

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



## FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

### MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

---

Tema: “MANUFACTURA ESBELTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD EN LA LÍNEA DE ENSAMBLE DE PUERTAS DE REFRIGERACIÓN”

---

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado académico de Magister en  
Producción y Operaciones Industriales

Modalidad de titulación Proyecto de Desarrollo

**Autor:** Ingeniero Stalin Rolando Lluglla Tubón.

**Director:** Ingeniero Luis Alberto Morales Perrazo Magíster.

**Ambato – Ecuador**

**2021**

## **APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial

El Tribunal receptor de la Defensa del Trabajo de Titulación presidido por la Ingeniera Elsa Pilar Urrutia Urrutia Magíster e integrado por los señores: Ingeniero Israel Ernesto Naranjo Chiriboga Magíster e Ingeniera Daysi Margarita Ortiz Guerrero Magíster, designados por la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica y Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “Manufactura esbelta para la optimización de la productividad en la línea de ensamble de puertas de refrigeración” elaborado y presentado por el señor Ingeniero Stalin Rolando Lluglla Tubón, para optar por el Grado Académico de Magister en Producción y Operaciones Industriales; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la Universidad Técnica de Ambato.

-----  
Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg.  
Presidenta y Miembro del Tribunal de Defensa

-----  
Ing. Israel Ernesto Naranjo Chiriboga, Mg.  
Miembro del Tribunal de Defensa

-----  
Ing. Daysi Margarita Ortiz Guerrero, Mg.  
Miembro del Tribunal de Defensa

## **AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: “MANUFACTURA ESBELTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD EN LA LÍNEA DE ENSAMBLE DE PUERTAS DE REFRIGERACIÓN”, le corresponde exclusivamente a: Ingeniero Stalin Rolando Lluglla Tubón Autor bajo la Dirección de Ingeniero Luis Alberto Morales Perrazo Magíster, Director del Trabajo de Titulación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

-----  
Ing. Stalin Rolando Lluglla Tubón

**AUTOR**

-----  
Ing. Luis Alberto Morales Perrazo, Mg.

**DIRECTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad Técnica de Ambato.

-----  
Ing. Stalin Rolando Lluglla Tubón

C.C. 1804305223

## ÍNDICE GENERAL

Contenido	
PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURA .....	ix
AGRADECIMIENTO.....	xi
DEDICATORIA .....	xii
CAPÍTULO I .....	1
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	1
1.1.    Introducción .....	1
1.2.    Justificación.....	2
1.3.    Objetivos .....	3
1.3.1.    General .....	3
1.3.2.    Específicos .....	3
CAPÍTULO II .....	4
ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS .....	4
2.1.    Marco Teórico .....	4
2.1.1.    Productividad .....	4
2.1.2.    Análisis de Procesos .....	4
2.1.3.    Manufactura Esbelta [LM] .....	5
2.1.4.    Desperdicios .....	6
2.2.    Estado de Arte .....	7
2.2.1.    Manufactura Esbelta .....	7
2.2.2.    Mapeo del Flujo de Valor (VSM).....	11
2.2.3.    Reducción del tiempo .....	12
2.2.4.    Optimización de procesos.....	13
2.2.5.    Discusión de las investigaciones relacionadas .....	14
CAPÍTULO III.....	16
MARCO METODOLÓGICO .....	16
3.1.    Ubicación .....	16
3.2.    Equipos y materiales.....	16
3.3.    Tipo de Investigación .....	17

3.4.	Población y muestra .....	17
3.5.	Recolección de la información .....	18
3.6.	Procesamiento de la información y análisis estadístico .....	18
3.6.1.	Plan de recolección de datos.....	18
3.6.2.	Plan de procesamiento de la información .....	19
3.7.	Variables respuesta.....	20
3.7.1.	Variable independiente: Manufactura esbelta .....	20
3.7.2.	Variable dependiente: Optimización de productividad .....	21
CAPÍTULO IV.....		22
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		22
4.1.	Descripción de la empresa .....	22
4.2.	Sistema productivo .....	24
4.2.1.	Proceso productivo .....	24
4.2.3.	Descripción del proceso.....	26
4.2.4.	Instalaciones y puestos de trabajo.....	30
4.3.	Proceso de Producción .....	30
4.3.1.	Capacidad de Producción .....	30
4.3.2.	Identificación del Cuello de Botella .....	33
4.3.3.	Indicadores .....	37
4.4.	Herramientas de Manufactura Esbelta para línea de ensamble .....	41
4.5.	Optimización de productividad.....	43
4.5.1.	VSM de estado actual .....	44
4.5.2.	Balanceo de línea.....	46
4.5.3.	Estandarización de procesos .....	51
4.6.	Hoja de ruta aplicación herramientas LM.....	59
4.7.	Modelo de Simulación.....	60
4.7.1.	Descripción del Modelo.....	61
4.7.2.	Parámetros del modelo .....	61
4.7.3.	Medidas de desempeño.....	62
4.7.4.	Distribución de datos para simulación .....	63
4.7.5.	Diseño de modelo .....	82
4.7.6.	Estadísticas simulaciones.....	84
4.8.	Comparación de sistema actual y el sistema esbelto .....	87
4.8.1.	Tiempo Ciclo.....	87
4.8.2.	Rendimiento .....	89
4.8.3.	Productividad .....	89
CAPÍTULO V .....		91

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y BIBLIOGRAFÍA.....	91
5.1. Conclusiones .....	91
5.2. Recomendaciones.....	92
5.3. Bibliografía .....	93

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. SIETE DESPERDICIOS LM .....	7
Tabla 2. DEFINICIÓN DE MANUFACTURA ESBELTA [LM].....	14
Tabla 3 APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE MANUFACTURA ESBELTA .....	15
Tabla 4 UNIDAD DE OBSERVACIÓN.....	18
Tabla 5: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE INDEPENDIENTE .....	20
Tabla 6: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE DEPENDIENTE .....	21
Tabla 7 SISTEMA DE PRODUCCIÓN LÍNEA DE ENSAMBLE DE PUERTAS .....	26
Tabla 8. OBSERVACIONES DE TIEMPOS DE CICLO.....	31
Tabla 9. HOJA DE TIEMPOS ESTÁNDAR DE LA LÍNEA DE ENSAMBLE .....	35
Tabla 10. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN.....	36
Tabla 11. PRODUCCIÓN LÍNEA DE ENSAMBLE.....	37
Tabla 12. PRODUCCIÓN LÍNEA DE ENSAMBLE.....	39
Tabla 13. INDICADORES DE PROCESO .....	39
Tabla 14. INDICADORES DE PROCESO.....	41
Tabla 15. HERRAMIENTAS DE MANUFACTURA ESBELTA .....	42
Tabla 16. CORRELACIÓN DE HERRAMIENTAS LM CON OPTIMIZACIÓN DE DESPERDICIO.....	42
Tabla 17. LISTADO DE ACTIVIDADES .....	46
Tabla 18. ESTADO ACTUAL DIAGRAMA DE ACTIVIDADES PREDECESORAS.....	47
Tabla 19. BALANCEO DE ACTIVIDADES PREDECESORAS .....	48
Tabla 20. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN LÍNEA DE ENSAMBLE.....	50
Tabla 21. ASIGNACIÓN DE RECURSO HUMANO POR PROCESO.....	51
Tabla 22. HOJA DE TRABAJO ESTANDARIZADO ESTACIÓN ENSAMBLE DE MARCOS .....	53
Tabla 23. HOJA DE TRABAJO ESTANDARIZADO ESTACIÓN DE LIMPIEZA E INSPECCIÓN DE PANEL .....	54
Tabla 24. HOJA DE TRABAJO ESTANDARIZADO ESTACIÓN DE MONTAJE DE PARTE ELÉCTRICA.....	55
Tabla 25. HOJA DE TRABAJO ESTANDARIZADO ESTACIÓN DE MONTAJE DE PARTE ADHESIVA.....	56
Tabla 26. HOJA DE TRABAJO ESTANDARIZADO DE ENSAMBLE DE PANEL CON MARCO.....	57
Tabla 27. HOJA DE TRABAJO ESTANDARIZADO ESTACIÓN DE ENSAMBLE DE PUERTA FINAL .....	58
Tabla 28. MODELO DE APLICACIÓN LM.....	61
Tabla 29. HOJA DE TIEMPOS DE PROCESO [min/puerta].....	63
Tabla 30. DETALLE DE PARÁMETROS DE SIMULACIÓN .....	82
Tabla 31. RELACIÓN RECURSO FLEXSIM CON LÍNEA DE ENSAMBLE .....	82
Tabla 32. RELACIÓN RECURSO FLEXSIM CON LÍNEA DE ENSAMBLE (CONTINUACIÓN) .....	83
Tabla 33. MEDIDAS DE DESEMPEÑO SIMULACIÓN DE MODELO PROPUESTO.....	84
Tabla 34. DATOS SIMULACIÓN MODELO .....	85
Tabla 35. DATOS SIMULACIÓN MODELO (CONTINUACIÓN) .....	85
Tabla 36. THROUGHPUT Y TIEMPO DE CICLO POR PROCESO .....	86
Tabla 37. PRODUCCIÓN POR JORNADA Y TIEMPO DE OPERACIÓN.....	86
Tabla 38. TIEMPO ACTUAL VS TIEMPO PROPUESTO.....	87
Tabla 39. PRODUCTIVIDAD PROPUESTA LÍNEA DE ENSAMBLE .....	90
Tabla 40. COMPARACIÓN PRODUCTIVIDAD ACTUAL VS PRODUCTIVIDAD PROPUESTA.....	90



## ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Sistema de producción esbelta [23].....	10
Figura 2: Ubicación planta de producción FAIRIS C.A. ....	16
Figura 3. Modelo CANVAS Fairis C.A. ....	23
Figura 4: Diagrama de Flujo Línea de Ensamble .....	25
Figura 5: Flujo de actividades - Limpieza e inspección de panel .....	27
Figura 6: Flujo de actividades Ensamble de marcos .....	27
Figura 7: Flujo de actividades - Montaje parte eléctrica.....	28
Figura 8: Flujo de actividades - Montaje de parte adhesiva.....	28
Figura 9: Flujo de actividades - Ensamble de marco con panel.....	29
Figura 10: Flujo de actividades - Ensamble de puerta final.....	29
Figura 11: Distribución de planta línea de ensamble.....	30
Figura 12. Análisis de restricción de capacidad.....	33
Figura 13. Comparación tiempo estándar con tiempo takt .....	34
Figura 14. Indicador de rendimiento de la línea de ensamble .....	40
Figura 15. Indicador de rechazo de la línea de ensamble .....	40
Figura 16. Indicador de productividad de la línea de ensamble .....	41
Figura 17. Correlación de herramientas LM.....	43
Figura 18. VSM de estado actual .....	45
Figura 19. Diagrama de precedencia .....	49
Figura 20. Comparación tiempo estándar con tiempo takt .....	49
Figura 21. Capacidad de producción .....	49
Figura 22. Capacidad de producción por proceso.....	50
Figura 23. Asignación de recurso humano .....	51
Figura 24. Simulación proceso Flexsim .....	62
Figura 25. Caja negra línea de ensamble .....	63
Figura 26. Tiempo de Ciclo - E. Limpieza e Inspección de panel .....	64
Figura 27. Correlograma Tiempos de E. Limpieza e Inspección de panel.....	64
Figura 28. Análisis de Independencia - E- Limpieza e Inspección de panel.....	65
Figura 29. Evaluación global de modelos candidatos estación limpieza e inspección de panel de ExpertFit .....	65
Figura 30. Test de bondad de ajuste - Estación limpieza e inspección de panel .....	66
Figura 31. Comparación de datos y distribución Weibul estación de limpieza e inspección de panel.....	66
Figura 32. Tiempo de Ciclo - E. Ensamble de marco .....	67
Figura 33. Correlograma Tiempos de E. Ensamble de marco .....	67
Figura 34. Análisis de Independencia - E. Ensamble de marco .....	68
Figura 35. Evaluación global de modelos candidatos estación ensamble de marcos de ExpertFit .....	68
Figura 36. Test de bondad de ajuste - Estación ensamble de marcos.....	69
Figura 37. Comparación de datos y distribución estación ensamble de marcos.....	69
Figura 38. Tiempo de Ciclo - E. Montaje Parte eléctrica.....	70
Figura 39. Correlograma Tiempos de E. Montaje parte eléctrica .....	70
Figura 40. Análisis de Independencia - E. Montaje parte eléctrica.....	71
Figura 41. Evaluación global de modelos candidatos estación montaje parte eléctrica de ExpertFit .....	71
Figura 42. Test de bondad de ajuste - Estación montaje parte eléctrica.....	72
Figura 43. Comparación de datos y distribución estación montaje parte eléctrica.....	72
Figura 44. Tiempo de Ciclo - E. Montaje parte adhesiva .....	73

Figura 45. Correlograma Tiempos de E. Montaje parte adhesiva .....	73
Figura 46. Análisis de Independencia - E. montaje parte adhesiva.....	74
Figura 47. Evaluación global de modelos candidatos estación montaje parte adhesiva de ExpertFit .....	74
Figura 48. Test de bondad de ajuste - Estación montaje parte adhesiva .....	75
Figura 49. Comparación de datos y distribución estación montaje parte adhesiva .....	75
Figura 50. Tiempo de Ciclo - E. Ensamble de marco con panel.....	76
Figura 51. Correlograma Tiempos de E. Ensamble de marco con panel .....	76
Figura 52. Análisis de Independencia - E. ensamble de marco con panel.....	77
Figura 53. Evaluación global de modelos candidatos estación ensamble de panel con marco de ExpertFit .....	77
Figura 54. Test de bondad de ajuste - Estación de ensamble de panel con marco .....	78
Figura 55. Comparación de datos y distribución estación ensamble de panel con marco .....	78
Figura 56. Tiempo de Ciclo - E. Ensamble Final .....	79
Figura 57. Correlograma Tiempos de E. Ensamble final .....	79
Figura 58. Análisis de Independencia - E. Ensamble final .....	80
Figura 59. Evaluación global de modelos candidatos estación ensamble final de ExpertFit .....	80
Figura 60. Test de bondad de ajuste - Estación ensamble final .....	81
Figura 61. Comparación de datos y distribución estación ensamble final .....	81
Figura 62. Conexiones simulación de proceso .....	83
Figura 63. Comparación tiempo actual y propuesto vs tiempo takt .....	88
Figura 64. Comparación de cumplimiento de tiempo actual y propuesto vs tiempo takt.....	89
Figura 65. Comparación de rendimiento actual vs rendimiento propuesto .....	89
Figura 66. Comparación productividad actual vs productividad propuesta .....	90

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero empezar agradeciendo con todo mi corazón a mi Dios, y a la empresa Fairis C.A. por haber abierto sus puertas y permitirme desarrollar el presente trabajo de investigación. A mi director Ing. Luis Morales, por su tiempo y dedicación. Por brindarme sus conocimientos, paciencia y apoyo en cada una de las etapas de la investigación para alcanzar el resultado esperado. También quiero agradecer al directo Ing. Franklin Tigre por el apoyo y compromiso durante toda la maestría. A la Universidad Técnica de Ambato por abrirme sus puertas para adquirir nuevos conocimientos óptimos para la vida profesional. A mi compañera Ximena Rubio por todo su apoyo y a mi amiga incondicional Norma Pilla por sus consejos brindados día a día.

Stalin Lluglla

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación se lo dedico a mi Dios que me ha regalado la salud, bendiciones y permitirme mirar la luz cada día. A mis padres Alberto y Gloria que son mi inspiración y ejemplo para seguir y que con su amor y apoyo me han permitido llegar a cumplir un sueño más. A mis hermanos que con su apoyo y aliento me ayudan a seguir con cada sueño. A mis sobrinos Mathías y Kristel siendo los ángeles que me regalan las sonrisas cada día.

Stalin Lluglla

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

**TEMA:**

Manufactura esbelta para la optimización de la productividad en la línea de ensamble de puertas de refrigeración.

**AUTOR:** Ing. Stalin Rolando Lluglla Tubón

**DIRECTOR:** Ing. Luis Alberto Morales Perrazo, Mg.

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

- Diseño, materiales y producción

**FECHA:** 20 de agosto de 2021

**RESUMEN EJECUTIVO**

El presente trabajo surge de la necesidad de la optimización de la productividad mediante la aplicación de las herramientas de la manufactura esbelta en la línea de ensamble de puertas de refrigeración de la empresa Fairis C.A. Inicialmente se realizó un análisis de la situación actual determinando una productividad de 6.2 unidades/hora/hombre con una producción de 5307 unidades y una utilización de 852.65 horas por cada persona entre los meses de enero a mayo, conjuntamente se estableció los estándares de producción y la capacidad de producción de la línea mediante el estudio de tiempos. Se realizó la nivelación de la producción con el tiempo takt (TT) de 5.33 minutos/puerta el mismo que determina el ritmo de producción para el cumplimiento de la demanda del cliente, estableciendo que solo el 33% de las estaciones cumplen con el TT. Además, se define otros indicadores (KPIs) claves del proceso como: el % rendimiento con un valor de 59.2% y el % rechazo con un valor de 0.6%. Siguiendo la metodología de la manufactura esbelta (LM) se ejecutó la optimización de los procesos mediante la reducción de todo tipo de desperdicio y problemas presentados en la línea. De este modo se plantea el balanceo de la línea reduciendo el tiempo de proceso de la estación cuello de botella en un 18.2% y mejorando el Throughput de 66 puertas ensambladas en 470 minutos de tiempo de operación efectiva a 76 puertas, lo que representa una optimización del 15.2%; de la igual forma, se plantea la estandarización del proceso como herramienta para la polivalencia y mejora en la curva de aprendizaje de los operadores y como soporte para el control de los KCC y KPC del proceso. Se modela las mejoras en Flexsim estableciendo las condiciones de simulación para 10 jornadas de ensamble; obteniendo un Throughput de 760 puertas con una utilización de 85 horas/hombre lo que representa una mejora del 30.2% en el redimiendo de la línea y una optimización de productividad del 43.5% con un indicador de 8.9 unidades/hora/hombre.

**Palabras clave:** Productividad, manufactura esbelta, Optimización

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

**THEME:**

Lean Manufacturing for productivity optimization in the refrigeration door assembly line

**AUTHOR:** Ing. Stalin Rolando Lluglla Tubón

**DIRECTED BY:** Ing. Luis Alberto Morales Perrazo, Mg.

**LINE OF RESEARCH:**

- Desing, materials and products

**DATE:** August 20th, 2021

**EXECUTIVE SUMMARY**

This work arises from the need to optimize productivity through the application of lean manufacturing tools in the assembly line of refrigeration doors of the company Fairis C.A. Initially, an analysis of the current situation was carried out, determining a productivity of 6.2 units / hour / man with a production of 5307 units and a utilization of 852.65 hours per person between the months of January to May, jointly establishing the production standards and the production capacity of the line through the study of times. The production leveling was carried out with the takt time (TT) of 5.33 minutes / door, which determines the production rate to meet customer demand, establishing that only 33% of the stations comply with the TT. In addition, other key indicators (KPIs) of the process are defined, such as: the% performance with a value of 59.2% and the% rejection with a value of 0.6%. Following the Lean Manufacturing (LM) methodology, the optimization of the processes was carried out by reducing all types of waste and problems presented in the line. In this way, the balancing of the line is proposed, reducing the process time of the bottleneck station by 18.2% and improving the Throughput of 66 doors assembled in 470 minutes of effective operating time at 76 doors, which represents an optimization 15.2%; in the same way, the standardization of the process is proposed as a tool for versatility and improvement in the learning curve of the operators and as a support for the control of the KCC and KPC of the process. The improvements in Flexsim are modeled establishing the simulation conditions for 10 assembly days; obtaining a Throughput of 760 doors with a utilization of 85 hours / man, which represents an improvement of 30.2% in the redemption of the line and an optimization of productivity of 43.5% with an indicator of 8.9 units / hour / man.

**Keywords:** Productivity, Lean Manufacturing, Optimization

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Introducción

En la era del desarrollo tecnológico y la creciente competencia global, en la mayoría de las ramas de la industria las empresas manufactureras luchan constantemente para satisfacer las necesidades y requisitos de los clientes [1]. Así mismo, un factor crucial en la industria de hoy es la utilidad percibida independientemente de la escala de industria; esto ha alentado a mejorar los resultados para aumentar su productividad y asegurar el éxito a través de la dirección y su enfoque en implementar las estrategias competitivas como la manufactura esbelta [2].

La manufactura esbelta (LM) es una técnica de varias escalas que se han estado implementando en últimos años para aumentar la productividad y eliminar residuos [3]. La filosofía de LM ha surgido como un enfoque poderoso que ha sido utilizado por empresas en países en desarrollo para mejorar sus operaciones [4], lo que permite optimizar a las empresas manufactureras su productividad eliminando desperdicios innecesarios, minimizando costos y el cumplimiento de la producción mejorando así su competitividad [5].

Mejorar la competitividad significa esencialmente mejorar la productividad e integrar la innovación [6], esto puede ser modernizando los procedimientos de trabajo e integrando principios de gestión modernos como los de la manufactura esbelta [7]; sin embargo, la aplicación exitosa de la filosofía de LM para la mejora de la productividad se ve afectada por la falta de compromiso de los empleados del proceso [8]. Así mismo varias fuentes de información enuncian sobre la efectividad del uso del concepto esbelto en la organización, pero no publican un mecanismo para una correcta implementación y su posterior difusión en la línea de producción [5][7].

El principal objetivos de la manufactura esbelta es mejorar la productividad general, costos, rendimiento del equipo y calidad del producto [9]. Sin embargo, las empresas se enfrentan a una competencia sin fronteras, donde existe la necesidad urgente de cambiar la forma tradicional de operar las compañías, optimizar los procesos y reducir los desperdicios de tiempo, costo y espacio que se generan dentro de los mismos [10].

Por el mercado ferozmente competitivo la empresa Fairis C.A. en todas sus líneas de negocio tiene mayores exigencias en ser más eficientes en costos, tiempos de entrega, calidad, productividad. Por lo que exige que sea más eficiente con sus recursos, por lo tanto, la organización debe poner sus esfuerzos en la maximización de sus procesos e incrementando su productividad. En base a lo expuesto se realiza la aplicación de las herramientas de la manufactura esbelta para la optimización de la productividad en la línea de ensamble de puertas de refrigeración.

El presente trabajo de investigación consta del Capítulo I con El Problema de Investigación, en el cual se desarrolló las temáticas de introducción, justificación y objetivos general y específicos. En el Capítulo II se presenta los antecedentes investigativos dentro del cual se encuentra el marco teórico y la revisión de la literatura. En el Capítulo III Marco Metodológico por medio de este se desarrolló la ubicación, equipos y materiales, tipo de investigación, prueba de hipótesis, población, muestra, recolección y procesamiento de la información y análisis estadístico. En el mismo orden está el capítulo IV se determina la herramientas de la manufactura esbelta en el proceso de estudio de igual importancia consta la evaluación y los resultados obtenidos.

## **1.2. Justificación**

El presente trabajo de investigación permite ejecutar la optimización de la productividad de la línea de ensamble de puertas de refrigeración de la empresa Fairis C.A., la misma que sirve como un punto de partida para la implementación de las herramientas de la manufactura esbelta en las diferentes líneas de negocio de la organización, permitiendo así a la empresa estar en los sitios competitivos del mercado actual.

En las diferentes líneas de negocio de la empresa Fairis C.A. no se han realizado ninguna investigación sobre la optimización de la productividad mediante la implementación de herramientas de la manufactura esbelta por lo que es de vital importancia el presente proyecto siendo así la organización la beneficiaria del desarrollo de la investigación; de este modo la organización obtiene mayor



flexibilidad en sus procesos para así solventar las necesidades del mercado ferozmente competitivo.

Con la flexibilidad otorgada a la línea de ensamble mediante la implementación de las prácticas de manufactura esbelta permite optimizar la productividad obteniendo así un impacto fuerte en la competitividad de la empresa. Asimismo, permite minimizar los tiempos de entregar que son un punto vital en la evaluación realizada por los clientes potenciales de la organización. De igual forma, con las herramientas de la manufactura esbelta minimiza los costos de producción que son de vital importancia e interés para la rentabilidad de los productos de la empresa.

Esta investigación tiene utilidad teórica ya que se sustenta de investigaciones realizadas sobre las variables utilizadas. De la misma forma, el presente trabajo tiene utilidad práctica porque se realiza una alternativa de solución al problema planteado que es la optimización de la productividad de la línea de ensamble de puertas de refrigeración mediante la aplicación de las herramientas de manufactura esbelta.

### **1.3.Objetivos**

#### **1.3.1. General**

- Aplicar manufactura esbelta para la optimización de la productividad en la línea de ensamble de puertas de refrigeración

#### **1.3.2. Específicos**

- Determinar la situación actual de la productividad de la línea de ensamble de puertas de refrigeración de la empresa Fairis C. A.
- Establecer las herramientas de la manufactura esbelta adecuadas para la línea de ensamble de puertas de refrigeración.
- Proponer un modelo de aplicación de herramientas de la manufactura esbelta para la optimización del proceso de la línea de ensamble.
- Simular el modelo propuesto de la aplicación de las herramientas de manufactura esbelta en la línea de ensamble de puertas de refrigeración.

## **CAPÍTULO II**

### **ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS**

#### **2.1.Marco Teórico**

##### **2.1.1. Productividad**

La productividad de un proceso es una medida de rendimiento importante para las industrias de manufactura, de igual relevancia es sumamente importante para el desarrollo sostenible de una empresa. La productividad es un índice se determina mediante la división de una salida por la entrada requerida [11]. Asimismo, se puede definir como la cantidad de trabajo que se puede lograr por unidad tiempo usando los recursos disponibles; es decir las métricas de productividad se pueden definir como los indicadores claves para la optimización de los recursos de las líneas de ensamble en efecto el crecimiento sustancial de las organizaciones [12].

La productividad puede ser medida como una productividad multifactorial, que es un índice de la producción correspondiente a más de uno de los recursos que se utilizan en la producción; esta puede ser la productividad de la mano de obra que es el índice de producción por persona por hora trabajada; asimismo, la productividad de los equipos que puede ser el índice de producción de la línea por energía utilizada [13], [14].

##### **2.1.2. Análisis de Procesos**

El análisis de procesos es necesario tanto para la reingeniería como para el mejoramiento de los procesos y productividad, pero también forma parte del monitoreo del desempeño a través del tiempo; el análisis de procesos es la documentación y comprensión detallada de cómo se realiza el trabajo y cómo puede ser optimizado. Comienza con la identificación de las nuevas oportunidades para mejorar y termina con la implementación del proceso revisado [15][16].

En primer lugar, se procede a identificar oportunidades, para lo cual gerentes deben prestar especial atención a los cuatro procesos centrales: relaciones con los proveedores, desarrollo de nuevos servicios y productos, surtido de pedidos y relaciones con los clientes. Posterior se procede a definir el alcance que establece los

límites del proceso que se analizará. El alcance de un proceso puede ser muy amplio o limitado.

Siguiendo se procede a documentar el Proceso en la cual se realiza la documentación que incluye elaborar una lista de los insumos, proveedores (internos o externos), productos y clientes (internos o externos) del proceso. A continuación, se realiza la evaluación del Desempeño para proseguir con el rediseño del proceso mediante el cual el analista de diseño debe hurgar hasta el fondo para encontrar las causas originales de las brechas de desempeño. Finalmente se procede a implementar los cambios que es más que trazar un plan y llevarlo a cabo, muchos procesos se rediseñan eficazmente, pero jamás llegan a implementarse, la gente se resiste al cambio [17][12].

### **2.1.3. Manufactura Esbelta [LM]**

Se define la manufactura esbelta como un conjunto de conceptos, principios, métodos, procedimientos y herramientas para reducir pérdidas en el flujo de valor en la línea producción. También se enuncia que los sistemas esbeltos es la mejor manera de administrar una organización con un enfoque en empleados, clientes y proveedores [18]. Por otro lado, se indica que la LM se centra en la eliminación de residuos y la creación de valor, esto mediante el análisis factorial del diseño del trabajo, intercambio de conocimientos, supervisión y gestión del talento humano [19][20].

Por otra parte, se define como LM o producción ajustada, a la persecución de una mejora del sistema de fabricación mediante la eliminación del desperdicio, entendiendo como desperdicio todas aquellas acciones que no agregan valor al producto aumentando así el valor a cada actividad; de igual importancia el desperdicio con costos por los cuales el cliente no está dispuesto a pagar. Por otra parte, la LM puede considerarse como un conjunto de herramientas relacionadas con los principios de la mejora continua [21][22].

El objetivo del conjunto de herramientas de la manufactura busca eliminar todas aquellas operaciones que no le agregan valor al producto de la organización. De modo que todas las actividades sean más efectivas y eficientes. Cabe mencionar que la optimización se la realizara bajo un marco de la búsqueda constantes de la satisfacción

del trabajador en su puesto de operación. Además, estas herramientas buscan eliminar progresivamente los desperdicios de una manera más sencilla, consiguiendo así beneficios en la productividad, calidad, rentabilidad y competitividad de la organización [22].

De igual importancia se enuncia que la producción esbelta es conocida también como sistema de producción Toyota (TPS). El TPS significa hacer más con la utilización mínima de recursos, es decir, la utilización de menos tiempo, menos espacio, menos materiales, menos recurso humano, menos maquinaria, con el objetivo del cumplimiento de los requerimientos del cliente, así como la satisfacción de este. Además, este sistema permite reducir los costos de producción, permitiendo a las organizaciones formarse en un pensamiento esbelto [23].

#### **2.1.4. Desperdicios**

Los desperdicios o despilfarros son todos aquellos que no añaden valor al producto, es decir todo que no cambie o transforme a la materia prima del estado bruto o en el estado en que se ha recibido a un estado modificado, por lo que el cliente está dispuesto a comprar. Sin embargo, existen actividades sin valor añadido, que son necesarias para el correcto funcionamiento del proceso o sistema, que deben ser asumidas por el proceso [24][3].

Por otra parte, dentro del concepto de la manufactura esbelta se identifica siete tipos de despilfarros que no agregan valor al proceso de manufactura. Estos tipos de desperdicios se pueden encontrar dentro del proceso de manufactura, así como en la oficina; por lo tanto, se puede decir que está presente en toda la cadena de valor de una organización. También, los desperdicios se conocen con la palabra japonesa Muda [23]. Estos siete residuos de acuerdo con la manufactura esbelta son: la sobreproducción, espera, transporte y movimientos innecesarios, inventario, sobre procesamiento o procesamiento incorrecto, productos defectuosos o retrabajos [25].

Tabla 1. SIETE DESPERDICIOS LM[26]

<b>Desperdicios LM</b>	<b>Descripción</b>
Sobreproducción	Hacer más de lo requerido
Esperas	Secuencia de trabajo o un proceso ineficiente.
Movimientos Innecesarios	Movimientos que no agregan valor
Sobre procesamiento	Someter al producto a procesos inútiles
Inventario	Exceso de materia prima, inventario en proceso o productos terminados
Transporte	movimiento o manipulación de material innecesario
Productos defectuosos o retrabajos	Productos con errores

## 2.2.Estado de Arte

Los investigadores han establecido una relación positiva entre la optimización de la productividad y las prácticas de la manufactura esbelta, obteniendo así una implementación de mejora continua en muchas organizaciones. Basado en esto se tiene que la manufactura esbelta es una colección amplia de prácticas de mejoras en la productividad de toda organización; resultando así la revisión de la literatura se realiza mediante la perspectiva de la manufactura esbelta, reducción de desperdicios, reducción del tiempo.

### 2.2.1. Manufactura Esbelta

Las organizaciones han visto un apalancamiento en la manufactura esbelta para que se adapte para un cambio y mejorar la efectividad de sus procesos. En el caso de estudio, la manufactura esbelta se centra en la eliminación de residuos y la creación de valor, concentrándose en el análisis factorial de prácticas de gestión de recursos humanos [HRM], como: el diseño de trabajo, intercambio de conocimientos, capacitación relacionada con el trabajo, supervisión y gestión del talento humano obteniendo una mejora del 70% al 90% en la eficiencia del proceso [19]. Por otra parte, se define a la manufactura esbelta como un proceso continuo y sistemático de identificación, a la extinción del llamado desperdicio o excesos existentes en los procesos productivos de líneas de ensamble concluyendo así que solo 5 a 10% agregan valor de todas las actividades que se desarrollan las organizaciones [21], en efecto la manufactura esbelta permite eliminar todo tipo de desperdicio, como: la sobreproducción, tiempos de espera, movimientos innecesarios de materiales,

inadecuado procesamiento, inventario, defectos, subutilización de personas y subutilización de instalaciones.

Dentro de este orden , para las mejoras y optimización de líneas de montaje se utiliza la implementación de las herramientas como: balanceo de líneas y análisis restricción de capacidad o los denominados cuellos de botella que son parte de la metodología manufactura esbelta, todo esto ejecutando inicialmente por simulaciones en software y posterior implementación obteniendo así reorganizaciones y simplificación de la distribución o layout, mejoras significativas en el rendimiento, eliminación de tiempos improductivos y optimización en la capacidad de la línea de ensamble [27]. Igualmente en otro estudio se enuncia que la manufactura esbelta es una colección de técnicas para optimizar el proceso de ensamble, ante esto se obtiene una mejora de la productividad de la línea en un 40% con la implementación de las herramientas como: el balanceo de la línea, análisis del tiempo takt, análisis de tiempos de ciclo, reducción de WIP, diagramas de proceso, esto primeramente ejecutado en la simulación de los procesos y posterior implementación [28][29].

De la misma forma, se destaca que el sistema de gestión esbelto es actualmente la clave de la eficiencia que conduce al éxito a muchas empresas mediante el desarrollo de siete fases de la transformación [30]. Así mismo, se indica que la mejora de la eficiencia en las líneas de ensamble se da mediante la eliminación de todo tipo de desperdicio o muda que pueden ejecutarse mediante dos enfoques: la primera es la innovación tecnológica, es decir la aplicación de la tecnología más reciente, en cambio la segunda que es el enfoque descrito dentro del libro, como es la aplicación técnicas y herramientas de manufactura esbelta [31]. De este modo permite a la organización optimizar sus procesos mediante la unión de la tecnología y la aplicación de metodologías esbeltas.

Por otra parte se enuncia que la manufactura esbelta está diseñada para lograr un trabajo equilibrado de modo que permite mejorar la productividad conjuntamente con la calidad del producto, así como reducir los tiempos de ciclo, niveles de inventario y la optimización de costos, todo esto se lo realiza mediante la estandarización de los procesos, la aplicación de las 5 S, arrojando un resultado del estudio una reducción de tiempo de inactividad de 12.59 minutas a 4.82 minutos [32] [3]. De este modo se

obtiene que las prácticas de manufactura esbelta ayudan a la organización a desarrollar un sistema flexible y configurable para compartir competencias y conocimiento de mercado para así responder de forma rápida y rentablemente a los cambios del mercado.

Cabe resaltar, que la transformación de la producción tradicional a la manufactura esbelta por medio implementación de las herramientas como: SMED, Trabajo Estandarizado, gestión de recursos humanos, Poka Yoke o “A prueba de errores” mejoran las líneas de producción en un 28.7% [33]. Al mismo tiempo se muestra que la producción esbelta es un sistema integrado de principios, practicas, herramientas y técnicas que se centran principalmente en la reducción de residuos, a través de la sincronización de flujos de trabajo y la gestión flujos de producción [2]. Por otra parte se resalta que las empresas deben tener cierta flexibilidad en el proceso de fabricación y ofrecer productos elegibles en la fecha de entrega para obtener más ganancias [34]. En efecto la flexibilidad de los procesos, calidad y costos juegan un papel importante para las organizaciones sean competitivas dentro del mercado global.

En efecto demuestran que la implementación de las técnicas o herramientas como el balanceo de líneas de ensamble, trabajo estandarizado que formar parte de la manufactura esbelta ayudan a la optimización de la productividad del recurso humano y mejora de los procesos, obteniendo en el estudio el 60% en la optimización del personal y una reducción del 7.13% en el tiempo de ciclo [35]. Asimismo, el objetivo de la fabricación ajustada o manufactura es la estrategia de mejorar la calidad, reducir el inventario y el costo de la producción [32].

### **Reducción de Desperdicio**

Dentro de una línea de producción de ensamble, deben ser eliminados los siete residuos o desperdicios, como son, la sobreproducción, espera de trabajo, transporte, procesamiento inapropiado, exceso de inventarios, movimientos innecesarios y reprocesos [13]. En una línea de producción, los ingenieros deben analizar e identificar juntamente con los trabajadores los desperdicios que se generan al producir la primera pieza o lote, de modo que se eliminen las causas y lograr una alta capacidad de producción. Esto permitirá que el próximo lote no tenga desperdicios y estén enfocados a la mejora continua del proceso [25]. Como se puede observar en la figura

1 la interrelación de los equipos de trabajo con las herramientas de la producción esbelta apuntando a la excelencia del proceso.

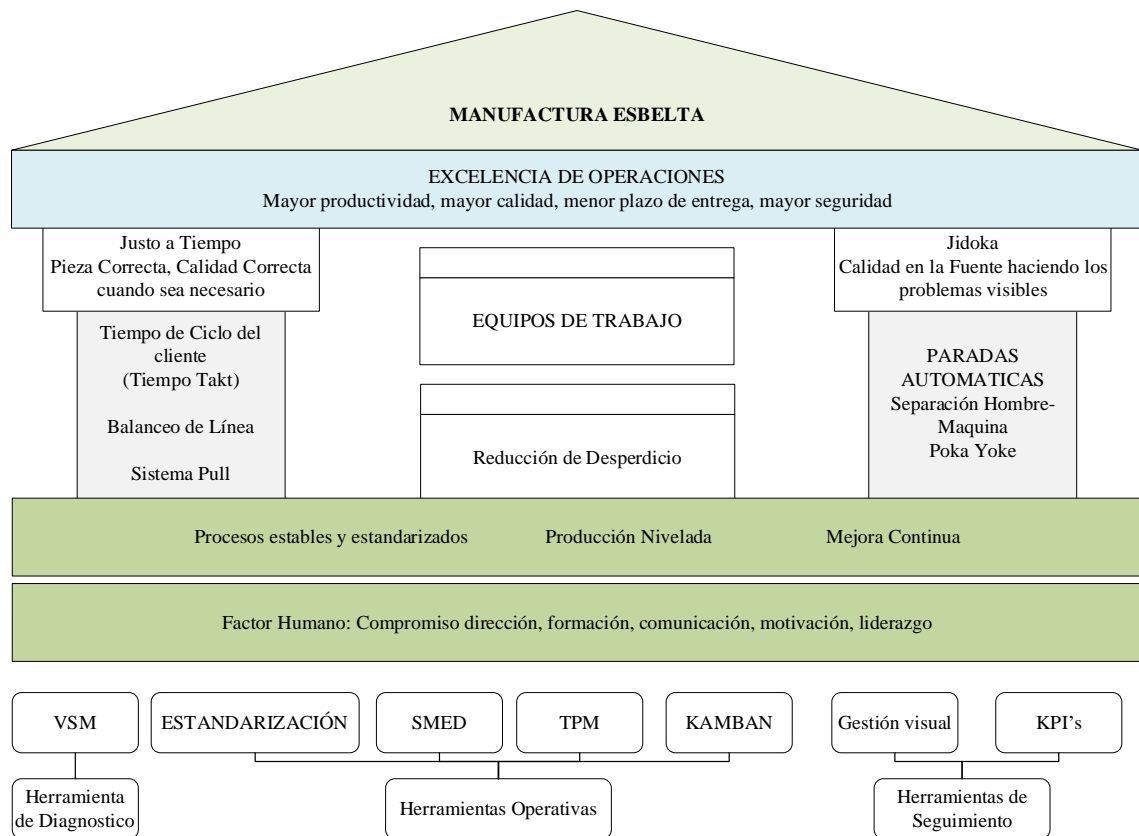


Figura 1. Sistema de producción esbelta [23]

Por otra parte, la eliminación de desperdicios en una línea de producción o ensamble se la puede ejecutar mediante el análisis del diagrama de flujo de valor de cada proceso obteniendo así los datos de defectos dentro del mismo, además esto permitirá analizar los cuellos de botella que existen, resultando así la mejora de la eficiencia productividad y reducción de desperdicios en la línea de fabricación [31]. De la misma forma en otro estudio indica que los principios de valor y flujo de valor de la fabricación esbelta se centra en el valor de un producto basado en la percepción del cliente. De este modo se enuncia que la importancia de mirar el producto desde la perspectiva de los clientes es un foco importante de la manufactura esbelta [36].

Asimismo, se realiza el análisis de la cadena de valor por medio del estudio de diagramas y mapeos de proceso las mismas que forman parte de las herramientas fabricación esbelta permite identificar y eliminar las actividades que no agreguen



valor o que no tengan ninguna contribución, de esta manera se podrá aumentar notablemente la productividad y por ende la satisfacción del cliente entregando un producto que cumpla las necesidades requeridas [37]. Por otro lado, enuncia que una herramienta muy importante para la eliminación de residuos es la estandarización [32]. Al mismo tiempo en un estudio indica que la estandarización y el balanceo permite eliminar despilfarros de tiempos que están presentes en las líneas ensamble [28][38].

### **2.2.2. Mapeo del Flujo de Valor (VSM)**

En el contexto de las estrategias organizacionales está el análisis de la cadena y flujo de valor para la mejora continua de sus procesos. El mapeo de flujo de valor (VSM) es una de las herramientas de la manufactura esbelta para la mejora continua que describe el proceso para productos y servicios. VSM ayuda a desarrollar una común comprensión del proceso actual y destaca información para el análisis, que identifica e intenta eliminar los desperdicios. Es de suma importancia este análisis ya que cada vez es más evidente con la intensificación de la competencia del mercado. Por lo tanto, el objetivo de VSM es ilustrar todas las actividades, tanto de valor agregado como sin valor agregado, de modo que permita visualizar claramente los procesos que requieren realizar mejoras considerables, de este modo permita optimizar sus procesos [39][40].

Asimismo, mediante el mapeo de flujo de valor permite verificar la satisfacción del cliente de modo que se podrá monitorear el producto desde la llegada de la materia prima a la empresa hasta el envío del producto terminado al cliente [39]. De igual importancia se enuncia que mediante el mapeo de flujo de valor se podrá mejorar la logística interna de la organización eliminando todo tipo de desperdicio de modo que se realice una optimización en la productividad de la línea de empaque o ensamble [41].

También se puede enunciar que el VSM contiene datos como el tiempo de ciclo, el tiempo de cambio, niveles de trabajo o producto en proceso (WIP) y datos de confiabilidad del equipo. El objetivo de este mapeo de la cadena de valor es construir una cadena de producción donde los procesos están vinculados a sus clientes, ya sea por proceso continuo o por extracción, respondiendo así a las necesidades de los

productos cuando lo requieran. Además, permitirá reducir los niveles de inventario que conllevan un costo a la organización, esto se logra respondiendo un conjunto de preguntas para comprender mejor los procesos visualizando el flujo del material y eliminando desperdicios [42]. El mapeo del flujo de valor (VSM) es una herramienta excelente para que cualquier empresa se vuelva esbelta, siendo así una herramienta muy flexible que se puede aplicar a cualquier tipo de industria u organización.

De igual importancia se utiliza el mapeo del flujo de valor para analizar y mapear procesos para reducir el desperdicio, permitiendo un mejor flujo de producción; este análisis lo realiza mediante el cálculo y la relación de los tiempos de proceso y los tiempos del cliente (Tiempo Takt), de modo que permita crear los lotes (buffers) correctos para la creación y cumplimiento del sistema primero en entrar primero en salir (FIFO), resultando así la visualización del estado futuro del mapa [43][44]. Además, con este mapeo es posible observar el flujo de información que se plasmara en el tablero Heijunka en la línea de fabricación, para tomar la responsabilidad de informar qué artículo y qué cantidades se deben producir [43].

### **2.2.3. Reducción del tiempo**

En esta perspectiva las organizaciones deben optimizar los flujos de proceso, minimizando la utilización de los tiempos y mejora continua comprendiendo que los mercados son muy competitivos y exigentes; por esto los investigadores que proponen la introducción de las herramientas de la manufactura esbelta en la industrial han determinado que la aplicación de la metodología LM generan una mejora en los procesos mediante la reducción del tiempo; con esto se ido mejorando sus indicadores y defectos en la productividad [45]. Por otra parte, se agrega que muchas veces se despilfarran recursos valiosos cuando se aplica la herramienta LM en una secuencia incorrecta [46]. sin embargo, con la implementación de la herramienta VSM, Balanceo de línea, Kaizen y Poka Yoke o mecanismo a prueba de errores mejoró el tiempo de la línea en un 20% por cada producto [47].

De este modo, en la investigación realizada en una línea de fabricación de ladrillo se determina que con la implementación de las herramientas Poka Yoke, TPM y SMED siendo estas parte de las herramientas de LM se incrementó en un 22% el margen bruto de la empresa, en efecto la aplicación de las herramientas redujo la reprocesamiento de los productos y los tiempos de espera de la línea [48]. Así mismo,

mediante la optimización del recurso humano y la estandarización del proceso que forman parte del concepto esbelto de una línea de ensamble se obtiene una reducción del 7% en el tiempo procesamiento de cada pieza. [49].

Ahora bien, se aporta en el contexto de la investigación de la manufactura esbelta en la línea de ensamble permite utilizar y aplicar las herramientas LM para la mejora de sus procesos aumentando así la rentabilidad basada en la reducción del tiempo de proceso y la reducción del tiempo de inactividad del recurso humano; por consiguiente, la investigación enuncia que la utilización de las herramientas LM, estandarización de procesos, JIT y balanceo de línea ha optimizado su productividad en base a la reducción en un 7.13% el tiempo de ciclo y en un 81.64% en el tiempo de inactividad [35].

#### **2.2.4. Optimización de procesos**

En el contexto que presenta el estudio muestra la necesidad de mejorar la productividad y alcanzar el nivel de rendimiento establecido como objetivo dentro de la empresa, todo esto mediante la aplicación de las herramientas esbeltas y simulación que son de gran ayuda para identificar problemas de equilibrio en la línea y de esta manera mejorar sus operaciones e incrementar la productividad, cabe destacar que las soluciones de implementación operativa tienen cierta inversión respecto a realizar el proceso de simulación, sin embargo las simulaciones permiten analizar las mejoras en la capacidad de producción, reduciendo la intervención del personal y los tiempos muertos generados logrando que estos proporcionen valor agregado dentro del proceso productivo y generando ganancias a la empresa [28].

Asimismo, en el contexto de la investigación ilustra que con el avance de la tecnología de producción en las industrias de montaje han analizado que el desequilibrio de sus líneas de montaje puede conducir a la acumulación de trabajo en curso; por lo que mediante la optimización de sus procesos y acortando el tiempo de ciclo de producción mediante la aplicación de las herramientas de la manufactura esbelta han logrado incrementar hasta en un 40% su productividad; de igual importancia con la renovación tecnológica mediante la simulación de sus procesos se ha observado que se puede mejorar hasta en un 80% la utilización de los recursos y así obtener alta competitividad a la organización [27].

## 2.2.5. Discusión de las investigaciones relacionadas

En el contexto de la tabla 2 se enuncia que la metodología de la manufactura esbelta resalta a la mejora del flujo del proceso optimizando el tiempo de proceso y a la reducción de los desperdicios. Asimismo, ayuda a establecer parámetros de control del proceso de producción y a definir estándares de cada máquina de la línea de producción; permitiendo a las organizaciones contar con ventajas competitivas.

Tabla 2. DEFINICIÓN DE MANUFACTURA ESBELTA [LM]

<b>Autor</b>	<b>Definición LM</b>
V. Wickramasinghe et al.	La manufactura esbelta conjunto de concepto, métodos, procedimientos y herramientas prácticas que brindan ventajas competitivas para mejorar el proceso mediante la eliminación de residuos y la creación de valor, concentrándose la gestión del talento humano y satisfacción del cliente.
L. Sacconini	La manufactura esbelta como un proceso continuo y sistemático de identificación, reducción y eliminación del desperdicio o excesos existentes en los procesos productivos
Jordi Fortuny-Santos et al	El modelo LM es utilizado para la optimización de la productividad mediante la eliminación de los desperdicios de la línea de producción.
Dalton J.	La filosofía LM es la clave de la eficiencia mediante una combinación de innovación tecnológica e innovación de procesos y de rutina.
F. K. De-La-Cruz-Arcela et al	La manufactura esbelta está diseñada para lograr un trabajo equilibrado de modo que permite mejorar la productividad juntamente con la calidad del producto, así como reducir los tiempos de ciclo, todo esto se lo realiza mediante la estandarización de los procesos

Las diferentes herramientas de la manufactura esbelta se adaptan a los procesos productivos de acuerdo con las necesidades requeridas. Para esto en la tabla 3 se indica la utilización de las herramientas LM por los diferentes investigadores; se

deduce que la herramienta SMED es útil para reducir los tiempos de Set-UP o conocido como tiempos de configuración, así mismo que la herramienta VSM, estandarización de los procesos, poka-yoke y balanceo de línea son las herramientas más aplicadas por los diferentes investigadores con el objetivo de la optimización de la productividad de la línea de producción.

Tabla 3 APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE MANUFACTURA ESBELTA

<b>Autor</b>	<b>Estandarización de proceso</b>	<b>VS M</b>	<b>POKA YOKE</b>	<b>SMED</b>	<b>JIT</b>	<b>Balaneo de línea</b>
H. Y. Shan	x					x
A. L. Ramos	x				x	x
X. Tong	x			x		x
Hani Shafeek	x		x	x		
Q. Liu		x			x	
Y. El Kihel	x		x		x	
L. S. Nee	x	x		x		x

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Ubicación

La investigación se realiza en la línea de ensamble de puertas de refrigeración de la planta de producción 3 de la empresa Fairis C.A. de la Ciudad de Ambato. Fairis C.A. es una empresa dedicada a la fabricación de vidrio de seguridad, fundada en 1928, posicionándose en el mercado nacional e internacional proporcionando productos de calidad y que satisfagan necesidades de los clientes de línea blanca, arquitectónica, automotriz, deportiva, y decorativa; todas en sus distintas aplicaciones. Ubicada en la ciudad de Ambato con su planta de producción en la panamericana norte km 16 ½ sector Cunchibamba.

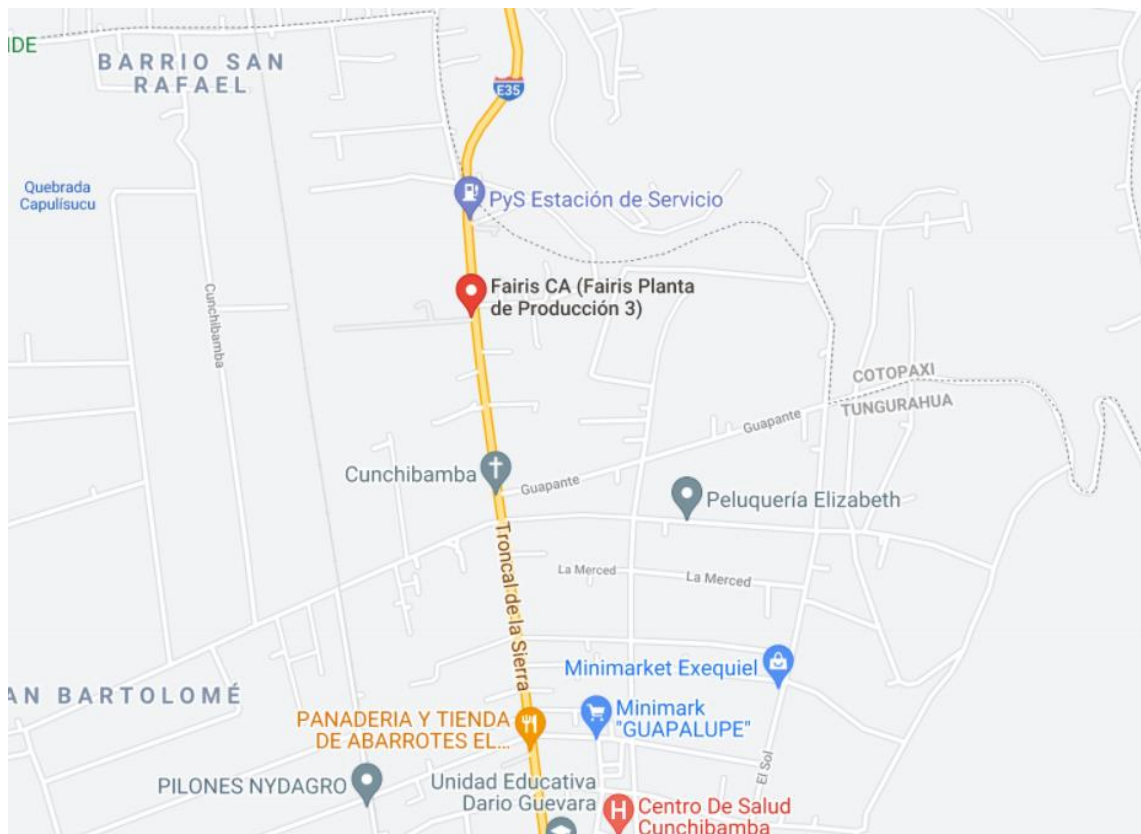


Figura 2: Ubicación planta de producción FAIRIS C.A.

#### 3.2. Equipos y materiales

La presente investigación desarrolla con los siguientes equipos y materiales los mismos que permitieron evaluar la productividad de la línea de ensamble de puertas de refrigeración de la empresa:

- Computadora.

- Cronometro.
- Cámara Fotográfica.
- Cámara de video.
- Impresora
- Software Microsoft Excel.
- Software Microsoft Visio.
- Software Flexsim.

### **3.3. Tipo de Investigación**

El presente trabajo de investigación tiene un enfoque cuantitativo pues se plantea el problema con su objetivo y pregunta, así: aplicar manufactura esbelta para la optimización de la productividad en la línea de ensamble de puertas de refrigeración y ¿se optimiza la productividad en la línea de ensamble de puertas de refrigeración aplicando la herramientas de manufactura esbelta?. Por otra parte, se realiza la revisión de investigaciones y documentos de estudios de manufactura esbelta, productividad, reducción de desperdicios, mapa de flujo, estandarización de procesos y reducción del tiempo. Mediante la revisión de las investigaciones y documentos se selecciona la presente teoría que cuenta con la adaptabilidad al proceso.

De este modo los datos de la investigación son obtenidos mediante el levantamiento de los procesos aplicando las herramientas de la ingeniería de métodos juntamente con las herramientas de la manufactura esbelta, la misma que representa toda la información de la línea de ensamble desde el aprovisionamiento de la materia prima hasta la entrega al cliente interno. Con estos datos obtenidos se manipula la variable dependiente mediante la investigación experimental a fin de realizar la maximización del proceso. Con la investigación experimental se ejecuta las simulaciones del proceso; con estas simulaciones permiten manipular los tiempos de proceso mediante la eliminación del despilfarro del proceso y aplicación de nuevos métodos de producción, así llegando a cumplir el objetivo de la investigación.

### **3.4. Población y muestra**

El estudio de la población se realizó en la línea de ensamble de puertas de refrigeración de la empresa FAIRIS C.A.

Tabla 4 UNIDAD DE OBSERVACIÓN

Proceso	Número de Personas	Porcentaje
Supervisión	1	7,69%
Ensamble de marcos	1	7,69%
Limpieza e inspección de panel	3	23,08%
Montaje de parte eléctrica	1	7,69%
Montaje de parte adhesiva	1	7,69%
Ensamble de puerta con marco	4	30,77%
Ensamble de puerta final	2	15,38%
Total	13	100,00%

No se determinó una muestra representativa al tener un número menor a 100 por tanto se trabaja con toda la población

### 3.5. Recolección de la información

La recolección de la información científica se realiza mediante la búsqueda de documentos que estudian métodos de manufactura esbelta para la optimización de procesos que beneficien positivamente a la productividad. El proceso de búsqueda básicamente se centra en documentos científicos que se relacionan con la fabricación esbelta, análisis de procesos, reducción de desperdicios, reducción del tiempo, mapas de flujo y estandarización de procesos.

Por otra parte, es de importancia mencionar que la recolección de la información de campo se realizó mediante el estudio y análisis del proceso de cada una de las estaciones de trabajo involucradas en la línea de ensamble de la empresa Fairis C.A., determinando así la productividad actual del proceso de producción. Así mismo se utiliza los datos de las bases de producción en la cual se encuentra los históricos de unidades producidas de la línea, también se determina las unidades fuera de estándares. También se utiliza videos, grabaciones información de artículos y diferentes libros de manufactura esbelta para la optimización de la productividad y obtener los resultados partiendo la investigación en los primeros meses del año 2021.

### 3.6. Procesamiento de la información y análisis estadístico

#### 3.6.1. Plan de recolección de datos

- Revisión, análisis crítico de la información y descarte de la información contradictoria, defectuosa, incompleta, etc.
- Clasificación de los datos recogidos.



- Análisis estadísticos de la información recolectada, elaboración de diagramas y gráficos de los datos.
- Interpretación y presentación de los resultados.

### **3.6.2. Plan de procesamiento de la información**

- Análisis de los resultados obtenidos en el estudio de los procesos y las mediciones que se utilizan en el plan para la recolección de la información, acentuando las relaciones entre las variables, en función de los objetivos planteados.
- Interpretación de los resultados con apoyo del estado del arte, tanto en la variable independiente (manufactura esbelta) y la variable dependiente (optimización de la productividad).
- Establecimiento de las conclusiones y recomendaciones

### 3.7. Variables respuesta

#### 3.7.1. Variable independiente: Manufactura esbelta

Tabla 5: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE INDEPENDIENTE

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS BÁSICOS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
La manufactura esbelta proporciona a las organizaciones un conjunto de herramientas que permiten <b>reducir desperdicio</b> de todo tipo dentro de la línea de valor creando <b>sistemas de producción</b> más robustos y flexibles para la correcta entrega de productos a tiempo dentro de los <b>estándares de calidad</b> establecidos.	Reducir desperdicio	% Rechazo	¿Cuál es el rechazo que tiene la línea de ensamble?	Registro de etiquetas rojas
	Sistemas de producción	Estándar de producción	¿Qué porcentaje de eficiencia tiene la línea de ensamble?	Tablero de control de eficiencias
	Estándares de Calidad	% Reclamos	Número de reclamos de línea blanca	Tablero de control de indicadores de calidad

### 3.7.2. Variable dependiente: Optimización de productividad

Tabla 6: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE DEPENDIENTE

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS BÁSICOS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
La optimización de la <b>productividad</b> es una aplicación de técnicas que permiten maximizar la utilización de los recursos de la cadena de valor reduciendo el tiempo y errores de proceso, mejorando su <b>capacidad de producción</b> en cada etapa para así llegar a la meta del proceso con aporte de las <b>estrategias de simulación</b> .	Productividad	Unidades producidas por hora hombre utilizada	¿Cuántas puertas se producen por cada hora hombre utilizada?	Table de indicadores de gestión
	Capacidad de producción	Producción máxima durante el periodo programado	¿Cuántas puertas son ensambladas durante el periodo programado?	Registros de producción Simulación
	Estrategia de simulación	Tiempo de ciclo actual vs Tiempo de ciclo propuesto	¿Cuál es el porcentaje de reducción del tiempo de ciclo propuesto vs el tiempo de ciclo actual?	Simulación

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Descripción de la empresa

Fairis C.A. una empresa reconocida a nivel nacional en la producción de vidrio de seguridad; siendo sus productos comerciales FAITEM, FAILAM, FAITLAM, FAICLIMA, los mismos que tienen una aplicación en las líneas: arquitectónica, automotriz, decorativa, línea blanca, vidrios laminados. La organización lleva en el mercado 93 años los cuales avalan su experiencia y poseen un recurso humano comprometido y calificado, siendo así una de las primeras opciones del mercado nacional.

En el año 1978 inicio la producción de vidrio de seguridad templado plano y curvo, en un sistema de templado vertical. Enseguida en el año 1981 incursiona en el mercado de línea blanca, con la provisión de vidrio para electrodomésticos, implementando así nuevos procesos como es sistema de producción templado horizontal curvo por gravedad.

Asimismo, la alta dirección comprometida con el crecimiento realiza innovaciones en su proceso incorporando proceso CAD-CAM. A finales del año 1993 incorporando la fabricación de vidrio templado horizontal sin marcas de pinzas, siendo la primera en el Ecuador. De esta manera la inversión año a año de la alta dirección se refleja en la construcción de su nueva planta de producción ubicada a 16 km de la ciudad de Ambato. Esta instalación actual une a todos sus procesos como son: vidrio templado plano y curvo, vidrio laminado; de este modo se implementa nuevas líneas de proceso como es la de vidrio insulado y la línea de ensamble de puertas de refrigeración.

La propuesta de valor de la empresa Fairis C.A. se basa en proporcionar productos de vidrio de alto desempeño para seguridad de las personas, protección de bienes, confort acústico y eficiencia energética; cuentas sucursales en las principales ciudades del país, call center y varios medios de integración con los clientes. Los recursos claves son físicos, intelectuales, humanos y las actividades se enfocan en el control de calidad, desarrollo de productos; en la figura 3 se representa el modelo CANVAS para Fairis C.A.


<p><b>SOCIOS CLAVES</b></p> <p>Proveedores de materia prima e insumos Sucursales a nivel nacional</p> <p><b>8</b></p>	<p><b>ACTIVIDADES CLAVES</b></p> <p>Control de calidad Desarrollo de productos c Capacitación y entrenamiento del personal</p> <p><b>7</b></p> <hr/> <p><b>RECURSOS CLAVES</b></p> <table border="1" data-bbox="568 667 965 874"> <tr> <td data-bbox="568 667 757 751">Físicos: Infraestructura</td> <td data-bbox="757 667 965 751">Intelectuales: Marcas</td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="568 751 965 874">Humanos: -Mano de obra calificada</td> </tr> </table>	Físicos: Infraestructura	Intelectuales: Marcas	Humanos: -Mano de obra calificada		<p><b>PROPUESTA DE VALOR</b></p> <p>Seguridad de las personas y protección de bienes Productos que brindan confort termico y acustico. Productos de Calidad Tiempo de entrega</p> 	<p><b>RELACIÓN CON EL CLIENTE</b></p> <p>Asistencia tecnica Servicio al cliente Visitas a planta <b>4</b></p> <hr/> <p><b>CANALES</b></p> <p>Telefono Call center Whatsapp <b>3</b></p>	<p><b>SEGMENTO DE CLIENTES</b></p> <p>FAITEM: Arquitectos, ingenieros, constructores FAITLAM: Arquitectos, ingenieros, constructores. FAICLIMA: Arquitectos, ingenieros, constructores, productos de refrigeracion</p> <p><b>2</b></p>
Físicos: Infraestructura	Intelectuales: Marcas							
Humanos: -Mano de obra calificada								
<p><b>ESTRUCTURA DE COSTO</b></p> <p>Pago de salarios Mantenimiento de instalaciones Publicidad Impuestos</p> <p><b>9</b></p>		<p><b>FUENTES DE INGRESO</b></p> <p>Venta de productos Transferencias bancarias Pagos en efectivo</p> <p><b>5</b></p>						

Figura 3. Modelo CANVAS Fairis C.A.

## **4.2.Sistema productivo**

En esta sección se describe proceso productivo de la línea de ensamble de puertas de refrigeración de la empresa Fairis C.A. con el levantamiento del flujo del proceso, análisis del proceso de ensamble, así como las entradas y salidas, de igual importancia se realiza una descripción general y detallada del proceso.

### **4.2.1. Proceso productivo**

La línea de ensamble de puertas de refrigeración cuenta con 6 procesos, los cuales poseen máquinas semiautomáticas y mesas de trabajo manual; y la conexión del flujo de materiales se lo realiza mediante caballetes móviles diseñados exclusivamente para la línea.

En el flujo de producción de la figura 4 muestra cada estación de trabajo de la línea de ensamble, además muestra los inventarios de proceso (WIP) que se encuentran entre las estaciones de ensamble. En la primera etapa muestra la limpieza e inspección de cada panel de doble acristalamiento y la preparación de este para el siguiente proceso. Por otro lado, se preparan los marcos de la puerta colocando todos los elementos y partes necesarias que constan en el plano de ensamble del código o modelo de puerta que está programada en la línea. Teniendo listos los dos elementos como son el panel de doble acristalamiento y el marco de la puerta se procede a ensamblar las dos partes quedando como final el proceso de ensamble de manijas y partes necesarias para el correcto funcionamiento de la puerta.

El flujo de materiales dentro del proceso de producción se realiza mediante coches y caballetes exclusivos de la línea; sin embargo, es importante mencionar que entre los dos últimos procesos el producto es colocado en un caballete estático de modo que los operadores de las dos estaciones deben moverse cierta distancia para desplazar el material.

### **4.2.2. SIPOC**

En esta perspectiva se analiza el proceso de producción a través de SIPOC en la tabla 7, en el que se identifica los proveedores, insumos, procesos productivos, salidas y los clientes. Para este caso los proveedores principales de la línea de ensamble es la línea

de vidrio insulado y la línea de máquina de perfiles que están ubicadas en áreas diferentes y no es objeto de estudio.

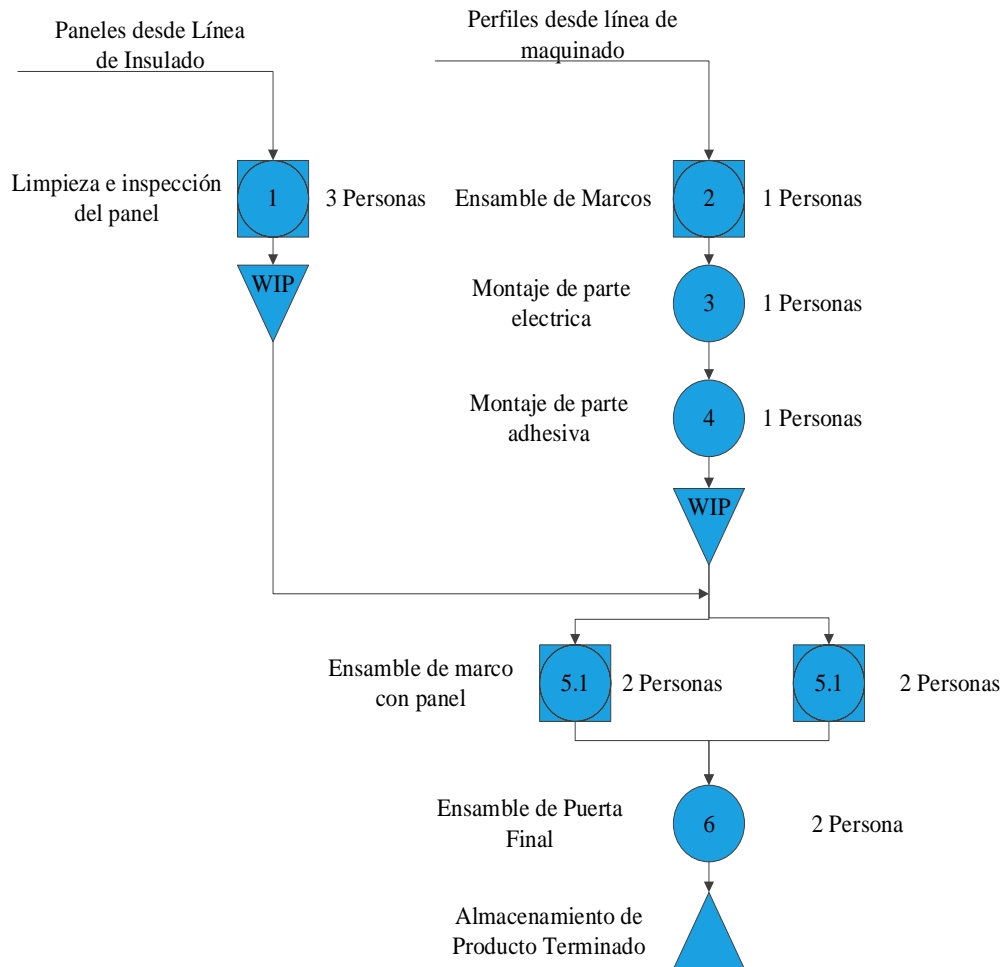


Figura 4: Diagrama de Flujo Línea de Ensamble

Para la línea de ensamble se tiene dos entradas: la primera entrada es los “paneles de doble acristalamiento” y la segunda entrada son los perfiles maquinados los mismos que son ensamblados o unidos con otros accesorios necesarios para este producto, este producto es colocado en el rack fijo. Posterior el proceso de montaje de parte eléctrica toma el marco colocando cables eléctricos necesarios para la puerta pasando el producto a colocar la parte adhesiva para continuar a colocar en el rack destinado para este producto.

Por otra parte, el proceso de limpieza e inspección de panel realiza la revisión y eliminación de residuos de sellante para colocar el producto en el rack móvil de

acumulación. Entonces el proceso de ensamble de panel con marco que toma el marco desde el rack fijo y el panel desde el rack móvil para ensamblar estos productos juntamente con partes adicionales y necesarias para el producto pasando el elemento procesado al rack fijo; finalmente el proceso denominado “Ensamble de puerta final” toma este producto y colocar las partes necesarias y coloca en el área de producto terminado.

Tabla 7 SISTEMA DE PRODUCCIÓN LÍNEA DE ENSAMBLE DE PUERTAS

PROVEEDORES	ENTRADAS	PROCESOS	SALIDAS	CLIENTES
Línea de Insulado	Panel doble acristalamiento	Limpieza e inspección de Panel	Panel limpio y liberado	Rack móvil de acumulación (WIP-1)
Línea de maquinado	Perfil	Ensamble de Marcos	Marco ensamblado	Rack Fijo (WIP-2)
Rack Fijo	Marco ensamblado	Montaje de parte eléctrica	Marco con parte eléctrica	Montaje de parte adhesiva
Almacenamiento	Cables eléctricos			
Estación parte eléctrica	Marco con parte eléctrica	Montaje de parte adhesiva	Marco con parte eléctrica y cinta adhesiva	Rack Fijo (WIP-3)
Almacenamiento	Cinta Adhesiva			
Rack móvil de acumulación (WIP-1)	Panel doble acristalamiento	Ensamble de panel con Marco	Puerta Ensamblada	Rack Fijo (WIP-4)
Rack Fijo (WIP-3)	Marco con parte eléctrica y cinta adhesiva			
Rack Fijo (WIP-4)	Puerta Ensamblada	Ensamble de puerta final	Puerta Ensamblada y Liberada	Área de Producto Terminado
Almacenamiento	Perfil magnético			

#### 4.2.3. Descripción del proceso

La investigación se centra en la optimización de la productividad de la línea de ensamble de puertas de refrigeración, por lo que se realiza un levantamiento de cada actividad de su flujo de producción. Tiene como objeto conocer con la descripción cuales con las actividades que se ejecutan y las características de cada una.



## Limpieza e inspección de panel

El proceso se inicia, movilizandolos paneles de acuerdo con la programación de la producción. Este trabajo se realiza desde la línea de insulado hasta la estación de trabajo, esta movilización se realiza por medio de racks o caballetes móviles. En el proceso se inicia tomando el panel y colocando en la mesa de trabajo iniciando así la limpieza e inspección del panel al 100%. La limpieza se realiza con solventes y elementos cortantes para eliminar el exceso de sellante que proviene desde la línea de insulado. Una vez terminado el panel limpio y liberado se coloca en racks móviles de almacenamiento vertical para el proceso de ensamble de puerta con marco.

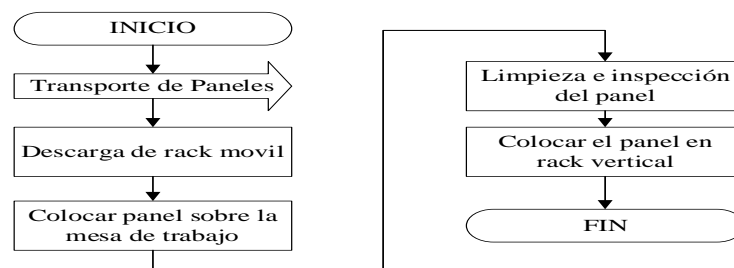


Figura 5: Flujo de actividades - Limpieza e inspección de panel

## Ensamble de marcos.

En este proceso el operador toma el coche con los perfiles cortados que provienen desde la línea de corte, ensamblando las piezas y partes del marco. Toma 2 partes superiores y una parte izquierda y una derecha ensamblando en sus esquinas con esquineros izquierdos y derechos. Posterior coloca el marco en la mesa que realiza el prensado colocando así los tornillos en los diferentes puntos dados en el plano del modelo de ensamble. Finalmente se coloca el marco ensamblado en un rack de piso fijo.

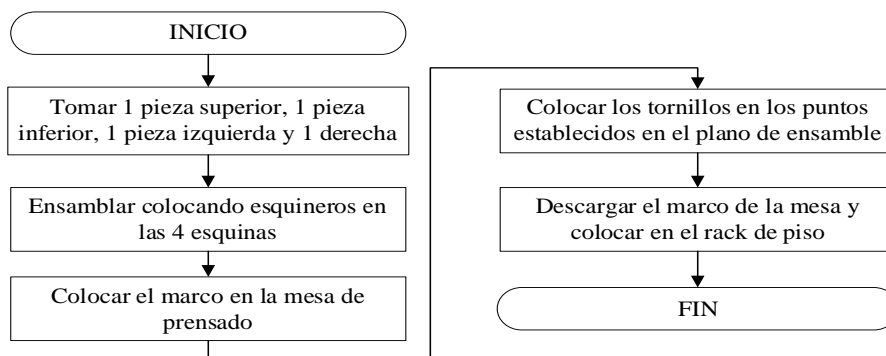


Figura 6: Flujo de actividades Ensamble de marcos

### Montaje parte eléctrica

La persona capacitada para esta área toma el marco desde el rack de piso para colocar en su mesa de trabajo, procediendo a montar los cables eléctricos en las secciones de los perfiles que estipula en el diseño de montaje de la puerta programada para la línea. Es importante mencionar que el material eléctrico de la puerta es abastecido por el área de almacenamiento antes del arranque de la línea de producción.

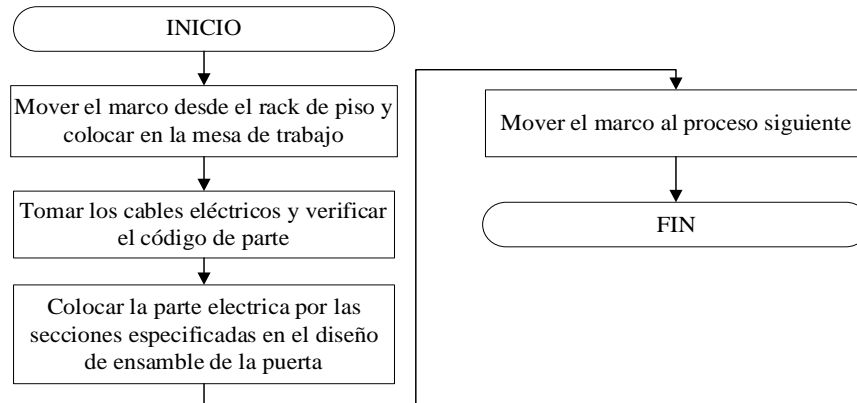


Figura 7: Flujo de actividades - Montaje parte eléctrica

### Montaje parte adhesiva.

Posterior el marco es movilizado desde la estación de montaje de la parte eléctrica para en este proceso realizar el montaje de las cintas adhesivas, esto de acuerdo con la especificaciones y secciones mencionadas dentro del diseño de montaje del modelo de puerta programada para la línea. Una vez terminado se coloca el marco en un rack de piso fijo dejando listo para el siguiente proceso.



Figura 8: Flujo de actividades - Montaje de parte adhesiva

### Ensamble de panel con marco

En el proceso de ensamble del panel de doble acristalamiento con el marco, se procede a tomar el marco y colocar en la mesa de trabajo; posterior se elimina las protecciones que se encuentra de la parte adhesiva colocado en el marco de la puerta y se agrega un adhesivo adicional en las secciones establecida en el diseño de la puerta. En adelante se toma el panel de doble acristalamiento desde el rack vertical y se ensambla con el marco. Finalmente se colocar el accesorio denominado como pisa vidrio para que el panel que totalmente sujeto; una vez ensamblado se toma la puerta y se coloca en un rack de piso fijo.

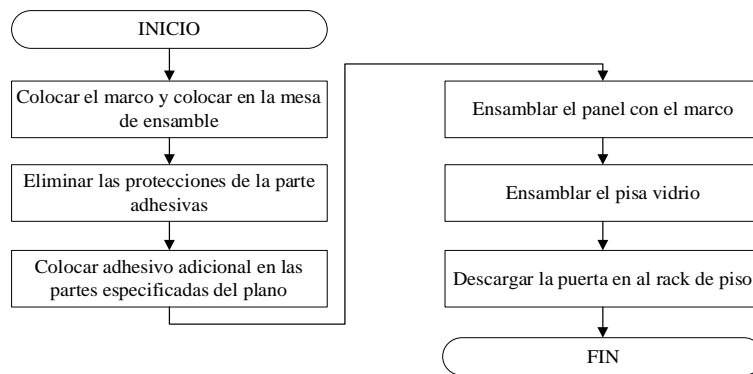


Figura 9: Flujo de actividades - Ensamble de marco con panel

### Ensamble de puerta final

Dentro de este orden se toma la puerta desde el rack de piso y se coloca en la mesa de trabajo ensamblando los accesorios finales de la puerta y el perfil magnético. Es importante mencionar que los accesorios el perfil magnético es abastecido por el área de almacenamiento en el arranque del proceso de ensamble de la línea de producción.

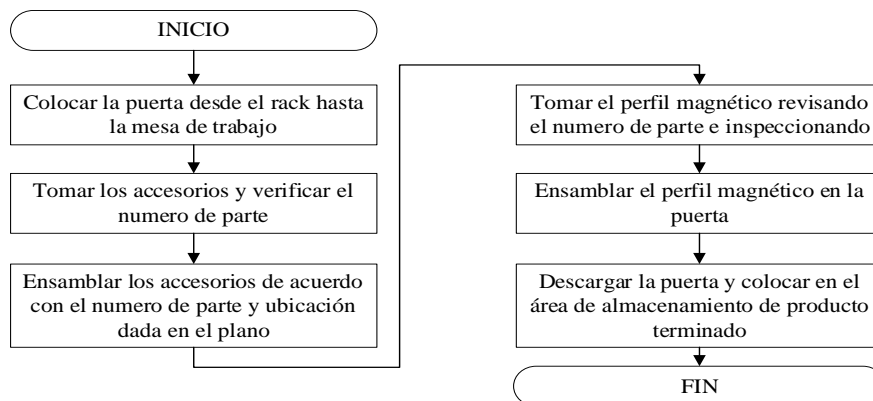


Figura 10: Flujo de actividades - Ensamble de puerta final

#### 4.2.4. Instalaciones y puestos de trabajo

La línea de ensamble de puertas de refrigeración cuenta con distribución por producto, con ciertos procesos en paralelo. El movimiento de materiales se caracteriza por realizar en racks diseñados exclusivamente para el proceso, así mismo es importante mencionar que las mesas de ensamble semiautomáticas han sido diseñadas y construidas por el departamento de ingeniería de la organización.

En la figura 11, se muestra la disposición de cada estación de ensamble, así mismo se especifica el operador o persona por cada estación. El proceso inicia con los procesos de ensamble de marcos y limpieza de los paneles de doble acristalamiento finalizando con el ensamble de puerta final.

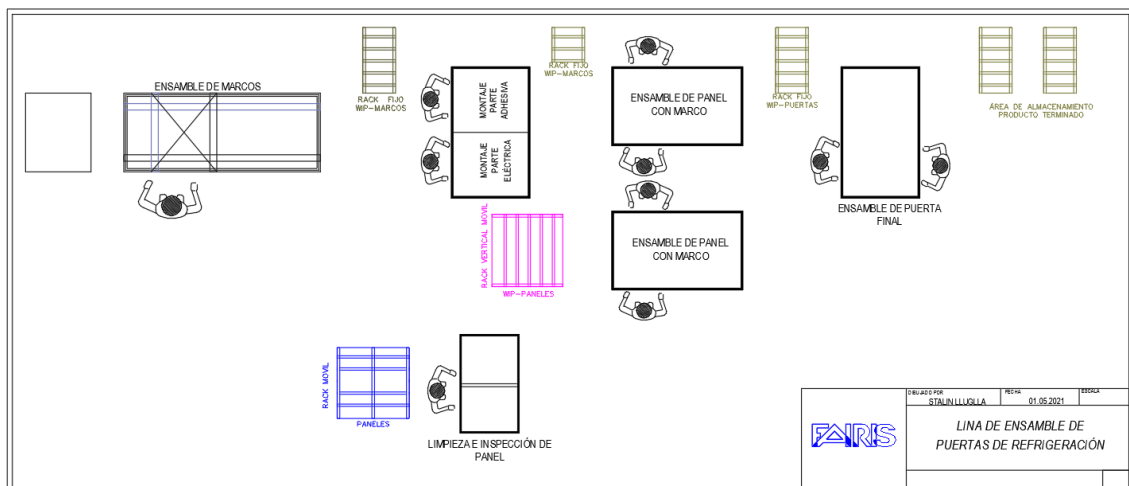


Figura 11: Distribución de planta línea de ensamble

#### 4.3. Proceso de Producción

En este apartado se determina el proceso de producción de la línea de ensamble de puertas de refrigeración con el cálculo de la capacidad de producción por medio de la determinación de los estándares de producción, identificación de la restricción del proceso o cuello de botella y la determinación de los indicadores en el cual se presenta la productividad actual de la línea.

##### 4.3.1. Capacidad de Producción

El estudio de la capacidad de producción de la línea de ensamble se realiza mediante la determinación de los estándares de producción por medio del estudio de tiempos. Para esto el tiempo disponible en la línea de ensamble es de 470 minutos ya que se

consideran 10 minutos de tiempo que son entregados para el seteo y limpieza de las estaciones de trabajo, sin embargo, es importante mencionar que el tiempo de descanso o alimentación esta por fuera de las horas laborables. El estudio de tiempos inicia calculando el tamaño de la muestra en base a una observación inicial de los tiempos utilizados por la línea.

En el contexto de la tabla 8 se detalla las observaciones iniciales de los tiempos de ciclo de la línea de ensamble de puertas de refrigeración, los mismos que has sido obtenidos del estudio inicial del trabajo.

Tabla 8. OBSERVACIONES DE TIEMPOS DE CICLO

Ítem	Tiempo de Ciclo [TC]	TC <sup>2</sup>
1	4,167	17,36
2	4,433	19,65
3	4,1	16,81
4	4,2	17,64
5	4,9	24,01
6	4,117	16,95
7	4,4	19,36
8	4,2	17,64
9	4,8	23,04
10	5,083	25,84
Σ	44,40	198,30

En el mismo orden, a continuación, se determina el número de observaciones con la ecuación 4-1, que se basa en obtener observaciones iniciales; teniendo un nivel de confianza del 95.45%.

$$n = \left( \frac{40\sqrt{n'\sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right)^2 \quad \text{Ec. (4 - 1)}$$

Donde:

n = tamaño de la muestra que deseamos determinar (número de observaciones).

n' = número de observaciones del estudio preliminar.

Σ = suma de los valores.

x = valor de las observaciones.

El tamaño de la muestra se calcula con la ecuación 4-1 que considera los datos de los tiempos de ciclo presentados en la tabla 8. De esto se obtiene que se requiere tener un número de 10 observaciones para cada estación de trabajo.

$$n = \left( \frac{40\sqrt{n' \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right)^2 \quad \text{Ec. (4 - 1)}$$

$$n = \left( \frac{40\sqrt{10(198.30) - (44.40)^2}}{44.40} \right)^2 \quad \text{Ec. (4 - 1)}$$

$$n = 9.46 \approx 10 \text{ observaciones} \quad \text{Ec. (4 - 1)}$$

### **Cálculo del tiempo estándar**

Para cada una de las estaciones de ensamble el tiempo estándar se calcula mediante la ecuación 4-2. El tiempo estándar se determina efectuando el producto: del tiempo normal con las holguras o los suplementos más uno entre los cuales se considera: necesidades personales 5%, fatiga de la persona 4%, suplemento por trabajo de pie 2% y el 4% por suplementos por contingencia y especiales.

$$Ts = TN(1 + \text{Suplementos}) \quad \text{Ec. (4 - 2)}$$

Donde:

Ts: Tiempo Estandar

TN: Tiempo normal.

Asimismo, el tiempo normal es calculado mediante la ecuación 4-3, que se determina mediante el factor del promedio de los tiempos de ciclo medidos u observados de cada estación por el factor de valoración o calificación expresada en porcentaje dada a la persona observada por el observador. Este resultado se presenta la tabla 9 la cual detalla las mediciones de tiempos de ciclo y el cálculo de tiempo estándar para cada estación de ensamble de la línea de producción

$$TN = \bar{X} * \% \text{ Calificacion} \quad \text{Ec. (4 - 3)}$$

### **Estándar de Producción.**

Para la determinación del estándar de producción partimos calculando por la ecuación 4-4, que considera el tiempo estándar calculado por la ecuación 4-2. Este se determina

dividiendo el tiempo que por vida se tiene de 1 hora expresados en [min/hora] o [segundos/hora] por el tiempo estándar resultando una medida de [unidades/hora].

$$\text{Estandar de Producción} = \frac{60 [\text{min/hora}] \text{ ó } 3600 [\text{seg/hora}]}{TE} \quad \text{Ec. (4 - 4)}$$

Donde:

TE: Tiempo estándar.

$$\text{Estandar de Producción} = \frac{60 [\text{min/hora}]}{4.23 [\frac{\text{min}}{\text{pieza}}]} \quad \text{Ec. (4 - 4)}$$

$$\text{Estandar de Producción} = 14.18 \left[ \frac{\text{puerta}}{\text{hora}} \right] \cong 14 \left[ \frac{\text{puerta}}{\text{hora}} \right] \quad \text{Ec. (4 - 4)}$$

En la tabla 10 se presenta los cálculos de los estándares de producción de cada estación de la línea de ensamble de puertas de refrigeración. Asimismo, se agrega la capacidad de producción de por día y por mes tomando en consideración un turno de 8 horas laborables y 20 días laborables por mes respectivamente.

#### 4.3.2. Identificación del Cuello de Botella

En esta sección se analiza la restricción o cuello de botella que existe en la línea de ensamble que para este análisis se toma la medida “PUERTAS/HORA” en todos los procesos. En la figura 12 se muestra que la estación “5.1” denominada “Ensamble de marco con panel” determina la restricción del proceso o el cuello de botella con una capacidad de producción de 8 [puertas/hora].

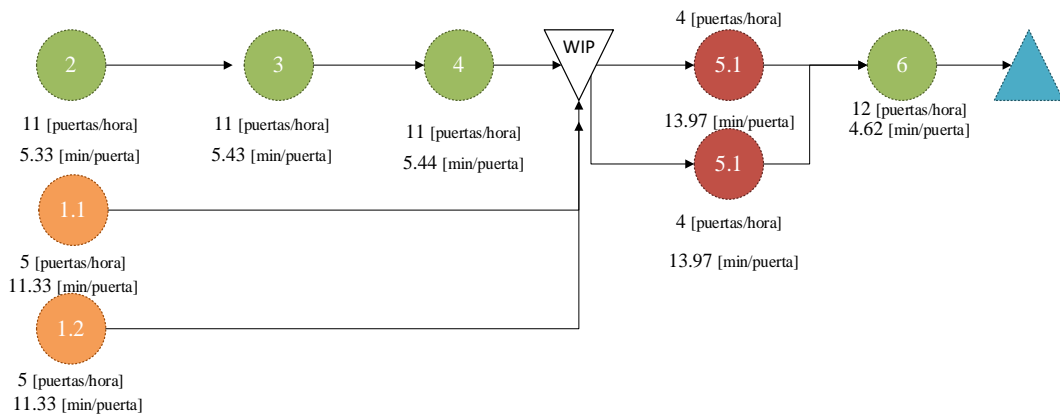


Figura 12. Análisis de restricción de capacidad

Asimismo, en la figura 13 se representa la restricción del proceso esto en la medida del tiempo estándar [MIN/PUERTA; el mismo que es evaluado en base al tiempo takt o “Takt Time [TT]”. El tiempo takt representa el ritmo que un proceso productivo debe tener para satisfacer la demanda del cliente en una unidad de tiempo, de este modo el TT se determina mediante la ecuación 4-5.

$$\text{Tiempo Takt [TT]} = \frac{\text{Tiempo disponible por día}}{\text{Demanda del cliente por día}} \quad \text{Ec. (4 - 5)}$$

$$\text{Tiempo Takt [TT]} = \frac{480 \text{ min}}{90 \text{ puertas}} \quad \text{Ec. (4 - 5)}$$

$$\text{Tiempo Takt [TT]} = 5.33 \left[ \frac{\text{min}}{\text{puertas}} \right] \quad \text{Ec. (4 - 5)}$$

A partir de esto se realizar en análisis de cada proceso de la línea de producción, obteniendo como resultado que el cuello de botella o restricción posee un tiempo estándar de 13.97 [minutos/puerta] por cada estación de ensamble generando un Throughput o salida de productos del proceso cada 6.98 [min/puerta]. Asimismo, se observa que solo 2 estaciones de montaje cumplen con el tiempo takt.

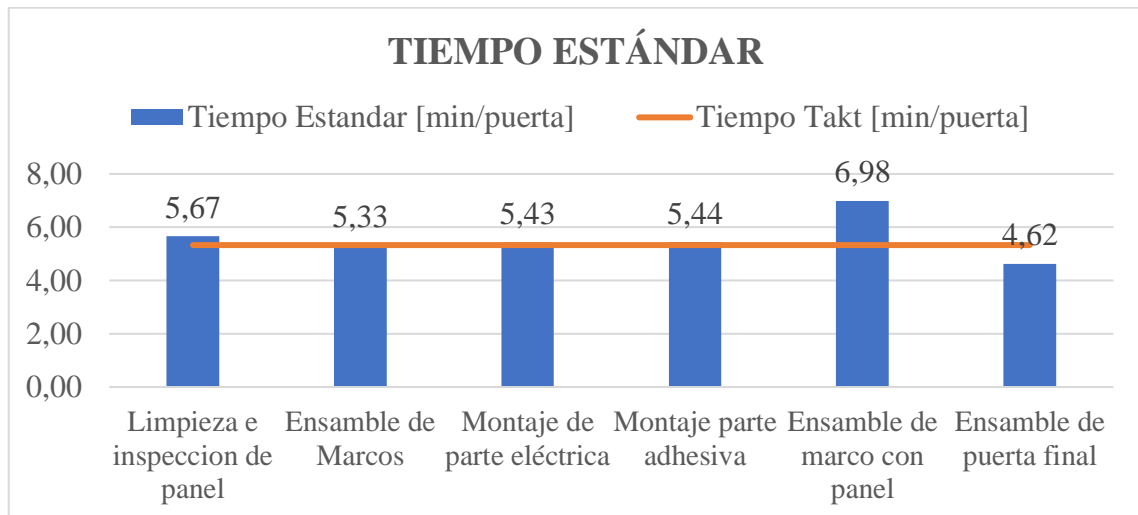


Figura 13. Comparación tiempo estándar con tiempo takt

En las próximas secciones se analiza el valor del tiempo takt en comparación con el balanceo de los tiempos actuales de la línea. En efecto este trabajo se ejecuta con la aplicación de las técnicas y herramientas adecuadas de la manufactura esbelta para optimizar el proceso y mejorar la productividad de la línea.



Tabla 9. HOJA DE TIEMPOS ESTÁNDAR DE LA LÍNEA DE ENSAMBLE

<b>HOJA DE TOMA DE TIEMPOS</b>														
<b>Operación:</b>	Línea de ensamble de puertas de refrigeración									<b>Herramientas:</b>	Cronometro			
<b>Observador:</b>	Lluglla Stalin										Cámara Fotográfica			
<b>Estaciones</b>	<b># Ciclos</b>	<b>TM-1 (min)</b>	<b>TM-2 (min)</b>	<b>TM-3 (min)</b>	<b>TM-4 (min)</b>	<b>TM-5 (min)</b>	<b>TM-6 (min)</b>	<b>TM-7 (min)</b>	<b>TM-8 (min)</b>	<b>Promedio (min)</b>	<b>% Valoración</b>	<b>T. N. (min)</b>	<b>S</b>	<b>Ts (min/p)</b>
Limpieza e inspección de panel	T1	9,49	9,95	9,84	9,93	9,99	10,12	9,97	9,81	9,85	100%	9,85	15%	11,33
	T2	10,05	9,81	9,66	9,51	9,81	9,95	9,84	9,93					
Ensamble de Marcos	T1	4,70	4,80	4,79	4,67	4,70	4,52	4,65	4,64	4,63	100%	4,63	15%	5,33
	T2	4,74	4,44	4,57	4,50	4,44	4,54	4,61	4,83					
Montaje de parte eléctrica	T1	4,61	4,83	4,83	4,60	4,76	4,73	4,68	4,83	4,72	100%	4,72	15%	5,43
	T2	4,61	4,76	4,55	4,79	4,83	4,80	4,77	4,63					
Montaje parte adhesiva	T1	4,80	4,83	4,58	4,70	4,77	4,70	4,81	4,83	4,73	100%	4,73	15%	5,44
	T2	4,57	4,68	4,79	4,74	4,77	4,70	4,76	4,65					
Ensamble de marco con panel	T1	12,09	12,15	12,04	12,14	12,01	12,12	12,21	12,07	12,14	100%	12,14	15%	13,97
	T2	12,20	12,09	12,20	12,21	12,20	12,17	12,18	12,21					
Ensamble de puerta final	T1	4,00	3,98	4,04	3,99	4,08	3,98	3,99	4,08	4,02	100%	4,02	15%	4,62
	T2	3,97	4,04	4,01	3,99	3,98	4,06	4,05	4,03					

TM: Tiempo Medido T.N.: Tiempo Normal T.S.: Tiempo Estándar S.: Suplementos

Tabla 10. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

<b>Estaciones</b>	<b><i>T<sub>s</sub></i> (min/puerta)</b>	<b><i>Estándar de producción</i> (puertas/hora)</b>	<b><i># Personas</i></b>	<b><i>Capacidad de producción</i> (puertas/día)</b>	<b><i>Capacidad de producción</i> (puertas/mes)</b>
Limpieza e inspección de panel	E1.1= 11,33 E1.2= 11,33	E1.1+E2.2 = 10	3	82	1640
Ensamble de Marcos	5,33	11	1	88	1760
Montaje de parte eléctrica	5,43	11	1	86	1720
Montaje parte adhesiva	5,44	11	1	86	1720
Ensamble de marco con panel	E1.1= 13,97 E1.2= 13,97	E1.1+E2.2 = 8	4	66	1320
Ensamble de puerta final	4,62	12	2	101	2020

### 4.3.3. Indicadores

La medida de evaluación de la línea de ensamble esta dado en [puertas/hora] de modo que permite evaluar la salida o Throughput de la línea. En la tabla 11 se detalla las unidades producidas registradas por el proceso, durante los primeros meses, siendo enero - 1079 unidades, febrero – 1017 unidades, marzo – 1085 unidades, abril – 1082 unidades. así mismo en el contexto de la tabla se establece las horas hombre teniendo: enero – 194.13 [horas/hombre], febrero – 167.68[horas/hombre], marzo – 165.07 [horas/hombre], abril – 165.04 [horas/hombre] y mayo – 163.77 [horas/hombre]; de la línea de ensamble las mismas que son utilizadas para el cálculo de la productividad.

Tabla 11. PRODUCCIÓN LÍNEA DE ENSAMBLE

Mes	Unidades Producidas [und]	Horas/Hombre [H/H]
Enero	1079	194,13
Febrero	1017	164,68
Marzo	1085	165,07
Abril	1082	165,01
Mayo	1044	163,77

Se propone el indicador de Productividad [Unidades/Hora/Hombre]; este indicador mide la productividad de cada persona en la línea o las unidades que se están produciendo por cada hora de cada persona; el indicador se calcula mediante la ecuación 4-6.

$$Productividad = \frac{Unidades\ Producidas}{Horas\ Hombre*} \quad Ec. (4 - 6)$$

$$Productividad = \frac{1079 [unidades]}{194.13 [H/H]} \quad Ec. (4 - 6)$$

$$Productividad = 5.6 [Und/H/H] \quad Ec. (4 - 6)$$

Por otro lado, se presenta el indicador del porcentaje de rechazo de la línea de ensamble el mismo que es el resultado de dividir las unidades o puertas rechazadas para las unidades liberadas; este indicador se calcula mediante la ecuación 4-7.

$$\% Rechazo = \frac{\text{Unidades Rechazadas}}{\text{Unidades Liberadas}} \quad \text{Ec. (4 - 7)}$$

$$\% Rechazo = \frac{3 [\text{und}]}{1079 [\text{und}]} \quad \text{Ec. (4 - 7)}$$

$$\% Rechazo = 0.4 \% \quad \text{Ec. (4 - 7)}$$

En el mismo orden, se presenta el indicador de rendimiento de la línea de producción el mismo que es el resultado de dividir el tiempo de operación para el tiempo programado [TP] de la línea de producción. De esto el tiempo de operación [TO] es el resultado de dividir las unidades producidas para el estándar de producción o capacidad de producción; en efecto el tiempo de operación se calcula mediante la ecuación 4-8 y el rendimiento se calcula mediante la ecuación 4-9.

$$TO = \frac{\text{Unidades Producidas} [\text{puertas}]}{\text{Estandar de Produccion} [\frac{\text{puertas}}{\text{hora}}]} \quad \text{Ec. (4 - 8)}$$

$$\% Rendimiento = \frac{\sum TO [\text{horas}]}{\sum TP [\text{horas}]} \quad \text{Ec. (4 - 9)}$$

$$\% Rendimiento = \frac{\sum 703.97 [\text{horas}]}{\sum 1176 [\text{horas}]} \quad \text{Ec. (4 - 9)}$$

$$\% Rendimiento = 59.9 \% \quad \text{Ec. (4 - 9)}$$

En la tabla 11 se detalla las unidades producidas registradas por el proceso, durante los primeros meses, siendo enero - 1079 unidades, febrero – 1017 unidades, marzo – 1085 unidades, abril – 1082 unidades. así mismo en el contexto de la tabla se establece las horas hombre teniendo: enero – 194.13 [horas/hombre], febrero – 167.68[horas/hombre], marzo – 165.07 [horas/hombre], abril – 165.04 [horas/hombre] y mayo – 163.77 [horas/hombre]; de la línea de ensamble las mismas que son utilizadas para el cálculo de la productividad.

Tabla 12. PRODUCCIÓN LÍNEA DE ENSAMBLE

Mes	Unidades Producidas [und]	Horas/Hombre [H/H]
Enero	1079	194,13
Febrero	1017	164,68
Marzo	1085	165,07
Abril	1082	165,01
Mayo	1044	163,77

Como resultado del cálculo de los indicadores se presenta la tabla 12, en la cual se tiene el cálculo del % de rendimiento para el cual se considera los tiempos de operación para los meses de: enero – 709.97 horas, febrero – 672.76 horas, marzo - 717.74 horas, abril – 715.76 horas, mayo – 690.62 horas; dentro del mismo orden se representa el cálculo del % de rechazo de la línea. Además, se obtiene los valores del indicador de productividad siendo: enero – 5.56 [und/H/H], febrero – 6.18 [und/H/H], marzo – 6.57 [und/H/H], abril – 6.56 y mayo - 6.37 [und/H/H]; cabe mencionar que las salidas de la línea están afectadas por la restricción de la capacidad que son 8 [puertas/ horas].

Tabla 13. INDICADORES DE PROCESO

Mes	Unidades Producidas [und]	Unidades Rechazadas [und]	% Rendimiento	% Rechazo	Productividad [Und/H/H]
Enero	1079	3	59,9%	0,4%	5,56
Febrero	1017	7	60,9%	0,6%	6,18
Marzo	1085	6	56,6%	0,5%	6,57
Abril	1082	3	59,3%	0,7%	6,56
Mayo	1044	5	59,7%	0,8%	6,37

La evaluación del porcentaje de rendimiento que tiene la línea de ensamble es representada mediante la figura 14, de la cual se puede verificar que está por debajo del rango del 85%. Sin embargo, es importante agregar que la estación de ensamble final como las anteriores a la estación denominada como ensamble de marco con panel se encuentran subutilizadas a efecto de la capacidad de la línea. De igual importancia por otra parte, se tiene la figura 15 que indica la representación del % de rechazo que se tiene en la línea el mismo que esta evaluado mediante la ecuación 4-7.

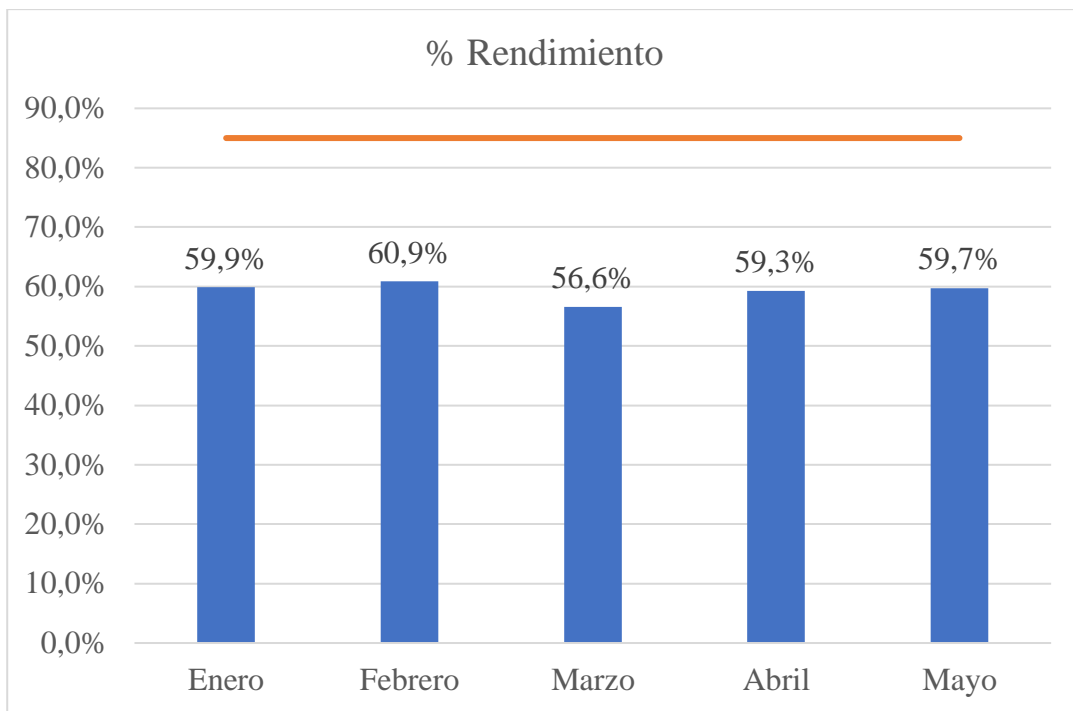


Figura 14. Indicador de rendimiento de la línea de ensamble

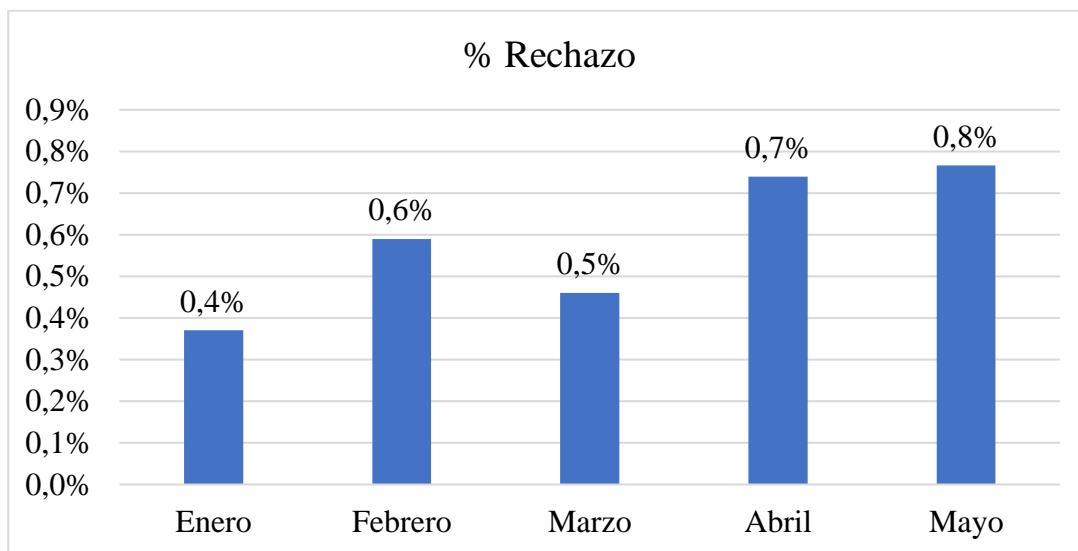


Figura 15. Indicador de rechazo de la línea de ensamble

En la figura 16 se tiene la representación de la evaluación de la productividad de la línea de ensamble; esta evaluación se realiza tomando los históricos de unidades producidas durante los meses de enero a mayo. Así mismo, se verifica en la gráfica que el último trimestre del periodo evaluado la productividad se mantiene teniendo un pequeño declive de 6.56 [und/H/H] a 6.37 [und/H/H].

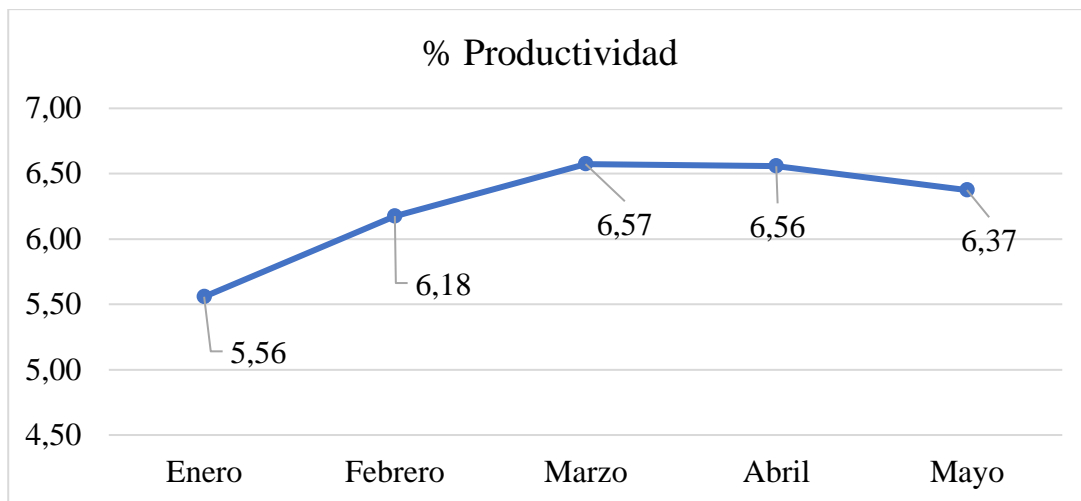


Figura 16. Indicador de productividad de la línea de ensamble

#### 4.4. Herramientas de Manufactura Esbelta para línea de ensamble

En esta sección se detalla las herramientas de manufactura esbelta seleccionadas para la optimización de la productividad de la línea de ensamble de puertas de refrigeración. Partiendo de la situación actual de la línea de montaje se ilustra la tabla 14 la cual muestra la productividad media actual de 6.2 [und/H/H], un rendimiento del 59.2% y un rechazo promedio de 0.6% se detalla la tabla que representa el análisis de las herramientas utilizadas para la mejora de los indicadores presentados para la línea de montaje.

Tabla 14. INDICADORES DE PROCESO

Línea	Productividad	% Rendimiento	% Rechazo
Ensamble de Puertas de Refrigeración	6,2 [und/H/H]	59,20%	0,60%

Considerando estos datos y a partir de las investigaciones realizadas en el estado de arte se determina la tabla 15 en la cual muestra las mejoras alcanzadas para los diferentes indicadores como productividad, rendimiento y reducción de defectos.

Tabla 15. HERRAMIENTAS DE MANUFACTURA ESBELTA

Ítem	Herramienta Lean	% Mejora
Reducción de Desperdicio	Estandarización de Procesos Balanceo de línea SMED VSM Poka Yoke	20% [3]
Optimización de Productividad	Estandarización de Procesos Balanceo de línea VSM	40% [28] [48]
Mejoras en Rendimiento	SMED TPM Estandarización de Procesos	29% [48]

A partir de los % de mejora presentados se realiza un comparativo de las herramientas LM con los 7 desperdicios que determina la manufactura esbelta. Así se genera el alcance de los escenarios propuestos para determinar las herramientas LM aplicables al modelo de optimización de la productividad, para esto se muestra la tabla 16 que muestra la correlación entre la herramienta LM y la MUDAS o desperdicio del proceso todo esto evaluación partiendo de los resultados de las investigaciones del estado de arte.

Tabla 16. CORRELACIÓN DE HERRAMIENTAS LM CON OPTIMIZACIÓN DE DESPERDICIO

HERRAMIENTA	DESPERDICIOS LM							TOTAL	% Evaluación	% Acumulativo
	Sobre producción	Esperas	Movimientos Inecesarios	Sobre procesamiento	Inventario	Transporte	Productos defectuosos o retrabajos			
Balanceo de línea	A	A	A	A	A	A		6	29%	29%
VSM	A	A	A			A	A	5	24%	52%
Estandarización de Procesos			A	A		A	A	4	19%	71%
SMED		A	A					2	10%	81%
Poka Yoke			A				A	2	10%	90%
TMP		A	B				A	2	10%	100%
A: Aplicable										



En la figura 17 se muestra la correlación de las herramientas LM para la optimización de las MUDAS o desperdicios LM ilustrando un valor de aplicabilidad del 29% para la herramienta balanceo de línea, el 24% con la herramienta VSM y el 19% con la herramienta denominada estandarización de procesos. Adema se observa en este análisis que el 80% de las herramientas óptimas para la línea de ensamble están dadas por: balanceo de línea, VSM y estandarización de procesos.

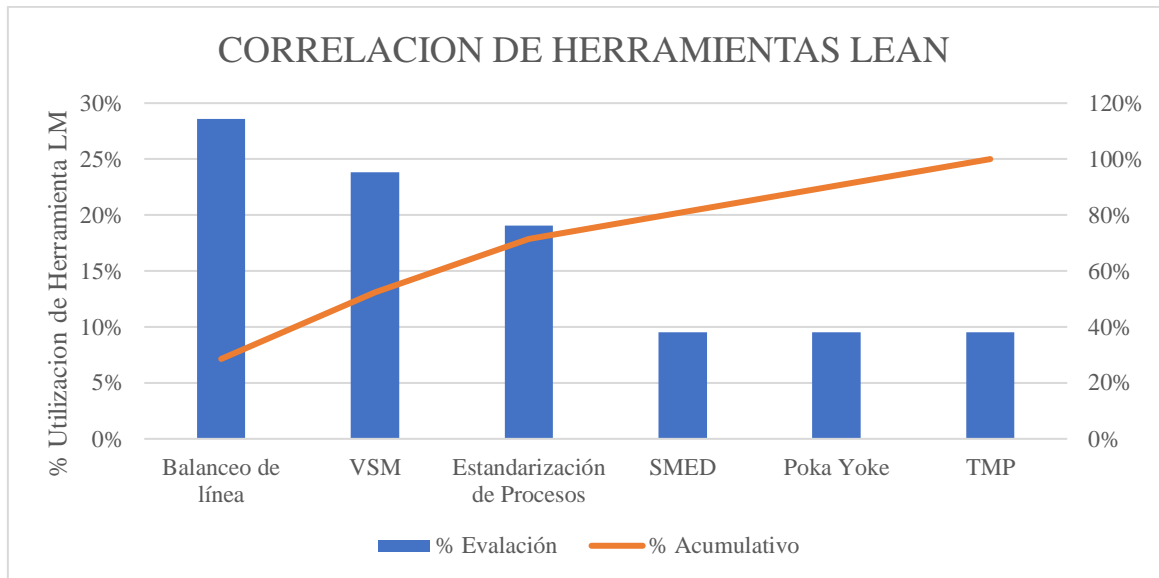


Figura 17. Correlación de herramientas LM

En efecto, tomando como referencia las mejoras obtenidas en las investigaciones con la aplicación de las herramientas de la manufactura, la matriz de correlación de las herramientas LM con los 7 desperdicios, así como el % de aplicabilidad se determina que la manufactura esbelta esta referenciada a las líneas de producción y montaje, con objetivos orientados a la disminución de desperdicios y la optimización de productividad. A partir de esto se establece las herramientas recomendadas para la optimización de productividad de línea de ensamble de puertas de refrigeración la aplicación de las herramientas LM las siguientes: VSM, Balanceo de línea y estandarización de procesos

#### 4.5.Optimización de productividad

En este apartado se realiza la optimización de la productividad de la línea de ensamble de puertas de refrigeración considerando los resultados de los indicadores de proceso. De este modo el objetivo que es la optimización de la productividad se realiza mediante

la aplicación de las herramientas de la manufactura esbelta las mismas que han sido seleccionadas de acuerdo con la revisión de las investigaciones, obteniendo las siguientes herramientas: VSM, balanceo de línea y estandarización de procesos. Estas herramientas permiten analizar, minimizar y eliminar los despilfarros, así como la optimización del proceso y tener mayor flexibilidad de la línea de producción.

#### **4.5.1. VSM de estado actual**

Desde la perspectiva actual se levanta el mapa de flujo de valor de la línea de producción siguiendo la secuencia del ensamble de puertas de refrigeración considerando cada uno de los tiempos de proceso obtenidos en apartados anteriores. Para la línea se realiza una programación de la producción una vez a la semana en la cual se detalla el modelo y las cantidades a producir considerando la capacidad de producción. El supervisor de producción coordina los materiales con almacenamiento de acuerdo con esta programación.

El mapa de flujo de valor del estado actual de la línea de ensamble ilustrado por la figura 18, muestra la restricción del proceso de 8 [puertas/hora], así mismo se representa que los lotes de producción se manejan diariamente, lo que restringe al supervisor planificar su línea a un horizonte de 1 día ante esto se coloca el estallido Kaizen de cambiar a una planificación y entrega de lotes semanal, asimismo esto permite al encargado de la línea planear un mayor abastecimiento de partes y piezas necesarias para el ensamblaje de la puerta de refrigeración.

En el mismo orden, ya en las estaciones de trabajo se coloca los estallidos Kaizen de la necesidad del balanceo de la línea y la estandarización de los procesos; esto con el fin de obtener una nivelación de la capacidad de producción con la demanda del cliente o el tiempo takt. En este caso para el lote de producción de 450 unidades/semana dadas por la demanda del cliente se requiere 7.03 días de proceso y 1 día de permanencia el producto en almacén antes de ser despachado, este último es necesario e importante para el correcto secado de los adhesivos según el proceso de ingeniería y desarrollo, en efecto no se satisface con la demanda del cliente.

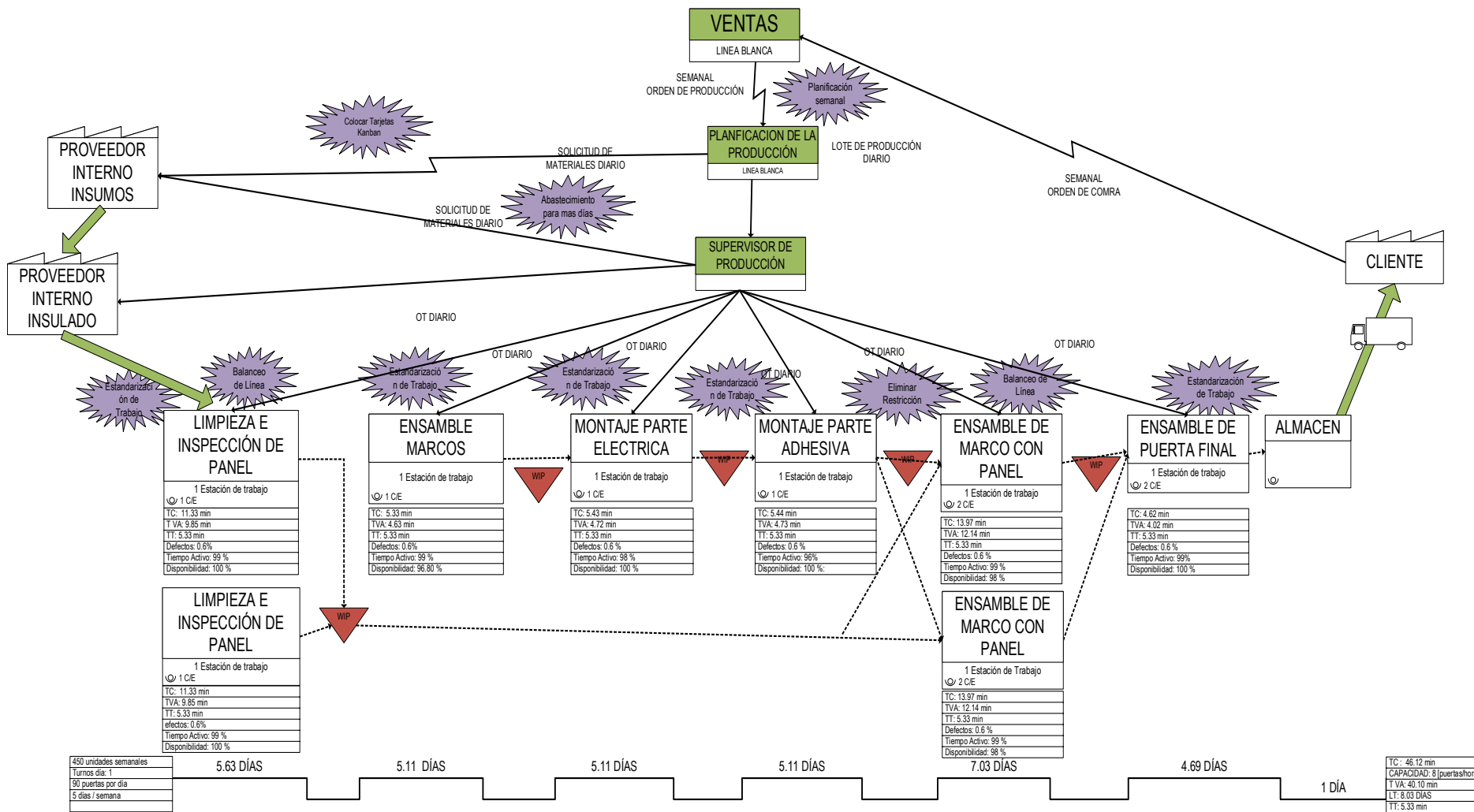


Figura 18. VSM de estado actual

#### 4.5.2. Balanceo de línea

En esta sección se describe el caso de balanceo de la línea de ensamble de puertas de refrigeración. Este trabajo consiste en asignar tareas de las diferentes estaciones de trabajo de modo que el tiempo de ciclo de la línea y su tasa de producción se alinea con el tiempo takt de 5.33 [minutos/puerta]. En la tabla 17 se presenta el listado de actividades que forman parte de cada estación con la única observación que no se especifican los datos de los tiempos por cada una debido a la confidencialidad estos significan para la organización; sin embargo, se especifican el tiempo de ciclo de la línea de ensamble que es 46.12 minutos.

Tabla 17. LISTADO DE ACTIVIDADES

Tarea	Actividad
A	Mover paneles
B	Limpieza de Paneles
C	Preensamble de marcos
D	Ensamble de Marcos
E	Transporte
F	Soltar el amarre del cable eléctrico
G	Montaje de parte eléctrica
H	Entrega de marco
I	Montaje de parte adhesiva
J	Descarga del perfil
K	Mover marco
L	Ensamble de panel
M	Colocar pisa vidrio
N	Montaje de Tope bisagra
O	Remachado de Cables
P	Descargar puerta
R	Mover puertas
S	Corte de protección PVC
T	Montaje de manija
U	Montaje de Magnético
V	Descargar la puerta

Ahora bien, mediante la ecuación 4-10 se determina el número de estaciones ideales para el balanceo de la línea de ensamble de acuerdo con el tiempo takt que es de 5.33 [min/puerta]; esta se calcula dividiendo el tiempo de ciclo para el tiempo takt.

$$\text{Número de estaciones} = \frac{\text{Tiempo de Ciclo}}{\text{Tiempo Takt}} \quad \text{Ec. (4 - 10)}$$

$$\text{Número de estaciones} = \frac{46.12}{5.33} \quad \text{Ec. (4 - 10)}$$

$$\text{Número de estaciones} = 8.65 \cong 9 \text{ estaciones} \quad \text{Ec. (4 - 10)}$$

A partir de esto, se determina que la línea requiere “9 estaciones” balanceadas para cumplir con la demanda del cliente. En el mismo orden se presenta la tabla 18 que ilustra como se llevan a cabo las actividades actuales de la línea de ensamble unas antes que otras o son requisitos para el flujo del proceso.

Tabla 18. ESTADO ACTUAL DIAGRAMA DE ACTIVIDADES PREDECESORAS

<b>Tarea</b>	<b>Actividad</b>	<b>Predecesora</b>
A	Mover paneles	-
B	Limpieza de Paneles	A
C	Colocar panel en Rack vertical	B
D	Preensamble de marcos	-
E	Ensamble de Marcos	D
F	Colocar marco en rack	E
G	Mover marco a mesa	F
H	Soltar el amarre del cable eléctrico	-
I	Montaje de parte eléctrica	G,H
J	Entrega de marco	I
K	Tomar marco con parte eléctrica	J
L	Abrir cinta adhesiva	-
M	Montaje de parte adhesiva	K,L
N	Descarga del perfil	M
O	Mover marco a mesa	N
P	Ensamble de panel con marco	O,C
R	Colocar pisa vidrio	P
S	Montaje de Tope bisagra	R
T	Remachado de Cables	R
U	Descargar puerta en rack	S,T
V	Mover puerta a mesa de trabajo	U
W	Corte de protección PVC	V
X	Montaje de manija	W
Y	Montaje de Magnético	X
Z	Descargar la puerta	Y

En el mismo orden, para efectuar el balance adecuado de la línea de ensamble con el objetivo de la optimización de la productividad se ilustra la tabla 19 que presenta el análisis realizado de las tareas predecesoras, todo esto considerando: el tiempo takt, la eliminación del despilfarro, optimización de mano de obra, optimización del flujo y la asignación de actividades o elementos de trabajo a otros procesos de la línea y también con la asignación de tareas a procesos externos como la línea de manufactura de perfiles.

Tabla 19. BALANCEO DE ACTIVIDADES PREDECESORAS

<b>Tarea</b>	<b>Actividad</b>	<b>Predecesora</b>
A	Mover paneles	-
B	Limpieza de Paneles	A
C	Colocar panel en Rack vertical	B
D	Preensamble de marcos	-
E	Ensamble de Marcos	D
F	Colocar marco en rack	E
G	Mover marco a mesa	F
H	Soltar el amarre del cable eléctrico	-
I	Montaje de parte eléctrica	G,H
J	Entrega de marco	I
K	Tomar marco con parte eléctrica	J
L	Abrir cinta adhesiva	-
M	Montaje de parte adhesiva	K,L
N	Descarga del perfil	M
O	Mover marco a mesa	N
P	Ensamble de panel con marco	O,C
R	Colocar pisa vidrio	P
U	Descargar puerta en rack	R
V	Mover puertas a mesa de trabajo	U
S	Montaje de Tope bisagra	V
T	Remachado de Cables	V
X	Montaje de manija	V
Y	Montaje de Magnético	X
Z	Descargar la puerta	S,T,Y

Dentro de este orden, se presenta el diagrama de precedencia del balanceo de la línea en la figura 19 la cual ilustra de forma gráfica el flujo del proceso considerando el orden de las actividades dadas en la tabla 19, y agrupando las mismas para formar las estaciones necesarias para la línea.

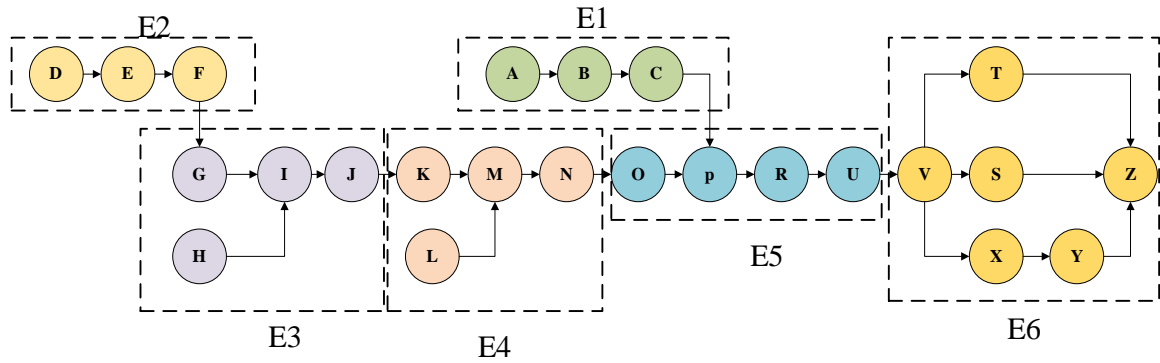


Figura 19. Diagrama de precedencia

Con el diagrama de precedencia de la figura 19, se realiza el análisis de los nuevos tiempos estándar para cada estación de trabajo representando en la figura 20, en la que muestra que los tiempos de la estación 1 y estación 5 están por fuera del tiempo takt, en efecto después de ejecutar el estudio se muestra la figura 21 la cual muestra la capacidad de producción de cada área que está por debajo de la demanda requerida.

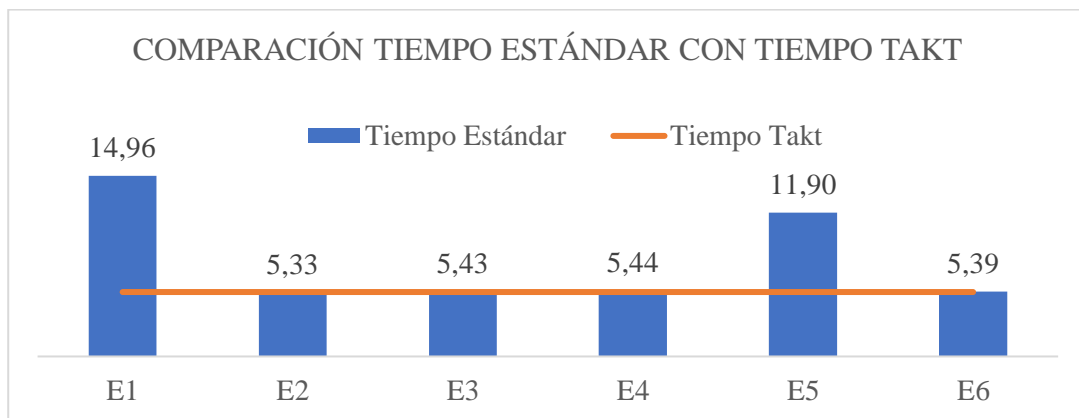


Figura 20. Comparación tiempo estándar con tiempo takt

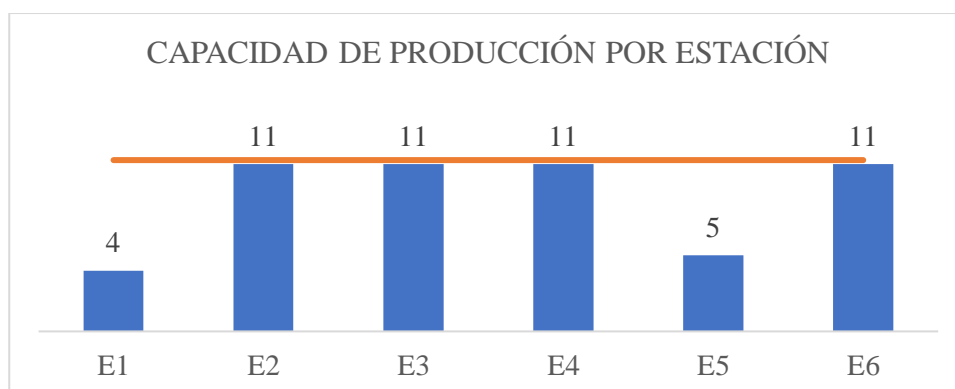


Figura 21. Capacidad de producción

Después de analizar la capacidad de producción por cada estación de ensamble se define que se tiene una restricción de capacidad de 4 [puertas/hora] dada por la estación E1 y considerando el número de 9 estaciones ideales para cumplir con la demanda del cliente determinado por la ecuación 4-10, se define crear 3 estaciones efectuando cada una el proceso de limpieza e inspección de paneles y mantener las 2 estaciones actuales del proceso de ensamble de marco con panel, así se ilustra la figura 22 con la nueva capacidad de proceso de 10 [puertas/hora].

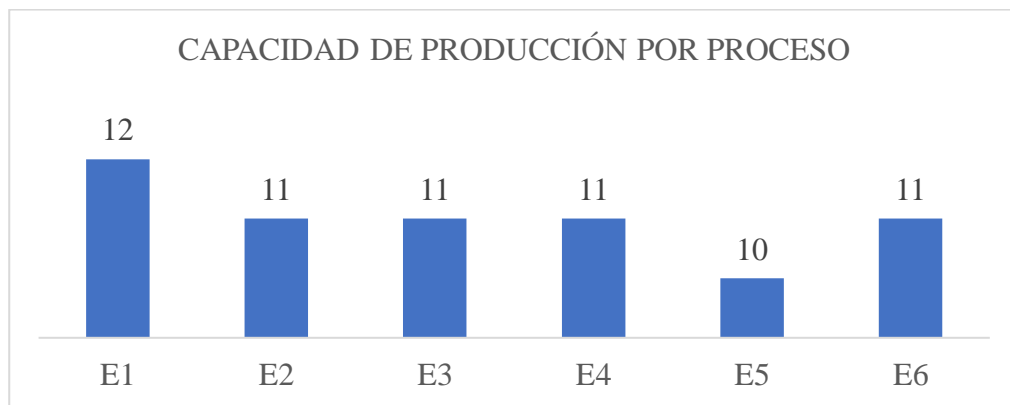


Figura 22. Capacidad de producción por proceso

Asimismo, en la tabla 20 muestra la capacidad de producción de la línea de ensamble durante los 470 minutos asignados para la operación. En el detalle de la tabla se puede observar que la capacidad proyectada es de 78 [puertas/día], esto dado por la restricción de la estación E5 o “ensamble de marco con panel”.

Tabla 20. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN LÍNEA DE ENSAMBLE

Estaciones	Tiempo Estándar [min]	Estándar [puertas/hora]	Troughtput Proceso [puertas/hora]	Capacidad Producción [puertas/día]
Limpieza e inspección de panel	14,96	4	8	93
Ensamble de Marcos	5,33	11	11	88
Montaje de parte eléctrica	5,43	11	11	86
Montaje parte adhesiva	5,44	11	11	86
Ensamble de marco con panel	11,90	5	10	78
Ensamble de puerta final	5,39	11	11	87



En el mismo orden, se presenta la asignación de recurso humano para cada estación de ensamble de la línea de producción; se asigna 12 personas distribuidas de la siguiente forma: 1 persona cada una de las 3 estaciones de trabajo del proceso de limpieza de panel; 1 persona para el proceso de ensamble de marcos; 1 persona para el proceso de montaje de parte eléctrica; 1 persona para el proceso de montaje de parte adhesiva; 2 personas por cada una de las 2 estaciones del proceso de ensamble de marco con panel finalmente 2 personas para el proceso denominado ensamble final, de esto modo se ilustra la tabla 21 detallando la asignación del recurso humano descrito.

Tabla 21. ASIGNACIÓN DE RECURSO HUMANO POR PROCESO

# Proceso	Proceso	# Estaciones de Trabajo	# Personas asignadas
1	Limpieza e inspección de panel	3	3
2	Ensamble de Marcos	1	1
3	Montaje de parte eléctrica	1	1
4	Montaje parte adhesiva	1	1
5	Ensamble de marco con panel	2	4
6	Ensamble de puerta final	1	2

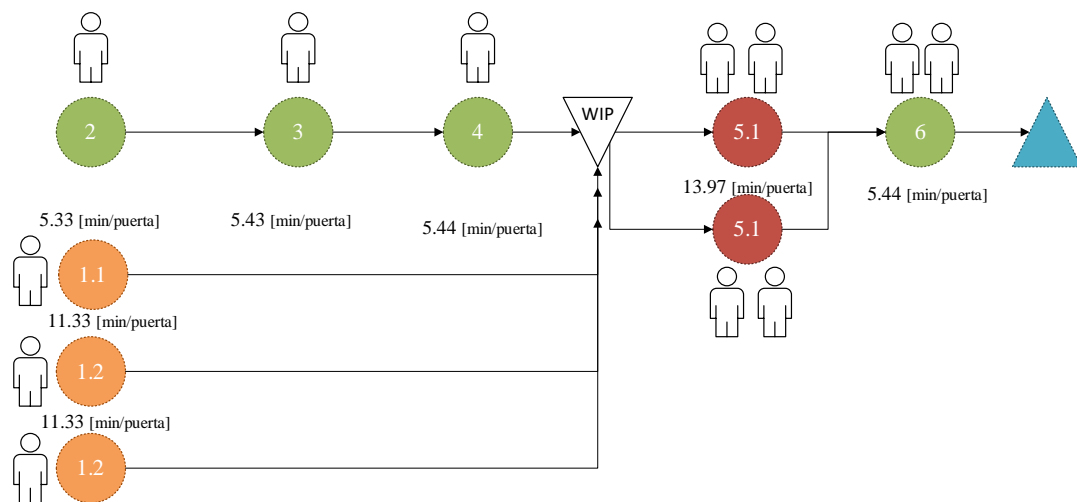


Figura 23. Asignación de recurso humano

#### 4.5.3. Estandarización de procesos

En el mismo orden, la estandarización de la línea de ensamble permite optimizar los métodos de trabajo de cada proceso o estación del proceso, teniendo como objetivos: la

optimización de los métodos de trabajo, diseñar los métodos de trabajo de la línea capaces de adaptar a la demanda y adaptar el ritmo de producción a la demanda del cliente.

Para la estandarización se considera áreas de soporte de la organización las mismas que son: seguridad / ergonomía que permite analizar actos y condiciones que representan un riesgo para el colaborador al momento de ejecutar el trabajo; calidad mediante la cual indica los estándares o características críticas del producto (KPC) las mismas que se debe cumplir y controlar durante el proceso; características críticas de control (KCC) y finalmente con logística y almacenamiento debe coordinar las cantidades y ubicación de materiales.

En la tabla 22 se detalla la hoja de trabajo estandarizado de la estación de ensamble de marcos, en la cual se detalla el paso a paso que se debe seguir para el cumplimiento de la actividad, además con esta estandarización buscar eliminar los tiempos improductivos y por otro lado mejora la polifuncionalidad de las personas de la línea. Además, dentro de esta hoja de estandarización se muestra mediante las simbologías las áreas de soporte que intervienen como son: seguridad y ergonomía y calidad también hace muestra de forma gráfica cual son operaciones críticas y cuales son operaciones temporales.

En la tabla 23, 24 y 25 se tiene del desarrollo del trabajo estandarizado para las áreas de: limpieza e inspección del panel, montaje de parte eléctrica y montaje de la parte adhesiva respectivamente; en la cual se detalla las características críticas del producto [KPC]. Asimismo, en la tabla 26 se detalla el trabajo estandarizado de la estación de ensamble del marco con el panel, sin embargo, es importante mencionar que la misma es considerada para las dos estaciones de trabajo. En el mismo orden se muestra la tabla 27 que es parte de la estandarización del trabajo de la estación denominada “Ensamble de puerta final”.

En efecto, con la estandarización herramienta de la manufactura esbelta permite optimizar los métodos de trabajo y adaptar la mano de obra y capacidad a la demanda del cliente. Asimismo, con esta herramienta tiene mucha importancia en la educación y entrenamiento de todos los colaboradores involucrados con el área; esto permite tener personal polifuncional e implantar el pensamiento esbelto en la línea de producción.

Tabla 22. HOJA DE TRABAJO ESTANDARIZADO ESTACIÓN ENSAMBLE DE MARCOS







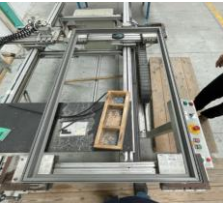





HOJA DE ELEMENTOS DE TRABAJO ESTANDARIZADO					Proceso	N° de registro		
					Área:	Ensamble		
					Sección:	1		
Nombre de Elemento:	Ensamble de marcos			Simbología:			Página:	1 de 1
Tiempo Estandar:	Seguridad y Ergonomía				Chequeo de Calidad		Riesgos BASC	Fecha
Familia:	Línea Blanca			Operación Crítica		Operación Temporal		jun-21
Fotos o Esquemas de Operación	Símbolo	Paso	Paso principal (Qué):	Punto importante (Cómo):	Razón (Por qué o para qué):			
 <p>Fig. 2-1</p>	  	1	Abastecimiento de perfiles cortados	1. Verificar el código de perfiles en el Kardex de proceso que se encuentra en el rack móvil. este de acuerdo con la programación de la producción 2. Mover el rack y ubicar paralelo a la mesa de preensamble (Fig. 2-1). 3. Verificar el código de parte de los esquineros y el código de parte de los pernos estén de acuerdo con el programa de producción.	Garantizar el abastecimiento del modelo correcto hacia la sección. Minimizar el recorrido del operador y eliminar tiempos improductivos. Garantizar el ensamble correcto de las piezas.			
	 	2	Puesta a punto de la mesa de ensamble de marcos	4. Revisar la presión del manómetro este en 6 bares de presión. 5. Verificar y ajustar el recorrido de las mordazas de la mesa. Debe estar en 1700 mm en el largo y 600 mm para el ancho esto para el modelo VFV500 y para el modelo VFV400 debe estar las mordazas a una distancia de 1500 para el largo y 500 para el ancho.	Garantizar la correcta presión para el ensamble Garantizar el correcto ensamble de las esquinas de la puerta. Eliminar el reproceso del marco de puerta. Minimizar el rechazo de la puerta			
 <p>Fig. 3-1</p>  <p>Fig. 3-2</p>  <p>Fig. 3-3</p>	  	3	Arranque de ensamble de marcos	6. Unir cada parte de los perfiles: izquierdo, derecho, superior e inferior con los esquineros y ubicar en la mesa de ensamble. 7. Colocar el perfil en la mesa (Fig 3-1) 7. Presionar los botones 1 y 3 de la mesa de ensamble para realizar el apriete o cierre del marco (Fig 3-2). 8. Tomar el atornillador y ubicar 2 tornillos en cada punto de las esquinas pre-maquinadas para este fin (Fig 3-3). 9. Colocar el atornillador en la mesa. 10. Presionar los botones 1 y 4 de la mesa de ensamble para que las mordazas se abran y suelte el perfil. 11. Descargar el marco de la mesa. 12. Verificar con las galgas tipo 1 ubicada en la mesa de utensillos la dimensión de la abertura encontrada en la unión de las esquinas tengan como máximo 0,1 mm. 13. Colocar el marco ensamblado en el rack fijo.	Garantizar el correcto ensamble de las esquinas de la puerta. Eliminar reprocesos del marco de la puerta. Minimizar y eliminar el rechazo de las puertas. Eliminar rechazo de puertas por el cliente final. Garantizar que los KPCs se encuentren dentro de los estándares establecidos.			
Listado de Modificaciones			ELABORADO		REVISADO POR			
Rev.	Fecha	Modificación						
			STALIN LLUGLLA					

Tabla 23. HOJA DE TRABAJO ESTANDARIZADO ESTACIÓN DE LIMPIEZA E INSPECCIÓN DE PANEL













HOJA DE ELEMENTOS DE TRABAJO ESTANDARIZADO				Proceso		N° de registro	
				Área:		Ensamble	
				Sección:		1	
Nombre de Elemento:	Limpieza e inspección de panel	Simbología:				Página:	1 de 1
Tiempo Estandar:		Seguridad y Ergonomía		Chequeo de Calidad		Riesgos BASC	Fecha
Familia:	Línea Blanca	Operación Crítica		Operación Temporal			jun-21
Fotos o Esquemas de Operación	Símbolo	Paso	Paso principal (Qué):	Punto importante (Cómo):	Razón (Por qué o para qué):		
	 	1	Abastecimiento de paneles de doble acristalamiento a la línea	1. Verificar el código del panel este de acuerdo con el programa de producción.	Garantizar el abastecimiento del modelo correcto hacia la sección.		
	  	2	Operación de limpieza e inspección	2. Colocar el panel de doble acristalamiento en la mesa de trabajo. 3. Colocar solvente tipo 1 (revisar etiqueta) sobre la cara del panel. 4. Pasar levemente el paño de limpieza de panel de modo que retire el exceso de suciedad y restos de sellante de insulado. 5. Verificar que el panel no posea suciedad u objetos extraños en el interior de la cámara. Si existe observaciones sobre el panel evaluar el panel juntamente con el inspector de calidad de acuerdo con los estándares de calidad dados para el panel 6. Homogenizar el perímetro del panel con ayuda de una cuchilla, retirando los excesos o sobresalientes de sellante de insulado.	Garantizar el abastecimiento del panel liberado para la sección de ensamble de marco con panel. Minimizar y eliminar el reproceso de las puertas ensambladas. Minimizar y eliminar tiempos improductivos en el proceso de ensamble por abastecimiento de producto inconforme. Garantizar el correcto ensamble del marco con el panel.		
	 	3	Mover y colocar panel en rack vertical	7. Ubicar rack en la posición identificada para este elemento. 8. Iniciar colocando los paneles liberadores en el rack desde la parte central hacia la parte superior y posterior en los espacios faltantes.	Minimizar y eliminar tiempos improductivos. Cuidado ergonomico		
Listado de Modificaciones			ELABORADO		REVISADO POR		
Rev.	Fecha	Modificación					
				STALIN LLUGLLA			

Tabla 24. HOJA DE TRABAJO ESTANDARIZADO ESTACIÓN DE MONTAJE DE PARTE ELÉCTRICA


















HOJA DE ELEMENTOS DE TRABAJO ESTANDARIZADO				Proceso		N° de registro	
				Área:		Ensamble	
				Sección:		1	
Nombre de Elemento:	Montaje de parte eléctrica	Simbología:				Página:	1 de 1
Tiempo Estandar:		Seguridad y Ergonomía		Chequeo de Calidad		Riesgos BASC	Fecha
Familia:	Línea Blanca	Operación Crítica		Operación Temporal			jun-21
Fotos o Esquemas de Operación	Símbolo	Paso	Paso principal (Qué):	Punto importante (Cómo):	Razón (Por qué o para qué):		
	 	1	Dirigirse a almacenamiento	1. Solicitar a almacenamiento de acuerdo con el programa de producción las unidades del número de las partes necesarias para el ensamble. Considerar los siguiente: Buje: # 100300 Cable: #200410 Nota: Revisar plano de ensamble 2. Colocar las partes en el contenedor que está por debajo de la mesa.	Garantizar el abastecimiento de las partes correctas para el área. Minimizar la pérdida de tiempo por partes incorrectas. Minimizar y eliminar reprocesos del ensamble		
	 	2	Soltar el amarre del cable electrico	3. Soltar la liga que se encuentra amarrado el cable eléctrico. 4. Colocar el cable en la mesa de trabajo. 5. Colocar lotes de 20 bujes en el contenedor que esta sobre la mesa de trabajo.	Minimizar y eliminar tiempos improductivos. Garantizar el correcto ensamble		
 Fig. 3-1  Fig. 3-2  Fig. 3-3	  	3	Montaje de parte eléctrica	6. Identificar la parte superior de la puerta. 7. Colocar el buje en el agujero del perfil y verificar que el mismo este introducido fácil y totalmente vertical. 8. Introducir las 2 puntas del cable eléctrico (Fig 3-1). 9. Tomar el cable con la mano por el canal fresado de la parte interna del perfil (Fig 3-2). 10. Introducir por los perforados que conducen al canal de ubicación de perfil magnético (Fig 3-3). 11. Tomar 1 cable y redirigir por el canal del perfil magnético de modo que recorra la parte superior y sacar por el destaje ubicado en la parte frontal de la inicial (Fig 3-3). 12. El segundo cable colocar por el destaje que está en la salida de los perforados.	Garantizar una correcta conexión de la parte eléctrica de la puerta. Minimizar y eliminar tiempos improductivos por reprocesos.		
	 	4	Entrega de marco	13. Entregar o colocar el marco en la estación de montaje de parte adhesiva	Minimizar tiempos improductivos		
Listado de Modificaciones			ELABORADO		REVISADO POR		
Rev.	Fecha	Modificación					
				STALIN LUGLLA			

Tabla 25. HOJA DE TRABAJO ESTANDARIZADO ESTACIÓN DE MONTAJE DE PARTE ADHESIVA








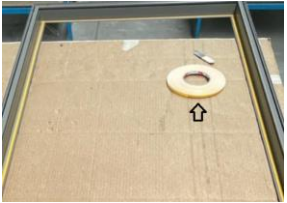





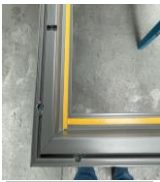



HOJA DE ELEMENTOS DE TRABAJO ESTANDARIZADO			Proceso				Nº de registro	
			Área:				Ensamble	
			Sección:				1	
Nombre de Elemento:	Montaje de parte adhesiva	Simbología:				Página:	1 de 1	
Tiempo Estandar:		Seguridad y Ergonomía		Chequeo de Calidad		Riesgos BASC	Fecha	
Familia:	Línea Blanca	Operación Crítica		Operación Temporal			jun-21	
Fotos o Esquemas de Operación		Símbolo	Paso	Paso principal (Qué):	Punto importante (Cómo):	Razón (Por qué o para qué):		
		 	1	Dirigirse a almacenamiento	1. Solicitar a almacenamiento de acuerdo con el programa de producción las unidades el número de parte necesaria para el ensamble. Nota: Revisar plano de ensamble 2. Colocar las partes en el contenedor que está por debajo de la mesa.	Garantizar el abastecimiento de las partes correctas para el área. Minimizar la pérdida de tiempo por partes incorrectas. Minimizar y eliminar reprocesos del ensamble		
 Fig. 2-1			2	Destapar los cintas adhesivas	3. Destapar el recubrimiento plástico de la cinta adhesiva. 4. Colocar sobre la mesa de trabajo máximo 3 cintas una sobre otra, separadas por el protector de papel (Fig 2-1).	Minimizar y eliminar tiempos improductivos. Garantizar el correcto ensamble del panel de doble acristalamiento.		
 Fig. 3-1		  	3	Montaje de parte adhesiva	5. Tomar la punta de cinta adhesiva e ir colocando en la sección interna del perfil de la puerta. De igual forma durante este proceso verificar que la cinta no sobrepase el límite dado del perfil, esto es 2 mm por dentro del filo (Fig3-1). 6. Cortar la cinta en la parte final de cada lado de la puerta. 7. Colocar en el siguiente lado de modo que quede unido la parte final de la cinta anterior con el lado de la cinta a colocar (Fig 3-2). 8. Repetir los pasos 5 al 7 hasta colocar en los cuatro lados del marco la cinta adhesiva (Fig 3-3).	Garantizar una correcta sujeción del panel de doble acristalamiento al marco de la puerta. Minimizar y eliminar reprocesos del ensamble de panel con el marco. Aportar al sello hermético de la puerta.		
 Fig. 3-2								
 Fig. 3-3								
		 	4	Descarga del perfil	9. Tomar el marco y colocar en el rack fijo que se encuentra diagonal a la sección del ensamble de marco con el panel.	Minimizar tiempos improductivos		
Listado de Modificaciones				ELABORADO		REVISADO POR		
Rev.	Fecha	Modificación						
				STALIN LLUGLLA				

Tabla 26. HOJA DE TRABAJO ESTANDARIZADO DE ENSAMBLE DE PANEL CON MARCO










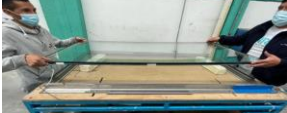


























HOJA DE ELEMENTOS DE TRABAJO ESTANDARIZADO					Proceso		Nº de registro	
					Área:		Ensamble	
					Sección:		1	
<b>Nombre de Elemento:</b>	Emsamble de panel con marco	Simbología:					Página:	1 de 1
<b>Tiempo Estandar:</b>		Seguridad y Ergonomía		Chequeo de Calidad		Riesgos BASC	Fecha	
<b>Familia:</b>	Línea Blanca	Operación Crítica		Operación Temporal			jun-21	
Fotos o Esquemas de Operación	Símbolo	Paso	Paso principal (Qué):	Punto importante (Cómo):	Razón (Por qué o para qué):			
	 	1	Preparación y arranque	1. Revisar el programa de producción. 2. Revisar y colocar el adhesivo adicional en la pistola neumática. 3. Revisar la presión de ingreso a la pistola este máximo 1 bar. 4. Ajustar las dos partes móviles de la mesa de prensado de acuerdo con las dimensiones del modelo de puerta a fabricar. Nota: Para la puerta VFV500 se debe ajustar a 250 mm en la regla ubicada sobre la mesa y para la puerta VFV 400 se debe ajusta a 500 mm en la regla que se encuentra en la mesa	Garantizar la aplicación del adhesivo correcto. Minimizar y eliminar desperdicio de material consumible (adhesivo). Minimizar y eliminar tiempos improductivos. Minimizar y eliminar reprocesos por puerta fuera de estándar.			
	 	2	Mover marco	5. Tomar el marco desde el rack fijo y colocar en la mesa de prensado. 6. Accionar las prensas de la mesa moviendo la palanca de accionamiento neumático. 7. Retirar la protección de las cintas adhesivas del marco.	Eliminar tiempos improductivos			
 Fig. 3-1  Fig. 3-2	  	3	Ensamble de panel	8. Colocar en las esquinas del marco el sellante o adhesivo adicional. Se debe colocar formando una "L" de 50mm x 50mm. 9. Tomar el panel del rack vertical y colocar sobre la mesa de prensado (Fig3-1). 10. Colocar las ventosas manuales sobre la cara del panel. 1 ventosa en el un extremo y el otro extremo (Fig3-2). 11. Alzar el panel con ayuda de las ventosas y ubicar dentro de la cavidad del marco. 12. Retiras las ventosas manuales.	Garantizar el sellado hermético de la puerta. Eliminar el reproceso de puertas ensambladas. Minimizar y eliminar el rechazo de las puertas.			
 Fig. 4-1	 	4	Colocar pisa vidrio	13.1. Una persona coloca el sellante al perímetro del panel de modo que quede sellado la cavidad entre el panel y el marco 13.2 Por otra parte la segunda persona toma el pisa vidrio y colocar en el marco (Fig4-1).	Garantizar el sellado hermético de la puerta Minimizar tiempos improductivos Optimización de la mano de obra			
 Fig. 5-1	 	5	Descargar puerta	14. Abrir la prensa moviendo la palanca neumática en posición liberar. 15. Tomar la puerta ensamblada y colocar en el rack de piso que se encuentra diagonal a la mesa (Fig 5-1)	Minimizar tiempos improductivos Optimización de la mano de obra			
<b>Listado de Modificaciones</b>			<b>ELABORADO</b>		<b>REVISADO POR</b>			
<b>Rev.</b>	<b>Fecha</b>	<b>Modificación</b>						
			STALIN LLUGLLA					

Tabla 27. HOJA DE TRABAJO ESTANDARIZADO ESTACIÓN DE ENSAMBLE DE PUERTA FINAL

HOJA DE ELEMENTOS DE TRABAJO ESTANDARIZADO				Proceso		N° de registro	
				Área:		Ensamble	
				Sección:		1	
Nombre de Elemento:	Ensamble de puerta final	Simbología:				Página:	1 de 1
Tiempo Estandar:		Seguridad y Ergonomía		Chequeo de Calidad		Riesgos BASIC	Fecha
Familia:	Línea Blanca	Operación Crítica		Operación Temporal			jun-21
Fotos o Esquemas de Operación	Símbolo	Paso	Paso principal (Qué):	Punto importante (Cómo):	Razón (Por qué o para qué):		
	  	1	Preparación y arranque	1. Revisar el programa de producción. 2. Solicitar a almacenamiento la cantidad de magnéticos con el número de parte correspondiente. NOTA: # Parte VFV500: 900500 # Parte VFV400: 900400 3. Solicitar a almacenamiento las manijas y tornillos con el número de parte correspondiente. NOTA: # Parte Manija: 900200 # Parte Tornillo: 900010 4. Mover la caja de magnéticos y colocar en forma horizontal en la ubicación marcada en el piso. 5. Retirar los seguros plásticos y destapar la caja de magnéticos. 6. Colocar las manijas en la caja que se encuentra en la parte inferior de la mesa de trabajo	Garantizar el correcto abastecimiento de insumos. Eliminar la sobre manipulación de los magnéticos. Eliminar tiempos improductivos de la línea		
	 	2	Mover puertas	7. Mover 2 puertas desde el rack hacia la mesa de trabajo. 8. Colocar las puertas en la mesa de trabajo con el canal para el perfil magnético hacia la parte superior. 9. Tomar el magnético de la caja abierta y colocar un magnético sobre cada puerta.	Eliminar tiempos improductivos. Optimizar la mano de obra		
	  	3	Montaje de manija y magnético	10.1. Ensamblar la manija en las puertas colocando el tornillo identificado #900010. 10.2. Montar el magnético en la canal del marco de la puerta. Esto debe realizar con ayuda de un mazo de goma dando pequeños golpes sobre el magnético.	Garantizar el ensamble correcto del perfil magnético. Garantizar el correcto ensamble de la manija. Optimización de la mano de obra. Eliminar reprocesos de puertas ensambladas.		
	  	4	Descargar la puerta	11. Tomar la puerta por la parte central. 12. Descarga la puerta de la mesa de trabajo 13. Mover la puerta y colocar en el área de almacenamiento de producto terminado. 14. Colocar entre puertas un separador de espuma flex, de modo que no exista contacto entre cada puerta.	Optimización de la mano de obra. Eliminar daños de magnéticos. Eliminar tiempos improductivos.		
Listado de Modificaciones			ELABORADO		REVISADO POR		
Rev.	Fecha	Modificación					
				STALIN LLUGLLA			



#### **4.6. Hoja de ruta aplicación herramientas LM**

En esta sección se desarrolla la hoja de ruta de aplicación de las herramientas de la manufactura esbelta; la misma que está constituida por una secuencia de fases y herramientas que permiten a las organizaciones diseñar un camino para la implementación de las técnicas de LM, esto se ilustra mediante la tabla 28; sin embargo, es importante mencionar que debe ser tomada como una referencia de modo que cada empresa realice su propia hoja de ruta.

Los objetivos para realizar el modelo de aplicación son: definir metas de modo que los resultados obtenidos sean en periodos de tiempo pequeños; minimizar la curva de aprendizaje para la aplicación de las herramientas de la manufactura esbelta; incidir en el pensamiento esbelto del recurso humano de la organización y estandarización de los procesos siendo pilares básicos para el modelo de implementación.

En la fase 1 denominada diagnóstico y formación debe centrarse en establecer el conocimiento del estado actual del sistema productivo mediante la recolección de datos relacionando con las técnicas de la manufactura esbelta. Asimismo, en esta etapa se establece la recogida de datos que en gran medida de la fiabilidad de los datos depende el éxito de la implementación de las herramientas de LM; dentro de la cual se determina los datos de proceso como: productos, capacidad de producción, tiempos de proceso; de los cuales se debe analizar la demanda de producción de modo que se determine el ritmo de trabajo necesario. Dentro de este mismo orden toda la información recopilada y analizada se establece en el VSM “actual”, que sirve como una fuente de inicio y visualización a través del diagrama el flujo de productos, materiales e información.

En el mismo orden la fase 2 planificación implantación LM se establece objetivos concretos, periodos y definición de medios necesarios para la ejecución del trabajo; de la misma forma, se debe establecer los indicadores claves del proceso de manera que permita medir la mejora u optimización de la línea de producción. Por otra parte, se realiza la selección del área piloto esto es necesario ya que la manufactura esbelta realiza cambios grandes por lo que es aconsejable realizar la aplicación de las herramientas LM por áreas o líneas bien delimitadas.

Ahora bien, en la fase 3 el lanzamiento se realiza mediante cambios fundamentales en los medios materiales y la gestión operativa; como primer paso, se recomienda que se busque cambios radicales, rápidos y motivados que guíen la implementación del resto de su sistema. Dentro de las herramientas clave para realizar cambios radicales se tiene el balanceo de la línea: herramienta que permite optimizar el proceso de producción buscando la mejor ruta de cada actividad eliminando desperdicios además reducción de tiempos de proceso mediante los estallidos Kaizen, asimismo en ocasiones es necesario realizar un rediseño del layout de la línea de proceso; también estos cambios pueden ser ejecutados mediante la implementación de herramientas y mejoras e los manejos de materiales.

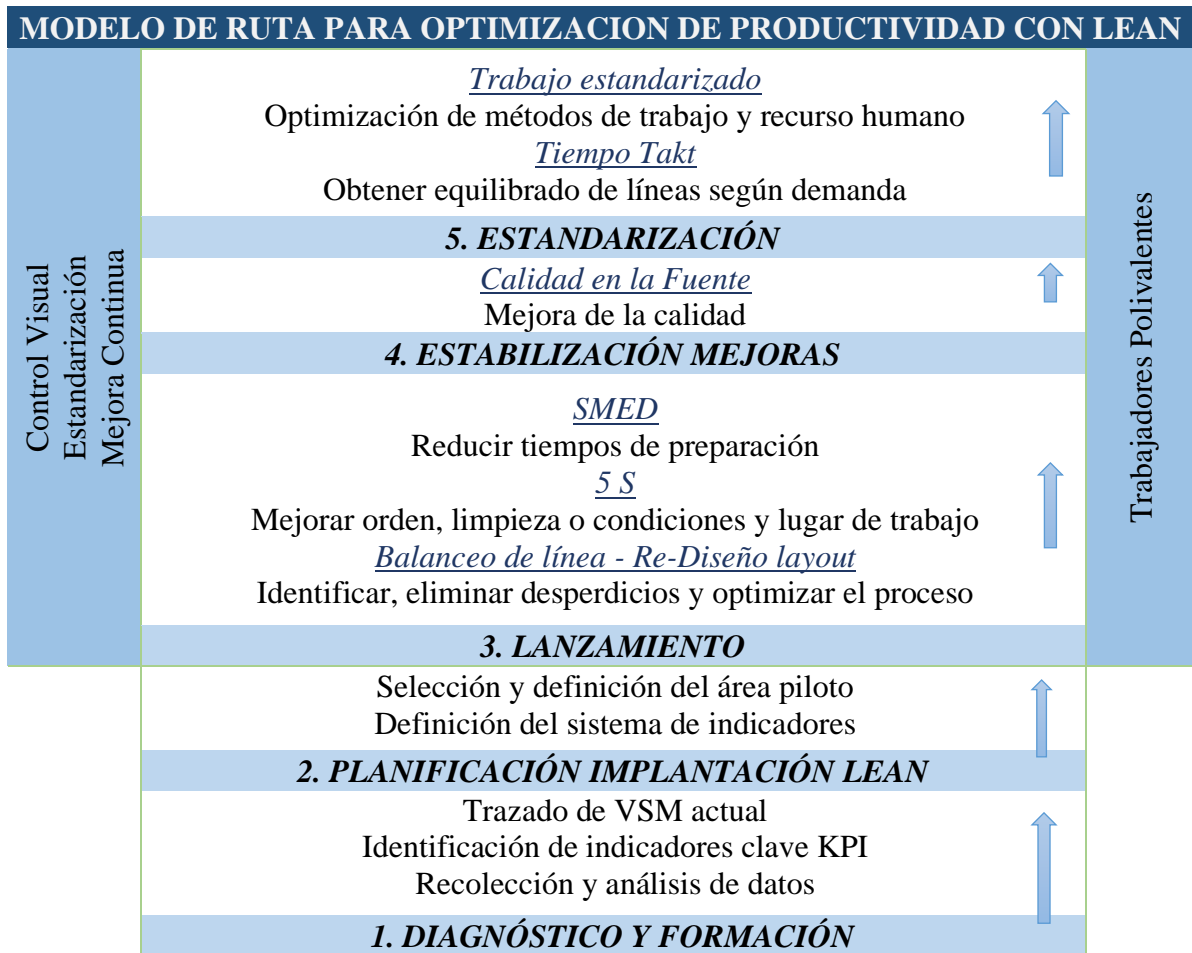
Posterior en la fase 4 la estabilización de mejoras tiene el objeto de reducir los desperdicios mediante la implantación del método de la calidad en la fuente; de este modo permite estabilizar el proceso incrementando el nivel de confianza de la línea de ensamble. Finalmente, en la fase 5 la estandarización permite optimizar los métodos de trabajo, diseñar la polivalencia del recurso humano, así como minimizar la curva de aprendizaje. Por otra parte, permite diseñar métodos de trabajo capaces de adaptarse a las variaciones de la demanda, mediante la aplicación del tiempo takt que ajusta la línea de producción a la demanda del cliente siendo pilar fundamental poseer los trabajadores multifuncionales.

#### **4.7. Modelo de Simulación**

En esta sección se detalla el modelo de simulación propuesto desde la descripción del modelo, recolección de datos, análisis de datos obtenidos del procesamiento del modelo de la línea de ensamble de puertas de refrigeración.

El objeto de la simulación es para visualizar el proceso de la línea de montaje en los diferentes escenarios de forma rápida y sencilla, de modo que se analice los datos de la aplicación de las herramientas de la manufactura esbelta en el proceso de producción, asimismo permite validar la información de las mejoras de la productividad planteadas con la implementación de las técnicas LM.

Tabla 28. MODELO DE APLICACIÓN LM



#### 4.7.1. Descripción del Modelo

El modelo de simulación de la optimización de productividad de la línea de ensamble se realiza en Flexsim versión 2019; en el mismo que se representa las diferentes estaciones de ensamble por medio de objetos que ilustran el procesamiento del material de acuerdo con el proceso dado en la figura 19; asimismo dentro de la simulación se agregan dashboard que registran los resultados de la simulación; en la figura 24 se muestra la pantalla de la simulación del modelo propuesto.

#### 4.7.2. Parámetros del modelo

Los parámetros de entrada del modelo de simulación corresponden a los datos de entrada, del cual se desagrega las variables no controladas y las variables de decisión controladas; asimismo por otra parte se detalla las variables de salida o los datos resultantes de la simulación.

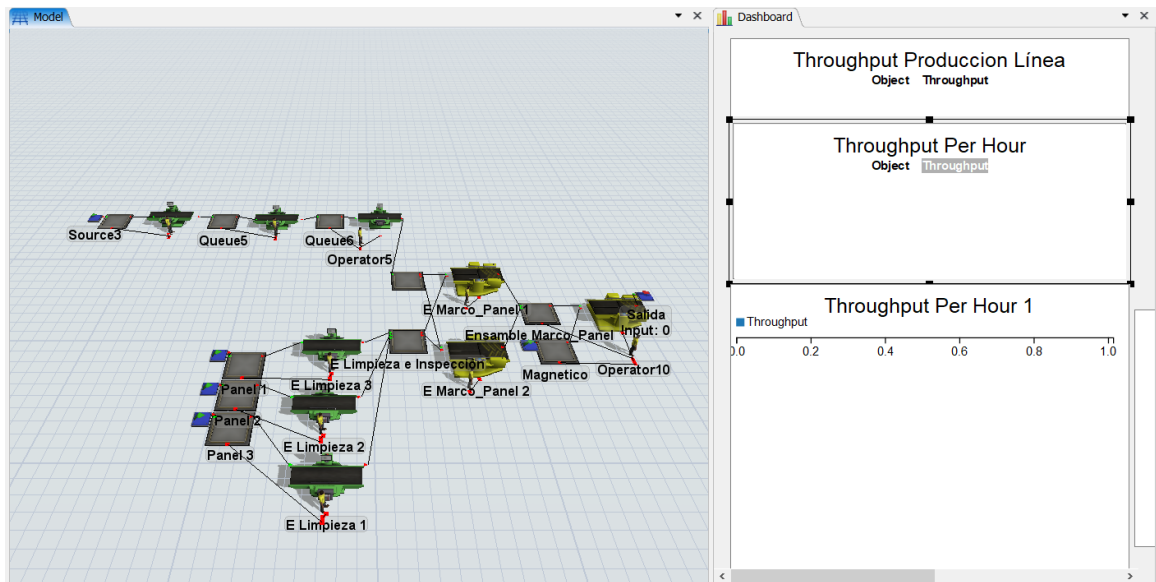


Figura 24. Simulación proceso Flexsim

Del modelo se considera las siguientes variables no controladas:

Tiempo de ciclo de proceso: debido a que existe variabilidad al ser un proceso de ensamble manual se analiza la distribución que representa los datos.

Del modelo se considera las siguientes variables controladas:

Arribos de piezas y partes: cantidad de paneles que llegan a la línea en los racks móviles.

Tiempo programado: se considera el tiempo programado por turno para arranque y paralización del proceso, periodos de descanso o alimentación.

Operarios: número de personas o recurso humano por cada estación de ensamble.

Estaciones: número de actividades o procesos para la línea de montaje.

La variable tiempo programado y arribo de piezas y partes se considera como variables de decisión y que varían de acuerdo con la planificación de la producción y a la demanda a cumplir.

#### 4.7.3. Medidas de desempeño

Para evaluar el modelo de simulación se define las medidas de desempeño que representan las variables de salida ilustradas en la figura 25, teniendo para este modelo las siguientes: Throughput del proceso que indica las unidades ensambladas durante el tiempo programado para el proceso de la línea de ensamble; producción por hora que indica las unidades o puertas producidas por cada hora transcurrida durante el tiempo

programado en el proceso; finalmente el tiempo de ciclo promedio, mínimo y máximo por cada estación de montaje.

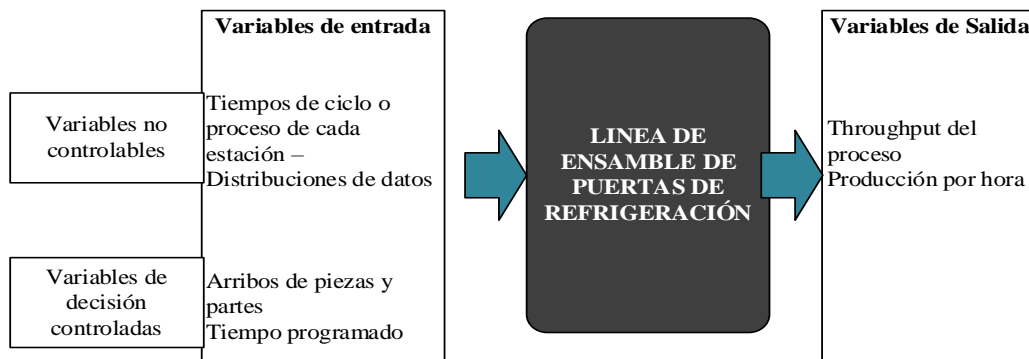


Figura 25. Caja negra línea de ensamblaje

#### 4.7.4. Distribución de datos para simulación

Se ilustra la tabla 29 con las muestras los tiempos estándar obtenidos en el balanceo de la línea de ensamblaje realizado en el apartado 4.4.2, los cuales son analizados en el software RSTUDIO para realizar el estudio de independencia y posterior a la herramienta EXPERTFIT del software Flexsim para la caracterización de la distribución.

Tabla 29. HOJA DE TIEMPOS DE PROCESO [min/puerta]

<b>HOJA DE TIEMPOS DE PROCESO BALANCEO DE LÍNEA</b>									
<b>Estaciones</b>	<b># Ciclos</b>	<b>T1 (min)</b>	<b>T2 (min)</b>	<b>T3 (min)</b>	<b>T4 (min)</b>	<b>T5 (min)</b>	<b>T6 (min)</b>	<b>T7 (min)</b>	<b>T8 (min)</b>
Limpieza e inspección de panel	C1	14,41	15,11	14,94	15,08	15,16	15,36	15,14	14,88
	C2	15,25	14,88	14,66	14,43	14,88	15,11	14,94	15,08
Ensamble de Marcos	C1	5,40	5,52	5,50	5,37	5,40	5,20	5,35	5,34
	C2	5,45	5,10	5,25	5,17	5,10	5,22	5,30	5,55
Montaje de parte eléctrica	C1	5,30	5,55	5,55	5,29	5,47	5,44	5,39	5,55
	C2	5,30	5,47	5,24	5,50	5,55	5,52	5,49	5,32
Montaje parte adhesiva	C1	5,52	5,55	5,27	5,40	5,49	5,40	5,54	5,55
	C2	5,25	5,39	5,50	5,45	5,49	5,40	5,47	5,35
Ensamble de marco con panel	C1	11,83	11,90	11,78	11,89	11,74	11,87	11,98	11,82
	C2	11,96	11,83	11,96	11,98	11,96	11,92	11,94	11,98
Ensamble de puerta final	C1	5,37	5,34	5,41	5,36	5,46	5,34	5,36	5,46
	C2	5,33	5,41	5,38	5,36	5,34	5,44	5,42	5,40

### Análisis de independencia de datos estación limpieza e inspección de panel

Mediante la ejecución de paquete “tseries” del software R se grafica la figura 26 en la cual se ilustra la variabilidad de los datos y las diferencias obtenidas entre los tiempos de ciclo.

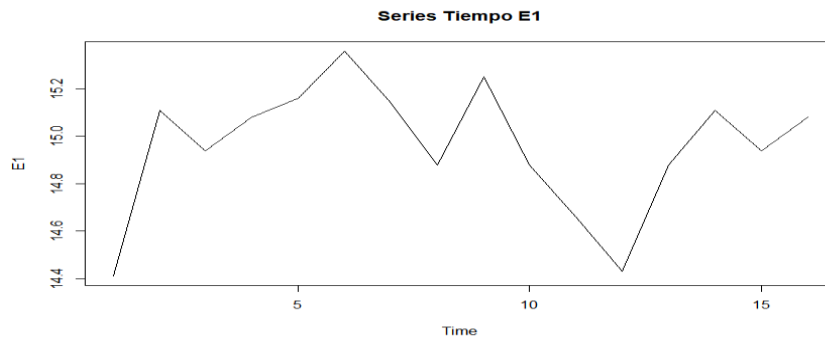


Figura 26. Tiempo de Ciclo - E. Limpieza e Inspección de panel

En el mismo orden se realiza el análisis de la correlación de los datos mediante el correlograma del software R de varios saltos, siendo así representado por la figura 27 en la cual se observa que no existe correlación entre los datos.

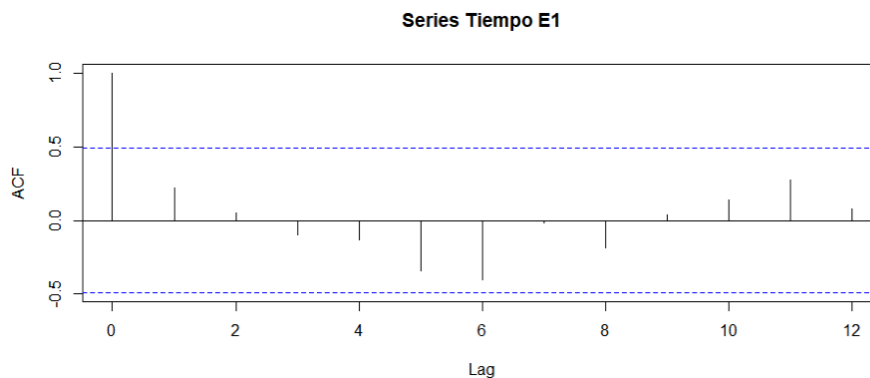


Figura 27. Correlograma Tiempos de E. Limpieza e Inspección de panel

Asimismo, se ejecuta el análisis de aleatoriedad e independencia de los datos ilustrados en la figura 28, para esto mediante el test de rachas de “R” se obtiene un p-value de 0.6048 que indica que los datos son aleatorios y son representativos para el análisis de distribución de probabilidad, y al mismo tiempo se realiza el análisis de independencia mediante el test de “L jung-box” arrojando un p-value de 0.3389 y 0.6159 para los retardos 1 y 2 respectivamente; en efecto no se rechaza la independencia y se determina que las variables son independientes.

```

> # "TEST DE RACHAS"
> runs.test(as.factor(E1 > median(E1))) # Test de aleatoriedad

Runs Test

data: as.factor(E1 > median(E1))
Standard Normal = 0.51755, p-value = 0.6048
alternative hypothesis: two.sided

>
> # "TEST L-JUNG BOX"
> Box.test(E1, lag = 1, type = "Ljung-Box") #Para retardo 1 No se rechaza Independencia.

Box-Ljung test

data: E1
X-squared = 0.91451, df = 1, p-value = 0.3389

> Box.test(E1, lag = 2, type = "Ljung-Box") #Para retardo 2 No se rechaza Independencia.

Box-Ljung test

data: E1
X-squared = 0.96919, df = 2, p-value = 0.6159

```

Figura 28. Análisis de Independencia - E- Limpieza e Inspección de panel

### Caracterización de distribución hipotética

Para la caracterización de la distribución de los datos de tiempo de ciclo de la estación denominada como “limpieza e inspección de panel” se realiza mediante la herramienta EXPERTFIT del software FLEXSIM, la misma que realiza análisis en los 26 modelos con ajustes entre 0.00% a 100.00% a partir de esto se emite el resultado de los 3 mejores análisis, en efecto se ilustra la figura 29 la cual indica que el modelo WEIBULL tiene un ajuste del 94%. Con este análisis se realiza la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov resultando que la hipótesis no se rechaza.

Relative Evaluation of Candidate Models			
Model	Relative Score	Parameters	
1 - Weibull	94.00	Location	0.00000
		Scale	15.07461
		Shape	73.26268
2 - Weibull(E)	92.00	Location	0.02766
		Scale	15.04695
		Shape	73.12762
3 - Beta	91.00	Lower endpoint	13.45449
		Upper endpoint	15.41192
		Shape #1	7.02588
		Shape #2	2.12776

26 models are defined with scores between 0.00 and 94.00

---

**Absolute Evaluation of Model 1 - Weibull**

Evaluation: Good  
Suggestion: Additional evaluations using Comparisons Tab might be informative.  
See Help for more information.

---

**Additional Information about Model 1 - Weibull**

"Error" in the model mean  
relative to the sample mean                    -0.00171 = 0.01%

Figura 29. Evaluación global de modelos candidatos estación limpieza e inspección de panel de ExpertFit

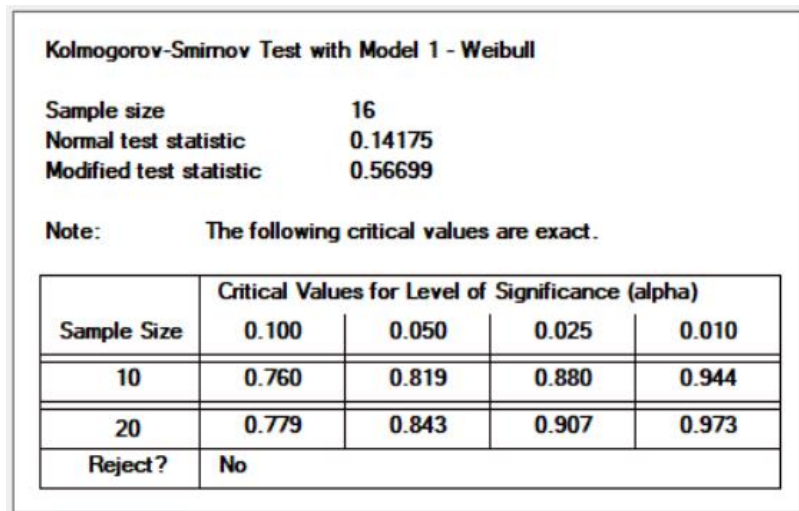


Figura 30. Test de bondad de ajuste - Estación limpieza e inspección de panel

Finalmente se realiza la comparación gráfica del modelo mediante el diagrama de densidad Weibull y los datos, todo esto representado por la figura 31.

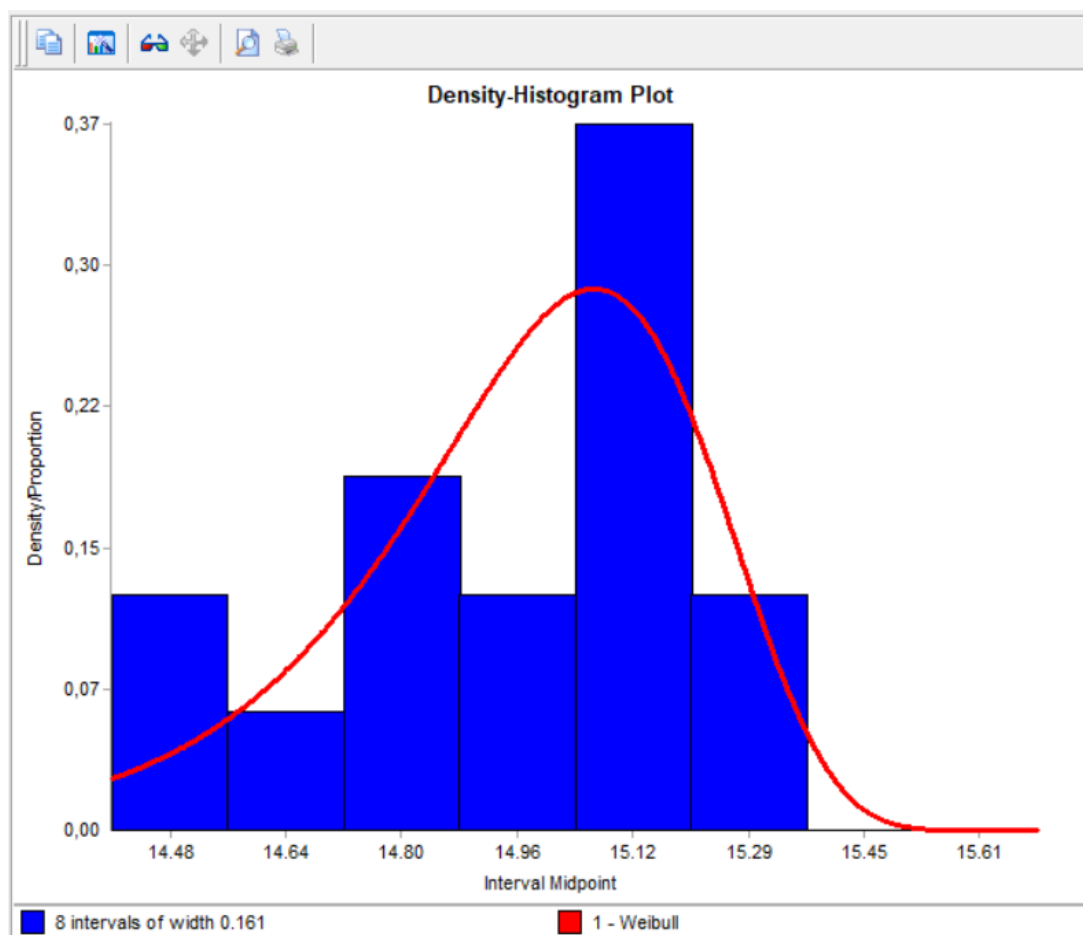


Figura 31. Comparación de datos y distribución Weibull estación de limpieza e inspección de panel



### Análisis de independencia de datos estación ensamble de marcos

Dentro del mismo orden, se realiza el análisis de independencia de datos para la estación de ensamble de marcos mediante la ejecución de paquete “tseries” del software R graficando así la figura 32 la cual ilustra la variabilidad de los datos y las diferencias obtenidas entre los tiempos de ciclo.

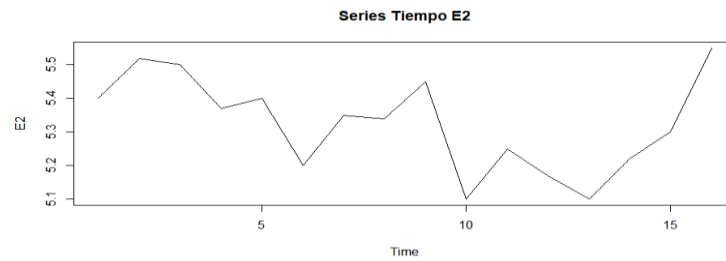


Figura 32. Tiempo de Ciclo - E. Ensamble de marco

Por otra parte, se realiza el análisis de la correlación de los datos mediante el correlograma del software “R” de varios saltos, siendo así representado por la figura 33 en la cual se observa que no existe correlación entre los datos.

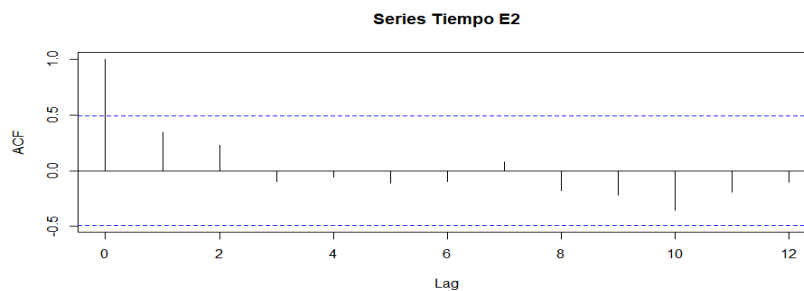


Figura 33. Correlograma Tiempos de E. Ensamble de marco

Asimismo, se ejecuta el análisis de aleatoriedad e independencia de los datos ilustrados en la figura 34, para esto mediante el test de rachas de R se obtiene un p-value de 0.3006 que indica que los datos son aleatorios y son representativos para el análisis de distribución de probabilidad, y al mismo tiempo se realiza el análisis de independencia mediante el test de “L jung-box” arrojando un p-value de 0.1306 y 0.186 para los retardos 1 y 2 respectivamente; en efecto no se rechaza la independencia y se determina que las variables son independientes.

```

> #"TEST DE RACHAS"
> runs.test(as.factor(E2 > median(E2))) # Test de aleatoriedad

Runs Test

data: as.factor(E2 > median(E2))
Standard Normal = -1.0351, p-value = 0.3006
alternative hypothesis: two.sided

>
> #"TEST L-JUNG BOX"
> Box.test(E2, lag = 1, type = "Ljung-Box") #Para retardo 1 No se rechaza Independencia.

Box-Ljung test

data: E2
X-squared = 2.2852, df = 1, p-value = 0.1306

> Box.test(E2, lag = 2, type = "Ljung-Box") #Para retardo 2 No se rechaza Independencia.

Box-Ljung test

data: E2
X-squared = 3.3645, df = 2, p-value = 0.186

```

Figura 34. Análisis de Independencia - E. Ensamble de marco

### Caracterización de distribución hipotética

Siguiendo el análisis de los datos, se realiza la distribución hipotética de los datos mediante la herramienta EXPERTFIT de FLEXSIM resultando una evaluación de 28 modelos los cuales Beta, Johnson SB, Wuebull (E) representados en la figura 35 son los mejores calificados; de esto se escoge el modelo Beta con una calificación de 99.07% para realizar la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov la cual indica que no se rechaza la hipótesis.

Relative Evaluation of Candidate Models			
Model	Relative Score	Parameters	
1 - Beta	99.07	Lower endpoint	5.05305
		Upper endpoint	5.57244
		Shape #1	1.39846
		Shape #2	1.25665
2 - Johnson SB	92.59	Lower endpoint	5.02925
		Upper endpoint	5.58063
		Shape #1	-0.17169
		Shape #2	0.76668
3 - Weibull(E)	89.81	Location	4.63990
		Scale	0.74293
		Shape	5.72256

28 models are defined with scores between 0.93 and 99.07

---

**Absolute Evaluation of Model 1 - Beta**

Evaluation: Good  
Suggestion: Additional evaluations using Comparisons Tab might be informative.  
See Help for more information.

---

**Additional Information about Model 1 - Beta**

"Error" in the model mean  
relative to the sample mean                      -3.6342e-4 = 0.01%

Figura 35. Evaluación global de modelos candidatos estación ensamble de marcos de ExpertFit

Kolmogorov-Smirnov Test with Model 1 - Beta					
Sample size	16				
Normal test statistic	0.09020				
Modified test statistic	0.36079				
Note:	No critical values exist for this special case. The following critical values are for the case where all parameters are known, and are conservative.				
Sample Size	Critical Values for Level of Significance (alpha)				
	0.150	0.100	0.050	0.025	0.010
16	1.098	1.180	1.310	1.427	1.570
Reject?	No				

Figura 36. Test de bondad de ajuste - Estación ensamble de marcos

Finalmente se realiza la comparación mediante la gráfica de densidad “Beta” y los datos la cual se representa la figura 37.

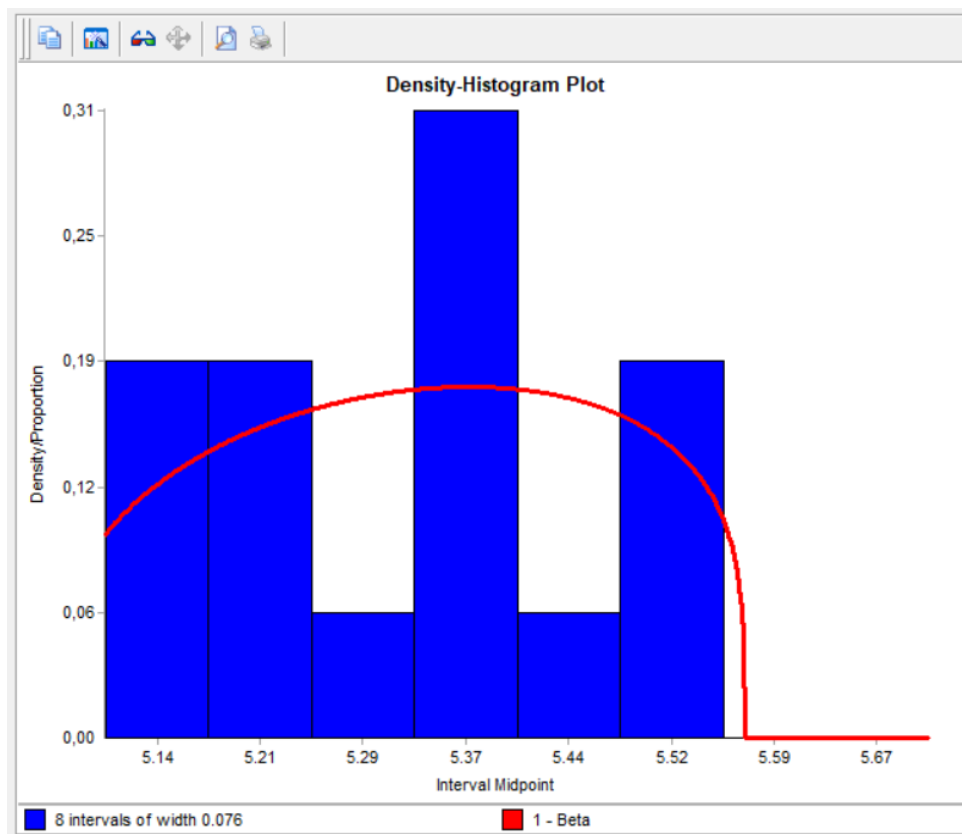


Figura 37. Comparación de datos y distribución estación ensamble de marcos.

### Análisis de independencia de datos estación montaje parte eléctrica (E3)

Mediante la ejecución de paquete “tseries” del software R se grafica la figura 38 en la cual se ilustra la variabilidad de los datos y las diferencias obtenidas entre los tiempos de ciclo.

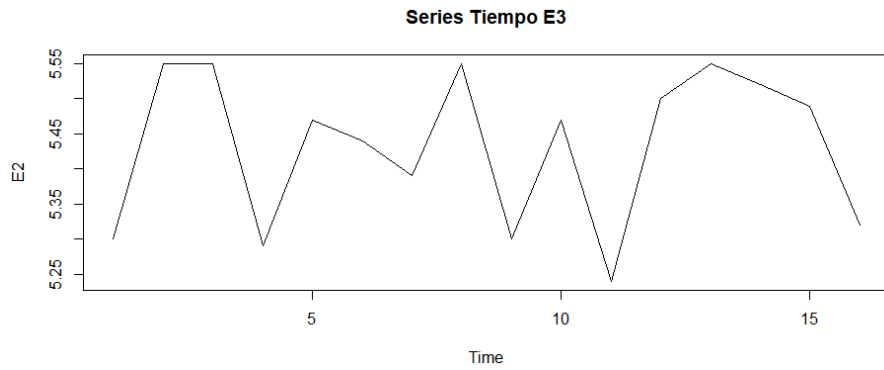


Figura 38. Tiempo de Ciclo - E. Montaje Parte eléctrica

En el mismo orden se realiza el análisis de la correlación de los datos mediante el correlograma del software R de varios saltos, siendo así representado por la figura 39 en la cual se observa que no existe correlación entre los datos.

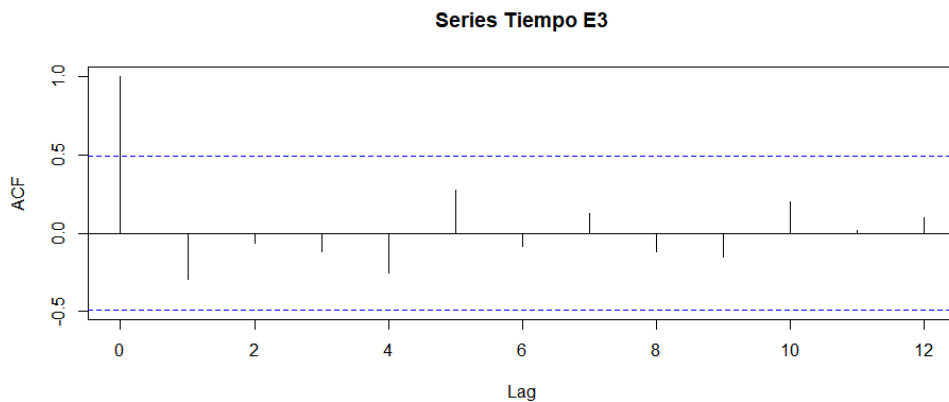


Figura 39. Correlograma Tiempos de E. Montaje parte eléctrica

Asimismo, se ejecuta el análisis de aleatoriedad e independencia de los datos ilustrados en la figura 40, para esto mediante el test de rachas de R se obtiene un p-value de 0.3237 que indica que los datos son aleatorios y son representativos para el análisis de distribución de probabilidad, y al mismo tiempo se realiza el análisis de independencia mediante el test de “L jung-box” arrojando un p-value de 0.1982 y 0.4193 para los retardos 1 y 2 respectivamente; en efecto no se rechaza la independencia y se determina que las variables son independientes.

```

> # "TEST DE RACHAS"
> runs.test(as.factor(E3 > median(E3))) # Test de aleatoriedad

Runs Test

data: as.factor(E3 > median(E3))
Standard Normal = -0.98693, p-value = 0.3237
alternative hypothesis: two.sided

> # "TEST L-JUNG BOX"
> Box.test(E3, lag = 1, type = "Ljung-Box") #Para retardo 1 No se rechaza Independencia.

Box-Ljung test

data: E3
X-squared = 1.6556, df = 1, p-value = 0.1982

> Box.test(E3, lag = 2, type = "Ljung-Box") #Para retardo 2 No se rechaza Independencia.

Box-Ljung test

data: E3
X-squared = 1.7385, df = 2, p-value = 0.4193

```

Figura 40. Análisis de Independencia - E. Montaje parte eléctrica

### Caracterización de distribución hipotética

Para la caracterización de la distribución de los datos de tiempo de ciclo de la estación denominada como “montaje de parte eléctrica” se realiza mediante la herramienta EXPERTFIT del software FLEXSIM, la misma que realiza análisis en los 26 modelos con ajustes entre 1.00% a 99.00% a partir de esto se emite el resultado de los 3 mejores análisis, en efecto se ilustra la figura 41 la cual indica que el modelo JOHNSON SB tiene un ajuste del 99%. Con este análisis se realiza la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov resultando que la hipótesis no se rechaza

Relative Evaluation of Candidate Models			
Model	Relative Score	Parameters	
1 - Johnson SB	99.00	Lower endpoint	5.23439
		Upper endpoint	5.55807
		Shape #1	-0.35703
		Shape #2	0.45349
2 - Beta	97.00	Lower endpoint	5.23308
		Upper endpoint	5.55702
		Shape #1	0.88874
		Shape #2	0.57678
3 - Weibull	88.00	Location	0.00000
		Scale	5.48253
		Shape	65.98412

26 models are defined with scores between 1.00 and 99.00

---

**Absolute Evaluation of Model 1 - Johnson SB**

Evaluation: Good  
 Suggestion: Additional evaluations using Comparisons Tab might be informative.  
 See Help for more information.

---

**Additional Information about Model 1 - Johnson SB**

"Error" in the model mean  
 relative to the sample mean                      0.00106 = 0.02%

Figura 41. Evaluación global de modelos candidatos estación montaje parte eléctrica de ExpertFit

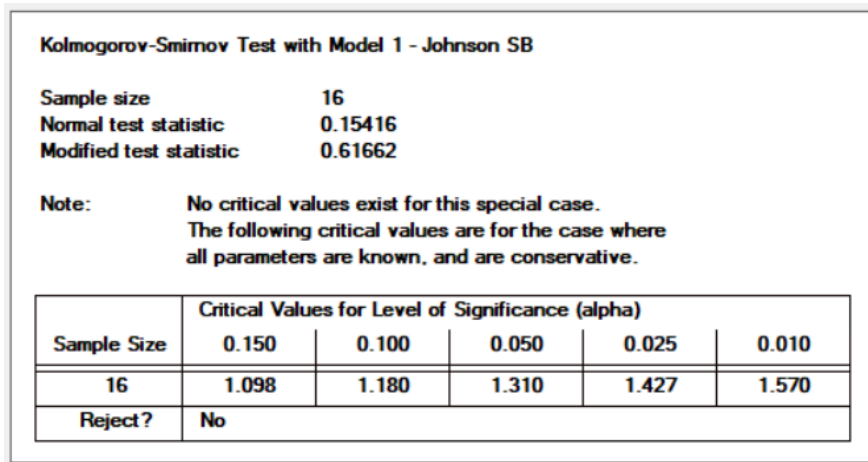


Figura 42. Test de bondad de ajuste - Estación montaje parte eléctrica

En el mismo orden se realiza la comparación grafica mediante el trazado del diagrama de densidad en comparación con los datos, para esto se presenta la figura 43 la cual se observa como los datos siguen la distribución hipotética.

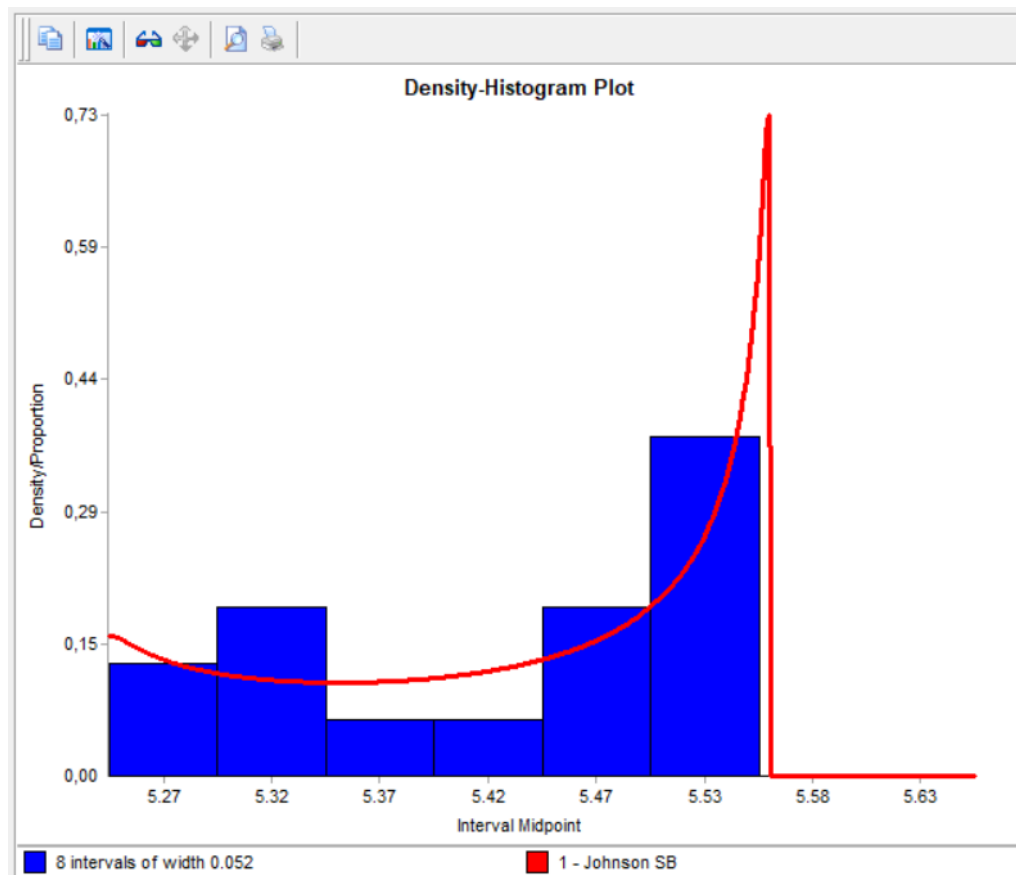


Figura 43. Comparación de datos y distribución estación montaje parte eléctrica

### Análisis de independencia de datos estación montaje parte adhesivo (E4)

Con los datos de los tiempos de ciclo de la estación de montaje de la parte adhesiva de la puerta, se realiza el análisis de la independencia de los datos mediante la ejecución de paquete “tseries” del software R resultando la figura 44 en la cual se ilustra la variabilidad de los datos y las diferencias obtenidas entre los tiempos de ciclo para las estaciones de montaje de parte adhesiva

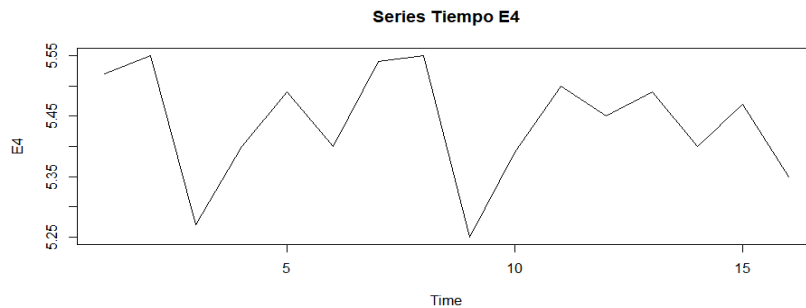


Figura 44. Tiempo de Ciclo - E. Montaje parte adhesiva

Posterior se realiza el análisis de la correlación de los datos mediante el correlograma del software R de varios saltos, siendo así representado por la figura 45 en la cual se observa que no existe correlación entre los datos para las estaciones de montaje de parte adhesiva.

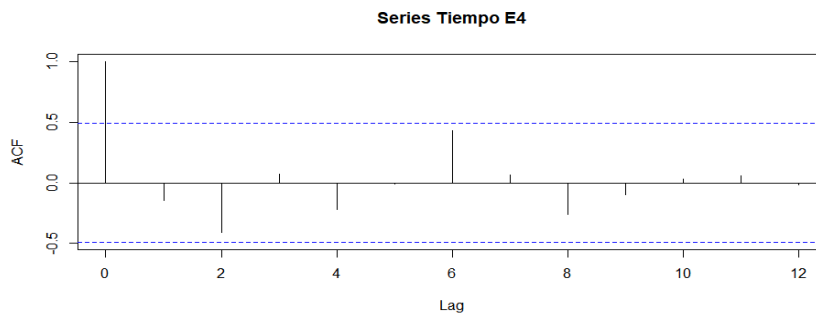


Figura 45. Correlograma Tiempos de E. Montaje parte adhesiva

Asimismo, se realiza el test de independencia para la estación en análisis obteniendo un p-value 0.1205 para la aleatoriedad y para la independencia un p-value 0.5169 y 0.1471 para los retardos 1 y 2 respectivamente; en efecto no se rechaza la independencia y se determina que las variables son independientes, todo esto ilustrado por la figura 46.

```

> # "TEST DE RACHAS"
> runs.test(as.factor (E4 > median(E4))) # Test de aleatoriedad

Runs Test

data: as.factor(E4 > median(E4))
Standard Normal = 1.5526, p-value = 0.1205
alternative hypothesis: two.sided

>
> # "TEST L-JUNG BOX"
> Box.test(E4, lag = 1, type = "Ljung-Box") #Para retardo 1 No se rechaza Independencia.

Box-Ljung test

data: E4
X-squared = 0.42008, df = 1, p-value = 0.5169

> Box.test(E4, lag = 2, type = "Ljung-Box") #Para retardo 2 No se rechaza Independencia.

Box-Ljung test

data: E4
X-squared = 3.8337, df = 2, p-value = 0.1471

```

Figura 46. Análisis de Independencia - E. montaje parte adhesiva

### Caracterización de distribución hipotética

Después de ejecutar el análisis de independencia y aleatoriedad de los datos, se presenta la caracterización de la distribución hipotética los datos esto utilizando la herramienta EXPERTFIT de FLEXSIM resultando un análisis de 26 modelos dando Beta con una calificación del 100% como se muestra en la figura 47. Posterior se realiza la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov de la cual no se rechaza la hipótesis.

Relative Evaluation of Candidate Models			
Model	Relative Score	Parameters	
1 - Beta	100.00	Lower endpoint	5.19967
		Upper endpoint	5.55716
		Shape #1	1.75000
		Shape #2	0.87536
2 - Johnson SB	95.00	Lower endpoint	5.20098
		Upper endpoint	5.56588
		Shape #1	-0.60838
		Shape #2	0.71552
3 - Weibull	80.00	Location	0.00000
		Scale	5.48023
		Shape	77.41751

26 models are defined with scores between 1.00 and 100.00

---

**Absolute Evaluation of Model 1 - Beta**

Evaluation: Good  
Suggestion: Additional evaluations using Comparisons Tab might be informative.  
See Help for more information.

---

**Additional Information about Model 1 - Beta**

"Error" in the model mean  
relative to the sample mean                      7.8778e-4 = 0.01%

Figura 47. Evaluación global de modelos candidatos estación montaje parte adhesiva de ExpertFit



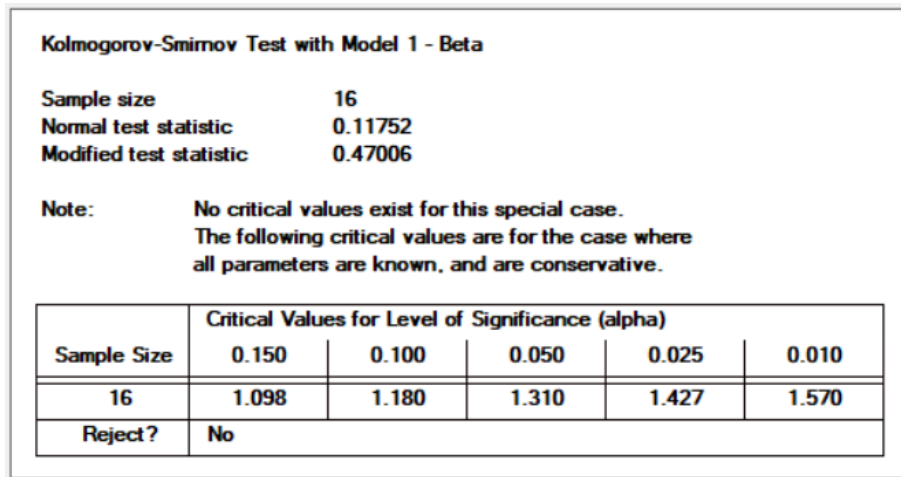


Figura 48. Test de bondad de ajuste - Estación montaje parte adhesiva

Finalmente se realiza la comparación de la distribución Beta con los datos los mismos representados en la figura 49, ilustrando el seguimiento de la distribución con respecto a los datos.

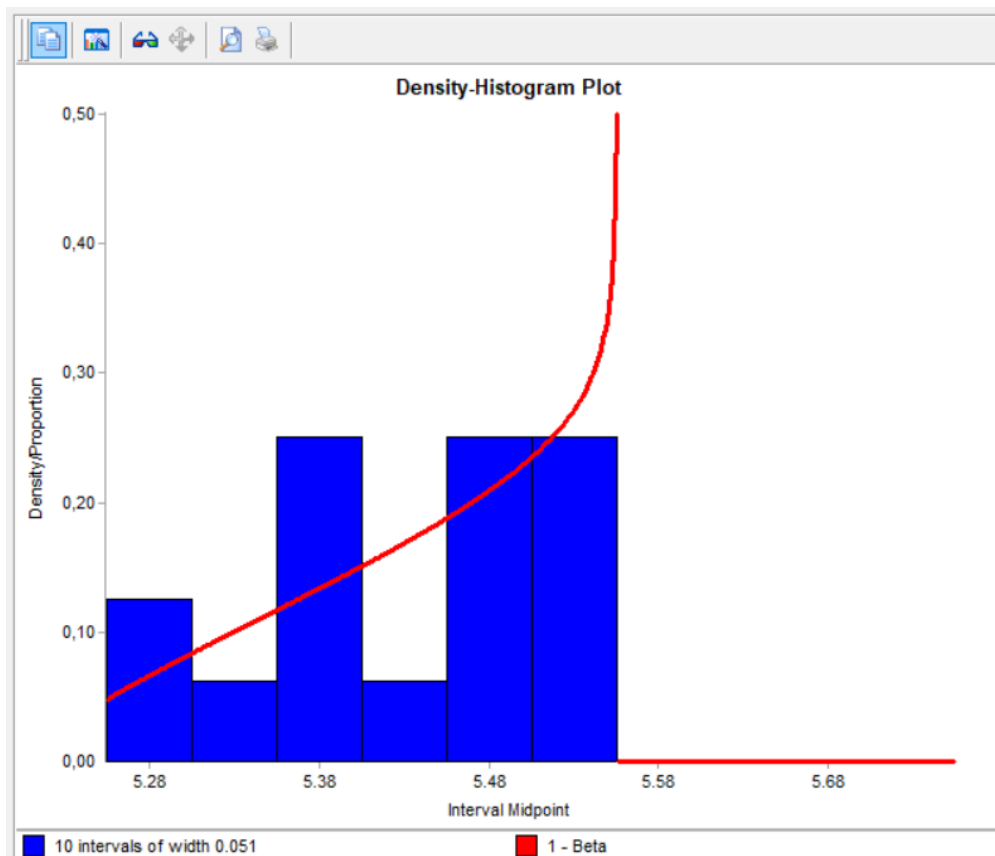


Figura 49. Comparación de datos y distribución estación montaje parte adhesiva

### Análisis de independencia de datos estación ensamble de panel con marco (E5)

Con los datos de los tiempos de ciclo de la estación ensamble de panel con marco, se realiza el análisis de la independencia de los datos mediante la ejecución de paquete “tseries” del software R resultando la figura 50 en la cual se ilustra la variabilidad de los datos y las diferencias obtenidas entre los tiempos de ciclo para las estaciones de montaje de parte adhesiva

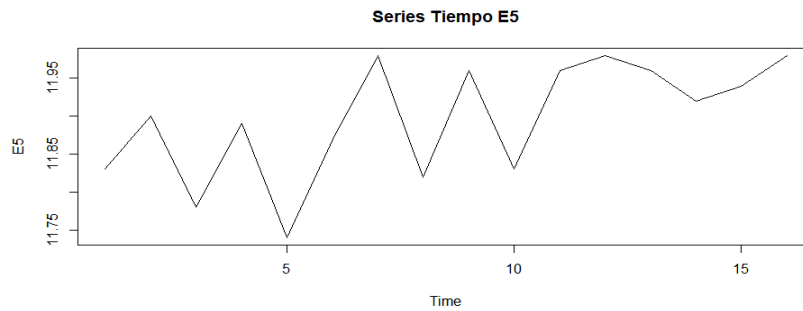


Figura 50. Tiempo de Ciclo - E. Ensamble de marco con panel

Posterior se realiza el análisis de la correlación de los datos mediante el correlograma del software R de varios saltos, siendo así representado por la figura 51 en la cual se observa que no existe correlación entre los datos para las estaciones de montaje de parte adhesiva.

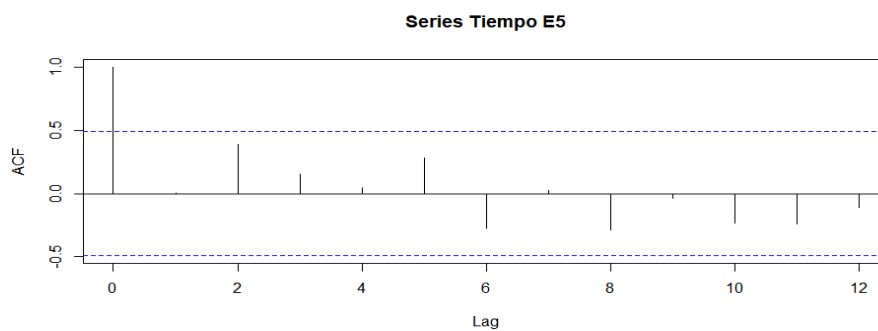


Figura 51. Correlograma Tiempos de E. Ensamble de marco con panel

Asimismo, se realiza el test de independencia para la estación en análisis obteniendo un p-value 0.1205 para la aleatoriedad y para la independencia un p-value 0.9951 y 0.21 para los retardos 1 y 2 respectivamente; en efecto no se rechaza la independencia y se determina que las variables son independientes, todo esto ilustrado por la figura 52.

```

> #"TEST DE RACHAS"
> runs.test(as.factor(E5 > median(E5))) # Test de aleatoriedad

Runs Test

data: as.factor(E5 > median(E5))
Standard Normal = -1.5526, p-value = 0.1205
alternative hypothesis: two.sided

> #"TEST L-JUNG BOX"
> Box.test(E5, lag = 1, type = "Ljung-Box") #Para retardo 1 No se rechaza Independencia.

Box-Ljung test

data: E5
X-squared = 3.6954e-05, df = 1, p-value = 0.9951

> Box.test(E5, lag = 2, type = "Ljung-Box") #Para retardo 2 No se rechaza Independencia.

Box-Ljung test

data: E5
X-squared = 3.1216, df = 2, p-value = 0.21

```

Figura 52. Análisis de Independencia - E. ensamble de marco con panel

### Caracterización de distribución hipotética

Para la caracterización de la distribución de los datos de tiempo de ciclo de la estación denominada como “ensamble de panel con marco” se realiza mediante la herramienta EXPERTFIT del software FLEXSIM, la misma que realiza análisis en los 26 modelos con ajustes entre 1.00% a 100% a partir de esto se emite el resultado de los 3 mejores análisis, en efecto se ilustra la figura 53 la cual indica que el modelo JOHNSON SB tiene un ajuste del 100%. Con este análisis se realiza la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov resultando que la hipótesis no se rechaza

Relative Evaluation of Candidate Models			
Model	Relative Score	Parameters	
1 - Johnson SB	100.00	Lower endpoint	11.72315
		Upper endpoint	11.99205
		Shape #1	-0.52029
		Shape #2	0.61609
2 - Beta	95.00	Lower endpoint	11.69031
		Upper endpoint	11.99504
		Shape #1	2.10894
		Shape #2	1.03139
3 - Weibull	79.00	Location	0.00000
		Scale	11.93094
		Shape	207.23715

26 models are defined with scores between 1.00 and 100.00

---

**Absolute Evaluation of Model 1 - Johnson SB**

Evaluation: Good  
Suggestion: Additional evaluations using Comparisons Tab might be informative.  
See Help for more information.

---

**Additional Information about Model 1 - Johnson SB**

"Error" in the model mean  
relative to the sample mean      9.0926e-4 = 0.01%

Figura 53. Evaluación global de modelos candidatos estación ensamble de panel con marco de ExpertFit

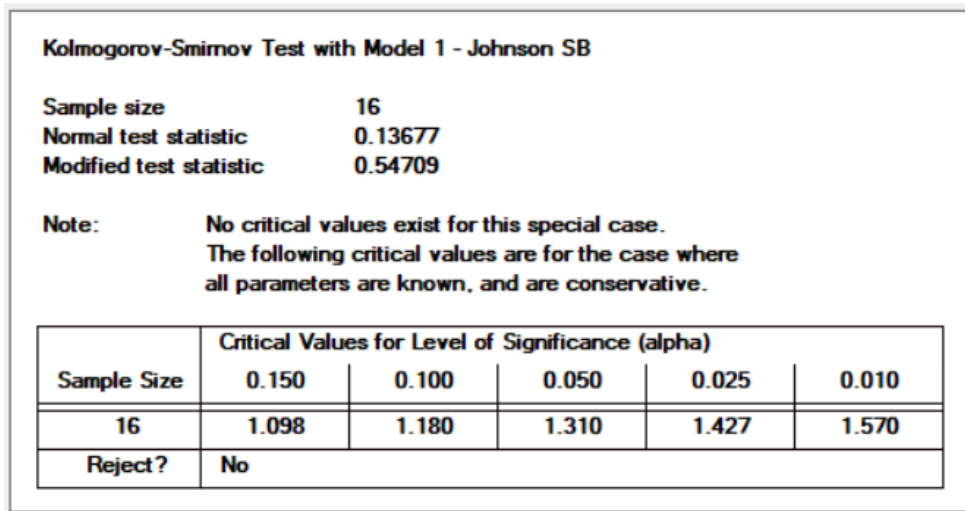


Figura 54. Test de bondad de ajuste - Estación de ensamble de panel con marco

Finalmente se realiza la comparación de la distribución Johnson con los datos los mismos representados en la figura 55, ilustrando el seguimiento de la distribución con respecto a los datos.

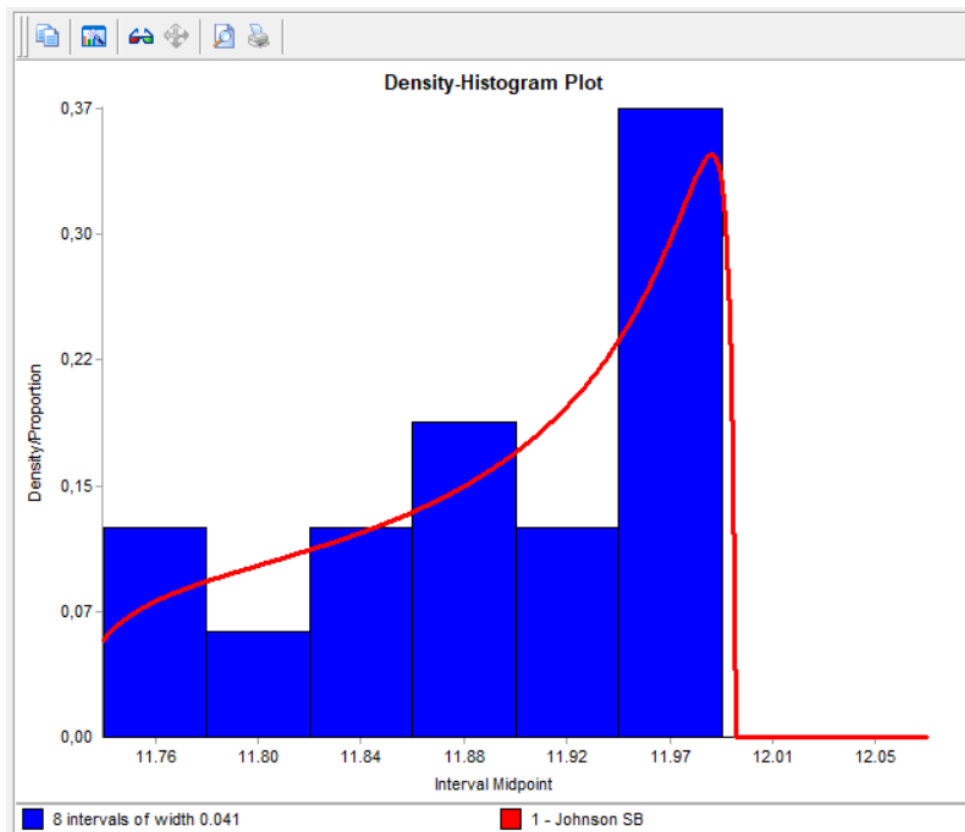


Figura 55. Comparación de datos y distribución estación ensamble de panel con marco

### Análisis de independencia de datos estación de ensamble final

Mediante la ejecución de paquete “tseries” del software R se grafica la figura 56 en la cual se ilustra la variabilidad de los datos y las diferencias obtenidas entre los tiempos de ciclo.

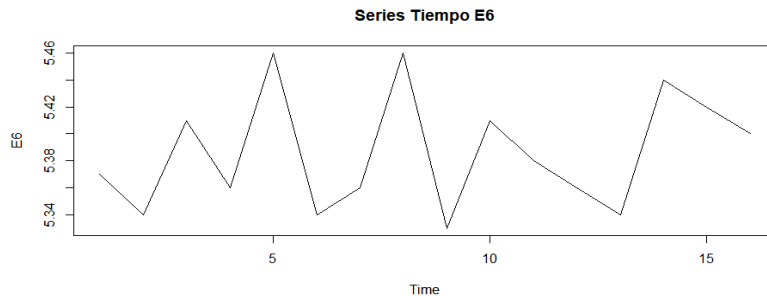


Figura 56. Tiempo de Ciclo - E. Ensamble Final

En el mismo orden se realiza el análisis de la correlación de los datos mediante el correlograma del software R de varios saltos, siendo así representado por la figura 57 en la cual se observa que no existe correlación entre los datos.

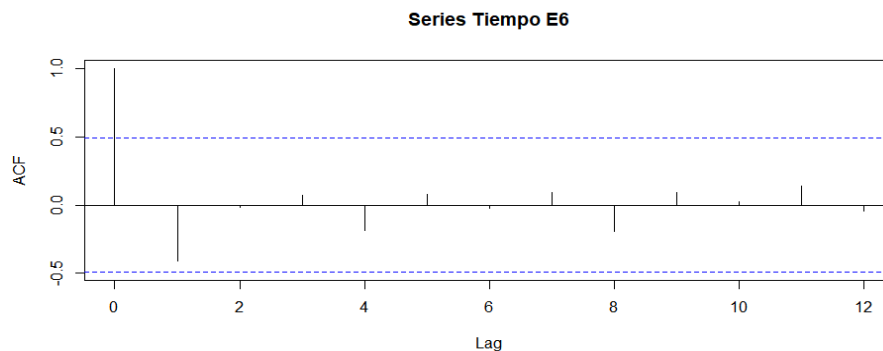


Figura 57. Correlograma Tiempos de E. Ensamble final

Finalmente, se ejecuta el análisis de aleatoriedad e independencia de los datos ilustrados en la figura 58, para esto mediante el test de rachas de R se obtiene un p-value de 0.6048 que indica que los datos son aleatorios y son representativos para el análisis de distribución de probabilidad, y al mismo tiempo se realiza el análisis de independencia mediante el test de “L jung-box” arrojando un p-value de 0.7366 y 0.2012 para los retardos 1 y 2 respectivamente; en efecto no se rechaza la independencia y se determina que las variables son independientes.

```

> #"TEST DE RACHAS"
> runs.test(as.factor(E6 > median(E6))) # Test de aleatoriedad

Runs Test

data: as.factor(E6 > median(E6))
Standard Normal = 0.51755, p-value = 0.6048
alternative hypothesis: two.sided

>
> #"TEST L-JUNG BOX"
> Box.test(E6, lag = 1, type = "Ljung-Box") #Para retardo 1 No se rechaza Independencia.

Box-Ljung test

data: E6
X-squared = 3.1995, df = 1, p-value = 0.07366

> Box.test(E6, lag = 2, type = "Ljung-Box") #Para retardo 2 No se rechaza Independencia.

Box-Ljung test

data: E6
X-squared = 3.2071, df = 2, p-value = 0.2012

```

Figura 58. Análisis de Independencia - E. Ensamble final

### Caracterización de distribución hipotética

Siguiendo el análisis de los datos, se realiza la distribución hipotética de los datos mediante la herramienta EXPERTFIT de FLEXSIM resultando una evaluación de 26 modelos los cuales Johnson SB, Beta y Wuebull representados en la figura 59 son los mejores calificados; de esto se escoge el modelo Jphnson SB con una calificación de 100% para realizar la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov la cual indica que no se rechaza la hipótesis.

Relative Evaluation of Candidate Models			
Model	Relative Score	Parameters	
1 - Johnson SB	100.00	Lower endpoint	11.72315
		Upper endpoint	11.99205
		Shape #1	-0.52029
		Shape #2	0.61609
2 - Beta	95.00	Lower endpoint	11.69031
		Upper endpoint	11.99504
		Shape #1	2.10894
		Shape #2	1.03139
3 - Weibull	79.00	Location	0.00000
		Scale	11.93094
		Shape	207.23715

26 models are defined with scores between 1.00 and 100.00

---

**Absolute Evaluation of Model 1 - Johnson SB**

Evaluation: Good  
 Suggestion: Additional evaluations using Comparisons Tab might be informative.  
 See Help for more information.

---

**Additional Information about Model 1 - Johnson SB**

"Error" in the model mean  
 relative to the sample mean                      9.0926e-4 = 0.01%

Figura 59. Evaluación global de modelos candidatos estación ensamble final de ExpertFit

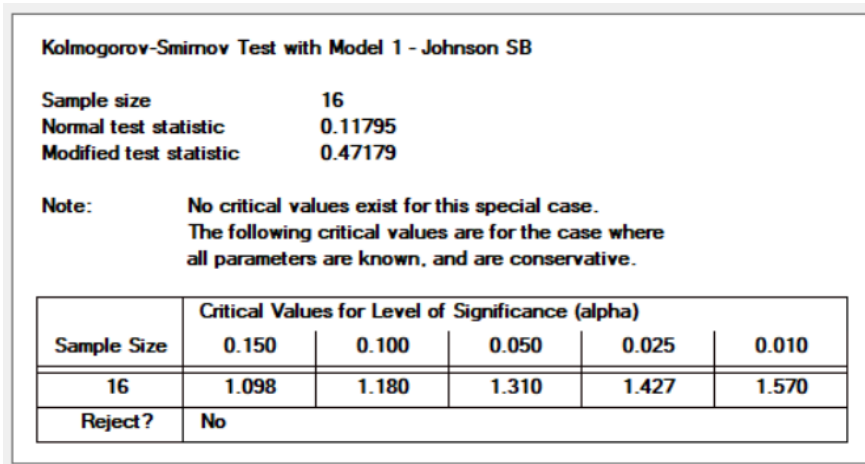


Figura 60. Test de bondad de ajuste - Estación ensamble final

Finalmente se realiza la comparación de la distribución Johnson SB con los datos representando en la figura 61, esto para el ingreso del código de simulación.

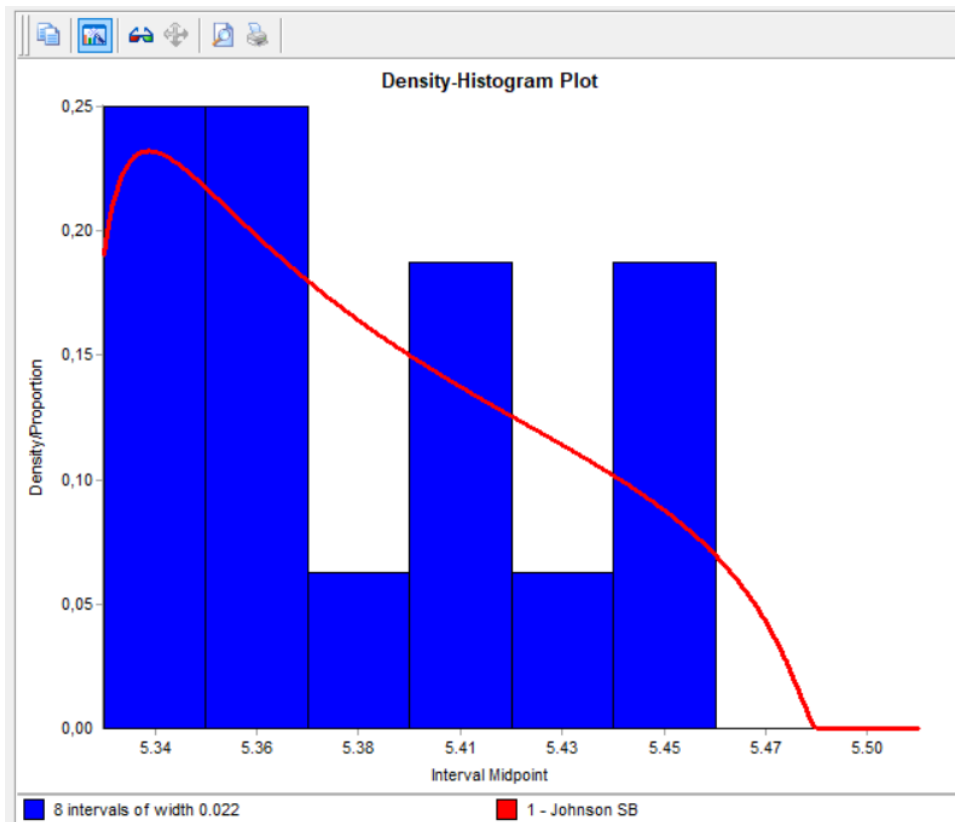


Figura 61. Comparación de datos y distribución estación ensamble final

### Resumen de datos de tiempos de ciclo

En la tabla 30 se detalla los datos obtenidos de cada distribución para las diferentes estaciones de la línea de ensamble, los mismos que se ingresan en el modelo de simulación.

Tabla 30. DETALLE DE PARÁMETROS DE SIMULACIÓN

Estación	Modelo	Tipo	Parámetros
Limpieza e inspección de panel	Weibull	Distribución de probabilidad	weibull( 0.000000, 15.074614, 73.262682, <stream>)
Ensamble de Marcos	Beta	Distribución de probabilidad	beta( 5.053049, 5.572436, 1.398463, 1.256646, <stream>)
Montaje de parte eléctrica	Johnson SB	Distribución de probabilidad	johnsonbounded( 5.234392, 5.558070, -0.357026, 0.453490, <stream>)
Montaje parte adhesiva	Beta	Distribución de probabilidad	beta( 5.199668, 5.557157, 1.750005, 0.875356, <stream>)
Ensamble de marco con panel	Johnson SB	Distribución de probabilidad	johnsonbounded( 11.213874, 11.471524, -0.516141, 0.617853, <stream>)
Ensamble de puerta final	Johnson SB	Distribución de probabilidad	johnsonbounded( 5.323958, 5.484427, 0.450322, 0.713095, <stream>)

#### 4.7.5. Diseño de modelo

La simulación del modelo se diseña mediante Flexsim con el uso de procesadores, entidad de ensamble o “combiner”. Primeramente se realiza la ubicación de todas las estaciones o locaciones en el software las mismas que tendrán la disposición y ubicaciones de la línea de ensamble de puertas de refrigeración, en efecto se representa la tabla 31 y 32 con la relación de las estaciones de montaje y las locaciones de simulación.

Tabla 31. RELACIÓN RECURSO FLEXSIM CON LÍNEA DE ENSAMBLE

Estación	Recurso Flexsim	Característica
Entrada de Panel	Source	Abastecimiento de paneles
Rack	Queue	Sin Límite de Capacidad
Limpieza e inspección de panel	Processor	Distribución de probabilidad
Ensamble de Marcos	Processor	Distribución de probabilidad



Tabla 32. RELACIÓN RECURSO FLEXXSIM CON LÍNEA DE ENSAMBLE (CONTINUACIÓN)

Estación	Recurso Flexsim	Característica
Montaje de parte eléctrica	Processor	Distribución de probabilidad
Montaje parte adhesiva	Processor	Distribución de probabilidad
Ensamble de marco con panel	Combiner	Distribución de probabilidad
Ensamble de puerta final	Combiner	Distribución de probabilidad
Producto Terminado	Sink	Final del Proceso

Posterior a la ubicación de los recursos en Flexsim se procede a realizar las interconexiones entre los diferentes objetos de acuerdo con el flujo de la línea de ensamble, todo esto se muestra en la figura 62.

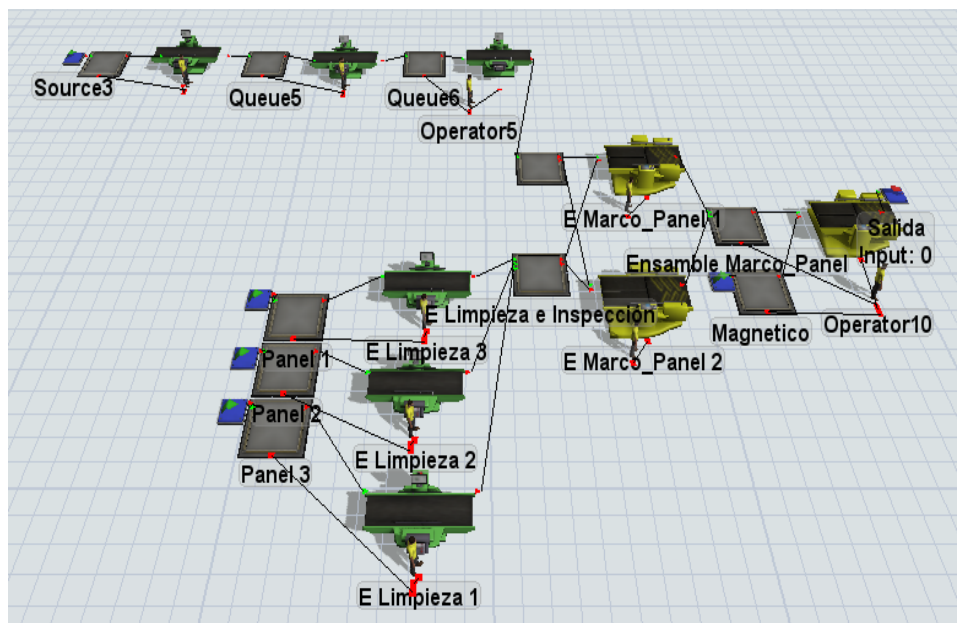


Figura 62. Conexiones simulación de proceso

En el mismo orden, se selecciona los dashboard que permiten visualizar los datos deseados de la simulación, ante esto se detalla la tabla 33 que muestra las diferentes medidas de desempeño seleccionadas para la evaluación como: el Throughput o salidas de producto terminado de la línea de ensamble, la producción por hora de cada estación o proceso, así como el tiempo de ciclo de cada estación o proceso de montaje.

Tabla 33. MEDIDAS DE DESEMPEÑO SIMULACIÓN DE MODELO PROPUESTO

<b>MEDIDA DE DESEMPEÑO</b>	<b>RECURSO DASHBOARD</b>	<b>CONEXIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Throughput del proceso	Cartilla Throughput	Ensamble final	Mide la cantidad de puertas ensambladas en el tiempo de simulación
Producción por hora	Cartilla Throughput	Limpieza e inspección de panel	Mide la cantidad de puertas por hora que produce el proceso en el tiempo de simulación
		Ensamble de marcos	Mide la cantidad de puertas por hora que produce la estación en el tiempo de simulación
		Montaje parte eléctrica	Mide la cantidad de puertas por hora que produce la estación en el tiempo de simulación
		Montaje parte adhesiva	Mide la cantidad de puertas por hora que produce la estación en el tiempo de simulación
		Ensamble de marco con panel	Mide la cantidad de puertas por hora que produce el proceso en el tiempo de simulación
		Ensamble final	Mide la cantidad de puertas por hora que produce la estación en el tiempo de simulación
Tiempo de ciclo promedio	Carilla Staytime	Limpieza e inspección de panel	Mide el tiempo de ciclo promedio de producción por unidad
		Ensamble de marcos	Mide el tiempo de ciclo promedio de producción por unidad
		Montaje parte eléctrica	Mide el tiempo de ciclo promedio de producción por unidad
		Montaje parte adhesiva	Mide el tiempo de ciclo promedio de producción por unidad
		Ensamble de marco con panel	Mide el tiempo de ciclo promedio de producción por unidad
		Ensamble final	Mide el tiempo de ciclo promedio de producción por unidad

#### 4.7.6. Estadísticas simulaciones.

Se realiza la simulación del modelo propuesto durando los 470 minutos asignados para la operación; se inicia con 10 réplicas del modelo dando un resultado de 76 [puertas/día] en cada replica de la línea de ensamble, asimismo se ilustra la tabla 34 y 35 que indica los tiempos de ciclo de cada una de las estaciones del modelo.

Tabla 34. DATOS SIMULACIÓN MODELO

# Replicación	Limpieza de Panel			Ensamble de Marco	Montaje parte eléctrica	Montaje parte adhesiva
	E1-1	E1-2	E1-3	E2	E3	E4
1	14,4	14,36	14,3	5,41	5,48	5,5
2	14,44	14,38	14,43	5,39	5,5	5,51
3	14,33	14,44	14,41	5,39	5,5	5,49
4	14,33	14,38	14,4	5,39	5,48	5,52
5	14,29	14,4	14,39	5,35	5,5	5,49
6	14,31	14,35	14,43	5,41	5,49	5,5
7	14,35	14,34	14,42	5,39	5,49	5,49
8	14,28	14,39	14,39	5,4	5,5	5,5
9	14,33	14,39	14,41	5,38	5,49	5,5
10	14,37	14,39	14,38	5,39	5,5	5,5
<b>Promedio</b>	14,96	14,96	14,96	5,33	5,43	5,44

Tabla 35. DATOS SIMULACIÓN MODELO (CONTINUACIÓN)

# Replicación	Ensamble marco con panel		Ensamble final	Throughput [puertas)
	E5-1	E5-2	E6	
1	11,38	11,4	5,26	76
2	11,4	11,42	5,24	76
3	11,38	11,4	5,26	76
4	11,38	11,44	5,26	76
5	11,38	11,42	5,26	76
6	11,36	11,42	5,26	76
7	11,4	11,42	5,26	76
8	11,38	11,44	5,24	76
9	11,4	11,44	5,26	76
10	11,38	11,4	5,26	76
<b>Promedio</b>	11,90	11,90	5,39	76,00

Asimismo, a partir de los datos de la simulación se presenta la tabla 36 que ilustra los tiempos promedio de ciclo, los mismos que representan el tiempo en minutos que toma en producir una puerta, de igual importancia se detalla los datos obtenidos del Troughtput de cada proceso.

Tabla 36. THROUGHPUT Y TIEMPO DE CICLO POR PROCESO

<b>Estación</b>	<b>Tiempo de Ciclo [min/puerta]</b>	<b>Troughtput [puertas/hora]</b>
Limpieza e inspección de panel	4,79	10,09
Ensamble de Marcos	5,15	11,23
Montaje de parte eléctrica	5,26	10,85
Montaje parte adhesiva	5,25	10,6
Ensamble de marco con panel	5,69	9,83
Ensamble de puerta final	5,24	9,7

De la simulación realizada se tiene las réplicas de 10 jornadas de trabajo de la cual se obtiene 76 puertas por cada jornada dando un total de 760 puertas con una utilización de 12 personas asignadas para la línea de ensamble con un tiempo programado de 470 minutos para la operación, 10 minutos para la limpieza y arranque de equipos, sin embargo, es importante mencionar que el tiempo asignado para la alimentación es de 30 minutos que están por fuera del horario establecido para la operación, de todo esto se presenta la tabla 37 ilustrando lo descrito.

Tabla 37. PRODUCCIÓN POR JORNADA Y TIEMPO DE OPERACIÓN

<b># Jornada</b>	<b>Throughput [puertas/turno]</b>	<b># Personas</b>	<b>Tiempo de Operación y Arranque [minutos]</b>	<b>Tiempo de alimentación [minutos]</b>	<b>Tiempo Programado [minutos)</b>	<b>Horas- Hombre [Horas]</b>
1	76	12	480	30	510	102
2	76	12	480	30	510	102
3	76	12	480	30	510	102
4	76	12	480	30	510	102
5	76	12	480	30	510	102
6	76	12	480	30	510	102
7	76	12	480	30	510	102
8	76	12	480	30	510	102
9	76	12	480	30	510	102
10	76	12	480	30	510	102

#### 4.8. Comparación de sistema actual y el sistema esbelto

En esta sección se presenta la comparación de la productividad actual obtenida en la línea de ensamble con la metodología propuesta de un balanceo de línea y la estandarización que representa un significativo aporte de la aplicación de las herramientas de la manufactura esbelta la misma que construye técnicas y herramientas adecuadas para la mejora continua de todos los procesos de una organización.

##### 4.8.1. Tiempo Ciclo

Del estudio de tiempos realizados a cada estación de trabajo se determina el tiempo estándar de cada proceso o estación de montaje, posterior se realizar la propuesta del balanceo de la línea entregando nuevos valores propuestos de mejora a los tiempos de proceso de cada estación, así mismo con la misma importancia en la simulación del modelo propuesto se entrega nuevos valores de tiempos de ciclo los mismos que se presentan en la tabla 38 donde se detalla: la reducción del 15.5% entre el tiempo propuesto y actual en el proceso de limpieza e inspección de panel; para la estación de ensamble de marco se tiene una reducción en el tiempo de 3.3%; para la estación de montaje de parte eléctrica se tiene una reducción de 3.5% y para el proceso de ensamble de marco con panel se tiene una reducción del 18.5%. Sin embargo, en el proceso de ensamble de puerta final se tiene un aumento del tiempo en 13.4% para tener balanceada la línea y cumplir con el tiempo takt.

Tabla 38. TIEMPO ACTUAL VS TIEMPO PROPUESTO

<b>Estación</b>	<b>Tiempo Ciclo Actual</b>	<b>Tiempo Ciclo Propuesto de Simulación</b>	<b>% Reducción</b>
Limpieza e inspección de panel	5,67	4,79	-15,5%
Ensamble de Marcos	5,33	5,15	-3,3%
Montaje de parte eléctrica	5,43	5,26	-3,2%
Montaje parte adhesiva	5,44	5,25	-3,5%
Ensamble de marco con panel	6,98	5,69	-18,5%
Ensamble de puerta final	4,62	5,24	13,4%

Posterior en la figura 63 muestra la comparación del tiempo actual con el tiempo promedio vs el tiempo takt el cual representa el tiempo necesario para cumplir con la

demanda del cliente; de esto se tiene que el tiempo actual de las estaciones de ensamble de marcos es de 5.33 [min/puerta] y la estación de ensamble final posee un tiempo de 4.62 [min/puerta] siendo las 2 únicas estaciones que están por debajo de tiempo takt representando el 33%. En cambio, con la propuesta de la aplicación de las herramientas de LM se tiene que el 83.3% de las estaciones cumplen con el tiempo takt. Obteniendo: para el proceso de limpieza e inspección de panel un tiempo de 4.79 [min/puerta]; para la estación de ensamble de marcos un tiempo de 5.15 [min/puerta]; para la estación de montaje parte eléctrica un tiempo de 5.26 [min/puerta]; para la estación de montaje parte adhesiva un tiempo de 5.25 [min/puerta] y para el proceso ensamble de puerta final un tiempo de 5.24 [min/puerta].

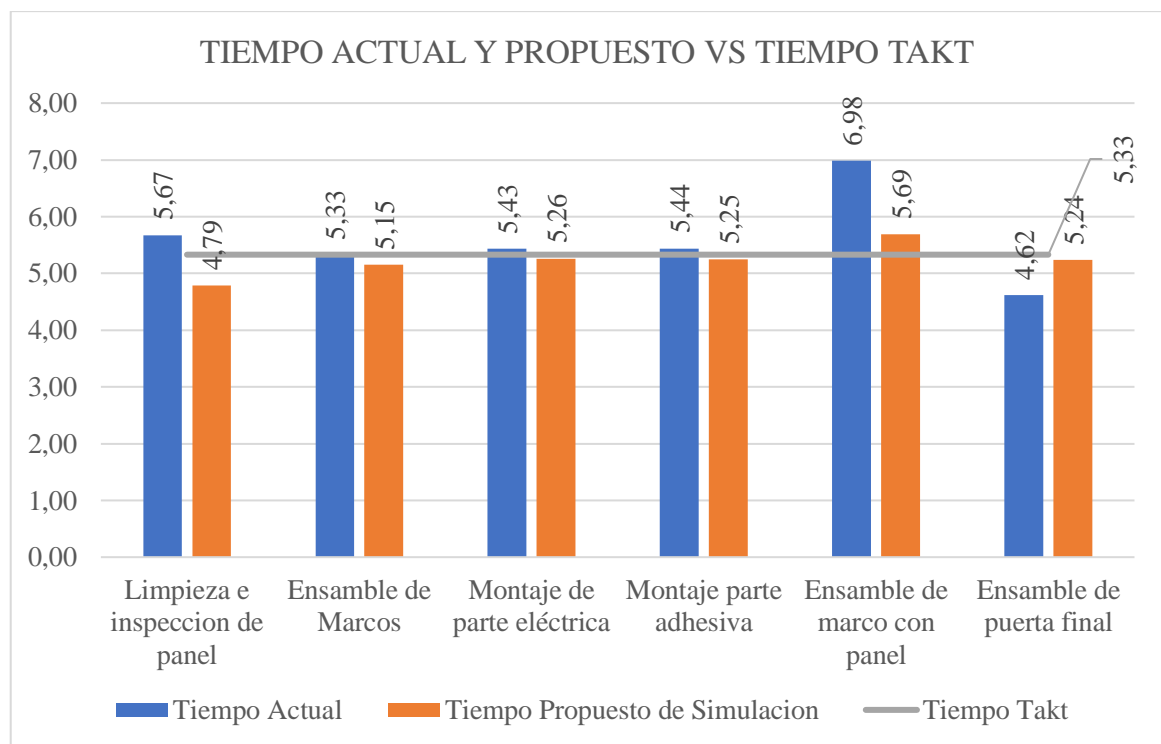


Figura 63. Comparación tiempo actual y propuesto vs tiempo takt

Como se puede observar en la figura 63 el tiempo propuesto se tiene equilibrado, definiendo así la nueva salida a 5.69 [min/puerta]; por otra parte, en la figura 64 muestra la optimización del cumplimiento tiempo de ciclo con el tiempo takt, mejorando el 50% entre el cumplimiento actual que representa el 33% y el tiempo propuesto que representa el 83% de cumplimiento de los procesos y estaciones; en efecto optimizando las entregas de la demanda del cliente.

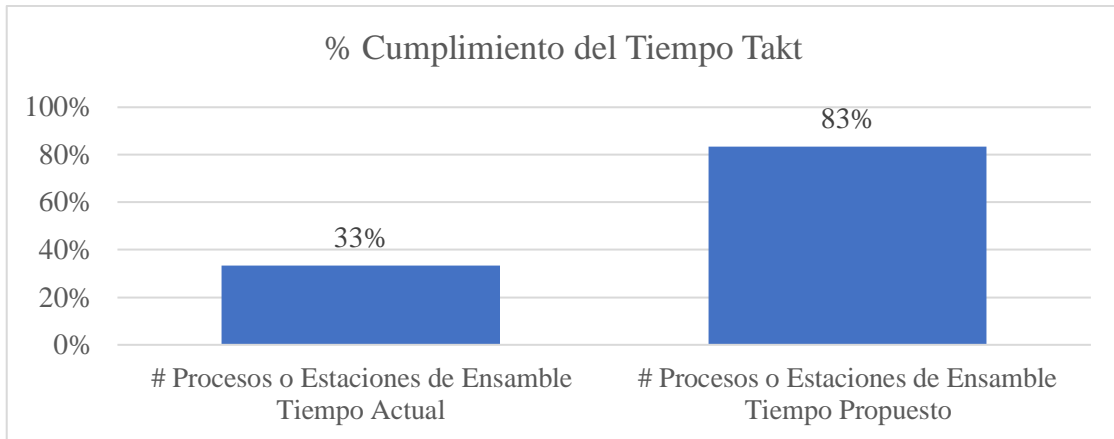


Figura 64. Comparación de cumplimiento de tiempo actual y propuesto vs tiempo takt

#### 4.8.2. Rendimiento

Mediante la aplicación de la manufactura esbelta se obtiene una mejora en el rendimiento de la línea de 30.2%, para lo cual la figura 65 muestra la comparación del rendimiento de la línea de montaje observando una mejora del 59.2% a un rendimiento del 89.4%, esto determinado a partir de un tiempo de operación de 76 horas en relación con 85 horas programadas.

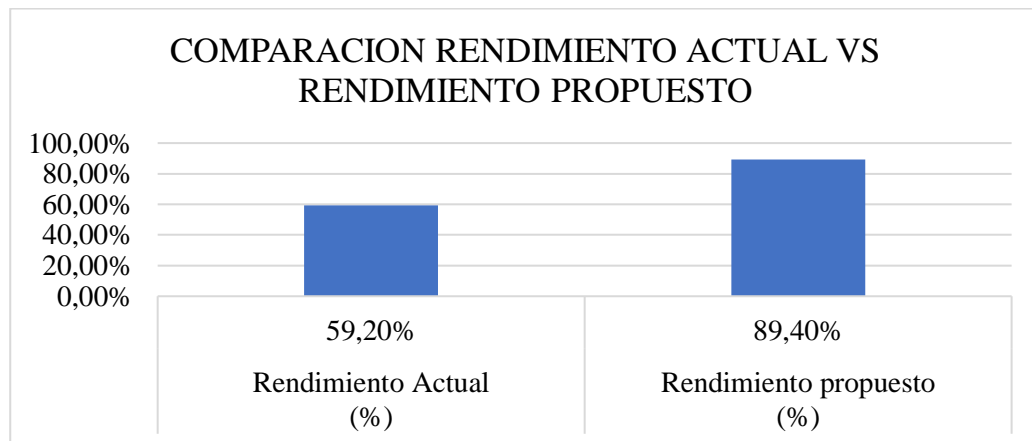


Figura 65. Comparación de rendimiento actual vs rendimiento propuesto

#### 4.8.3. Productividad

Finalmente, se realiza el cálculo de la productividad propuesta con la aplicación de las herramientas LM detallado en la tabla 39, la cual muestra una productividad propuesta de 8.9 [und/H/H] representadas de 760 unidades producidas en 1020 horas programadas con 12 personas asignadas para la línea de ensamble de puertas de refrigeración todo esto como resultado de la simulación del modelo propuesto.

Tabla 39. PRODUCTIVIDAD PROPUESTA LÍNEA DE ENSAMBLE

# Jornada	Throughput [puertas/turno]	# Personas	Tiempo Programado [Horas]	Horas/Hombre	Productividad [Und/H/H]
1	76	12	102	8,5	8,9
2	76	12	102	8,5	8,9
3	76	12	102	8,5	8,9
4	76	12	102	8,5	8,9
5	76	12	102	8,5	8,9
6	76	12	102	8,5	8,9
7	76	12	102	8,5	8,9
8	76	12	102	8,5	8,9
9	76	12	102	8,5	8,9
10	76	12	102	8,5	8,9
TOTAL	760		1020	85	8,9

En el mismo orden, se presenta la tabla 40 que detalla la productividad actual media de 6.2 [und/H/H] en comparación de la productividad del modelo propuesto de 8.9 [und/H/H] obteniendo un resultado de optimización de la productividad de la línea de ensamble de puertas de refrigeración en 43.5%.

Tabla 40. COMPARACIÓN PRODUCTIVIDAD ACTUAL VS PRODUCTIVIDAD PROPUESTA

Productividad Actual [und/H/H]	Productividad propuesta [und/H/H]	% Mejora
6,2	8,9	43,5%

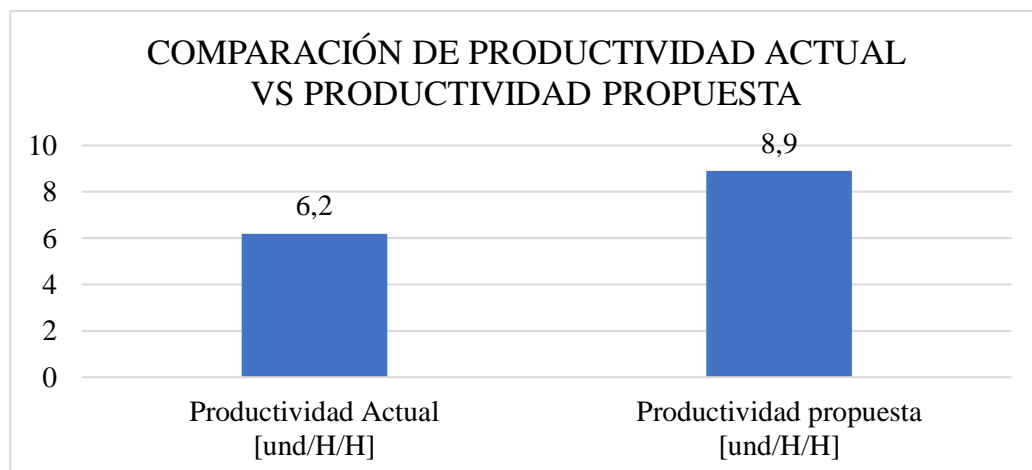


Figura 66. Comparación productividad actual vs productividad propuesta



## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y BIBLIOGRAFÍA

#### 5.1. Conclusiones

Al realizar el análisis de la situación actual de la línea de ensamble de puertas de refrigeración de la empresa Fairis C.A. se detectaron problemas de desnivelación de la capacidad de producción entre los diferentes procesos lo que provoca que no se cumpla con la demanda del cliente o el tiempo takt. De igual manera se detecta que existe actividades con tiempos improductivos entre las diferentes estaciones de ensamble, desperdicios y falta de control en las características claves del proceso – KPC y las características claves de calidad - KCC. También se evidenció que existen actividades que pueden ser realizadas por otros procesos, así como la falta de creación de JIGS de comprobación para el montaje rápido de las piezas en la puerta de refrigeración.

En la línea de ensamble se evidenció que para la demanda de 450 unidades se requiere 7.03 días de producción la misma que es restringida por la capacidad de 8 unidades/hora determinando así que se necesita una nivelación de producción a partir de la demanda del cliente, ante esto establece el balanceo de la línea con un TT: 5.33 minutos/puerta. De la misma manera se determina que el 0.6% de las unidades producidas se rechazan y que el rendimiento del proceso está en el 59.2% lejos de la meta de los objetivos de calidad, todo esto generado por la falta de estandarización del proceso. Por otra parte, también se detecta que la planeación de la producción, así como la entrega de lotes se realizan a diario lo que restringe al supervisor proyectar un mayor horizonte de la planeación de la línea originando tiempos improductivos.

Mediante el balanceo de la línea de producción se determina que el 33% de las estaciones están niveladas con el tiempo takt (TT), además se detecta que existen procesos con sobrecarga de tiempo y una deficiente distribución del recurso humano, determinando la necesidad de balancear la línea, para lo cual se elimina todo tipo de desperdicios generados en el proceso. Para mantener la nueva secuencia de procesos establecidos en el balanceo de línea se realiza mediante la aplicación de la estandarización de los procesos, detectando que no se ejecuta controles de los KPC en el proceso como: presiones de aire comprimido para las mesas de ensamble y herramientas neumáticas, distancia de aberturas de prensas de mesas de ensamble, etc.;

también en el estudio se evidencia que no existe la polivalencia en los operadores de la línea.

El modelo presentado en la simulación se realiza mediante la filosofía de la manufactura esbelta y diseñado a partir del sistema productivo actual reflejando la aplicación de los pilares o herramientas como el balanceo de línea y la estandarización del proceso. En efecto, a través de la aplicación de estas herramientas LM se evidencia la mejora el Throughput del proceso de la línea de ensamble de 66 unidades por cada turno programado a 76 unidades en el tiempo de operación programado resultado una optimización de 15.2 %. En cuanto a las unidades totales de la simulación se obtiene un resultado de 760 puertas en un tiempo de 1020 horas distribuidas para las 12 personas establecidas en el balanceo de línea, obteniendo una optimización de la productividad del 43.5% para la línea de ensamble de puertas de refrigeración

## **5.2. Recomendaciones**

Se recomienda implementar la herramienta AMEF (Análisis de modo efecto y falla) como herramienta de mejora continua; de igual manera se debe evaluar periódicamente la restricción del proceso, la demanda del cliente, así como la participación en el mercado nacional de modo que se analice la implantación de nuevas estaciones de ensamble. De igual forma se recomienda crear LUP para la utilización de los JIGS de comprobación.

Contar con un programa de entrenamiento de las nuevas herramientas y procesos establecidos en la línea de montaje y realizar pruebas periódicas de polivalencia de los operadores en los diferentes para generar un sistema multi-skill (múltiples habilidades) en los operadores.

Se recomienda realizar la implementación del modelo propuesto para la optimización de la productividad de la línea de ensamble de puertas de refrigeración, del mismo modo extender y difundir la metodología de trabajo a las diferentes líneas de producción de la organización. También se recomienda implementar la herramienta SMED para la optimización del tiempo de cambio de modelo de la línea de ensamble.

Se recomienda crear un tablero de control digital en la línea de ensamble para la visualización en tiempo real la productividad o indicadores de procesos por cada hora de trabajo, asimismo la visualización de los diferentes problemas y soluciones dadas para la mejora continua del proceso. De igual forma, se recomienda implementar el análisis de la disponibilidad de los equipos mediante los indicadores MTBF Y MTTR para la implementación del indicador OEE.

### 5.3. Bibliografía

- [1] U. Amrina and T. Y. M. Zagloel, “The Harmonious Strategy of Lean and Green Production: Future Opportunities to Achieve Sustainable Productivity and Quality,” in *2019 IEEE 6th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)*, Apr. 2019, pp. 187–192, doi: 10.1109/IEA.2019.8714768.
- [2] H. A. D. Perera, “Productivity improvement through lean tools in a Sri Lankan small and medium enterprise: A case study,” in *2016 Manufacturing & Industrial Engineering Symposium (MIES)*, Oct. 2016, no. October, pp. 1–6, doi: 10.1109/MIES.2016.7779988.
- [3] F. K. De-La-Cruz-Arcela, J. S. Martinez-Castillo, E. Altamirano-Flores, and J. C. Alvarez-Merino, “Application of Lean Manufacturing Tools to Reduce Downtime in a Small Metalworking Facility,” *IEEE Int. Conf. Ind. Eng. Eng. Manag.*, pp. 551–555, 2019, doi: 10.1109/IEEM44572.2019.8978711.
- [4] C. Maware and O. Adetunji, “Lean manufacturing implementation in Zimbabwean industries: Impact on operational performance,” *Int. J. Eng. Bus. Manag.*, vol. 11, pp. 1–12, 2019, doi: 10.1177/1847979019859790.
- [5] X. Tong, L. Sun, and T. Guan, “Discussion on the optimization of assembly process for urban rail vehicle based on the lean intelligent manufacturing model,” in *2017 Chinese Automation Congress (CAC)*, Oct. 2017, vol. 2017-Janua, pp. 1081–1084, doi: 10.1109/CAC.2017.8242926.
- [6] C. Morales Sandoval and A. Masis Arce, “La Medicion de la Productividad del Valor Agregado: una aplicación empírica en una cooperativa agroalimentaria de Costa Rica (Measuring value added productivity: an empirical application in an agroalimentary cooperative in Costa Rica),” *TEC Empres.*, vol. 8, no. 2, p. 41, 2014, doi: 10.18845/te.v8i2.1988.
- [7] F. Chouiraf and A. Chafi, “Lean Manufacturing For Handicraft Production,” *2018*

- 4th Int. Conf. Optim. Appl.*, 2018.
- [8] J. Tapia Coronado, T. Escobedo Portillo, E. Barrón López, G. Martínez Moreno, and V. Estebané Ortega, “Marco de Referencia de la Aplicación de Manufactura Esbelta en la Industria TT - A FRAMEWORK FOR THE IMPLEMENTATION OF LEAN MANUFACTURING IN THE INDUSTRY,” *Cienc. & Trab.*, vol. 19, no. 60, pp. 171–178, 2017, [Online]. Available: [www.cienciaytrabajo.cl%7C171/178%0Ahttp://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-24492017000300171&lang=pt%0Ahttp://www.scielo.cl/pdf/cyt/v19n60/0718-2449-cyt-19-60-00171.pdf](http://www.cienciaytrabajo.cl%7C171/178%0Ahttp://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-24492017000300171&lang=pt%0Ahttp://www.scielo.cl/pdf/cyt/v19n60/0718-2449-cyt-19-60-00171.pdf).
- [9] K. C. Ng, C. P. Lim, K. E. Chong, and G. G. G. Goh, “Elimination of waste through value Add/Non value add process analysis to improve cost productivity in manufacturing - A case study,” *IEEE Int. Conf. Ind. Eng. Eng. Manag.*, pp. 410–414, 2014, doi: 10.1109/IEEM.2013.6962444.
- [10] K. Barcia and C. De Loor, “Metodología para Mejorar un Proceso de Ensamble Aplicando el Mapeo de la Cadena de Valor (VSM),” *Rev. Tecnológica ESPOL*, vol. 20, no. 1, pp. 31–38, 2007.
- [11] Richard B. Chase Nicholas J. Aquilano, *Administracion de Operaciones*. 2007.
- [12] L. P. R. and M. M. Lee J.Krajewski, *Administración de Operaciones*, 8th ed., vol. 20, no. 5. Estado de México, 2009.
- [13] A. Sanders, C. Elangeswaran, and J. Wulfsberg, “Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing,” *J. Ind. Eng. Manag.*, vol. 9, no. 3, pp. 811–833, 2016, doi: 10.3926/jiem.1940.
- [14] S. S. Aulakh and J. S. Gill, “Lean manufacturing- a practitioner’s perspective,” in *2008 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, Dec. 2008, pp. 1184–1188, doi: 10.1109/IEEM.2008.4738057.
- [15] L. P. R. and M. M. Lee J.Krajewski, *Administración de Operaciones*, vol. Octava Edi, no. 5. 2009.
- [16] Y. Bellido, A. La Rosa, C. Torres, G. Quispe, and C. Raymundo, “Modelo de Optimización de Desperdicios Basado en Lean Manufacturing para incrementar la productividad en Micro y Pequeñas Empresas del Rubro Textil Memorias de la Octava Conferencia Iberoamericana de Complejidad, Informática y Cibernética

- (CICIC 2018),” no. Cicic, pp. 148–153, 2018, [Online]. Available: <http://www.iiis.org/CDs2018/CD2018Spring/papers/CB929FT.pdf>.
- [17] N. Marulanda Grisales and H. H. González Gaitán, “Objetivos y decisiones estratégicas operacionales como apoyo al lean manufacturing,” *Suma Negocios*, vol. 8, no. 18, pp. 106–114, 2017, doi: 10.1016/j.sumneg.2017.11.005.
- [18] R. I. de Oliveira, S. O. Sousa, and F. C. de Campos, “Lean manufacturing implementation: bibliometric analysis 2007–2018,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 101, no. 1–4, pp. 979–988, 2019, doi: 10.1007/s00170-018-2965-y.
- [19] V. Wickramasinghe and G. L. D. Wickramasinghe, “Effects of HRM practices, lean production practices and lean duration on performance,” *Int. J. Hum. Resour. Manag.*, vol. 5192, no. December, pp. 1–46, 2017, doi: 10.1080/09585192.2017.1407954.
- [20] T. Woods, “Lean thinking,” *Engineering*, vol. 246, no. 5, pp. 18–19, 2005.
- [21] L. Sacconini, “Lean Manufacturing. Paso a Paso,” *Lean Manuf. Paso a Paso El Sist. Gest. Empres. Jpn. Que Revoluc. La Manuf. Y Los Serv.*, vol. 1, pp. 1–353, 2019.
- [22] M. T. Vargas-Hernández, José G.; Muratalla-Bautista, Gabriela; Jiménez-Castillo, “Lean Manufacturing ¿una herramienta de mejora de un sistema de producción?,” *Ing. Ind. Actual. y Nuevas Tendencias*, vol. 5, no. 17, pp. 153–174, 2016, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/html/2150/215049679011/>.
- [23] A. Villaseñor Contreras, Galindo Cota, *Manual De Lean Manufacturing. Guia Basica*, 2nd ed. México, 2007.
- [24] S. J. L. Rajadell Manuel, *Lean Manufacturing - La evidencia de una necesidad*, 2nd ed. Madrid, 2010.
- [25] C. H. Li and H. K. Lau, “Application of Lean Manufacturing in Product Safety,” in *2018 IEEE Symposium on Product Compliance Engineering - Asia (ISPCE-CN)*, Dec. 2018, pp. 1–3, doi: 10.1109/ISPCE-CN.2018.8805764.
- [26] A. Sophie, “Mejoras de Lean Manufacturing en los Sistemas Productivos,” *Cienc. Soc.*, vol. XXXVI, p. 36, 2011.
- [27] H. Y. Shan, L. N. Li, Y. Yuan, and C. Wang, “Simulation and Optimization of Production Line in Em-plant based Assembly Workshop,” *IEEE Int. Conf. Ind. Eng. Eng. Manag.*, vol. 2019-Decem, pp. 1381–1385, 2019, doi: 10.1109/IEEM.2018.8607605.
- [28] A. L. Ramos, J. V. Ferreira, and F. Bernardes, “Improving the productivity of a

- packaging line using lean manufacturing tools and simulation,” *IEOM 2015 - 5th Int. Conf. Ind. Eng. Oper. Manag. Proceeding*, 2015, doi: 10.1109/IEOM.2015.7093876.
- [29] D. Mottershead, “Introducing Lean Manufacturing at ESI,” *PICMET '01. Portl. Int. Conf. Manag. Eng. Technol. Proc. Vol.1 B. Summ. (IEEE Cat. No.01CH37199)*, vol. 01, p. 448, 2020, doi: 10.1109/picmet.2001.952361.
- [30] J. Fortuny-Santos, L. Cuatrecasas-Arbós, O. Cuatrecasas-Castellsaques, and J. Olivella-Nadal, “Metodología de implantación de la gestión lean en plantas industriales,” *Universia Bus. Rev.*, vol. 20, pp. 28–41, 2008.
- [31] J. Dalton, “Gemba Kaizen,” in *Great Big Agile*, Berkeley, CA: Apress, 2019, pp. 175–176.
- [32] Y. Qi, Z. Mao, M. Zhang, and H. Guo, “Manufacturing practices and servitization: The role of mass customization and product innovation capabilities,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 228, no. January 2019, p. 107747, 2020, doi: 10.1016/j.ijpe.2020.107747.
- [33] Institute of Electrical and Electronics Engineers, “Lean Manufacturing Implementation in Carton Industry – A case study,” *2019 Ind. Syst. Eng. Conf.*, pp. 1–5, 2019.
- [34] W. Hui, L. Gangyan, and L. Guifu, “Research on quality control technology in manufacturing process based on flexibility of production capability,” *2007 Int. Conf. Wirel. Commun. Netw. Mob. Comput. WiCOM 2007*, pp. 5110–5113, 2007, doi: 10.1109/WICOM.2007.1253.
- [35] L. S. Nee, G. W. Juin, F. J. Yan, C. Y. Theng, and S. Kamaruddin, “Lean production in manual assembly line A case study,” *SHUSER 2012 - 2012 IEEE Symp. Humanit. Sci. Eng. Res.*, pp. 815–820, 2012, doi: 10.1109/SHUSER.2012.6268997.
- [36] P. Kholopane and K. Sobiyi, “In lean manufacturing, if the customer is a king, then the frontline worker is a ‘knight’: A case study,” in *2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, Dec. 2017, vol. 2017-Decem, pp. 603–607, doi: 10.1109/IEEM.2017.8289962.
- [37] Y. Goshime, D. Kitaw, and K. Jilcha, “Lean manufacturing as a vehicle for improving productivity and customer satisfaction: A literature review on metals and engineering industries,” *Int. J. Lean Six Sigma*, vol. 10, no. 2, pp. 691–714, 2019, doi: 10.1108/IJLSS-06-2017-0063.

- [38] Y. Ma, H. Zhou, H. He, G. Jiao, and S. Wei, "A Digital Twin-Based Approach for Quality Control and Optimization of Complex Product Assembly," *Proc. - 2019 Int. Conf. Artif. Intell. Adv. Manuf. AIAM 2019*, pp. 762–767, 2019, doi: 10.1109/AIAM48774.2019.00157.
- [39] Q. Liu and H. Yang, "Lean implementation through value stream mapping: A case study of a footwear manufacturer," *Proc. 29th Chinese Control Decis. Conf. CCDC 2017*, pp. 3390–3395, 2017, doi: 10.1109/CCDC.2017.7979092.
- [40] K. A. Nurheman and T. Octavia, "Creating Value Stream Mapping for Process Improvement on Human Resource Function: An Industrial Case Study," *TIMES-iCON 2018 - 3rd Technol. Innov. Manag. Eng. Sci. Int. Conf.*, pp. 1–5, 2019, doi: 10.1109/TIMES-iCON.2018.8621673.
- [41] A. M. Faisal, "Predictive Simulation Modeling and Analytics of Value Stream Mapping for the Implementation of Lean Manufacturing: A Case Study of Small and Medium-Sized Enterprises (SMEs)," in *2018 Second International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*, Jun. 2018, pp. 582–585, doi: 10.1109/ICCONS.2018.8663052.
- [42] A. M. Atieh, H. Kaylani, A. Almuhtady, and O. Al-Tamimi, "A value stream mapping and simulation hybrid approach: application to glass industry," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 84, no. 5–8, pp. 1573–1586, 2016, doi: 10.1007/s00170-015-7805-8.
- [43] Y. El Kihel, A. Amrani, Y. Ducq, and D. Amegouz, "Implementation of Lean through VSM modeling on the distribution chain: Automotive case," *Int. Colloq. Logist. Supply Chain Manag. LOGISTIQUA 2019*, pp. 1–7, 2019, doi: 10.1109/LOGISTIQUA.2019.8907282.
- [44] F. Chouiraf and A. Chafi, "Adaptation of the Value Stream Mapping (VSM) for the Moroccan Artisanal Enterprise," *Colloq. Inf. Sci. Technol. Cist*, vol. 2018-Octob, pp. 124–129, 2018, doi: 10.1109/CIST.2018.8596624.
- [45] N. Roth, J. Deuse, and H. Biedermann, "A framework for System Excellence assessment of production systems, based on lean thinking, business excellence, and factory physics," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 58, no. 4, pp. 1074–1091, 2020, doi: 10.1080/00207543.2019.1612113.
- [46] R. V. Narang, "Some issues to consider in lean production," *Proc. - 1st Int. Conf. Emerg. Trends Eng. Technol. ICETET 2008*, pp. 749–753, 2008, doi: 10.1109/ICETET.2008.113.

- [47] K. D. Lingam, K. S. Ganesh, and N. G. Kumar, "Cycle time reduction for T-shirt manufacturing in a Textile industry using lean tools," *ICIECS 2015 - 2015 IEEE Int. Conf. Innov. Information, Embed. Commun. Syst.*, pp. 2–7, 2015, doi: 10.1109/ICIECS.2015.7193062.
- [48] B. C. Arevalo-Barrera, F. E. Parreno-Marcos, J. C. Quiroz-Flores, and J. C. Alvarez-Merino, "Waste Reduction Using Lean Manufacturing Tools: A Case in the Manufacturing of Bricks," *IEEE Int. Conf. Ind. Eng. Eng. Manag.*, pp. 1285–1289, 2019, doi: 10.1109/IEEM44572.2019.8978508.
- [49] T. Kuaites, T. Thueanphae, and N. Chanthranapasawat, "The Application of Lean Concept to Waste Reduction of Working Process in Hotel Service Industry," *2020 IEEE 7th Int. Conf. Ind. Eng. Appl. ICIEA 2020*, pp. 1070–1075, 2020, doi: 10.1109/ICIEA49774.2020.9101938.