

**Universidad de Valparaíso**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil Industrial**



Diseño de la distribución en planta de la empresa Pvplast

por

**Ema Judith Toro Toro**

Trabajo de Título para optar al Grado de  
Licenciado en Ciencias de la Ingeniería y título de  
Ingeniero Civil Industrial

Prof. Guía Luis Seccatore Gómez

Noviembre, 2018

## **Dedicatoria**

*A mis padres, Isabel y Teardo, quienes con su esfuerzo y sacrificio me han permitido finalizar esta etapa.*

*A mis hermanas, Isabel, Francisca, Macarena y Loreto por su cariño y palabras de aliento durante todo este proceso.*

*A mi pareja Christian, por su cariño, amor y apoyo incondicional, además, de todos los llamados de atención para terminar esta memoria.*

*Sin lugar a dudas es el fin de una etapa y el comienzo de un gran desafío.*

## **Agradecimientos**

*No existe manera de agradecer a todas las personas que creyeron en mí y que me brindaron el apoyo necesario durante todo este proceso. A mis padres y hermanas por ser un pilar fundamental en mi vida y por enseñarme lo que es la perseverancia y el sacrificio. A Christian, por caminar junto a mí y motivarme en cada momento para finalizar esta etapa.*

*A Dios por brindarme salud, fortaleza y capacidad durante toda mi vida.*

*A mis amigos, especialmente a Mari, quien me ha acompañado durante todo este proceso, gracias por tantos años de amistad.*

*A Gonzalo Lara, por permitirme trabajar en su empresa y conocer más de ella, brindándome todos los datos y ayuda necesaria durante el desarrollo de esta memoria.*

*A mis compañeros de trabajo, Luis y Esteban quienes me han estado apoyando y motivando siempre para terminar este trabajo de título.*

*A todos los profesores quienes me han dado las pautas necesarias para desarrollarme como un buen profesional, en especial al Sr. Luis Seccatore, quien, con su experiencia, conocimiento e innumerables correcciones, me ha permitido desarrollar con éxito este trabajo de título.*

# Índice

<b>Glosario .....</b>	<b>7</b>
<b>Lista de Abreviaturas.....</b>	<b>8</b>
<b>Lista de Figuras .....</b>	<b>9</b>
<b>Lista de Tablas.....</b>	<b>11</b>
<b>Resumen Ejecutivo .....</b>	<b>12</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>13</b>
<b>1. La Empresa.....</b>	<b>15</b>
1.1 Descripción de la Empresa .....	15
1.2 Misión.....	15
1.3 Visión .....	15
1.4 Productos elaborados en la empresa.....	16
1.5 Modelo de negocios.....	16
1.6 Capacidad de producción .....	20
1.7 Competencia .....	22
1.8 Recursos productivos.....	23
1.9 Proceso de fabricación.....	25
1.9.1 Distribución de la planta.....	25
1.9.2 Diagrama del proceso .....	28
1.10 Proceso de instalación .....	33
<b>2. Registro de Problemas de Pvplast .....</b>	<b>35</b>
2.1 Descripción del problema.....	35
2.1.1 Descripción General .....	35
2.1.2 Formulación de la pregunta de investigación.....	35
2.1.3 Justificación .....	37
2.2 Objetivos.....	37
2.2.1 Objetivo General.....	37

2.2.2	Objetivos Específicos .....	37
<b>3.</b>	<b>Marco Teórico .....</b>	<b>38</b>
3.1	Distribución en planta.....	38
3.1.1	Tipos de distribución en planta.....	39
3.2	Métodos para la planeación de distribución de planta.....	39
3.2.1	Metodología SLP (Systematic Layout Plannig) .....	40
3.3	Justificación metodología a utilizar .....	42
<b>4.</b>	<b>Configuración de la planta .....</b>	<b>43</b>
4.1	Localización.....	43
4.2	Distribución General.....	43
4.2.1	Análisis Producto – Cantidad .....	43
4.2.2	Recorrido de los productos .....	45
4.2.3	Relación entre actividades .....	45
4.2.4	Diagrama relacional de recorrido y/o actividades .....	48
4.2.5	Determinación de los espacios .....	51
4.2.6	Diagrama relacional de espacios ajustados .....	52
4.2.7	Adaptación del diagrama .....	57
4.3	Distribución detallada.....	58
4.3.3	Método AHP.....	60
4.3.4	Análisis de la evaluación propuesta.....	66
4.4	Instalación.....	66
<b>5.</b>	<b>Comportamiento del Layout propuesto .....</b>	<b>67</b>
5.1	Formulación del problema.....	67
5.2	Objetivo de la simulación.....	67
5.3	Recolección de datos .....	67
5.4	Traducción del modelo .....	70
5.4.1	Unidades móviles (MU) .....	70
5.4.2	Objetos de MaterialFlow (Flujo de materiales).....	71

5.4.3 Objetos de Resources.....	71
5.4.4 Simulación en Software “Tecnomatix Plant Simulation” .....	72
5.5 Resultados de la Simulación.....	74
5.6 Análisis de los resultados de la simulación .....	78
<b>6. Conclusiones.....</b>	<b>79</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>80</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>81</b>
<b>Anexo I:</b> Productos elaborados en la empresa .....	82
<b>Anexo II:</b> Recursos Físicos de Pvplast .....	83
<b>Anexo III:</b> Materia prima utilizada en Pvplast .....	87
<b>Anexo IV:</b> Dimensiones de los elementos físicos representados en el plano de la empresa ....	88
<b>Anexo V:</b> Tiempos de Fabricación de puertas y ventanas de PVC.....	89
<b>Anexo VI:</b> Matriz de comparación, matriz normalizada y peso de cada alternativa respecto a los factores considerados en la Adaptación del diagrama .....	91
<b>Anexo VII:</b> Consideraciones y tiempo de fabricación por proceso - Obra Alcayaga.....	94
<b>Anexo VIII:</b> Comportamiento de datos por proceso productivo (Layout actual vs Layout propuesto) .....	97
<b>Anexo IX:</b> Simulación de la Situación Actual en Software “Tecnomatix Plant Simulation”	116
<b>Anexo X:</b> Resultados de la Simulación de cada réplica.....	118

## Glosario

**Analytic Hierarchy Process (AHP):** Proceso de Análisis Jerárquico.

**Embellecedores:** Accesorio que se utiliza para ocultar la cabeza de los clavos y tornillos utilizados en la fabricación de las ventanas de PVC.

**Layout:** Forma en que se encuentra distribuida el área de trabajo de una empresa.

**Perfiles de PVC:** Perfiles utilizados para la fabricación de puertas y ventanas debido a que son excelentes aislantes térmicos y acústicos, con un coeficiente de conductividad térmica mil veces menor que el del aluminio.

**Policloruro de Vinilo (PVC):** Polímero termoplástico resistente a la abrasión, de baja densidad, con buena resistencia mecánica y al impacto que es utilizado en el área de construcción.

**Rebaba:** Material que sobra o que resalta en los bordes o superficie de los marcos y hojas de las ventanas y/o puertas PVC.

**Systematic Layout Planning (SLP):** Planificación sistemática del diseño.

**Termopanel:** Componente prefabricado compuesto por dos vidrios separados entre sí por un espacio de aire seco, que lo transforma en un excelente aislante térmico y acústico.

**Unidad Móvil (MU):** Representa el flujo de los materiales y son aquellas que se mueven a través del modelo.

**Ventana abatir:** Ventana cuyo eje de movimiento está situado en uno de los perfiles verticales del marco, lo que permite ser abierta hacia el exterior o interior.

**Ventana oscilo batiente:** Ventana que posee dos sistemas de apertura dependiendo de la dirección en que se gira la manilla.

**Ventana proyectante:** Ventana que puede ser abierta hacia el exterior.

## Lista de Abreviaturas

**AHP:** Analytic Hierarchy Process

**aprox:** aproximadamente

**edf:** Edificio

**h:** Hora

**Kg:** Kilogramos

**máq:** Máquina

**mat:** Material

**min:** minutos

**mm:** Milímetros

**mov:** Movimiento

**MU:** Unidad móvil

**OB:** Oscilobatiente

**pers:** Persona

**Proyect:** Proyectante

**PVC:** Policloruro de Vinilo

**s:** segundos

**serv:** Servicio

**SLP:** Systematic Layout Planning

**vs:** Versus

## Lista de Figuras

Figura 1.1: Modelo Canvas de Pvplast.....	19
Figura 1.2: Producción mensual periodo 2015 - 2018.....	21
Figura 1.3: Plano de Pvplast.....	26
Figura 1.4: Pasillo inhabilitado por el acopio de Junquillos.....	27
Figura 1.5: Pasillo inhabilitado por el acopio de refuerzos.....	27
Figura 1.6: Acopio de Perfiles de PVC.....	27
Figura 1.7: Desechos presentes en la Empresa.....	27
Figura 1.8: Cursograma Sinóptico de Pvplast.....	30
Figura 1.9: Diagrama Spaghetti.....	32
Figura 1.10: Diagrama del Proceso de Instalación de una Ventana de PVC.....	34
Figura 2.1: Problemas de Pvplast.....	36
Figura 4.1: Gráfico Producto - Cantidad.....	44
Figura 4.2: Gráfico Producto - Cantidad *.....	45
Figura 4.3: Explicación de la Tabla de Relaciones.....	47
Figura 4.4: Tabla de Relaciones entre las áreas de trabajo de Pvplast.....	48
Figura 4.5: Diagrama relacional de actividades de Pvplast.....	49
Figura 4.6: Diagrama Relacional de actividades de Pvplast.....	50
Figura 4.7: Diagrama relacional de espacios ajustados de Pvplast.....	53
Figura 4.8: Layout propuesto A.....	54
Figura 4.9: Layout propuesto B.....	55
Figura 4.10: Layout propuesto C.....	56
Figura 4.11: Esquema jerárquico para la Selección de un Layout con AHP.....	60
Figura 4.12: Matriz de comparación entre criterios.....	61
Figura 4.13: Matriz normalizada entre criterios.....	62
Figura 4.14: Razón de Consistencia.....	63
Figura 4.15: Determinación del $n_{\text{máx}}$ para calcular el CI.....	63
Figura 4.16: Matriz de comparación, matriz normalizada y pesos de cada alternativa respecto al factor Material.....	64
Figura 4.17: Esquema jerárquico para la Selección de un Layout con sus respectivos pesos.....	65
Figura 4.18: Layout B ajustado.....	66
Figura 5.1: Comportamiento de datos proceso búsqueda de perfiles para la construcción del marco (Layout Actual).....	68
Figura 5.2: Comportamiento de datos proceso búsqueda de perfiles para la construcción del marco (Layout propuesto).....	69
Figura 5.3: Perfiles de PVC.....	70

Figura 5.4: Refuerzos .....	70
Figura 5.5: Marco .....	70
Figura 5.6: Perfiles de PVC en espera .....	70
Figura 5.7: Refuerzos en espera .....	70
Figura 5.8: Marco en espera .....	70
Figura 5.9: Source .....	71
Figura 5.10: SingleProc .....	71
Figura 5.11: Drain .....	71
Figura 5.12: EventController .....	71
Figura 5.13: Conector .....	71
Figura 5.14: Workplace .....	71
Figura 5.15: FootPath .....	71
Figura 5.16: WorkerPool .....	71
Figura 5.17: Broker .....	71
Figura 5.18: Ventana de Simulación en 2D del Layout Propuesto para la Fabricación del marco de la ventana .....	72
Figura 5.19: Vista superior del Layout Propuesto en 3D para la fabricación del marco.....	73
Figura 5.20: Vista en 3D del Layout Propuesto para la fabricación del marco.....	74

## Lista de Tablas

Tabla 1.1: Datos de la empresa.....	15
Tabla 1.2: Producción mensual periodo 2015 – 2017 .....	20
Tabla 1.3: Materia prima utilizada en Pvplast.....	24
Tabla 3.1: Fases de desarrollo del método SLP.....	40
Tabla 3.2: Pasos para el desarrollo del método SLP .....	41
Tabla 4.1: Volumen de venta por producto periodo 2015 – 2017.....	43
Tabla 4.2: Relación entre las áreas de trabajo y las operaciones del proceso productivo .....	46
Tabla 4.3: Importancia de cercanía.....	46
Tabla 4.4: Razones de cercanía .....	47
Tabla 4.5: Identificación de las actividades.....	50
Tabla 4.6: Superficie ajustada para Layout de Pvplast.....	51
Tabla 4.7: Comparativo de ventajas e inconvenientes entre Layout propuestos .....	59
Tabla 4.8: Escala de Saaty.....	61
Tabla 4.9: Peso de cada criterio considerado en el esquema jerárquico.....	62
Tabla 5.1: Cantidad de entidades que ingresaron y salieron del sistema .....	75
Tabla 5.2: Distancia promedio recorrida por los trabajadores por mes .....	75
Tabla 5.3: Distancia promedio recorrida por los trabajadores para fabricar el marco .....	76
Tabla 5.4: Tiempo acumulado promedio por estación de trabajo .....	76
Tabla 5.5: Datos estadísticos - Layout Actual.....	77
Tabla 5.6: Datos Estadísticos - Layout Propuesto .....	78

## **Resumen Ejecutivo**

El presente trabajo de título, se enfoca en la mejora de la distribución en planta de Pvplast, que es una empresa dedicada a la fabricación de puertas y ventanas de PVC, la cual presta los servicios de venta, mantención y post venta.

Actualmente su distribución en planta, presenta fuerte deficiencias en su configuración, lo que desemboca altos tiempos de producción ya que las primeras operaciones se encuentran alejadas de los centros de recepción. Se realizó un análisis del proceso mediante el método SLP, el cual, en base a una metodología secuencial de trabajo, se determinó cuál es el mejor Layout para Pvplast a partir de criterios cualitativos y cuantitativos.

A partir de la metodología SLP, se definieron tres Layout alternativos que daban solución al problema, sin embargo, a través de distintas metodologías, se determinó la mejor propuesta de distribución en planta para Pvplast, siendo esta la que se simuló en el Software Tecnomatix Plant Simulation para verificar los resultados previstos.

## Introducción

Las empresas desarrollan sus operaciones en distintos tipos de instalaciones y la configuración de éstas converge en la decisión de la distribución en planta (organización física de los factores y elementos que participan en el proceso productivo de la empresa, en la distribución de los espacios, y en la determinación de la ubicación de los distintos departamentos que forman parte de la planta) que es un elemento fundamental del plan estratégico de cualquier empresa, ya que presenta un gran desafío para la administración, porque tiene un efecto a largo plazo que no se puede revertir con facilidad. Estas decisiones no solo determinan la eficiencia de las operaciones, sino que también, el diseño y la ubicación de los puestos de trabajo, la cual debe ser la más económica, al mismo tiempo que la más segura y satisfactoria para los empleados.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, el rediseño de las instalaciones es un proceso que toda empresa en desarrollo debe adoptar, debido a que la integración de una nueva actividad o una nueva maquinaria alteran la configuración existente y es más fácil desplazar modelos sobre un papel, que desplazar edificios, máquinas e instalaciones en la realidad, es por este motivo que Muther en 1961, desarrolla un procedimiento sistemático (Systematic Layout Plannig - SLP) que establece una metodología aplicable a la resolución del problema de distribución en planta independientemente de su naturaleza a partir criterios cuantitativos y cualitativos.

Actualmente Pvplast, presenta deficiencias en su distribución en planta, debido a que no existe un orden lógico de los elementos físicos de ésta, lo que sumado a los tiempos de fabricación de sus productos, han llevado a la empresa a cuestionar su desempeño y por ende han encargado la realización de un análisis del estado actual de ésta.

Este análisis fue realizado según la metodología SLP, la cual, mediante la modelación del proceso y la determinación de los espacios utilizados y requeridos por cada elemento físico, genera una serie de Layout que permiten mejorar el desempeño de la empresa.

Este Trabajo de Título consta de los siguientes capítulos:

En el Capítulo 1, se presenta la descripción de la empresa, definiendo el modelo de negocio, la capacidad de producción, la competencia, los recursos utilizados, además de los procesos de fabricación e instalación de las ventanas de PVC.

En el Capítulo 2, se registran los problemas que se presentan en Pvplast, los cuales fueron determinados a partir de métodos y herramientas que permitieron identificar las causas que los originan. Posteriormente, se genera una descripción de los objetivos que persigue este trabajo.

En el Capítulo 3, se considera el marco teórico que da sustento a la realización del trabajo, ya que es la referencia para la aplicación de la metodología a utilizar en su desarrollo.

En el Capítulo 4 se aplicó el método SLP que permitió identificar, valorar y visualizar todos los elementos involucrados en la distribución de la planta entregando tres propuestas de Layout para Pvplast, las cuales fueron comparadas por distintos métodos para determinar cuál era la mejor alternativa.

En el Capítulo 5, se determinaron a través del Input Analyzer del Software Arena, las gráficas y distribuciones que representan el desempeño de cada proceso (tanto del Layout Actual como del Propuesto). Posteriormente se realiza el análisis de los resultados obtenidos.

Finalmente, en el Capítulo 6 se presentan las conclusiones del trabajo realizado, las cuales se determinaron en base a un análisis estadístico que validó la propuesta de distribución en planta.

# 1. La Empresa

## 1.1 Descripción de la Empresa

Pvplast, es una empresa dedicada a la fabricación de puertas y ventanas de PVC. Fue creada en el año 2014, ante la creciente demanda por ventanas ecológicas de alta durabilidad que permitan el ahorro energético y que posean propiedades de aislante térmico, además, para suplir demandas por mantención y reparación de estos productos en casas y departamentos, que a pesar de que contaban con servicios de post-venta por parte de las empresas contratadas para la ejecución de sus proyectos, éstas no las realizaba de manera adecuada.

Sus clientes, son personas naturales y Arquitectos, los cuales están dispuestos a invertir en un producto de calidad y al mejor precio posible. Además, éstos siempre cuentan con asesorías de ventas y post-ventas que son dirigidas por profesionales capacitados para entregar todo tipo de información que necesiten.

Tabla 1.1: Datos de la empresa

Nombre	Pvplast
Tipo de empresa	Manufacturera
Año de Establecimiento	2014
Dirección	Manuel Plaza #1540, Quilpué, V Región
Contacto	Gonzalo Lara Jauregui – Gerente General
Email	glara@pvplast.cl
Teléfono	032-3245219

Fuente: Elaboración propia

## 1.2 Misión

“Ofrecer a nuestros clientes una amplia gama de puertas y ventanas de PVC con los mejores estándares de calidad, brindando a su vez, garantía y confiabilidad gracias a la atención oportuna y cercana que se genera producto del establecimiento de lazos de confianza, destacando la honestidad y seriedad en los negocios” (Lara, 2014).

## 1.3 Visión

“Ser una empresa reconocida en el mercado local no solo por la calidad de las puertas y ventanas de PVC, sino que también, por la buena relación que se mantiene con el medio ambiente, empleados, proveedores y clientes” (Lara, 2014).

## 1.4 Productos elaborados en la empresa

Los productos que comercializa Pvplast, son elaborados en las medidas y formatos que el cliente necesite, entre ellos encontramos (Ver imágenes en Anexo I):

- ✓ Puertas.
  - ✓ Ventanas fijas
  - ✓ Ventanas correderas.
  - ✓ Ventanas abatir interior.
  - ✓ Ventanas abatir exterior.
  - ✓ Ventana proyectante.
  - ✓ Ventanas oscilobatientes.
- ✓ Características de los productos:
- ✓ Opciones de colores: Blanco, Nogal y Embero.
  - ✓ Fabricados con perfiles importados de alta calidad (Bauplast, Greenwin, Lowe y Winhouse).
  - ✓ El sistema de herraje empleado es de tecnología europea, con múltiples puntos de cierre.
  - ✓ Poseen un Termopanel el cual, producto de un tratamiento con sales especiales, absorbe la humedad y mejora el aislamiento acústico.
  - ✓ Sus junquillos interiores hacen que la ventana sea más segura facilitando el desmontaje del cristal o Termopanel en caso que se requiera.
  - ✓ Todos los perfiles poseen refuerzo, ya sea de acero galvanizado o de acero zincado.
  - ✓ Máxima durabilidad y mínimo mantenimiento.
  - ✓ Inalterable a la luz, intemperie y humedad.

## 1.5 Modelo de negocios

Para poder definir el modelo de negocios de Pvplast, se utiliza la metodología Canvas Model, que permite describir y analizar los diferentes aspectos de la idea de negocio a través de nueve módulos que intervienen en la creación de valor:

1. Segmento de clientes.
2. Propuesta de valor.
3. Canales de comunicación, distribución y venta.
4. Relación con el cliente.
5. Fuentes de ingreso.
6. Recursos claves.
7. Actividades claves
8. Socios claves
9. Estructura de costos

El actual modelo de negocios de Pvplast, se representa en la fig. 1.1 y se define a continuación:

✓ **Segmento de Clientes:**

En este modelo de negocios existen dos tipos de clientes. Personas naturales que tienen la necesidad de adquirir un producto que logre un ahorro térmico y acústico que mantenga la temperatura al interior del hogar impidiendo la entrada del frío, del calor y de los diversos sonidos del exterior, y Arquitectos que buscan incorporar en sus construcciones productos ecológicos, 100% reciclable, de alta durabilidad y que puedan reducir los costos tanto por un ahorro de energía gracias al aislamiento de las temperatura como también por los marcos de madera que son entre un 20 y 30% más caros que los del PVC.

✓ **Propuesta de valor:**

La propuesta de valor de Pvplast es ofrecer a sus clientes puertas y ventanas ecológicas de gran durabilidad, que permitan el ahorro energético de hasta un 50% en calefacción respecto a una ventana tradicional en la temporada invernal debido a sus propiedades de aislante térmico, con un coeficiente de conductividad térmica 1000 veces menor que el del aluminio y 26% mejor que la madera

✓ **Canales de comunicación, distribución y venta:**

Los principales canales de comunicación, distribución y venta utilizada por la empresa con los clientes son por contacto presencial o directo a través del teléfono, correo electrónico, página web de la empresa, ventas en oficinas, reuniones personalizadas, servicios de posventa y entrega de productos a domicilio.

✓ **Relación con el cliente:**

Para los dos tipos de clientes que actúan en este modelo de negocio se les entrega una atención personalizada que establece una relación transparente, honesta y directa por medio de un contrato a corto plazo que es fundamental para crear un clima confianza.

✓ **Fuente de ingreso:**

La principal fuente de ingreso de Pvplast, es por medio de la venta de puertas y ventanas de PVC. Una vez cerrado el contrato con el cliente este debe cancelar el 50% del total y el 50% restante una vez entregada la obra.

✓ **Recursos claves:**

Los recursos más importantes para el funcionamiento de este negocio son: las máquinas para fabricar los productos; el personal capacitado para que cuente con mayor conocimiento sobre sus funciones; el trabajo en equipo para que no exista una incompatibilidad en las metas personales reduciendo la cooperación de los integrantes y la comunicación interna para mejorar la efectividad de la empresa. Si estos recursos están ausentes Pvplast no puede entregar la propuesta de valor a sus clientes.

✓ **Actividades claves:**

Las actividades claves de Pvplast son: la fabricación de los productos de PVC; la búsqueda de oportunidades de negocio en nuevos mercados; evaluar las especificaciones técnicas de cada obra, dependiendo del lugar donde se emplaza, el clima, al durabilidad y la aislación para dar la mejor solución a los requerimientos del cliente y cerrar el contrato de venta cumpliendo con los plazos establecidos para poder demostrar el compromiso, la buena capacidad de organización, fidelizar al cliente, y a la vez evitar retrasos en otros proyectos.

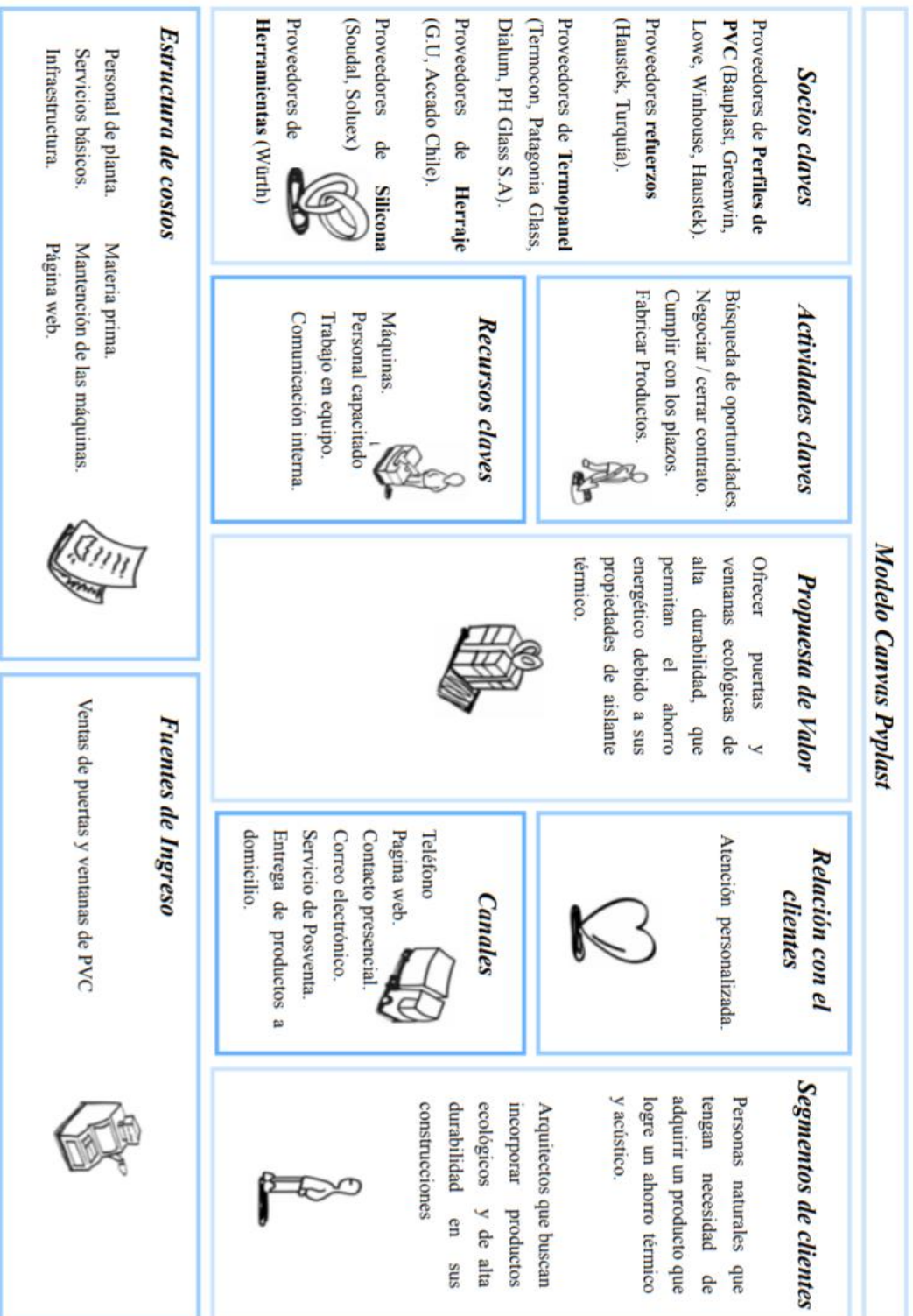
✓ **Socios claves:**

Los socios claves de Pvplast son proveedores de perfiles de PVC (Bauplast, Greenwin, Lowe, Winhouse y Haustek), de refuerzos (importados desde Turquía y Haustek,) de Termopanel (Termocon, Patagonia Glass, Dialum, y PH Glass S.A), de Herraje (G.U y Accado Chile), de Silicona (Sodal y Soluex) y de Herramientas (Würth). Gracias a ellos se puede ofrecer un producto de calidad a precios competitivos.

✓ **Estructura de costos:**

Dentro de los costos en los que se incurre al operar el modelo de negocio es posible detectar el personal de planta, los servicios básicos, la infraestructura, la materia prima, la mantención de las máquinas y la página web.

Figura 1.1: Modelo Canvas de Pyplast



Fuente: Elaboración propia

## 1.6 Capacidad de producción

Según el Gerente de Pvplast, la capacidad de producción que se puede obtener de este proceso productivo, es de 120 unidades mensuales. Durante el año 2016, los trabajadores realizaron en promedio 40 ventanas mensuales, lo que se traduce en el 33,33% de la capacidad total.

Cabe destacar que el sistema de producción que adopta la empresa, es un sistema tradicional de producción por pedido, donde las puertas y ventanas son elaboradas en las medidas y diseño que el cliente necesite.

La tabla que se presenta a continuación, muestra la cantidad de ventanas fabricadas durante los años 2015, 2016, 2017 y 2018.

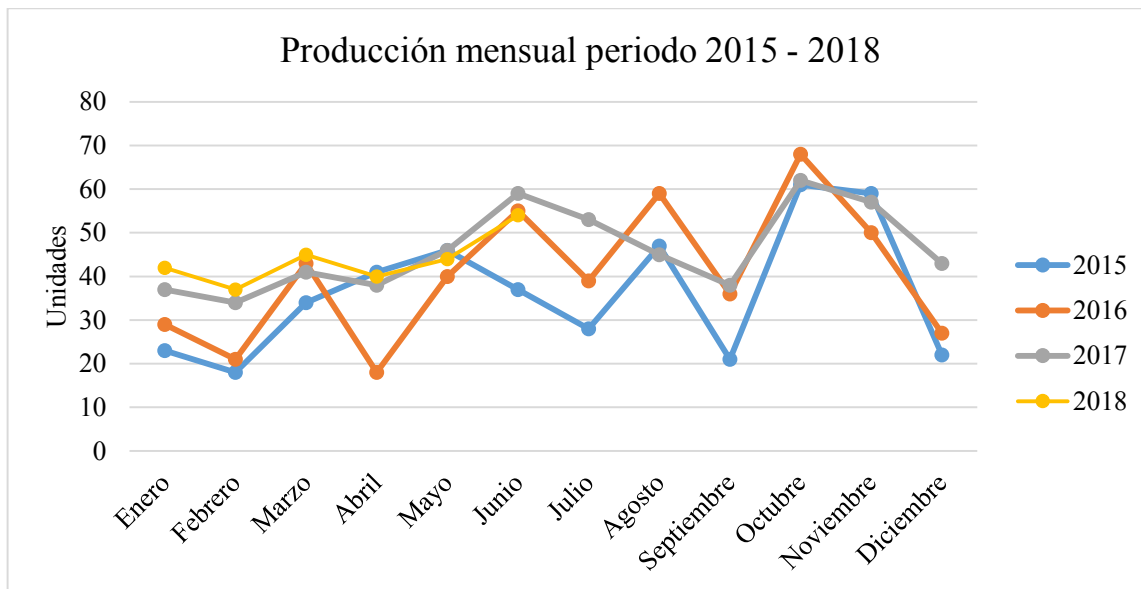
Tabla 1.2: Producción mensual periodo 2015 – 2017

Mes	Producción 2015 ("u")	Producción 2016 ("u")	Producción 2017 ("u")	Producción 2018 ("u")
Enero	23	29	37	42
Febrero	18	21	34	37
Marzo	34	43	41	45
Abril	41	18	38	40
Mayo	46	40	46	44
Junio	37	55	59	54
Julio	28	39	53	
Agosto	47	59	45	
Septiembre	21	36	38	
Octubre	61	68	62	
Noviembre	59	50	57	
Diciembre	22	27	43	
<b>Total</b>	<b>437</b>	<b>485</b>	<b>553</b>	<b>262</b>
Promedio	36	40	46	44

Fuente: Pvplast

Para poder visualizar de mejor manera la cantidad de ventanas fabricadas durante el periodo 2015 - 2018, se realiza el siguiente gráfico (Figura 1.2):

Figura 1.2: Producción mensual periodo 2015 - 2018



Fuente: Elaboración propia, adaptada de información entregada por Pvplast

Según la Figura 1.2, la producción mensual que presentó Pvplast durante el periodo 2015 - 2018 no es constante a través del tiempo.

En general, durante el año 2017 la producción de esta empresa aumentó entre 2 y 20 unidades respecto al 2016, sin embargo, durante los meses de marzo, agosto y octubre se fabricó una menor cantidad de ventanas, disminuyendo en 2, 14 y 6 unidades respectivamente.

Durante los primeros cuatro meses del 2018, se ha producido un aumento en la cantidad de ventanas fabricadas entre 5,3 y 13,5% respecto al 2017, sin embargo, durante los meses de mayo y junio, la producción disminuyó en 4,4 y 8,5% respectivamente, lo que se traduce en 2 y 5 unidades menos respecto al año anterior.

La menor cantidad de ventanas y/o puertas realizadas por los trabajadores de la empresa fueron 18 unidades durante febrero de 2015 y abril de 2016 lo que se tradujo en el 15% de su capacidad de producción, sin embargo, en octubre (mes en el que se fabricaron más ventanas durante el periodo de 2015 - 2017) ésta aumentó entre 50,83 y 56,67% respectivamente, donde se elaboraron más de 61 unidades.

## 1.7 Competencia

El principal competidor directo de Pvplast es Ancozam, una pequeña empresa destinada a la Fabricación de ventanas de PVC, ubicada en Av. Séptima 360, Viña del Mar, V Región.

A demás de Ancozam, existen grandes competidores como:

- ✓ **Terramar**, primera fábrica creada en la V región, de puertas y ventanas de PVC con tecnología Alemana. Su casa Matriz se encuentra ubicada en 3 Norte #1230, Viña del Mar, y su Fábrica en el Camino Internacional, Parcela F-9 Sur, Concón, V Región.
- ✓ **Alcamar**, empresa que busca satisfacer las necesidades y expectativas de sus clientes en la fabricación de ventanas de PVC, ubicada en Av. Concón Reñaca #340, Concón, V Región.
- ✓ **Veka**, empresa presente en 22 países, consolidándose como líder mundial en el desarrollo de sistemas de perfiles para puertas y ventanas de PVC. Durante su trayectoria ha desarrollado proyectos especiales para el Banco de Chile, el Hotel Inca Los Andes, Hotel Remota Patagonia y Edificio Concepto Urbano. Su casa Matriz se encuentra ubicada en Los Nogales 661, Condominio Industrial, Segunda Orbital, Lampa, Santiago.
- ✓ **Europfiles**, empresa con presencia a nivel nacional y centrado en un fuerte proceso de expansión con más de 10.000 obras instaladas a lo largo de Chile gracias a la ubicación de sus sucursales. En Viña del Mar se encuentra en Parcela 520, Ruta 60 CH, Reñaca.
- ✓ **Haustek**, empresa que entrega asesoría calificada en ventanas de PVC, para dar una solución adecuada ante las necesidades de sus clientes. Se encuentra ubicada en Av. Estoril 50 Oficina 811-B, Las Condes. Santiago
- ✓ **Solven**, empresa con más de seis años de experiencia, dedicada a dar soluciones a las distintas necesidades de fabricación de puertas y ventanas de PVC. Se encuentra ubicada en San Pablo 9220, Pudahuel, Santiago.

## **1.8 Recursos productivos**

### **✓ Recursos Humanos**

Pvplast, está conformada por 4 personas, 3 operarios, que están encargados de la fabricación e instalación de las puertas y ventanas de PVC (Mano de Obra Directa) y el dueño, el cual no solo se hace cargo del área Administrativa de la empresa, sino que también del área de Logística, Abastecimiento, Marketing y Ventas.

La idea de Pvplast, fue invertir en tecnología para disminuir los gastos en Recursos Humanos. Es por este motivo la cantidad de operarios contratado. Sin embargo, esto ha generado una serie de problemas en el proceso productivo los que incluso han hecho peligrar a la empresa.

### **✓ Recursos Físicos**

Para poder llevar a cabo el proceso productivo de las puertas y ventanas de PVC, la empresa cuenta con diferentes máquinas, las que se pueden visualizar en el Anexo II, el cual detalla las características de cada una de éstas.

### **✓ Materia prima necesaria para la fabricación de puertas y ventanas de PVC**

La cantidad de materia prima que se utiliza en la empresa para ser transformada en puertas y ventanas de PVC, depende netamente del producto que se desea fabricar y del tamaño y especificaciones que el cliente requiera.

En la siguiente tabla, se puede observar la materia prima que utiliza la empresa para poder fabricar los productos que ofrece.

Tabla 1.3: Materia prima utilizada en Pvplast

Materia Prima	Descripción
Perfiles de PVC	Son de 6 m. de largo e importados desde Turquía, poseen excelentes cualidades como aislante térmico, ya que su coeficiente de conductividad térmica es mil veces menor que el del aluminio y 26% mejor que la madera. Su implementación reduce el gasto energético en calefacción desde un 15% hasta un 45%. Además, el PVC es un producto ecológico por ende es 100% reciclable. Cabe destacar que los perfiles no son inflamables, no requieren mantenimiento, son fácil de limpiar y poseen una alta durabilidad.
Refuerzos	Son perfiles de Acero galvanizado que se utiliza para reforzar el PVC frente a fuertes presiones de viento, su medida y forma depende netamente del producto que se está fabricando. Los refuerzos se cortan generalmente a testa, se introducen en los perfiles de PVC y se fijan con tornillos adecuados cada 30/40 cm.
Tornillos	Para fijar el refuerzo en los perfiles de PVC, se utiliza un tornillo de Acero de 3.9 mm, el cual se adquiere en cajas de 1000 unidades. Para instalar las manillas, se utiliza un tonillo de Acero de 5.0 mm, el que se vende por unidad. En cambio, para la instalar las puertas y ventanas de PVC en la obra, se utiliza un tornillo de Acero de 7.5 mm, el cual permite el montaje del marco al muro y se vende en cajas de 100 unidades.
Felpa	Tiene un espesor de 5.7 mm y se pone en las hojas de las puertas y ventanas con la finalidad de tapar las filtraciones, aislando la habitación del viento y polvo exterior.
Cremona	Es una cerradura de 3 puntos con una longitud variada que al ser accionada por la manilla bloquea la apertura de la pieza que se está fabricando.
Carros	Es un patín sólido con carcasa de acero que permite que las hojas de las ventanas se deslicen de manera suave y silenciosa. Soportan hasta 50 kg, son adaptables a cualquier perfil y se encuentra disponible en dos alturas fijas 17 y 21 mm.
Estanqueidades	Es una pieza rectangular de PVC que se coloca entre la hoja y el marco de las ventanas creando una superficie que evita el paso del agua al interior del material en caso de lluvia.
Riel	Es una barra metálica que actúa como soporte de la hoja de la ventana y que permite a las ruedas de los carros desplazarse sin inconvenientes.
Junquillos	Permite evitar tensiones en las esquinas de los vidrios de las ventanas, asegurando que el desmontaje del cristal o Termopanel en caso que se requiera sea más fácil, además mejora la estética del producto.
Traslapos	Se ponen en un extremo de la hoja para otorgar el aislamiento y la estanqueidad de la ventana.
Embellecedores	Sirven para ocultar la cabeza de los clavos y tornillos y de esta manera obtener un resultado más estético. El color que se utiliza (Blanco o Marrón) depende de la pieza que se está fabricando.

Manilla	Son utilizadas para generar la activación de mecanismos de cierre o apertura. La manilla que se utiliza es marca G-U y depende netamente del producto que se está fabricando.
Cilindros	Son de bronce niquelado, resistentes al desgaste y vienen con 3 llaves de acero más sus tornillos de sujeción.
Kit OB.	Permite convertir ventanas tradicionales en OB con 5 puntos de cierre. Incluye el compás (según medida de la hoja) + Reglas dentadas pre mecanizadas + Bisagras + Escuadra de reenvío falsa maniobra + Cierre unión de cremona + Cremona OB + Encuentro de cierre regulable + Calzo de apoyo + Manilla.
Brazos Proyec.	Son de acero inoxidable permite retener la hoja en una apertura de 25 a 30°.
Silicona	Se utiliza para sellar los vidrios en las puertas y ventanas de PVC. Posee una gran elasticidad y resistencia a los agentes climáticos.
Cuñas	Se utilizan para acristalar las ventanas de PVC ya que se colocan entre el cristal y el perfil, con la finalidad de inmovilizar el vidrio en la posición correcta.
Vidrio	El vidrio incorporado en las ventanas de PVC, es un Termopanel que producto de un tratamiento con sales especiales, absorbe la humedad y mejora el aislamiento acústico. El espesor de los cristales y su separación depende de los requerimientos del cliente.

Fuente: Elaboración propia

Para poder comprender mejor los elementos antes mencionados, se recomienda ver las imágenes de éstos en el Anexo III.

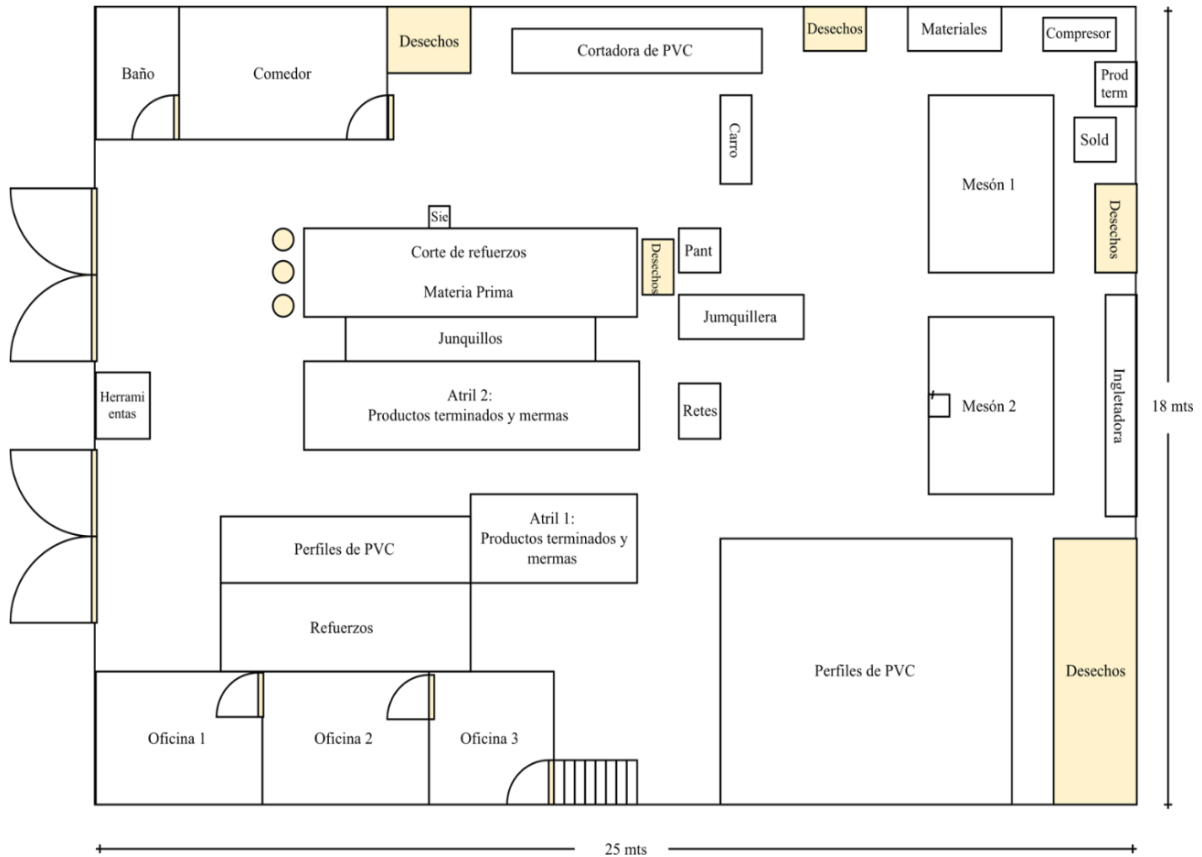
## 1.9 Proceso de fabricación

### 1.9.1 Distribución de la planta

La distribución de los elementos físicos de la empresa, fueron adecuados a la edificación existente, ya que al ser un lugar alquilado eran pocos los cambios que se podían realizar. Sin embargo, se construyeron tres oficinas, un comedor y 2 baños (uno abajo de las oficinas) en la planta, con la finalidad de proporcionar un lugar de trabajo apropiado para los operarios y administrativos de la empresa y a su vez para brindar una mejor atención al cliente.

En la figura 1.3, se muestra la distribución física de todos los elementos que forman parte de la empresa. Las dimensiones que presentan cada uno de ellos se pueden observar en el Anexo IV.

Figura 1.3: Plano de Pvplast



Fuente: Elaboración propia

Si bien, este plano muestra la distribución de los elementos físicos de Pvplast, se puede apreciar que existe una gran cantidad de materiales acopiados en sus dependencias, inhabilitando el paso en dos de los cuatro pasillos existentes (áreas ocupadas por junquillos y refuerzos) debido a la falta de espacio y a la gestión de inventario (a veces se compra material que ya se posee). Además, se identifican las superficies que poseen una mayor cantidad de desechos, donde es necesario destacar que existen muchos de éstos en el piso producto de la falta de compromiso por parte de los operarios para mantener el orden y la limpieza en el sitio de trabajo. Esto se puede visualizar de mejor manera en las Fig. 1.4 (Pasillo inhabilitado por el acopio de Junquillo), Fig. 1.5 (Pasillo inhabilitado por el acopio de refuerzos), Fig. 1.6 (Acopio de perfiles de PVC) y Fig. 1.7 (Desechos presentes en la empresa).

Figura 1.4: Pasillo inhabilitado por el acopio de Junquillos



Fuente: Elaboración propia

Figura 1.5: Pasillo inhabilitado por el acopio de refuerzos



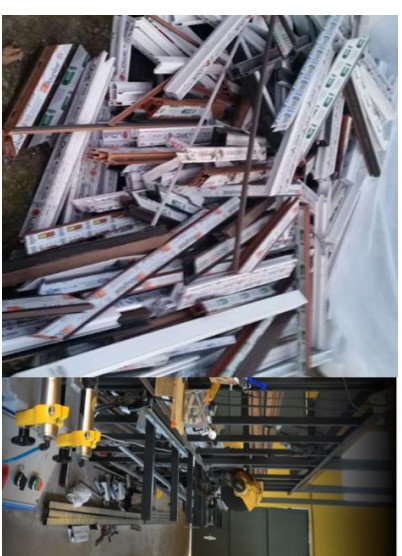
Fuente: Elaboración propia

Figura 1.6: Acopio de Perfiles de PVC



Fuente: Elaboración propia

Figura 1.7: Desechos presentes en la Empresa



Fuente: Elaboración propia

## **1.9.2 Diagrama del proceso**

### **1.9.2.1 Cursograma sinóptico**

Este diagrama, muestra la secuencia cronológica de todas las operaciones e inspecciones que se realizan en el proceso (exceptuando demoras, transportes y almacenamiento), así como también todas las aportaciones de materia prima y subensambles hechos al producto principal.

A continuación, se describen todas las operaciones que realiza el personal de la empresa para fabricar una ventana corredera:

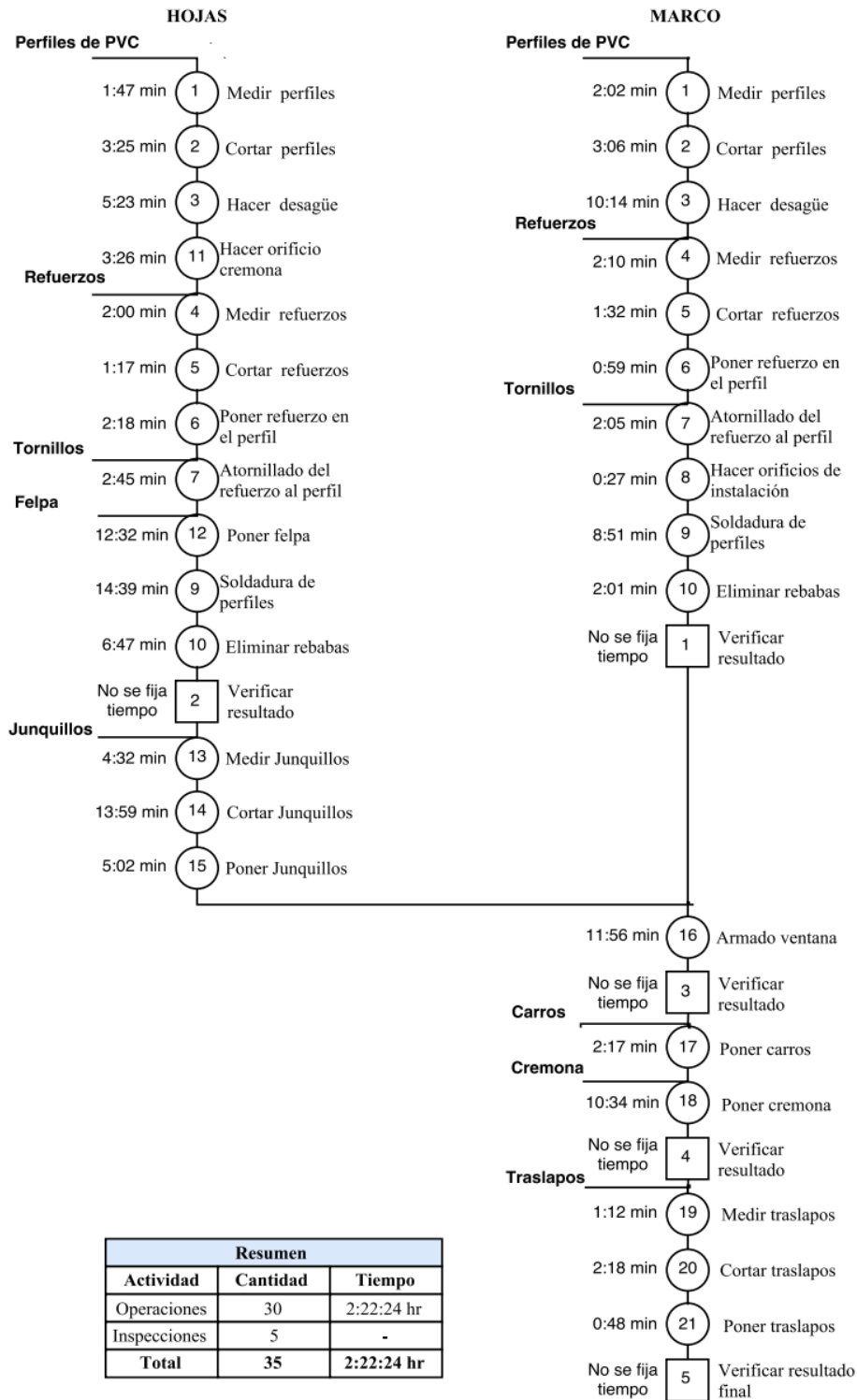
1. Medir perfiles: se determina la longitud que deben poseer los perfiles de PVC para realizar la ventana que desea el cliente.
2. Cortar perfiles: se cortan los perfiles de PVC en la medida señalada por el cliente.
3. Hacer desagüe: se realizan desagües en el perfil superior e inferior de cada marco y cada hoja de la ventana, con la finalidad de que el agua que se acumule en ésta cuando llueva, salga al exterior y no se filtre, es así como también impiden que el aire frío entre en la estructura.
4. Medir refuerzos: se determina la longitud que deben poseer los refuerzos de Acero galvanizado, generalmente es 20 cm menor que el largo del perfil de PVC.
5. Cortar refuerzos: se cortan los refuerzos en la medida adecuada para dar firmeza al perfil de PVC.
6. Poner refuerzo en el perfil: el operario introduce el refuerzo de Acero galvanizado en el perfil de PVC, adecuándolo de tal manera que quede a 10 cm del extremo del perfil.
7. Atornillado del refuerzo al perfil: se atornilla el refuerzo al perfil con la finalidad de dar una mayor rigidez a la ventana ante fuertes presiones de viento.
8. Hacer orificios de instalación: se utiliza un taladro para realizar los orificios que van a facilitar el proceso de instalación de las ventanas en la obra.
9. Soldadura de perfiles: se soldan los extremos de los perfiles para formar una esquina del marco u hoja de la ventana.
10. Eliminar rebabas: los operarios realizan la limpieza de la materia que sobresale de manera irregular en los bordes o superficies de las hojas o del marco.
11. Hacer orificio cremona: el operario realiza por medio del pantógrafo el orificio de la cremona que permitirá accionar o bloquear la apertura de la ventana una vez que ésta sea armada.
12. Poner felpa: los operarios ponen felpa en las hojas de la ventana con la finalidad de tapar las filtraciones, aislando la habitación del viento y polvo exterior.
13. Medir Junquillos: se miden los cuatro lados interiores de las hojas de la ventana para determinar el largo a los cuales se debe cortar los junquillos.
14. Cortar Junquillos: se hace uso de la máquina Junquilladora para cortar el material.

15. Poner Junquillos: se adhieren a presión los junquillos en los lados interiores de las hojas de la ventana con la finalidad de evitar tensiones en las esquinas de los vidrios.
16. Armado de ventana: en esta etapa se ponen las estanqueidades en el marco de la ventana creando una superficie que evita el paso del agua al interior del material en caso de lluvia, posteriormente se colocan las hojas en el marco de la ventana para ver si ha quedado bien fabricada, además a presión se adhiere el riel en éste para permitir a las ruedas de los carros desplazarse sin inconvenientes
17. Poner carros: en este caso, al ser una ventana corredera de 2 hojas, una de ellas permanece fija y la otra es la que se desliza (hoja que tiene el orificio de la cremona), es por esto que para cumplir esa función se debe sacar del marco y atornillar en su parte externa inferior un carro. Luego se vuelve a dejarla en su posición.
18. Poner cremona: se atornilla la cremona en lado exterior de la hoja corredera, luego, se pone el cilindro en el orificio de la cremona y posteriormente se pone la manilla para verificar si permite la activación del mecanismo de cierre o apertura, sin embargo, ésta es sacada de la ventana para evitar que se pierda durante el transporte de los elementos a la obra.
19. Medir traslapos: se mide el alto de la hoja fija para determinar la dimensión que debe poseer el traslapo.
20. Cortar traslapos: se hace uso de la máquina retestadora para cortar el traslapo haciéndole un saque en sus extremos para que entre en el perfil del marco.
21. Poner traslapos: el traslapo se adhiere a presión en el perfil alto de la hoja fija permitiendo el aislamiento y la estanqueidad de la ventana.

Para complementar la información antes mencionada y representarla en el cursograma sinóptico correspondiente a la Figura 1.8, se utilizan los tiempos que han tardado los operarios en fabricar una ventana corredera de 1755 x 1070 mm (ancho x alto respectivamente). Estos datos han sido extraídos de las Tablas que se encuentran en el Anexo V y se han medido con la finalidad de determinar el tiempo que invierten los trabajadores en realizar un producto determinado.

Es necesario destacar que antes de realizar cada una de estas operaciones, el cliente primero realiza una cotización de los productos a través de la página web o por medio de una visita a la empresa y posteriormente si queda conforme con el presupuesto entregado, se les facilita las medidas de cada ventana a los operarios para que puedan comenzar con la fabricación de éstas.

Figura 1.8: Cursograma Sinóptico de Pvplast



Fuente: Elaboración propia

El Cursograma sinóptico de la figura 1.8 muestra el proceso para fabricar una ventana corredera que conlleva a la ejecución de 35 actividades (30 operaciones y 5 inspecciones) independientes de las dimensiones que ésta tenga y el tiempo que tardaran los operarios en realizar cada una de éstas, dependerá netamente de las longitudes y de las distancias entre el material y las máquinas.

Las primeras 10 operaciones que se realizan para fabricar el marco de la ventana corredera, también se ejecutan en la confección de las hojas de ésta, demandando un mayor tiempo y dedicación, debido a que son dos hojas las que se deben construir (de 878 x 1079 mm de dimensión cada una).

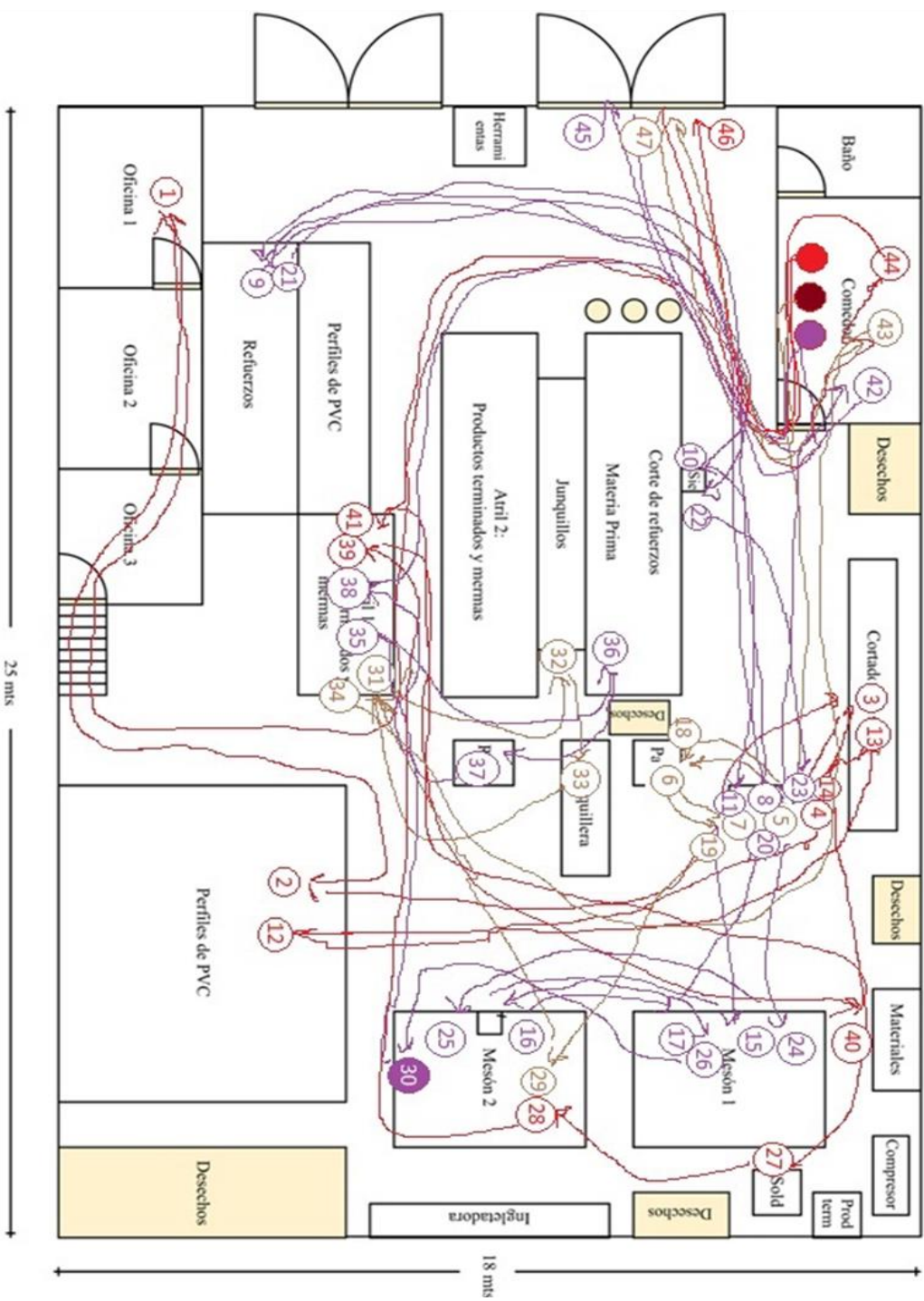
En este caso, el tiempo que ha demandado a los operarios realizar esta ventana corredera, corresponde a un total de 2:22:24 h., lo que se traduce en: 33:27 min destinados para fabricar el marco, 1:19:52 h. para construir las hojas y 29:05 min para los procesos generados después del ensamble del producto. Durante toda la ejecución del proceso, se realizan solo 5 inspecciones a las cuales no se les fija tiempo.

### **1.9.2.2 Diagrama Spaghetti**

Este tipo de diagrama representa visualmente el movimiento que realizan los operarios dentro de su puesto de trabajo al fabricar una ventana de PVC.

El recorrido que se realiza a diario, es simbolizado por una serie de líneas dentro del plano de la empresa (Figura 1.9), donde se puede observar la dirección y el orden de la secuencia de los pasos de los trabajadores, los cuales están representados por 3 colores, para poder visualizar de mejor manera las tareas que desempeñan cada uno de ellos, sin embargo, es necesario destacar que muchas de estas actividades se realizan en forma paralela.

Figura 1.9: Diagrama Spaghetti



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los puntos plasmados en la Fig. 1.9, queda demostrado que la distribución en planta que posee la empresa no es la adecuada, ya que el recorrido que realizan los operarios para transformar la materia prima no solo presenta retrocesos durante la fabricación del producto, sino que también, puntos donde existe la mayor acumulación de tránsito, extensas distancias entre las máquinas y la materia prima, además de máquinas y áreas sin utilizar.

El recorrido presentado en el diagrama spaghetti corresponde a la fabricación de una ventana corredera, valor que puede variar producto de la inestabilidad de la demanda ante estos objetos, es decir, hay días en que no se elabora ninguna ventana, como también días en que se pueden llegar a construir hasta 3 de éstas, lo que aumentaría al triple la ruta que utilizan los operarios.

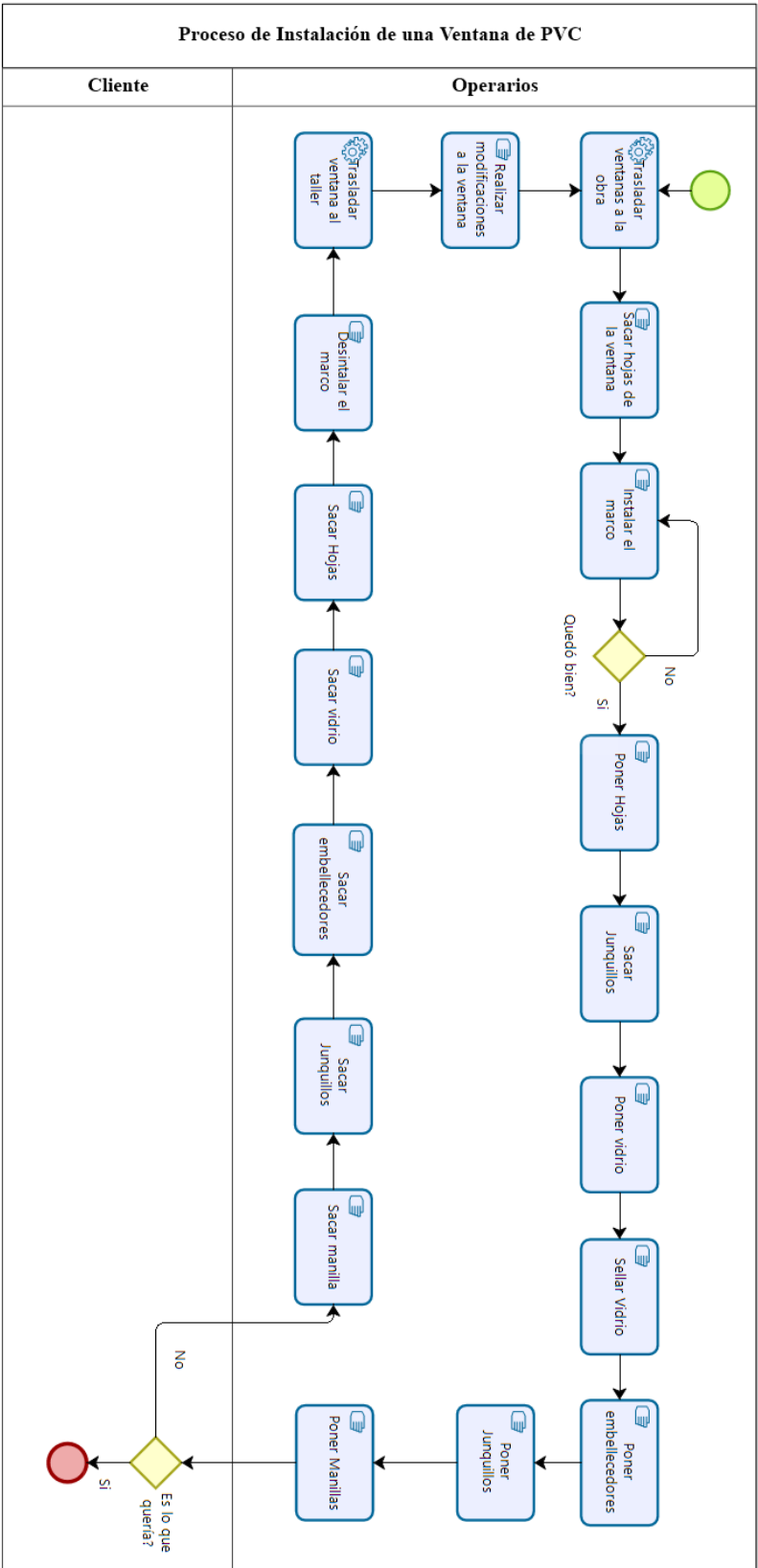
Es necesario destacar que desde el punto 2 al 30 de la Fig. 1.9, se repite al menos dos veces más el recorrido que realizan los operarios, lo que representa la fabricación de las hojas de la ventana corredera.

## **1.10 Proceso de instalación**

El proceso de instalación de los productos que fabrica Pvplast se muestra en la Fig. 1.10 y es realizado por los operarios de la empresa.

Este proceso, inicia con el traslado de la ventana a la obra donde se separan las hojas del marco para poder comenzar con la instalación de éste. Una vez ya adherido a la muralla se verifica si ha quedado bien, de ser así, se ponen las hojas y se sacan los junquillos de ellas para poder colocar el vidrio y sellarlo para que quede firme. Luego, se van poniendo embellecedores para tapar los tornillos que quedan a la vista de las personas mejorando la estética de la ventana. Para finalizar, los operarios ponen los junquillos en las hojas y la manilla correspondiente mientras que el cliente inspecciona el trabajo realizado preguntándose si es lo que realmente quería, de ser un sí la respuesta se da término al proceso. En cambio, si no es lo que esperaba, los operarios deben sacar cada uno de los objetos instalados y trasladar la pieza al taller para hacer las modificaciones correspondientes y luego comenzar nuevamente con el proceso hasta cumplir las expectativas del consumidor. Cabe destacar que esta acción ocurre por lo menos una vez al mes, lo que se traduce en una modificación de 3 a 5 productos fabricados, equivalentes al 15% del margen de error que presentan los operarios.

Figura 1.10: Diagrama del Proceso de Instalación de una Ventana de PVC



Fuente: Elaboración propia

## **2. Registro de Problemas de Pvplast**

Para poder establecer el registro de los problemas que presenta Pvplast, se utilizó un mapa mental (Fig. 2.1) con la finalidad de plasmar y ordenar todas las causas generadas por un inadecuado layout, lo que produce tanto a corto como largo plazo pérdidas económicas en la empresa.

### **2.1 Descripción del problema**

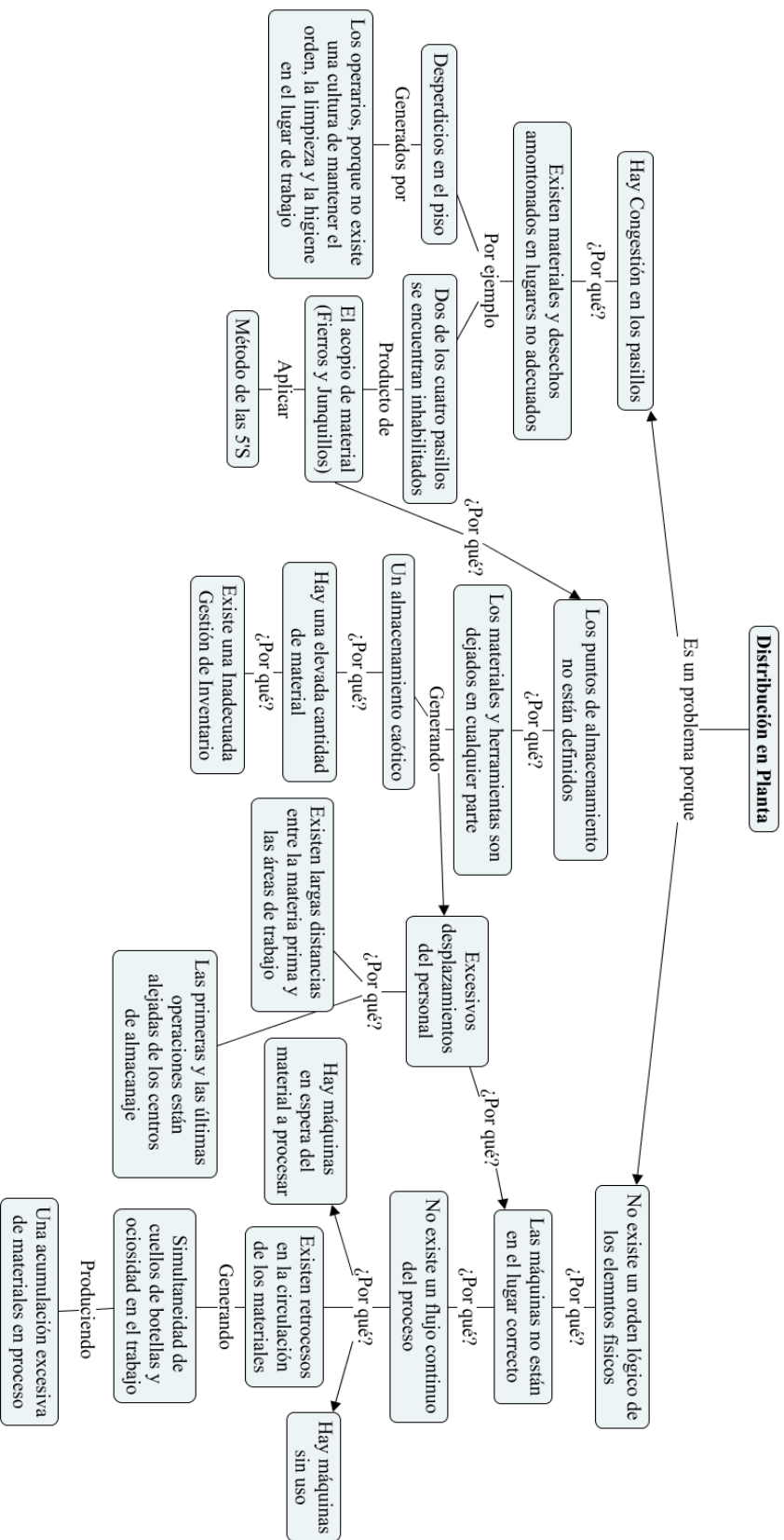
#### **2.1.1 Descripción General**

El problema que presenta Pvplast, está relacionado netamente con la distribución física que existe dentro de la planta producto de un inadecuado Layout, a raíz de esto, se desencadena una serie de inconvenientes que afectan directamente al proceso productivo como por ejemplo: la ubicación de las maquinarias que generan retrocesos en la circulación de los materiales al fabricar un producto impidiendo un flujo continuo del proceso, los largos recorridos que deben realizar los operarios para ir en la búsqueda de la materia prima y llevarla al área de trabajo, tardando alrededor de 1:15:00 h/día debido a que las primeras operaciones se encuentran alejadas de los centros de recepción y que los materiales y herramientas son dejados en cualquier parte, creando un almacenamiento caótico debido a la gran cantidad de materia prima acopiada en la empresa (\$35.000.000 aproximadamente) por falta de una implementación de Gestión de inventario, esto a su vez, permite que se produzca una congestión en los pasillos que inhabilita el paso en 2 de 4 de ellos. Esta empresa, además, no ha tomado en consideración algunos aspectos de seguridad para sus trabajadores, como, por ejemplo: no están delimitadas las vías de circulación y señalizadas las salidas de emergencias, no cuentan con EPP y tampoco con elementos de primeros auxilios, por ende esta nueva distribución será un gran aporte para la seguridad de los operarios.

#### **2.1.2 Formulación de la pregunta de investigación**

Para dar solución a esta situación problema, la pregunta de formulación es la siguiente: ¿Qué propuesta de diseño y distribución en planta le permitirá a Pvplast aprovechar su infraestructura, de manera que se optimice el tiempo de fabricación de las puertas y ventanas de PVC?

Figura 2.1: Problemas de Pypplast



Fuente: Elaboración propia

### **2.1.3 Justificación**

Para Pvplast es importante contar con una adecuada configuración en planta para fabricar sus productos, ya que esto le permitirá corregir la situación problema que hoy en día enfrentan como empresa, donde el almacenaje de la materia prima se encuentra alejada al menos 12 mts de la zona de operación, ocasionando retrasos no solo en la línea productiva por las continuas demoras en los desplazamientos de los materiales (en promedio 1:15:00 h/día), sino que también, en las fechas de entregas de sus productos (entre 4 y 30 días), lo que genera tiempos muertos en su proceso. Cabe destacar, que los espacios utilizados para la fabricación de puertas y ventanas de PVC, presentan fallas en el ordenamiento tanto de los materiales como de las máquinas, lo que dificulta el tránsito y desempeño de los trabajadores. Con esta nueva distribución en planta, Pvplast desea disminuir la búsqueda de material en un 70% para mejorar sus utilidades.

## **2.2Objetivos**

### **2.2.1 Objetivo General**

Diseñar un Layout para la empresa Pvplast que reduzca el tiempo de fabricación de puertas y ventanas de PVC.

### **2.2.2 Objetivos Específicos**

- ✓ Rediseñar el proceso de producción de ser necesario.
- ✓ Establecer relaciones de proximidad de las distintas actividades del proceso.
- ✓ Seleccionar una alternativa de Layout que permita mejorar el proceso productivo de Pvplast disminuyendo los desplazamientos de los operarios.

## 3. Marco Teórico

### 3.1 Distribución en planta

Según Richard Muther (Muther, 1970) la distribución en planta permite hallar una ordenación de las áreas de trabajo y del equipo, que sea la más económica para el trabajo, al mismo tiempo que la más segura y satisfactoria para los empleados.

Su objetivo general es disponer de estos elementos de tal manera que aseguren un flujo de trabajo continuo y que permita fabricar el producto a un costo suficientemente reducido para venderlo con un buen margen de beneficio a sus clientes.

Cabe destacar que con una adecuada distribución en planta no solo se logra obtener el óptimo funcionamiento de las instalaciones, sino que también, potencia la eficiencia de la empresa y minimiza los costos del proceso.

Las ventajas de una buena distribución en planta se traducen en la reducción del costo de fabricación, como resultado de los siguientes puntos:

- ✓ Reducción del riesgo para la salud y aumento de la seguridad de los trabajadores.
- ✓ Elevación de la moral y la satisfacción del personal.
- ✓ Incremento de la producción.
- ✓ Disminución de los retrasos en la producción.
- ✓ Ahorro de área ocupada (Áreas de Producción, de Almacenamiento y de Servicio).
- ✓ Reducción del manejo de materiales.
- ✓ Una mayor utilización de la maquinaria, mano de Obra y/o de los servicios.
- ✓ Reducción del material en proceso.
- ✓ Acortamiento del tiempo de fabricación.
- ✓ Reducción del trabajo administrativo y del trabajo indirecto en general.
- ✓ Logro de una supervisión más fácil y mejor.
- ✓ Disminución de la congestión y confusión.
- ✓ Disminución del riesgo para el material o su calidad.
- ✓ Mayor facilidad de ajuste a los cambios de condiciones.
- ✓ Otras ventajas diversas.

Sin embargo, condensa esta lista en 6 Objetivos básicos:

1. Integración conjunta de todos los factores que afecten a la Distribución.
2. Movimiento del material según distancias mínimas.
3. Circulación del trabajo a través de la planta.
4. Utilización efectiva de todo el espacio.
5. Satisfacción y seguridad de los trabajadores.
6. Flexibilidad de ordenación para facilitar cualquier reajuste.

### **3.1.1 Tipos de distribución en planta**

Existen tres diseños fundamentales en la distribución de planta: orientada al proceso, orientada al producto y de componente fijo. Estos diseños se diferencian entre sí por los tipos de flujos de trabajo que implican, el cual a su vez se determina por la naturaleza del producto.

#### **✓ Distribución de planta orientada al proceso.**

Son adecuadas para operaciones intermitentes cuando los flujos de trabajo no están normalizados, es decir, cuando se fabrica una gama de productos diferenciados o se elabora un tipo de producto básico con muchas posibles variantes de proceso. En este tipo de distribución, los departamentos de trabajos involucrados se agrupan por el tipo de función que realizan, los almacenes de distribución y universidades, se diseñan siguiendo este esquema (Adam & Ebert, 1991).

#### **✓ Distribución de planta orientada al producto.**

Este tipo de distribución se adopta cuando se fabrica un producto estandarizado, en gran volumen. Cada una de las unidades en producción requiere la misma secuencia de operaciones principio a fin. Los servicios de lavado automático de automóviles y las plantas embotelladoras de bebidas, emplean este tipo de distribución (Adam & Ebert, 1991).

#### **✓ Distribución de planta por componente fijo.**

Este tipo de distribución se requiere cuando a causa del tamaño u otra característica no es posible desplazar el producto, es decir, no cambia de lugar, por ende las herramientas, equipo y fuerza de trabajo se llevan hasta él según se requiera. La construcción de barcos, locomotoras y aviones a menudo son de este tipo (Adam & Ebert, 1991).

## **3.2 Métodos para la planeación de distribución de planta**

La distribución de planta es un problema común que se ha estudiado mediante varios métodos para que sea eficiente, productiva y que a su vez disminuya los costos.

Entre los métodos que existen para la planeación de una distribución en planta, se encuentra la Metodología SLP.

### 3.2.1 Metodología SLP (Systematic Layout Plannig)

Esta metodología fue desarrollada por Richard Muther en 1961 como un procedimiento sistemático multicriterio, aplicable a distribuciones completamente nuevas como a distribuciones de plantas ya existentes.

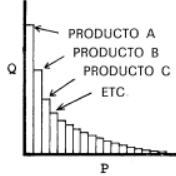
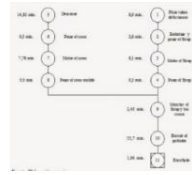
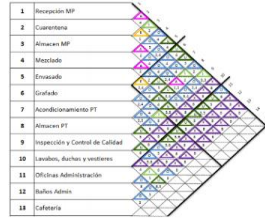
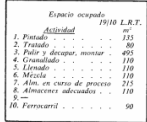


Ha sido una de las metodologías más aceptada y utilizada para solucionar problemas de distribución en planta a partir de criterios cualitativos, ya que incorpora el flujo de materiales en el estudio de distribución organizando el proceso de planificación total de manera racional, estableciendo una serie de fases (Tabla 3.1) y pasos (Tabla 3.2) que permiten identificar, valorar y visualizar todos los elementos involucrados en la implantación y las relaciones existentes entre ellos.

Tabla 3.1: Fases de desarrollo del método SLP

Fase I <b>Localización</b>	Fase II <b>Distribución General</b>	Fase III <b>Distribución Detallada</b>	Fase IV <b>Instalación</b>
Se decide la ubicación de la planta a distribuir	Se establece el patrón básico para el área que va a ser distribuida, indicando el tamaño, la relación y la configuración de cada actividad principal o departamento. El resultado de esta fase es un bosquejo o diagrama a escala de la futura planta.	Es la preparación del plan de distribución donde se planifica en qué lugar van a ser colocados los puestos de trabajos y las máquinas.	Implica los movimientos físicos y ajustes necesarios a medida que se van colocando los equipos y máquinas, para lograr la distribución física planeada.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2: Pasos para el desarrollo del método SLP

Fase II	<b>Análisis P - Q</b>	
	<b>Paso 1</b>	<p>Recolectar y analizar información sobre los procesos que se llevan a cabo en la planta y los productos que se elaboran. A partir de éste análisis es posible determinar el tipo de distribución adecuada para el proceso en estudio. Muther (1981) recomienda la elaboración de un gráfico en el que se representen en abscisas los diferentes productos a elaborar y en ordenadas las cantidades de cada uno.</p> 
	<b>Recorrido de los productos</b>	
	<b>Paso 2</b>	<p>Analizar las interacciones que se presentan en las áreas o los departamentos que van a organizarse determinando la secuencia y cantidad de los movimientos de los productos por las diferentes operaciones durante su procesado. A partir de la información del proceso productivo y de los volúmenes de producción, se elaboran gráficas y diagramas descriptivos del flujo de material.</p> 
	<b>Relación entre actividades</b>	
	<b>Paso 3</b>	<p>Plantearse el tipo y la intensidad de las interacciones existentes entre las diferentes actividades productivas, los medios auxiliares, los sistemas de manipulación y los diferentes servicios de la planta. Para poder representar las relaciones encontradas, se emplea el gráfico de relaciones el que consiste en un diagrama de doble entrada en el que quedan plasmadas las necesidades de proximidad entre cada actividad.</p> 
<b>Diagrama relacional de recorrido y/o actividades</b>		
<b>Paso 4</b>	<p>Construir un diagrama de relación de la actividad, el cual recoge la ordenación topológica de las actividades en base a la información que se dispone. De tal forma, en dicho grafo los departamentos que deben acoger las actividades son adimensionales y no poseen una forma definida.</p> 	
<b>Determinación de los espacios</b>		
<b>Paso 5</b>	<p>Introducción al proceso de diseño donde se debe estimar el espacio que requiere cada departamento, sin olvidar de qué espacio se dispone.</p> 	
<b>Diagrama relacional de espacios ajustados</b>		
<b>Paso 6</b>	<p>El diagrama relacional de espacios, es similar al diagrama relacional de actividades, en este caso los símbolos distintivos de cada actividad son representados a escala, de forma que el tamaño que ocupa cada uno sea proporcional al área necesaria para el desarrollo de la actividad.</p> 	
Fase III	<b>Evaluación de alternativas y selección de la mejor distribución</b>	
	<b>Paso 7</b>	<p>Una vez desarrolladas las soluciones, hay que proceder a seleccionar una de ellas, para lo que es necesario realizar una evaluación de las propuestas, lo que genera un problema de decisión multicriterio.</p> 

Fuente: Elaboración propia

### **3.3 Justificación metodología a utilizar**

Para poder proponer alternativas de Layout que permitan mejorar el proceso productivo de Pvplast y a su vez disminuyan los desplazamientos de los operarios, se determinó utilizar la Metodología SLP por los siguientes motivos:

- i. Es aplicable a distribuciones completamente nuevas como a distribuciones de planta ya existentes.
- ii. Se puede usar en plantas pequeñas mientras que los métodos computarizados se emplean para distribuciones significativamente grandes y complejas.
- iii. El fundamento de este método son los diagramas de relación entre actividades, que resumen en detalle gran cantidad de información cuantitativa y cualitativa.
- iv. Permite definir el tipo de distribución adecuada para la planta mediante el análisis del gráfico P -Q, mientras que los métodos computarizados son utilizados por empresas con distribución por proceso.

Posteriormente, para evaluar y seleccionar la alternativa de Layout óptima, se simulará en el software Arena las alternativas de distribución obtenidas en función de las distancias recorridas por los operarios y los tiempos de fabricación de una ventana o puerta de PVC. Luego se define cuál es la mejor propuesta de Layout para Pvplast.

## 4. Configuración de la planta

Para la nueva configuración de la planta de Pvplast, se considera la ubicación de las máquinas, equipos, oficinas y pasillos, el flujo del proceso, los puestos de trabajos y el almacenamiento de materias primas y productos terminados, con la finalidad de resolver el problema de distribución que hoy se presenta y obtener un mejor funcionamiento de la empresa. Para esto, se utiliza el método SLP que por medio de sus cuatro fases (Localización, Distribución general, Distribución detallada e Instalación) las cuales serán desarrolladas a continuación, busca identificar, valorar y visualizar todos los elementos involucrados en la distribución.

### 4.1 Localización

Pvplast, ya cuenta con una localización establecida en Manuel Plaza #1540, Quilpué, V Región, la cual consiste en una instalación de 450 m<sup>2</sup>.

### 4.2 Distribución General

En esta fase se desarrolla desde el paso 1 hasta el 6 de la tabla 3.2 (Pasos para el desarrollo del método SLP). Además, se considera la adaptación del diagrama donde se definen las características de los factores que influirán en la nueva distribución.

#### 4.2.1 Análisis Producto – Cantidad

El análisis de la información referente a los productos y cantidades a producir determina el tipo de distribución adecuado para esta empresa.

Si bien, en el apartado 1.6 “Capacidad de producción” se muestra la cantidad de productos que fabricó Pvplast durante el periodo 2015 - 2018, para este tipo de análisis se consideran los años 2015, 2016 y 2017 debido a que es necesario desglosar por año los siete productos, tal como lo muestra la siguiente tabla:

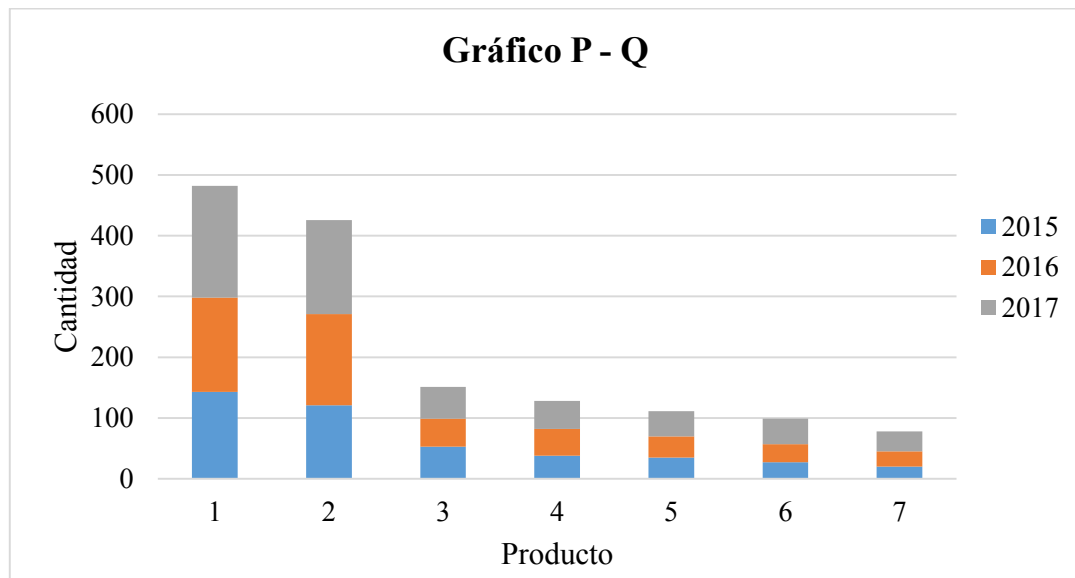
Tabla 4.1: Volumen de venta por producto periodo 2015 – 2017

Número	Producto	Cantidad "u" 2015	Cantidad "u" 2016	Cantidad "u" 2017	Total "u"
1	Ventana Fija	143	155	184	482
2	Ventana Corredera	121	150	155	426
3	Ventana Proyectante	53	46	52	151
4	Ventana Abatir interior	38	44	46	128
5	Ventana Abatir exterior	35	35	41	111
6	Ventana Oscilo Batiente	27	30	42	99
7	Puertas	20	25	33	78

Fuente: Pvplast

En base a la tabla 4.1, se elabora una gráfica de frecuencias (Fig. 4.1) para determinar qué productos son de desplazamientos rápidos (gran volumen, poca variedad) y de desplazamiento lento (poco volumen, gran variedad). Posteriormente se define el tipo de distribución que debe adquirir la empresa.

Figura 4.1: Gráfico Producto - Cantidad



Fuente: Elaboración propia, adaptada de información entregada por Pvplast

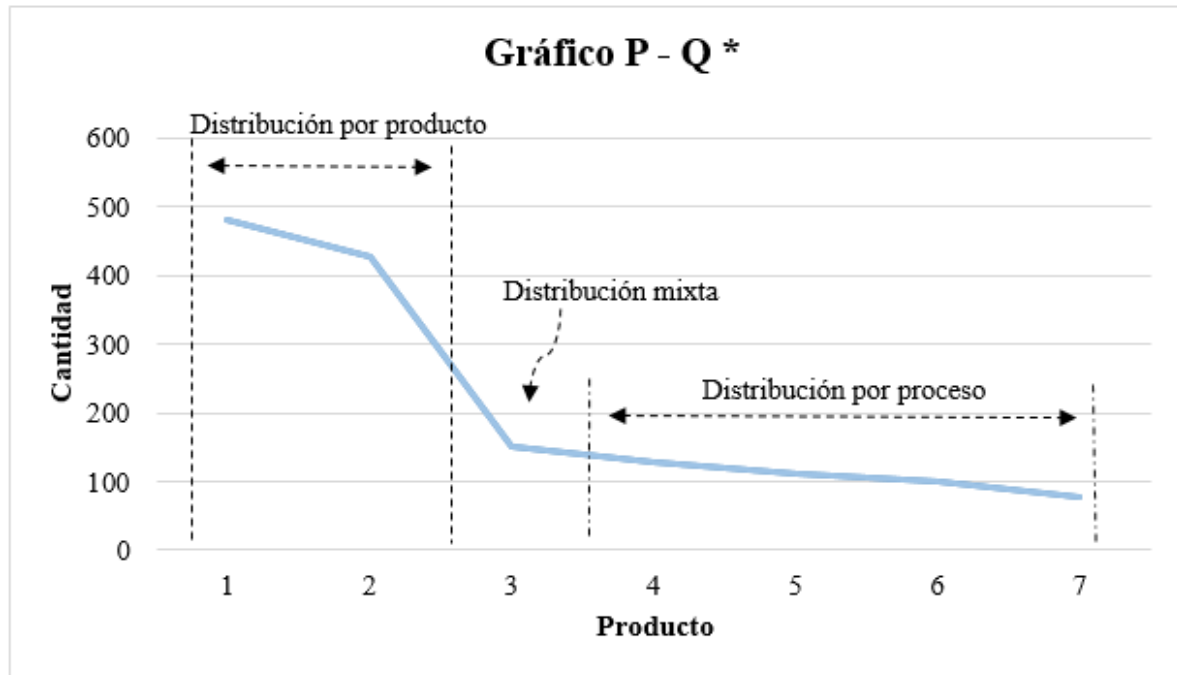
La Fig. 4.1 muestra una variación significativa entre un producto y otro, esto se debe principalmente a que los dos primeros (ventanas fijas y las correderas) son de desplazamiento rápido ya que poseen un alto volumen de producción (482 y 426 unidades respectivamente durante el periodo 2015 – 2017), y los cinco restantes son de desplazamiento lento porque son demandados en menor cantidad.

Según Muther (1968), cuando el Gráfico P - Q posee mucha curvatura, es preferible dividir los productos y su distribución.

En función de esta gráfica resultante, se puede apreciar que el tipo de distribución adecuada para esta empresa corresponde a una mixta, pues aquí las ventanas fijas y correderas (productos 1 y 2) deben tener una distribución por producto donde las máquinas o puestos de trabajo se disponen de acuerdo al orden de las operaciones, mientras que las puertas y el resto de las ventanas deben adoptar una distribución por proceso donde todas las operaciones del mismo tipo se realizan dentro del mismo sector. El producto situado entre ambas zonas (ventana proyectante), se fabricará combinando tipos y técnicas de producción (ver Fig. 4.2). Sin embargo, como todos los productos que se fabrican en Pvplast requieren la misma secuencia de operaciones de principio a fin, no se tomará en consideración esta división de productos y distribución ya que se corre el riesgo de llegar a una solución menos satisfactoria.

Es por este motivo, que para los pasos siguientes se tendrá en cuenta una distribución por producto.

Figura 4.2: Gráfico Producto - Cantidad \*



Fuente: Elaboración propia, adaptada de información entregada por Pvplast

#### 4.2.2 Recorrido de los productos

Este tipo de análisis implica la determinación en secuencia de los movimientos de los materiales a lo largo de las etapas del proceso. A partir de esta información se elaboró el Cursograma sinóptico (Fig. 1.8) el cual es detallado en el apartado 1.9.2 Diagrama del proceso.

Es necesario destacar que de este diagrama no se desprende una distribución en planta, lo que si proporciona es un punto de partida para su planteamiento.

#### 4.2.3 Relación entre actividades

Conocido el recorrido de los productos y considerando los elementos físicos de la empresa que hacen posible el proceso productivo, se construye la tabla 4.2 que muestra la relación existente entre las actividades del Cursograma sinóptico (Fig. 1.8) y las áreas de trabajo de Pvplast.






Tabla 4.2: Relación entre las áreas de trabajo y las operaciones del proceso productivo

Nº	Áreas de trabajo de Pvplast	Actividad Cursograma Sinóptico (Fig 1.8)
1	Recepción de materia prima	-
2	Almacenamiento de materia prima	-
3	Cortadora de PVC	1 y 2
4	Cortadora de Refuerzos	4 y 5
5	Pantógrafo	3 y 11
6	Junquilladora	13 y 14
7	Retestadora	19, 20 y 21
8	Mesón 1	6, 7, 8, 10 y 12
9	Mesón 2	15, 16, 17 y 18
10	Soldadora	9
11	Almacenamiento de productos terminados	-
12	Almacenamiento de mermas y desechos	-
13	Baño	-
14	Comedor	-
15	Oficina	-

Fuente: Elaboración propia

La Tabla de Relaciones (Fig. 4.4), que consiste en un cuadro organizado en diagonal en el que quedan plasmadas las necesidades de proximidad entre cada actividad desde diversos puntos de vistas. Sin embargo, es necesario definir la importancia de cercanía entre cada departamento que se asimila a un código de letras, siguiendo una escala que decrece con el orden de las cinco vocales tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4.3: Importancia de cercanía

Valor	Cercanía	Código de línea
A	Absolutamente necesario	
E	Especialmente importante	
I	Importante	
O	Normal	
U	Sin Importancia	U
X	No es recomendable	

Fuente: (Muther, 1981)

La importancia de la cercanía es más significativa si va acompañada de justificaciones, es por este motivo que se define la razón de cercanía entre las estaciones de trabajo.

Tabla 4.4: Razones de cercanía

Código	Motivo
1	Flujo de material
2	Mismo equipo, mueble o área
3	Mismo personal
4	Conveniencia
5	Comunicación
6	Inspección o control
7	Ruido
8	Limpieza

Fuente: Elaboración propia

Una vez definidas las razones e importancias de cercanías, se va construyendo la Tabla de Relaciones (Fig. 4.4) entre las áreas de trabajo de Pvplast donde se indica por qué se encuentran cerca o lejos las unas de las otras.

La Fig. 4.3, muestra cómo se deben colocar las razones e importancia de cercanía que existe entre la actividad 1 y 2.

Figura 4.3: Explicación de la Tabla de Relaciones



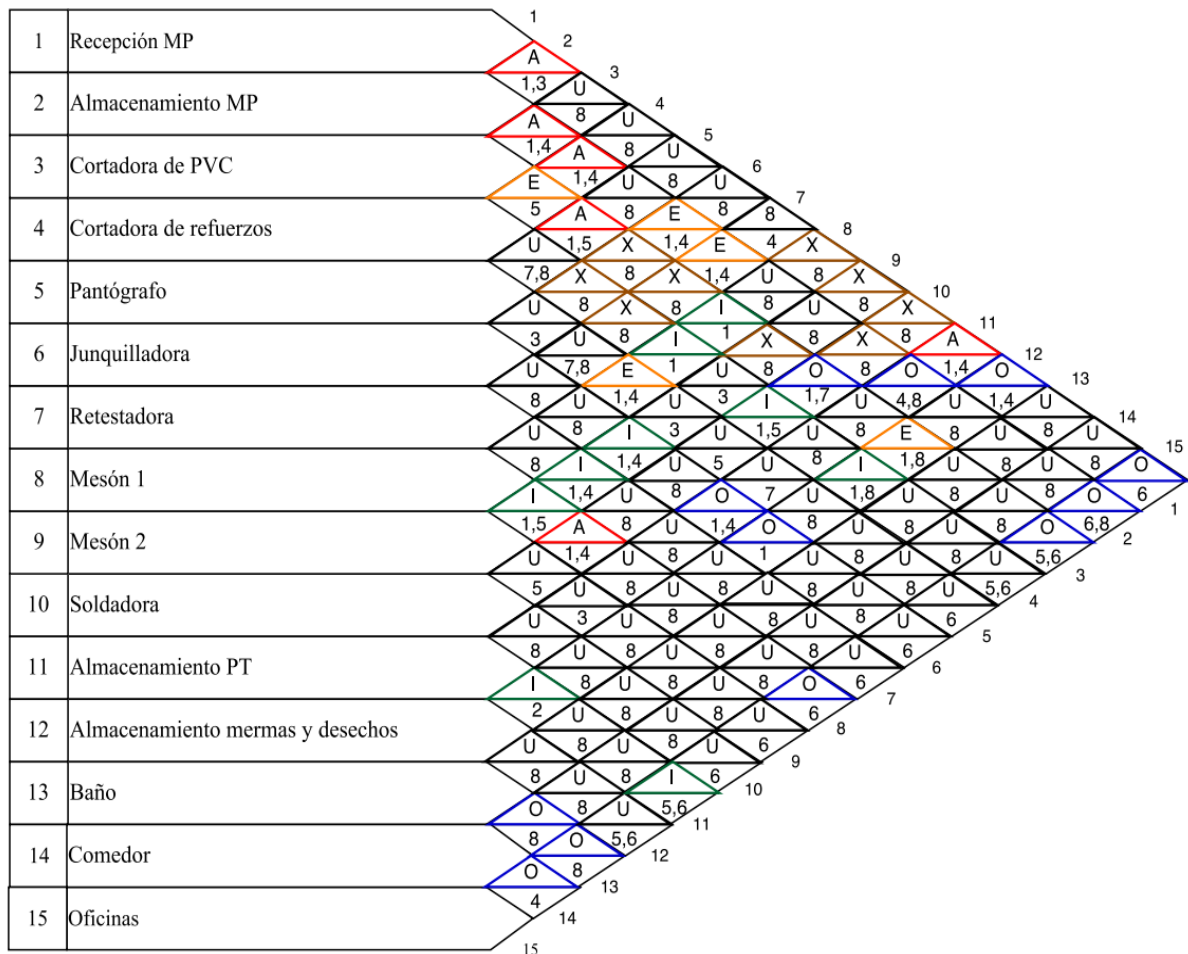
Fuente: Elaboración propia

Donde:

- Recepción de MP y Almacenamiento de MP: corresponden a las áreas de trabajo de Pvplast. Ver tabla 5.2
- A: Importancia de cercanía absolutamente necesaria entre el área de trabajo 1 y área de trabajo 2. Ver tabla 5.3
- 1,3: Razón de cercanía entre el área de trabajo 1 y área de trabajo 2 por el flujo de material (1) y mismo personal (3). Ver tabla 5.4

La Fig. 4.4 muestra la Tabla de Relaciones entre las áreas de trabajo de Pvplast, indicando el por qué las actividades se encuentran cerca o lejos las unas de las otras.

Figura 4.4: Tabla de Relaciones entre las áreas de trabajo de Pvplast



Fuente: Elaboración propia

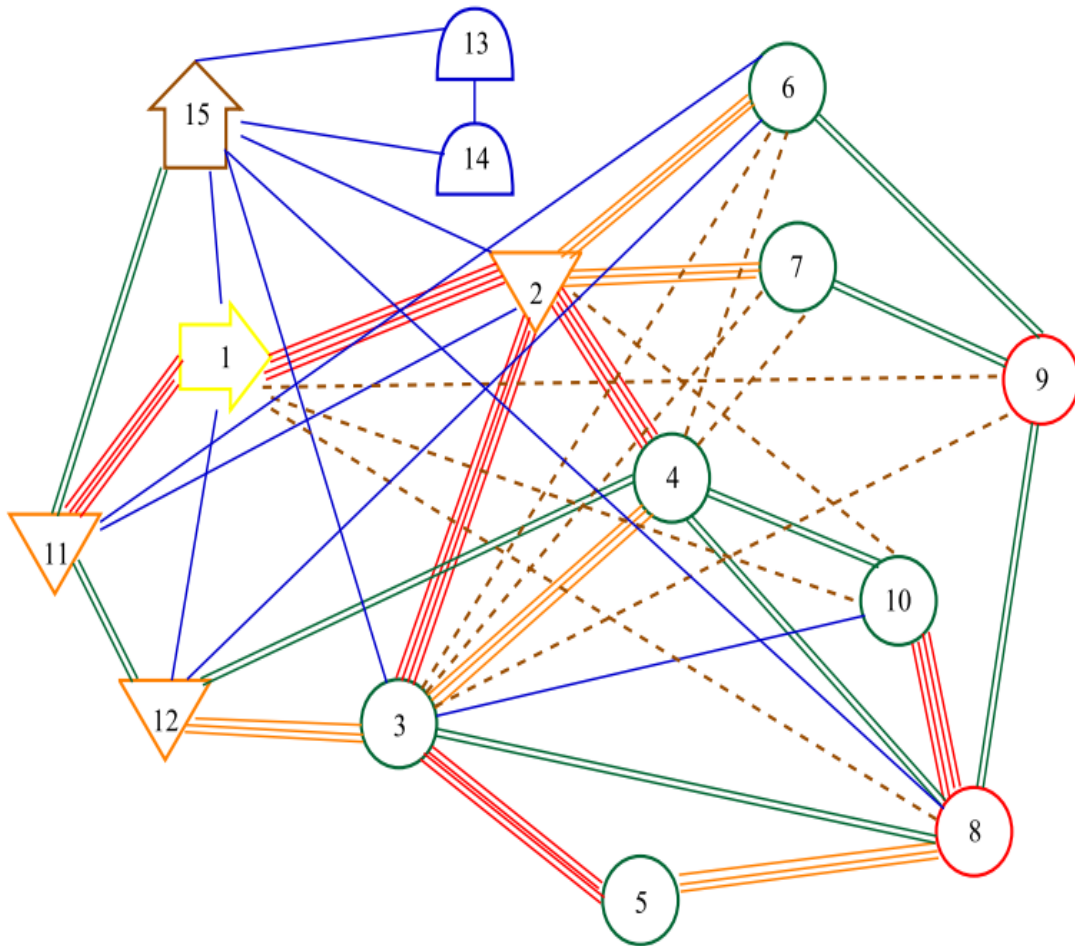
#### 4.2.4 Diagrama relacional de recorrido y/o actividades

Una vez ya establecida la Tabla de Relaciones se debe llevar esta información a un diagrama para verificar la importancia de la proximidad de cada una de las actividades respecto a la otra.

La construcción del diagrama tiene un procedimiento muy particular ya que consiste en un conjunto de normas utilizado tanto para ahorrar tiempo como para hacer más fácil la comprensión, es por esto que primero se deben identificar los números y símbolos a utilizar para cada tipo de actividad (Tabla 4.5), posteriormente se unen en función de su importancia de cercanía (Tabla 4.3), es decir, se comienza con las A que son las más importantes, luego con las E, las I, las O y finalmente las X.

La Fig. 4.5 muestra las relaciones entre cada área de trabajo por medio de una codificación de líneas. La forma de cada símbolo indica el tipo de actividad, el número de su interior la identifica y la cantidad de líneas entre ellas indica el valor de la proximidad necesaria.








Figura 4.5: Diagrama relacional de actividades de Pvplast



Fuente: Elaboración propia

La tabla 4.5 muestra los símbolos que se utilizaron para definir a cada área de trabajo de Pvplast.

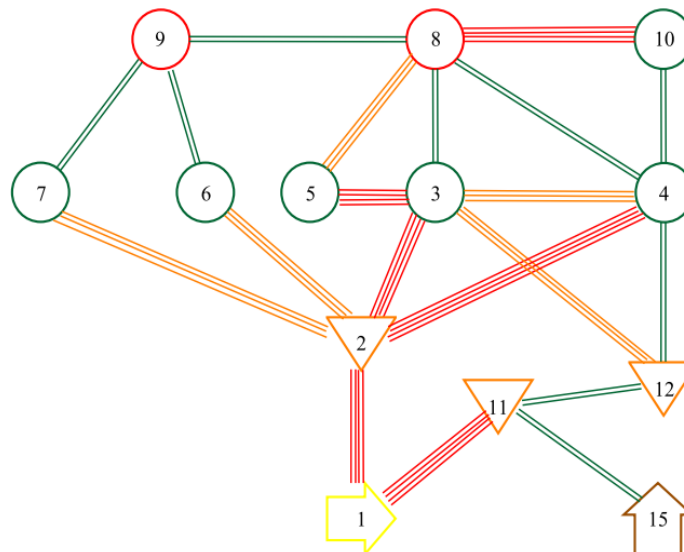
Tabla 4.5: Identificación de las actividades

Símbolo	Tipo de actividad, sector o equipo
	Operación o Producción (Submontaje y Montaje)
	Operación o Producción (Proceso o Fabricación)
	Actividades de transporte (recepciones, expediciones, carga de vagones)
	Almacenaje
	Control
	Servicios (Mantenimiento, entretenimiento, servicios de personal)
	Sectores administrativos y oficinas fuera de la parte productiva, o servicios directamente unidos

Fuente: Adaptación de (Muther, 1981)

Generalmente se efectúan una serie de diagramas para ir perfeccionándolos sucesivamente hasta obtener la disposición más conveniente, en este caso se consideraron las importancias de cercanía A – E – I tal como lo muestra la Fig. 4.6, donde no se exponen los servicios del personal (n° 13 y 14 que corresponden al baño y comedor respectivamente) debido a que son áreas que no pueden ser modificadas y poseen una cercanía normal respecto a las Oficinas (n° 15) y las demás actividades.

Figura 4.6: Diagrama Relacional de actividades de Pvplast



Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.5 Determinación de los espacios

En base al Anexo IV y a las áreas de trabajo consideradas para la redistribución de la planta (Tabla 4.2), se detalla a continuación el espacio utilizado por las máquinas, instalaciones y servicios en Pvplast. Para cada una de estas áreas de trabajo, se propone un espacio para las máquinas, el operario y los posibles mantenimientos generando una superficie ajustada para Layout.

Tabla 4.6: Superficie ajustada para Layout de Pvplast

Nº	Áreas de trabajo de Pvplast	Dimensión (m)	Superficie ocupada actualmente (m <sup>2</sup> )	Dimensión ajustada para Layout (m)	Superficie ajustada para Layout (m <sup>2</sup> )
1	Recepción de materia prima	3,00 x 18,00	54,00	3,00 x 18,00	54,00
2	Almacenamiento de materia prima	12,30 x 6,00	73,80	13,50 x 7,20	97,20
3	Cortadora de PVC	6,00 x 1,00	6,00	7,20 x 2,30	16,56
4	Cortadora de Refuerzos	8,00 x 1,00	8,00	9,20 x 1,80	16,56
5	Pantógrafo	1,00 x 0,70	0,70	2,20 x 2,00	4,40
6	Junquilladora	3,00 x 0,70	2,10	4,20 x 2,00	8,40
7	Retestadora	1,00 x 1,00	1,00	2,30 x 2,20	5,06
8	Mesón 1	3,00 x 4,00	12,00	5,60 x 4,60	25,76
9	Mesón 2	3,00 x 4,00	12,00	5,60 x 4,60	25,76
10	Soldadora	1,40 x 0,70	0,98	2,60 x 2,00	5,20
11	Almacenamiento de productos terminados	4,00 x 2,00	8,00	5,60 x 3,60	20,16
12	Almacenamiento de mermas y desechos	8,00 x 2,00	16,00	9,60 x 3,60	34,56
13	Baño	2,00 x 3,00	6,00	2,00 x 3,00	6,00
14	Comedor	5,00 x 3,00	15,00	5,00 x 3,00	15,00
15	Oficina 1	4,00 x 3,00	12,00	4,00 x 3,00	12,00
16	Oficina 2	4,00 x 3,00	12,00	4,00 x 3,00	12,00
17	Oficina 3	3,00 x 3,00	9,00	3,00 x 3,00	9,00

Fuente: Elaboración propia

Consideraciones proporcionadas por la empresa para determinar la superficie utilizada en Pvplast:

1. La recepción de materia prima se realiza en el patio (3 x 18 m) que está antes del taller el cual da acceso a las 2 puertas de éste. Esta superficie es utilizada también para despachar los productos terminados.
2. El almacenamiento de la materia prima actualmente está comprendido por el acopio de junquillos (6 m<sup>2</sup>), refuerzos (12 m<sup>2</sup>), perfiles de PVC (6 m<sup>2</sup> + 42 m<sup>2</sup>) y material en una parte del sostenedor (8 m<sup>2</sup>).
3. La cortadora de refuerzos está ubicada en un costado del sostenedor (8 x 1 m).
4. Debido a una inspección visual en la planta se pudo determinar que el almacenamiento de productos terminados se realiza en mayor cantidad en el Atril 1, mientras que las mermas y desechos en el Atril 2.
5. Las Oficinas, tienen una superficie de 33 m<sup>2</sup> que corresponden a dos de 12 m<sup>2</sup> y una de 9 m<sup>2</sup>.
6. El área del taller sin considerar el patio es de 450 m<sup>2</sup> (25 x 18 m).

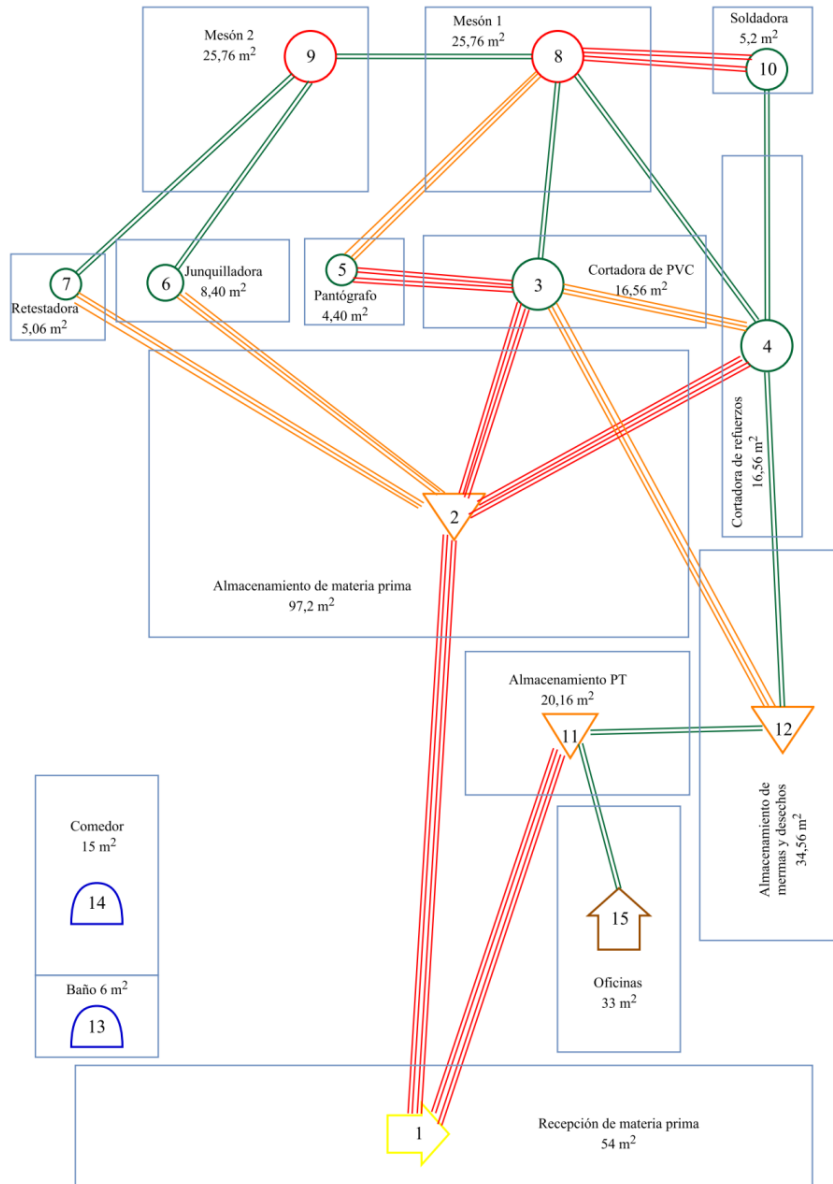
Consideraciones para determinar la superficie ajustada para el Layout de Pvplast:

1. Se mantienen las dimensiones de:
  - ✓ Recepción de la materia prima
  - ✓ Baño
  - ✓ Comedor
  - ✓ Oficinas.
2. En las demás áreas de trabajo se asignan los siguientes espacios:
  - ✓ 0,6 m en cada extremo de las máquinas.
  - ✓ 0,8 m para que el operario pueda manipular las máquinas, productos, materia prima, etc.
  - ✓ 0,5 m atrás de las máquinas en caso de que éstas necesiten mantención.

#### **4.2.6 Diagrama relacional de espacios ajustados**

En base a la tabla 4.6 (Superficie utilizada en Pvplast) y a la Fig. 4.6 (Diagrama relacional de actividades) se construye el diagrama relacional de espacios ajustados (Fig. 4.7) el cual es similar a los presentados previamente, pero con la particularidad de que en este caso los símbolos distintivos de cada actividad son representados a escala, de forma que el tamaño que ocupa cada uno sea proporcional al área necesaria para el desarrollo de la actividad.

Figura 4.7: Diagrama relacional de espacios ajustados de Pvpplast

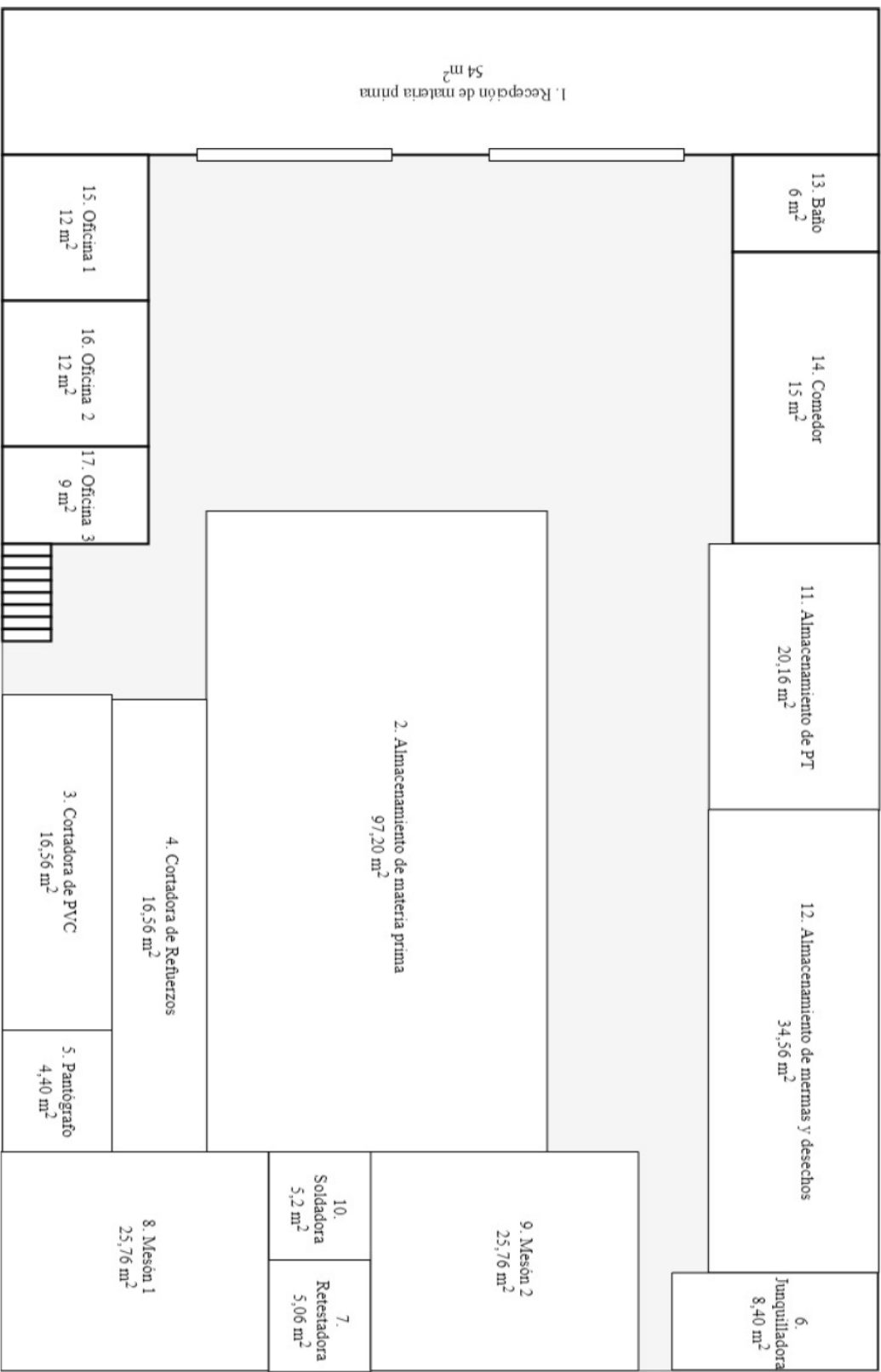


Fuente: Elaboración propia

Con la información incluida en el diagrama de la Fig. 4.7 se está en disposición de construir un conjunto de distribuciones alternativas que den solución al problema. En las Figuras 4.8, 4.9 y 4.10 se muestran los Layout propuestos, que han sido realizados bajo la organización de bloques de área.

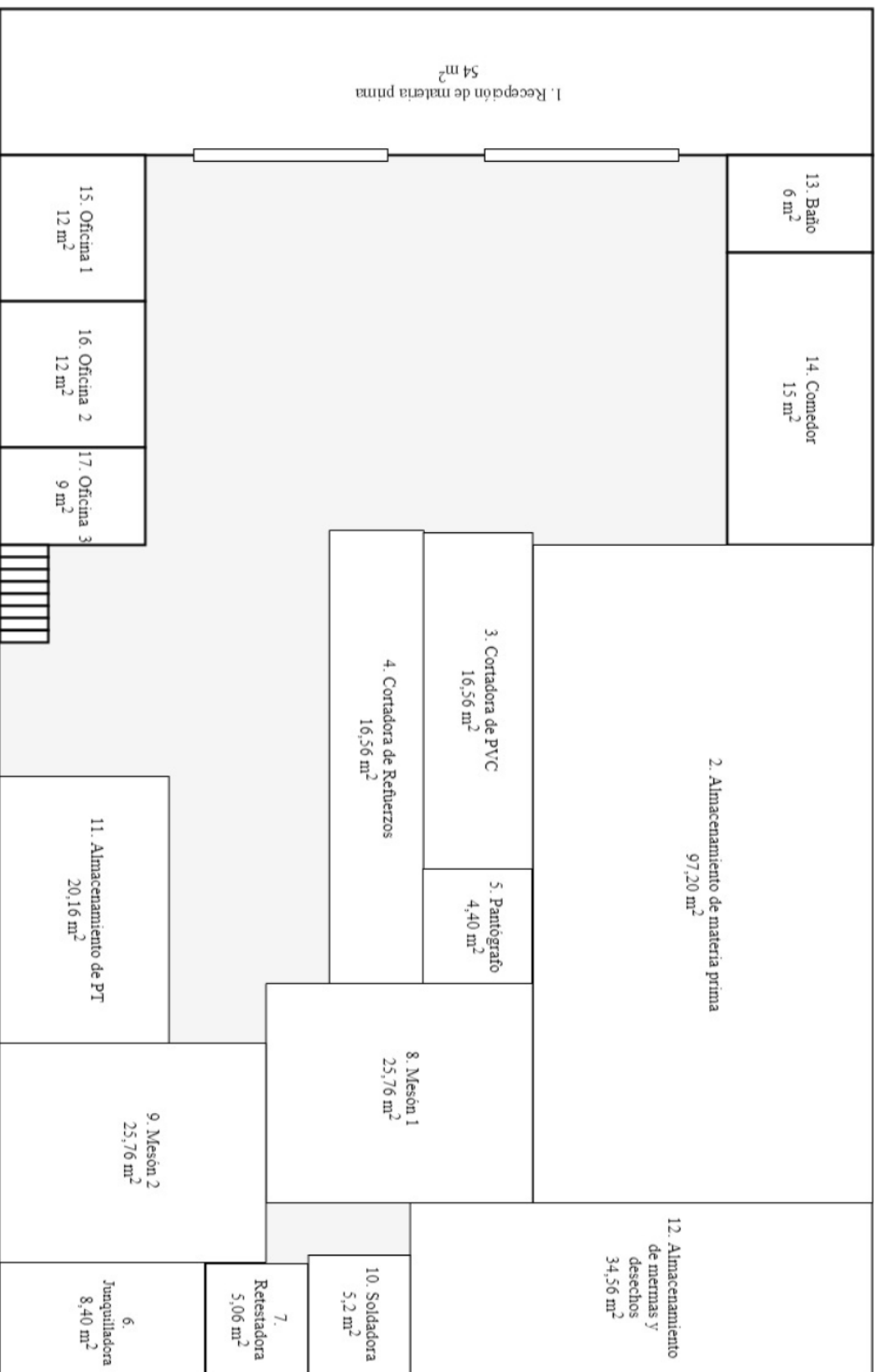
En los modelos propuestos, el área sombreada de color gris está desocupada y puede ser utilizada como pasillos o bien como ampliaciones de las estaciones de trabajo.

Figura 4.8. Layout propuesto A



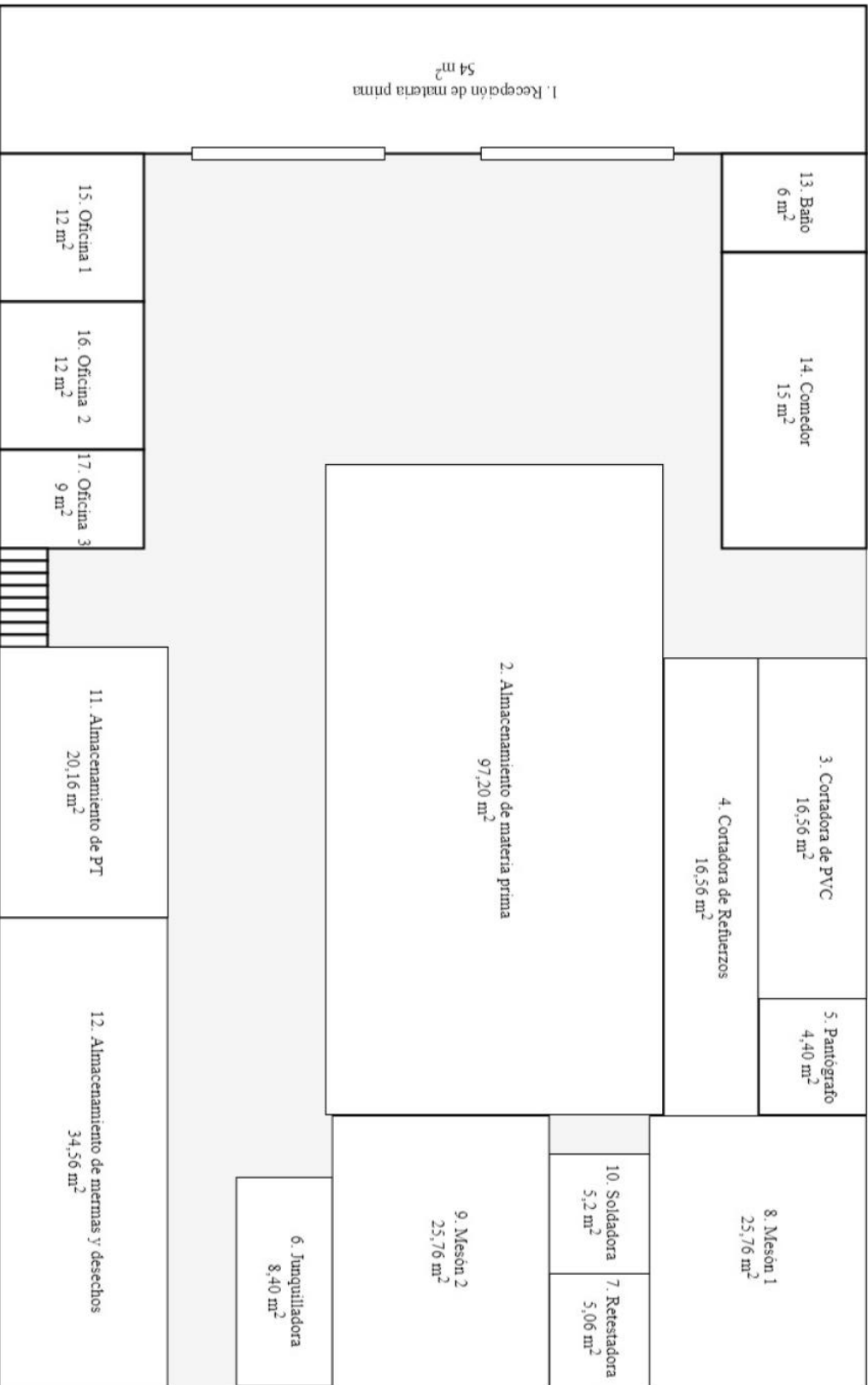
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9: Layout propuesto B



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10: Layout propuesto C



Fuente: Elaboración propia

#### **4.2.7 Adaptación del diagrama**

Con el Diagrama relacional de espacios ajustados ya se tiene un proyecto de planteamiento, sin embargo, este no será aprobado porque es necesario considerar los factores de influencia que dan lugar a ciertas modificaciones antes de obtener una distribución aceptable.

##### **✓ Factor material**

Para la distribución en planta de Pvplast, se tendrán en consideración las especificaciones técnicas (tamaño, forma y volumen) de cada una de las materias primas utilizadas (material entrante, productos terminados, mermas y desechos) para poder determinar el área de acopio.

##### **✓ Factor Maquinaria**

Para la distribución en planta de Pvplast, se debe identificar y manejar toda la información de las máquinas para lograr una adecuada ubicación, de esta manera es menos sensible perder dinero a través de una mano ociosa. Lo ideal es que se utilicen de forma eficiente, por ende, no es recomendable tener máquinas sin uso.

##### **✓ Factor Personas**

Las personas como factor de producción son más flexibles que cualquier material o maquinaria debido a que se les puede trasladar o repartir su trabajo, sin embargo, en Pvplast no se han tomado en consideración algunos aspectos de seguridad para sus trabajadores, como por ejemplo: no están delimitadas las vías de circulación y señalizadas las salidas de emergencias, no cuentan con EPP y tampoco con elementos de primeros auxilios, por ende esta nueva distribución será un gran aporte para la seguridad de los operarios.

##### **✓ Factor Movimiento**

Este factor es una ayuda efectiva para conseguir rebajar los costos de producción, permitiendo que el personal se especialice y que las operaciones se puedan dividir o rotar. Es por este motivo, que es fundamental establecer un patrón o modelo de circulación a través de los procesos que sigue el material, si éste es realizado de un modo apropiado, se reducirá automáticamente la cantidad de manejo innecesario, para esto hay que tratar de conseguir una ordenación que permita al operario dejar el material donde el siguiente pueda recogerlo con facilidad.

### ✓ **Factor Espera**

Las esperas en Pvplast siempre se generan por la ubicación de las áreas de almacenamiento de la materia prima y de las herramientas, por la falta de material o bien, porque éstos están detenidos entre una operación y otra.

Para esta nueva distribución, es necesario considerar un espacio para cada punto de espera que dependa principalmente de la cantidad de material a almacenar, situando a los artículos que se van a utilizar cercano al equipo que utilizará el trabajador.

### ✓ **Factor Servicio**

Este factor permite y facilita la producción de la empresa, por ende, se debe considerar para esta nueva distribución un servicio relativo al control de calidad de los materiales y productos fabricados, con la finalidad de disminuir los costos asociados que a la larga se traduce en pérdidas para la empresa. Además, es necesario reservar un espacio para los servicios que requiera la maquinaria que participa del proceso productivo, como por ejemplo la mantención de éstas.

### ✓ **Factor Edificio**

Este factor influirá en la distribución de la planta cuando se tenga que ajustar a las necesidades del nuevo layout, es aquí donde las consideraciones del edificio se transforman en limitaciones, sin embargo, se pueden realizar todas las modificaciones necesarias, previo acuerdo con la dueña.

### ✓ **Factor Cambio**

A pesar de que se han definido nuevos Layout, éstos se deben revisar constantemente ya que las condiciones de trabajo siempre estarán cambiando y esto afectará en cierto grado a la configuración de la planta, es por este motivo que Pvplast, debe poseer una flexibilidad para poder adaptarse a los cambios del personal (organización, supervisión y habilidades) y de los materiales (volúmenes de producción, diseño del producto).

## **4.3 Distribución detallada**

Con los factores de influencia y las propuestas de Layout (Fig. 4.8, 4.9 y 4.10) generadas del Diagrama relacional de espacios ajustados (Fig. 4.7), se evalúa y selecciona la mejor alternativa de distribución.

Según Richard Muther (Muther., 1968) existen muchas maneras de llegar a la elección del planteamiento, pero en la práctica se utilizan tres de ellas:

- ✓ Comparativo de ventajas e inconvenientes.

- ✓ Comparativo de factores ponderados.
- ✓ Comparativo de costos.

Además de estas formas de evaluación para las propuestas de distribución, se recurre al método AHP (proceso de análisis jerárquico) debido al potencial que ofrece para tratar con decisiones complejas.

### 4.3.1 Método comparativo de ventajas e inconvenientes

Este método se utiliza principalmente para la apreciación preliminar de las ideas generales que se tiene sobre los layout propuestos. Es por esto, que por medio de un listado como lo muestra la Tabla 4.7, se realiza una comparación entre las ventajas e inconvenientes de cada distribución, sin embargo, es necesario destacar que este método es el menos preciso ya que se basa en un análisis cualitativo.

Tabla 4.7: Comparativo de ventajas e inconvenientes entre Layout propuestos

Layout A		Layout B		Layout C	
Ventajas	Inconvenientes	Ventajas	Inconvenientes	Ventajas	Inconvenientes
Optimización de los tiempos de recorrido	Espacios libres que pueden ser subutilizados	Optimización de los tiempos de recorrido	Espacios libres que pueden ser subutilizados	Optimización de los tiempos de recorrido	Espacios libres que pueden ser subutilizados
Disminución de la congestión en pasillos	Cruce de procesos en área de producción para una ventana corredera	Disminución de la congestión en pasillos		Disminución de la congestión en pasillos	Disminución de la congestión en pasillos
		Materia prima cercana a las áreas de trabajo	Ahorro de área ocupada	Ahorro de área ocupada	Materia prima almacenada en el centro de la planta, lo que dificulta la visión entre las áreas
Materia prima cercana a las áreas de trabajo	Materia prima almacenada en el centro de la planta, lo que dificulta la visión entre las áreas	Reducción del material en proceso	Cruce de procesos en área de producción para una ventana corredera	Materia prima cercana a las áreas de trabajo	Su diseño no contempla espacio para acceder a las oficinas
	Ubicación de la soldadora y la retestadora	Disminución del tiempo de fabricación		Ubicación de la soldadora y la retestadora	Ubicación de la soldadora y la retestadora

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 4.7 se desprende que la mejor propuesta es el Layout B, debido a que posee más ventajas respecto a los demás, siendo sus únicos inconvenientes (que los espacios libres pueden ser subutilizados y que existe un cruce de procesos en las áreas de producción para fabricar una ventana corredera) un factor común entre las alternativas.

### 4.3.2 Comparación de costos

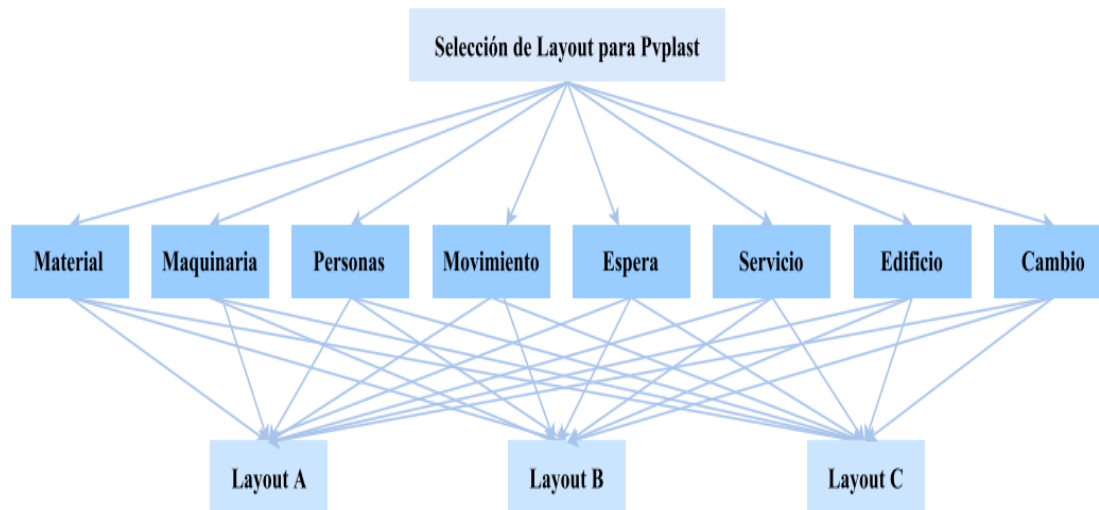
Para poder realizar este análisis de costos y compararlo entre las alternativas de Layout es necesario conocer la contabilidad y política financiera de la empresa. En base a esto, se ha verificado que los costos en los que se incurre el montaje de la planta no presentan cambios relevantes ya que éste puede ser realizado por los mismos operarios de la empresa quienes reúnen las competencias necesarias para hacerlo sin dificultad. Es por este motivo que esta forma de evaluación no se considera en este proyecto.

### 4.3.3 Método AHP

Este método se utiliza para cuantificar juicios u opiniones sobre la importancia relativa que tienen cada uno de los factores que han sido considerados en la adaptación del diagrama (apartado 4.2.7) respecto a cada propuesta de Layout (Fig. 4.8, 4.9 y 4.10).

El proceso de análisis de este método consiste en descomponer el problema de forma jerárquica, de manera que los elementos que lo constituyen se puedan observar en una representación gráfica tal como lo muestra la Fig. 4.11, donde el nivel más alto corresponde al objetivo, el más bajo comprende las alternativas y el intermedio posee los criterios que inciden al momento de evaluar una nueva distribución en planta.

Figura 4.11: Esquema jerárquico para la Selección de un Layout con AHP



Fuente: Elaboración propia

Definido el esquema y para dar un valor a los juicios emitidos o a las observaciones verbales que se pueden hacer respecto a los elementos que se ha descompuesto el problema, se utiliza la escala de Saaty, que es una escala de razón en términos de preferencia, importancia o probabilidad, sobre la base de una serie numérica que va desde uno hasta nueve (Tabla 4.8).

Tabla 4.8: Escala de Saaty

Escala numérica	Escala Verbal
1	Ambos criterios o elementos son de igual importancia
3	Débil o moderada importancia de uno sobre el otro
5	Importancia esencial o fuerte de un criterio sobre el otro
7	Importancia demostrada de un criterio sobre otro
9	Importancia absoluta de un criterio sobre otro
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes, que se emplean cuando es necesario un término medio entre dos de las intensidades anteriores
2	Entre igualmente y moderadamente preferible
4	Entre moderadamente y fuertemente preferible
6	Entre fuertemente y extremadamente preferible
8	Entre muy fuertemente y extremadamente preferible

Fuente: (Saaty, 1980)

Con la escala de Saaty y por medio de la observación directa en Pvpplast, se construye la matriz de comparación de criterios (Fig. 4.12) que permite visualizar la importancia que tiene cada uno sobre el otro. Por ejemplo, el valor 3 ubicado en la columna uno - fila seis, indica que se prefiere moderadamente el factor Servicio sobre el Material.

Figura 4.12: Matriz de comparación entre criterios

	Mat	Maq.	Pers.	Mov.	Espera	Serv.	Edf.	Cambio
Mat	1	1	1	1	1/2	1/3	2	1/3
Maq.	1	1	2	1	1/4	1/3	4	2
Pers.	1	1/2	1	1	1	1/2	3	1
Mov.	1	1	1	1	1	3	5	1
Espera	2	4	1	1	1	1	5	2
Serv.	3	3	2	1/3	1	1	3	1/2
Edf.	1/2	1/4	1/3	1/5	1/5	1/3	1	1/3
Cambio	3	1/2	1	1	1/2	2	3	1

Fuente: Elaboración propia

Después de haber realizado las comparaciones de todos los criterios, la matriz se debe normalizar, es decir, se divide cada término de la matriz sobre la suma de sus columnas, obteniendo una nueva matriz, tal como se presenta en la siguiente figura:

Figura 4.13: Matriz normalizada entre criterios

	Mat	Maq.	Pers.	Mov.	Espera	Serv.	Edf.	Cambio
Mat	0,08	0,09	0,11	0,15	0,09	0,04	0,08	0,04
Maq.	0,08	0,09	0,21	0,15	0,05	0,04	0,15	0,24
Pers.	0,08	0,04	0,11	0,15	0,18	0,06	0,12	0,12
Mov.	0,08	0,09	0,11	0,15	0,18	0,35	0,19	0,12
Espera	0,16	0,36	0,11	0,15	0,18	0,12	0,19	0,24
Serv.	0,24	0,27	0,21	0,05	0,18	0,12	0,12	0,06
Edf.	0,04	0,02	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
Cambio	0,24	0,04	0,11	0,15	0,09	0,24	0,12	0,12

Fuente: Elaboración propia

Con esta matriz normalizada (Fig. 4.13), se obtiene el peso de cada criterio (Tabla 4.9) al promediar los valores de las filas.

Tabla 4.9: Peso de cada criterio considerado en el esquema jerárquico

Criterios	Peso
Material	0,08
Maquinaria	0,13
Personas	0,11
Movimiento	0,16
Espera	0,19
Servicio	0,16
Edificio	0,03
Cambio	0,14

Fuente: Elaboración propia

Según los resultados obtenidos en la tabla 4.9, el menor peso de los criterios es el factor Edificio que corresponde al 3%, mientras que el factor Espera es el de mayor prioridad alcanzando un 19% del total.

Para verificar la consistencia de los juicios realizados en la matriz de comparación de criterios se utiliza la fórmula de la Fig. 4.14 (Razón de Consistencia ó CR, de Consistency Ratio) la cual está diseñada de manera que los valores que exceden de 0.10 son señal de Juicio inconsistente, en estos casos el tomador de decisiones debe reconsiderar y modificar los valores originales de la matriz, en cambio, si el valor de la razón de consistencia es igual o menor a 0.10 es señal de un nivel razonable de consistencia.

Figura 4.14: Razón de Consistencia

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Fuente: (Saaty, 1980)


Donde:

$$CI = \text{Índice de consistencia} = \frac{n_{\text{máx}} - n}{n - 1}$$

$$RI = \text{Consistencia aleatoria} = \frac{1.98 * (n - 2)}{n}$$

El valor de  $n_{\text{máx}}$  es la suma del vector generado por la multiplicación entre la matriz de comparación entre criterios (Fig. 4.12) y el peso de cada uno de éstos (tabla 4.10) tal como lo muestra la siguiente figura:

Figura 4.15: Determinación del  $n_{\text{máx}}$  para calcular el CI

	Mat	Maq.	Pers.	Mov.	Espera	Serv.	Edf.	Cambio			
A=	Mat	Maq.	Pers.	Mov.	Espera	Serv.	Edf.	Cambio	$\left[ \begin{array}{c} 0,08 \\ 0,13 \\ 0,11 \\ 0,16 \\ 0,19 \\ 0,16 \\ 0,03 \\ 0,14 \end{array} \right]$		$\left[ \begin{array}{c} 0,74 \\ 1,09 \\ 0,92 \\ 1,44 \\ 1,73 \\ 1,41 \\ 0,31 \\ 1,22 \end{array} \right]$
	1	1	1	1	1/2	1/3	2	1/3			
	1	1	2	1	1/4	1/3	4	2			
	1	1/2	1	1	1	1/2	3	1			
	1	1	1	1	1	3	5	1			
	2	4	1	1	1	1	5	2			
	3	3	2	1/3	1	1	3	1/2			
	1/2	1/4	1/3	1/5	1/5	1/3	1	1/3			
	3	1/2	1	1	1/2	2	3	1			

**$n_{\text{máx}} = 8,85$**

Fuente: Elaboración propia

Determinado el  $n_{\text{máx}}$  se calcula el índice de consistencia (CI) y la consistencia aleatoria (RI) de la siguiente manera:

$$CI = \frac{8,85 - 8}{8 - 1} = 0,12 \quad ; \quad RI = \frac{1,98 \times (8 - 2)}{8} = 1,49$$

Al obtener estos valores se puede analizar la consistencia de matriz de comparación entre criterios (Fig. 4.11) a través de la razón de consistencia:

$$CR = \frac{0,12}{1,49} = 0,08 \leq 0,1 \Rightarrow \text{Consistente}$$

Según el valor obtenido en la razón de consistencia ( $CR = 0,08$ ) se comprueba que la matriz es consistente, por ende, se puede continuar desarrollando el método AHP, donde se debe repetir cada uno de estos pasos para evaluar cada Layout propuesto en relación a cada uno de los factores que inciden en la decisión de una nueva distribución en planta. Es por esto, que en la siguiente imagen (Fig. 4.16) se muestra la matriz de comparación (la cual ha sido elaborada con la escala de Saaty y por medio de la observación directa en Pvplast), la matriz normalizada y el peso obtenido de cada alternativa respecto al factor material.

Figura 4.16: Matriz de comparación, matriz normalizada y pesos de cada alternativa respecto al factor Material

		Layout A	Layout B	Layout C
Amat =	Layout A	1	1/2	1
	Layout B	2	1	2
	Layout C	1	1/2	1

		Layout A	Layout B	Layout C
Nmat =	Layout A	0,25	0,25	0,25
	Layout B	0,5	0,5	0,5
	Layout C	0,25	0,25	0,25

	Alternativas	Peso
Mat.	Layout A	0,25
	Layout B	0,5
	Layout C	0,25

Fuente: Elaboración propia

En la matriz de comparación de la figura 4.16, el valor de 2 indica que el Layout B esta entre igualmente y moderadamente preferible sobre el Layout A y C. De igual manera el valor 1/2 corresponde al inverso, es decir, que la comparación se realiza en los dos sentidos: Layout B vs Layout A y Layout A vs Layout B. Al normalizar esta matriz y obtener los pesos relativos de cada alternativa se puede apreciar que el Layout B es el de mayor prioridad respecto al Factor material comprendiendo el 50% del total.

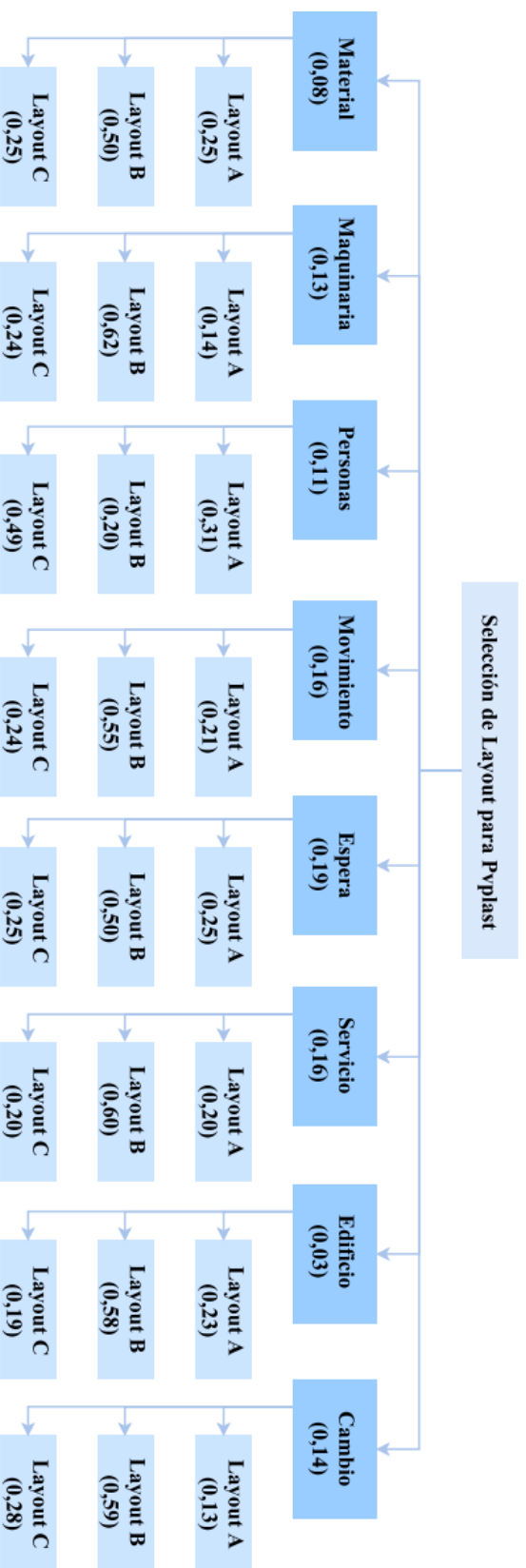
Con la matriz de comparación y los pesos de las alternativas se determina que la matriz es consistente ya que su razón de consistencia (CR) arroja un valor de 0 (donde  $n_{\text{máx}} = 3$ ,  $CI = 0$  y  $RI = 0,66$ ).

Las matrices y los análisis de consistencia de los siete factores restantes se pueden observar en el Anexo VI (Matriz de comparación, matriz normalizada y peso de cada alternativa respecto a los factores considerados en la Adaptación del diagrama).

Con los pesos relativos de cada criterio y de las alternativas en relación a cada uno de éstos, se pasan los datos al esquema jerárquico (Fig. 4.17) con la finalidad de visualizar de mejor manera la importancia que tiene cada uno sobre los demás.

Posteriormente se calcula el peso que tiene cada Layout propuesto, multiplicando el valor de cada criterio por su respectiva alternativa.

Figura 4.17: Esquema jerárquico para la Selección de un Layout con sus respectivos pesos



Fuente: Elaboración propia

Peso de cada Alternativa:

$$\text{Layout A} = (0,08 \times 0,25) + (0,13 \times 0,14) + (0,11 \times 0,31) + (0,16 \times 0,21) + (0,19 \times 0,25) + (0,16 \times 0,20) + (0,03 \times 0,23) + (0,14 \times 0,13) = 0,2104$$

$$\text{Layout B} = (0,08 \times 0,50) + (0,13 \times 0,62) + (0,11 \times 0,20) + (0,16 \times 0,55) + (0,19 \times 0,50) + (0,16 \times 0,60) + (0,03 \times 0,58) + (0,14 \times 0,59) = 0,5222$$

$$\text{Layout C} = (0,08 \times 0,25) + (0,13 \times 0,24) + (0,11 \times 0,49) + (0,16 \times 0,24) + (0,19 \times 0,25) + (0,16 \times 0,20) + (0,03 \times 0,19) + (0,14 \times 0,28) = 0,2675$$

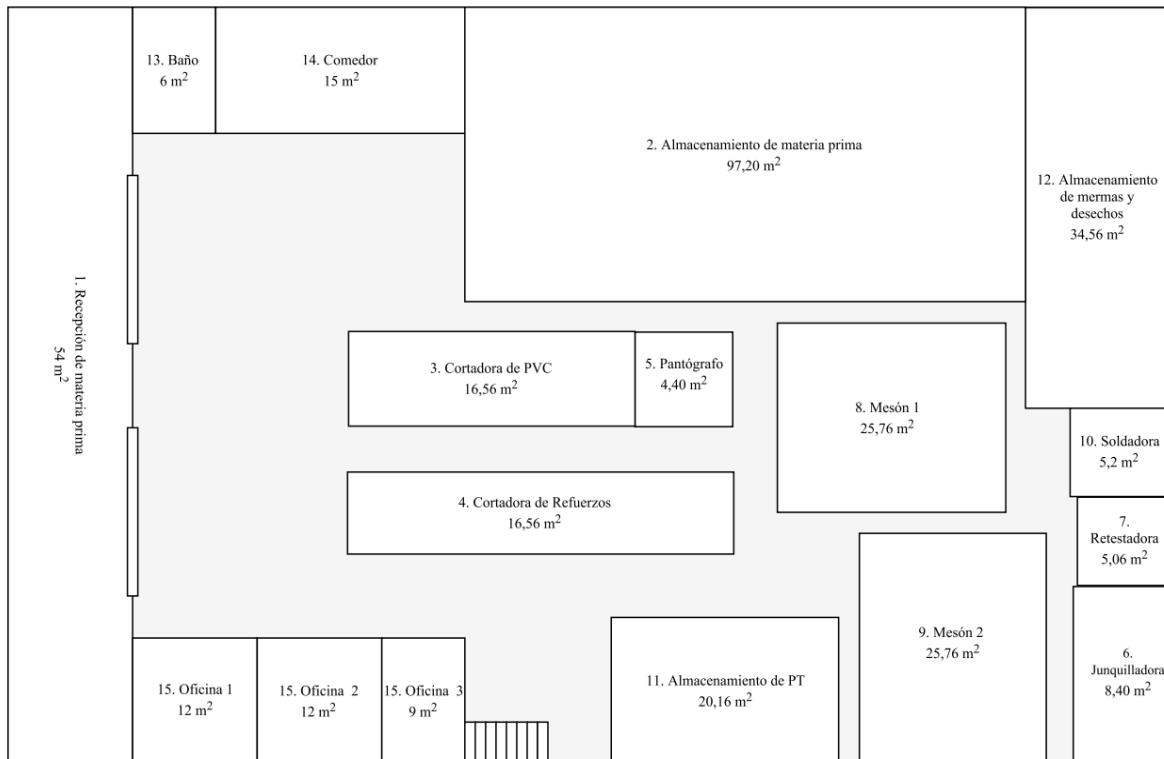
Según los datos obtenidos, la mejor opción es el Layout B con un 52,22%, donde los factores: Espera, Movimiento, Servicio, Cambio y Maquinaria son los más importantes en este tipo de distribución.

#### 4.3.4 Análisis de la evaluación propuesta

Según los resultados obtenidos en el comparativo de ventajas e inconvenientes, en el de factores ponderados y en el desarrollo del método AHP, la mejor propuesta de distribución en planta para Pvplast es el layout B, quien se destaca considerable por sobre las otras alternativas. Está claro que estos métodos proponen una solución en base a criterios cualitativos y cuantitativos, pero quien toma finalmente la decisión es el Gerente de la Empresa.

A continuación, en la Figura 4.18 se muestra la propuesta con los ajustes que se sugieren para la distribución en planta, donde se consideran pasillos de 1.5 m de ancho, libres de todo obstáculo que impida un fácil y seguro desplazamiento tanto para el movimiento de material como el de los trabajadores.

Figura 4.18: Layout B ajustado



Fuente: Elaboración propia

#### 4.4 Instalación

Debido a que el alcance definido es presentar la mejor propuesta a Pvplast junto a los criterios que se utilizaron para su evaluación y selección, esta fase no es desarrollada ya que corresponde a parte de la implementación.

## **5. Comportamiento del Layout propuesto**

La simulación es una de las herramientas que reduce los costos involucrados en la decisión mediante un mejor uso de los recursos, la disminución del tiempo utilizado y la minimización de las probabilidades de riesgo. Es por este motivo que se utiliza esta herramienta para estudiar el comportamiento del Layout seleccionado a través del proceso de diseño de un modelo, que permite tomar mejores decisiones.

### **5.1 Formulación del problema**

Para la simulación del modelo, se requiere distribuir los espacios de la planta que formen parte del proceso productivo de acuerdo a la mejor propuesta de Layout, con la finalidad de que se minimice tiempo de fabricación de los productos y la distancia recorrida por los operarios y la materia prima.

### **5.2 Objetivo de la simulación**

Mostrar el comportamiento del proceso productivo de Pvplast de acuerdo a la mejor propuesta de distribución, considerando la entrada de materiales, el procesamiento de éstos y las unidades de producto terminado que permitan cumplir con la demanda de la empresa.

### **5.3 Recolección de datos**

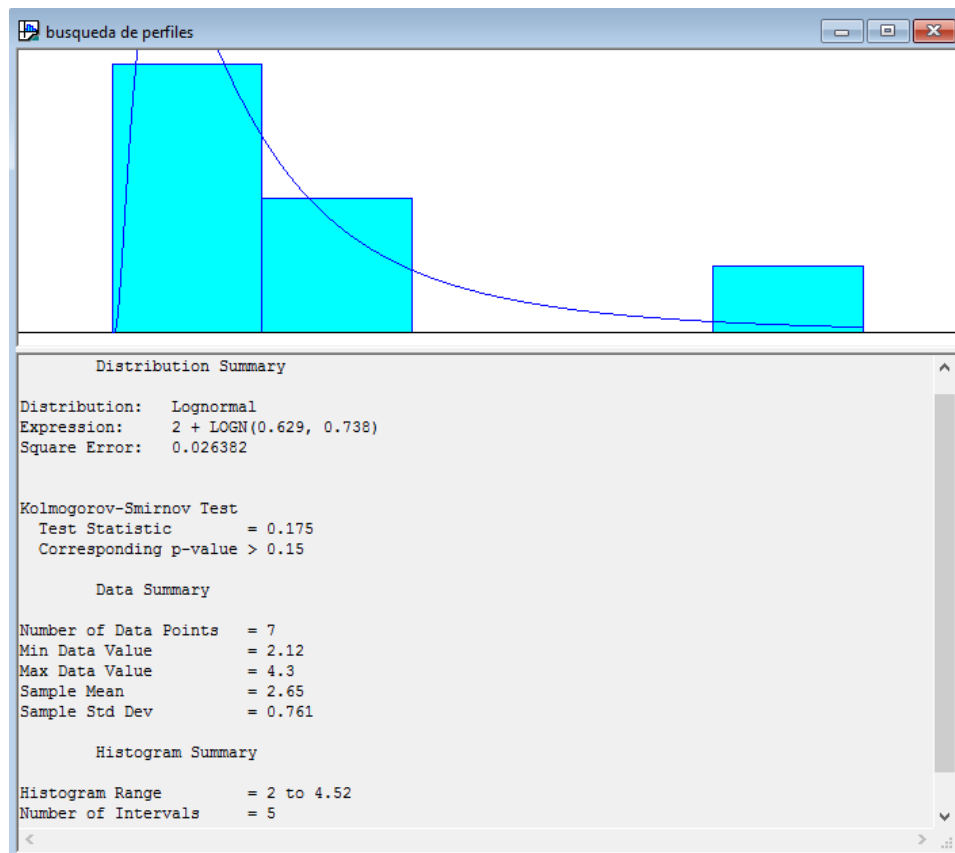
Para simular los datos de cada operación del proceso productivo de Pvplast, se requieren los tiempos de cada uno de éstos, es por este motivo que se utiliza como referencia los tiempos de fabricación de la Obra Alcayaga (Anexo V) que consiste en siete ventanas correderas de color blanco con termopanel de 4mm de espesor.

Como los datos de esta obra corresponden a la distribución actual de la empresa, se han realizado ciertas modificaciones en algunos procesos (agrupando actividades por máquina o área de trabajo) y tiempos (sacando una proporción del tiempo incurrido por los operarios en base a la distancia recorrida tanto en el Layout actual como en el propuesto). Estas variaciones se pueden observar en el Anexo VII (Consideraciones y tiempo de fabricación por proceso - Obra Alcayaga). Es necesario destacar, que para fabricar las ventanas de PVC se realizan una cierta cantidad de procesos que se dividen en tres partes: Construcción del marco, de las hojas y el armado de la ventana.

Los tiempos de fabricación de las ventanas se ingresan en forma de texto al Input Analyzer del Software Arena a través de un archivo con formato “.txt”, para determinar la gráfica correspondiente y la distribución que representa a los datos de cada proceso para su posterior simulación (Ver: Fig 5.1 y Anexo VIII – Comportamiento de datos por proceso productivo [Layout actual vs Layout propuesto]).

La Fig. 5.1, muestra el comportamiento de los datos en forma de histograma para el proceso de búsqueda de perfiles para la construcción del marco, considerando los tiempos que tardaron los operarios en realizar esta actividad con la distribución en planta actual.

Figura 5.1: Comportamiento de datos proceso búsqueda de perfiles para la construcción del marco (Layout Actual)



Fuente: Arena

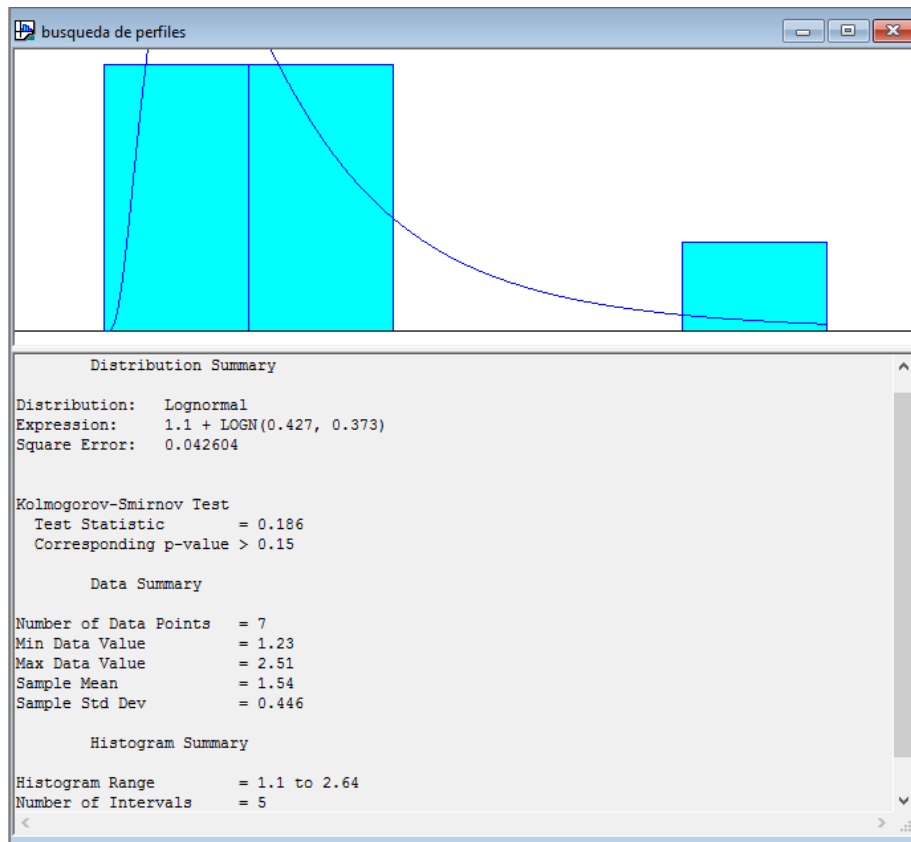
De acuerdo a los resultados obtenidos en la Fig. 5.1, los datos tienen un comportamiento de **Distribución Lognormal** y la expresión a utilizar en el simulador para la búsqueda de perfiles para la construcción del marco con el Layout Actual es  **$2 + \text{LOGN}(0.629, 0.738)$** .

La cantidad de datos ingresados son siete, debido a que los tiempos de fabricación de la Obra Alcayaga (Anexo V) es una muestra representativa respecto a la cantidad de presupuestos que recibe Pvplast, además, son los únicos datos que se han medido junto a la Obra Los Almendros (Anexo V), en la cual se construyeron ventanas de dimensiones que sobresalen de los estándares de construcción establecidos por la empresa en vista de las dimensiones requeridas por el cliente.

Según los datos ingresados, el menor valor es 2.12 y el máximo 4.3, con una desviación estándar de 0.761.

La Fig. 5.2, muestra el comportamiento de los datos en forma de histograma para el proceso de búsqueda de perfiles para la construcción del marco, considerando los tiempos que tardarían los operarios en realizar esta actividad con la distribución en planta propuesta.

Figura 5.2: Comportamiento de datos proceso búsqueda de perfiles para la construcción del marco (Layout propuesto)



Fuente: Arena

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Fig. 5.2, los datos tienen un comportamiento de **Distribución Lognormal** y la expresión a utilizar en el simulador para la búsqueda de perfiles para la construcción del marco con el Layout Actual es **1.1 + LOGN (0.427, 0.373)**.

La cantidad de datos ingresados son siete, donde el menor valor es 1.23 y el máximo 2.51, con una desviación estándar de 0.446.

El comportamiento del resto de los procesos para la fabricación del marco, de las hojas y el armado de las ventanas se encuentran en el Anexo VIII (Comportamiento de datos por proceso productivo [Layout actual vs Layout propuesto]).

## 5.4 Traducción del modelo

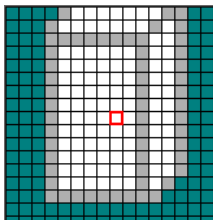
En esta sección se describen los objetos utilizados en el Software Tecnomatix Plant Simulation para la realización de este proyecto.

### 5.4.1 Unidades móviles (MU)

Las unidades móviles o MU, representan el flujo de los materiales y son aquellas que se mueven a través del modelo, es decir, son objetos dinámicos en la simulación, ya que, al ser creadas, circulan por los procesos y luego abandonan el sistema.

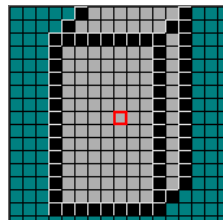
Estas MU, representan los materiales que se utilizan en el proceso los cuales tienen una capacidad finita y cuentan con una serie de estados por los cuales atraviesan a lo largo de la simulación, por ejemplo, en proceso (Fig. 5.3, 5.4 y 5.5) o en espera (Fig. 5.6, 5.7 y 5.8) tal como se muestra a continuación:

Figura 5.3: Perfiles de PVC



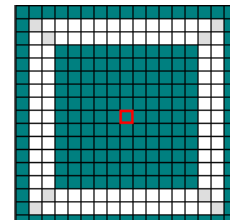
Fuente: Tecnomatix Plant Simulation

Figura 5.4: Refuerzos



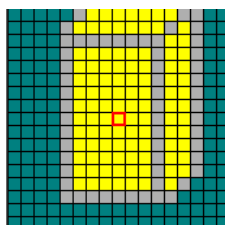
Fuente: Tecnomatix Plant Simulation

Figura 5.5: Marco



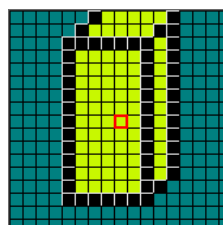
Fuente: Tecnomatix Plant Simulation

Figura 5.6: Perfiles de PVC en espera



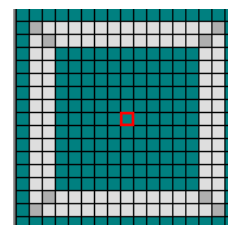
Fuente: Tecnomatix Plant Simulation

Figura 5.7: Refuerzos en espera



Fuente: Tecnomatix Plant Simulation

Figura 5.8: Marco en espera



Fuente: Tecnomatix Plant Simulation

## 5.4.2 Objetos de MaterialFlow (Flujo de materiales)

Los objetos del MaterialFlow, pueden transportar y/o procesar activamente las MU (partes dentro del modelo de simulación) o bien, pueden almacenar las piezas y representar las pistas por donde se mueven las partes procesadas. La función que realiza, depende del estado (Activo o pasivo) de éstos.

Para este modelo se utilizaron los siguientes Objetos del MaterialFlow:

Figura 5.9:  
Source

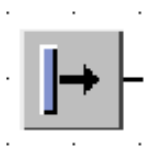


Figura 5.10:  
SingleProc

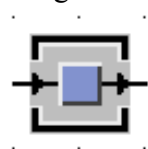


Figura 5.11:  
Drain



Figura 5.12:  
EventController



Figura 5.13:  
Conector



Fuente: Tecnomatix Plant Simulation

La Souce (Fig. 5.9), se utiliza en lugares donde una MU es creada, (generalmente al comienzo del proceso). El SingleProc (Fig. 5.10), es un objeto que recibe una MU, la conserva durante un tiempo de procesamiento y luego la pasa a la siguiente estación. El Drain (Fig. 5.11), se utiliza en lugares donde las MU deben abandonar el sistema (generalmente al final del proceso). El EventController (Fig. 5.12), gestiona y sincroniza los eventos que tienen lugar dentro de la simulación, mientras que el Conector (Fig. 5.13), establece las conexiones entre los Objetos del MaterialFlow, de modo que las MU se puedan mover a través del modelo.

## 5.4.3 Objetos de Resources

Los Objetos de Recursos, permiten modelar el traslado de los trabajadores desde su lugar de descanso a sus estaciones de trabajo.

Para este modelo se utilizaron los siguientes Recursos:

Figura 5.14:  
Workplace



Figura 5.15:  
FootPath



Figura 5.16:  
WorkerPool



Figura 5.17:  
Broker



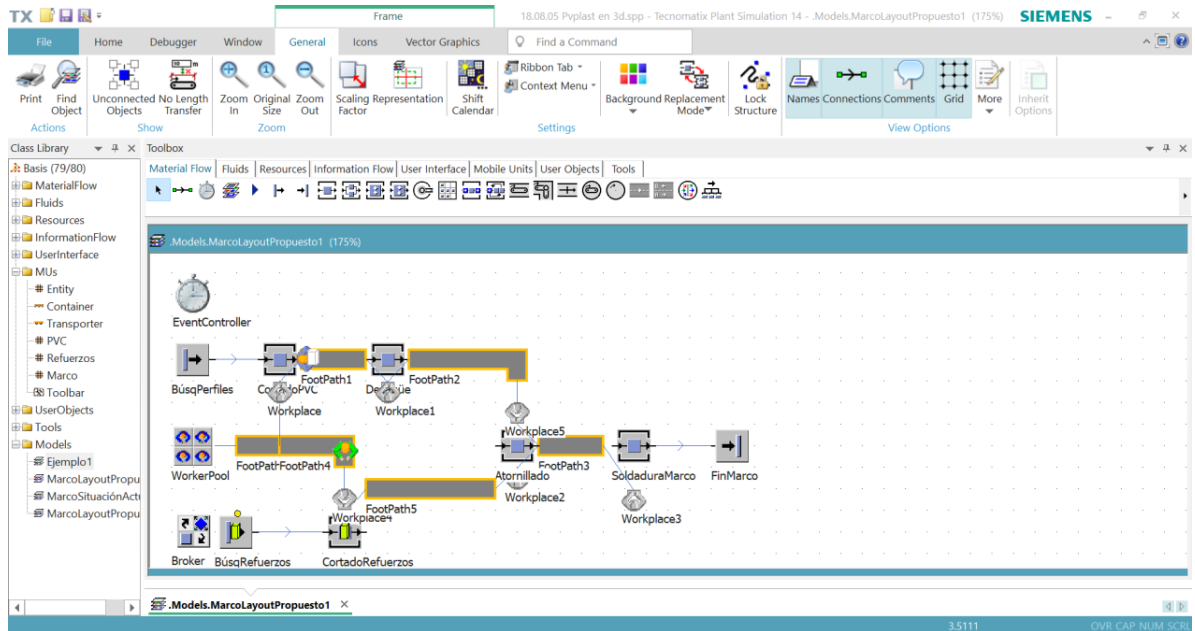
Fuente: Tecnomatix Plant Simulation

#### 5.4.4 Simulación en Software “Tecnomatix Plant Simulation”

Tecnomatix Plant Simulation, permite modelar y simular los procesos de una empresa comparando sus alternativas de producción. Sin embargo, como la licencia del Software es de Estudiantes no soporta las 3 fases del proceso de Pvplast (Hojas, Marco y armado de la ventana), es por este motivo que se ha delimitado el alcance a la fabricación del marco para simular tanto en 2D como 3D la situación Actual y el Layout Propuesto efectuando automáticamente diferentes análisis de comportamiento.

En la Fig. 5.18, se muestra la simulación en 2D del Layout Propuesto, que cuenta con una serie de objetos que permiten la elaboración del proceso de fabricación del marco.

Figura 5.18: Ventana de Simulación en 2D del Layout Propuesto para la Fabricación del marco de la ventana



Fuente: Elaboración propia – Tecnomatix Plant Simulation

A continuación, se describen los objetos del panel de MaterialFlow y Resources del Software que se utilizaron para la creación del proceso de fabricación del marco de una ventana de Pvplast, el cual está representado en la Fig. 5.18 (Ventana de Simulación en 2D del Layout Propuesto para la Fabricación del marco de la ventana).

El inicio del proceso comienza con dos “Sources” (Fig. 5.9) “BúsqPerfiles” y “BúsqRefuerzos”, que representan la llegada de las entidades al modelo de simulación. El tiempo que se ha utilizado en cada uno de estos objetos, está representado por las fórmulas obtenidas al analizar el comportamiento de los datos del proceso búsqueda de perfiles (Fig.

5.2) y búsqueda de refuerzos (Tabla VIII-2) en el Input Analyzer del Software Arena que se encuentran en el apartado 5.3 “Recolección de datos” y en el Anexo VIII respectivamente.

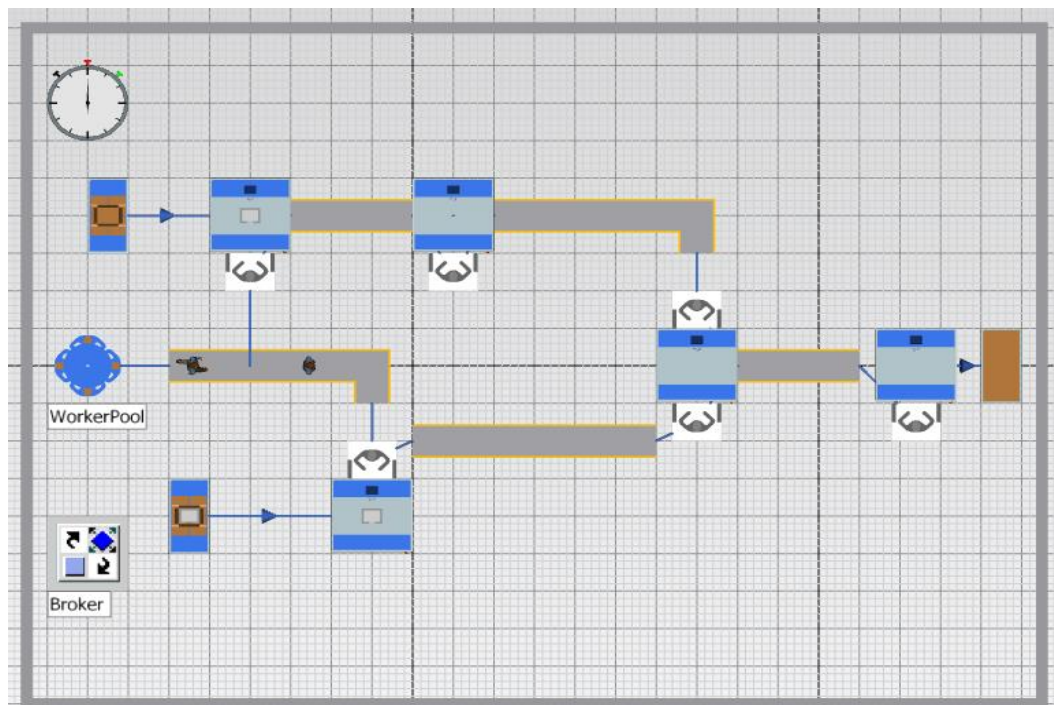
Posteriormente, se utilizan cinco SingleProc (Fig. 5.10) que representan a los procesos que se realizan en las máquinas y/o herramientas que se necesitan para fabricar los marcos de las ventanas, como el Cortado de PVC, el Cortado de Refuerzos, el Desagüe, el Atornillado y la Soldadura del marco. Sus tiempos de procesamiento, se encuentran en el Anexo VIII “Comportamiento de datos por proceso productivo” apartado 1 “Procesos para la Fabricación del Marco” (Figura VIII-1, Tabla VIII-1, Figura VIII-2, Tabla VIII-3 y Figura VIII-3).

Finalmente, el proceso concluye con un “Drain” (Fig. 5.11) denominado “FinMarco” que da término al proceso de fabricación del marco de la ventana de Pvplast.

Cabe destacar, que además, el proceso está compuesto por seis Workplace (Fig. 5.14) que permiten visualizar el lugar donde el funcionario realiza su trabajo, cinco FootPath (Fig. 5.15) para definir la ruta por la cual debe caminar el trabajador, un WorkerPool (Fig. 5.16) que representa la sala de personal de Pvplast y un Broker (Fig. 5.17) que simboliza al supervisor de la planta.

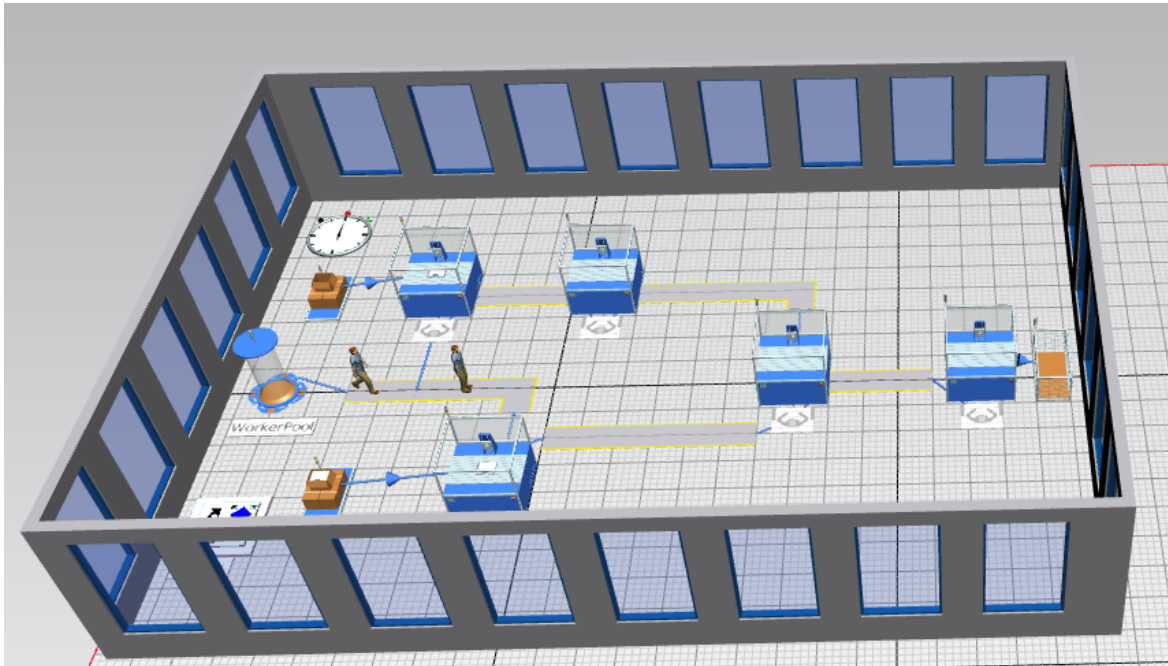
Para visualizar y comprender de mejor manera como los trabajadores se mueven de una estación a otra para fabricar el marco de la ventana, se selecciona en el Software la vista del proceso en 3D (Fig. 5.19 y 5.20)

Figura 5.19: Vista superior del Layout Propuesto en 3D para la fabricación del marco



Fuente: Elaboración propia - Tecnomatix Plant Simulation

Figura 5.20: Vista en 3D del Layout Propuesto para la fabricación del marco



Fuente: Elaboración propia - Tecnomatix Plant Simulation

Para la situación actual, se han utilizado los mismos MU, Resources y MaterialFlow, los cuales están distribuidos de distinta manera y con sus respectivos tiempos de procesamiento. El detalle de esta simulación se puede encontrar en el Anexo IX “Simulación de la Situación Actual en Software “Tecnomatix Plant Simulation”.

## 5.5 Resultados de la Simulación

Luego de construir el modelo de simulación para la fabricación del marco de las ventanas (tanto para el Layout actual como para el Layout propuesto), se realizaron 60 réplicas de 22 días cada una (para representar cinco años de simulación según solicitud del Gerente de la empresa), en las que se consideraron distintos tipos de factores que pueden afectar a la realización del proceso, tal como se evidencia en el Anexo X “Resultados de la Simulación de cada réplica”, el cual también muestra los tiempos procesamiento de cada estación de trabajo, la cantidad de entidades que entraron y salieron del sistema, y la distancia recorrida por cada funcionario.

En las siguientes tablas, se muestra un análisis realizado en base al promedio de los datos obtenidos de cada réplica.

Tabla 5.1: Cantidad de entidades que ingresaron y salieron del sistema

<b>Layout</b>	<b>Number in</b>	<b>Number out (marcos/mes)</b>
Actual	243	61
Propuesto	289	72

Fuente: Elaboración propia - Tecnomatix Plant Simulation

La Tabla 5.1, muestra el promedio de entidades (Perfiles de PVC y Refuerzos) que ingresaron y salieron del sistema (marcos de las ventanas). Estos valores presentan un aumento del 18% en la cantidad de marcos fabricados con la nueva distribución en planta, lo que se traduce en la construcción de 11 marcos más, esto se debe principalmente a que con el Layout propuesto la distancia recorrida por los trabajadores es menor a la que están realizando hoy en día, tal como se evidencia en la siguiente tabla:

Tabla 5.2: Distancia promedio recorrida por los trabajadores por mes

<b>Layout</b>	<b>Trabajador 1</b>	<b>Trabajador 2</b>	<b>Trabajador 3</b>
Actual	15779 m	14136 m	9980 m
Propuesto	13510 m	12125 m	8547 m

Fuente: Elaboración propia - Tecnomatix Plant Simulation

Según la tabla 5.2, la cantidad de metros recorridos en forma mensual por los trabajadores para construir los marcos de las ventanas, se reducen en un 14% con el Layout propuesto, presentando una disminución de 2269, 2011 y 1433 m por cada trabajador que participa del proceso, donde:

- ✓ El trabajador 1, es el encargado de ir a buscar los perfiles de PVC y posteriormente cortarlos para finalizar con la soldadura de éstos.
- ✓ El trabajador 2, es responsable de ir a buscar y cortar los refuerzos, además, del proceso de atornillado.
- ✓ El trabajador 3, es el encargado de realizar el desagüe tanto al perfil superior como inferior del maco de la ventana.

Al analizar las distancias recorridas por los trabajadores en cada réplica vs la cantidad de marcos fabricados, se puede obtener los metros que deben circular en promedio los trabajadores para construir un marco, tal como lo muestra la siguiente tabla:

Tabla 5.3: Distancia promedio recorrida por los trabajadores para fabricar el marco

Layout	Trabajador 1	Trabajador 2	Trabajador 3
Actual	272 m	244 m	172 m
Propuesto	196 m	176 m	124 m

Fuente: Elaboración propia - Tecnomatix Plant Simulation

En la tabla 5.3 se puede observar que la distancia que recorren en promedio los funcionarios para poder fabricar un marco de ventana con el Layout propuesto disminuye en un 28% respecto a la situación actual, reduciendo en 76, 68 y 48 m la distancia para el trabajador 1, 2 y 3 respectivamente. Sin embargo, es necesario conocer los porcentajes de utilización de las máquinas de acuerdo a los datos proporcionados por las simulaciones, los cuales se pueden verificar mediante la siguiente tabla:

Tabla 5.4: Tiempo acumulado promedio por estación de trabajo

Actividad	LAYOUT ACTUAL			LAYOUT PROPUESTO		
	Porcentaje	Tiempo Acumulado promedio (h)	Tiempo por marco promedio (h)	Porcentaje	Tiempo Acumulado promedio (h)	Tiempo por marco promedio (h)
BúsqPerfiles	21,07%	13:14:33	0:03:37	15,89%	9:09:07	0:02:06
CortadoPVC	12,70%	7:58:59	0:08:54	15,23%	8:46:31	0:08:16
Desagüe	12,08%	7:35:33	0:08:47	13,57%	7:48:58	0:07:38
BúsqRefuerzos	17,78%	11:10:27	0:02:48	12,20%	7:01:47	0:01:29
CortadoRefuerzos	6,83%	4:17:28	0:04:27	8,44%	4:51:47	0:04:15
Atornillado	9,29%	5:50:22	0:06:16	11,42%	6:34:51	0:05:58
Soldadura	20,25%	12:43:42	0:13:31	23,24%	13:23:26	0:12:02

Fuente: Elaboración propia - Tecnomatix Plant Simulation

Según la Tabla 5.4, el tiempo total que tardan los operarios en fabricar un marco de PVC, éste disminuye en 6:36 min en base a la situación actual y los tiempos de búsquedas ya sea de perfiles de PVC (BúsqPerfiles) y de refuerzos (BúsqRefuerzos) disminuyen en 1:31 y 1:19 min con la nueva distribución en planta, lo que equivale a 5.18 y 5.58% respectivamente.

Las demás actividades, si bien aumentaron su porcentaje y tiempo acumulado, disminuyeron el tiempo de fabricación por marco, esto se debe a que con el Layout propuesto, la cantidad de marcos fabricados aumentó en 11 unidades (ver Tabla 5.1) respecto a la situación actual simulada.

El cortado de PVC y la Soldadura, son las actividades que más tiempo demandan al trabajador 1 utilizando en promedio 8:54 y 13:31 min por marco fabricado, mientras que el Cortado de refuerzos y el Atornillado, son las actividades que menos tiempo tarda (4:27 y 6:18

min) en realizar el trabajador 2. No obstante, con la nueva distribución en planta estos tiempos se reducen entre 12 s. y 1:29 min, por cada unidad realizada, lo se traduce en 34:19 y 39:44 min por mes, debido al aumento de capacidad de producción respecto al Layout actual.

Con todos los datos obtenidos de la simulación, se realiza un análisis estadístico para determinar conclusiones válidas que serán de gran ayuda para el dueño de la empresa. Para esto, se realiza un muestreo aleatorio, en el cual se realizaron 60 simulaciones de 22 días hábiles, para la fabricación de los marcos de las ventanas, lo que equivale a un pronóstico de cinco años que han sido solicitado por el Gerente de la empresa.

Este análisis estadístico está compuesto por la media aritmética, la varianza y la desviación estándar, que junto al intervalo de confianza para un 95% se puede determinar la dispersión de los datos alrededor del promedio.

En las siguientes tablas (Tabla 5.5 y 5.6) se muestran los resultados obtenidos, tanto para el Layout Actual como para el propuesto.

Tabla 5.5: Datos estadísticos - Layout Actual

Actividad	$\bar{x}$ min	$\sum_{i=1}^{60} (x_i - \bar{x})^2$	Varianza ( $S^2$ )	Desviación estándar (S)	$\bar{x} \pm 1,96 \frac{S}{\sqrt{n}}$	Intervalo
BúsqPerfiles	3,61	156,69	2,66	1,63	$3,61 \pm 0,41$	[3.20 , 4.02]
CortadoPVC	8,90	1457,70	24,71	4,97	$8,90 \pm 1,26$	[7.64 , 10.16]
Desagüe	8,78	2040,04	34,58	5,88	$8,78 \pm 1,49$	[7.30 , 10.27]
BúsqRefuerzos	2,81	4,47	0,08	0,28	$2,81 \pm 0,07$	[2.74 , 2.88]
CortadoRefuerzos	4,45	107,35	1,82	1,35	$4,45 \pm 0,34$	[4.10 , 4.79]
Atornillado	6,27	529,97	8,98	3,00	$6,27 \pm 0,76$	[5.51 , 7.03]
Soldadura	13,52	1198,79	20,32	4,51	$13,52 \pm 1,14$	[12.38 , 14.66]

Fuente: Elaboración propia - Tecnomatix Plant Simulation

Según la Tabla. 5.5, la Soldadura del Marco es la que obtiene un mayor promedio en lo que respecta al tiempo de ejecución (13,52 min), mientras que la Búsqueda de Refuerzos es la que menos tiempo demanda en promedio a los trabajadores (2,81 min). En base a los resultados obtenidos en la varianza, se observa que el Desagüe y el Cortado de PVC son los que adquieren un mayor valor, 34,58 y 24,7 min<sup>2</sup>, esto quiere decir que los datos proporcionados por la simulación están dispersos en esas actividades, no obstante, la búsqueda de refuerzos junto el cortado de éstos, tienen un valor mucho más pequeño (0,08 y 1,28 min<sup>2</sup>) debido a que los datos se encuentran más agrupados. Sin embargo, como el tiempo está expresado en min<sup>2</sup> para esta variable, es mejor analizar los datos de la desviación estándar.

La búsqueda de refuerzos, presenta una desviación estándar de 0,28 min, debido a que los valores se encuentran cercanos unos de otros. Al considerar un intervalo de confianza de

95%, se determina que los datos generados por la simulación se localizan dentro de los 2,74 hasta los 2,88 min, rango muy distinto al proporcionado por el desagüe, debido a que su desviación estándar es más grande (5,88 min) porque los datos se encuentran más dispersos.

Sin embargo, el resultado obtenido en cada actividad para cada una de estas variables estadísticas, se reducen considerablemente con el Layout propuesto (Tabla 5.6), disminuyendo la desviación estándar del desagüe a 5,15 min presentando una variación de 0,73 min respecto a la situación actual.

Tabla 5.6: Datos Estadísticos - Layout Propuesto

Actividad	$\bar{x}$ (min)	$\sum_{n=1}^{60} (x_i - \bar{x})^2$	Varianza ( $S^2$ )	Desviación estándar (S)	$\bar{x} \pm 1,96 \frac{S}{\sqrt{n}}$	Intervalo
BúsqPerfiles	2,10	52,82	0,90	0,95	$2,10 \pm 0,24$	[1.86 , 2.34]
CortadoPVC	8,26	1333,27	22,60	4,75	$8,26 \pm 1,20$	[7.06 , 9.46]
Desagüe	7,63	1564,73	26,52	5,15	$7,63 \pm 1,30$	[6.33 , 8.94]
BúsqRefuerzos	1,49	1,26	0,02	0,15	$1,49 \pm 0,04$	[1.45 , 1.52]
CortadoRefuerzos	4,25	102,98	1,75	1,32	$4,25 \pm 0,33$	[3.91 , 4.58]
Atornillado	5,96	478,30	8,11	2,85	$5,96 \pm 0,72$	[5.24 , 6.68]
Soldadura	12,03	1097,61	18,60	4,31	$12,03 \pm 1,09$	[10.93 , 13.12]

Fuente: Elaboración propia - Tecnomatix Plant Simulation

Según la tabla 5.6, los datos obtenidos para cada actividad disminuyen respecto a la situación actual, siendo la búsqueda de refuerzos y la búsqueda de perfiles de PVC las desviaciones estándar más pequeñas con 0,15 y 0,95 min respectivamente, debido a que presentan una distancia promedio de  $\pm 0,04$  y  $0,24$  min en base a los datos obtenidos de su media aritmética, proporcionando un intervalo de confianza que fluctúa entre 1,45 y 2,34 min.

## 5.6 Análisis de los resultados de la simulación

De acuerdo a los resultados obtenidos de la simulación y a las consideraciones realizadas para hacer cada una de las réplicas, se puede concluir que la distribución en planta seleccionada para Pvplast, cumple con lo establecido en los Objetivos, debido a que se reduce el tiempo de fabricación de los marcos de PVC en 6:36 min (13,66%) y la distancia recorrida por los operarios en 334 m., aumentando a su vez, en 11 unidades la cantidad de marcos generados en forma mensual.

## 6. Conclusiones

El presente trabajo de título, tuvo como objetivo Diseñar un Layout para Pvplast que disminuyera el tiempo de fabricación de puertas y ventanas de PVC. Para esto, se propusieron tres alternativas de distribución en planta, las cuales fueron definidas bajo la metodología SLP y validadas mediante la aplicación del método AHP.

Según los resultados obtenidos, se selecciona el Layout B (Fig. 4.24), el cual reduce la distancia desde las máquinas al almacenamiento de la materia prima, disminuyendo el trayecto de la búsqueda de los perfiles de PVC y de los refuerzos en 12 y 16 m respectivamente.

Posteriormente, se intentó simular el proceso completo de fabricación de puertas y ventanas de PVC en el Software Tecnomatix Plant Simulation, pero por problemas de soporte, solo fue posible simular la construcción del marco tanto del layout actual como del propuesto, para los cuales se consideraron 60 réplicas de 22 días hábiles y todas con distintos tipos de factores que pueden influir en la realización del proceso (Anexo X).

De los resultados obtenidos de la simulación para ambos Layout, se concluye que la distribución en planta propuesta, es más eficiente debido a que se fabrican 11 marcos de ventanas más respecto a la distribución actual, permitiendo a su vez, que el proceso sea más fluido y que la distancia recorrida por los operarios disminuya en un 14%. Respecto al tiempo acumulado por mes que demandan las actividades realizadas para fabricar los marcos de las ventanas, disminuye en 5:14:37 h/mes. con la nueva distribución en planta, donde la búsqueda de perfiles de PVC se acorta a 9:09:07 h/mes y la búsqueda de refuerzos a 7:01:47 h/mes, lo que equivale a una reducción del 30,89 y 37,09 % con el Layout propuesto.

De acuerdo a los análisis estadísticos realizados, la varianza, presenta una disminución considerable en la actividad de desagüe, actividad que requiere de una gran precisión por los operarios, disminuyendo en 2,84 min respecto a la situación actual, donde se reduce la media del tiempo de procesamiento de esta actividad a una desviación promedio de 26,52 min<sup>2</sup>. Respecto a las desviaciones estándar más pequeñas, la búsqueda de refuerzos y de PVC con 0,15 y 0,95 min respectivamente, son las que presentan una distancia promedio de  $\pm 0,04$  y 0,24 min en base a los datos obtenidos de su media aritmética.

Para finalizar, se concluye que el Layout propuesto cumple con los objetivos establecidos y es una buena opción para realizar modificaciones en la distribución en planta de la empresa, permitiendo obtener mejoras en los tiempos de fabricación de puertas y ventanas de PVC, aumentando a su vez, su productividad. Sin embargo, es necesario destacar que los tiempos de procesamiento pueden variar debido al factor humano, ya que cada una de los operarios trabajan de una manera diferente.

## Bibliografía

- Adam, E., & Ebert, R. (1991).** *Administración de la producción y las operaciones: Conceptos, modelos y funcionamiento.* Pearson Educación.
- De la Fuente G., D., & Fernández Q., I. (2005).** *Distribución en Planta.* Oviedo: Universidad de Oviedo.
- Konz, S. (2005).** *Diseño de Instalaciones Industriales.* México: Limusa/Noriega Editores.
- Lara, G. (2014).** *Pvplast.* Obtenido de [www.pvplast.cl](http://www.pvplast.cl)
- López, J. (2000).** *Notas de Distribución de Planta.* México: Azcapotzalco.
- Muther, R. (1968).** *Planificación y proyección de la empresa industrial.* Barcelona: Editores técnicos asociados, s.a.
- Muther, R. (1970).** *Distribución en Planta.* Barcelona (España): Hispano Europea.
- Muther., R. (1968).** *Planificación y proyección de la empresa industrial (Método SLP).* Barcelona, España: Editorial Técnicos Asociados S.A.
- Saaty, T. (1980).** *Multicriteria decision making: The analytic hierarchy process.* New York: McGraw Hill.
- Saaty, T. (2014).** *Toma de decisiones para líderes, El proceso analítico jerárquico la toma de decisiones en un mundo complejo.* Pittsburgh: RWS Publications.

# **Anexos**

**Anexo I:** Productos elaborados en la empresa



Puertas



Ventana Corredera



Ventana Fija



Ventana Oscilobatiente



Ventana Abatir



Ventana Proyectante

## Anexo II: Recursos Físicos de Pvplast

### ✓ Cortadora ascendente automática:



- ✓ Diseñada para el corte en perfiles de aluminio y PVC.
- ✓ Corte de izquierda a derecha 15°, - 22.5°, 45° - 90° con topes rápidos. También permite cortar otros ángulos utilizando la regla con indicación de ángulos.
- ✓ Patas ajustables para ajustar al suelo y disminuir vibraciones.
- ✓ Robusta y diseñada bajo normas ISO 9001-200 y reglas de seguridad CE.
- ✓ Disco 450mm.
- ✓ Sistema liviano de medición y apoyo de perfil.
- ✓ Origen: Turquía.
- ✓ Marca: Intelli-Mach

### ✓ Pantógrafo triple (Desaguadora, Copiadora y Cremonera):



- ✓ Se utiliza para la perforación de agujeros para las manillas, ranuras de la cremona y el desagüe en el perfil de PVC y aluminio.
- ✓ Plantilla de mecanizados intercambiable.
- ✓ Altura, profundidad y ángulo de la cuchilla está regulada.
- ✓ Diseñada bajo normas de seguridad de CE e ISO 9001-2000.  
Origen: Turquía  
Marca: Intelli-Mach

✓ Sierra cortadora sensitiva 14"



- ✓ Motor de 2200 W de alta potencia, con arranque suave para cortar metal.
  - ✓ Su fijación al eje de 25,4 mm acepta una gran variedad de hojas de sierra.
  - ✓ Hoja de sierra de titanio rápida, robusta, de 355mm y con 70 dientes.
  - ✓ Permite cortes de excelente calidad sin rebabas.
  - ✓ Sistema de sujeción con mordaza vertical que ofrece una gran seguridad.
  - ✓ Base de acero de gran tamaño de gran estabilidad. Fácilmente transportable.
- Origen: Estados Unidos.  
Marca: Dewalt.

✓ Máquina Junquilladora con 4 series:



- ✓ Corta automáticamente los junquillos de aluminio o PVC.
  - ✓ Protegida contra accidentes de operación.
  - ✓ Corta dos esquinas a la vez, con un ángulo de 45° en 5 segundos.
  - ✓ Tiene plantillas ajustables.
  - ✓ Molduras / contra formas son fácilmente intercambiables.
  - ✓ Robusta y diseñada bajo normas ISO 9001-200 y reglas de seguridad CE.
- Origen: Turquía  
Marca: Intelli-Mach

- Sierra de Inglete



- ✓ 9 ajustes en ángulos positivos; 15, 22.5, 30, 45 grados, derecha o izquierda y 0 grados (90 grados de corte).
- ✓ Empuñadura frontal diseñada para un fácil ajuste de inglete.
- ✓ Operación silenciosa (sólo 85db).  
Marca: Makita

- ✓ Máquina retestadora o de traslapos (palillos):



- ✓ Fresado automático del perfil de PVC y aluminio.
- ✓ Tiene un sistema de procesamiento para cuatro perfiles diferentes.
- ✓ El tiempo de procesamiento de los dos lados del perfil es 20 segundos.
- ✓ Fresa en diferentes ángulos.
- ✓ Diseñado según normas CE.  
Origen: Turquía.  
Marca: Intelli-Mach.

- ✓ Máquina soldadora monocabezal de 0,2 mm:



- ✓ Temperatura de soldado ajustada digitalmente entre los 0 y 400°. (Se recomienda 240°).
- ✓ Tiempo de soldado ajustado digitalmente.
- ✓ Tiempo de derretimiento ajustado electromagnéticamente de forma automática.
- ✓ Trabajo con pedal o desde el PLC digital.
- ✓ Sujeción neumática de la ventana con dos brazos de apoyo.
- ✓ Permite soldado en ángulos entre 0 y 45°.
- ✓ Voltaje 220V.
- ✓ Altura máxima de perfil 140mm.
- ✓ Fabricada bajo normas ISO 9000.  
Origen: Turquía.  
Marca: Kraft&Müller.

✓ Atornillador Eléctrico:



- ✓ Potencia de 600 Watts.
  - ✓ Velocidad de 0 – 4.000 RPM.
  - ✓ Fácil de maniobrar y pesa solo 1,7 Kg.
  - ✓ Posee un cable de 2 metros de largo y cepillo de carbono para una óptima operación.
- Origen: China.  
Marca: Bauker.

✓ Taladro de Rotación Eléctrico:



- ✓ Realiza trabajos de perforación en toda clase de superficies según la broca elegida para su aplicación.
  - ✓ Potencia de 450 Watts.
  - ✓ Velocidad de 0 – 2.800 RPM.
  - ✓ Fácil de maniobrar y pesa solo 1,84 Kg.
  - ✓ Capacidad de perforación en Acero 10 mm y en Madera 20 mm.
- Origen: China.  
Marca: Bauker.

Después de terminado del proceso de Soldadura de los productos, se necesitan las siguientes herramientas para poder sacar las rebabas generadas:

Mazo plástico



Formón



Alicate de corte frontal



**Anexo III: Materia prima utilizada en Pvplast**



Perfiles de PVC



Refuerzos



Tornillos



Felpa



Cremona



Carros



Riel



Junquillos



Traslapos



Embellecedores



Manilla



Cilindros



Kit OB.



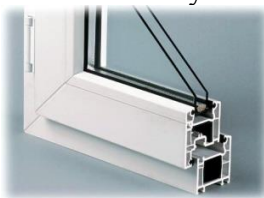
Brazos Proyec.



Silicona



Cunas



Vidrio

**Anexo IV:** Dimensiones de los elementos físicos representados en el plano de la empresa

<b>Elemento</b>	<b>Dimensión (m)</b>	<b>Observación</b>
Baño	2.0 x 3.0	Equipado con ducha, WC y lavamanos.
Comedor	5.0 x 3.0	Equipado con un mesón, bancas y microondas.
Oficina 1 y 2	4.0 x 3.0	Equipadas con lo necesario para realizar las funciones administrativas de la empresa.
Oficina 3	3.0 x 3.0	Esta oficina es utilizada para guardar impresoras, papeles, tipos de perfiles, etc.
Cortadora de PVC	6.0 x 1.0	Estas dimensiones corresponden a los sostenedores de perfiles que posee la máquina.
Mesones	3.0 x 4.0	El mesón 2 posee anclado en un costado un Taladro para hacer los orificios de instalación a los marcos de las puertas y ventanas de PVC.
Compresor	1.7 x 0.8	El compresor no da abasto con la cantidad de máquinas utilizadas.
Soldadora	1.4 x 0.7	Dimensión basada en la soldadora con los brazos de apoyo abiertos.
Ingleteadora	5.0 x 0.8	Estas medidas incluyen la base de fierro que posee el inglete para afirmar los perfiles de PVC o junquillos. Cabe destacar que esta máquina no se utiliza.
Carro	2.0 x 1.0	Permite sostener los perfiles de PVC que ya han pasado por el proceso de corte.
Pantógrafo Triple	1.0 x 0.7	No siempre funciona al 100%.
Junquilladora	3.0 x 0.7	Estas medidas incluyen la base para sostener los junquillos.
Retestadora	1.0 x 1.0	Máquina con poco uso.
Atril 1	4.0 x 2.0	Destinado para el almacenaje de productos terminados y mermas
Atril 2	8.0 x 2.0	Destinado para el almacenaje de productos terminados y mermas
Corte de refuerzos y Acopio de Materia prima	8.0 x 2.0	Esta dimensión corresponde a una especie de sostenedor fabricada por los operarios, la cual por un lado posee una sierra que se utiliza para cortar los refuerzos y por el otro lado acopia materia prima, especialmente junquillos.
Acopio de Junquillos	6.0 x 1.0	Este tipo de acopio impide el paso por ese pasillo.
Acopio de perfiles de PVC	7.0 x 6.0	Ordenados por color, tipo y marca.
	6.0 x 1.0	Perfiles para hojas correderas de color blanco marca Bauplast.
Acopio de refuerzos	6.0 x 2.0	Este tipo de acopio impide el paso por ese pasillo
Puertas	3.6	Dos puertas de la misma medida que permiten la entrada y salida de materiales y productos terminados.

Fuente: Elaboración propia

### Anexo V: Tiempos de Fabricación de puertas y ventanas de PVC

#### ✓ Tiempos de Fabricación de marcos de puertas y ventanas de PVC

Obra	Ventana / Puerta	Tamaño (mm)	Búsqueda de material	Medir perfiles de PVC	Cortar perfiles de PVC	Hacer orificios de PVC	Hacer Desagüe	Medir refuerzos	Cortar Refuerzos	Poner Refuerzos en el perfil de PVC	Poner Refuerzos en el perfil de PVC	Atomillado de refuerzo al perfil	Poner Feipa	Soldadura de perfiles	Eliminar Rebabas	Hacer orificios de instalación	Soldadura de perfiles	Eliminar Rebabas
Obra Alcayaga	V01	2270 x 2000	0:04:18	0:05:02	0:06:44	0:02:11	0:05:28	0:00:34	0:00:48	0:01:12	0:01:15	0:01:53	0:02:01	0:00:31	0:00:31	0:00:46	0:08:01	0:03:42
	V02	2402 x 2000	0:02:07	0:02:28	0:02:11	0:10:41	0:10:41	0:01:43	0:00:45	0:01:15	0:01:15	0:01:53	0:02:01	0:00:46	0:00:46	0:08:01	0:03:42	
	V03	1755 x 1070	0:02:29	0:02:02	0:03:06	0:10:14	0:10:14	0:02:10	0:01:32	0:01:32	0:00:59	0:00:59	0:02:05	0:00:27	0:00:27	0:08:51	0:02:01	
	V04	1765 x 1070	0:02:44	0:01:58	0:01:22	0:09:54	0:02:18	0:02:18	0:01:05	0:01:05	0:01:04	0:01:04	0:02:31	0:00:25	0:00:25	0:13:03	0:01:58	
	V05	815 x 890	0:02:10	0:02:49	0:04:16	0:02:38	0:01:55	0:01:27	0:00:45	0:01:27	0:00:45	0:00:45	0:02:14	0:00:18	0:00:18	0:06:08	0:01:23	
	V06	1482 x 2005	0:02:13	0:01:19	0:02:54	0:02:46	0:01:59	0:01:02	0:01:02	0:01:02	0:01:24	0:01:24	0:02:13	0:01:18	0:01:18	0:08:36	0:02:05	
	V07	1482 x 2007	0:02:31	0:01:37	0:02:08	0:03:23	0:02:01	0:01:12	0:01:12	0:01:12	0:01:32	0:01:32	0:01:55	0:01:08	0:01:08	0:08:41	0:01:59	
Obra Los Almendros	P01	965 x 2160	0:01:57	0:02:35	0:04:15	0:00:41	0:00:41	0:03:12	0:01:39	0:01:39	0:00:39	0:00:39	0:04:13	0:01:45	0:01:45	0:04:35	0:02:27	
	P02	972 x 2220	0:01:20	0:01:37	0:02:10	0:00:49	0:03:25	0:03:25	0:03:39	0:00:51	0:00:51	0:01:57	0:03:29	0:01:23	0:01:23	0:06:21	0:04:02	
	V03	5475 x 2936	0:04:46	0:04:50	0:13:55	0:26:56	0:02:20	0:01:43	0:01:43	0:01:57	0:01:57	0:08:12	0:07:10	0:01:43	0:01:43	0:11:10	0:04:59	
	V04	5470 x 2940	0:03:58	0:03:31	0:10:15	0:34:28	0:04:22	0:01:18	0:02:01	0:02:01	0:02:18	0:02:18	0:03:32	0:03:12	0:03:12	0:13:44	0:05:21	
	V05	5470 x 2945	0:11:30	0:06:24	0:08:44	0:13:51	0:04:04	0:01:35	0:01:35	0:01:35	0:02:18	0:02:18	0:03:52	0:01:12	0:01:12	0:10:20	0:05:53	
	V06	5470 x 2945	0:05:36	0:03:01	0:07:55	0:14:11	0:04:15	0:01:24	0:01:24	0:01:24	0:02:22	0:02:22	0:03:01	0:01:29	0:01:29	0:15:18	0:06:07	
	V07	5485 x 2465	0:09:59	0:04:14	0:16:35	0:29:31	0:05:33	0:02:07	0:02:07	0:02:59	0:02:59	0:02:59	0:15:36	0:02:18	0:02:18	0:21:38	0:06:25	
V08	5472 x 2460	0:08:09	0:04:38	0:10:13	0:15:10	0:05:53	0:01:39	0:01:39	0:03:18	0:03:18	0:03:18	0:12:51	0:02:31	0:02:31	0:14:44	0:05:43		

Fuente: Elaboración propia

#### ✓ Tiempos de Fabricación de las hojas para las puertas y ventanas de PVC

Obra	Ventana / Puerta	Búsqueda del material	Medir perfiles de PVC	Cortar perfiles de PVC	Hacer Desagüe	Hacer orificios Cremona	Medir refuerzos	Cortar Refuerzos	Poner Refuerzos en el perfil de PVC	Atomillado de refuerzo al perfil	Poner Feipa	Soldadura de perfiles	Eliminar Rebabas	Medir Junguillos	Corrar Junguillos	Poner Junguillos	
Obra Alcayaga	V01	0:03:06	0:02:19	0:03:54	0:07:53	0:03:47	0:04:09	0:01:59	0:02:15	0:06:38	0:13:01	0:15:54	0:06:38	0:04:59	0:15:12	0:05:27	
	V02	0:03:49	0:02:37	0:04:04	0:06:54	0:03:35	0:02:35	0:02:11	0:02:47	0:07:56	0:12:45	0:15:50	0:07:59	0:05:07	0:15:45	0:05:34	
	V03	0:02:35	0:01:47	0:03:25	0:05:23	0:03:26	0:02:00	0:01:17	0:02:18	0:02:45	0:12:32	0:14:39	0:06:47	0:04:32	0:13:59	0:05:02	
	V04	0:04:13	0:01:58	0:06:44	0:04:51	0:04:28	0:01:58	0:01:29	0:02:36	0:02:27	0:12:31	0:16:33	0:07:02	0:04:46	0:14:37	0:04:49	
	V05	0:01:59	0:01:12	0:03:44	0:08:42	0:04:59	0:05:42	0:01:51	0:01:57	0:03:14	0:09:18	0:13:25	0:06:24	0:04:01	0:12:31	0:04:21	
	V06	0:03:15	0:02:13	0:05:40	0:07:30	0:03:24	0:02:27	0:01:06	0:02:30	0:03:33	0:10:25	0:14:01	0:20:01	0:06:28	0:14:04	0:05:43	
	V07	0:03:21	0:02:07	0:04:00	0:07:54	0:03:30	0:02:23	0:01:13	0:02:30	0:04:09	0:11:43	0:09:58	0:07:40	0:05:51	0:13:53	0:05:28	
Obra Los Almendros	P01	0:01:45	0:02:35	0:03:31	0:14:42	0:12:46	0:03:43	0:00:59	0:01:05	0:03:21	0:03:12	0:03:15	0:19:42	0:02:12	0:10:43	0:03:15	
	V02	0:02:01	0:02:35	0:03:12	0:14:48	0:12:46	0:02:15	0:00:59	0:01:05	0:03:21	0:03:12	0:04:12	0:16:47	0:03:25	0:10:43	0:03:57	
	V03	0:04:16	0:06:08	0:13:53	0:08:21	0:12:53	0:02:15	0:01:15	0:03:12	0:04:21	0:14:06	0:25:18	0:06:37	0:05:55	0:18:54	0:08:49	
	V04	0:05:17	0:05:46	0:28:19	0:11:53	0:07:33	0:09:25	0:06:09	0:03:34	0:06:32	0:14:01	0:21:36	0:06:49	0:04:59	0:17:37	0:07:57	
	V05	0:04:34	0:05:07	0:16:19	0:12:02	0:10:53	0:07:21	0:04:24	0:02:06	0:03:25	0:27:54	0:12:11	0:31:31	0:07:28	0:05:32	0:18:15	0:07:25
	V06	0:04:23	0:04:01	0:16:19	0:18:40	0:10:53	0:09:02	0:04:49	0:02:04	0:03:35	0:33:20	0:12:32	0:26:07	0:07:59	0:06:08	0:18:03	0:08:31
	V07	0:04:58	0:05:08	0:12:34	0:14:37	0:05:45	0:05:07	0:02:40	0:04:15	0:10:15	0:10:15	0:08:05	0:37:25	0:08:12	0:06:24	0:19:55	0:11:15
V08	0:04:49	0:05:59	0:04:58	0:11:32	0:06:47	0:01:59	0:01:25	0:04:03	0:08:02	0:07:41	0:36:18	0:08:35	0:06:18	0:19:24	0:10:59		

Fuente: Elaboración propia

✓ Tiempo de armado de puertas y ventanas de PVC

	Ventana / Puerta	Armado de la Ventana / Puerta	Poner carros	Poner cremona	Medir traslapos	Cortar traslapos	Poner traslapos	Almacenamiento del producto
<b>Obra Alcayaga</b>	V01	0:12:18	0:02:40	0:11:12	0:01:59	0:02:01	0:00:45	0:05:27
	V02	0:12:21	0:02:31	0:11:59	0:01:45	0:02:34	0:00:59	0:05:59
	V03	0:11:56	0:02:17	0:10:34	0:01:12	0:02:18	0:00:48	0:04:46
	V04	0:13:27	0:02:25	0:11:18	0:01:25	0:02:05	0:00:51	0:04:39
	V05	0:12:12	0:01:32	0:10:59	0:00:59	0:01:55	0:00:32	0:03:25
	V06	0:13:05	0:01:58	0:11:54	0:01:43	0:02:11	0:00:47	0:04:57
	V07	0:13:19	0:02:09	0:10:21	0:01:31	0:02:16	0:00:55	0:04:08
<b>Obra Los Almendros</b>	P01	0:43:19	-	0:18:12	-	-	-	0:02:15
	P02	0:44:41	-	0:17:55	-	-	-	0:03:05
	V03	0:25:47	0:02:18	0:13:11	0:02:01	0:03:45	0:05:59	0:07:18
	V04	0:26:04	0:02:15	0:13:25	0:01:59	0:03:57	0:05:25	0:07:59
	V05	0:27:11	0:02:01	0:12:56	0:02:14	0:04:02	0:06:01	0:08:21
	V06	0:27:15	0:02:58	0:14:01	0:02:17	0:04:11	0:06:11	0:08:52
	V07	0:28:01	0:03:09	0:14:55	0:02:25	0:03:51	0:06:58	0:09:16
	V08	0:28:22	0:03:12	0:15:09	0:02:31	0:04:27	0:07:17	0:09:37

Fuente: Elaboración propia

**Anexo VI:** Matriz de comparación, matriz normalizada y peso de cada alternativa respecto a los factores considerados en la Adaptación del diagrama

✓ **Factor Maquinaria**

	Layout A	Layout B	Layout C
Layout A	1	1/4	1/2
Amaq = Layout B	4	1	3
Layout C	2	1/3	1

	Layout A	Layout B	Layout C
Layout A	0,14	0,16	0,11
Nmaq = Layout B	0,57	0,63	0,67
Layout C	0,29	0,21	0,22

Maq.	Alternativas	Peso
	Layout A	0,14
	Layout B	0,62
	Layout C	0,24

En la matriz de comparación, el valor de 2 indica que el Layout C esta entre igual y moderadamente preferible sobre el Layout A, el 3 indica que se prefiere moderadamente el Layout B sobre el C y el 4 muestra que el Layout B se encuentra entre modera y fuertemente preferible sobre el Layout A . De igual manera los valores 1/2, 1/3 y 1/4 corresponden a los inversos. Al normalizar esta matriz y obtener los pesos relativos de cada alternativa se puede apreciar que el Layout B es el de mayor prioridad respecto al Factor maquinaria obteniendo un 62% del total.

Con la matriz de comparación y los pesos de las alternativas se determina que la matriz es consistente ya que su razón de consistencia (CR) arroja un valor de 0,02 (donde  $n_{\max} = 3,03$ ,  $CI = 0,01$  y  $RI = 0,66$ ).

✓ **Factor Personas**

	Layout A	Layout B	Layout C
Layout A	1	2	1/2
Apers = Layout B	1/2	1	1/2
Layout C	2	2	1

	Layout A	Layout B	Layout C
Layout A	0,29	0,40	0,25
Npers = Layout B	0,14	0,20	0,25
Layout C	0,57	0,40	0,50

Pers.	Alternativas	Peso
	Layout A	0,31
	Layout B	0,20
	Layout C	0,49

En la matriz de comparación, el valor de 2 indica que el Layout C esta entre igual y moderadamente preferible sobre el Layout A y B, mientras que el A sobre el B. De igual manera los valores 1/2 corresponden a sus inversos. Al normalizar esta matriz y obtener los pesos relativos de cada alternativa se puede apreciar que el Layout C es el de mayor prioridad respecto al Factor personas obteniendo un 49% del total.

Con la matriz de comparación y los pesos de las alternativas se determina que la matriz es consistente ya que su razón de consistencia (CR) arroja un valor de 0,05 (donde  $n_{\max} = 3,06$ ,  $CI = 0,03$  y  $RI = 0,66$ ).

✓ **Factor Movimiento**

	Layout A	Layout B	Layout C
Layout A	1	1/3	1
Amov = Layout B	3	1	2
Layout C	1	1/2	1

	Layout A	Layout B	Layout C
Layout A	0,20	0,18	0,25
Nmov = Layout B	0,60	0,55	0,50
Layout C	0,20	0,27	0,25

Mov.	Alternativas	Peso
	Layout A	0,21
	Layout B	0,55
	Layout C	0,24

En la matriz de comparación, el valor de 2 indica que el Layout B se encuentra entre igual y moderadamente preferible sobre el Layout C y el 3 indica que se prefiere moderadamente el Layout B sobre el A. De igual manera los valores 1/2 y 1/3 corresponden a los inversos. Al normalizar esta matriz y obtener los pesos relativos de cada alternativa se puede apreciar que el Layout B es el de mayor prioridad respecto al Factor movimiento obteniendo un 55% del total.

Con la matriz de comparación y los pesos de las alternativas se determina que la matriz es consistente ya que su razón de consistencia (CR) arroja un valor de 0,02 (donde  $n_{\text{máx}} = 3,02$ ,  $CI = 0,01$  y  $RI = 0,66$ ).

### ✓ Factor Espera

	Layout A	Layout B	Layout C	
Layout A	1	1/2	1	] =
Layout B	2	1	2	
Layout C	1	1/2	1	

	Layout A	Layout B	Layout C
Layout A	0,25	0,25	0,25
Layout B	0,50	0,50	0,50
Layout C	0,25	0,25	0,25

	Alternativas	Peso
Espera	Layout A	0,25
	Layout B	0,50
	Layout C	0,25

En la matriz de comparación, el valor de 2 indica que el Layout B esta entre igual y moderadamente preferible sobre el Layout A y C. De igual manera el valor 1/2 corresponden a su inverso. Al normalizar esta matriz y obtener los pesos relativos de cada alternativa se puede apreciar que el Layout B es el de mayor prioridad respecto al Factor espera obteniendo un 50% del total.

Con la matriz de comparación y los pesos de las alternativas se determina que la matriz es consistente ya que su razón de consistencia (CR) arroja un valor de 0 (donde  $n_{\text{máx}} = 3$ ,  $CI = 0$  y  $RI = 0,66$ ).

### ✓ Factor Servicio

	Layout A	Layout B	Layout C	
Layout A	1	1/3	1	] =
Layout B	3	1	3	
Layout C	1	1/3	1	

	Layout A	Layout B	Layout C
Layout A	0,20	0,20	0,20
Layout B	0,60	0,60	0,60
Layout C	0,20	0,20	0,20

	Alternativas	Peso
Serv.	Layout A	0,20
	Layout B	0,60
	Layout C	0,20

En la matriz de comparación, el valor 3 indica que se prefiere moderadamente el Layout B sobre el A y el C. De igual manera el valor 1/3 corresponde a su inverso. Al normalizar esta matriz y obtener los pesos relativos de cada alternativa se puede apreciar que el Layout B es el de mayor prioridad respecto al Factor Servicio obteniendo un 60% del total.

Con la matriz de comparación y los pesos de las alternativas se determina que la matriz es consistente ya que su razón de consistencia (CR) arroja un valor de 0 (donde  $n_{\text{máx}} = 3$ ,  $CI = 0$  y  $RI = 0,66$ ).

✓ **Factor Edificio**

	Layout A	Layout B	Layout C
Layout A	1	1/2	1
A <sub>edf</sub> = Layout B	2	1	4
Layout C	1	1/4	1

	Layout A	Layout B	Layout C
Layout A	0,25	0,29	0,17
N <sub>edf</sub> = Layout B	0,50	0,57	0,67
Layout C	0,25	0,14	0,17

	<b>Alternativas</b>	<b>Peso</b>
Edf.	Layout A	0,23
	Layout B	0,58
	Layout C	0,19

En la matriz de comparación, el valor de 2 indica que el Layout B esta entre igual y moderadamente preferible sobre el Layout A y el 4 muestra que el Layout B se encuentra entre modera y fuertemente preferible sobre el Layout C. De igual manera los valores 1/2 y 1/4 corresponden a los inversos. Al normalizar esta matriz y obtener los pesos relativos de cada alternativa se puede apreciar que el Layout B es el de mayor prioridad respecto al Factor Edificio obteniendo un 58% del total.

Con la matriz de comparación y los pesos de las alternativas se determina que la matriz es consistente ya que su razón de consistencia (CR) arroja un valor de 0,05 (donde  $n_{\text{máx}} = 3,07$ ,  $CI = 0,03$  y  $RI = 0,66$ ).

✓ **Factor Cambio**

	Layout A	Layout B	Layout C
Layout A	1	1/5	1/2
A <sub>cambio</sub> = Layout B	5	1	2
Layout C	2	1/2	1

	Layout A	Layout B	Layout C
Layout A	0,13	0,12	0,14
N <sub>cambio</sub> = Layout B	0,63	0,59	0,57
Layout C	0,25	0,29	0,29

	<b>Alternativas</b>	<b>Peso</b>
Cambio	Layout A	0,13
	Layout B	0,59
	Layout C	0,28

En la matriz de comparación, el valor de 2 indica que el Layout B esta entre igual y moderadamente preferible sobre el Layout C, mientras que éste lo está sobre el Layout A y el 5 muestra una preferencia fuertemente del Layout B sobre el A. De igual manera los valores 1/2 y 1/5 corresponden a los inversos. Al normalizar esta matriz y obtener los pesos relativos de cada alternativa se puede apreciar que el Layout B es el de mayor prioridad respecto al Factor cambio obteniendo un 59% del total.

Con la matriz de comparación y los pesos de las alternativas se determina que la matriz es consistente ya que su razón de consistencia (CR) arroja un valor de 0,01 (donde  $n_{\text{máx}} = 3,01$ ,  $CI = 0,01$  y  $RI = 0,66$ ).

## Anexo VII: Consideraciones y tiempo de fabricación por proceso - Obra Alcayaga

### 1. Marcos de las ventanas

#### 1.1 Consideraciones:

- ✓ El Cortado de perfiles incluye los procesos medir y cortar.
- ✓ El Cortado de refuerzos incluye los procesos medir y cortar.
- ✓ El proceso de Atornillado incluye: poner los refuerzos en el perfil, atornillarlos y hacer los orificios de instalación.
- ✓ La soldadura de perfiles incluye los proceso de Soldadura y la eliminación de las rebabas.
- ✓ La distancia de la Búsqueda de perfiles para el Layout actual es de 24 m y para el Layout propuesto es de 12 m.
- ✓ El proceso de desagüe disminuye en 45 s. con la nueva distribución.
- ✓ La distancia del Layout actual para ir a buscar los refuerzos es de 34m, mientras que para el Layout propuesto es de 18 m.
- ✓ La distancia que recorren los operarios en la distribución actual para poner los refuerzos en el perfil de PVC es de 11m y con el Layout propuesto, esta distancia disminuye a 6m.

#### 1.2 Tiempos de fabricación

- ✓ Layout actual

Ventana	Tamaño (mm)	Búsqueda de perfiles	Cortado de perfiles	Desagüe	Búsqueda de refuerzos	Cortado de refuerzos	Atornillado	Soldadura de perfiles
V01	2270 x 2000	0:04:18	0:11:46	0:05:28	0:02:59	0:01:22	0:03:44	0:09:25
V02	2402 x 2000	0:02:07	0:04:39	0:10:41	0:02:43	0:02:28	0:03:54	0:11:43
V03	1755 x 1070	0:02:29	0:05:08	0:10:14	0:03:27	0:03:42	0:03:31	0:10:52
V04	1765 x 1070	0:02:44	0:03:20	0:09:54	0:02:55	0:03:23	0:04:00	0:15:01
V05	815 x 890	0:02:10	0:07:05	0:02:38	0:01:58	0:03:22	0:03:17	0:07:31
V06	1482 x 2005	0:02:13	0:04:13	0:02:46	0:02:12	0:03:01	0:04:55	0:10:41
V07	1482 x 2007	0:02:31	0:03:45	0:03:23	0:03:07	0:03:13	0:04:35	0:10:40

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Layout propuesto

Ventana	Tamaño (mm)	Búsqueda de perfiles	Cortado de perfiles	Desagüe	Búsqueda de refuerzos	Cortado de refuerzos	Atornillado	Soldadura de perfiles
V01	2270 x 2000	0:02:30	0:11:46	0:04:43	0:01:35	0:01:22	0:03:11	0:09:25
V02	2402 x 2000	0:01:14	0:04:39	0:09:56	0:01:26	0:02:28	0:03:20	0:11:43
V03	1755 x 1070	0:01:27	0:05:08	0:09:29	0:01:50	0:03:42	0:03:04	0:10:52
V04	1765 x 1070	0:01:36	0:03:20	0:09:09	0:01:33	0:03:23	0:03:31	0:15:01
V05	815 x 890	0:01:16	0:07:05	0:01:53	0:01:02	0:03:22	0:02:57	0:07:31
V06	1482 x 2005	0:01:18	0:04:13	0:02:01	0:01:10	0:03:01	0:04:17	0:10:41
V07	1482 x 2007	0:01:28	0:03:45	0:02:38	0:01:39	0:03:13	0:03:53	0:10:40

Fuente: Elaboración propia

## 2. Hojas de las ventanas

### 2.1 Consideraciones:

- ✓ El Cortado de perfiles incluye los procesos medir y cortar.
- ✓ El Cortado de refuerzos incluye los procesos medir y cortar.
- ✓ El proceso de Atornillado incluye: poner los refuerzos en el perfil, atornillarlos y poner felpa.
- ✓ La soldadura de perfiles incluye los proceso de Soldadura y la eliminación de las rebabas.
- ✓ El cortado de Junquillos incluye los procesos de medir, cortar y poner.
- ✓ La distancia de la Búsqueda de perfiles para el Layout actual es de 24 m y para el Layout propuesto es de 14 m.
- ✓ Con la nueva distribución, tanto el proceso de desagüe como el proceso Hacer orificios de instalación, disminuyen su tiempo (90 y 45 s. respectivamente).
- ✓ La distancia del Layout actual para ir a buscar los refuerzos es de 34m, mientras que para el Layout propuesto es de 18 m.
- ✓ El proceso de medir refuerzos disminuye 1 min con la nueva distribución en planta.
- ✓ La distancia que recorren los operarios en la distribución actual para poner los refuerzos en el perfil de PVC es de 11m y con el Layout propuesto, esta distancia disminuye a 6m.
- ✓ La distancia del Layout actual para ir a buscar los junquillos es de 2 m, mientras que para el Layout propuesto es de 7 m.
- ✓ Para poner los junquillos los operarios con el Layout actual recorren una distancia de 3 m mientras que con el Layout propuesto ésta se puede disminuir a 1,5 m.

### 2.2 Tiempos de Fabricación

#### ✓ Layout actual

Ventana	Búsqueda de perfiles	Cortado de perfiles	Desagüe y orificio cremona	Búsqueda de refuerzos	Cortado de refuerzos	Atornillado	Soldadura de perfiles	Búsqueda de Junquillos	Cortado de Junquillos
V01	0:03:06	0:06:13	0:11:40	0:03:21	0:06:08	0:21:54	0:22:32	0:01:05	0:25:38
V02	0:03:49	0:06:41	0:10:29	0:03:05	0:04:46	0:23:28	0:23:49	0:01:25	0:26:26
V03	0:02:35	0:05:12	0:08:49	0:02:55	0:03:17	0:17:35	0:21:26	0:01:54	0:23:33
V04	0:04:13	0:08:42	0:09:19	0:02:47	0:03:27	0:17:34	0:23:35	0:01:58	0:24:12
V05	0:01:59	0:04:56	0:13:41	0:02:03	0:07:33	0:14:29	0:19:49	0:01:22	0:20:53
V06	0:03:15	0:07:53	0:10:54	0:02:59	0:03:33	0:16:59	0:26:29	0:01:23	0:24:39
V07	0:03:21	0:06:07	0:13:24	0:03:12	0:03:36	0:18:42	0:17:38	0:01:17	0:25:12

Fuente: Elaboración propia

#### ✓ Layout propuesto

Ventana	Búsqueda de perfiles	Cortado de perfiles	Desagüe y orificio cremona	Búsqueda de refuerzos	Cortado de refuerzos	Atornillado	Soldadura de perfiles	Búsqueda de Junquillos	Cortado de Junquillos
V01	0:01:49	0:06:13	0:09:25	0:01:46	0:05:08	0:20:53	0:22:32	0:03:47	0:20:11
V02	0:02:14	0:06:41	0:08:14	0:01:38	0:03:46	0:22:12	0:23:49	0:04:58	0:20:52
V03	0:01:30	0:05:12	0:06:34	0:01:33	0:02:17	0:16:32	0:21:26	0:06:39	0:18:31
V04	0:02:28	0:08:42	0:07:04	0:01:28	0:02:27	0:16:23	0:23:35	0:06:53	0:19:23
V05	0:01:09	0:04:56	0:11:26	0:01:05	0:06:33	0:13:36	0:19:49	0:04:47	0:16:32
V06	0:01:54	0:07:53	0:08:39	0:01:35	0:02:33	0:15:37	0:26:29	0:04:51	0:18:56
V07	0:01:57	0:06:07	0:11:09	0:01:42	0:02:36	0:17:25	0:17:38	0:04:30	0:19:44

Fuente: Elaboración propia

### 3. Armado de las ventanas

#### 3.1 Consideraciones:

- ✓ El proceso Acondicionamiento del producto incluye poner los carros y la cremona.
- ✓ El proceso de cortado de traslajos incluye el medir, cortar y poner.
- ✓ La distancia que recorren los operarios en la distribución actual para Armar la ventana es de 8 m y con el Layout propuesto, esta distancia disminuye a 3 m.
- ✓ La distancia del Layout actual para ir a buscar los traslajos es de 4 m, mientras que para el Layout propuesto es de 6 m.

#### 3.2 Tiempos de Armado

- ✓ Layout actual

Ventana	Armado de la Ventana	Acondicionamiento del producto	Búsqueda de traslajos	Cortado de traslajos
V01	0:12:18	0:13:52	0:02:12	0:04:45
V02	0:12:21	0:14:30	0:02:31	0:05:18
V03	0:11:56	0:12:51	0:02:46	0:04:18
V04	0:13:27	0:13:43	0:02:01	0:04:21
V05	0:12:12	0:12:31	0:01:55	0:03:26
V06	0:13:05	0:13:52	0:01:46	0:04:41
V07	0:13:19	0:12:30	0:02:08	0:04:42

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Layout propuesto

Ventana	Armado de la Ventana	Acondicionamiento del producto	Búsqueda de traslajos	Cortado de traslajos
V01	0:04:37	0:13:52	0:03:18	0:04:45
V02	0:04:38	0:14:30	0:03:47	0:05:18
V03	0:04:29	0:12:51	0:04:09	0:04:18
V04	0:05:03	0:13:43	0:03:02	0:04:21
V05	0:04:34	0:12:31	0:02:53	0:03:26
V06	0:04:54	0:13:52	0:02:39	0:04:41
V07	0:05:00	0:12:30	0:03:12	0:04:42

Fuente: Elaboración propia

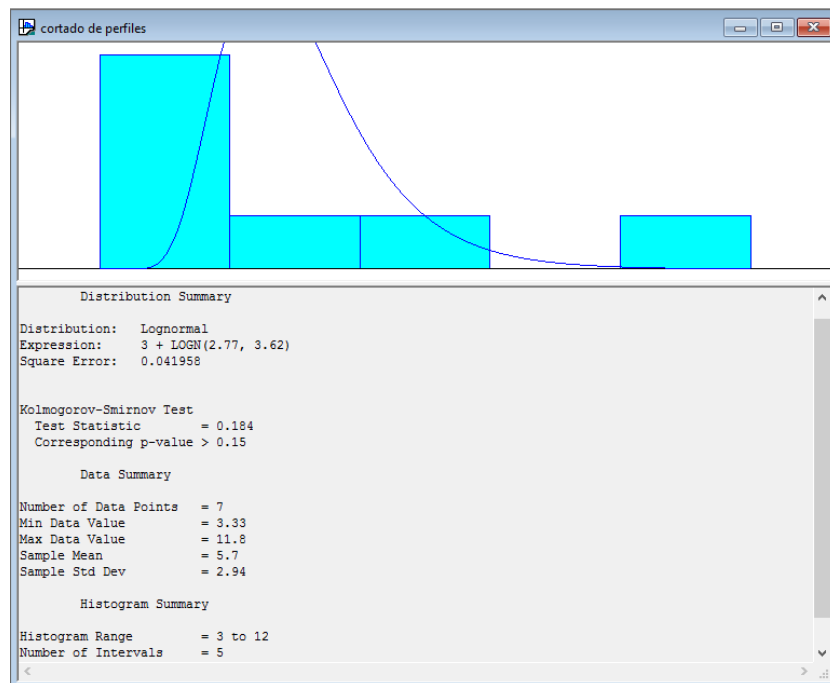
**Anexo VIII:** Comportamiento de datos por proceso productivo (Layout actual vs Layout propuesto)

## 1. Procesos para la Fabricación del marco

### 1.1 Cortado de perfiles

La Fig. VIII-1, muestra el comportamiento de los datos en forma de histograma para el proceso de cortado de perfiles para la construcción del marco, considerando los tiempos que tardan los operarios en realizar esta actividad en la distribución en planta actual y en la propuesta.

Figura VIII-1: Comportamiento de datos proceso Cortado de perfiles para la construcción del marco (Layout actual y propuesto)



Fuente: Arena

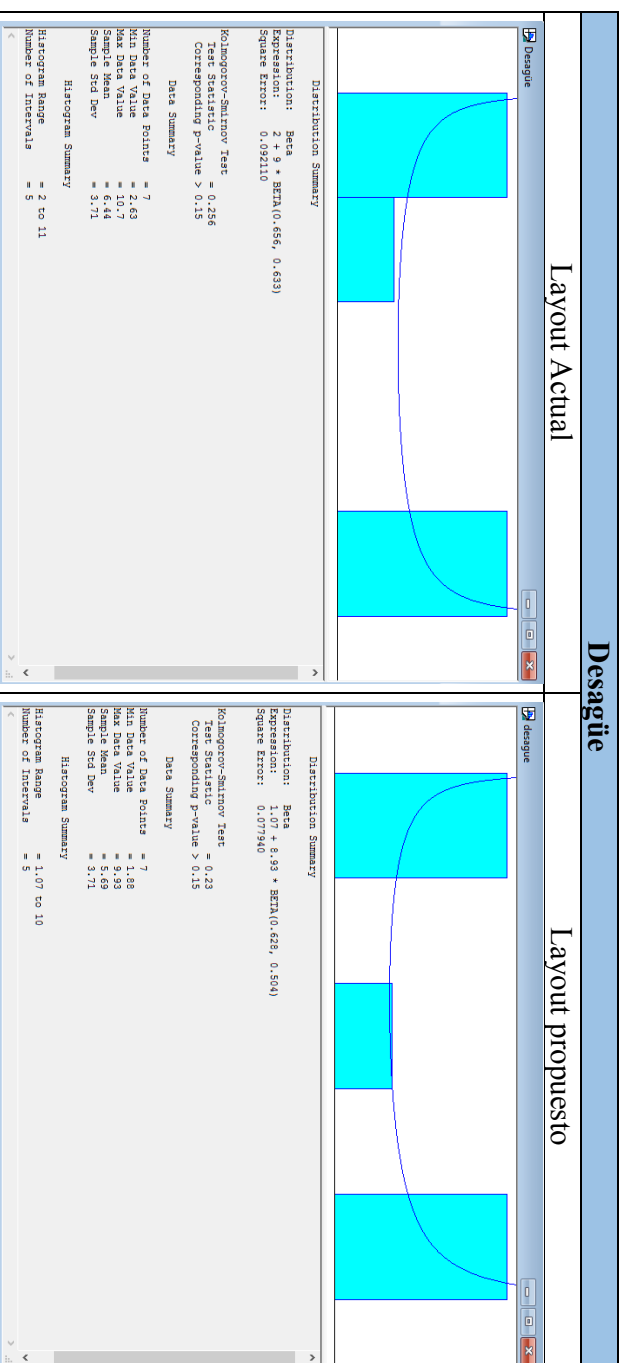
De acuerdo a los resultados obtenidos en la Fig. VIII-1, los datos tienen un comportamiento de **Distribución Lognormal** y la expresión a utilizar en el simulador para el proceso de cortado de perfiles para la construcción del marco es **3 + LOGN (2.77, 3.62)**.

La cantidad de datos ingresados son siete, donde el menor valor es 3.33 y el máximo 11.8, con una desviación estándar de 2.94.

### 1.2 Desagüe

La tabla. VIII-1, muestra el comportamiento de los datos en forma de histograma para el proceso de desagüe para la construcción del marco, considerando los tiempos que tardan los operarios en realizar esta actividad en la distribución en planta actual y en la propuesta.

Tabla VIII-1 : Comportamiento de datos proceso desagüe para la construcción del marco (Layout actual vs Layout propuesto)



Fuente: Arena

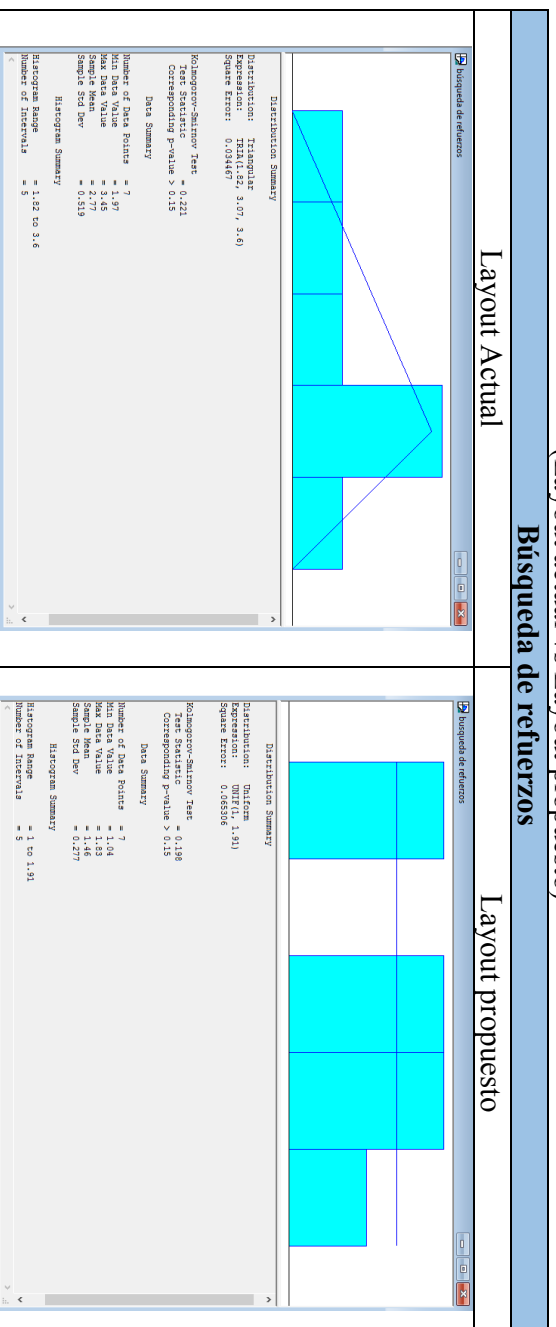
De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla VIII-1, los datos tanto del Layout actual como del propuesto tienen un comportamiento de **Distribución Beta** y las expresiones a utilizar en el simulador para el proceso de desagüe son **2 +9 \* BETA (0.656, 0.633)** y **1.07 + 8.93 \* BETA (0.628, 0.504)** respectivamente.

La cantidad de datos ingresados son siete, donde el menor valor para el Layout actual es 2.63 y el máximo 10.7, con una desviación estándar de 3.71, mientras que para el Layout propuesto, el menor valor es 1.88 y el máximo 9.93, con una desviación estándar de 3.71.

### 1.3 Búsqueda de refuerzos

La tabla VIII-2, muestra el comportamiento de los datos en forma de histograma para el proceso de búsqueda de refuerzos para la construcción del marco, considerando los tiempos que tardan los operarios en realizar esta actividad en la distribución en planta actual y en la propuesta.

Tabla VIII-2: Comportamiento de datos proceso Búsqueda de refuerzos para la construcción del marco  
(Layout actual vs Layout propuesto)



Fuente: Arena

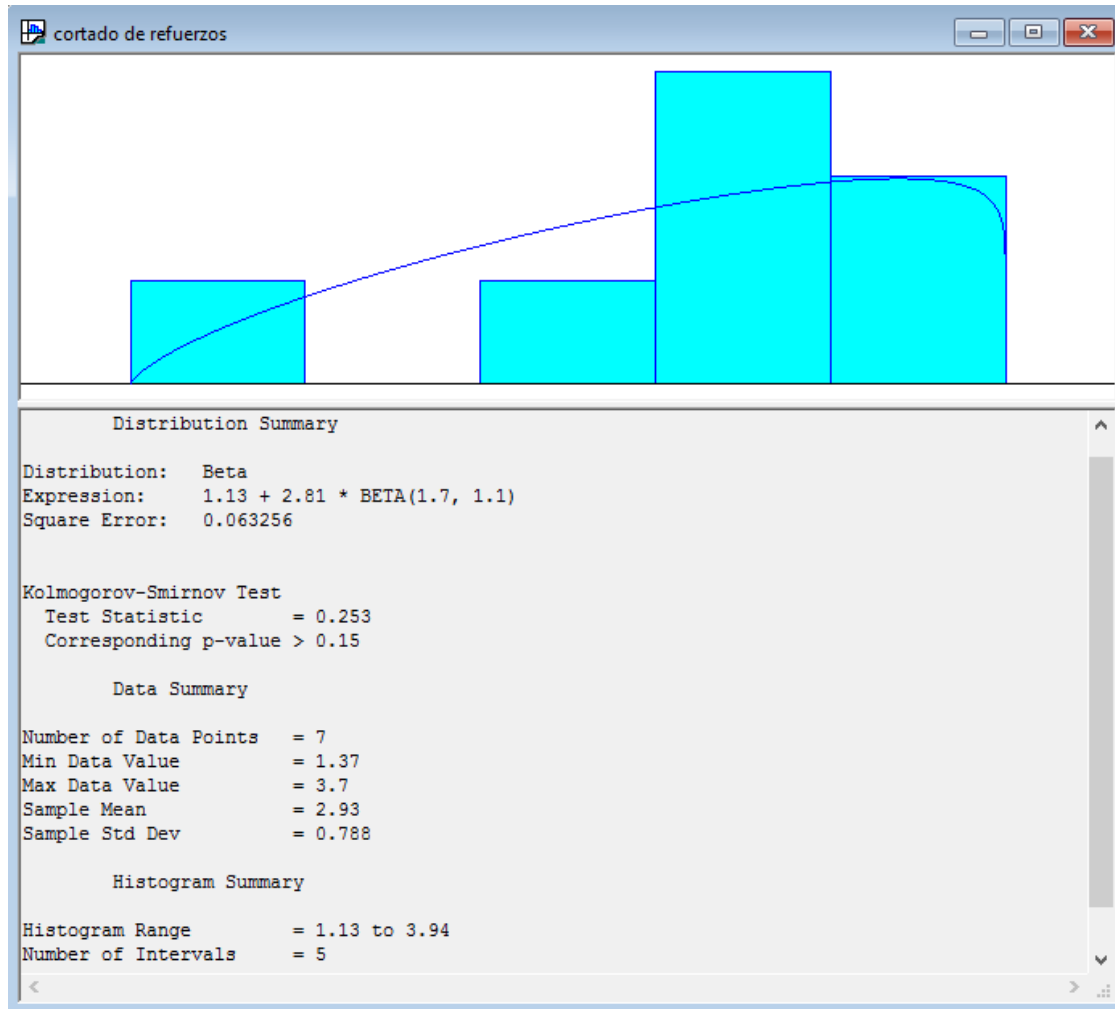
De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla VIII-2, los datos del Layout actual tienen un comportamiento de **Distribución Triangular** mientras que los del Layout propuesto tienen un comportamiento de **Distribución Uniforme**. Las expresiones a utilizar en el simulador para el proceso de búsqueda de refuerzos son **TRIA (1.82, 3.07, 3.6)** y **UNIF (1, 1.91)** respectivamente.

La cantidad de datos ingresados son siete, donde el menor valor para el Layout actual es 1.97 y el máximo 3.45, con una desviación estándar de 0.519, mientras que para el Layout propuesto, el menor valor es 1.04 y el máximo 1.83, con una desviación estándar de 0.277.

#### 1.4 Cortado de refuerzos

La Figura VIII-2, muestra el comportamiento de los datos en forma de histograma para el proceso de cortado de refuerzos para la construcción del marco, considerando los tiempos que tardan los operarios en realizar esta actividad en la distribución en planta actual y en la propuesta.

Figura VIII-2: Comportamiento de datos proceso Cortado de refuerzos para la construcción del marco (Layout actual y propuesto)



Fuente: Arena

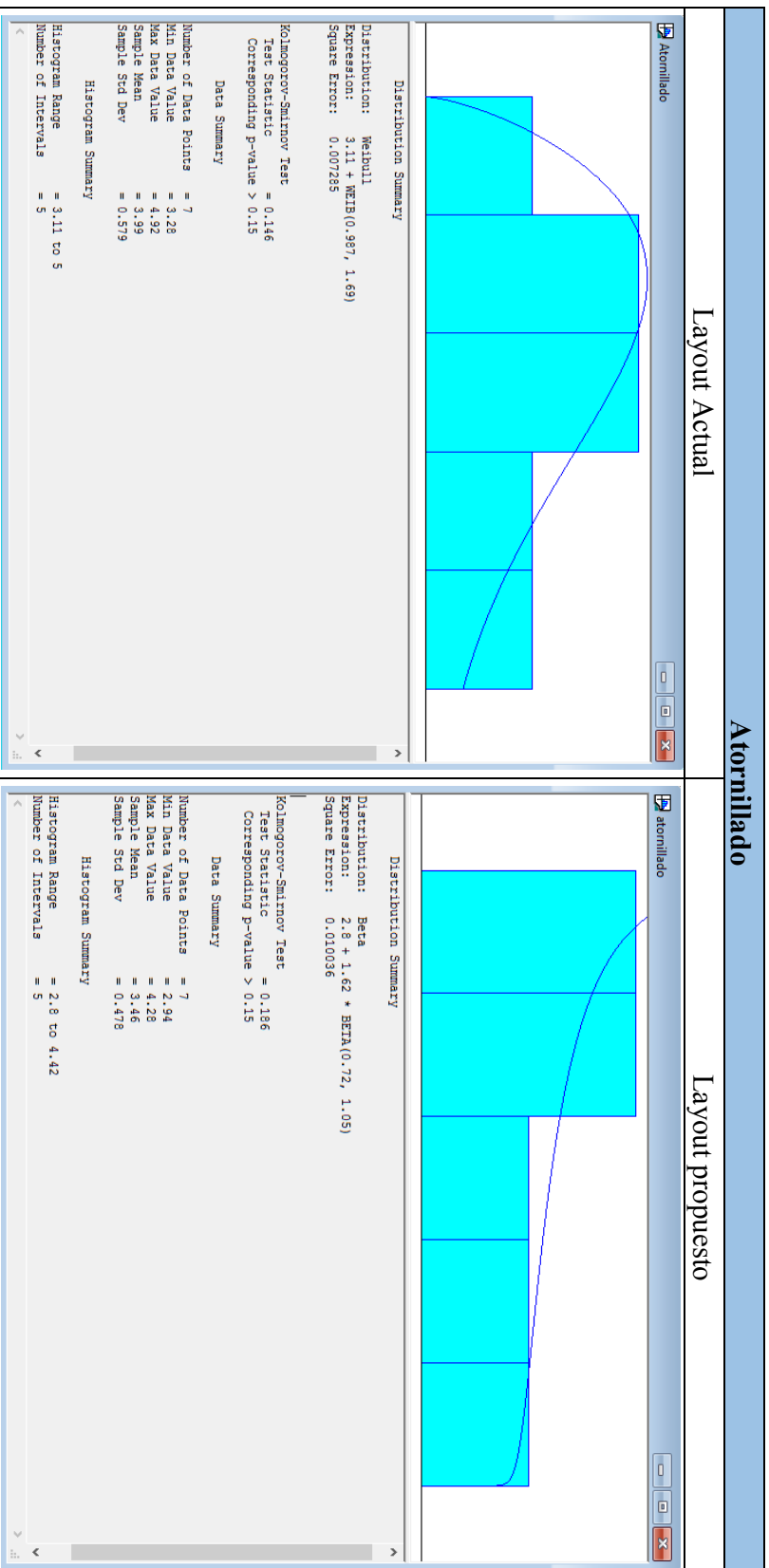
De acuerdo a los resultados obtenidos en la Fig. VIII-2, los datos tienen un comportamiento de **Distribución Beta** y la expresión a utilizar en el simulador para el proceso de cortado de refuerzos para la construcción del marco es  $1.13 + 2.81 * \text{BETA}(1.7, 1.1)$ .

La cantidad de datos ingresados son siete, donde el menor valor es 1.37 y el máximo 3.7, con una desviación estándar de 0.788.

### 1.5 Atornillado

La tabla VIII-3, muestra el comportamiento de los datos en forma de histograma para el proceso de atornillado para la construcción del marco, considerando los tiempos que tardan los operarios en realizar esta actividad en la distribución en planta actual y en la propuesta.

Tabla VIII-3: Comportamiento de datos proceso Atornillado para la construcción del marco (Layout actual vs Layout propuesto)

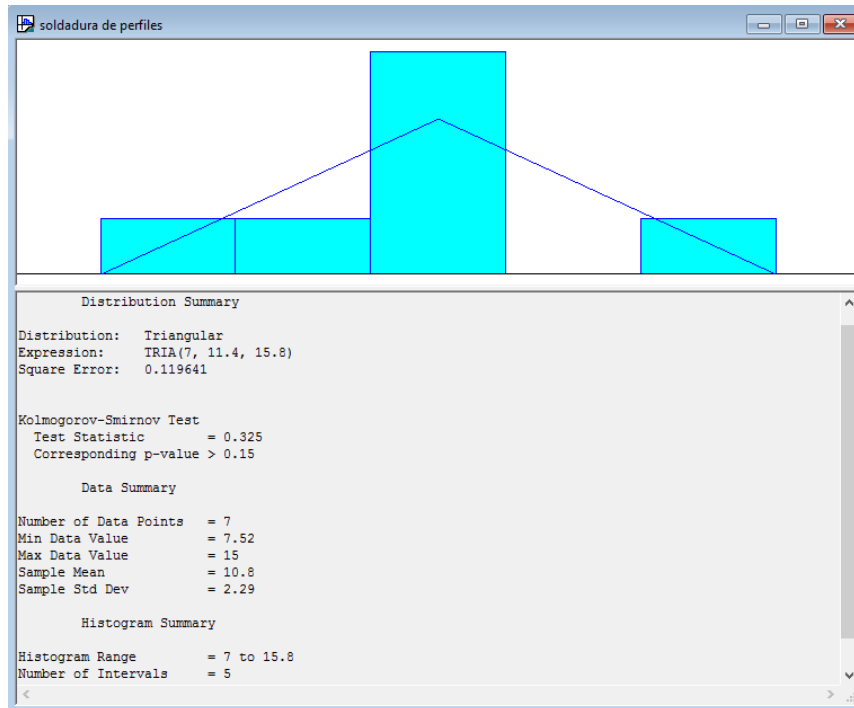


De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla VIII-3, los datos del Layout actual tienen un comportamiento de **Distribución Weibull** mientras que los del Layout propuesto tienen un comportamiento de **Distribución Beta**. Las expresiones a utilizar en el simulador para el proceso de atornillado son **3.11 + WEIB (0.987, 1.69)** y **2.8 + 1.62 \* BETA (0.72, 1.05)** respectivamente. La cantidad de datos ingresados son siete, donde el menor valor para el Layout actual es 3.28 y el máximo 4.92, con una desviación estándar de 0.519, mientras que para el Layout propuesto, el menor valor es 2.94 y el máximo 4.28, con una desviación estándar de 0.478.

## 1.6 Soldadura de perfiles

La Figura VIII-3, muestra el comportamiento de los datos en forma de histograma para el proceso de soldadura de perfiles para la construcción del marco, considerando los tiempos que tardan los operarios en realizar esta actividad en la distribución en planta actual y en la propuesta.

Figura VIII-3: Comportamiento de datos proceso Soldadura de perfiles para la construcción del marco (Layout actual y propuesto).



Fuente: Arena

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Fig. VIII-3, los datos tienen un comportamiento de **Distribución Triangular** y la expresión a utilizar en el simulador para el proceso de soldadura de perfiles para la construcción del marco es **TRIA (7, 11.4, 15.8)**.

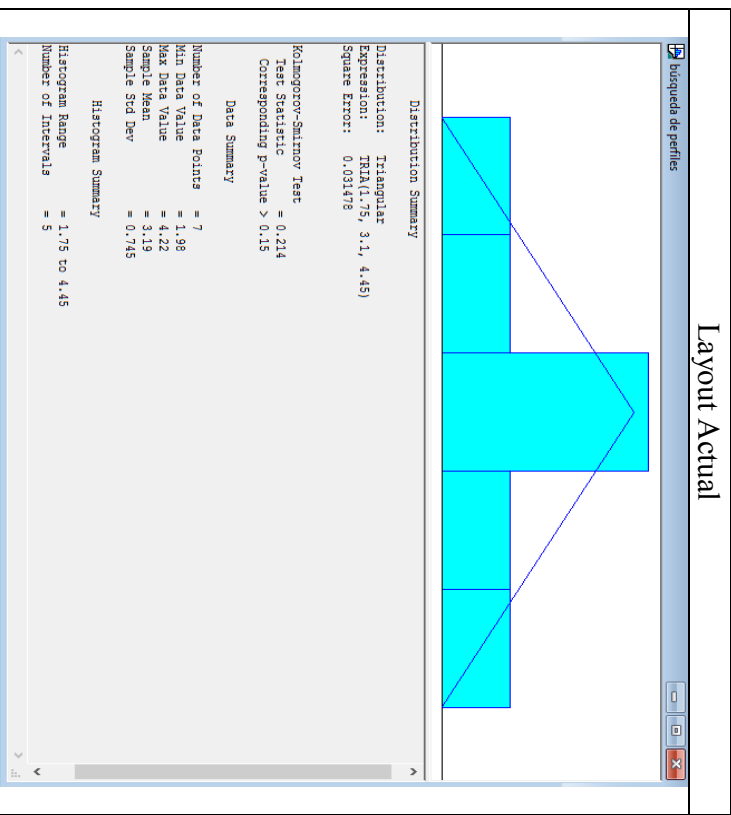
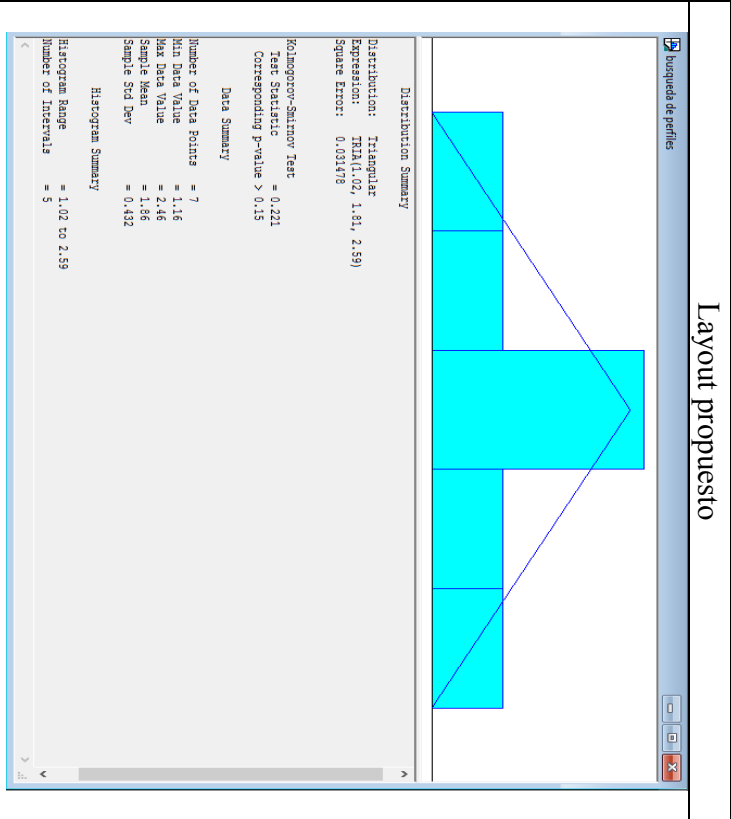
La cantidad de datos ingresados son siete, donde el menor valor es 7.52 y el máximo 15, con una desviación estándar de 2.29.

## 2. Procesos para la Fabricación de las hojas

### 2.1 Búsqueda de perfiles

La tabla VIII-4, muestra el comportamiento de los datos en forma de histograma para el proceso de Búsqueda de perfiles para la construcción de las hojas, considerando los tiempos que tardan los operarios en realizar esta actividad en la distribución en planta actual y en la propuesta.

Tabla VIII-4: Comportamiento de datos proceso Búsqueda de perfiles para la construcción de las hojas  
(Layout actual vs Layout propuesto)

Búsqueda de perfiles	Búsqueda de perfiles
Layout Actual	Layout propuesto
	

Fuente: Arena

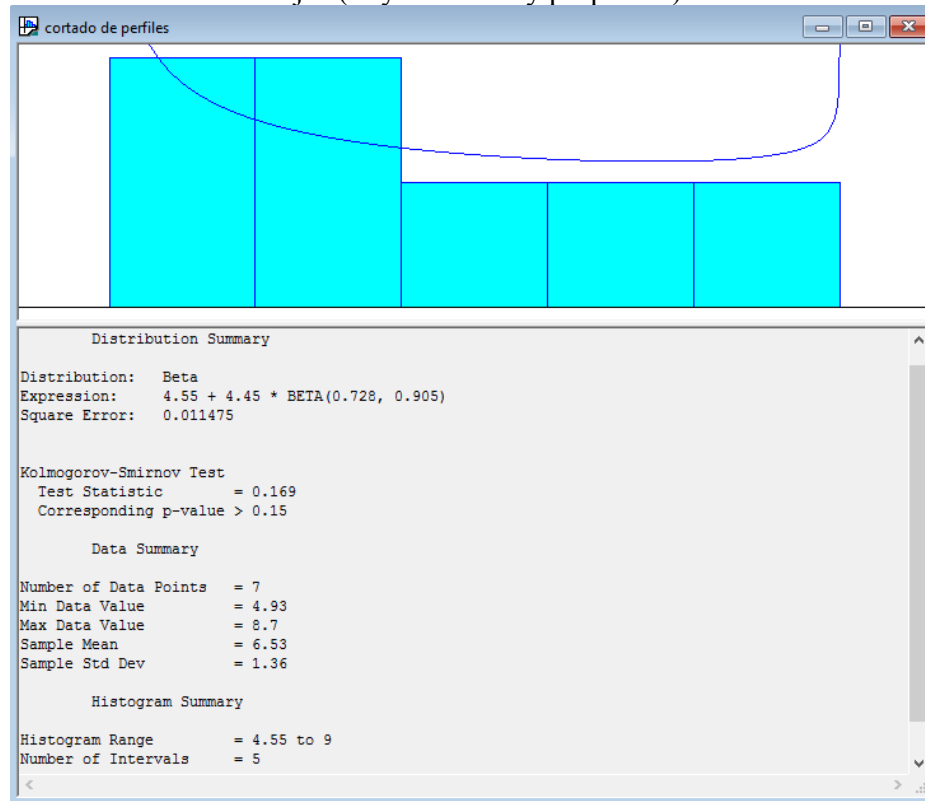
De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla VIII-4, los datos tanto del Layout actual como el propuesto tienen un comportamiento de **Distribución Triangular**. Las expresiones a utilizar en el simulador para el proceso de búsqueda de perfiles son **TRIA (1.75, 3.1, 4.45)** y **TRIA (1.02, 1.81, 2.59)** respectivamente.

La cantidad de datos ingresados son siete, donde el menor valor para el Layout actual es 1.98 y el máximo 4.22, con una desviación estándar de 0.745, mientras que para el Layout propuesto, el menor valor es 1.16 y el máximo 2.46, con una desviación estándar de 0.432.

## 2.2 Cortado de perfiles

La Figura VIII-4, muestra el comportamiento de los datos en forma de histograma para el proceso de cortado de perfiles para la construcción de las hojas considerando los tiempos que tardan los operarios en realizar esta actividad en la distribución en planta actual y en la propuesta.

Figura VIII-4: Comportamiento de datos proceso cortado de perfiles para la construcción de las hojas (Layout actual y propuesto)



Fuente: Arena

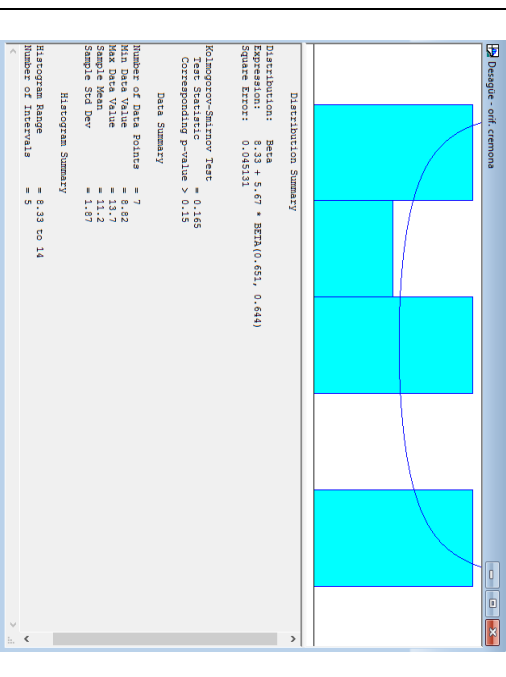
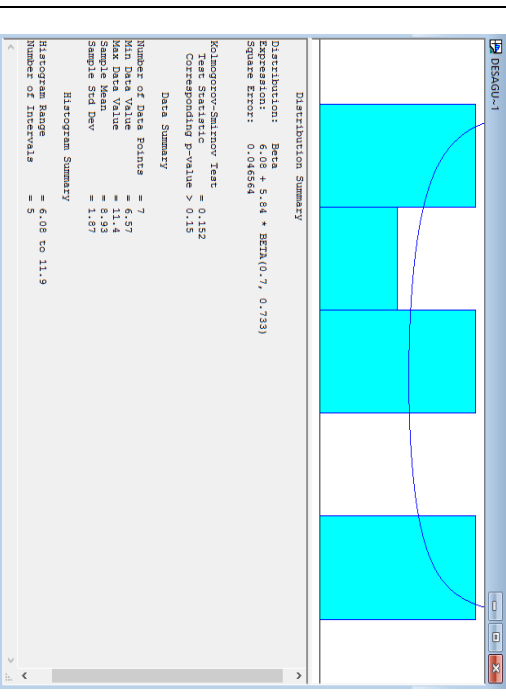
De acuerdo a los resultados obtenidos en la Fig. VIII-4, los datos tienen un comportamiento de **Distribución Beta** y la expresión a utilizar en el simulador para el proceso de cortado de perfiles es  **$4.55 + 4.45 * \text{BETA}(0.728, 0.905)$** .

La cantidad de datos ingresados son siete, donde el menor valor es 4.93 y el máximo 8.7, con una desviación estándar de 1.36.

## 2.3 Desagüe + Orificio cremona

La tabla VIII-5, muestra el comportamiento de los datos en forma de histograma para el proceso de desagüe + orificio cremona para la construcción de las hojas, considerando los tiempos que tardan los operarios en realizar esta actividad en la distribución en planta actual y en la propuesta.

Tabla VIII-5: Comportamiento de datos proceso Desagüe + Orificio cremona para la construcción de las hojas (Layout actual vs Layout propuesto)

<b>Desagüe + Orificio cremona</b>	
Layout Actual	Layout propuesto
 <p><b>Design - orf cremona</b></p> <p>Distribution Summary</p> <p>Distribution: Beta Expression: <math>8.33 + 5.67 * \text{BETA}(0.651, 0.644)</math> Square Error: 0.045131</p> <p>Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.165 Corresponding p-value &gt; 0.15</p> <p>Data Summary</p> <p>Number of Data Points = 7 Min Data Value = 6.82 Max Data Value = 13.7 Sample Mean = 11.2 Sample Std Dev = 1.97</p> <p>Histogram Summary</p> <p>Histogram Range = 6.33 to 14 Number of Intervals = 5</p>	 <p><b>DESAGU-1</b></p> <p>Distribution Summary</p> <p>Distribution: Beta Expression: <math>6.08 + 5.84 * \text{BETA}(0.7, 0.733)</math> Square Error: 0.04654</p> <p>Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.152 Corresponding p-value &gt; 0.15</p> <p>Data Summary</p> <p>Number of Data Points = 7 Min Data Value = 6.57 Max Data Value = 11.4 Sample Mean = 11.9 Sample Std Dev = 1.97</p> <p>Histogram Summary</p> <p>Histogram Range = 6.08 to 11.9 Number of Intervals = 5</p>

Fuente: Arena

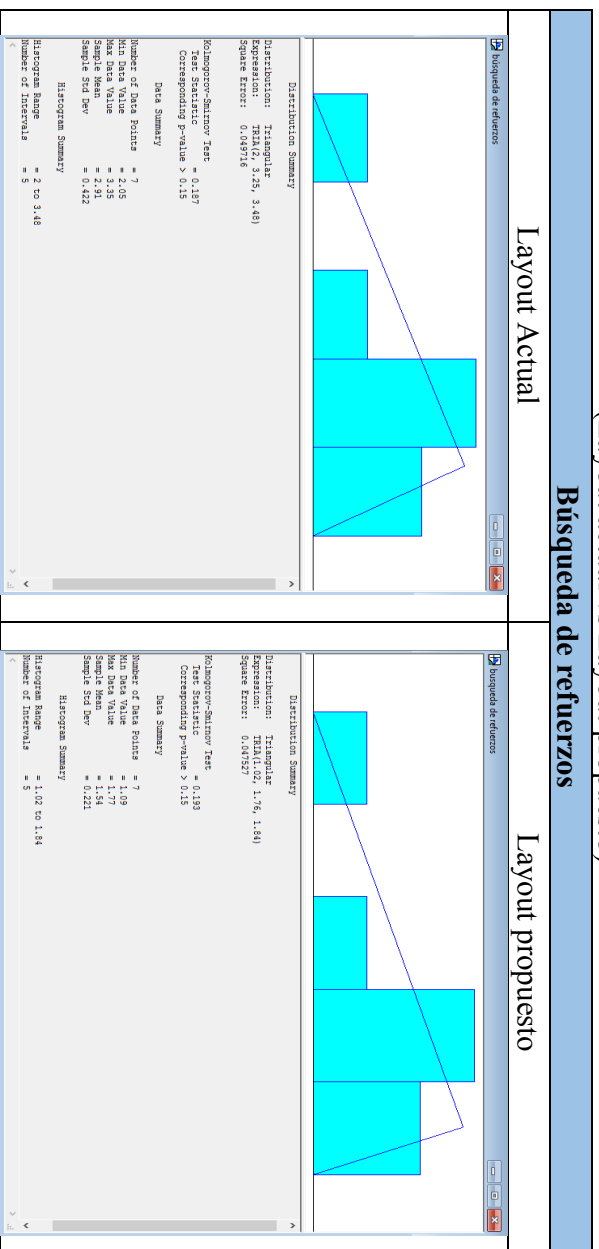
De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla VIII-5, tanto los datos del Layout actual como el propuesto tienen un comportamiento de **Distribución Beta**. Las expresiones a utilizar en el simulador para el proceso de desagüe + Orificio cremona son **8.33 + 5.67 \* BETA (0.651, 0.644)** y **6.08 + 5.84 \* BETA (0.7, 0.733)** respectivamente.

La cantidad de datos ingresados son siete, donde el menor valor para el Layout actual es 8.82 y el máximo 13.7, con una desviación estándar de 1.87, mientras que para el Layout propuesto, el menor valor es 6.57 y el máximo 11.4, con una desviación estándar de 1.87.

## 2.4 Búsqueda de refuerzos

La tabla VIII-6, muestra el comportamiento de los datos en forma de histograma para el proceso de Búsqueda de refuerzos para la construcción de las hojas, considerando los tiempos que tardan los operarios en realizar esta actividad en la distribución en planta actual y en la propuesta.

Tabla VIII-6: Comportamiento de datos proceso Búsqueda de refuerzos para la construcción de las hojas (Layout actual vs Layout propuesto)



Fuente: Arena

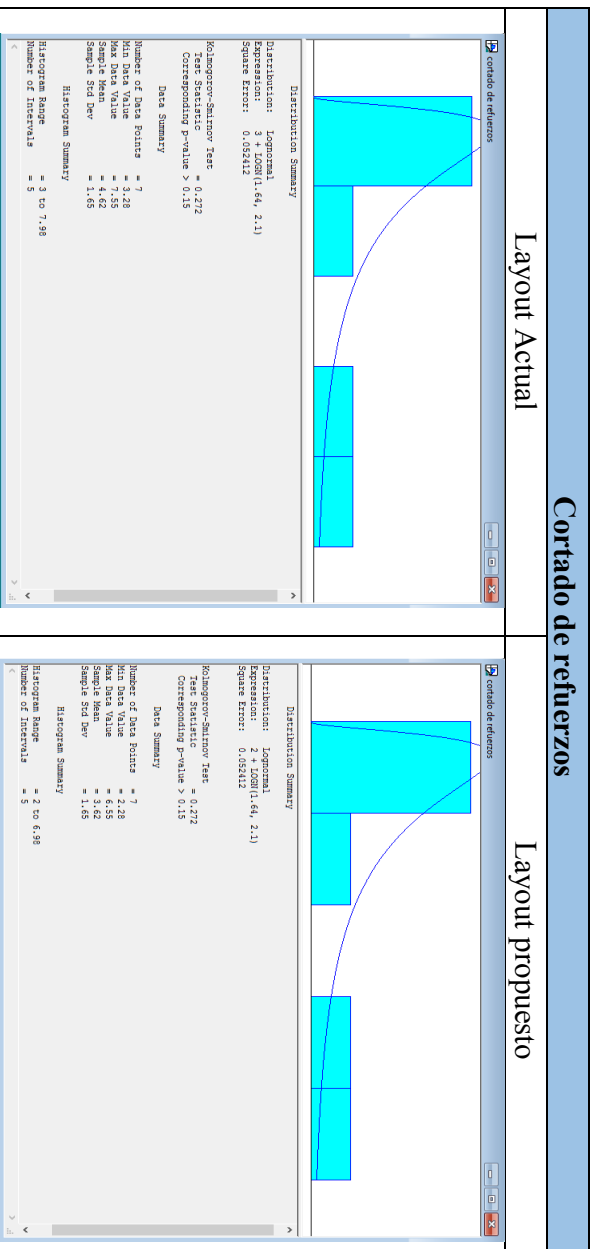
De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla VIII-6, tanto los datos del Layout actual como el propuesto tienen un comportamiento de **Distribución Triangular**. Las expresiones a utilizar en el simulador para el proceso de búsqueda de perfiles son **TRIA (2, 3.25, 3.48)** y **TRIA (1.02, 1.76, 1.84)** respectivamente.

La cantidad de datos ingresados son siete, donde el menor valor para el Layout actual es 2.05 y el máximo 3.35, con una desviación estándar de 0.422, mientras que para el Layout propuesto, el menor valor es 1.09 y el máximo 1.77, con una desviación estándar de 0.221.

### 2.5 Cortado de refuerzos

La tabla VIII-7, muestra el comportamiento de los datos en forma de histograma para el proceso de cortado de refuerzos para la construcción de las hojas, considerando los tiempos que tardan los operarios en realizar esta actividad en la distribución en planta actual y en la propuesta.

Tabla VIII-7: Comportamiento de datos cortado de refuerzos para la construcción de las hojas  
(Layout actual vs Layout propuesto)



Fuente: Arena

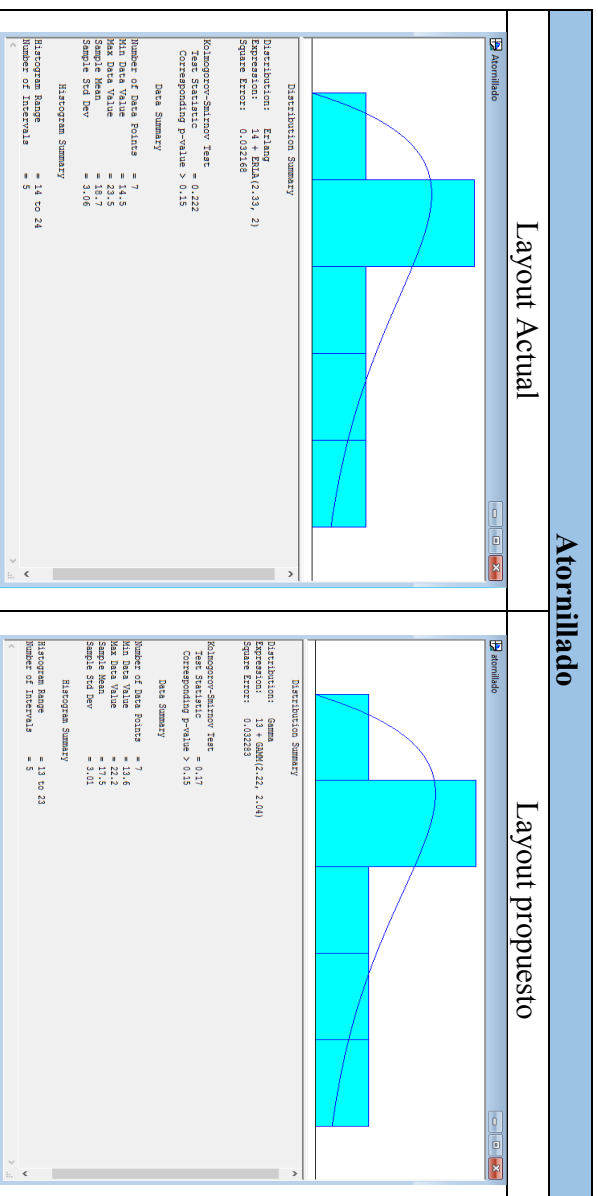
De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla VIII-7, tanto los datos del Layout actual como los del propuesto tienen un comportamiento de **Distribución Lognormal**. Las expresiones a utilizar en el simulador para el proceso de cortado de refuerzos son **3 + LOGN (1.64, 2.1)** y **2 + LOGN (1.64, 2.1)** respectivamente.

La cantidad de datos ingresados son siete, donde el menor valor para el Layout actual es 3.28 y el máximo 7.55, mientras que para el Layout propuesto, el menor valor es 2.28 y el máximo 6.55, ambos con una desviación estándar de 1.65.

## 2.6 Atornillado

La tabla VIII-8, muestra el comportamiento de los datos en forma de histograma para el proceso de Atornillado para la construcción de las hojas, considerando los tiempos que tardan los operarios en realizar esta actividad en la distribución en planta actual y en la propuesta.

Tabla VIII-8: Comportamiento de datos proceso Atornillado para la construcción de las hojas (Layout actual vs Layout propuesto)



Fuente: Arena

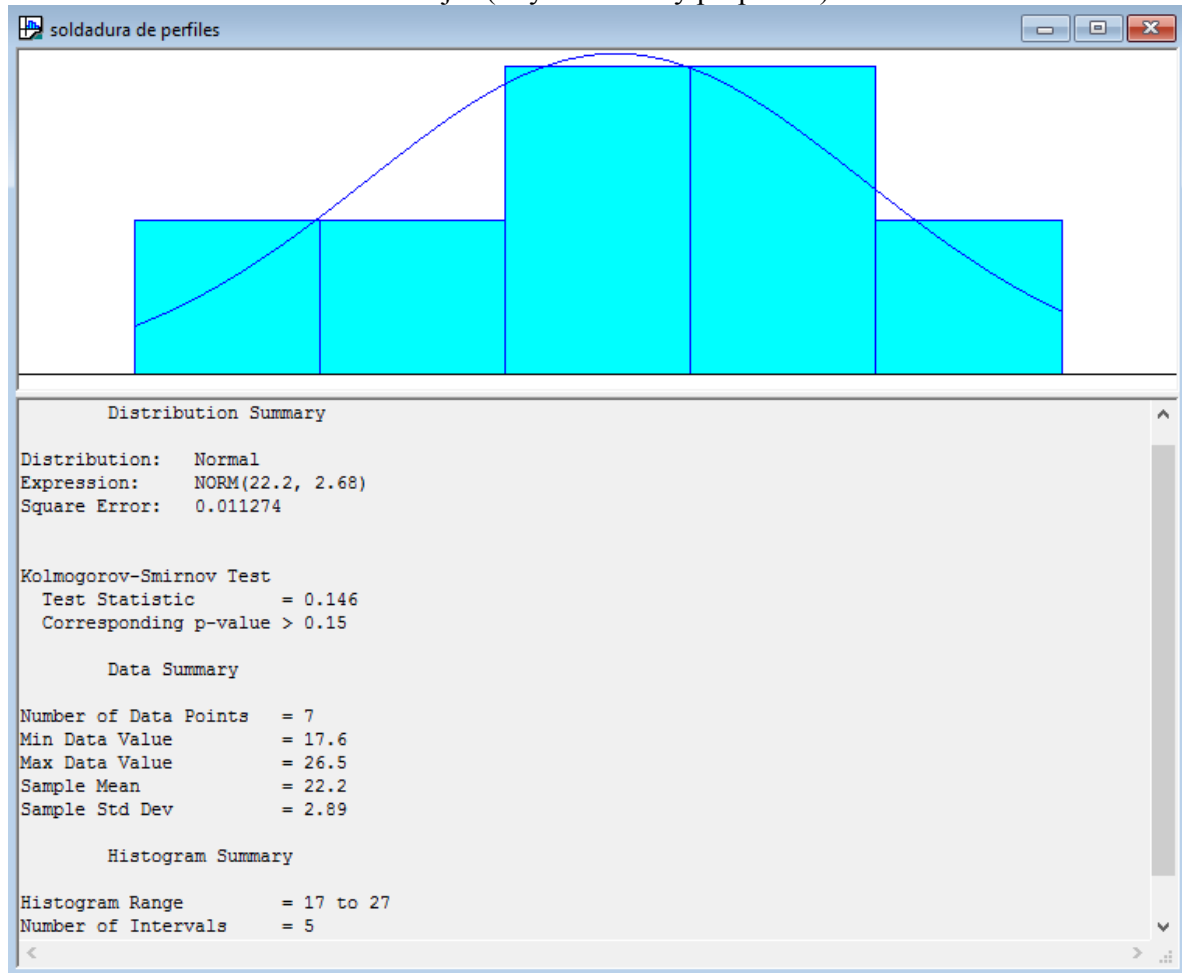
De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla VIII-8, los datos del Layout actual tienen un comportamiento de **Distribución Erlang** mientras que los del Layout propuesto tienen un comportamiento de **Distribución Gama**. Las expresiones a utilizar en el simulador para el proceso de atornillado son **14 + ERLA (2.33, 2)** y **13 + GAMM (2.22, 2.04)** respectivamente.

La cantidad de datos ingresados son siete, donde el menor valor para el Layout actual es 14.5 y el máximo 23.5, con una desviación estándar de 3.06, mientras que para el Layout propuesto, el menor valor es 13.6 y el máximo 22.2, con una desviación estándar de 3.01.

## 2.7 Soldadura de perfiles

La Fig. VIII-5, muestra el comportamiento de los datos en forma de histograma para el proceso de soldadura de perfiles para la construcción de las hojas considerando los tiempos que tardan los operarios en realizar esta actividad en la distribución en planta actual y en la propuesta.

Figura VIII-5: Comportamiento de datos proceso Soldadura de perfiles para la construcción de las hojas (Layout actual y propuesto)



Fuente: Arena

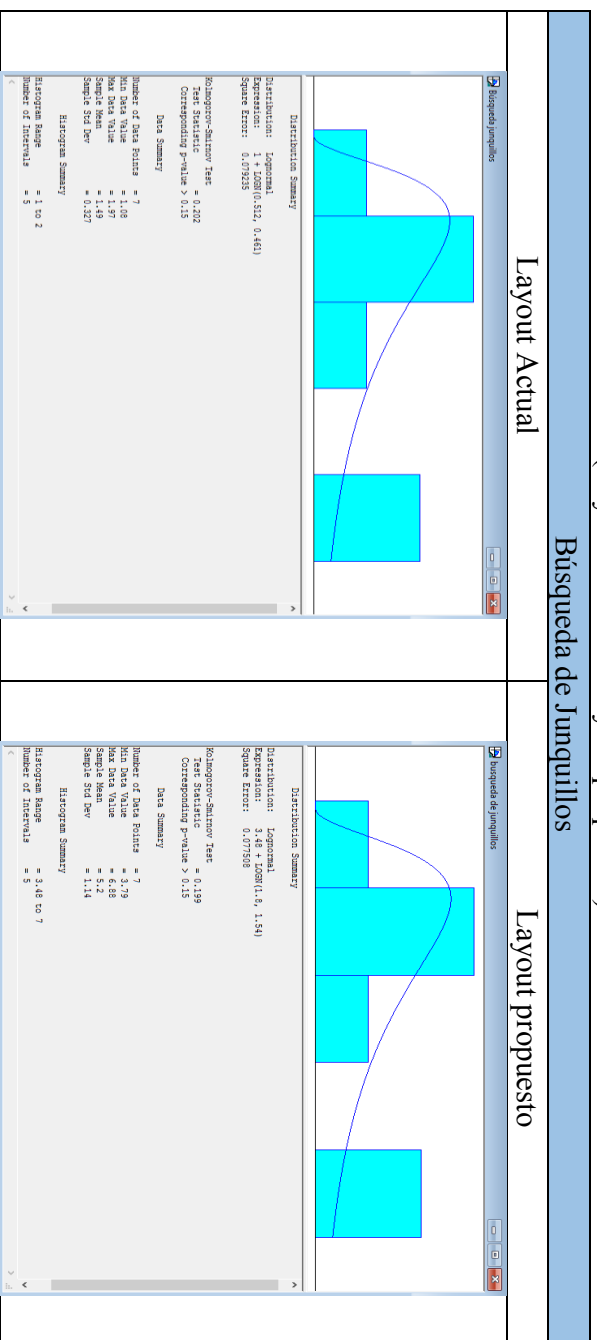
De acuerdo a los resultados obtenidos en la Fig. VIII-5, los datos tienen un comportamiento de **Distribución Normal** y la expresión a utilizar en el simulador para el proceso de Soldadura de perfiles es **NORM (22.2, 2.68)**.

La cantidad de datos ingresados son siete, donde el menor valor es 17.6 y el máximo 26.5, con una desviación estándar de 2.89.

## 2.8 Búsqueda de Junquillos

La tabla VIII-9, muestra el comportamiento de los datos en forma de histograma para el proceso de Búsqueda de Junquillos para la construcción de las hojas, considerando los tiempos que tardan los operarios en realizar esta actividad en la distribución en planta actual y en la propuesta.

Tabla VIII-9: Comportamiento de datos proceso Búsqueda de Junquillos para la construcción de las hojas (Layout actual vs Layout propuesto)



Fuente: Arena

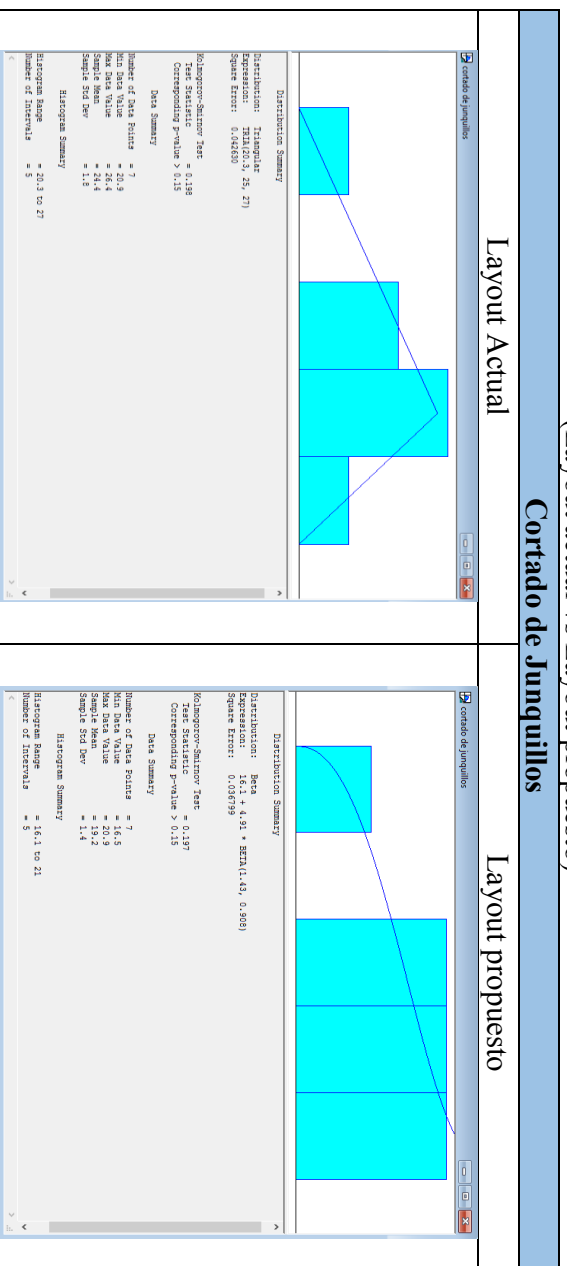
De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla VIII-9, tanto los datos del Layout actual como los del propuesto tienen un comportamiento de **Distribución Lognormal**. Las expresiones a utilizar en el simulador para el proceso de Búsqueda de junquillos son **1 + LOGN (0.512, 0.461)** y **3.48 + LOGN (1.8, 1.54)** respectivamente.

La cantidad de datos ingresados son siete, donde el menor valor para el Layout actual es 1.08 y el máximo 1.97, con una desviación estándar de 0.327, mientras que para el Layout propuesto, el menor valor es 3.79 y el máximo 6.88, con una desviación estándar de 1.14.

## 2.9 Cortado de Junquillos

La tabla VIII-10, muestra el comportamiento de los datos en forma de histograma para el proceso de Cortado de Junquillos para la construcción de las hojas, considerando los tiempos que tardan los operarios en realizar esta actividad en la distribución en planta actual y en la propuesta.

Tabla VIII-10: Comportamiento de datos proceso Cortado de Junquillos para la construcción de las hojas (Layout actual vs Layout propuesto)



Fuente: Arena

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla VIII-10, los datos del Layout actual tienen un comportamiento de **Distribución Triangular** mientras que los del Layout propuesto tienen un comportamiento de **Distribución Beta**. Las expresiones a utilizar en el simulador para el proceso de Cortado de Junquillos son **TRIA (20.3, 25, 27)** y **16.1 + 4.91 \* BETA (1.43, 0.908)** respectivamente.

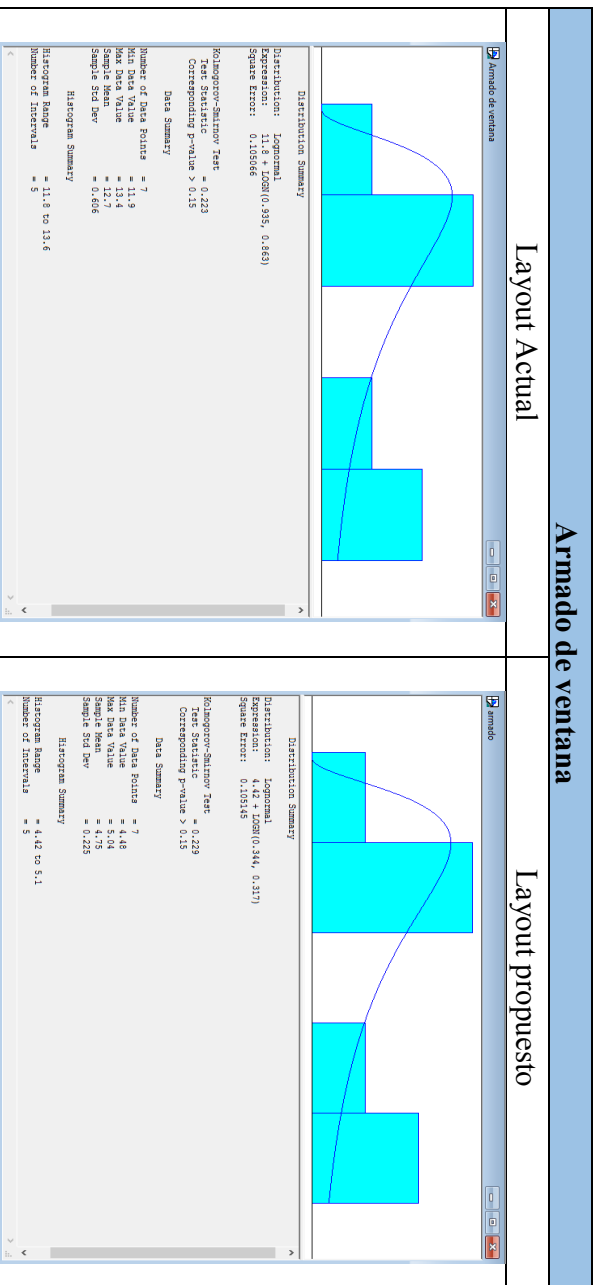
La cantidad de datos ingresados son siete, donde el menor valor para el Layout actual es 20.9 y el máximo 26.4, con una desviación estándar de 1.8, mientras que para el Layout propuesto, el menor valor es 16.5 y el máximo 20.9, con una desviación estándar de 1.4.

### 3. Procesos para el Armado de la Ventana

#### 3.1 Armado

La tabla VIII-11, muestra el comportamiento de los datos en forma de histograma para el proceso de Armado de la ventana, considerando los tiempos que tardan los operarios en realizar esta actividad en la distribución en planta actual y en la propuesta.

Tabla VIII-11 : Comportamiento de datos proceso Armado de la ventana (Layout actual vs Layout propuesto)



Fuente: Arena

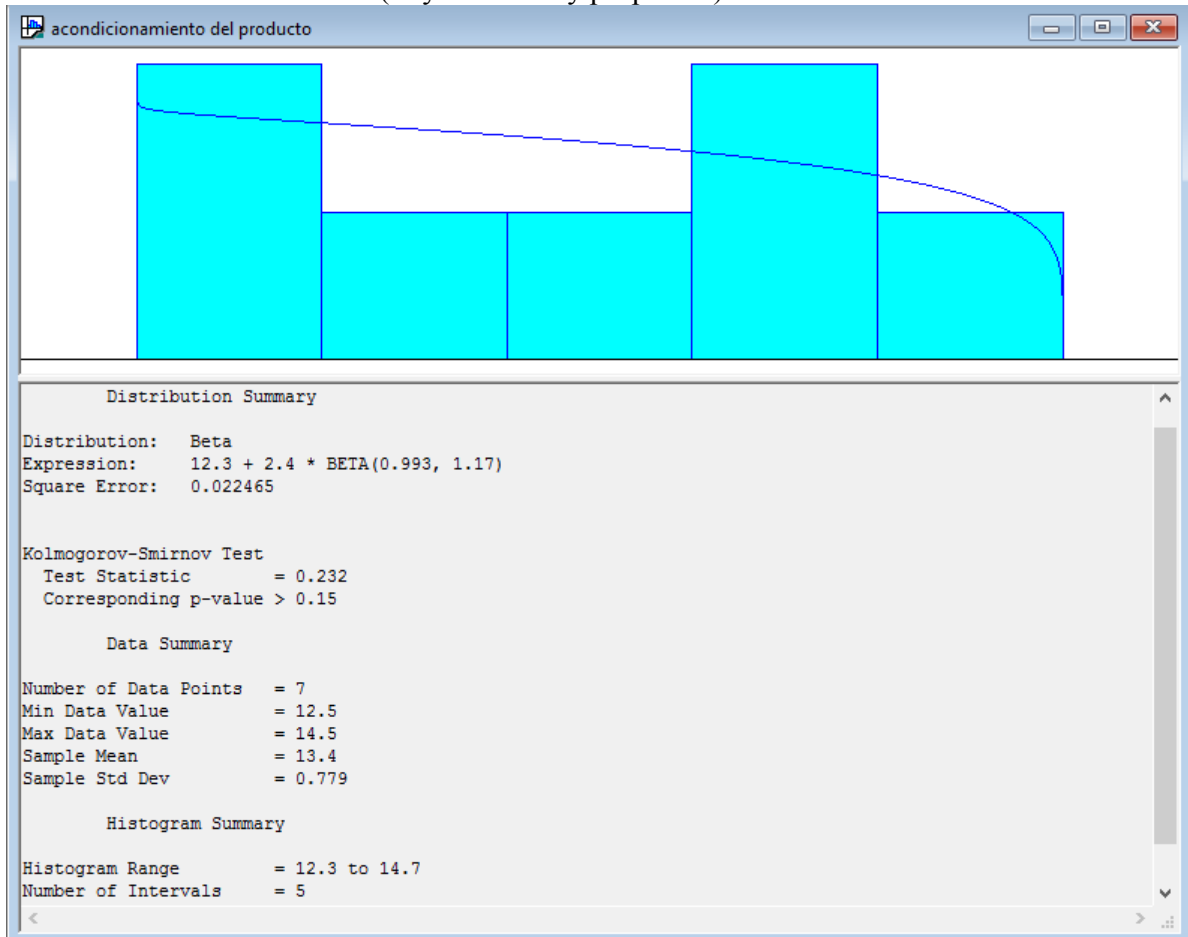
De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla VIII-11, tanto los datos del Layout actual como los del propuesto tienen un comportamiento de **Distribución Lognormal**. Las expresiones a utilizar en el simulador para el proceso de Armado de la ventana son **11.8 + LOGN (0.935, 0.863)** y **4.42 + LOGN (0.344, 0.317)** respectivamente.

La cantidad de datos ingresados son siete, donde el menor valor para el Layout actual es 11.9 y el máximo 13.4, con una desviación estándar de 0.606, mientras que para el Layout propuesto, el menor valor es 4.48 y el máximo 5.04, con una desviación estándar de 0.225.

### 3.2 Acondicionamiento del producto

La Figura VIII-6, muestra el comportamiento de los datos en forma de histograma para el proceso de acondicionamiento del producto considerando los tiempos que tardan los operarios en realizar esta actividad en la distribución en planta actual y en la propuesta.

Figura VIII-6: Comportamiento de datos proceso Acondicionamiento del producto  
(Layout actual y propuesto)



Fuente: Arena

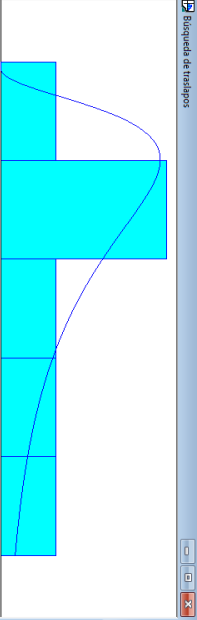
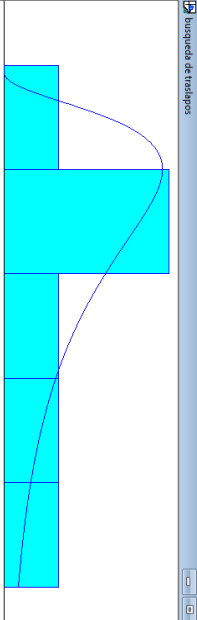
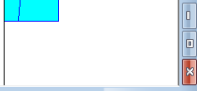
De acuerdo a los resultados obtenidos en la Fig. VIII-6, los datos tienen un comportamiento de **Distribución Beta** y la expresión a utilizar en el simulador para el proceso de acondicionamiento del producto es  $12.3 + 2.4 * \text{BETA}(0.993, 1.17)$ .

La cantidad de datos ingresados son siete, donde el menor valor es 12.5 y el máximo 14.5, con una desviación estándar de 0.779.

### 3.3 Búsqueda de Traslapos

La tabla VIII-12, muestra el comportamiento de los datos en forma de histograma para el proceso de Búsqueda de traslapos para el Armado de la ventana, considerando los tiempos que tardan los operarios en realizar esta actividad en la distribución en planta actual y en la propuesta.

Tabla VIII-12: Comportamiento de datos proceso Búsqueda de traslajos para el Armado de la ventana (Layout actual vs Layout propuesto)

Búsqueda de traslajos	Layout Actual	Layout propuesto
 <p><b>Distribution Summary</b>            Distribution: Lognormal            Expression: <math>1.67 + \text{LOGN}(0.541, 0.463)</math>            Square Error: 0.027236</p> <p><b>Kolmogorov-Smirnov Test</b>            Test Statistic = 0.131            Corresponding p-value &gt; 0.15</p> <p><b>Data Summary</b>            Number of Data Points = 7            Min Data Value = 1.77            Max Data Value = 2.77            Sample Mean = 2.13            Sample Std Dev = 0.348</p> <p><b>Histogram Summary</b>            Histogram Range = 1.67 to 2.87            Number of Intervals = 5</p>	 <p><b>Distribution Summary</b>            Distribution: Lognormal            Expression: <math>2.5 + \text{LOGN}(0.817, 0.699)</math>            Square Error: 0.027113</p> <p><b>Kolmogorov-Smirnov Test</b>            Test Statistic = 0.138            Corresponding p-value &gt; 0.15</p> <p><b>Data Summary</b>            Number of Data Points = 7            Min Data Value = 1.45            Max Data Value = 4.15            Sample Mean = 3.48            Sample Std Dev = 0.622</p> <p><b>Histogram Summary</b>            Histogram Range = 2.5 to 4.31            Number of Intervals = 5</p>	 <p><b>Distribution Summary</b>            Distribution: Lognormal            Expression: <math>2.5 + \text{LOGN}(0.817, 0.699)</math>            Square Error: 0.027113</p> <p><b>Kolmogorov-Smirnov Test</b>            Test Statistic = 0.138            Corresponding p-value &gt; 0.15</p> <p><b>Data Summary</b>            Number of Data Points = 7            Min Data Value = 1.45            Max Data Value = 4.15            Sample Mean = 3.48            Sample Std Dev = 0.622</p> <p><b>Histogram Summary</b>            Histogram Range = 2.5 to 4.31            Number of Intervals = 5</p>

Fuente: Arena

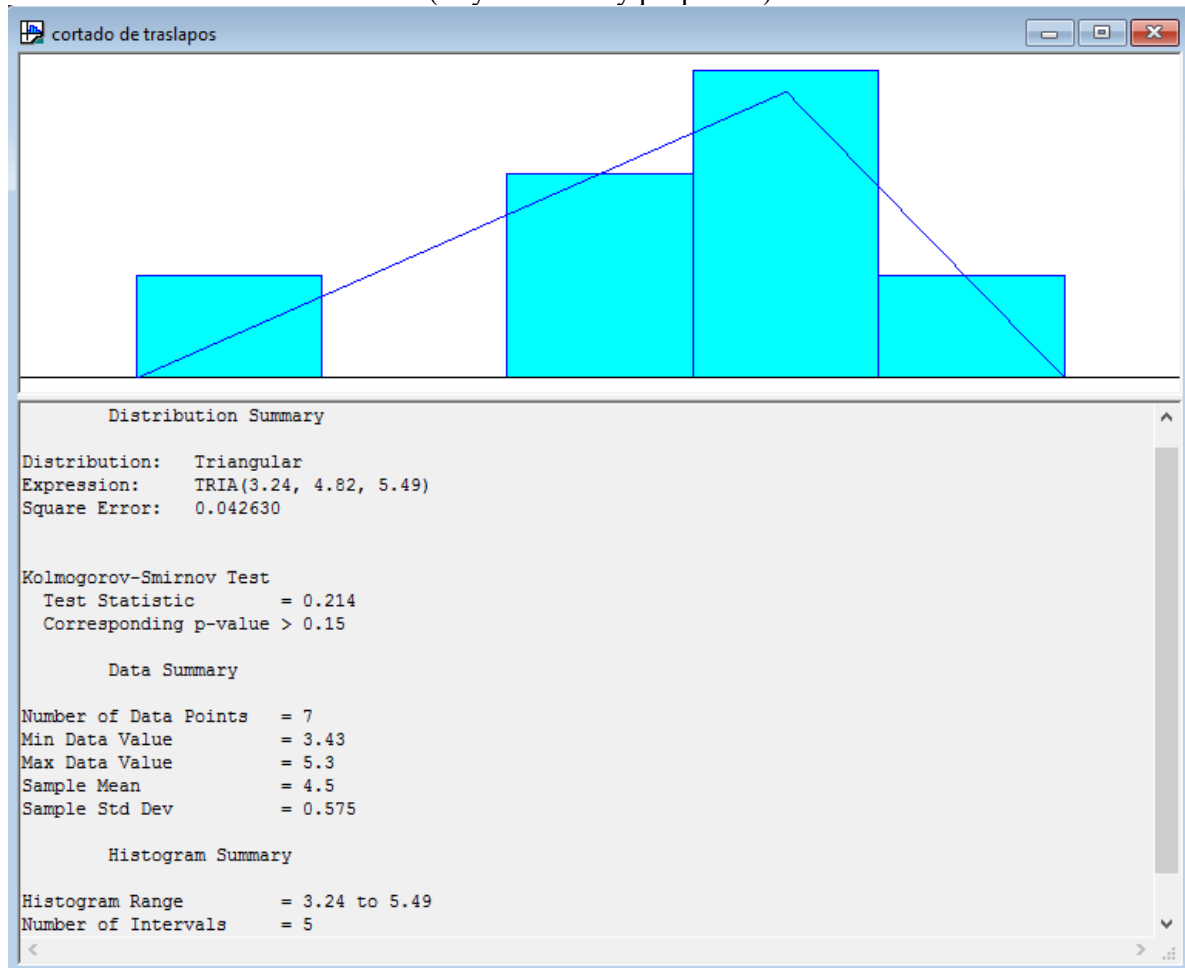
De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla VIII-12, tanto los datos del Layout actual como del propuesto, tienen un comportamiento de **Distribución Lognormal**. Las expresiones a utilizar en el simulador para el proceso de Búsqueda de traslajos son **1.67 + LOGN (0.541, 0.463)** y **2.5 + LOGN (0.817, 0.699)** respectivamente.

La cantidad de datos ingresados son siete, donde el menor valor para el Layout actual es 1.77 y el máximo 2.77, con una desviación estándar de 0.348, mientras que para el Layout propuesto, el menor valor es 2.65 y el máximo 4.15, con una desviación estándar de 0.522.

### 3.4 Cortado de traslajos

La Figura VIII-7, muestra el comportamiento de los datos en forma de histograma para el proceso de Cortado de Traslajos considerando los tiempos que tardan los operarios en realizar esta actividad en la distribución en planta actual y en la propuesta.

Figura VIII-7: Comportamiento de datos proceso Cortado de Traslajos  
(Layout actual y propuesto)



Fuente: Arena

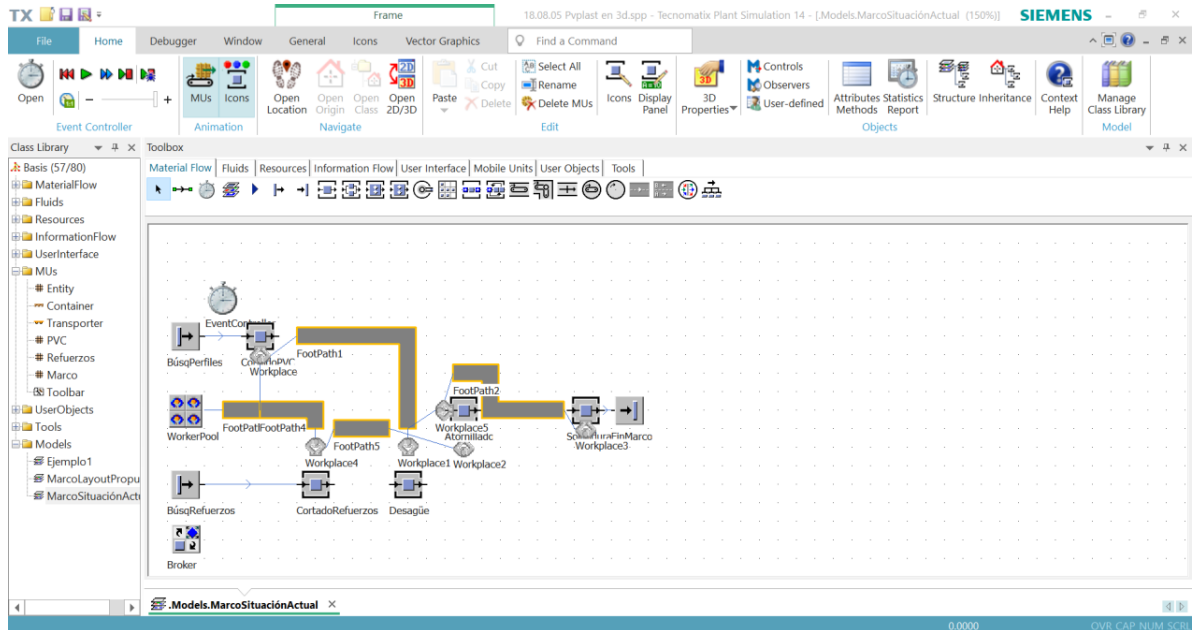
De acuerdo a los resultados obtenidos en la Fig. VIII-7, los datos tienen un comportamiento de **Distribución Triangular** y la expresión a utilizar en el simulador para el proceso de Cortado de Traslajos es **TRIA (3.24, 4.82, 5.49)**.

La cantidad de datos ingresados son siete, donde el menor valor es 3.43 y el máximo 5.3, con una desviación estándar de 0.575.

## Anexo IX: Simulación de la Situación Actual en Software “Tecnomatix Plant Simulation”

En la Figura IX-1, se muestra la simulación en 2D del proceso actual que está utilizando Pvpplast para fabricar los marcos de las ventanas.

Figura IX-2: Ventana de Simulación en 2D del Layout Actual para la Fabricación del marco de la ventana



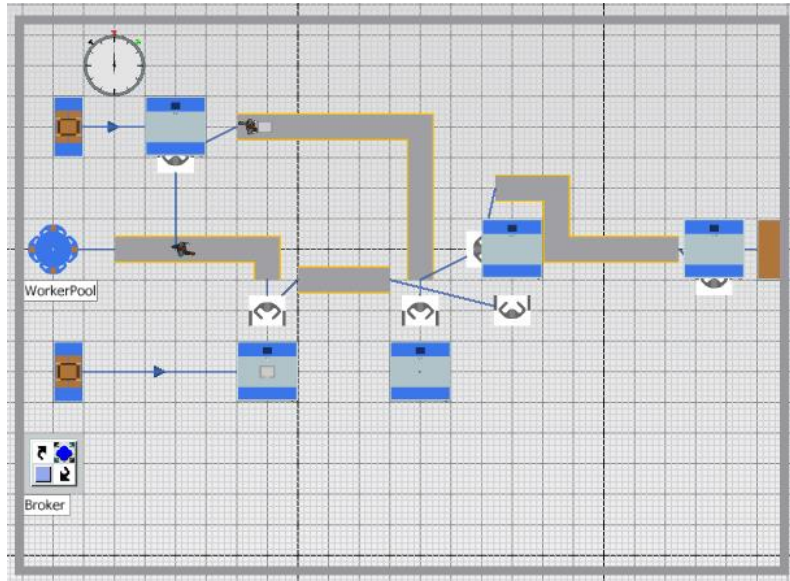
Fuente: Elaboración propia – Tecnomatix Plant Simulation

Para definir el tiempo de llegada de los MU a los Source (BúsquedaPerfiles y BúsquedaRefuerzos), se han utilizado las fórmulas obtenidas al analizar el comportamiento de los datos del proceso búsqueda de perfiles (Fig. 5.1) y búsqueda de refuerzos (Tabla VIII-2) del Input Analyzer del Software Arena que se encuentran en el apartado 5.3 “Recolección de datos” y en el Anexo VIII respectivamente.

Los tiempos de procesamiento utilizados en cada uno de los SingleProc (CortarPVC, Desagüe, CortadoRefuerzos, Atornillado y SoldaduraMarco), se encuentran en el Anexo VIII “Comportamiento de datos por proceso productivo” apartado 1 “Procesos para la Fabricación del Marco” (Figura VIII-1, Tabla VIII-1, Figura VIII-2, Tabla VIII-3 y Figura VIII-3).

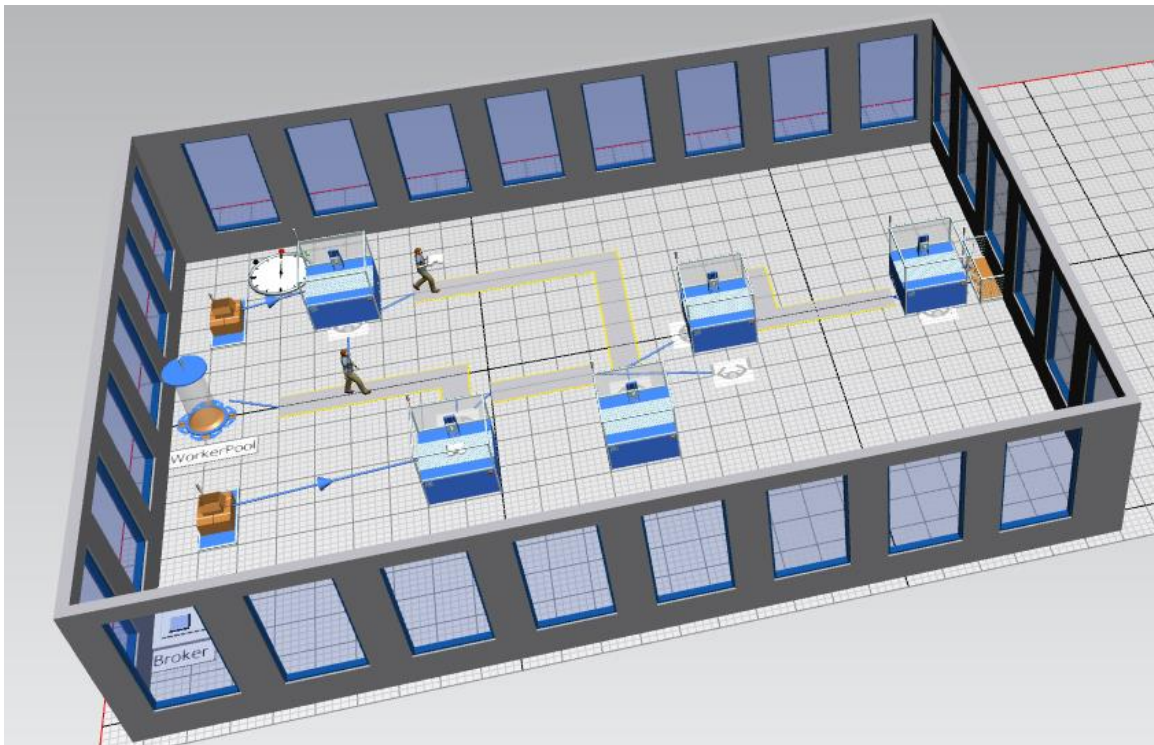
Para visualizar y comprender de mejor manera como los trabajadores se mueven de una estación a otra para fabricar el marco de la ventana, se selecciona en el Software la vista del proceso en 3D (Fig. IX-2 y IX-3)

Figura IX-2: Vista superior del Layout Actual en 3D para la fabricación del marco



Fuente: Elaboración propia - Tecnomatix Plant Simulation

Figura IX-3: Vista en 3D del Layout Actual para la fabricación del marco



Fuente: Elaboración propia - Tecnomatix Plant Simulation

## Anexo X: Resultados de la Simulación de cada réplica

### 1. Layout Actual

Figura X-1: Resultado de las 60 simulaciones realizadas con el Layout Actual

Réplica	Consideraciones	Búsqueda de perfiles	Cortado de perfiles	Desagüe	Búsqueda de refuerzos	Cortado de refuerzos	Ahorriado	Soldadura de perfiles	Number in	Number out (marcos/mes)	trabajador 1 m/mes	trabajador 2 m/mes	trabajador 3 m/mes
1	Error de medición al cortar los perfiles de PVC	0:04:18	0:11:46	0:05:28	0:02:59	0:01:22	0:03:44	0:09:25	232	58	18795	15051	11282
2	Problemas de funcionamiento con el Pantógrafo	0:02:07	0:04:39	0:10:41	0:02:43	0:02:28	0:03:54	0:11:43	228	57	9252	13706	7653
3	Refuerzos utilizados almacenados bajo	0:02:29	0:05:08	0:10:14	0:03:27	0:03:42	0:03:31	0:10:52	224	56	10855	17406	9420
4	Problemas de soldadura en las ventanas	0:02:44	0:03:20	0:09:54	0:02:55	0:03:23	0:04:00	0:15:01	208	52	11947	14715	8887
5	Error de selección de perfiles de PVC	0:02:10	0:07:05	0:02:38	0:01:58	0:03:22	0:03:17	0:07:31	332	83	9471	9922	6464
6	Ventanas de 815 x 890 mm	0:02:13	0:04:13	0:02:46	0:02:12	0:03:01	0:04:55	0:10:41	316	79	9689	11099	6929
7	Distribuciones proporcionadas por Software Avena	0:02:31	0:03:45	0:03:23	0:03:07	0:03:13	0:04:35	0:10:40	300	75	11000	15724	8908
8	Realización de Perfiles de PVC	0:02:22	0:06:25	0:00:41	0:02:39	0:04:41	0:05:58	0:07:02	320	80	10366	13370	7912
9	Disminución en un 45% la búsqueda de perfiles	0:01:23	0:03:44	0:00:49	0:02:32	0:07:04	0:04:52	0:10:23	288	72	6039	12781	6273
10	Ventanas de 5400 x 2500 mm	0:06:20	0:17:09	0:12:35	0:02:56	0:04:03	0:08:53	0:16:09	176	44	27714	14799	14171
11	Aumento de 30% en las dimensiones de las ventanas	0:04:47	0:12:57	0:15:59	0:02:32	0:05:40	0:10:25	0:19:05	168	42	20928	12781	11236
12	Revisión de Cortadora de PVC y Pantógrafo	0:07:11	0:19:27	0:13:51	0:03:31	0:05:39	0:04:44	0:16:13	168	42	31432	17742	16391
13	Atención de Cliente	0:04:28	0:12:04	0:14:11	0:03:03	0:05:39	0:04:30	0:21:25	184	46	19512	15388	11633
14	Ausencia del trabajador 3	0:07:49	0:21:09	0:29:31	0:02:59	0:07:40	0:17:54	0:28:03	144	36	34186	15051	16412
15	Ventanas de 5500 x 3000 mm	0:06:42	0:18:08	0:15:10	0:03:10	0:07:52	0:15:22	0:20:27	148	37	29308	15976	15095
16	Atención de Cliente	0:02:58	0:07:11	0:08:48	0:03:03	0:02:31	0:03:43	0:10:40	248	62	12967	15388	9452
17	Problemas con la presión del pantógrafo al realizar los desgüe	0:02:27	0:04:22	0:10:16	0:03:02	0:03:11	0:03:48	0:12:32	240	60	10685	15275	8653
18	Problemas de ajustes de medidas en el Pantógrafo	0:02:28	0:05:11	0:07:35	0:02:47	0:03:29	0:03:36	0:11:08	236	59	10758	14014	8257
19	Desagües realizados por el trabajador 1	0:02:22	0:04:53	0:05:06	0:02:22	0:03:15	0:04:04	0:11:04	308	77	10369	11912	7427
20	Ventanas Fijas	0:02:18	0:05:01	0:02:56	0:02:26	0:03:12	0:04:16	0:09:37	368	92	10053	12248	7434
21	Puertas de 980 x 2220 mm	0:02:22	0:04:48	0:02:17	0:02:39	0:03:38	0:05:09	0:09:28	340	85	10352	13398	7916
22	Puertas de 965 x 2160 mm	0:02:05	0:04:38	0:01:38	0:02:46	0:04:59	0:05:08	0:09:22	320	80	9135	13958	7698
23	Error en selección de perfil de PVC	0:03:22	0:09:06	0:04:42	0:02:42	0:05:16	0:06:34	0:11:11	224	56	14706	13650	9452
24	Aumento en 25% el tiempo de búsqueda de tornillos	0:04:10	0:11:16	0:09:48	0:02:40	0:05:36	0:08:03	0:15:12	200	50	18277	13454	10560
25	Ausencia del trabajador 1	0:06:06	0:16:31	0:14:08	0:03:00	0:05:07	0:08:01	0:17:09	184	46	26692	15107	13933
26	Ventanas Oscilobalientes	0:05:29	0:14:49	0:14:40	0:03:02	0:05:39	0:06:33	0:18:54	188	47	22958	15304	13087
27	Ventanas de 5450 x 3500 mm	0:06:30	0:17:33	0:19:11	0:03:11	0:06:19	0:09:03	0:21:54	156	39	28377	16060	14812
28	Mantenición de máquinas	0:06:20	0:17:07	0:19:37	0:03:04	0:07:04	0:12:35	0:23:18	160	40	27669	15472	14380
29	Problemas con la presión de la Cortadora de PVC	0:05:50	0:15:29	0:17:50	0:03:04	0:06:01	0:12:20	0:19:43	160	40	25487	15472	13653
30	Rotación de personal	0:04:02	0:09:54	0:11:25	0:03:05	0:04:31	0:07:38	0:14:33	200	50	17653	15546	11067
31	Trabajador 3 participa del inventario de Perfiles de PVC	0:02:37	0:05:35	0:08:53	0:02:57	0:03:04	0:03:42	0:11:27	248	62	11470	14892	8787
32	Obra de 67 ventanas fijas	0:02:26	0:04:49	0:07:39	0:02:43	0:03:18	0:03:49	0:11:35	268	67	10604	13734	8113
33	81 marcos para ventanas Oscilobalientes	0:02:23	0:05:12	0:05:12	0:02:31	0:03:19	0:03:59	0:10:37	324	81	10393	12725	7706
34	Pérdida de tornillos	0:02:21	0:04:54	0:03:26	0:02:29	0:03:22	0:04:30	0:10:03	328	82	10258	12519	7592
35	Obra de 91 ventanas	0:02:15	0:04:49	0:02:17	0:02:37	0:03:57	0:04:51	0:09:29	364	91	9847	13201	7683
36	Error en la selección de refuerzos	0:06:10	0:02:52	0:02:43	0:04:38	0:05:37	0:05:37	0:10:00	292	73	11398	13669	8355
37	Error en medición de refuerzos	0:03:12	0:08:20	0:05:22	0:02:43	0:05:17	0:06:35	0:11:55	212	53	14023	13687	9237
38	Soldar dos veces el marco, por error de medición	0:04:33	0:12:18	0:09:33	0:02:47	0:05:20	0:07:33	0:14:31	200	50	19875	14070	11315
39	Trabajador 1 participa del inventario de Perfiles de PVC	0:05:15	0:14:12	0:12:52	0:02:54	0:05:27	0:07:32	0:17:05	192	48	22959	14621	12527
40	Atraso en la llegada del Trabajador 1	0:06:02	0:16:18	0:16:00	0:03:04	0:05:42	0:07:52	0:19:19	176	44	26342	15490	13944

Réplica	Consideraciones	Búsqueda de perfiles	Cortado de perfiles	Desgaje	Bisqueda de referenzos	Cortado de referenzos	Aornillado	Soldadura de perfiles	Number in	Number out (marcos/mes)	trabajador 1 m/mes	trabajador 2 m/mes	trabajador 3 m/mes
41	Ausencia del trabajador 2	0-06:06	0-16:30	0-17:50	0-03:06	0-06:21	0-09:24	0-21:22	160	40	2668	15612	14093
42	Ausencia del Gerente General	0-06:13	0-16:43	0-18:53	0-03:06	0-06:28	0-11:19	0-21:38	152	38	27177	15668	14282
43	Problemas con la presión del compresor	0-05:24	0-14:10	0-16:17	0-03:04	0-05:52	0-10:51	0-19:12	168	42	23603	15497	13033
44	Apertura de soldadura al momento de almacenar el marco	0-04:10	0-10:19	0-12:42	0-03:02	0-04:32	0-07:53	0-15:14	196	49	18203	15304	11169
45	Obra de 55 ventanas con ausencia del trabajador 3	0-03:02	0-06:46	0-09:19	0-02:55	0-03:38	0-05:03	0-12:31	220	55	13242	14724	9322
46	Término de Jornada Laboral a las 17:30 h para el Trabajador	0-02:29	0-05:08	0-07:15	0-02:44	0-03:14	0-03:50	0-11:13	284	71	10822	13784	8202
47	Realización de desgaje a perfil equivocado	0-02:23	0-04:55	0-05:56	0-02:35	0-03:20	0-04:06	0-10:45	312	78	10418	12993	7804
48	Cortado de PVC en color distinto solicitado por el cliente	0-02:20	0-04:55	0-03:38	0-02:32	0-03:32	0-04:26	0-10:03	328	82	10166	12815	7660
49	Cortado de perfil de PVC distinto al solicitado por el cliente	0-02:24	0-05:18	0-02:52	0-02:36	0-03:59	0-04:59	0-09:51	320	80	11756	13130	7877
50	Término de Jornada Laboral a las 17:30 h para el Trabajador	0-02:41	0-06:26	0-03:30	0-02:41	0-04:37	0-05:41	0-10:28	284	71	11566	13519	8425
51	Retraso en la búsqueda del mazo plástico	0-03:07	0-07:15	0-07:37	0-02:46	0-04:05	0-05:51	0-12:25	220	55	13589	13971	9187
52	Pérdida de fomon (app. 3 mm)	0-02:49	0-06:23	0-06:32	0-02:44	0-03:52	0-05:14	0-11:34	248	62	12337	13780	8706
53	Demora de 4 min en eliminar rebabas	0-02:39	0-05:53	0-05:46	0-02:42	0-03:47	0-04:54	0-11:06	256	64	11604	13389	8398
54	No se eliminan todas las rebabas del marco	0-02:36	0-05:47	0-05:20	0-02:40	0-03:48	0-04:53	0-10:55	284	71	11399	13448	8282
55	Elección del tornillo equivocado	0-02:37	0-05:51	0-05:05	0-02:39	0-03:53	0-05:01	0-10:53	284	71	11471	13406	8292
56	Retraso en la búsqueda del alicate de corte frontal para eliminar rebabas	0-02:39	0-05:58	0-05:03	0-02:40	0-03:57	0-05:07	0-10:54	280	70	11603	13457	8353
57	Término de Jornada Laboral a las 17:30 h	0-02:42	0-06:06	0-05:13	0-02:41	0-04:00	0-05:13	0-11:01	260	65	11782	13337	8440
58	Falta de materiales (Tornillos)	0-02:44	0-06:12	0-05:31	0-02:42	0-04:00	0-05:14	0-11:10	252	63	11943	13630	8510
59	Error en el corte de referenzos	0-02:44	0-06:11	0-05:46	0-02:42	0-03:55	0-05:11	0-11:15	252	63	11966	12934	8642
60	Error de medición al cortar los referenzos	0-02:41	0-06:03	0-05:32	0-02:41	0-03:54	0-05:06	0-11:06	260	65	11763	12992	8438

Fuente: Elaboración propia - Tecnomatix Plant Simulation

## 2. Layout Propuesto

Figura X-2: Resultado de las 60 simulaciones realizadas con el Layout Propuesto

Réplica	Consideraciones	Búsqueda de perfiles	Cortado de perfiles	Desgaje	Bisqueda de referenzos	Cortado de referenzos	Aornillado	Soldadura de perfiles	Number in	Number out (marcos/mes)	trabajador 1 m/mes	trabajador 2 m/mes	trabajador 3 m/mes
1	Error de medición al cortar los perfiles de PVC	0-02:30	0-11:46	0-04:43	0-01:35	0-01:22	0-03:33	0-09:25	276	69	16099	12892	9664
2	Problemas de funcionamiento con el Pantógráfico	0-01:14	0-04:39	0-09:56	0-01:26	0-02:28	0-03:42	0-11:43	272	68	7925	11740	6555
3	Referenzos utilizados almacenados bajo	0-01:27	0-05:08	0-09:29	0-01:50	0-03:42	0-03:20	0-10:52	268	67	9298	14909	8069
4	Problemas de soldadura en las ventanas	0-01:36	0-03:20	0-09:09	0-01:33	0-03:23	0-03:48	0-15:01	248	62	10234	12604	7613
5	Error de selección de perfiles de PVC	0-01:16	0-07:05	0-01:53	0-01:02	0-03:22	0-03:07	0-07:31	392	98	11112	8499	5537
6	Ventanas de 815 x 890 mm	0-01:18	0-04:13	0-02:01	0-01:10	0-03:01	0-04:40	0-10:41	372	93	8299	9507	5935
7	Distribuciones proporcionadas por Software Arena	0-01:28	0-03:45	0-02:38	0-01:39	0-03:13	0-04:21	0-10:40	360	90	9422	13468	7630
8	Realización de Perfiles de PVC	0-01:23	0-06:25	0-00:35	0-01:24	0-04:41	0-05:40	0-07:02	380	95	8879	11452	6777
9	Disminución en un 45% la búsqueda de perfiles	0-00:48	0-03:44	0-00:42	0-01:21	0-07:04	0-04:37	0-10:23	348	87	5172	10948	5373
10	Ventanas de 5400 x 2500 mm	0-03:41	0-17:09	0-16:51	0-01:33	0-04:03	0-08:26	0-16:09	208	52	23739	12676	12138
11	Aumento de 30% en las dimensiones de las ventanas	0-02:47	0-12:57	0-13:47	0-01:52	0-05:40	0-09:54	0-19:05	196	49	17926	10948	9625
12	Revisión de Contadora de PVC y Pantógráfico	0-04:11	0-19:27	0-11:57	0-01:57	0-05:39	0-04:30	0-16:13	204	51	26923	15197	14040
13	Atención de Cliente	0-02:36	0-12:04	0-12:14	0-01:37	0-03:39	0-04:16	0-21:25	216	54	16713	13180	9964
14	Ausencia del trabajador 3	0-04:33	0-21:09	0-25:28	0-01:35	0-07:40	0-17:00	0-28:03	172	43	29282	12892	14058
15	Ventanas de 5500 x 3000 mm	0-03:54	0-18:08	0-1:305	0-01:41	0-07:52	0-14:36	0-20:27	176	44	25104	13684	12929

Réplica	Consideraciones	Búsqueda de perfiles	Cortado de perfiles	Desgaste	Búsqueda de refuerzos	Cortado de refuerzos	Aornillado	Soldadura de perfiles	Number in	Number out (marcos/mes)	trabajador 1 m/mes	trabajador 2 m/mes	trabajador 3 m/mes
16	Atencion de Cliente	0-01:44	0-06:28	0-08:03	0-01:37	0-02:22	0-03:32	0-09:04	292	73	11107	13180	8096
17	Problemas con la presión del pantógrafo al realizar los desaj	0-01:26	0-03:56	0-09:31	0-01:36	0-03:00	0-03:37	0-10:39	280	70	9152	13084	7412
18	Problemas de ajustes de medidas en el Pantógrafo	0-01:26	0-04:40	0-06:50	0-01:28	0-03:16	0-03:25	0-09:28	320	80	9214	12004	7073
19	Desajustes realizados por el trabajador 1	0-01:23	0-04:23	0-04:21	0-01:15	0-03:04	0-03:52	0-09:25	360	90	8882	12003	6362
20	Ventanas Fijas	0-01:20	0-04:31	0-02:11	0-01:17	0-03:00	0-04:03	0-08:11	436	109	8611	10491	6368
21	Puertas de 980 x 2220 mm	0-01:13	0-04:19	0-01:45	0-01:24	0-03:25	0-04:54	0-08:03	400	100	8867	11476	6781
22	Puertas de 965 x 2160 mm	0-01:23	0-04:10	0-01:19	0-01:28	0-04:41	0-04:53	0-07:57	388	97	7825	11596	6593
23	Error en selección de perfil de PVC	0-01:57	0-08:11	0-04:03	0-01:26	0-04:57	0-06:15	0-09:31	264	66	12597	11692	8096
24	Aumento en 25% el tiempo de búsqueda de tornillos	0-02:25	0-10:09	0-08:27	0-01:25	0-05:16	0-07:39	0-12:55	236	59	15612	11524	9045
25	Ausencia del trabajador 1	0-03:33	0-14:52	0-12:12	0-01:35	0-04:49	0-07:37	0-14:35	220	55	22863	12940	11934
26	Ventanas Oscilobatientes	0-03:11	0-13:20	0-12:40	0-01:37	0-05:19	0-06:13	0-16:04	224	56	20521	13108	11210
27	Ventanas de 5450 x 3500 mm	0-03:46	0-15:48	0-16:33	0-01:41	0-05:57	0-08:36	0-18:37	184	46	24306	13756	12688
28	Mantenimiento de máquinas	0-03:41	0-15:24	0-16:56	0-01:38	0-06:38	0-11:58	0-19:49	188	47	23700	12317	12317
29	Problemas con la presión de la Cortadora de PVC	0-03:24	0-13:56	0-15:32	0-01:38	0-05:39	0-11:43	0-16:46	188	47	21831	13252	11694
30	Rotación de personal	0-02:21	0-08:54	0-10:13	0-01:38	0-04:15	0-07:15	0-12:22	244	61	15121	13316	9479
31	Trabajador 3 prticipa del inventario de Perfiles de PVC	0-01:32	0-05:01	0-08:08	0-01:34	0-02:53	0-03:31	0-09:44	292	73	9825	12756	7527
32	Otra de 67 ventanas fijas	0-01:25	0-04:20	0-06:54	0-01:26	0-03:07	0-03:38	0-09:51	316	79	9083	11764	6949
33	81 marcos para ventanas Oscilobatientes	0-01:22	0-04:31	0-04:27	0-01:20	0-03:07	0-03:47	0-09:01	380	95	8902	10900	6601
34	Pérdida de tornillos	0-01:22	0-04:24	0-02:45	0-01:19	0-03:10	0-04:16	0-08:33	384	96	8787	10723	6503
35	Otra de 91 ventanas	0-01:19	0-04:20	0-01:45	0-01:26	0-03:42	0-04:37	0-08:04	428	107	8434	11308	6581
36	Error en la selección de refuerzos	0-01:31	0-05:33	0-02:22	0-01:26	0-04:21	0-05:20	0-08:30	348	87	9763	11708	7157
37	Error en medición de refuerzos	0-01:52	0-07:30	0-04:36	0-01:26	0-04:58	0-06:16	0-10:08	252	63	12011	11724	7912
38	Soldar dos veces el marco, por error de medición	0-02:39	0-11:04	0-08:14	0-01:39	0-05:00	0-07:10	0-12:20	240	60	17024	12052	10730
39	Trabajador 1 prticipa del inventario de Perfiles de PVC	0-03:03	0-12:47	0-11:06	0-01:32	0-05:08	0-07:10	0-14:31	228	57	19665	12524	10672
40	Atraso en la llegada del Trabajador 1	0-03:30	0-14:40	0-13:48	0-01:38	0-05:21	0-07:29	0-16:25	208	52	22563	13268	11944
41	Ausencia del trabajador 2	0-03:33	0-14:51	0-15:23	0-01:39	0-06:58	0-08:55	0-18:10	192	48	22842	13372	12071
42	Ausencia del Gerente General	0-03:37	0-15:03	0-16:20	0-01:39	0-06:05	0-10:45	0-18:24	180	45	23279	13420	12233
43	Problemas con la presión del compresor	0-03:08	0-12:45	0-14:14	0-01:38	0-05:31	0-10:18	0-16:19	200	50	20217	13274	11164
44	Apertura de soldadura al momento de almacenar el marco	0-02:25	0-09:17	0-11:18	0-01:36	0-04:16	0-07:30	0-12:57	232	58	15592	13108	9567
45	Otra de 55 ventanas con ausencia del trabajador 3	0-01:46	0-06:05	0-08:25	0-01:33	0-03:25	0-04:48	0-10:39	256	64	11343	12612	7985
46	Término de Jornada Laboral a las 17:30 h para el Trabajador	0-01:27	0-04:37	0-06:30	0-01:27	0-03:02	0-03:39	0-09:32	336	84	9270	11807	7025
47	Realización de desajuste a perfil equivocado	0-01:23	0-04:25	0-04:42	0-01:22	0-03:08	0-03:54	0-09:08	368	92	8924	11129	6684
48	Cortado de PVC en color distinto solicitado por el cliente	0-01:21	0-04:25	0-02:59	0-01:21	0-03:20	0-04:13	0-08:32	384	96	8708	10977	6562
49	Cortado de perfil de PVC distinto al solicitado por el cliente	0-01:24	0-04:46	0-02:17	0-01:23	0-03:44	0-04:44	0-08:22	380	95	8994	11246	6747
50	Término de Jornada Laboral a las 17:30 h para el Trabajador	0-01:34	0-05:48	0-02:54	0-01:25	0-04:21	0-05:24	0-08:54	332	83	10069	11580	7216
51	Retraso en la búsqueda del mazo plástico	0-01:49	0-06:31	0-06:40	0-01:28	0-03:51	0-05:34	0-10:33	260	65	11640	11967	7869
52	Pérdida de fonnón (app. 3 min)	0-01:39	0-05:44	0-05:43	0-01:27	0-03:38	0-04:58	0-09:50	292	73	10567	11803	7457
53	Demora de 4 min en eliminar rebabas	0-01:33	0-05:18	0-05:01	0-01:26	0-03:33	0-04:39	0-09:26	312	78	9959	11640	7193
54	No se eliminan todas las rebabas del marco	0-01:31	0-05:12	0-04:36	0-01:25	0-03:35	0-04:38	0-09:17	336	84	9764	11519	7094
55	Elección del tornillo equivocado	0-01:32	0-05:16	0-04:22	0-01:24	0-03:39	0-04:46	0-09:15	332	83	9826	11483	7103
56	Retraso en la búsqueda del alicante de corte frontal para eliminar rebabas	0-01:33	0-05:23	0-04:19	0-01:25	0-03:43	0-04:52	0-09:16	328	82	9938	11527	7155
57	Término de Jornada Laboral a las 17:30 h	0-01:34	0-05:30	0-04:29	0-01:25	0-03:45	0-04:57	0-09:22	308	77	10092	11595	7229
58	Falta de materiales (Tornillos)	0-01:36	0-05:35	0-04:46	0-01:26	0-03:45	0-04:59	0-09:29	300	75	10230	11639	7290
59	Error en el corte de refuerzos	0-01:36	0-05:34	0-05:00	0-01:26	0-03:41	0-04:55	0-09:34	296	74	10250	11647	7299
60	Error de medición al cortar los refuerzos	0-01:34	0-05:26	0-04:47	0-01:25	0-03:40	0-04:50	0-09:26	304	76	10076	11607	7227

Fuente: Elaboración propia - Tecnomatix Plant Simulation

