kanban PT	31,00	0,02
Total AV		29,75	0,02
Total NAV		6628,82	4,60

### **2.3.8 Desarrollo Propuesta 4**

#### **2.3.8.1 Loop 1**

El flujo del Loop 1 va a estar determinado de la siguiente manera.

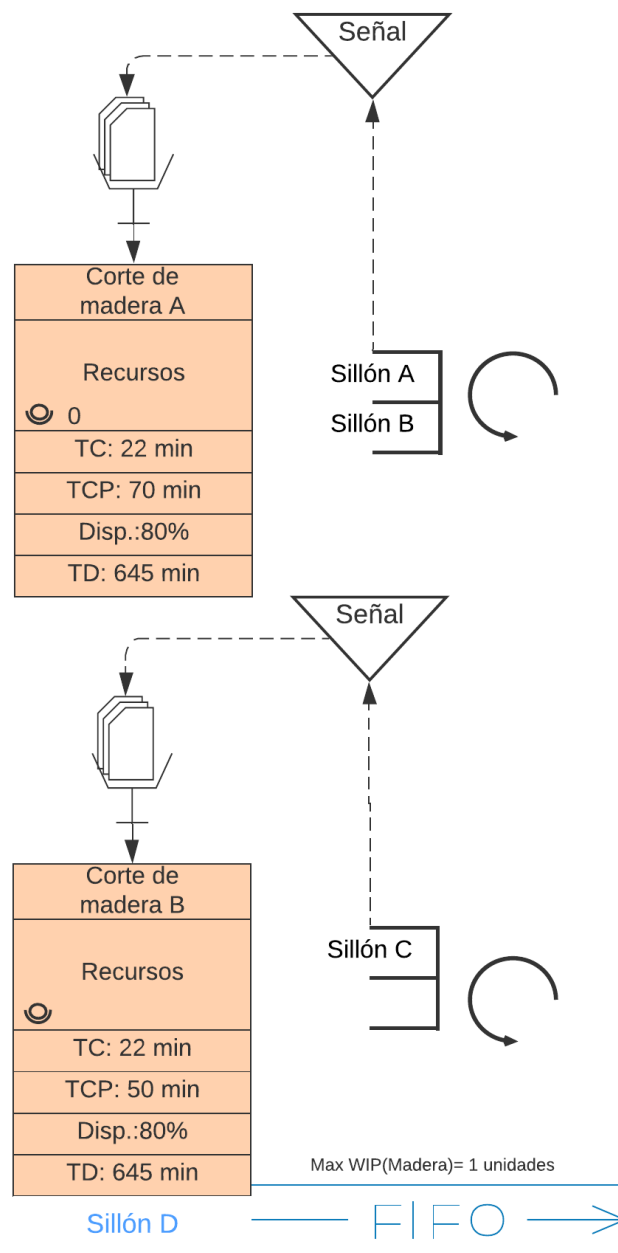


**Figura 2.20 Loop 1 Propuesta 4 [Elaboración propia]**

Tal como se muestra en la Figura 2.20 Loop 1 Propuesta 4, el Loop 1 de la propuesta cuatro será igual al Loop 1 de la Propuesta 3, debido a esto el desarrollo quedará tal como se muestra en la sección 2.3.7.1.

### **2.3.8.2 Loop 2**

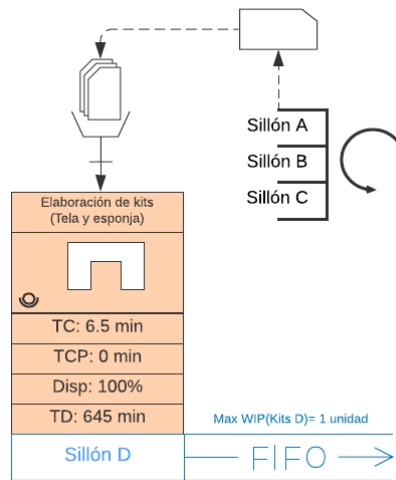
El flujo de Loop 2 para la propuesta 4 va a estar conformado por las dos máquinas cortadoras A y B, su flujo se muestra a detalle en la Figura 2.21.



**Figura 2.21 Loop 2 Propuesta 4 [Elaboración propia]**

De esta manera es evidente que es equivalente al Loop 2 de la propuesta 2, dicho esto los parámetros quedaron según lo establecido en la sección 2.3.6.2 como también la representación gráfica en la Figura 2.14 para la máquina A y la Figura 2.16 para la máquina B.

### 2.3.8.3 Loop 3



**Figura 2.22 Loop 3 Propuesta 4 [Elaboración propia]**

Es claro evidencia que la Figura 2.22 Loop 3 Propuesta 4 es semejante la Figura 2.22 Loop 3 de la propuesta 3, debido a esto la configuración quedara igual a la sección 0.

### 2.3.8.4 Kanban de suministro

Con respecto a los parámetros del kanban de suministro, esto siguen lo mismo de la sección 2.3.5.3, además en la Tabla 2.18 Parámetros kanban de suministro se encuentran descritos los parámetros de este.

### 2.3.8.5 Resumen Propuesta 4

A continuación, se muestra un resumen sobre la propuesta 4.

**Tabla 2.23 Resumen propuesta 4 [Elaboración propia]**

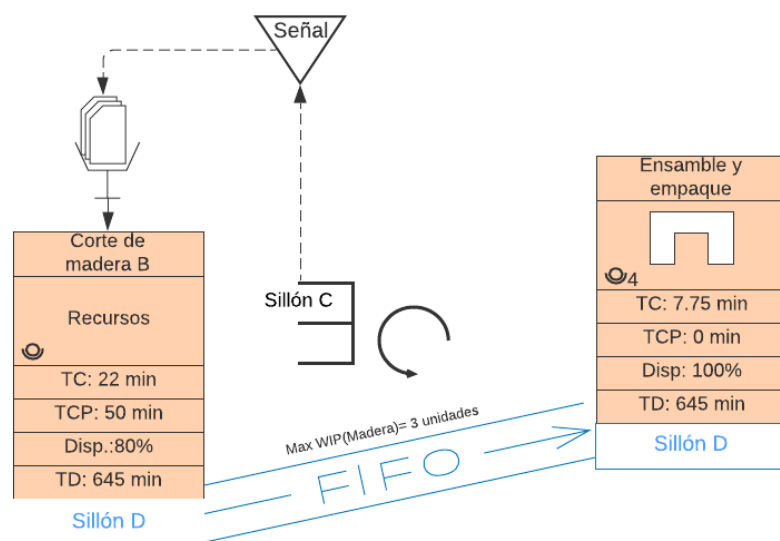
Propuesta 4			
Categoría	Proceso	Tiempos (min)	Tiempo (días)
NAV	Kanban suministro	6336.00	4.40
AV	Corte de Madera	22.00	0.02
NAV	Kanban de tarjeta	261.82	0.55
AV	Ensamble y empaque	7.75	0.01
NAV	Kanban PT	127.72	0.09
Total AV		29.75	0.02
Total NAV		6725.54	5.04

### 2.3.9 Validación tiempo de entrega Sillón D

Debido a que el producto de se realizará según lo comentado en la Sección Consideraciones elaboración Sillón D, se procedió a hacer la respectiva verificación que en el peor caso la demanda del producto D vaya a cumplir con el tiempo de entrega.

#### 2.3.9.1 Casos con kanban de Señal

En la Figura 2.23 se muestra la ruta que va a seguir el producto D para la Propuesta 2 y la Propuesta 4, las cuales contienen kanban de señal.



**Figura 2.23 Ruta Sillón D propuesta Kanban de señal [Elaboración propia]**

Tal como se muestra en la Figura 2.23 Ruta Sillón D propuesta Kanban de señal el producto D en el peor caso va a tener que esperar que se elabore el lote de 19 unidades para luego poder continuar con el flujo del producto D. Esta secuencia se muestra a detalle en la siguiente tabla.

**Tabla 2.24 Sucesión D Kanban de señal [Elaboración propia]**

Kanban de señal			
Secuencia	Producto	Cantidad (u)	Tiempo (min)
Corte de madera	C	19	380
FIFO Lane	D	1	18,43
Ensamble y empaque	D	1	7.75

Pieza 2	D	1	22
Pieza 3	D	1	22
Pieza 4	D	1	22
Total			472,18

Lo que nos explica la Tabla 2.25 es que en el peor caso tomará 472.18 minutos hacer la demanda diaria de producto D a contra pedido con lo cual queda suficiente tiempo para satisfacer lo ofrecido al cliente que son 15 días desde que genera su pedido.

### 2.3.9.2 Casos con Kanban de tarjeta

En la ilustración a continuación se muestra la ruta que va a seguir el producto D para la Propuesta 1 y la Propuesta 3, las cuales contienen Kanban de tarjeta.

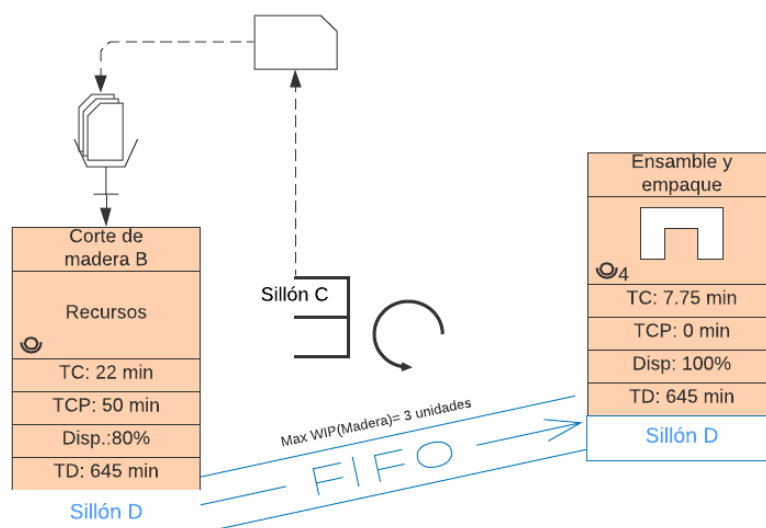


Figura 2.24 Ruta Sillón D propuesta Kanban de tarjetas [Elaboración propia]

En este caso se consideró la diferencia que va a tener que esperar 6 tarjetas por procesar en la peor situación, los detalles se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 2.25 Sucesión D Kanban de tarjeta [Elaboración propia]

Kanban de Tarjeta			
Secuencia	Producto	Cantidad	Tiempo (min)
Corte de madera	C	6	120
FIFO Lane	D	1	18,43
Ensamble y empaque	D	1	7.75
Pieza 2	D	1	22

Pieza 3	D	1	22
Pieza 4	D	1	22
Total			212,18

Con este resultado de 212,18 minutos de la Tabla 2.25 queda confirmado que en los casos con Kanban de señal también se va a poder cumplir con la demanda a contra pedido de D.

### 2.3.10 Secuenciación de la producción

El objetivo de la secuenciación es la de nivelar la producción y hacer que el sistema tenga una mejor respuesta con respecto a las variaciones que existan en la demanda. Para este cálculo se tomó en consideración los procesos de corte de madera ya que serán nuestra restricción debido a sus altos tiempos de cambios.

Debido a que los demás procesos no cuentan con tiempos de Set up y su Tiempo de ciclo está por debajo del Takt time va a ser irrelevante establecer una secuenciación ya que muy fácilmente pueden cumplir con las variaciones que existan.

#### 2.3.10.1 Secuenciación Sillón A y B

Se decidió nivelar la producción en función de la demanda diaria y EPEC del proceso corte de madera. Se empezó por definir la cantidad nivelada de cada producto, para lo cual se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Cantidad de Sillón } i = \text{EPEC Maq. A} \times d_i \quad \mathbf{2.134}$$

Donde:

- $d_i$ . - es la demanda promedio diaria para el Sillón i.
- i.- son los sillones A y B.
- EPEC Maq. A.- es el EPEC de la Máquina A el cual esta especificado en la ecuación.

El desarrollo de la para la cantidad de productos se muestra a continuación:

$$\text{Cantidad de Sillón A} = 0.4964 \text{ Días} \times 6 \frac{u}{\text{Días}} = 2.98 \approx 3 \text{ unidades} \quad \mathbf{(2.135)}$$

$$\text{Cantidad de Sillón B} = 0.4964 \text{ Días} \times 6 \frac{u}{\text{Días}} = 2.98 \approx 3 \text{ unidades} \quad (2.136)$$

### 2.3.10.2 Secuenciación Sillón C y D.

Para este caso se contó con la particularidad que los sillones D se hicieron bajo pedido, Debido a que se cuenta con un solo cambio para el Sillón C, ya tomando en cuenta el tiempo de cambio y de producción diario para el Sillón D.

Dicho esto, se tomó la decisión de que al principio del día se elaborará la demanda diaria de C en su totalidad, luego se realizarán un máximo de 4 unidades que corresponden a la demanda media diaria del Sillón D.

En sección Validación tiempo de entrega Sillón D se demuestra que se cumplirá con el tiempo de entrega prometido al cliente.

### 2.3.10.3 Tablero de secuenciación

En la Figura 2.25 que se muestra a continuación se muestra el tablero con la secuencia a seguir.

Figura 2.25 Tablero de secuenciación [Elaboración propia]

	LUNES				MARTES				MIÉRCOLES				JUEVES				VIERNES			
Sillón A	3			3	3			3	3			3	3			3	3			3
Sillón B		3				3				3				3				3		
Sillón C			17				17				17				17				17	
Sillón D				4				4				4				4				4

## 2.4 Construcción de los modelos

### 2.4.1 Configuraciones generales

Las propuestas van a contar con varias configuraciones generales, entre las cuales se consideran:

- La configuración de los pedidos.



- La secuenciación de la producción.
- La configuración de la célula de ensamble y empaque (Rabbit Chase).
- Supermercado de proveedores.

#### 2.4.1.1 Configuración de los pedidos

Los cuatro productos están representados por cajas, cada producto tiene un color respectivo, rojo para el sillón A, verde para el sillón B, azul para el sillón C y amarillo para el sillón D. Se estableció la demanda diaria total de lunes a viernes, la cual se va a distribuir según los porcentajes de cada producto tal como se muestra en la Figura 2.26:

Figura 2.26 Configuración demanda de los sillones [Elaboración propia]

Percent	Value
16.7	1
16.7	2
56.6	3
10	4

#### 2.4.1.2 Secuenciación de la producción

Para la elaboración de la secuenciación se estableció una cola para cada producto, y se utilizó la función Perform batching para que una vez cumpla el lote de la secuencia estas pasen a la cola del pacemaker. La representación gráfica de esto se muestra en la

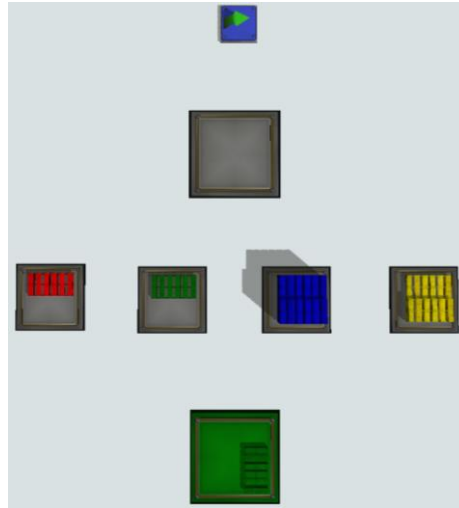


Figura 2.27 Layout secuenciación [Elaboración propia]

### 2.4.1.3 Célula de ensamble y empaque (*Rabbit Chase*)

El esquema para la célula de ensamble y empaque en el programa se muestra en la Figura 2.28 que se encuentra a continuación.

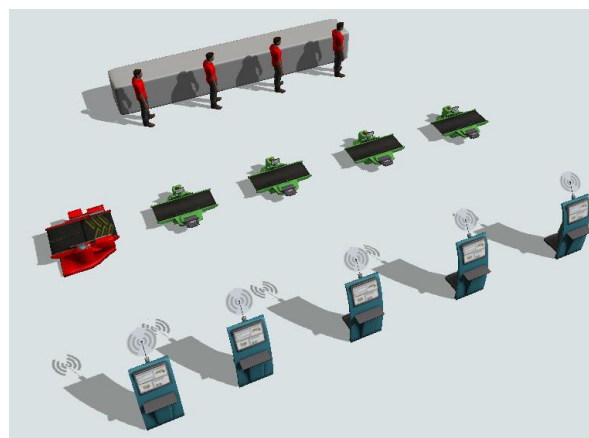
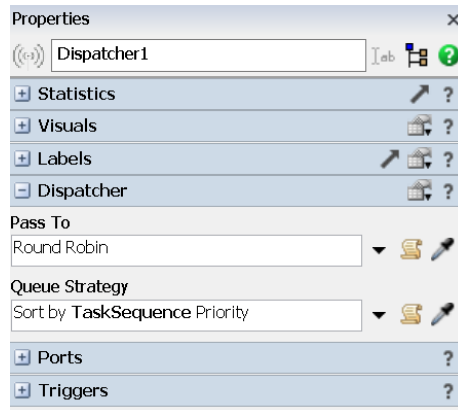


Figura 2.28 Layout Rabbit chase [Elaboración propia]

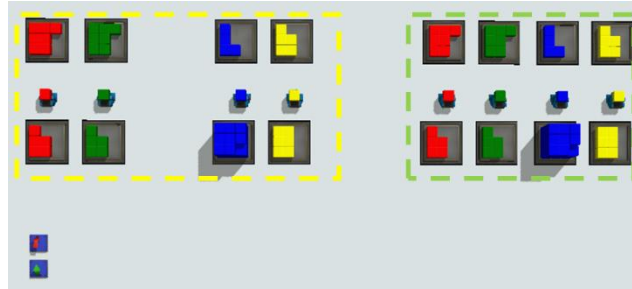
Para hacer que la estación tenga el comportamiento de una célula Rabbit Chase se utilizó un Dispatcher por cada estación, los cuales están conectado a los operadores y por medio de la función Round Robin van a cumplir con el comportamiento de una célula Rabbit chase. A continuación, se muestra la configuración de los Dispatcher en la Figura 2.29.



**Figura 2.29 Configuración dispatcher rabbit chase [Elaboración propia]**

#### **2.4.1.4 Supermercado de proveedores**

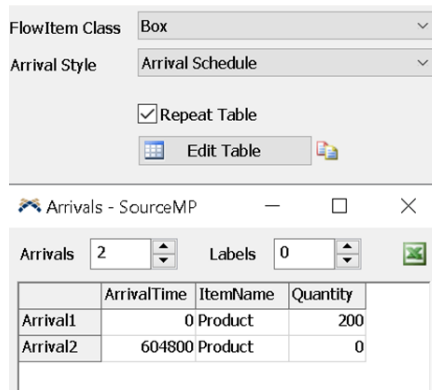
El supermercado de proveedores estará compuesto por una fuente y una de serie de Queue con un Separator el cual va a estar configurado dependiendo del número de unidades por tarjeta kanban, la representación de este se muestra en la Figura 2.30 a continuación.



**Figura 2.30 Layout supermercado de proveedores [Elaboración propia]**

La zona amarilla es para la materia prima de madera, y la zona verde son las cajas que contienen la materia prima de tela y esponja. El primer Queue contiene las cajas de productos, el Separator divide las cajas según las unidades que contienen cada kanban.

Según lo estipulado en kanban de proveedores, el stock va a ser llenado cada semana, para esto se utilizó el Source que se muestra en la imagen. La configuración de este se muestra en la imagen continua.

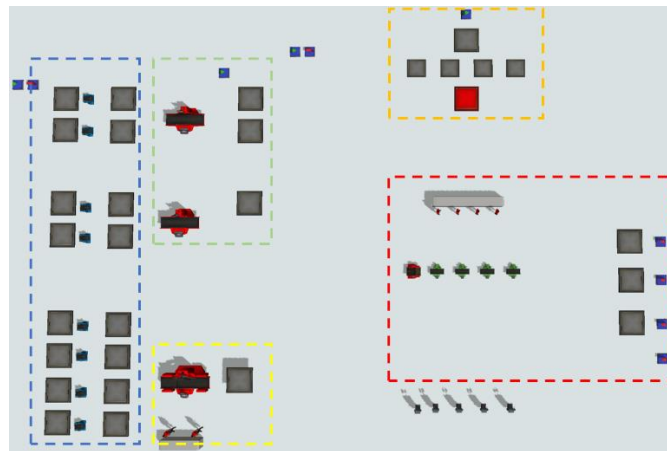


**Figura 2.31 Configuración arribos de materia prima [Elaboración propia]**

## 2.4.2 Modificaciones propuesta 1

### 2.4.2.1 Layout propuesta 1

En la imagen continua se muestran el layout de la propuesta 1 mediante su representación en Flexsim.



**Figura 2.32 Layout Propuesta 1 [Elaboración propia]**

La zona azul contará con los supermercados para el kanban de proveedores, la zona verde contiene las máquinas de corte de madera A y B con sus respectivos supermercados los cuales siguen un kanban de producción, la zona amarilla es la célula de elaboración de kits con su respectivo FIFO lane para todos los productos, la zona naranja es la secuenciación, y para finalizar la zona roja contiene la célula de ensamble y empaque con su respectivo supermercado de producto terminado.

### 2.4.2.2 Supermercado de producto terminado

En la siguiente imagen se muestra la representación en el programa de los inventarios de producto terminado:

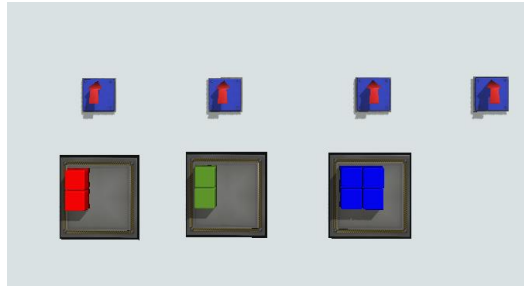


Figura 2.33 Representación Supermercado PT P1 [Elaboración propia]

Para cada uno de los Queue del supermercado se definió el Max content según el tamaño del kanban de producción. Además de eso cada 5 segundos va a estar recibiendo un mensaje para revisar el estado de los pedidos y en caso de que deba despachar alguno procederá a abrir el puerto para soltar el pedido al Sink. En el caso del producto D como es elaborado bajo pedido directamente pasaran al Sink. El código utilizado se muestra a continuación.

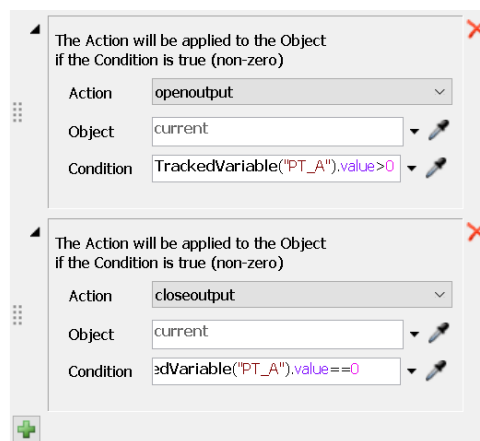
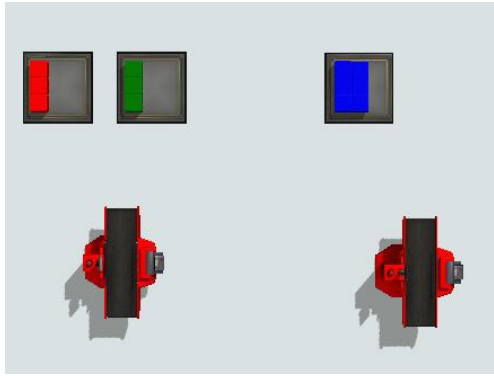


Figura 2.34 Configuración Supermercado PT [Elaboración propia]

### 2.4.2.3 Corte de madera

La estación de corte de madera contiene tanto a las dos máquinas cortadoras como a los supermercados de producto en proceso que en este caso siguen un kanban de producción, la gráfica continua muestra como se ve la estación en software.



**Figura 2.35 Corte de madera P1 [Elaboración propia]**

Para hacer que el proceso se comporte en función del kanban de producción se establecieron dos ajustes principales, el primero es el nivel máximo de inventario el cual representara el número de tarjetas kanban y el segundo son los Triggers que se encargaran de hacer que el Queue habrá y cierre puertos según se vayan consumiendo los productos, tal como en el Kanban de producción. El código de los Triggers se muestra en la imagen a continuación:

```
Code Snippet
if(content(current)<=2 && content(current.inObjects[1])<
  openinput(current.inObjects[1]);
  openoutput(current.centerObjects[2]);
}
if(content(current)==3){
  closeoutput(current.centerObjects[2]);
}
```

**Figura 2.36 Trigger Corte de madera [Elaboración propia]**

#### **2.4.2.4 Elaboración de kits**

El proceso de elaboración de kits va a ser representado por medio de un Multiprocessor debido a que este ayuda representar el comportamiento de la célula, también contará con un FIFO lane compartido para todos los productos. La representación en el software se muestra en la Figura 2.37.



Figura 2.37 Elaboración de kits P1 [Elaboración propia]

Para la representación del FIFO lane se utilizó un Queue y en el Max content se colocó la capacidad máxima del FIFO lane.

## 2.4.3 Modificaciones propuesta 2

### 2.4.3.1 Corte de madera propuesta 2

La representación gráfica de la estación corte de madera es la misma mencionada en la Figura 2.35; sin embargo, su configuración es distinta debido a que en esta propuesta se optó por trabajar con un Kanban triangular.

Para esto, se configuró la cantidad máxima de inventario permitido en cada Buffer según los cálculos desarrollados en la sección 2.3.6.2.1 y 2.3.6.2.2 para la máquina A y B respectivamente. Por otro lado, se configuraron los puntos de reorden para cada producto como se muestra en la Figura 2.38 a continuación:

```
Code Snippet
if(content(current)<=4 && content(current.inObjects[1])<1)
  openinput(current.inObjects[1]);
  openoutput(current.centerObjects[2]);
}

if(content(current)==6){
  closeoutput(current.centerObjects[2]);
}
```

Figura 2.38 Configuración Kanban triangular propuesta 2 [Elaboración propia]

Como se aprecia en la figura, existen dos condiciones que el modelo está constantemente evaluando: la primera es el punto de reorden y la segunda es la capacidad máxima del Buffer.

Para el punto de reorden en el caso mencionado se observa que es igual a 4 unidades; cuando el Buffer tenga 4 o menos unidades, abrirá sus puertos con el fin de solicitar reabastecimiento. Lo mencionado anterior es la principal diferencia en comparación con el kanban de producción, debido a que en el código hay que establecer una línea de abrir puertos según el punto de reorden y otra para cerrar puertos cuando se llegue al inventario máximo, tal como se muestra en la Figura 2.38.

## 2.4.4 Modificaciones propuesta 3

### 2.4.4.1 Kanban de producción elaboración de kits propuesta 3

Para la propuesta 3 se realizó una representación distinta especialmente en la sección Elaboración de Kits debido a que se implementó un Kanban de producción.

La representación de dicha propuesta se presenta en la Figura 2.39.

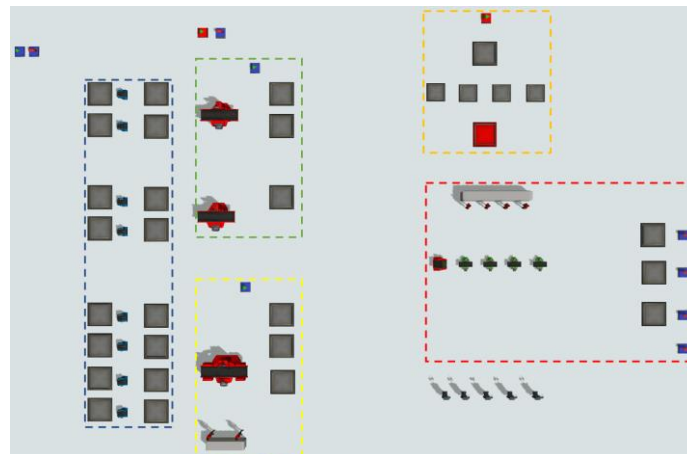
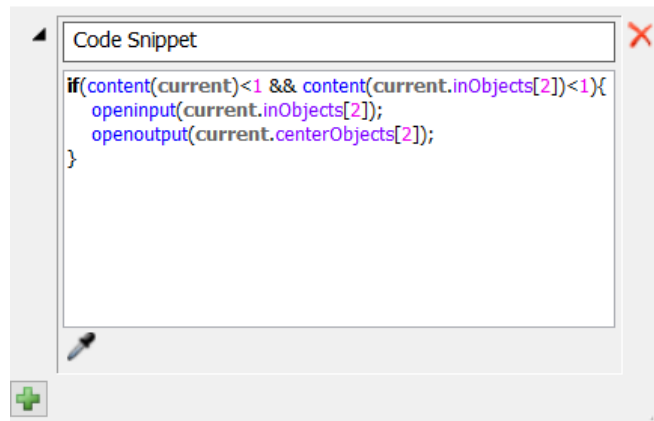


Figura 2.39 Layout propuesta 3 [Elaboración propia]

Como se aprecia en la figura adjunta, el proceso de elaboración de kits se le agregaron 3 buffer que representan los supermercados correspondientes al Kanban de producción.

La configuración de esta estación se presenta en la Figura 2.40:





```
Code Snippet
if(content(current)<1 && content(current.inObjects[2])<1){
  openinput(current.inObjects[2]);
  openoutput(current.centerObjects[2]);
}
```

Figura 2.40 Configuración Kanban de producción [Elaboración propia]

## 2.4.5 Modificaciones propuesta 4

### 2.4.5.1 Layout propuesta 4

Para la propuesta 4 se utilizó el mismo layout mostrado en la Figura 2.39 sin embargo, para la estación de corte de madera se utilizó un Kanban triangular mientras que para la estación de elaboración de kits.

### 2.4.5.2 Kanban triangular corte de madera propuesta 4

La configuración realizada en el Kanban triangular es la misma desarrollada en la Figura 2.38 debido a que esta última propuesta es una combinación de las configuraciones previamente mencionadas.

### 2.4.5.3 Kanban de producción elaboración de kits propuesta 4

Para esta sección se utilizó la configuración mostrada en la Figura 2.40 donde se aprecia las unidades de Kanban utilizadas en la simulación.

# CAPÍTULO 3

## 3 RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1 Evaluación de las propuestas

La principal dubitación o restricción para utilizar este tipo de sistemas es la incertidumbre con respecto al cumplimiento de la demanda y el servicio que se le ofrece al cliente, debido a esto se decidió utilizar los indicadores que se muestran en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1 Indicadores de desempeño [Elaboración propia]**

Indicador	Unidad	Objetivo	Descripción
Tiempo de entrega máximo	Horas	$\leq 360$	Tiempo máximo desde que llego el pedido hasta que se entregó el producto al cliente
Nivel de servicio	%	100	El porcentaje de pedidos que fueron entregados a tiempo
Órdenes insatisfechas	Unidades	0	Número de pedidos que no se lograron entregar dentro del tiempo máximo

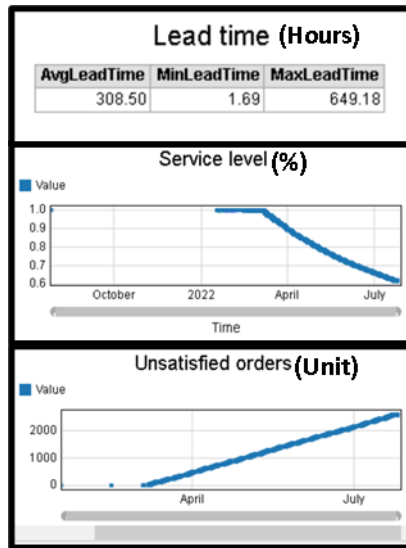
#### 3.1.1 Análisis técnico

Teniendo los indicadores y los objetivos que se deben de cumplir para cada uno de ellos, se procedió con un análisis técnico para cada una de las propuestas de tal manera que se pueda comprobar el rendimiento de cada una de ellas.

Todas las propuestas se corrieron por 1 año tomando en cuenta los indicadores mencionados en la Tabla 3.1, las propuestas que no cumplieron con las metas establecidas fueron rechazadas y no pasaran a la siguiente etapa.

##### 3.1.1.1 Análisis Propuesta 1

Los resultados de la propuesta 1 se muestran en la Figura 3.1.

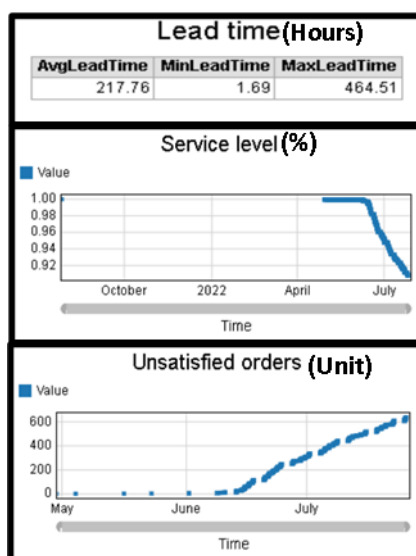


**Figura 3.1 Resultados simulación propuesta 1 [Elaboración propia]**

Tal como se puede ver en la Figura 3.1, la propuesta 1 cuenta con un tiempo máximo de entrega de 649.18 horas, con respecto al nivel de servicio se puede apreciar como en los últimos meses el porcentaje empieza a bajar hasta llegar a 62%, lo cual se ve reflejado en el número de órdenes insatisfechas, terminan en 2595 unidades entregadas fuera de tiempo. Debido a todo esto la propuesta es rechazada y no pasa a la siguiente etapa.

### 3.1.1.2 Análisis Propuesta 2

A continuación, se muestra el Dashboard de la propuesta dos según la Figura 3.2.

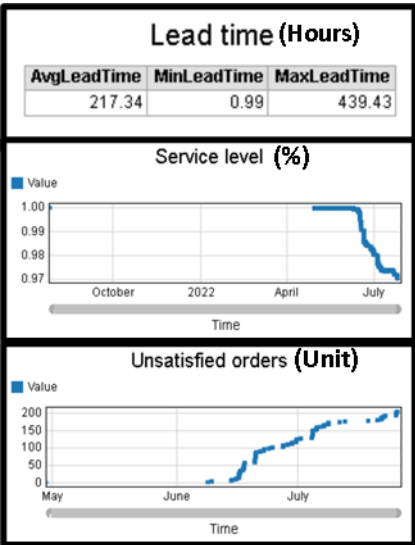


**Figura 3.2 Resultados simulación propuesta 2 [Elaboración propia]**

Como se puede apreciar en el primer recuadro el tiempo máximo de entrega en de la propuesta 2 es de 464.51 horas, el tiempo de servicio final fue del 91% y finalmente las órdenes insatisfechas fueron 638 unidades. Debido a que la propuesta no cumplió con los objetivos establecidos se rechazó la propuesta y no pasó a la siguiente etapa.

**3.1.1.3 Análisis Propuesta 3**

Continuando con el dashboard de indicadores para la tercera propuesta como se muestra en la Figura 3.3.

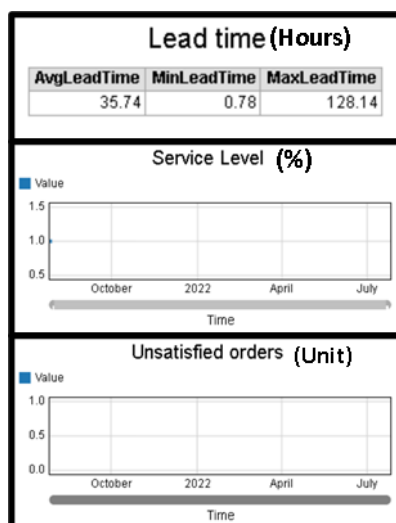


**Figura 3.3 Resultados simulación propuesta 4 [Elaboración propia]**

En el caso de la propuesta 3 el tiempo máximo de entrega es de 439.43, el nivel de servicio es del 0.997% y el número de órdenes insatisfechas es de 21 unidades, aunque los valores son mejores en comparación con la propuesta 1 y 2, se sigue sin cumplir la meta establecida, por lo tanto, se rechazó la propuesta y no se tomó en consideración para la siguiente etapa.

**3.1.1.4 Análisis Propuesta 4**

Finalmente se muestran los resultados de la propuesta cuatro en la Figura 3.4.



**Figura 3.4 Resultados simulación propuesta 4 [Elaboración propia]**

Como se muestra en la Figura 3.4 el tiempo máximo de entrega es de 128.14 horas, muy por debajo del límite superior establecido. El nivel de servicio es del 100% lo que se puede ver reflejado en el número de órdenes insatisfechas que es 0 unidades. Sin duda alguna es la mejor propuesta entre todas y cumple con todos los objetivos establecidos.

### 3.1.2 Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad se realizó solo con la propuesta 4 debido a que fue la única propuesta que cumplió con los requisitos y objetivos establecidos. Se tomaron en consideración los siguientes indicadores para el análisis de sensibilidad.

**Tabla 3.2 Indicadores análisis de sensibilidad [Elaboración propia]**

Indicador	Objetivo	Unidad
Nivel de servicio	100	Horas
Tiempo de entrega máximo	<360	%
Agotamiento de materia prima	No	Existencia

Entre los indicadores a considerar estuvo el nivel de servicio y el tiempo de entrega máximo debido a que son los que directamente van a decir si se cumplió o no con los requisitos del cliente, sin embargo también se consideró el agotamiento de materia prima, esto debe a que se redujo considerablemente el inventario de materia prima.

En la Figura 3.5, se muestra los resultados del análisis de sensibilidad tomando en consideración los siguientes aspectos: Variación de la demanda, Variación de los tiempos de proceso y Variación de tiempo de fallo.

Análisis de sensibilidad			
Aspectos	Mejor Caso	Caso normal	Peor Caso
Variación de la demanda	10% Incremento	Sin variación	10% Disminución
	Nivel de servicio = 100% Tiem. Max. Entrega = 172.45 h Agotamiento MP = No	Nivel de servicio = 100% Tiem. Max. Entrega = 128.14 h Agotamiento MP = No	Nivel de servicio = 100% Tiem. Max. Entrega = 138.75 h Agotamiento MP = No
Variación del tiempo de proceso	CV = 0	CV = 0.2	CV = 1
	Nivel de servicio = 100% Tiem. Max. Entrega = 128.7 h Agotamiento MP = No	Nivel de servicio = 100% Tiem. Max. Entrega = 128.14 h Agotamiento MP = No	Nivel de servicio = 100% Tiem. Max. Entrega = 172.54 H Agotamiento MP = No
Variación del tiempo de fallas	M/C (A)= 0% M/C (B)= 0%	M/C (A)= 20% M/C (B)= 10%	M/C (A)= 30% M/C (B)= 20%
	Nivel de servicio = 100% Tiem. Max. Entrega = 128.14 h Agotamiento MP = No	Nivel de servicio = 100% Tiem. Max. Entrega = 128.14 h Agotamiento MP = No	Nivel de servicio = 100% Tiem. Max. Entrega = 172.65 Agotamiento MP = No

**Figura 3.5 Resultados análisis de sensibilidad [Elaboración propia]**

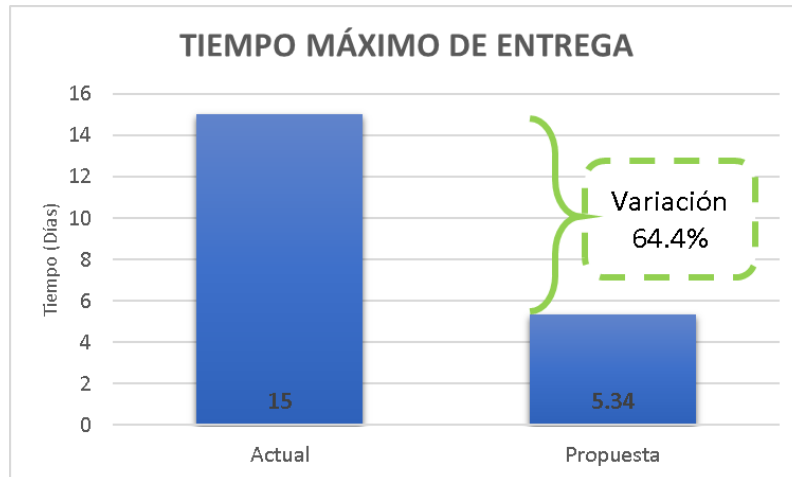
Como se muestra en el análisis de sensibilidad, en todos los posibles casos la simulación va a cumplir con los requerimiento y objetivos establecidos.

### 3.2 Resultados generados con la simulación del modelo

Luego de correr la simulación por un año se obtuvieron los siguientes resultados en comparación con los valores del caso de estudio.

#### 3.2.1 Tiempo de entrega máximo

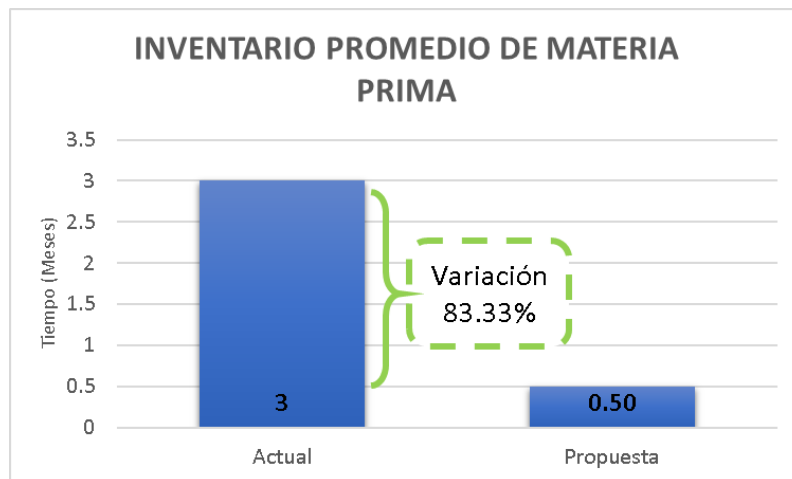
Uno de los principales indicadores para el éxito del modelo es el tiempo de entrega máximo, el cual no debe pasar del actual el cual es de 15 días, la gráfica comparativa del tiempo actual contra el propuesto se muestra a continuación.



**Figura 3.6 Reducción tiempo máximo de entrega [Elaboración propia]**

### 3.2.2 Inventario de materia prima

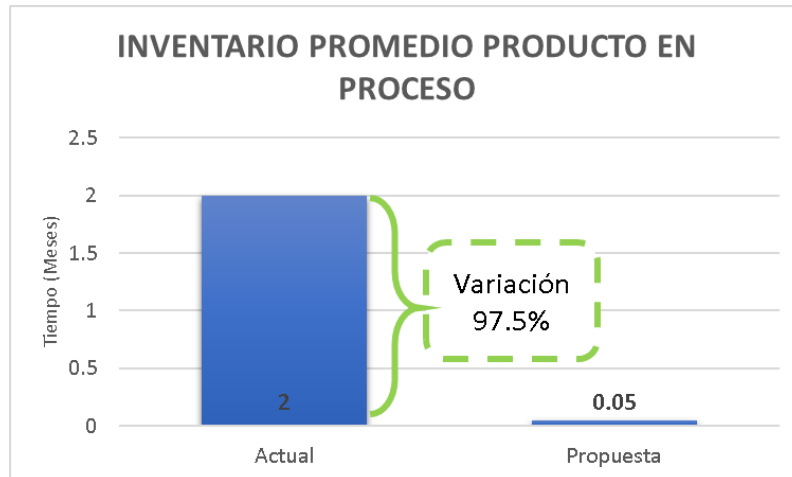
En la Figura 3.7 se muestra la comparativa entre el inventario de materia prima actual y el propuesto, con una disminución del 83.33% con lo que respecta al inventario de materia prima.



**Figura 3.7 Reducción tiempo promedio de materia prima [Elaboración propia]**

### 3.2.3 Inventario de producto en proceso

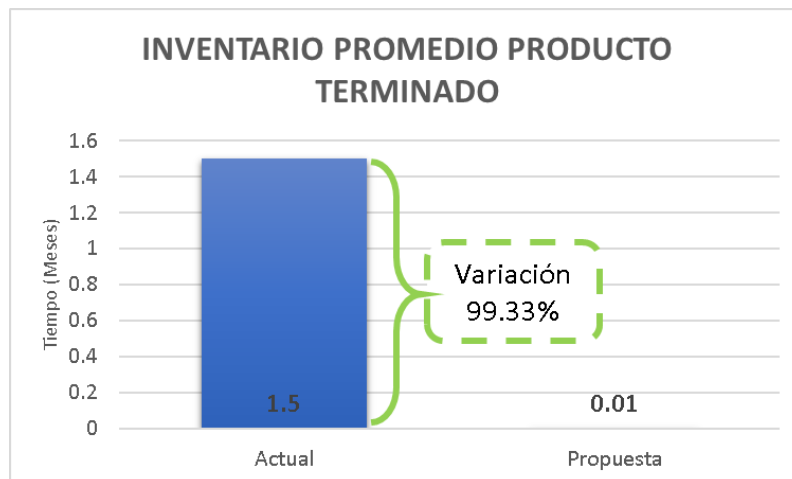
Con lo que respecta al inventario de producto en proceso, hubo una reducción del 97.5%, esto se ve reflejado en la Figura 3.8. Cabe recalcar que la diferencia es entre el estado actual del caso de estudio en comparación con la simulación de la propuesta.



**Figura 3.8 Reducción tiempo promedio de WIP [Elaboración propia]**

### 3.2.4 Inventario de producto terminado

El Inventario de producto terminado es el indicador que cuenta con un mayor porcentaje de reducción, con un valor del 99.33%, a continuación, se muestra la representación gráfica de este resultado en la Figura 3.9.



**Figura 3.9 Reducción de inventario de producto terminado [Elaboración propia]**

### 3.3 Resultados Focus Group

Con el fin de evaluar la capacidad didáctica del manual elaborado, se decidió crear un focus group con estudiantes de la materia de sistemas de control de producción además de ex estudiantes de la misma disciplina. Se adjuntan capturas del Focus Group en el apéndice A.4 CAPTURAS FOCUS GROUP.



Los resultados se muestran en la Tabla 3.3.

**Tabla 3.3 Participantes del Focus Group [Elaboración propia]**

Número de participantes	19
Número estudiantes cursando la materia	6
Número estudiantes que ya vieron la materia	7
Indefinido	6

Como se aprecia en la Tabla 3.3, el aforo de los participantes se repartió equitativamente entre estudiantes que están cursando la materia y ex-estudiantes; de esta manera se pudo tener varios criterios repartidos entre dos puntos de vista de interés para el estudio. Al final de la reunión se solicitó a los participantes llenar una encuesta con el fin de conocer sus opiniones.

### **3.3.1 Calificación del manual**

Los resultados obtenidos del forms se presentan en la Tabla 3.4.

**Tabla 3.4 Calificación del manual [Elaboración propia]**

Número de Estudiantes	Calificación	Calificación promedio
9	5	4.69
4	4	

Como se aprecia en la Tabla 3.4, los participantes quedaron considerablemente satisfechos con el manual presentado; dándole a este último una calificación de 4.69 sobre 5.

### **3.3.2 Calificación de la exposición**

Por otro lado, se solicitó evaluar la exposición del focus group con el fin de evaluar la calidad de la simulación y de la presentación realizada y los resultados se presentan a continuación:

**Tabla 3.5 Calificación de la exposición [Elaboración propia]**

Número de Estudiantes	Calificación	Calificación promedio
10	5	4,77
3	4	

La calificación de la exposición, al igual que el manual, recibió una gran aceptación por parte de los participantes como se aprecia en la Tabla 3.5; teniendo una calificación de 4.77 sobre 5.

### **3.3.3 Retroalimentación del focus group**

Por último, las principales sugerencias obtenidas del forms se presentan a continuación:

- Poner nombre de las células en el floor de la simulación.
- Delimitar las zonas en la simulación para visualizar que máquinas o células indica el manual.

Estas sugerencias fueron receptadas por el equipo de trabajo y se actualizó la simulación con las consideraciones mencionadas.

# CAPÍTULO 4

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

El mencionado trabajo de titulación tenía la intención de desarrollar un modelo simulado de un sistema de producción Pull con el objetivo de ayudar a los estudiantes de Ingeniería industrial en ESPOL a entender la importancia y eficacia de utilizar herramientas lean orientados a la producción Pull durante el proceso productivo. Debido a esto se obtuvo los siguientes resultados:

- La propuesta optima logró cumplir con todas las restricciones de tiempos, niveles de inventario y presupuesto teórico debido a sus considerables reducciones de tiempos en el proceso.
- Se mejoró la fluidez del proceso y la reducción del inventario de producto en proceso debido a la unión de diferentes estaciones de trabajo.
- El tiempo de entrega promedio se redujo a un 64.40% con respecto a su tiempo inicial debido a la optimización del flujo.
- Se redujo la cantidad de inventario de materia prima y producto en proceso a un 83.33% y 97.50% respectivamente.
- La secuenciación del modelo permitió optimizar el tiempo de producción considerando la demanda de los clientes y los varios tiempos de producción debido a la producción ordenada que dicha herramienta generó.
- El focus group demostró que la muestra de estudiantes obtenida y a los cuales se les presentó el manual, quedaron satisfechos con el mismo; gracias a su utilidad y comprensión.
- El manual de uso junto a la simulación permitió comprender mejor a los estudiantes los beneficios de los sistemas pull según los resultados obtenidos por la encuesta de retroalimentación.

## 4.2 Recomendaciones

- Utilizar otras herramientas Lean como un tablero Kanban con el fin de demostrar su impacto en el proceso de producción.
- Desarrollar las simulaciones con un equipo de estudiante para que puedan guiar el proceso de modelado con sus dudas.
- Establecer un manual de configuración que permita construir varios procesos similares.

# BIBLIOGRAFÍA

- James C. Vatalaro, R. E. (2003). *Implementing a mixed model Kanban System*. New York: Productivity Press.
- Joachim Linck, D. S. (1999). The importance of takt time in manufacturing System Design. *International Automotive Manufacturing*, (pág. 6). Detroit, Michigan.
- Madariaga, F. (2020). *Lean Manufacturing*.
- Malcolm Beaverstock, A. G. (2011). *Applied Simulation: Modeling and Analysis Using FlexSim*.
- Nichilas, J. (2018). *Lean Production for Competitive Advantage*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Silva, D. d. (2021). Voice of the customer: la clave oro para tu exito y el del cliente. *Zendesk*, 5.
- Soleimannejed, F. (2004). *Six Sigma Basic Steps & Implementation*.
- Thomsett, M. C. (2005). *Getting started in Six Sigma*. John Wiley & Sons, Inc.

# APÉNDICES

## APÉNDICE A

### A.1 PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN ACTUAL

En la Tabla A.0.1 Parámetros de producción se muestran las principales referencias de como se están desarrollando las operaciones en el caso de estudio.

**Tabla A.0.1 Parámetros de producción [Elaboración propia]**

Descripción	Datos
Número de operadores	7 personas
Número de turnos	1 turno
Tiempo por turno	12 horas/día
Días de trabajo	5 días/semana
Pausas programadas	75 min/día
Tiempo disponible de producción	645 min/día

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla A.0.2 Demanda por producto se muestran la demanda promedio de cada sillón con sus respectivas variaciones.

**Tabla A.0.2 Demanda por producto [Elaboración propia]**

Sillón	Demanda mensual	Variación
Sillón A	100	±10%
Sillón B	100	±10
Sillón C	340	±10%

Sillón D	60	±10%
----------	----	------

## A.2 PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN ACTUAL

En la Tabla A.0.1 Plan de recolección de datos se adjunta el plan de recolección de datos para cada uno de los procesos del caso de estudio.

**Tabla A.0.1 Plan de recolección de datos [Elaboración propia]**

		¿Que?		¿Dónde?		¿Cuándo?		¿Cómo?		¿Por qué?	¿Quién?
#	Proceso	Tipo de factor	unidad	Tipo de variable	Donde se guardará	Cuando fue recolectado	Como fue recolectado	Método de colección	Uso futuro	Responsables	
1	Dibujo de líneas	Proceso	Minutos	Cuantitativa / Continua	Base de datos Excel	23/6/2021	Mediante cálculos estadísticos	Método de la transformada de la inversa	Será usado para comparar el actual estado del sistema con el sistema a futuro usando las diferentes herramientas pull.	Alberto Mosquera & Geovanny Maruri	
2	Transporte al área de corte										
3	Corte de Tela										
5	Corrección de imperfecciones										
5	Empaquetado y codificación										
6	Corte de Madera										
7 Ensamble											

7.1	Armado del Armazón	Proceso	Minutos	Cuantitativa / Continua	Base de datos Excel	23/6/2021	Mediante cálculos estadísticos	Método de la transformada de la inversa	Será usado para comparar el actual estado del sistema con el sistema a futuro usando las diferentes herramientas pull.	Alberto Mosquera & Geovanny Maruri
7.2	Transporte 1									
7.3	Fijación de accesorios									
7.4	Colocación de la esponja									
7.5	Transporte 2									
7.6	Ubicación de la tela									
7.7	Transporte 3									
8	Empaquetado									

**Tabla A.0.2 Datos de los procesos [Elaboración propia]**

Proceso	Tiempo promedio de proceso (min)		Tiempo de Set Up (min)	Disponibilidad	Coeficiente de variación
	Tela	Esponja			
1. Dibujo de líneas	Tela	3	0	100%	0,2
	Esponja	2			
2. Transporte al área de corte	Tela	0,75			
	Esponja	0,75			
3. Corte de tela	Tela	0,83	3		0
	Esponja	0,83			
	Tela	1,5	0	0,2	



4. Corrección de imperfecciones	Esponja	1			
5. Empaque y codificación	Tela	1			
	Esponja	1,5			
6. Corte de madera (Máquina A)	Sillón A	19	50	80%	0
	Sillón B	20			
	Sillón C	21			
	Sillón D	22			
6. Corte de madera (Máquina B)	Sillón A	21	70	90%	
	Sillón B	22			
	Sillón C	20			
	Sillón D	22			
7. Ensamble					
7.1 Ensamble de armazón	Sillón A/B/C/D	5	0	100%	0,2
7.2 Transporte		2			
7.3 Fijación de accesorios		6			
7.4 Colocación de esponja		5			
7.5 Transporte 2		1			
7.6 Colocación de esponja		6			
7.7 Transporte 3		1			

8. Empaque	Sillón A/B/C/D	2,5		
------------	----------------	-----	--	--

## A.3 RESULTADOS DEL FOCUS GROUP

**Tabla 0.1 Resultados Focus Group [Elaboración propia]**

Estudiante	¿Tiene conocimientos de sistemas de control de producción?	Califique el manual expuesto	Califique la simulación	Comentarios y sugerencias
Estudiante 1	Materia aprobada	4	5	Poner nombre de las células en el floor de la simulación.
Estudiante 2	Cursando la materia	4	4	
Estudiante 3	Materia aprobada	5	5	Manual es de gran ayuda para entender como funciona las diferentes herramientas de sistemas de control usando simulación.
Estudiante 4	Cursando la materia	4	5	La simulación que hicieron fue genial, cada proceso se explicó detalladamente Lo que diría es que si pueden explicar un poquito más el VSM futuro.
Estudiante 5	Materia aprobada	5	4	Mi duda es si este manual es adaptable a varios modelos.
Estudiante 6	Materia aprobada	5	5	Delimitar las zonas en la simulación para visualizar que máquinas o células indica el manual.
Estudiante 7	Cursando la materia	5	5	

Estudiante 8	Materia aprobada	5	5	Considero que el manual serviría también para los que van a ver la materia integradora :D
Estudiante 9	Cursando la materia	5	5	Todo perfecto, muy bien explicado y se nota que dominan el tema. Hubiera sabido esto antes de mi proyecto, seguro hubiera sacado 100 :(
Estudiante 10	Cursando la materia	5	5	Fue buena la exposición y se entendió todo lo del manual.
Estudiante 11	Cursando la materia	5	5	El manual está muy completo y nos da un valioso recurso para los que estamos cursando el curso de Sistemas de Control.
Estudiante 12	Materia aprobada	5	5	Muy interesante el modelo, será de mucha ayuda para entender aún más la materia de sistemas de control de producción.
Estudiante 13	Materia aprobada	4	4	Pongan el layout del proceso para mejorar la visualización del sistema de producción y traten de hacer el manual más interactivo.

## A.4 CAPTURAS FOCUS GROUP

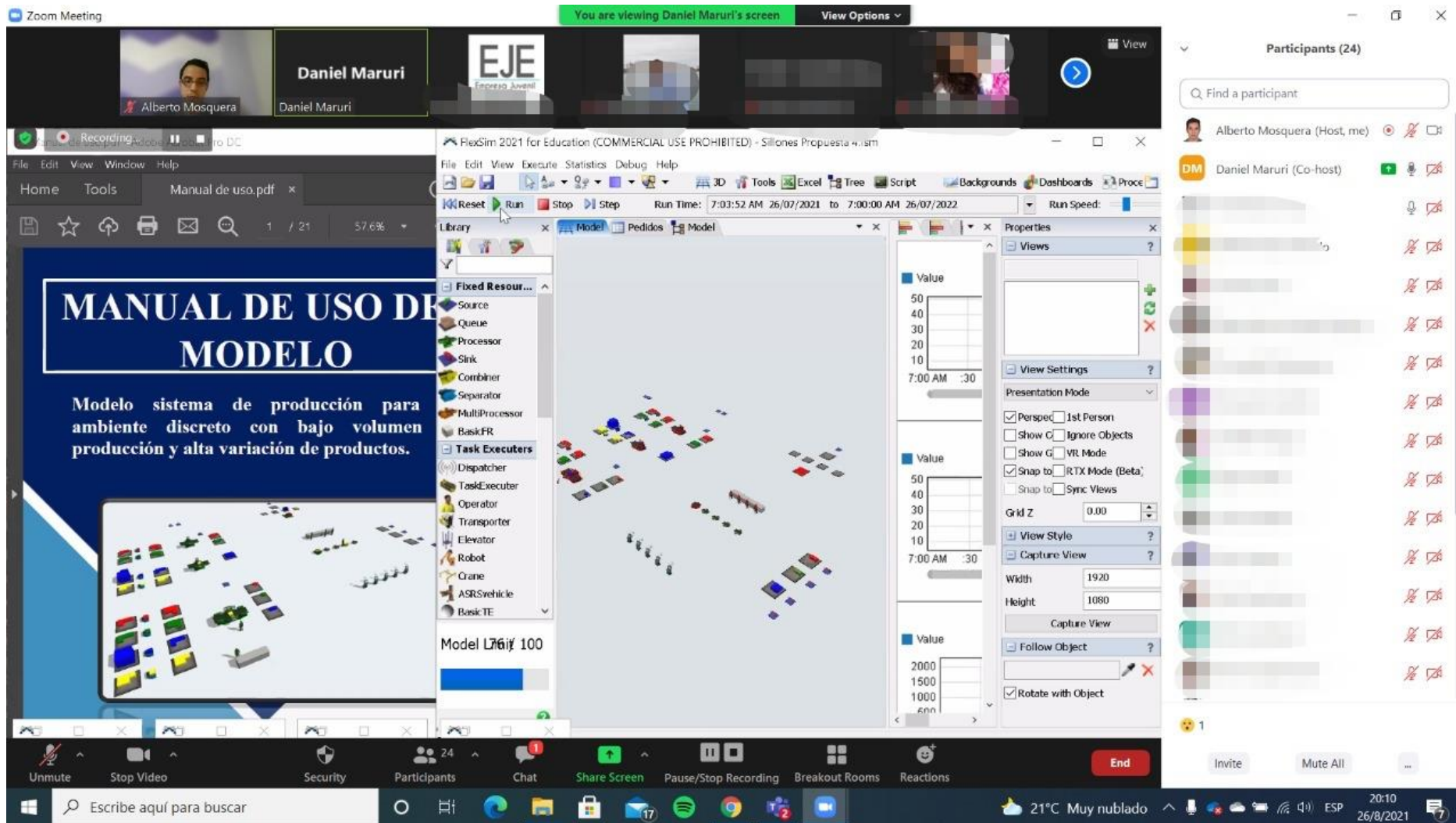


Figura 0.1 Captura 1 Focus Group [Elaboración propia]

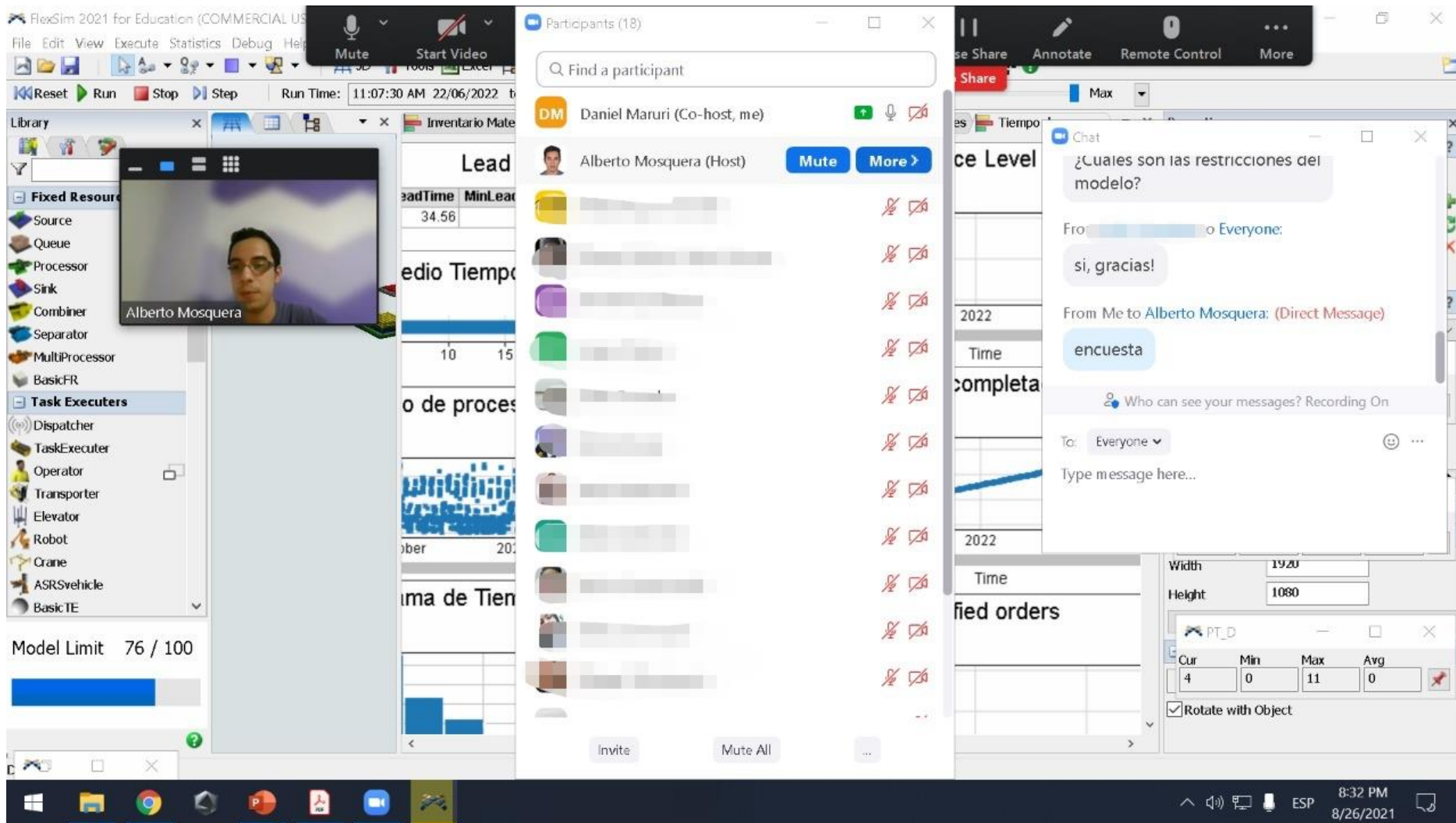


Figura 0.2 Captura 2 Focus Group [Elaboración propia]

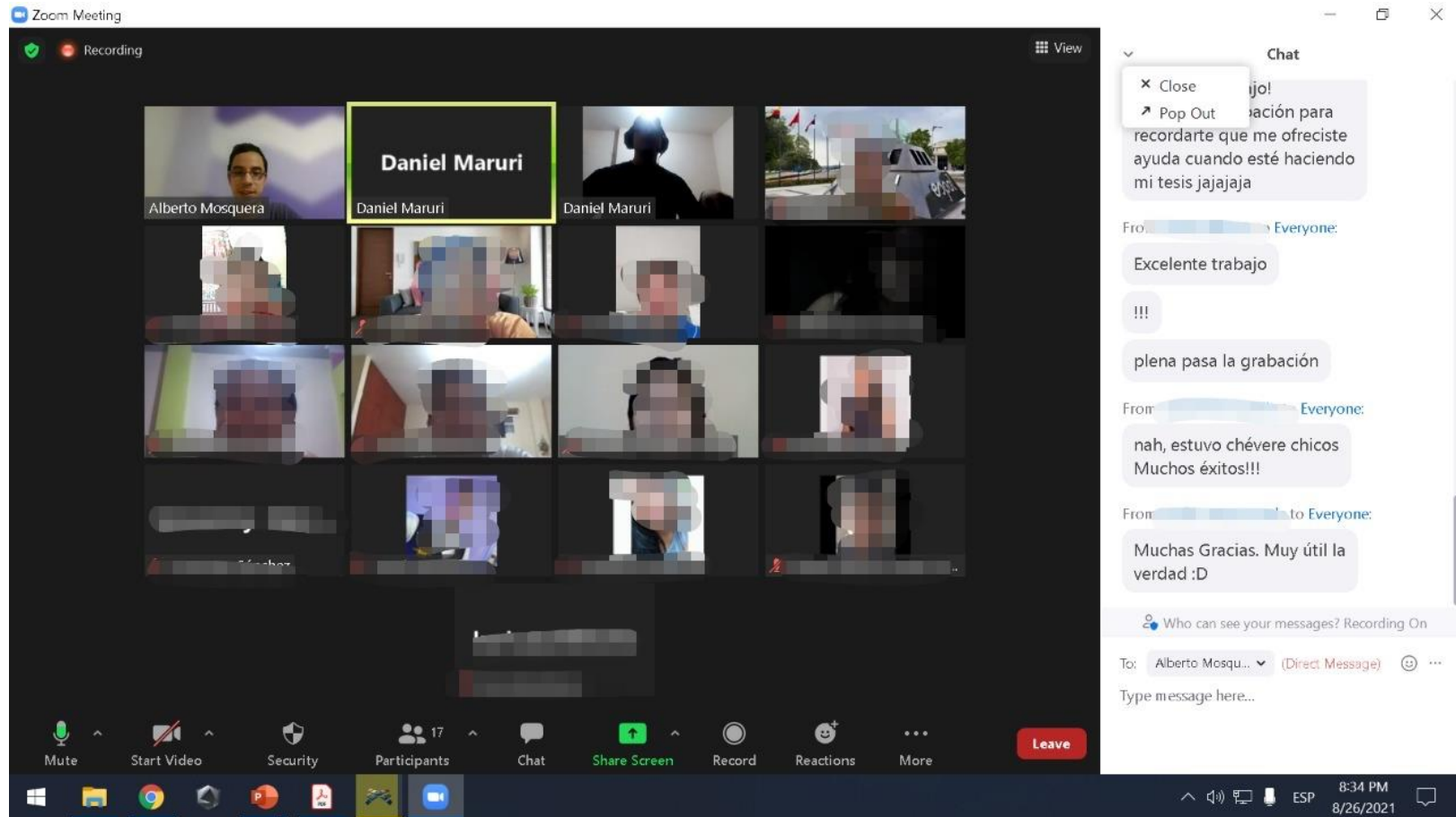
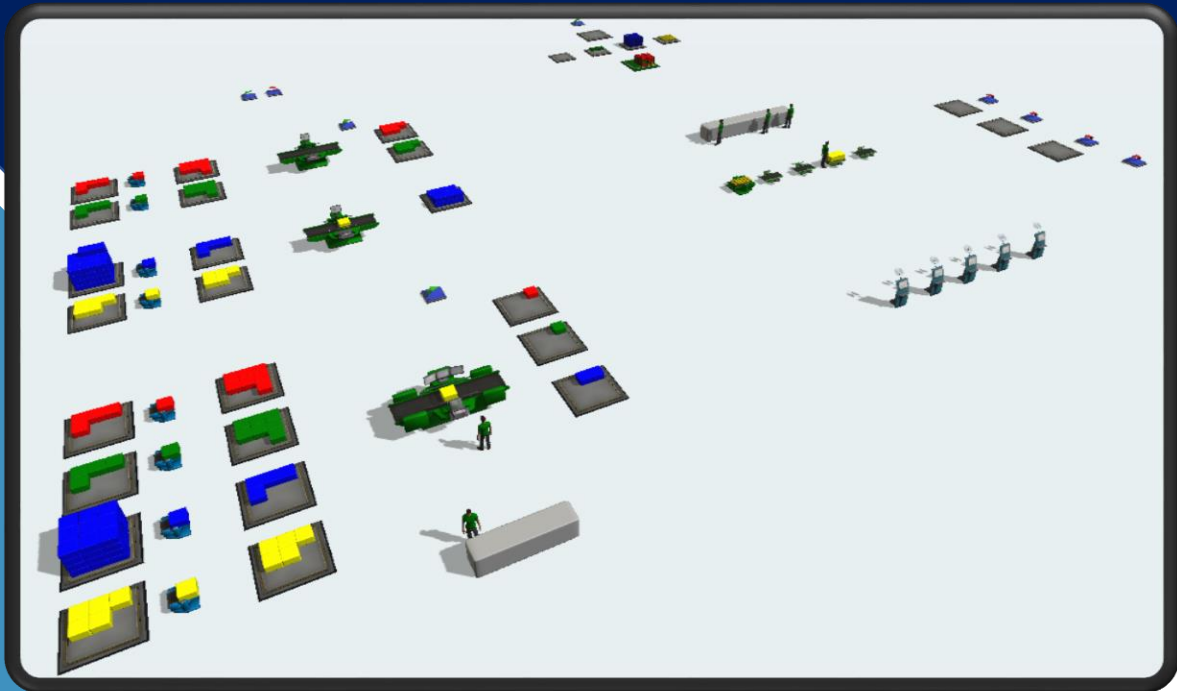


Figura 0.3 Captura 3 Focus Group [Elaboración propia]

## A.5 MANUAL DE USO SIMULACIÓN

# MANUAL DE USO DEL MODELO

Modelo sistema de producción para un ambiente discreto con bajo volumen de producción y alta variación de productos.



Elaborado por:

Geovanny Maruri Q.

Alberto Mosquera V.

2021

# ÍNDICE

1	Introducción .....	2
2	Descripción del sistema .....	2
2.1	Generalidades .....	2
2.1.1	Productos .....	2
2.1.2	Restricciones .....	2
2.2	VSM Futuro .....	3
2.3	Descripción del proceso de producción .....	4
2.3.1	Kanban de suministro .....	4
2.3.2	Corte de madera.....	5
2.3.3	Elaboración de Kits.....	5
2.3.4	Ensamble y Empaque.....	6
3	Descripción de la simulación .....	7
3.1	Ensamble y empaque .....	7
3.1.1	Parámetros para las estaciones de las células.....	7
3.1.2	Parámetros supermercado de producto terminado .....	10
3.2	Elaboración de kits.....	11
3.3	Corte de madera A y B.....	16
3.4	Kanban de proveedores.....	18
3.5	Secuenciación.....	21



## 1 Introducción

El manual presentado a continuación, tiene la finalidad de explicar las varias configuraciones editables en la simulación desarrollada por los autores de este.

Se reparte en dos secciones principales:

- Descripción del Sistema. – Donde se explican los resultados obtenidos con cálculos previos
- Descripción de la simulación. – Donde se detalla como acceder a las configuraciones de cada estación.

## 2 Descripción del sistema

### 2.1 Generalidades

#### 2.1.1 Productos

Existen 4 tipos sillones, para el caso de estudio se los llamara: Sillón A, Sillón B, Sillón C y Sillón D. Los de tipos A, B, C son sillones estándares por los que su producción se realiza por fabricación contra stock. El sillón D se lo personaliza según el gusto del cliente por lo que se producen bajo pedido.

La demanda mensual y variación de esta se muestra en la tabla a continuación:

**Tabla 0.1 Demanda promedio mensual**

Sillón	Demanda Mensual	Variación
A	100	±10%
B	100	±10%
C	300	±10%
D	40	±10%

#### 2.1.2 Restricciones

Para la elaboración del modelo se cuenta ciertas restricciones por parte del caso de estudio como lo son las siguientes:

- Máximo tiempo de entrega a clientes de 5 días.
- Cero capitales de inversión.
- Tiempo mínimo de entrega por partes de proveedores de 1 semana.
- Máximo tamaño de lote para producto en proceso de madera:
  - Máximo 2 unidades para productos A, B y C.
  - Máximo 1 unidad para producto D.

Todas estas restricciones fueron tomadas en consideración a la hora de realizar el modelo.

## 2.2 VSM Futuro

Para desarrollar un modelo simulado es importante primero conocer la cadena de valor del proceso que se desea desarrollar con el fin de conocer las expectativas del comportamiento que dicha simulación debe tener. A continuación, se presenta el VSM a futuro del proceso a desarrollar:

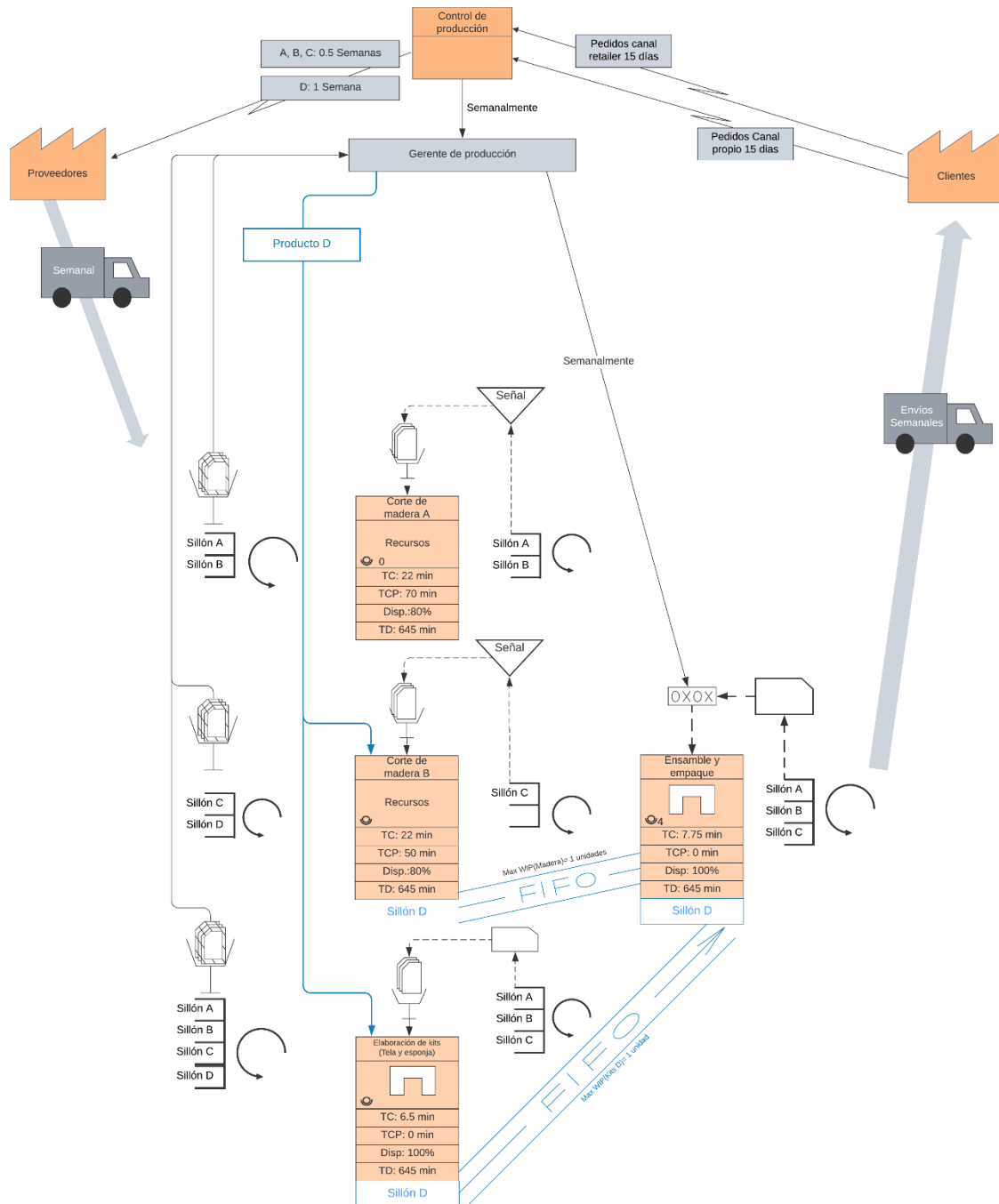


Ilustración 0.1 VSM a Futuro

## 2.3 Descripción del proceso de producción

El proceso de producción se distribuye en 4 fases principales que son:

- Kanban de suministro
- Corte de madera
- Elaboración de Kits
- Ensamble y empaque

La descripción detallada del modelo se desarrolló posteriormente.

### 2.3.1 Kanban de suministro

Con el fin de controlar el inventario de materia prima, se optó desarrollar una herramienta que controle la cantidad de materia prima en planta requerida. Considerando los puntos de reorden por cada producto y requerimiento.

Una vez que se consuma la materia prima, las tarjetas Kanban indicarán la cantidad suficiente de reposición para no quedar desabastecidos.

La materia prima para nuestro caso de estudio es:

- Madera
- Esponja
- Tela

Hay que considerar que cada sillón requiere un material distinto a otro de la familia de productos por lo que se representa como sillón A al conjunto de materia prima requerido para la elaboración del mismo.

Los resultados para cada sillón se presentan a continuación:

**Tabla 0.2 Parámetros Kanban de suministro**

Materia Prima	N Kanban
Sillón A	8 Kanban
Sillón B	7 Kanban
Sillón C	4 Kanban
Sillón D	5 Kanban

### 2.3.2 Corte de madera

Esta estación elaborará los cortes de madera para cada uno de los sillones requeridos; en dicha estación, se tiene dos máquinas que efectúan el mismo proceso en paralelo.

Los datos de las máquinas y sus tiempos de elaboración se presentan a continuación:

**Tabla 0.3 Datos Máquinas corte de madera**

Máquina	Set UP (min)	Disponibilidad	Producto	Tiempo de proceso (min)
Máquina A	70	80%	Sillón A	19
			Sillón B	20
Máquina B	50	90%	Sillón C	20
			Sillón D	22

Como se aprecia en la Tabla 0.3 se decidió que la máquina A elaborará la madera A y B mientras que la máquina B elaborará los productos C y D; esto es debido a que, con esta distribución se logró optimizar el EPEC de cada máquina como se muestra a continuación:

**Tabla 0.4 EPEC Máquinas corte de madera**

EPEC	Días
Máquina A	0.496
Máquina B	0.889

### 2.3.3 Elaboración de Kits

La célula de manufactura Elaboración de Kits se enfoca en elaborar los cortes de tela y esponja para luego juntarlas en un Kit que sucesivamente será utilizado para ensamblar el sillón según los requerimientos de los clientes.

En dicha sección se contará con dos trabajadores y una máquina con el fin de balancear el trabajo asignado a cada operador.

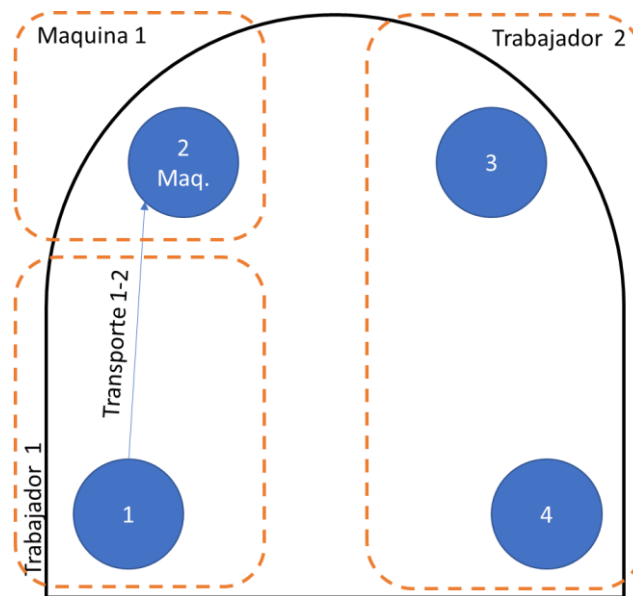
Los procesos desarrollados en esta estación se muestran a continuación:

**Tabla 0.5 Tiempos de subprocesos - Elaboración de Kits**

Estación	Tiempo de proceso	Unidad
1. Trazado de líneas	5	Minutos
Transporte 1-2	0,75	Minutos
Transporte 2-1	0,75	Minutos
2. Corte de Tela o Esponja	4,66	Minutos

3. Corrección de imperfecciones	2,5	Minutos
4. Empaque y codificación	2,5	Minutos
Total	15,41	Minutos

Esta unión de los procesos se realizó debido a que los tiempos requeridos para la elaboración de cada trabajo y máquina es similar según la división mostrada en la ilustración a continuación:



**Ilustración 0.2 División del trabajo - Elaboración de kits**

Los tiempos de elaboración por cada trabajador y máquina se muestran a continuación:

**Tabla 0.6 Tiempos de proceso por trabajador y máquina - Elaboración de Kits**

Máquina 1	4.66 min
Trabajador 1	6.5 min
Trabajador 2	5 min

### **2.3.4 Ensamble y Empaque**

Para este último puesto de trabajo se cuenta con 4 colaboradores con los cuales se desarrolló un sistema Rabbit Chase con el fin de generar fluidez en la tasa de elaboración de productos en dicha estación.

Debido al sistema, cada trabajador tendrá que pasar por los diferentes subprocesos. Los tiempos para cada actividad se presenta a continuación:

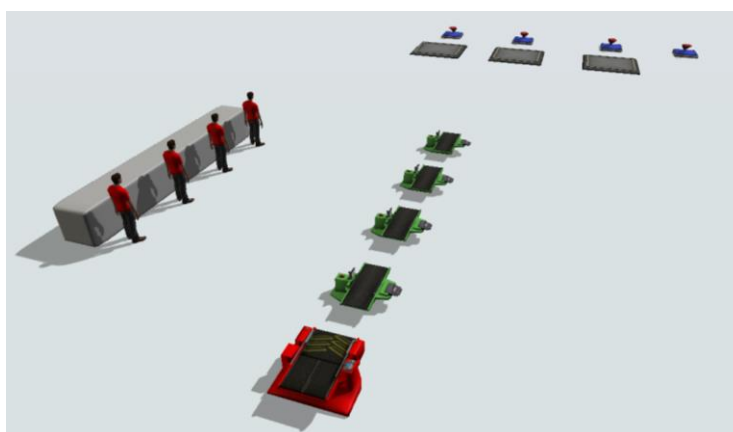
**Tabla 0.7 Tiempos de subprocesos - Ensamble y empaque**

<b>Estación</b>	<b>Tiempo de proceso (minutos)</b>
Armado de armazón	5
Transporte de operación 1 a 2	2
Colocación de accesorios	6
Colocación de Esponja	5
Transporte de operación 3 a 4	1
Colocación de Tela	6
Transporte operación 4 a Emp.	1
Empacado	5

### **3 Descripción de la simulación**

#### **3.1 Ensamble y empaque**

Como se explica en la sección 2.3.4 Ensamble y Empaque es una célula del tipo Rabbit Chase, la cual cuya producción está definida por el supermercado de clientes, el cual está basado en un kanban de producción. En la imagen continuación se muestra la captura de la zona que conformaría la célula de ensamble y empaque.



**Ilustración 0.3 Estación célula de ensamble y empaque**

Como se muestra en la imagen Ilustración 0.3 los componentes principales son las estaciones de la célula y el supermercado de producto terminado, sobre estos dos se explicará el desarrollo para la modificación de los parámetros.

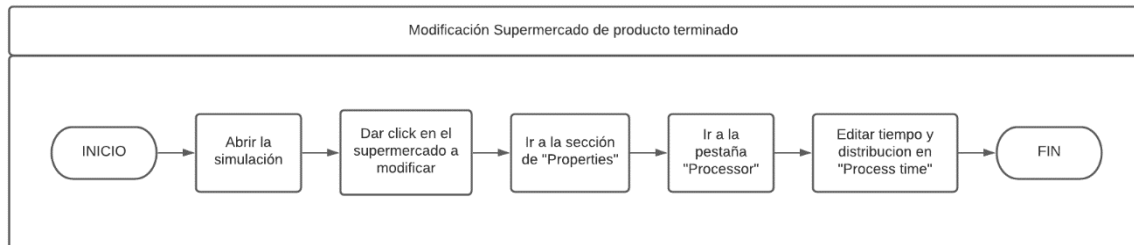
#### **3.1.1 Parámetros para las estaciones de las células**

Entre los parámetros a modificar en las estaciones de Ensamble y empaque tendremos:

- Tiempo de proceso de la estación
- Tiempo de Setup

### 3.1.1.1 Tiempo de proceso de las estaciones

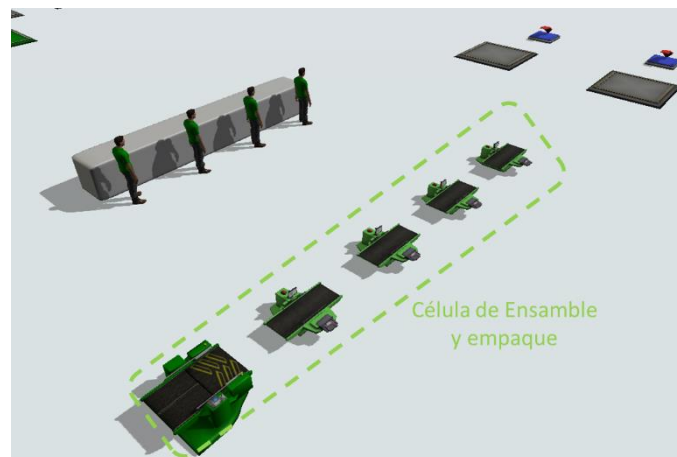
En la ilustración a continuación se muestra el proceso general para modificar el tiempo de proceso de las estaciones en la célula de ensamble y empaque.



#### Ilustración 0.4 Diagrama de proceso - Modificar supermercado de producto terminado

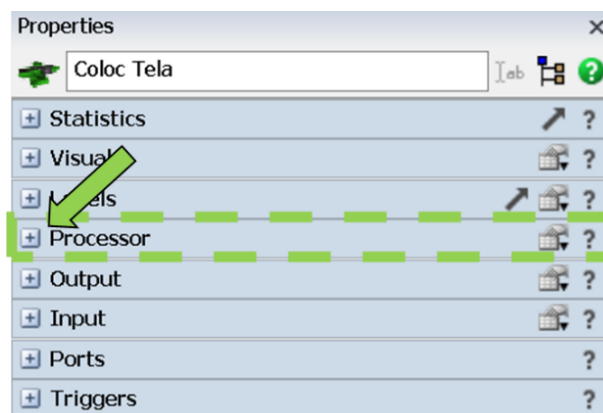
Una vez mostrado el proceso general se continua con la explicación detallada:

1. Ya que estemos en la simulación, se dirige a la célula y se da clic en la estación a modificar.

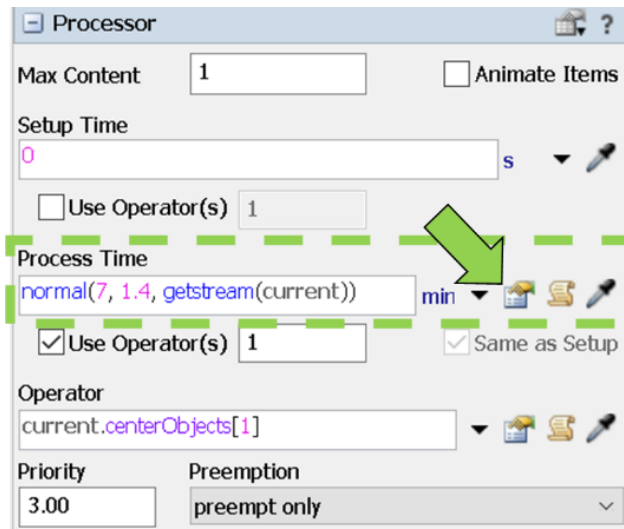


#### Ilustración 0.5 Célula de Ensamble y Empaque

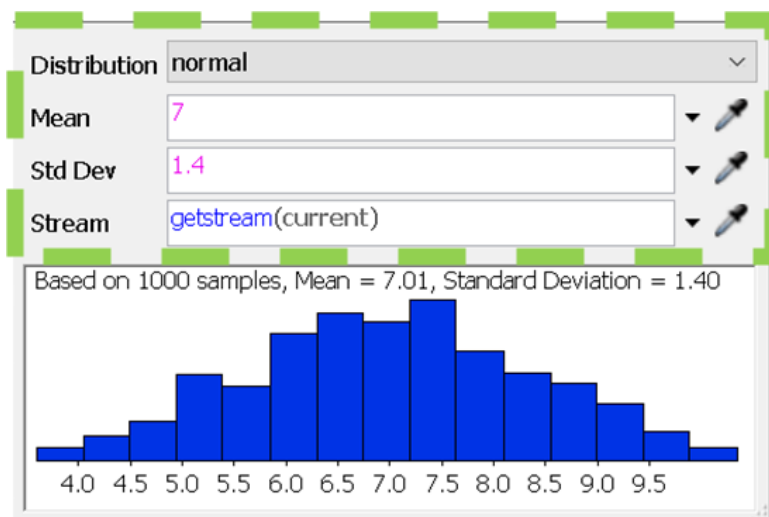
2. Nos dirigimos a la sección de Properties y se despliega la pestaña Processor.



3. Dar clic en el icono Edit parameters for this options de la sección Process Time.

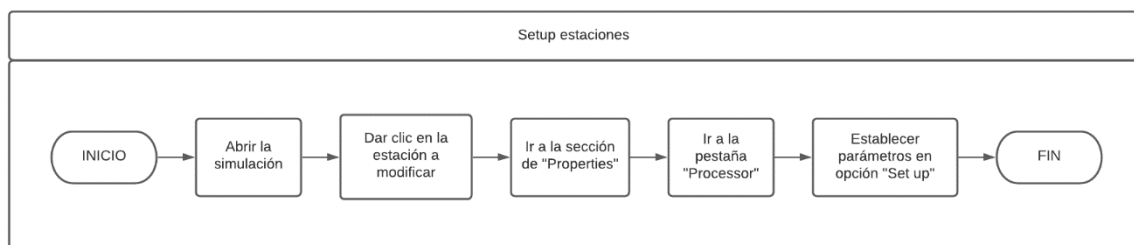


4. Por último, procedemos a seleccionar la distribución del proceso y se colocan los respectivos datos.



### 3.1.1.2 Tiempo de Set up

La gráfica continua muestra el proceso general para modificar el tiempo de Set up.

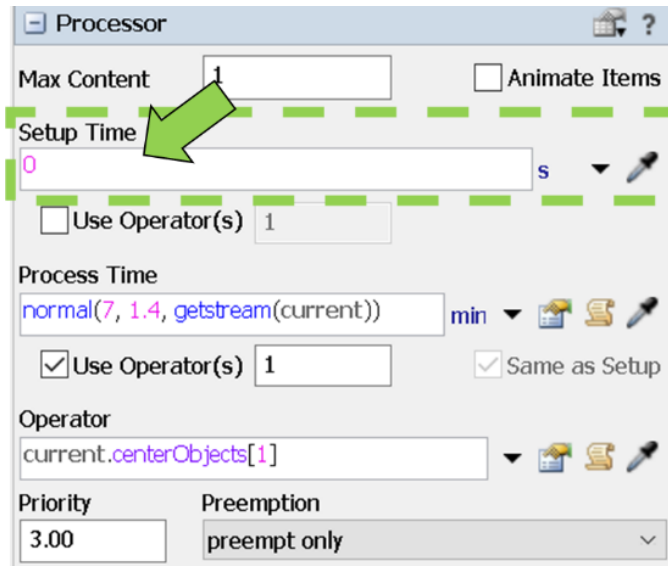


**Ilustración 0.6 Diagrama de proceso - Setup estaciones**

La explicación precisa es la siguiente:

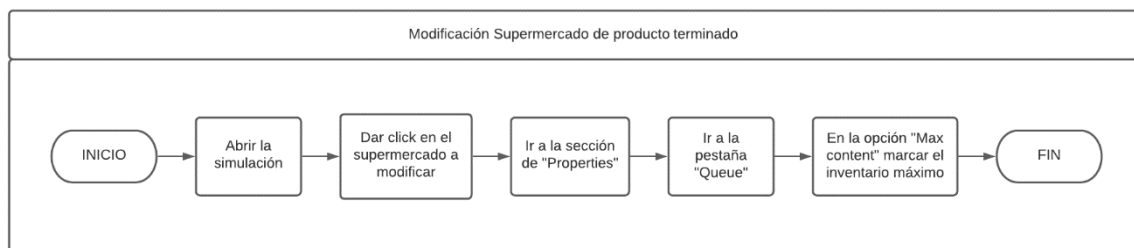


1. Cuando tengamos lista la simulación, escogemos la estación que deseamos modificar. Las distintas estaciones de ensamble y empaque se muestran en la Ilustración 0.5 Célula de Ensamble y Empaque.
2. Nos dirigimos a la sección Properties y desplegamos la pestaña Processor.
3. En la opción Set up establecemos los parámetros requeridos.



### 3.1.2 Parámetros supermercado de producto terminado

El parámetro de interés para el supermercado de producto terminados será el inventario máximo que estará representado por el número de tarjetas kanban. A continuación, se muestra el diagrama de flujo de procesos para hacer las modificaciones necesarias.



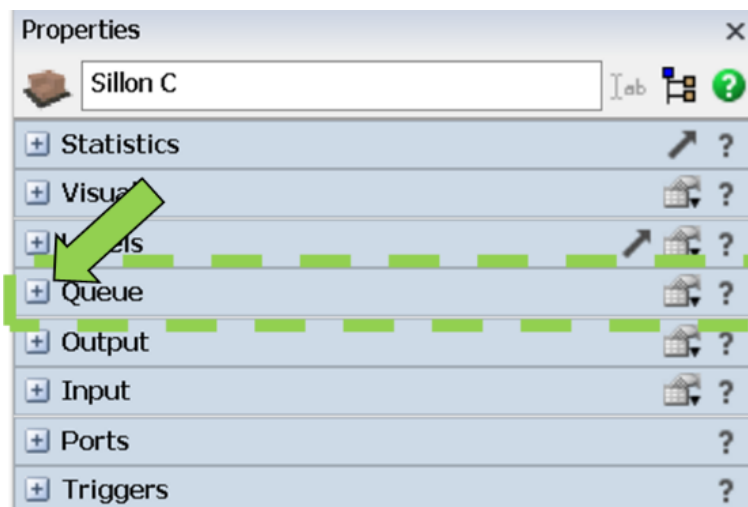
**Ilustración 0.7 Diagrama de proceso - Modificación de supermercado de producto terminado**

El proceso detallado señala a continuación:

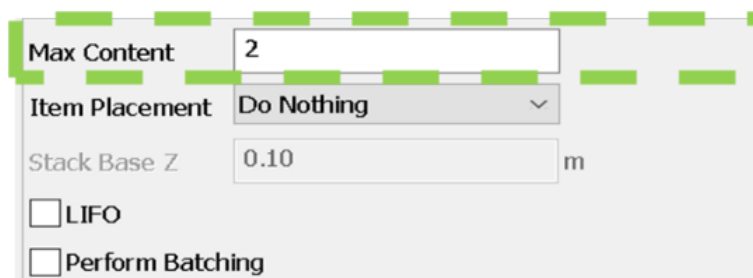
1. Una vez abierta la simulación nos dirigimos a la zona del supermercado de producto terminado.



2. Damos clic en supermercado que queremos modificar.
3. Nos dirigimos a la sección de Properties y abrimos la pestaña Queue.



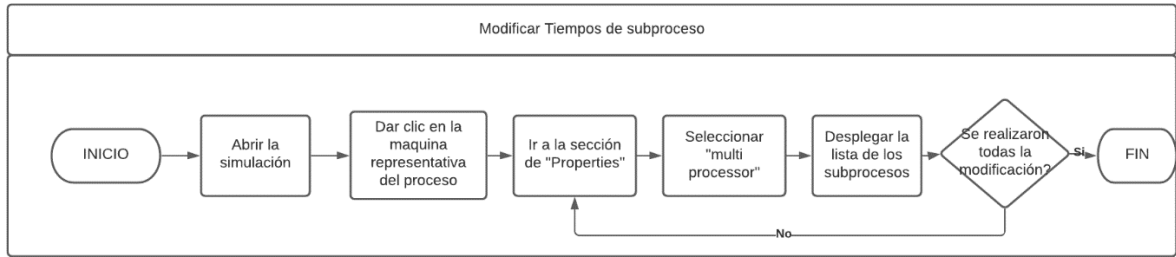
4. Finalmente, en la opción Max Content colocamos el inventario máximo deseado.



## 3.2 Elaboración de kits

### 3.2.1 Configuración tiempos de procesos

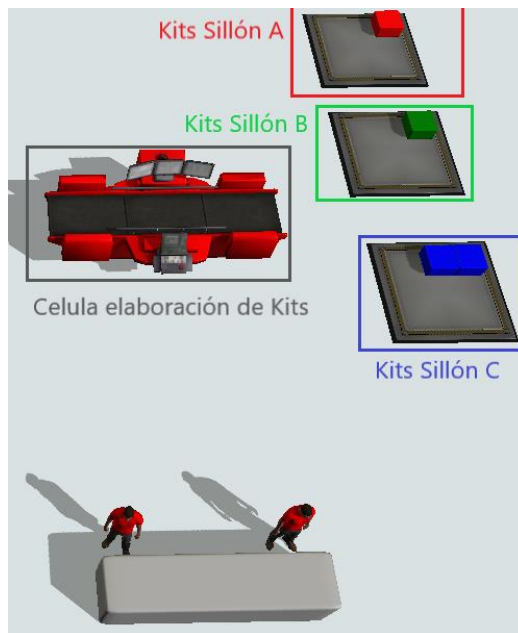
Continuando con la descripción del modelado, para modificar las configuraciones de dicha estación se debe seguir los pasos que se muestran en el diagrama a continuación:



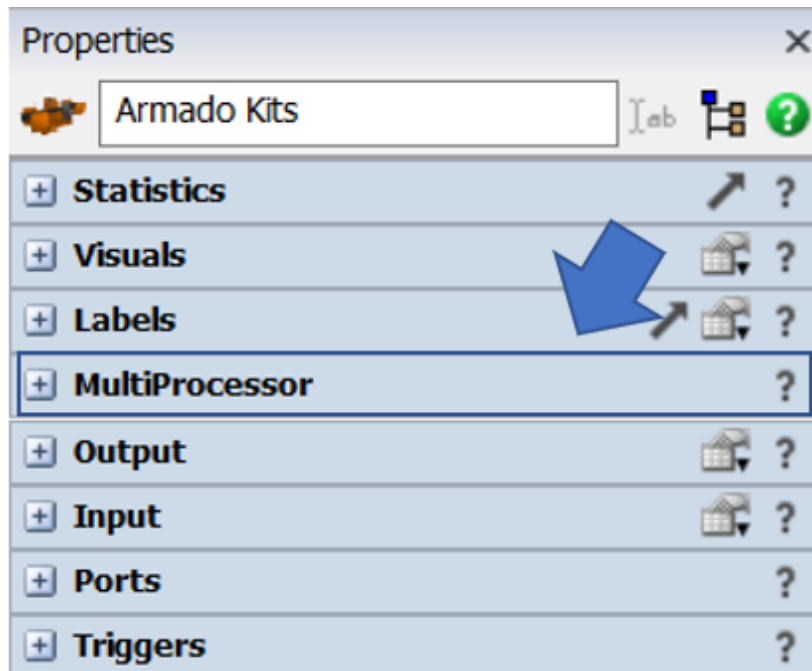
**Ilustración 0.8 Diagrama de proceso - Modificar Tiempos de subprocesso**

Como se muestra en el diagrama de proceso:

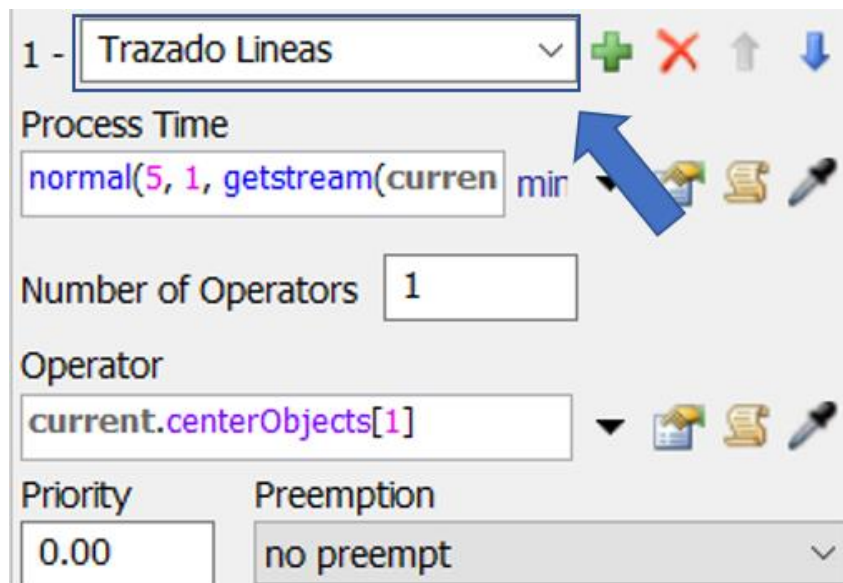
1. Primeros debemos seleccionar la máquina que representa dicho proceso.



2. Se procede a hacer clic en la máquina representante a la célula elaboración de Kits y así abrir el panel de configuraciones de esta y seleccionamos la opción "MultiProcessor".



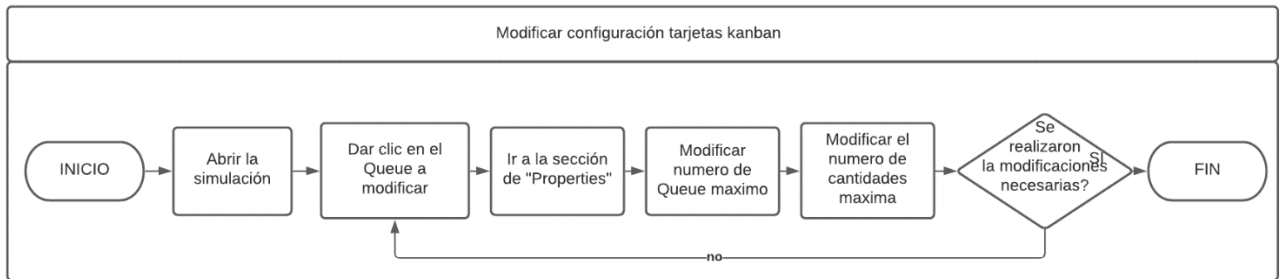
3. Aparecerá una lista desplegable donde se podrá seleccionar cada uno de los subprocesos con sus respectivos tiempos de procesos.



Desde esta sección, se podrá modificar cada tiempo de proceso y validar que los tiempos indicados en la sección anterior corresponden al observado en el modelo.

### 3.2.2 Configuración Kanban de producción

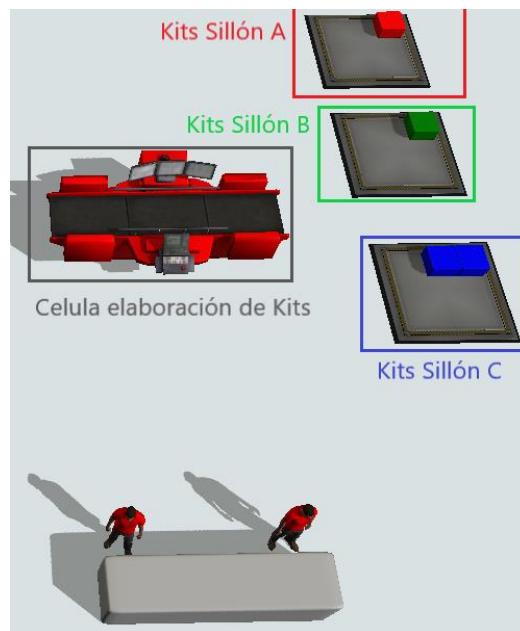
Si se desea modificar la cantidad de tarjetas Kanban utilizadas en el proceso de elaboración de kits, se deben seguir los pasos mostrados en el diagrama presentado a continuación:



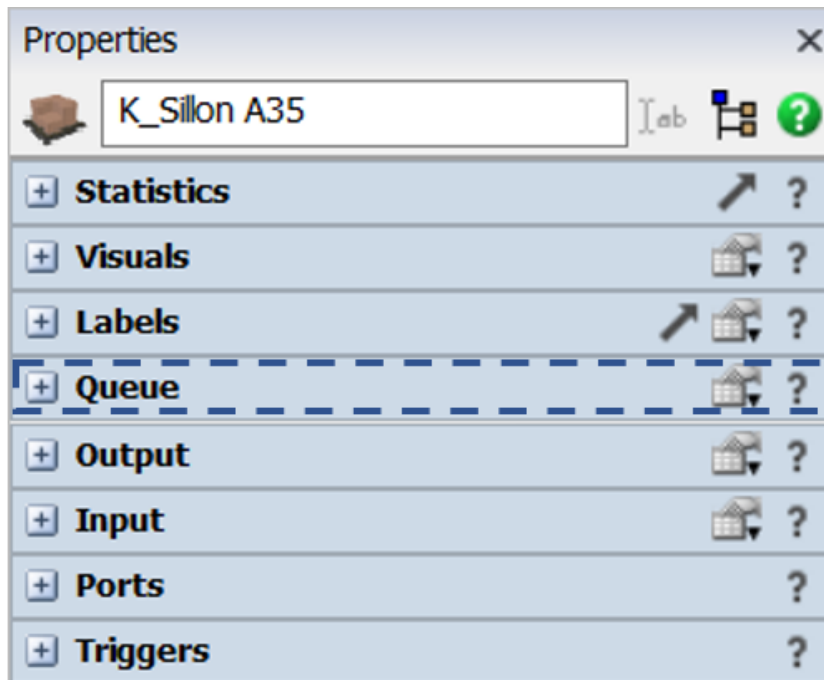
**Ilustración 0.9 Diagrama de proceso - Configuración tarjetas Kanban**

A continuación, se presenta en detalle los procesos a seguir:

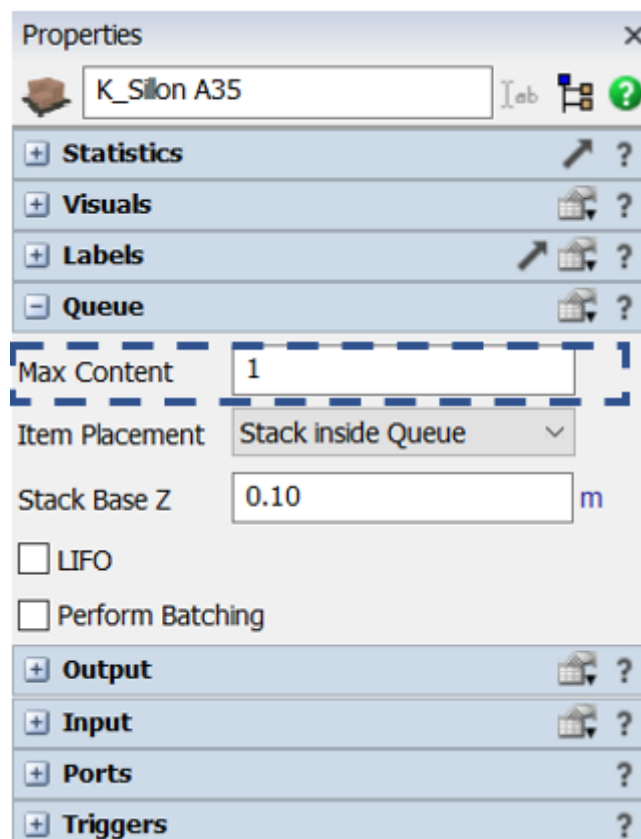
1. Seleccionar el Queue a modificar.



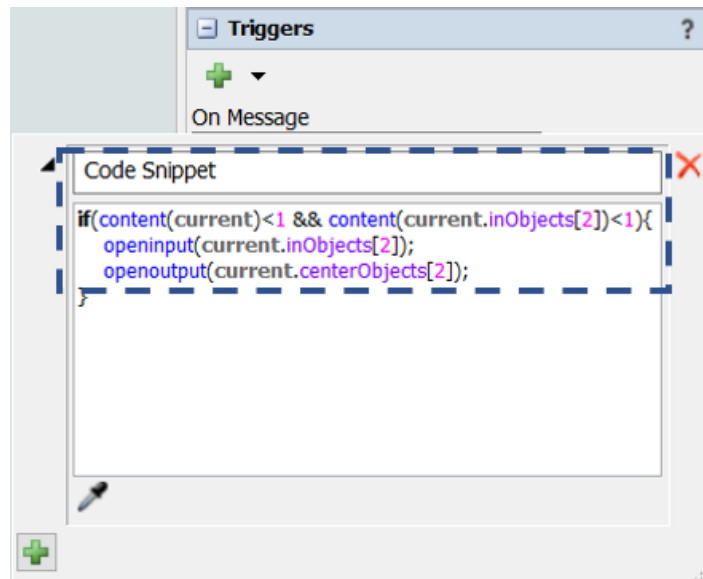
2. Ir a la sección properties y ampliar Queue.



3. Ubicar la cantidad de tarjetas Kanban.



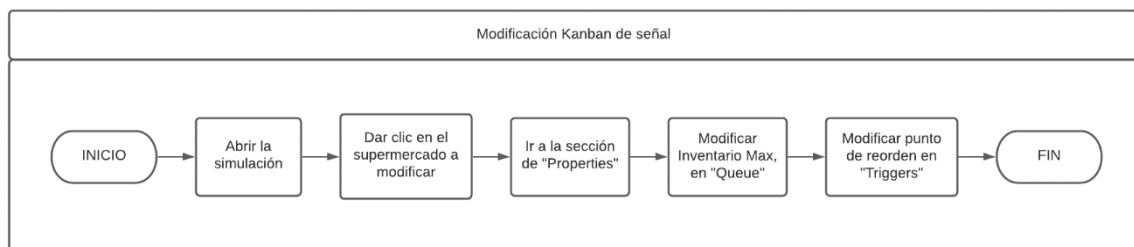
4. Modificar la cantidad de reabastecimiento.



### 3.3 Corte de madera A y B

Tal como se menciona en capítulos anteriores la sección de corte de madera está conformada por dos máquinas A y B, en la A se producen los Sillones A y B por otra parte en la Máquina B se producen los sillones C y D. La producción de sección se ve guiada según un kanban de señal.

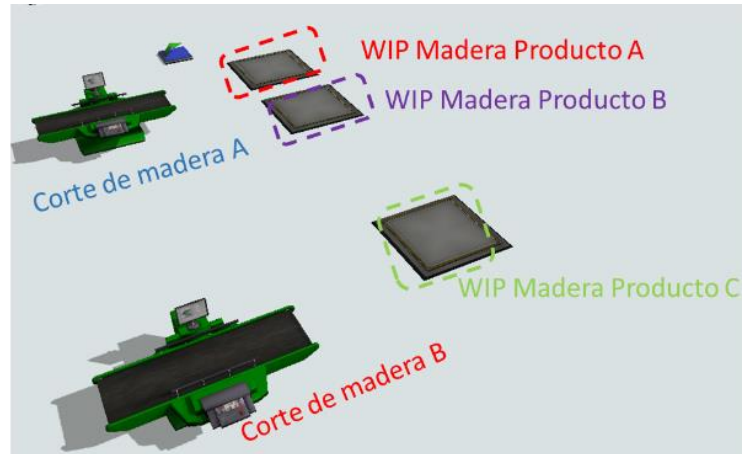
A continuación, se mostrará el procedimiento para modificar el kanban de señal en Corte de madera, el procedimiento será el mismo para ambas máquinas.



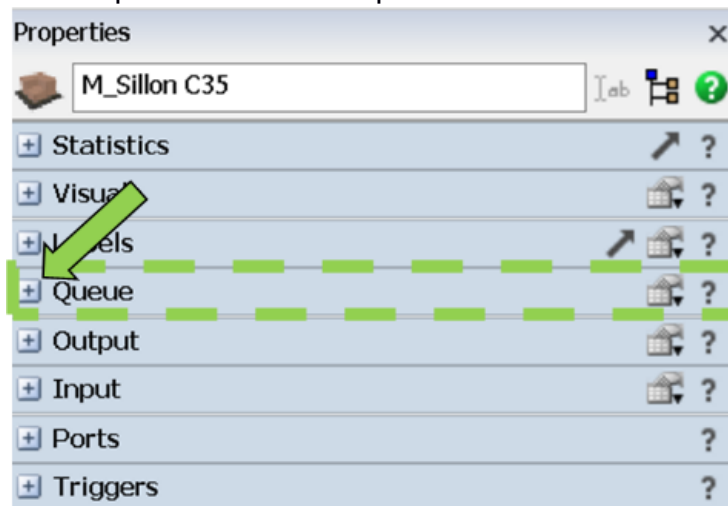
**Ilustración 0.10 Diagrama de proceso - Modificación Kanban de señal**

A continuación, se detallará el proceso a seguir para la modificación del kanban de señal:

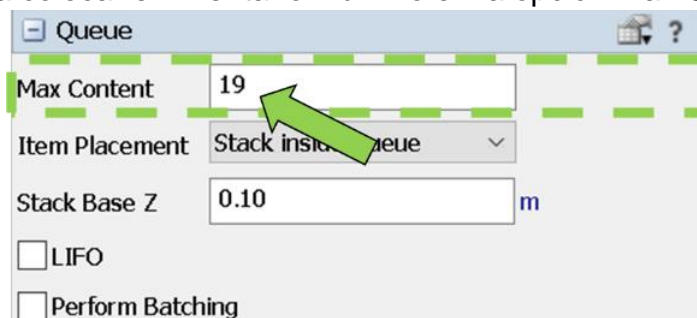
1. Una vez contemos con la simulación lista, nos dirigimos a la sección de corte de madera.



2. Seleccionamos en Supermercado a modificar.
3. En la sección de Properties abrimos la pestaña Queue.

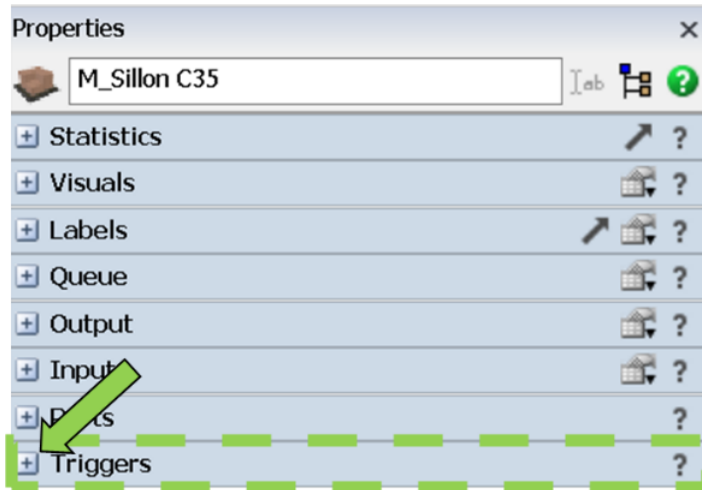


4. Procedemos a colocar el inventario máximo en la opción Max Content.

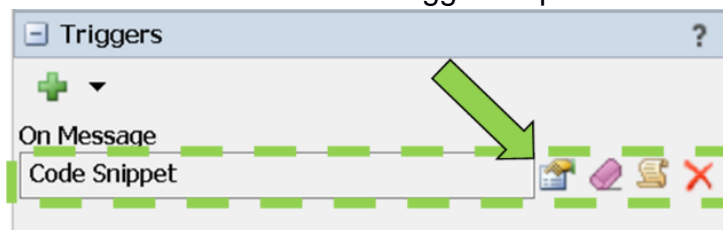


5. Ahora abrimos la sección Triggers que también se encuentra en Properties.

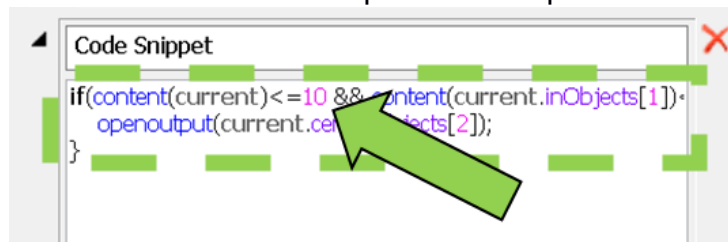




6. Damos click en el icono de Add/Edit this trigger's operations.



7. En el código actual modificamos el 10 por el nuevo punto de reorden deseado.

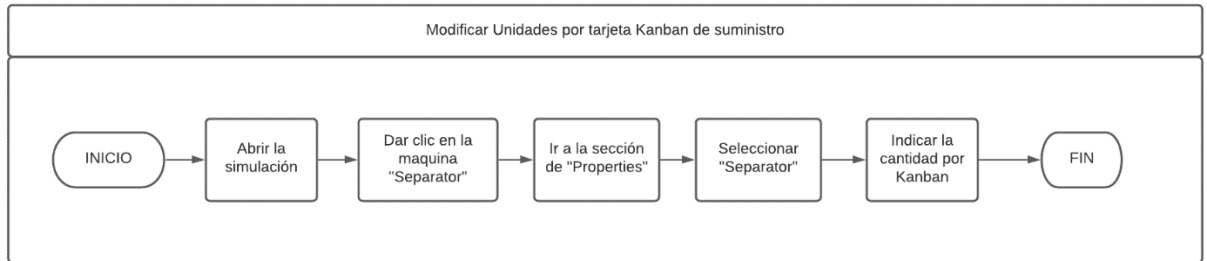


Para los demás supermercados procedimiento va a ser el mismo.

### 3.4 Kanban de proveedores

Para el Kanban de proveedores, como se explicó en secciones anteriores, se consideró para las máquinas corte de madera y para la elaboración de kits.

El diagrama de proceso para modificar el número de unidades por tarjeta Kanban se presenta a continuación:



**Ilustración 0.11 Diagrama de proceso - Modificar Unidades por tarjeta de Kanban de suministro**

Para comprender mejor el proceso, se procede a mostrar el proceso gráficamente:

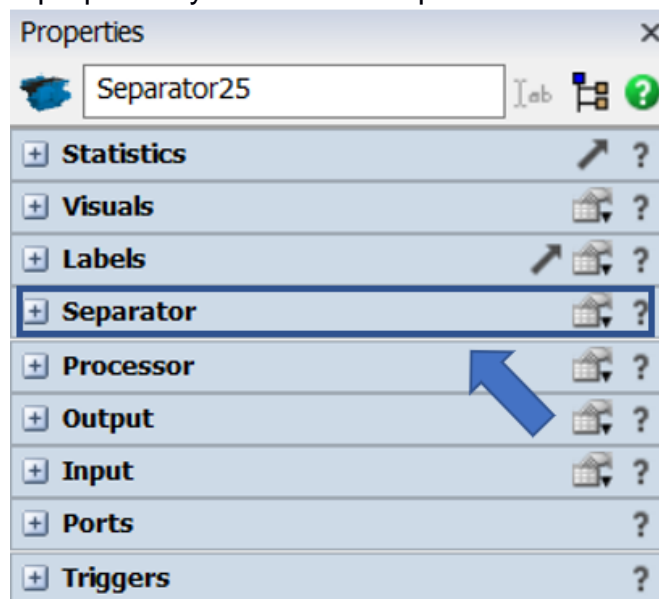
1. Ubicar la materia prima de interés.



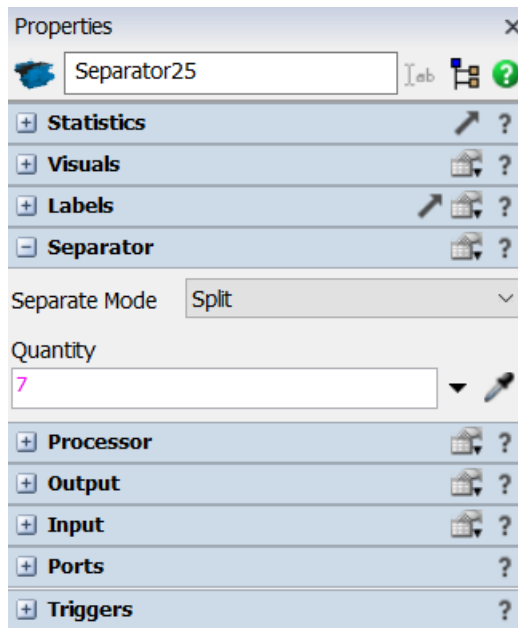
2. Seleccionar el processor de interés:



3. Ir a la sección de propiedades y seleccionar separator.



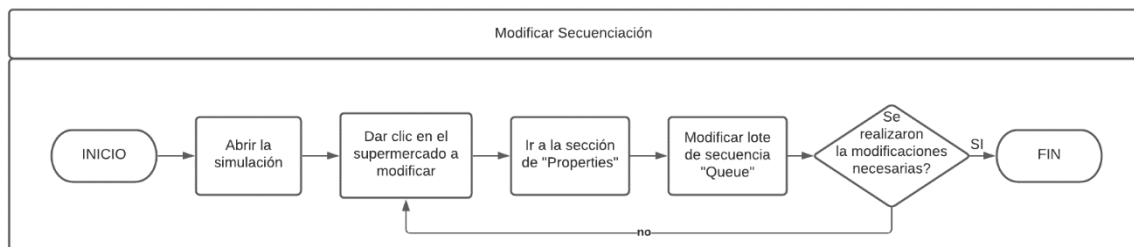
4. Modificar el número de unidades por Kanban.



De esta manera, se podrá observar el comportamiento del inventario en proceso según las unidades por tarjeta Kanban.

### 3.5 Secuenciación

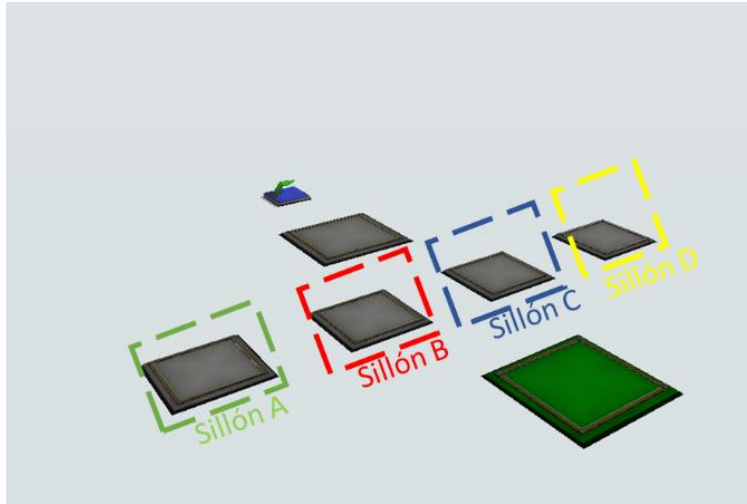
A continuación, se muestra el proceso general para modificar la secuenciación que va a seguir el sistema:



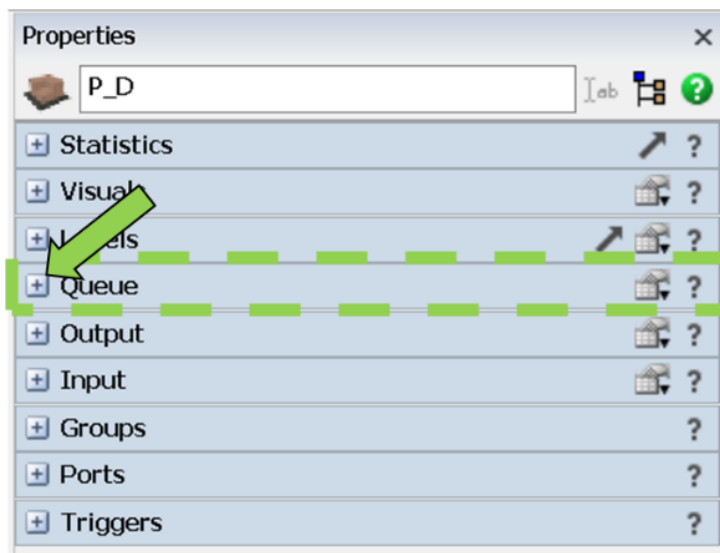
**Ilustración 0.12 Diagrama de proceso - Modificar de secuenciación**

Posteriormente tendremos el proceso detallado para modificar la secuenciación:

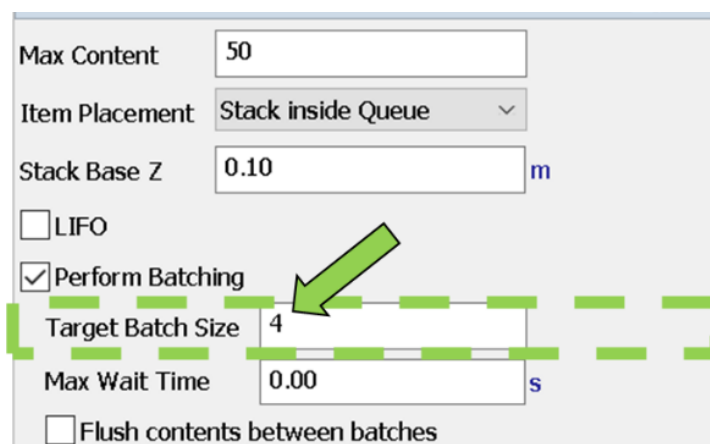
1. Una vez tengamos lista la simulación procedemos a ir a la sección donde se encuentran los Queue de la secuenciación.



2. Seleccionamos el producto que queremos modificar.
3. En la sección de Properties abrimos la pestaña Queue.



4. Procedemos a colocar el nuevo lote para secuencia en la opción Target Batch Size.



5. Repetir el proceso para los demás productos en caso de ser necesario.