

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción

“Rediseño de procesos y flujo operacional de las líneas de producción copacker”

INGE-2350

Proyecto Integrador

Previo a la obtención del título de:

Ingenieros Industriales

Presentado por:

Luis Joel Lara Mazzini

Katherine Madeleine Pazmiño Espinoza

Guayaquil – Ecuador

2023

Dedicatoria

Este proyecto, que simboliza el final de los 5 años más desafiantes de mi vida, los cuales conllevaron sacrificios, obstáculos, exigencias y también satisfacciones, lo dedico a Dios, que nunca soltó mi mano, me reconfortó y guio cuando más bajo estuve. A mi madre, Selene Espinoza, que labró incansablemente mi camino estudiantil y esculpió las alas con las que hoy ya vuelo sola. A mi padre, Ramón Pazmiño, que se esforzó abnegadamente, impulsado por su amor, en darnos las oportunidades y comodidades que prometo están dando frutos. A mi hermano, Narciso, quien es mi motor para superarme y ser mejor. A mi ángel de cuatro patas, que me recordó mi propósito de amor por el que sigo aquí y, hasta que lo cumpla, me ha acompañado incondicionalmente en las más largas y desgastantes jornadas de estudio. A mi amado, Jean Flores, quien ha sido mi soporte inquebrantable y mi refugio cuando las adversidades parecían más imponentes que mi fe. A mi familia y amigos que creyeron más en mí de lo que a veces yo podía y nunca me dejaron rendir.

Katherine Pazmiño

Dedicatoria

El presente proyecto se lo dedico a mi familia, a mis padres, hermanos y mascota, los cuales me han apoyado durante toda la carrera.

También va dedicado a aquellas personas y mascotas que ya no están con nosotros, aunque no estén presentes, siempre me apoyaron y me permitieron seguir adelante en este largo viaje.

A mis compañeros y amigos que volvieron la vida politécnica una experiencia irrepetible e inolvidable.

Luis Joel Lara

Agradecimientos

Agradezco a mis padres por su constante esfuerzo y dedicación para hacer de mis estudios una prioridad y por darme la oportunidad de formarme como profesional. A ESPOL, le agradezco por el nivel de formación, prestigio, honor y orgullo con el que egreso al ser “Politécnica”, demostrándome a mí misma que soy capaz. Además, le agradezco por formarme no solo como estudiante, sino también como profesional; mediante las pasantías y ayudantías en las que desarrollé habilidades indispensables fuera del aula.

Agradezco a mis amigos y compañeros, quienes hicieron más amenos los momentos decisivos en la carrera. A los profesores apasionados y con calidez humana, quienes harán que recuerde esta etapa universitaria con añoranza. Un agradecimiento especial a nuestra tutora de proyecto, Ing. María Belén Segovia, por su compromiso y preocupación por el correcto desarrollo de nuestro proyecto, y al Ing. Kleber Barcia Villacreses, por dedicarnos un espacio en su agenda, incluso cuando no era su obligación, pero lo hizo por vocación. Finalmente, a mi compañero de tesis, Luis Lara, por elegirme para hacer juntos el proyecto más importante de nuestra carrera. Estoy segura de que sola, no hubiese sido igual de exitoso.

Katherine Pazmiño

Agradecimientos

Agradezco a mis padres, que, aunque entrar a la ESPOL nunca fue mi primera opción, me apoyaron cuando se me ocurrió la idea de poder entrar.

A mis amigos Dariana, Génesis (2), Cristhian y Viviana, por los grandes momentos en pre, semestres, pandemia y colegio.

A mis jefes que me dieron la oportunidad de crecer laboralmente y confiaron en mis capacidades.

A las profesoras Ingrid Adanaque y María Denisse Rodríguez por la confianza y permitirme ser su ayudante. Además, a la ZEDE por permitirme ser su ayudante en mis 2 últimos semestres.

Al profesor Marcos Buestán por su apoyo cuando necesité ayuda.

A las profesoras María Belén Segovia y María Laura Retamales, por brindar su apoyo en el desarrollo de este proyecto.

A BSC y Javier Burrai por darme las mayores alegrías durante mi carrera.

Por último, a mi compañera Katherine, por la paciencia durante la elaboración de este proyecto.


Luis Joel Lara

Declaración Expresa

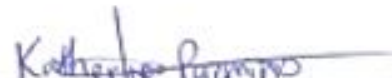
Nosotros Luis Joel Lara Mazzini y Katherine Madeleine Pazmiño Espinoza acordamos y reconocemos que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos en que la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se publicarán ni divulgarán, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 26 de Enero del 2024.



Luis Joel Lara Mazzini


Katherine Pazmiño Espinoza

Evaluadores

María Laura Retamales García MSc.

Profesor de Materia

María Belén Segovia Navarrete MSc.

Tutor de proyecto

Resumen

En la célula de copacker de un centro de distribución ubicado en Guayaquil, actualmente es capaz de acaparar el 51,35% de la demanda del centro de distribución, por lo que es necesario rediseñar los procesos inherentes en la productividad para aprovechar la capacidad de las líneas y ser más competitiva. Se utilizó la metodología DMADV para identificar requerimientos del cliente, especificaciones y limitaciones de diseño que guiaron la ideación de alternativas. Se identificó como mejor alternativa el “Rediseño estructural y operacional de las líneas”; cuya inversión inicial de \$1965 se estima recuperar en máximo 2 meses de operación. Se modeló en FlexSim la situación actual y mejorada para evaluar las propuestas; obteniendo un aumento de 6,42% (línea 1) y 25.52% (líneas 2 y 3) de cajas/hora, no desabastecimientos y disminución en 5 min en setup de líneas. El rediseño de las líneas permite a la célula ser más competitivo y optimizar sus recursos; impactando en el ámbito económico, social y ambiental al reducir en promedio: 28,07% los costos de producción, 20,21% las horas extras para cumplir la planificación y un porcentaje representativo de unidades reprocesadas por error de codificación, respectivamente.

Palabras clave: Productividad, Acondicionamiento, Cajas por hora, desperdicios

Abstract

In the copacker cell of a distribution center located in Guayaquil, it is currently capable of monopolizing 51.35% of the demand of the distribution center, so it is necessary to redesign the processes inherent in productivity to take advantage of the capacity of the lines and be more competitive. The DMADV methodology was used to identify client requirements, specifications and design limitations that guided the ideation of alternatives. The “Structural and operational redesign of the lines” was identified as the best alternative; whose initial investment of \$1965 is estimated to be recovered in a maximum of 2 months of operation. The current and improved situation was modeled in FlexSim to evaluate the proposals, obtaining an increase of 6.42% (line 1) and 25.52% (lines 2 and 3) of boxes/hour, no shortages, and a decrease in 5 min in line setup. The redesign of the lines allows the cell to be more competitive and optimize its resources; impacting the economic, social, and environmental sphere by reducing on average: 28.07% production costs, 20.21% overtime to comply with planning and a representative percentage of units reprocessed due to coding errors, respectively.

Keywords: *Productivity, Conditioning, Boxes per hour, waste*

Índice General

Resumen	I
<i>Abstract</i>	II
Abreviaturas	VI
Simbología	VII
Capítulo 1	1
1. Introducción	2
1.1. Descripción del problema	3
1.2. Justificación del problema	4
1.3. Objetivo.....	5
1.3.1. Objetivo general.....	5
1.3.2. Objetivos específicos	5
1.4. Marco Teórico	5
1.4.1. DMADV	6
1.4.2. Células de manufactura.....	6
1.4.3. Acondicionamiento de productos	7
1.4.4. Metodología 5W + 1H	7
1.4.5. Metodología Kanban.....	7
1.4.6. Balanceo de flujo	8
1.4.7. Milk Run.....	8
1.4.8. Modelo matemático	8
1.4.9. Diagrama de Pareto.....	8
1.4.10. Gemba.....	9
Capítulo 2	2
2. Metodología	11
2.1. Etapa de definición	11
2.1.1. Situación actual.....	11
2.1.2. Alcance	12
2.1.3. Voz del cliente.....	13
2.1.4. Limitaciones de diseño	15

2.1.5. Características de calidad.....	15
2.1.5. Quality Function Deployment.....	18
2.1.5.4. Correlación de las especificaciones de diseño	19
2.1.6. Declaración de oportunidad	24
2.1.7. Triple Bottom Line.....	25
2.2 Etapa de medición.....	25
2.2.1. Plan de recolección de datos	26
2.2.2. Recolección de datos: Resultados, validación y confiabilidad de los datos	28
2.2.2.2. Cajas por hora por SKU seleccionados.....	31
2.3. Etapa de análisis.....	45
2.3.1. Opciones de diseño	45
2.3.2. Evaluación de opciones de diseño	51
2.3.3. Análisis financiero	52
2.4. Etapa de diseño	60
2.4.1 Rediseño estructural de la línea	62
2.4.2. Rediseño operacional de la línea.....	68
2.5 Etapa de validación.....	76
2.5.1. Simulación de situación actual de líneas y validación de modelado	76
2.5.2. Simulación y validación de escenarios mejorados.....	88
2.5.3. Comparación de resultados entre simulación de situación actual y escenarios mejorados	96
2.5.4. Verificación de los modelos	101
Capítulo 3	102
3. Resultados y análisis	103
3.1. Resultado y análisis de cumplimiento de especificaciones de diseño	103
3.2. Análisis de cumplimiento de requerimientos y limitaciones de diseño	110
3.3. Triple bottom line.....	111
3.3.1. Social: Reducción de horas extras para cumplir planificación por periodo específico .	111
3.3.2. Económico: Reducción de costo de producción de mano de obra por periodo específico	113
3.3.3. Ambiental: Reducción de % de unidades reprocesadas por error de codificación por periodo específico.	115

Capítulo 4	117
4. Conclusiones y recomendaciones	118
4.1. Conclusiones	118
4.2. Recomendaciones	119
Referencias Bibliográfica	121
Apéndices	123

Abreviaturas

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
CD	Centro de Distribución
DMADV	Definir – Medir – Analizar – Diseñar - Verificar
VOC	Voz del Cliente
CTQ	Critical to Quality
QFD	Quality Function Deployment
TBL	Triple Bottom Line
SIPOC	Supplier – Input – Process – Output – Customer
GAMS	General Algebraic Modeling System
TIR	Tasa Interna de Retorno
PT	Producto Terminado
MP	Materia prima

Simbología

min	minutos
\$	dólares
h	horas
seg	segundos
%	porcentaje
kg	kilogramo

Índice de figuras

Figura 2.1 Porcentaje de cumplimiento de cajas acondicionadas por día	12
Figura 2.2 Diagrama SIPOC del proceso de un pedido en la cédula copacker	13
Figura 2.3 Diagrama de afinidad de las necesidades de los clientes	14
Figura 2.4 CTQ Tree de las necesidades del cliente	17
Figura 2.5 Correlación entre las especificaciones de diseño.	20
Figura 2.6 Matriz de relaciones	21
Figura 2.7 Quality Function Deployment	22
Figura 2.8 Pareto de importancia de especificaciones de diseño	23
Figura 2.9 Declaración de oportunidad mediante herramienta 5W+1H	24
Figura 2.10 Plan de recolección de datos	27
Figura 2.11 Porcentaje de cumplimiento de planificación por día	30
Figura 2.12 Gráfica de probabilidad de normalidad de % de cumplimiento de planificación /día	31
Figura 2.13 Cajas por hora por producto	33
Figura 2.14 Pruebas de normalidad de cajas por hora de SKU A, B y C	34
Figura 2.15 Prueba de confiabilidad de "cajas por hora"	35
Figura 2.16 Gráfica de probabilidad de normalidad de " Ajuste"	36
Figura 2.17 Resultado de prueba de t de ajuste	37
Figura 2.18 Tiempos de espera de materiales e insumos por arribo	38
Figura 2.19 Gráfica de probabilidad de normalidad de Tiempos de espera/arribo	39
Figura 2.20 Tiempo total de set up por producción	40
Figura 2.21 Tiempo total de set up por producción	41
Figura 2.22 Tiempo de acondicionamiento por caja del SKU C	42
Figura 2.23 Tiempo de acondicionamiento por caja del SKU C	43
Figura 2.24 Prueba de normalidad de los tiempos de procesos de producción por SKU C	44
Figura 2.25 Situación actual de las células copacker	46
Figura 2.26 Cambios en la línea 1	47
Figura 2.27 Cambios en las Líneas 2 y 3	48
Figura 2.28 Esquema del modelo matemático	50
Figura 2.29 Sistema automatizado de llenado de carta máquina	51
Figura 2.30 Matriz de relaciones	52

Figura 2.31 Target de cajas/hora de 3 productos seleccionados	53
Figura 2.32 Parámetros de cada SKU	54
Figura 2.33 Beneficios obtenidos de la alternativa 1	55
Figura 2.34 Beneficios obtenidos de la alternativa 2	57
Figura 2.35 Beneficios obtenidos de la alternativa 3	58
Figura 2.36 Evaluación de alternativas mediante Costos-Beneficio	59
Figura 2.37 Plan de prototipo	61
Figura 2.38 Diseño actual de la banda transportadora	62
Figura 2.39 Diseño propuesto de banda transportadora	63
Figura 2.40 Proceso de calibración actual de codificadora	64
Figura 2.41 Proceso de calibración mejorado de codificadora	65
Figura 2.42 Proceso de calibración de banda propuesto	66
Figura 2.43 Señal visual de abastecimiento	67
Figura 2.44 Calculadora dinámica de punto de reorden de materia prima	68
Figura 2.45 Repartición de tareas de la línea 1 con respecto al SKU A	69
Figura 2.46 Balance Chart Operator de la línea 1 con respecto al SKU A	70
Figura 2.47 Calculadora dinámica de repartición de tarea de transporte de cajas a pallet de Pt	71
Figura 2.48 Repartición de tareas de la línea 2 y 3 con respecto al SKU C	72
Figura 2.49 Operator Balance Chart de la línea 2 y 3 con respecto al SKU C	72
Figura 2.50 División por subcélulas de las líneas 2 y 3	73
Figura 2.51 Medio de transporte de cajas de MP	74
Figura 2.52 Aplicación de metodología Milk Run	74
Figura 2.53 Loop de la línea 2 y 3 con la metodología Kanban	76
Figura 2.54 Diagrama de procesos de la línea 1 con respecto al SKU A	77
Figura 2.55 Diagrama de procesos de la línea 2 y 3 con respecto al SKU C	77
Figura 2.56 Multiprocesador	78
Figura 2.57 Cola	78
Figura 2.58 Conveyer	79
Figura 2.59 Procesador	79
Figura 2.60 Combinador	79
Figura 2.61 Modelo de simulación línea 1	80
Figura 2.62 Gráfica de prueba de potencia	83

Figura 2.63 Separador	84
Figura 2.64 Modelo de simulación líneas 2 y 3	85
Figura 2.65 Gráfica de prueba de potencia	88
Figura 2.66 Diagrama de flujo propuesto Línea 1	89
Figura 2.67 Modelo de simulación de escenario mejorado-línea 1	90
Figura 2.68 Diagrama de flujo propuesto Línea 2 y 3.	93
Figura 2.69 Modelo de simulación de escenario mejorado -línea 2 y 3	94
Figura 2.70 Tabla del Método Bonferroni Línea 1	98
Figura 2.71 Tabla del Método Bonferroni Línea 2 y 3	100
Figura 3.1 Cajas por hora de línea 1	104
Figura 3.2 Cajas por hora Línea 2 y 3	105
Figura 3.3 Diferencia de media del Porcentaje de cumplimiento Línea 1	106
Figura 3.4 Porcentaje de cumplimiento Línea 2 y 3	107
Figura 3.5 Tiempo de espera por arribo de materiales e insumos	108
Figura 3.6 Tiempos de Set up	109
Figura 3.7 Cumplimiento de los requerimientos del cliente con la propuesta	110
Figura 3.8 Indicador Social: Cantidad de horas extras	112
Figura 3.9 Prueba de hipótesis indicador Social	113
Figura 3.10 Indicador Económico: Costo de producción de MO	114
Figura 3.11 Prueba de hipótesis indicador económico	115
Figura 3.12 Indicador Ambiental: % de unidades reprocesadas	116

Índice de tablas

Tabla 2.1 Priorización de requerimientos del cliente	19
Tabla 2.2. Simbología de la matriz de relaciones	20
Tabla 2.3 Indicadores del triple botton line	25
Tabla 2.4 Alternativas propuestas para las líneas de copacker	46
Tabla 2.5 Detalles de costo de aplicación de la primera alternativa	52
Tabla 2.6 Actividades y tiempos del acondicionamiento en la línea 1 del SKU A	68
Tabal 2.7 Actividades y tiempos del acondicionamiento en la línea 2 y 3 del SKU C	71
Tabla 2.8 Parámetros de la metodología Kanban	75
Tabla 2.9 Parámetros de simulación Línea 1	80
Tabla 2.10 Cajas por hora Línea 1	81
Tabla 2.11 Parámetros para prueba de intervalo de confianza-línea 1	82
Tabla 2.12 Parámetros de simulación líneas 2 y 3	85
Tabla 2.13 Cajas por hora líneas 2 y 3	86
Tabla 2.14 Parámetros para prueba de intervalo de confianza-líneas 2 y 3	86
Tabla 2.15 Cajas por hora de escenario mejorado 1 Línea 1	90
Tabla 2.16 Cajas por hora de escenario mejorado 2 Línea 1	91
Tabla 2.17 Parámetros para cálculo de Rmin-línea 1	92
Tabla 2.18 Valores de Rmin y R	93
Tabla 2.19 Cajas por hora mejorado Línea 2 y 3	94
Tabla 2.20 Parámetros para cálculo de Rmin-línea 2 y 3	95
Tabla 2.21 Valores de Rmin y R	96
Tabla 2.22 Parámetros para cálculo de intervalos de Bonferroni-línea 1	99
Tabla 2.23 Parámetros para cálculo de intervalos de Bonferroni-línea 2 y 3	101

Capítulo 1

1. Introducción

El presente proyecto se realizó en un centro de distribución de una reconocida empresa de alimentos ubicada en la ciudad de Guayaquil su principal actividad es el acondicionamiento de los productos. Su célula copacker, consta de 4 líneas diferenciadas por las características y actividades de acondicionamiento que requiere cada SKU. Entre los acondicionamientos principales en la empresa se encuentra el codificado, packing (agrupación y embalado de unidades de las cajas mediante sellado térmico), armado (agrupación y embalado de unidades de las cajas manual) y etiquetado. Actualmente la empresa cumple un poco más del 50% de los pedidos de acondicionamiento; pues por costos competitivos y capacidad operativa con que cuenta su proveedor externo, estos abarcan un porcentaje del portafolio de clientes considerable.

Uno de los indicadores con los que se rige la empresa es las cajas por hora producidas de cada SKU, que es utilizado como parámetro en la elaboración de la planificación semanal, también para evaluar el rendimiento operacional y la determinación de capacidad de cumplir pedidos. Este indicador tiene relación directa con el porcentaje de cumplimiento de cajas planificadas por día, que es analizado semanalmente para evaluar el nivel de servicio y cumplimiento de pedidos y con el porcentaje de acaparamiento de demanda. Por lo que, en el curso del proyecto se busca aumentar la productividad de la célula.

El presente documento consta de 4 capítulos; donde el capítulo 1 aborda la introducción del proyecto, con el fin de contextualizar al lector; donde se justifica la ejecución del proyecto, sus objetivos generales y específicos y el marco teórico correspondiente. El capítulo 2, que detalla la aplicación de la metodología DMADV, consta de 5 secciones. En la primera sección de definición, está declaración del problema, los objetivos generales y específicos, las necesidades y

requerimientos del cliente, y las especificaciones y limitaciones de diseño. En la segunda sección, medición, se muestra un plan de recolección de datos, que posteriormente sería ejecutado para el levantamiento de datos. En la sección de análisis, se desarrollaron las diferentes alternativas de diseño que cumplan con las especificaciones y restricciones de diseño, además se muestra sus análisis financieros. En la cuarta sección, se muestra el plan de prototipado, la esquematización y desarrollo a detalle de la propuesta ganadora. Finalmente, en la sección de validación se muestra el proceso, validación, verificación y resultados obtenidos de las simulaciones de la situación actual versus mejorada. El capítulo 3 abarca los resultados y análisis respecto a las especificaciones, requerimientos y limitaciones diseño; así como también los resultados correspondientes al triple bottom line. Finalmente, en el capítulo 4 se detallan las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

1.1. Descripción del problema

Desde los inicios de las células, su desempeño y productividad no ha sido la esperada por los departamentos de planificación y logística. Debido a que los procesos y tareas intrínsecas del acondicionamiento de productos están parcialmente estandarizadas, el WIP (producto en proceso) en las producciones no está completamente controlado y el flujo de las líneas se encuentra desequilibrado. En otras palabras, actualmente se incurre en desperdicios, como: tiempos de espera, sobreproducción, movimientos y transportes innecesarios, que son actividades que no agregan valor al producto final.

Por lo que los departamentos de planificación y producción de las células del centro de distribución de una empresa de alimentos necesitan rediseñar sus prácticas, ya que, desde el inicio de su operación en el 2017, han reconocido que no han alcanzado su máxima capacidad. Además,

existen oportunidades de mejora en los procesos inherentes a la producción, que permitirán incrementar la productividad diaria y, por ende, su competitividad en el mercado mediante la aplicación de metodologías que apunten al aumento de cajas acondicionadas por hora y a la reducción de los tiempos de espera por arribo de materiales e insumos, y tiempos de setup.

1.2. Justificación del problema

Actualmente la eficiencia de los procesos de planificación y operación está condicionada por factores externos como: disponibilidad de los materiales a acondicionar, pedidos inesperados de clientes valiosos, ausentismo del personal; y factores internos como: falta de aprovechamiento máximo de la capacidad actual de la empresa, desbalanceo de flujo de las líneas y rendimiento operacional. Dichos factores afectan al rendimiento productivo, cumplimiento de pedidos y elevan sus costos de producción, disminuyendo su competitividad dentro del mercado. Conforme a la data confidencial compartida de los indicadores de desempeño de la célula, desde el 1 de enero hasta el 18 de noviembre del 2023, las células acaparan en promedio el 51,35% del portafolio, terminología interna de la empresa para referirse a la demanda de cajas por acondicionar del centro de distribución. Por lo que, en promedio, el 48,65% restante es suplida por 3 proveedores externos por dos razones principales: son capaces de acondicionar la misma cantidad de cajas por un costo de producción menor (mejor opción para el centro de distribución) o porque con la capacidad actual de las células no es posible completar un pedido (inesperado o aberrante). Además, el 59,97% de las cajas planificadas a los proveedores externos, se acondicionaron en las instalaciones internas de las células. Este hallazgo justifica la necesidad de incrementar la producción y rendimiento de las células y reducir los costos de producción, que aunque el cliente no tiene por objetivo acaparar el 100% del portafolio, es necesario ofrecer un precio más competitivo y mejorar

su capacidad de suplir la demanda para que la operación de la célula sea rentable y sostenible en el tiempo.

1.3. Objetivo

1.3.1. *Objetivo general*

Rediseñar las prácticas de planificación y producción de las líneas que conforman la célula interna de copacker del centro de distribución de una empresa alimenticia, que actualmente son un limitante de su productividad, mediante la mejora del uso efectivo de capacidad operativa y de recursos para el incremento de cajas acondicionadas obtenidas por hora, aumento del porcentaje de cumplimiento y reducción de tiempos de espera en los próximos cuatro meses.

1.3.2. *Objetivos específicos*

1. Analizar la situación actual de las líneas de copacker para identificar requerimientos del cliente y especificaciones de diseño.
2. Establecer un plan eficiente de recolección de los datos identificados como necesarios en el QFD para el correcto desarrollo del proyecto.
3. Establecer alternativas o diseñar prototipos que cumplan con los requisitos del cliente y diseño, para evaluación y selección de la opción más viable.
4. Prototipar la alternativa de diseño seleccionada, para su comparación con la situación actual de las líneas.

1.4. Marco Teórico

A continuación, se detalla las definiciones literarias de las metodologías, conceptos y términos utilizados para el desarrollo del presente proyecto.

1.4.1. *DMADV*

Al tratarse de un proyecto de diseño, la aplicación de DMAIC no siempre puede ser la mejor opción para desarrollar el proyecto, por lo que se adaptó la metodología para un proceso de diseño (Asturias Corporación Universitaria, 2022) ; cuyas fases son las siguientes:

- **Definir:** Se establece la oportunidad de mejora, por la cual se registrará el nuevo diseño. En esta fase se plantean los objetivos, alcance y variables del proyecto.
- **Medir:** Se recolectan las variables definidas en la fase anterior, las cuales deben estar alineadas con los objetivos planteados.
- **Analizar:** Se plantean las alternativas y opciones de diseño, las cuales deben satisfacer las necesidades y requerimientos del cliente.
- **Diseñar:** De la alternativa seleccionada en la fase anterior, se diseña la propuesta para cuantificar su desempeño.
- **Validar:** Se evalúa el desempeño del diseño y se verifican que cumplió con los requerimientos del cliente.

1.4.2. *Células de manufactura*

Las células de manufactura consisten en un grupo de máquinas diferenciadas dedicada a la elaboración de una familia de productos. La ubicación de estas máquinas puede variar dependiendo del tipo de célula que se quiere representar, por ejemplo, se pueden ubicar de forma lineal, circular o en forma de U. (Irani, 1999)

La implementación de las células de manufactura trae beneficios como mayor control de producción, ya que reduce los tiempos de producción y disminuye el nivel de inventario, además

de incrementar el nivel de servicio del cliente sin tener que aumentar nuestros costos. (Jaramillo, 2012)

1.4.3. *Acondicionamiento de productos*

El acondicionamiento de producto engloba aquellas actividades como codificado, etiquetado, empacado, stickering, entre otras, las cuales rotulan el producto con información relevante, dependiendo de los requerimientos del clientes o leyes activas del país, como semáforo nutricional en caso de productos alimenticios. (ORL, 2023)

1.4.4. *Metodología 5W + 1H*

5W1H (quién, qué, dónde, cuándo, por qué, cómo) es un método para hacer preguntas sobre un proceso o un problema que se pretende mejorar. Cuatro de las W (quién, qué, dónde, cuándo) y la H se utilizan para comprender detalles, analizar inferencias y juicios para llegar a los hechos fundamentales y guiar declaraciones para llegar a la abstracción, dando una visión más clara de la situación de la organización (Mahalik, 2018)

1.4.5. *Metodología Kanban*

Sugimori en (1977) describen el sistema Kanban como el sistema de control de producción que fue desarrollado para materializar! producción justo a tiempo". En el Sistema Kanban, se utiliza "Kanban", una forma de tarjeta de pedido llamada, señal que permite ordenar o producir piezas como para reponer los consumidos en supermercados de componentes con una cantidad limitada de inventario, calculada para garantizar ese inventario disponible, suficiente para cubrir el período de reposición. (Powell, 2018)

1.4.6. *Balanceo de flujo*

El balanceo de línea busca encontrar una distribución adecuada de las actividades realizadas por una línea de producción, para obtener un equilibrio en el flujo de los productos dentro de los procesos. Uno de los beneficios de aplicar el balanceo es lograr maximizar la ocupación de los operadores logrando reducir los tiempos muertos dentro de la planta. (Barrios, 2010)

1.4.7. *Milk Run*

La metodología Milk Run es una herramienta logística la cual consiste en la recogida y abastecimiento en puntos específicos, con el fin de reducir los costos de transporte. La metodología Milk Run se basa en que un medio de transporte pase por todos los proveedores de la empresa y llegue a su destino, reemplazando el método de un medio de transporte para cada proveedor. (Ramos, Flores, Zabala, & Cahuana, 2022)

1.4.8. *Modelo matemático*

Los modelos constituyen una herramienta importante en ingeniería, ya que simplifican las operaciones de un problema, representando matemáticamente un sistema de producción que sirve de apoyo en la toma de decisiones en organizaciones de mediana y gran complejidad. Estos están constituidos por: función objetivo, variables de decisión, parámetros y restricciones traducidas a un lenguaje matemático. (Krastek, Ramos, & Duarte, 2012).

1.4.9. *Diagrama de Pareto*

El principio de Pareto, en honor al economista italiano V. Pareto, observando q a finales del siglo XIX, las riquezas eran desiguales, es decir, que casi todas las riquezas están en pocas

personas. Con base en este principio M. C. Lorenz logro plasmar este principio mediante un diagrama, sin embargo, Juran, padre de la calidad, fue el que bautizo este método como “Diagrama de Pareto” o también llamado ley del 80-20. (Izar & González, 2004)

La principal función es determinar el mayor foco causante de problemas, en donde según este principio, el 80% de los problemas, provienen de un 20% de todas las causas.

1.4.10. Gemba

En el lugar real, una de las traducciones del japonés que posee el término Gemba, en otras palabras, estar donde ocurre el suceso, donde ocurre el proceso, estar al pie del evento al momento de definir mejoras. (Imai, 2015)

Capítulo 2

2. Metodología

Mediante la aplicación DMADV, se reconoció las necesidades del cliente, sus requerimientos, las limitaciones operacionales y estructurales con las que nos enfrentaremos. Para la posterior recolección de datos que nos permitan cuantificar esos requerimientos y necesidades, obteniendo un panorama más claro para proponer prototipos de diseño que satisfagan los requerimientos del cliente, cuya validación se realizará con herramientas Lean y de simulación. A continuación se presenta el desarrollo de esta metodología.

2.1. Etapa de definición

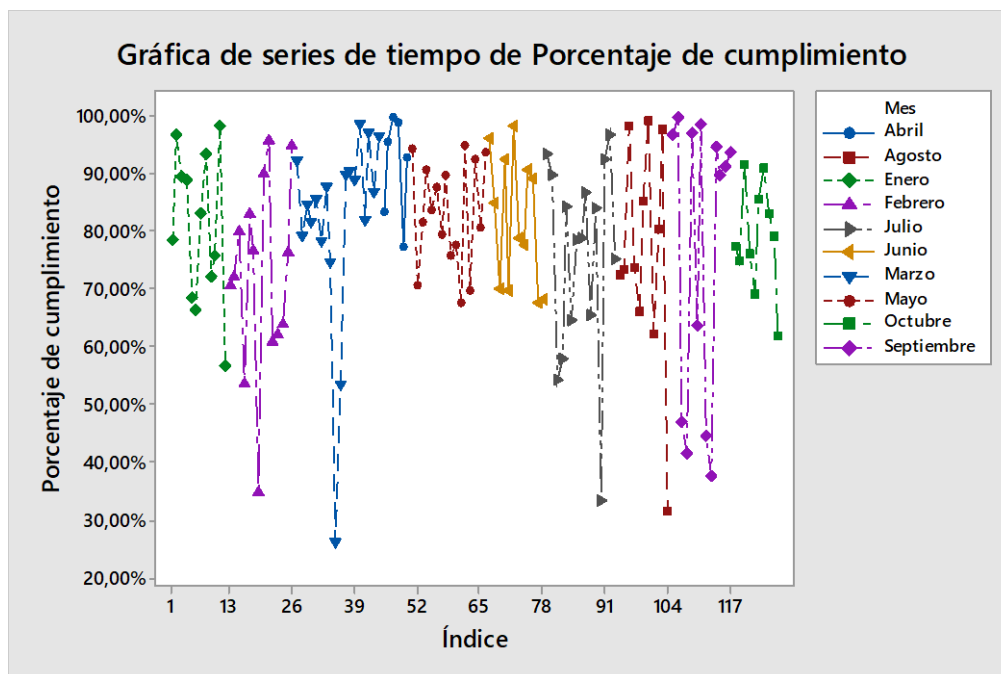
En esta etapa se evaluó la situación de la célula de la empresa y sus líneas; en donde se recolectaron las necesidades y requerimientos de los clientes, con el fin de identificar las variables críticas para poder proponer alternativas de diseño que puedan satisfacer estas necesidades.

2.1.1. *Situación actual*

Para entender mejor la situación actual del rendimiento del centro de distribución, se usó uno de los indicadores clave con el que la empresa evalúa su rendimiento semanalmente, este es el porcentaje de cumplimiento de cajas acondicionadas por día que considera el número de cajas acondicionadas de las 4 líneas del área de acondicionamiento versus la planificación diaria. En la figura 2,1 se segmentó por mes, para poder visualizar el comportamiento del indicador durante el año, teniendo sus puntos más bajos en la mitad de los meses analizados. En lo que va del año 2023, se observa que este indicador se concentra entre el 70% y el 100%; aunque no se realice en el día programado, se hará en el siguiente para no afectar el nivel de servicio. Sin embargo, se incurre en la utilización de horas adicionales a las estimadas para realizar el acondicionamiento de la totalidad de cajas, provocando el aumento del costo de producción.

Figura 2.1

Porcentaje de cumplimiento de cajas acondicionadas por día



Nota. La figura muestra el porcentaje de cumplimiento de las líneas de copacker durante un año.

2.1.2. Alcance

Al tener varios departamentos involucrados en las actividades relacionadas con las células, se ha elaborado un diagrama SIPOC mostrado en la figura 2.2, donde se pueden visualizar los elementos claves del proceso de acondicionamiento. En donde el alcance del proyecto se determinó desde la planificación, misma que se da de manera semanal, hasta el acondicionamiento de los productos. En este caso el primer proceso *Recepción de orden* no tiene incidencia en la productividad de la célula, ya que la demanda del cliente interno no se someterá a cambios. El último proceso de almacenamiento, mediante observación directa, definimos que esta actividad ejecutada por el montacarguista no representa cuello de botella o afecta la cantidad esperada de cajas acondicionadas por hora.

Figura 2.2

Diagrama SIPOC del proceso de un pedido en la cédula copacker



Nota. La figura muestra que el proyecto se enfocara en los procesos de planificación, acondicionamiento y almacenado.

2.1.3. *Voz del cliente*

Para el desarrollo de la herramienta VOC o Voz del Cliente, se identificó 5 actores principales en el proceso:

1. Analista de logística
2. Line mánager copacker cell
3. Asistente de bodega

4. Ayudante de bodega

5. Operadores

En donde, el analista de logística fue identificado como nuestro cliente clave. Mediante entrevistas virtuales y presenciales, se identificaron las necesidades de estos actores, las cuales se han clasificado en 3 categorías: Productividad, Planificación Logística y Esfuerzo de trabajo. Esta clasificación de las necesidades se muestra en la figura siguiente diagrama de afinidad.

Figura 2.3

Diagrama de afinidad de las necesidades de los clientes

Productividad	Planificación Logística	Esfuerzo de trabajo
<ul style="list-style-type: none"> • No poder acaparar todo el portafolio de clientes. • Número de cajas/Hora no competitiva • Variabilidad en la ejecución de tareas. • Realizar horas extras para pedidos no planificados • Reprocesamiento debido a codificación errónea • Reducción de aforo por ausentismo. • Costos laborales no competitivos • Incompatibilidad de líneas con la automatización. • Alta variabilidad de tipos de productos. • Incertidumbre por el cumplimiento de indicadores • Procesos repetitivos de verificación e inspección de productos. • Espere al inicio para que se complete el expediente y la carta de la máquina. • Sobrecarga de trabajo de montacargas en días de alta producción 	<ul style="list-style-type: none"> • Consecuencias no positivas por pedidos inesperados • Falta de políticas de pedidos con clientes específicos. • Retraso en la llegada de productos acondicionadores • Variabilidad en la planificación semanal. • Falta o exceso de corrugado (embalaje) • Espacio utilizado en racks para pedidos sin órdenes de salida • Pérdida de tiempo buscando pegatinas/etiquetas. • Sistemas de localización manuales e imprecisos • Incompatibilidad de líneas con la automatización. • Controles de inventario de suministros no digitalizados • Ubicación poco productiva de materiales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estrés por cumplimiento de pedidos no planificados • Incurrencia de horas extras no planificadas • Alguna dificultad para adaptarse a nuevas tareas por rotación • Satisfacción por el reconocimiento del desempeño • Buen ambiente de trabajo

Nota. Para traducirlas a necesidades, y poder usarlas como input en el CTQ (figura 2.4) se clasificaron estas necesidades en estas tres categorías.

2.1.4. Limitaciones de diseño

Mediante entrevistas con los responsables del proceso dentro de la empresa, se han identificado las siguientes restricciones que deben ser consideradas en el diseño a implementar:

1. Imposibilidad de acaparar 100% del portafolio (pedidos), debido a los costos altamente competitivos del proveedor externo.
2. Descarte de la automatización de línea de copacker debido a la alta variabilidad entre las características del producto.
3. Priorización del cumplimiento de los pedidos de los clientes considerados valiosos.
4. Restricción para invertir significativamente en nuevas máquinas o adicionar líneas.
5. Conservación de número de operarios por producción de línea.

2.1.5. Características de calidad

Una vez recolectados las necesidades de los clientes y partes involucradas en el proceso, se clasificaron los VOC identificados en la unidad 2.1.3. Con base en las categorías obtenidas, se desarrollaron las siguientes necesidades de los clientes:

1. Aumento de la productividad.
2. Mejora en la planificación logística.
3. Optimización del esfuerzo de trabajo.

De las cuales se propusieron los drivers de tasa de producción, tiempos de espera, costos, calidad y planificación. En donde, para cada driver se identificaron diferentes CTQs, estos se detallan a continuación:

2.1.5.1. Tasa de producción.

2.1.5.1.2. *Porcentaje de cumplimiento de planificación por día > 90%.*

$$\frac{\text{cajas efectivas del sku } x \text{ en el día } y}{\text{cajas programadas del sku } x \text{ en el día } y} \times 100 \quad (2.1.)$$

2.1.5.1.3. *Cajas acondicionadas por hora por producto > 100% del promedio por producto.*

$$\frac{\text{cajas}}{\text{hora}} / \text{producto} \quad (2.2.)$$

2.1.5.2. Tiempos de espera.

2.1.5.2.2. *Tiempo de espera por arribo de insumos y materiales por orden de producción < 5 minutos.*

$$\frac{\text{Tiempo de espera por arribo de materiales e insumos (minutos)}}{\text{orden de producción}} \quad (2.3.)$$

2.1.5.2.3. *Tiempo de setup por producción < tiempo promedio actual menos 5 minutos.*

$$\frac{\text{Tiempo de setup (minutos)}}{\text{producto}} \quad (2.4.)$$

2.1.5.3. Calidad

2.1.5.3.1. *Cantidad de producto reprocesado por orden de producción < 98 % del promedio.*

$$\frac{\text{Cantidad de productos reprocesados (unidad)}}{\text{orden de producción}} \tag{2.5.}$$

2.1.5.3.2. Kilogramos de desperdicio por día < 2 kg

$$\frac{\text{Kilogramos de desperdicios}}{\text{día}} \tag{2.6.}$$

2.1.5.4. Planificación

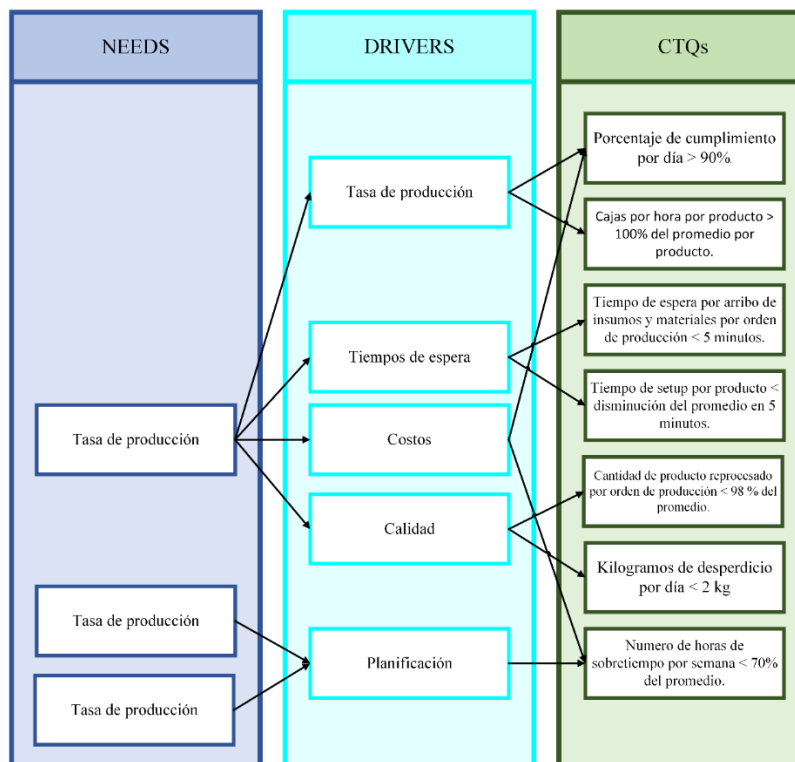
2.1.5.4.1. Número de horas de sobretiempo por semana < 70% del promedio.

$$\frac{\text{Horas de sobretiempo}}{\text{Semana}} \tag{2.7.}$$

Los CTQs identificados se desarrolló el CTQ Tree para una mejor visualización de los drivers y su relación con las características de calidad.

Figura 2.4.

CTQ Tree de las necesidades del cliente



2.1.5. *Quality Function Deployment*

Una vez definidas las necesidades del cliente, con sus respectivos CTQs, se desarrolló los diferentes pasos que conforman la casa de la calidad.

2.1.5.1. Requerimientos del cliente. A partir del CTQ Tree se desarrollaron los siguientes requerimientos del cliente:

1. Aumento de la productividad.
2. Menores costos de producción por producto.
3. Compatibilidad del nuevo diseño con la alta variabilidad de productos.
4. Incrementar el acaparamiento de clientes sin incrementar costos.
5. Cortos tiempos de espera para producir.
6. Fácil acceso y ubicación de materiales e insumos.
7. Reducción de productos inconformes.
8. Menor variabilidad en la planificación operativa.
9. Flexibilidad del diseño ante cambios en la planificación de pedidos.
10. Aumentar la disponibilidad de las líneas.

2.1.5.2. Priorización de requerimientos del cliente. Mediante entrevistas virtuales con el cliente clave, se priorizaron los requerimientos mencionados, en donde se utilizó una escala del 1 al 10, donde 1 se considera de baja prioridad y 10 de alta prioridad. Las calificaciones se pueden observar en la Tabla 2.1

Tabla 2.1*Priorización de requerimientos del cliente*

Requerimientos del cliente	Importancia	Valor relativo
Aumento de la productividad	10	14%
Menores costos de producción por producto	9	12%
Compatibilidad del nuevo diseño con la alta variabilidad de productos	9	12%
Incrementar el acaparamiento de clientes sin incrementar costos	9	12%
Cortos tiempos de espera para producir	8	11%
Fácil acceso de materiales e insumos	8	11%
Reducción de productos inconformes	7	9%
Menor variabilidad de la planificación operativa	7	9%
Flexibilidad del diseño ante cambios en la planificación de pedidos.	7	9%
Aumentar la disponibilidad de las líneas	6	8%

2.1.5.3. Especificaciones de diseño. Para satisfacer los requerimientos de los clientes, se propuso las siguientes especificaciones de diseño:

1. Porcentaje de cumplimiento de cajas por día mayor al 90%.
2. Cajas/hora por producto mayor en un 10% al promedio.
3. Tiempo de espera por arribo de insumos y materiales por orden de trabajo por día menor 2 minutos.
4. Tiempo de set up por orden de producción menor en 5 minutos.
5. Horas extras por semana menor al 70% del promedio actual.
6. Reducción del 2% de productos reprocesados por día.
7. Kilogramos de desperdicios menor a 2 kg por día.

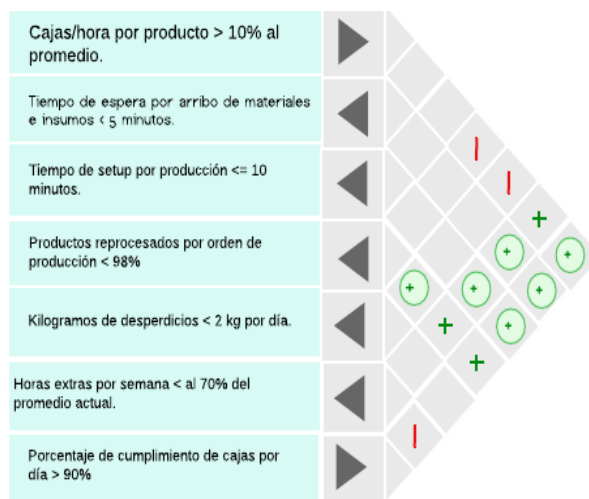
2.1.5.4. Correlación de las especificaciones de diseño. Como siguiente paso de la herramienta

QFD se obtuvo la tabla 2.2., se desarrollan las correlaciones entre cada una de las

especificaciones de diseño, donde \oplus significa la correlación positiva fuerte, $+$ una correlación positiva, $-$ una correlación negativa y \ominus una correlación negativa fuerte.

Figura 2.5.

Correlación entre las especificaciones de diseño.



2.1.5.5. Relación entre requerimientos y especificaciones de diseño. En conjunto con el cliente clave, se desarrolló la evaluación de las relaciones entre los requerimientos del cliente y las especificaciones de diseño guiada con la matriz de relación mostrada en la tabla 2.2. donde se detalla la simbología usada para asignar el tipo de relación:

Tabla 2.2.

Simbología de la matriz de relaciones

Matriz de Relaciones		
●	Fuerte	9
◐	Medio	3
○	Bajo	1
	No asignado	0

Así, se desarrolló la matriz de relaciones de la figura 2.6; donde se calificó la relación entre los requerimientos y las especificaciones de diseño tomando en cuenta los valores cuantitativos para los cálculos respectivos.

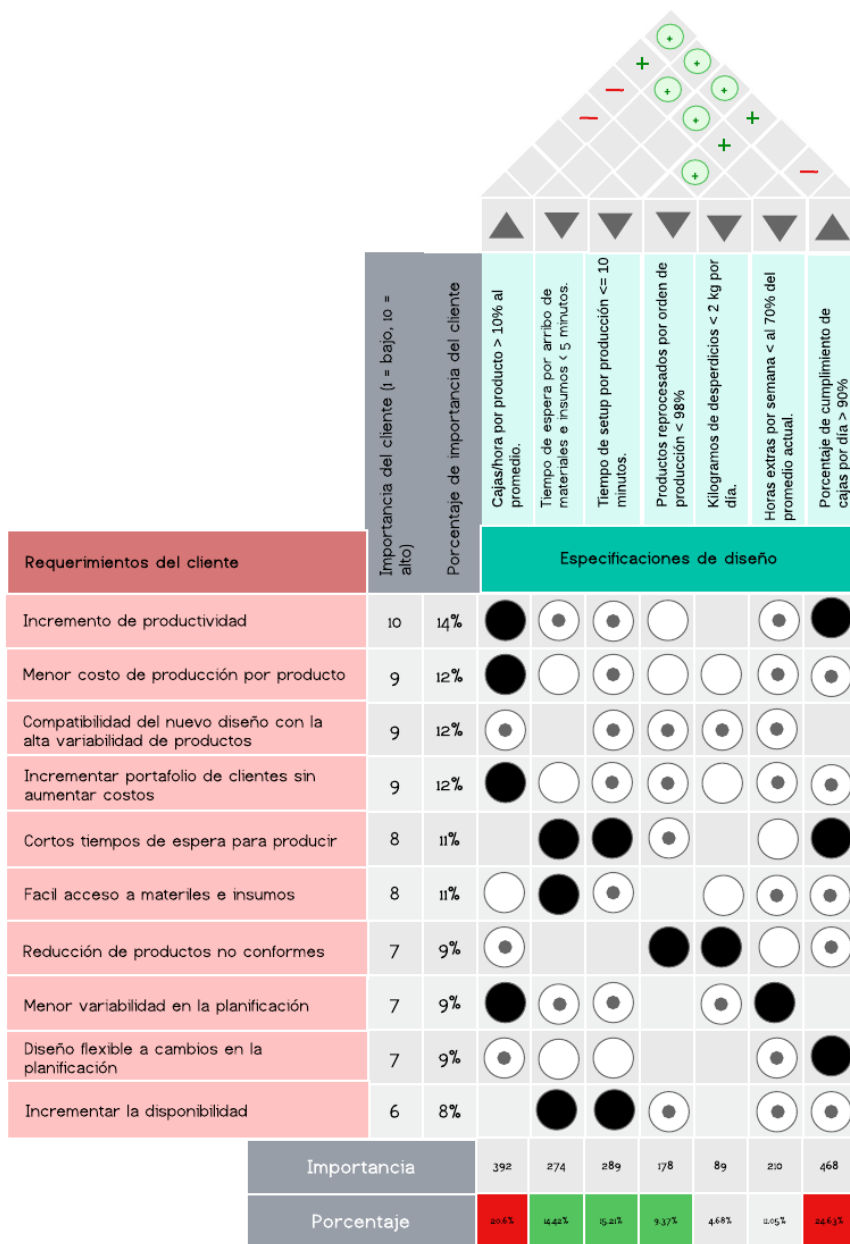
Figura 2.6

Matriz de relaciones

Requerimientos del cliente	Importancia del cliente (1 = bajo, 10 = alto)		Especificaciones de diseño							
	Porcentaje de importancia del cliente		Cajas/hora por producto > 10% al promedio.	Tiempo de espera por arribo de materiales e insumos < 5 minutos.	Tiempo de setup por producción <= 10 minutos.	Productos reprocesados por orden de producción < 98%	Kilogramos de desperdicios < 2 kg por día.	Horas extras por semana < al 70% del promedio actual.	Porcentaje de cumplimiento de cajas por día > 90%	
Incremento de productividad	10	14%	●	●	●	○	○	○	●	●
Menor costo de producción por producto	9	12%	●	○	●	○	○	○	●	●
Compatibilidad del nuevo diseño con la alta variabilidad de productos	9	12%	●	○	●	●	●	●	○	○
Incrementar portafolio de clientes sin aumentar costos	9	12%	●	○	●	●	○	○	●	●
Cortos tiempos de espera para producir	8	11%	○	●	●	●	○	○	○	●
Facil acceso a materiles e insumos	8	11%	○	●	●	○	○	○	●	●
Reducción de productos no conformes	7	9%	●	○	○	●	●	○	○	●
Menor variabilidad en la planificación	7	9%	●	●	●	○	○	●	○	○
Diseño flexible a cambios en la planificación	7	9%	●	○	○	○	○	○	●	●
Incrementar la disponibilidad	6	8%	○	●	●	●	○	○	○	○

Con estos 5 pasos previos se estructuró la “Casa de la Calidad” o QFD, la cual se muestra en la siguiente figura 2.7

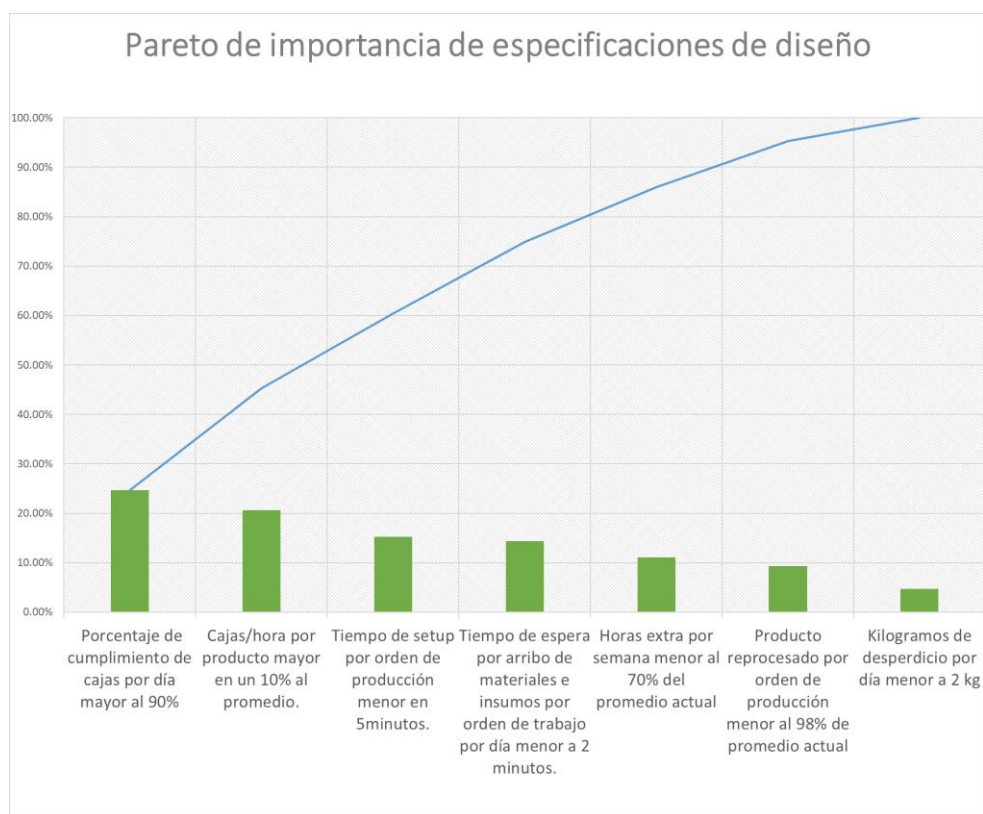
Figura 2.7
Quality Function Deployment



Como resultado del QFD se obtuvo los porcentajes de importancia de cada especificación relevante del Pareto de la figura 2.8, que deben considerarse en las alternativas de diseño para satisfacer la mayoría de los requerimientos del cliente.

Figura 2.8

Pareto de importancia de especificaciones de diseño



Considerando el criterio de 80/20, reconocemos que las primeras 5 especificaciones de diseño que se enuncian a continuación son las más importantes a considerar:

- a. Porcentaje de cumplimiento de cajas por día mayor al 90%.
- b. Cajas por hora por producto mayor en un 10% al promedio.

Además, se tomó en cuenta las 3 siguientes con mayor porcentaje para poder obtener un diseño robusto.

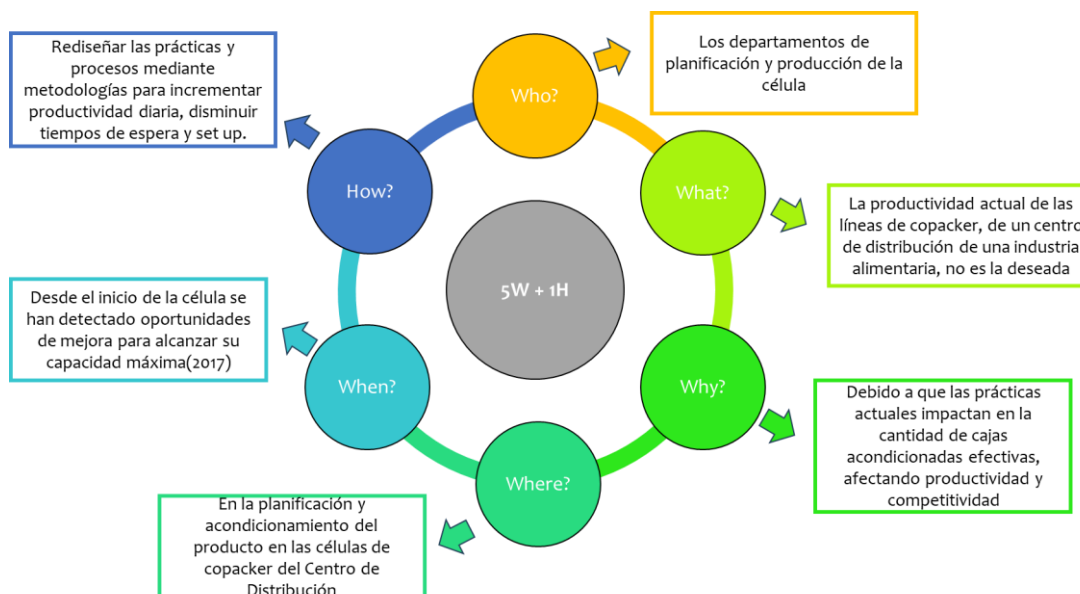
- a. Tiempo de set up por orden de producción menor en 5 minutos.
- b. Tiempo de espera por arribo de insumos y materiales por orden de trabajo por día menor 2 minutos.

2.1.6. *Declaración de oportunidad*

Se aplicó la herramienta 5W + 1H mostrada en la figura, se realizó la declaración de oportunidad del proyecto, la misma que fue validada por el cliente clave de la línea de copacker.

Figura 2.9

Declaración de oportunidad mediante herramienta 5W+1H



Por medio de esta herramienta, se obtuvo la siguiente declaración de oportunidad: “Los departamentos de planificación y producción de las células del centro de distribución de una empresa de alimentos necesitan rediseñar sus prácticas, ya que, desde el inicio de su operación en el 2017, han reconocido que no han alcanzado su máxima capacidad. Además, existen oportunidades de mejora en los procesos operativos y de planificación que permitirán incrementar la productividad diaria y, por ende, su competitividad en el mercado mediante la aplicación de

metodologías que apunten al aumento de cajas acondicionadas por hora y a la reducción de los tiempos de espera por arribo de materiales e insumos y tiempos de Setup”.

2.1.7. *Triple Bottom Line*

Con base en los indicadores planteados en las etapas anteriores, se clasificaron mediante el uso del triple botón line tabla 2.3, clasificándose en pilares económico, social y ambiental. La clasificación de nuestros indicadores se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2.3

Indicadores del triple botton line

Triple Bottom Line		
Económico	Social	Ambiental
Porcentaje de cumplimiento de planificación por día	Número de horas extras por producción	Kilogramos de residuos al día
Cajas acondicionadas por hora por producto		Cantidad de producto reprocesado por orden de producción
Tiempo de espera por arribo de materiales e insumos Tiempo de set up por producción		

2.2 Etapa de medición

Esta etapa de medición consiste en la recolección de los datos que tengan relación con los 5 indicadores resultantes del QFD, cuya cuantificación acorde a la realidad se usará como inputs en la evaluación de las alternativas de diseño y simulaciones de escenario actual y la alternativa de diseño mediante la herramienta FlexSim, mismas que tendrán lugar en los siguientes pasos.

Los SKU seleccionados para el plan de recolección de datos fueron los considerados “Productos tipo A”, en donde se evaluaron las ganancias mensuales y su volumen de producción mensual, en donde, para la elección se hizo una comparación y se seleccionaron aquellos SKU que

estaban en el top en ambos casos, dando como resultados 3 SKU a los que denominaremos a partir de ahora como SKU A y SKU C.

2.2.1. Plan de recolección de datos

Con base en los resultados del QFD, se cuestionó que variables serían las adecuadas para poder cuantificar dichos indicadores y cuáles serían necesarias para evaluar alternativas de diseño y realizar simulaciones y prototipos de la elegida, por lo que fue necesario utilizar el formato de plan de recolección de datos mostrado en la tabla 2.5 acorde a la metodología 5W+1H; donde se especifica:

1. What: ¿Qué se recolectará? (dato, definición, factor de estratificación, tipo de dato, unidades de medición).
2. Where: ¿Dónde se recolectará? (fuentes de información).
3. When: ¿Cuándo se recolectará? (etapa del proyecto en que se ejecutará).
4. Who: ¿Quiénes serán los encargados de recolectarlos?.
5. Why: ¿Por qué es importante recolectarlo? (usos futuros).
6. How: ¿Cómo se recolectará? (método de observación, recolección y validación).

Figura 2.10

Plan de recolección de datos

What?						Where?	When?	How?			Why?	Who?	Estado de la recolección
No.	Variable	Definición operacional	Factores de estratificación	Unidades de medida	Tipo de Dato	¿Dónde se recolectó?	Tiempo	Método de observación	Método de medición/recolección	Método de validación	¿Por qué se recolecta?	¿Quién lo recolecta?	
1	Porcentaje de cumplimiento de cajas por día de los sku's seleccionados	Indicador de pedidos planificados en el día que se han completado	Por tipo de producto A	porcentaje (%) / día	Cuantitativo-Continuo	Documentación interna de control de producción de células	Durante la fase de medición	Observación de documentos internos de control	Solicitar acceso a documentos históricos de control de producción de los sku seleccionados	Validar el correcto registro de datos mediante GEMBA junto con el ayudante de bodega y operarios. Realizar prueba de confiabilidad respecto a muestreo directo	Los datos se utilizarán para evaluar económicamente las alternativas de diseño mediante la cuantificación monetaria de beneficios y futuras simulaciones de escenarios	L. Lara K. Pazmiño	Finalizado
2	Cajas por hora por los sku's seleccionados	Tasa de producción de cajas acondicionadas por hora	Por tipo de producto A	cajas/hora/producto	Cuantitativo-Continuo	Documentación interna de control de producción de células	Durante la fase de medición	Observación de documentos internos de control					
3	Tiempo de espera por materiales e insumos por arribo	Tiempo en que arriba el pallet nuevo de material o insumos al área de desempaque desde el vacío del anterior	Por tipo de producto A	segundo/por arribo	Cuantitativo-Continuo	Células de copacker	Durante la fase de medición	Observación directa	Aplicar metodología Gemba con el uso de herramientas de medición del tiempo.	Validar la interpretación y registro de tiempos muestreados con analista de logística y verificar la confiabilidad mediante la correcta aplicación de métodos de toma de tiempo		L. Lara K. Pazmiño	Finalizado
4	Tiempos de set up por producción	Tiempo que lleva realizar calibraciones, preparación y documentación.	Por tipo de producto A	min/por producción	Cuantitativo-Continuo	Células de copacker	Durante la fase de medición y análisis	Observación directa					
5	Tiempo de desempaqueado por caja	Tiempo desde que el operador toma la caja hasta que saca la última unidad	Por tipo de producto A	Segundos/caja	Cuantitativo-Continuo	Células de copacker	Durante la fase de medición	Observación directa					
6	Tiempo de acondicionamiento	Tiempo desde el desempaque hasta el empaque del producto	Por tipo de producto A	segundos/unidad	Cuantitativo-Continuo	Células de copacker	Durante la fase de medición	Observación directa					
7	Tiempo de empaquetado por caja	Tiempo desde que el operador toma la caja hasta que inserta la última unidad	Por tipo de producto A	Segundos/caja	Cuantitativo-Continuo	Células de copacker	Durante la fase de medición	Observación directa					

2.2.2. *Recolección de datos: Resultados, validación y confiabilidad de los datos*

Los datos definidos en el plan de recolección se obtuvieron mediante muestreo con observación directa y muestreo de documentación interna de control de operación. De manera general las primicias para demostrar la confiabilidad de los datos son: que el tamaño n de la muestra inicial sea suficiente según la distribución de las variables y que la metodología para muestreo directo y las fuentes de información elegidas a estudiar sean apropiadas y de calidad para su futuro uso. Para la primera primicia, se realizó una prueba de normalidad en Minitab de los 7 datos muestreados, si se comprobaba que los datos siguen una distribución normal, se utiliza la ecuación 2.8. de tamaño de muestras para población finita; donde $Z_{\left(\frac{\alpha}{2}\right)}=1,96$ y $\varepsilon=0,05$

$$n = \frac{Z_{\left(\frac{\alpha}{2}\right)}^2 N \sigma^2}{\sigma^2 Z_{\left(\frac{\alpha}{2}\right)}^2 + (N - 1) \varepsilon^2} \quad (2.8.)$$

Si los datos no siguen una distribución normal, se utiliza la ecuación (2.9.) para calcular el número mínimo de observaciones; donde $K=1,35$ y $Z_{\left(\frac{\alpha}{2}\right)}=1,96$ y RIQ es el rango intercuartil obtenido en Minitab con la ruta: Estadística → Estadística básica → Mostrar estadísticos descriptivos → Seleccionar Rango intercuartil → Aceptar

$$n = \left(\frac{Z_{\left(\frac{\alpha}{2}\right)} * \frac{RIQ}{K}}{\varepsilon} \right)^2 \quad (2.9)$$

Respecto a la segunda primicia, para los datos de tipo cuantitativos muestreados mediante observación directa de tiempos, fue necesario establecer un método estándar para la toma de estos

que consistió en el uso de cronómetros y relojes con formato hh:mm:ss,00 para que la toma de tiempos de la ejecución de los procesos sea lo más exacta posible, así como también se definió un formato para la toma de tiempos, con la segmentación de la información que se reconoció como importante. Con columnas correspondientes a la fecha de muestreo, registro detallado de tiempos: de espera por arribos de materiales e insumos y set ups, desempaque, acondicionamiento, y empaque por caja; y el registro de horas de inicio y fin de actividades importantes, notas de muestreo correspondientes: cambios en la capacidad operativa, incurrimiento de desperdicios y número de unidades reprocesadas. Mientras que para los datos que fueron calculados usando información muestreada se realizaron pruebas de ajustes comprobando una coincidencia mayor al 95% entre lo observado y lo registrado en esta documentación interna de la empresa, así como la validación detallada del proceso actual para registrar información. A continuación, se detalla los resultados obtenidos del levantamiento y las pruebas de confiabilidad respectivas.

2.2.2.1. Porcentaje de cumplimiento por día de SKU seleccionados. Este indicador hace referencia al nivel de cumplimiento de la planificación de producción realizada de manera semanal, que en el curso de esta suele necesitar ajustes por nuevos pedidos o cambios de prioridad de estos. Estos cambios están considerados en la cantidad de cajas programadas, mientras que la cantidad de cajas producidas o efectivas reflejan el rendimiento y productividad que se espera de la célula. Este indicador se calculó con la fórmula (2.10.) y los datos mostrados a continuación corresponden a 3 de los 6 SKU a muestrear al momento del presente avance.

% de cumplimiento de cajas por día

$$= \frac{\text{cajas producidas de los sku's seleccionados en el día}}{\text{cajas programadas de los sku's seleccionados en el día}} \times 100 \quad (2.10.)$$

Las cantidades de cajas producidas y programadas fueron muestreadas de las cartas máquinas, documentos internos de control de producción de las células copacking llenado por los operarios, correspondientes a la producción de los SKU A, B y C dentro del periodo del 3 de octubre hasta el 15 noviembre del 2023, obteniendo con la aplicación de la fórmula 2.10. los valores de % de cumplimiento de planificación por día mostrados en la figura 2.11, cuya media es igual a 96.52% y desviación estándar 11.35%.

Figura 2.11

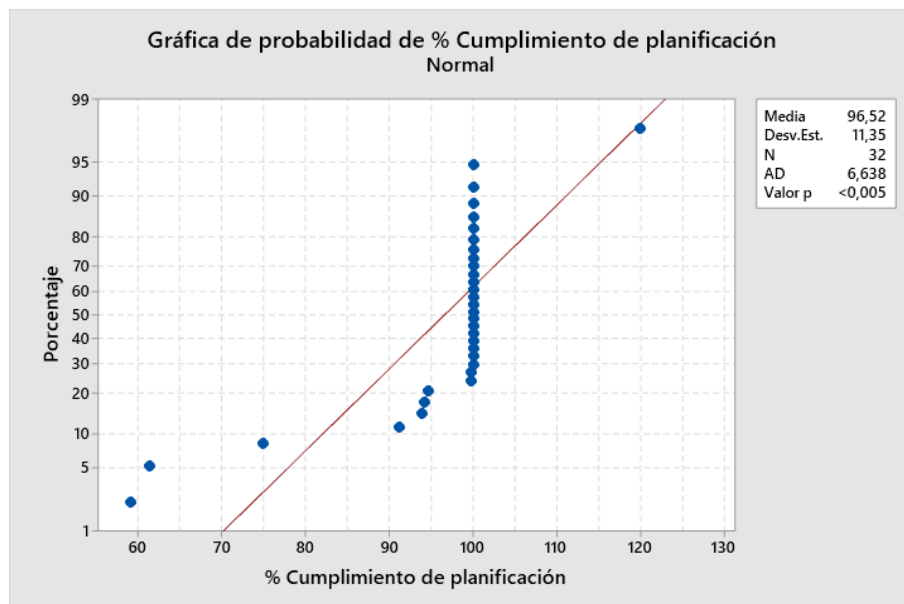
Porcentaje de cumplimiento de planificación por día

N° de muestra	Fecha	Producto	Cajas programadas registradas en carta máquina	Cajas producidas registradas en carta máquina	% Cumplimiento de planificación por día
1	19-oct-23	SKU A	330	396	120,00
2	13-oct-23		688	688	100,00
3	13-oct-23		230	230	100,00
4	13-oct-23		6	6	100,00
5	13-oct-23		330	301	91,21
6	10-nov-23		657	657	100,00
7	10-nov-23		330	330	100,00
8	10-nov-23		657	657	100,00
9	3-oct-23	SKU B	796	794	99,75
10	17-oct-23		1152	1152	100,00
11	18-oct-23		384	383	99,74
12	23-oct-23		1152	1152	100,00
13	24-oct-23		768	768	100,00
14	24-oct-23		384	384	100,00
15	24-oct-23		384	384	100,00
16	25-oct-23		384	384	100,00
17	30-oct-23		768	768	100,00
18	31-oct-23		1344	1344	100,00
19	1-nov-23		960	960	100,00
20	2-nov-23		1024	969	94,63
21	8-nov-23		1152	1152	100,00
22	13-nov-23		384	384	100,00
23	1-nov-23	SKU C	330	195	59,09
24	2-nov-23		270	270	100,00
25	6-nov-23		98	98	100,00
26	7-nov-23		79	79	100,00
27	8-nov-23		311	292	93,89
28	9-nov-23		325	306	94,15
29	10-nov-23		30	30	100,00
30	12-nov-23		165	165	100,00
31	13-nov-23		150	92	61,33
32	15-nov-23		401	300	74,81

Para validar la confiabilidad de los datos, se realizó un test de normalidad obteniendo el resultado mostrado en la figura 2.12 a continuación:

Figura 2.12

Gráfica de probabilidad de normalidad de % de cumplimiento de planificación / día



Por lo que al obtener un valor p menor a 0,05 se rechaza la hipótesis de que los datos siguen una distribución normal y se utiliza la ecuación (2.9.) con la que se obtiene que el número mínimo de observaciones n es de $29,0800549 \approx 30$; donde $\varepsilon = 0.07$, y $RIQ = 0,26$ calculado en Minitab. No es necesario tomar más datos que los $N=32$ muestreados inicialmente.

Para asegurar que los datos tomados como input para el cálculo del indicador sean registrados de manera correcta se utilizó la metodología GEMBA, donde después de la observación directa del proceso de llenado de la carta máquina, se corroboró junto con los operadores que las cajas efectivas coincidan con las cajas que registran como producidas durante el día analizado en el documento correspondiente al SKU, así también se compara versus la planificación, que considera los cambios finales, el registro correcto en la sección de cajas programadas.

2.2.2.2. Cajas por hora por SKU seleccionados. Este indicador hace referencia a la cantidad de cajas acondicionadas colocadas en el pallet de producto final que se obtienen por hora; es

decir el throughput que se obtiene de la línea de la célula en que se produce determinado SKU. Se identificó que en la carta máquina se registran las horas en que inicia y finaliza el llenado de pallet con producto terminado/acondicionado, donde dicho pallet siempre está constituido de un número constante de cajas por SKU. Si los datos son confiables, podría calcularse en cuanto tiempo en promedio se obtiene un pallet acondicionado y, consecuentemente, cuantas cajas se obtienen por hora.

En la figura 2.13 se evidencian las 33 observaciones de valores de cajas por hora para el SKU A, calculados a partir del muestreo de cartas máquinas. En la misma figura, se muestran las observaciones del SKU B y C calculadas de igual manera. Para los tres SKU's, la columna *cajas por pallet* hace referencia al número de cajas contenidas en un pallet, la columna *Tiempo en que se obtiene un pallet acondicionado* se calculó con la fórmula (2.11)

$$\begin{aligned}
 & \textit{Tiempo en que se obtiene un pallet de PT} \\
 & = \textit{hora fin en que se termina de armar un pallet de PT} \qquad (2.11.) \\
 & - \textit{hora de inicio en que se empieza a armar un pallet de PT}
 \end{aligned}$$

Donde esas horas se registran en las cartas máquinas por los operadores, en el curso de la producción, cuya confiabilidad se analizarán después. Finalmente, la columna *cajas por hora* es calculada con la fórmula (2.12.)

$$\textit{cajas por hora} = \frac{\textit{Cajas}}{\textit{Pallet}} \qquad \frac{\qquad}{\textit{Tiempo en que se obtiene un pallet de PT}} \qquad (2.12.)$$

Figura 2.13

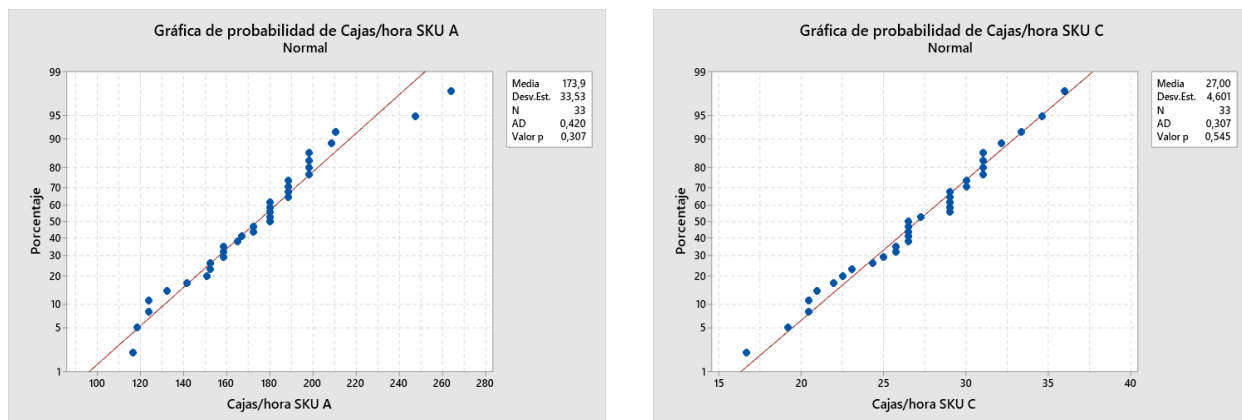
Cajas por hora por producto

N° de muestra	SKU A			SKU B			SKU C		
	cajas por pallet	Tiempo en que se obtiene un pallet acondicionado	Cajas por hora	cajas por pallet	Tiempo en que se obtiene un pallet acondicionado	Cajas por hora	cajas por pallet	Tiempo en que se obtiene un pallet acondicionado	Cajas por hora
1	66	0:28:00,0	141,43	192	0:57:00,0	202,11	15	0:29:00,0	31,03
2		0:26:16,0	150,76		0:52:00,0	221,54		0:26:00,0	34,62
3		0:23:44,0	166,85		0:51:00,0	225,88		0:29:00,0	31,03
4		0:32:00,0	123,75		1:05:00,0	177,23		0:34:00,0	26,47
5		0:20:00,0	198,00		0:50:00,0	230,40		0:44:00,0	20,45
6		0:33:30,0	118,21		0:49:00,0	235,10		0:44:00,0	20,45
7		0:22:00,0	180,00		0:58:00,0	198,62		0:36:00,0	25,00
8		0:23:00,0	172,17		0:55:00,0	209,45		0:41:00,0	21,95
9		0:21:00,0	188,57		0:58:00,0	198,62		0:29:00,0	31,03
10		0:18:50,0	210,27		0:55:00,0	209,45		0:37:00,0	24,32
11		0:30:00,0	132,00		1:09:00,0	166,96		0:34:00,0	26,47
12		0:22:00,0	180,00		1:07:00,0	171,94		0:35:00,0	25,71
13		0:21:00,0	188,57		0:57:00,0	202,11		0:34:00,0	26,47
14		0:23:00,0	172,17		0:58:00,0	198,62		0:35:00,0	25,71
15		0:25:00,0	158,40		1:07:00,0	171,94		0:43:00,0	20,93
16		0:22:00,0	180,00		0:56:00,0	205,71		0:54:00,0	16,67
17		0:32:00,0	123,75		0:52:00,0	221,54		0:30:00,0	30,00
18		0:20:00,0	198,00		1:05:00,0	177,23		0:29:00,0	31,03
19		0:15:00,0	264,00		1:03:00,0	182,86		0:30:00,0	30,00
20		0:26:00,0	152,31		1:03:00,0	182,86		0:31:00,0	29,03
21		0:16:00,0	247,50		0:48:00,0	240,00		0:25:00,0	36,00
22		0:34:00,0	116,47		0:34:00,0	338,82		0:27:00,0	33,33
23		0:19:00,0	208,42		0:39:00,0	295,38		0:47:00,0	19,15
24		0:22:00,0	180,00		0:49:00,0	235,10		0:31:00,0	29,03
25		0:20:00,0	198,00		0:40:00,0	288,00		0:31:00,0	29,03
26		0:21:00,0	188,57		0:44:00,0	261,82		0:31:00,0	29,03
27		0:25:00,0	158,40		0:45:00,0	256,00		0:33:00,0	27,27
28		0:21:00,0	188,57		0:57:00,0	202,11		0:34:00,0	26,47
29		0:22:00,0	180,00		1:03:00,0	182,86		0:28:00,0	32,14
30		0:26:00,0	152,31		0:47:00,0	245,11		0:34:00,0	26,47
31		0:25:00,0	158,40		0:42:00,0	274,29		0:39:00,0	23,08
32		0:24:00,0	165,00		0:47:00,0	245,11		0:40:00,0	22,50
33		0:20:00,0	198,00		0:40:00,0	288,00		0:31:00,0	29,03
Parametros	Media	173,9		Media	222,5		Media	27	
	Desviación estandar	33,53		Desviación estandar	41,49		Desviación estandar	4,601	

Para demostrar la confiabilidad de las horas de inicio y fin utilizadas para el cálculo del indicador, primero se verificó si las cajas por hora del SKU A, B y C seguían una distribución normal (figura 2.14) como se muestra a continuación:

Figura 2.14

Pruebas de normalidad de cajas por hora de SKU A, B y C



En los dos casos se obtuvo valores p mayores a 0,05, por lo que no se rechaza la hipótesis de que los datos siguen una distribución normal. Así, se utilizó la ecuación (2.8.) para calcular el tamaño de muestra necesario para cada SKU; obteniendo lo siguiente: para el SKU A n es igual a $32,9994 \approx 33$ y para el SKU C n es igual a $32,967 \approx 33$, por lo que se concluye que las 33 observaciones tomadas inicialmente son suficientes considerar una buena aproximación del indicador.

Para la prueba de confiabilidad, se planteó una prueba de ajuste entre las horas registradas en la carta máquina que fueron usadas para el cálculo versus las horas que nuestro equipo registró mediante observación directa detalladas en la tabla #; siendo que el ajuste viene dado por la fórmula (2.13.)

Ajuste

$$= \frac{\text{Tiempo en que se obtiene un pallet de PT según carta máquina}}{\text{Tiempo en que se obtiene un pallet de PT según muestreo directo}} \quad (2.13.)$$

Figura 2.15

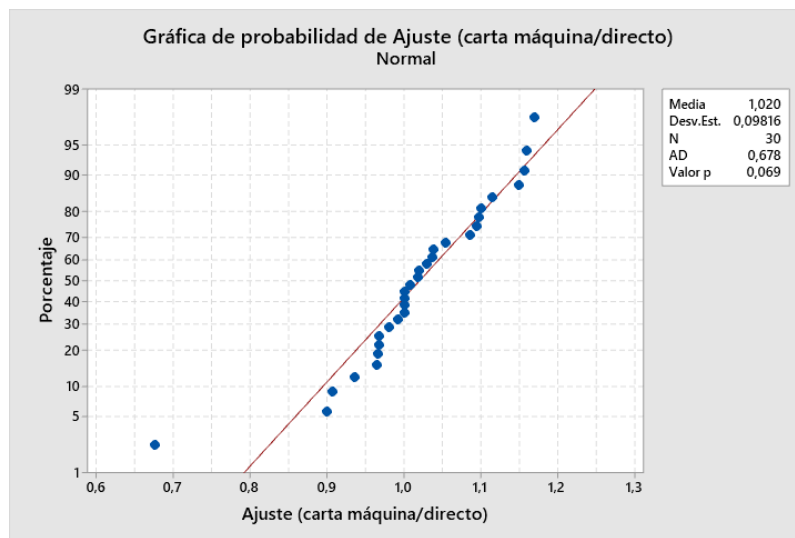
Prueba de confiabilidad de "cajas por hora"

N° de muestra	Producto	Muestreo Directo			Muestreo de carta máquina			Ajuste (carta máquina/directo)
		Hora inicio de armado de pallet de PT	Hora fin de armado de pallet de PT	Tiempo en que se obtiene un pallet acondicionado	Hora inicio de armado de pallet de PT	Hora fin de armado de pallet de PT	Tiempo en que se obtiene un pallet acondicionado	
1	SKU A	8:30:26,0	8:59:40,0	0:29:14,0	8:30:00,0	8:58:00,0	0:28:00,0	0,97
2	SKU A	9:00:00,0	9:26:16,0	0:26:16,0	8:58:00,0	9:25:00,0	0:27:00,0	1,04
3	SKU A	9:26:16,0	9:50:00,0	0:23:44,0	9:25:00,0	9:50:00,0	0:25:00,0	1,09
4	SKU A	10:28:00,0	11:00:00,0	0:32:00,0	10:28:00,0	10:57:00,0	0:29:00,0	0,91
5	SKU A	11:00:00,0	11:20:00,0	0:20:00,0	10:57:00,0	11:19:00,0	0:22:00,0	1,10
6	SKU A	11:20:00,0	11:53:30,0	0:33:30,0	11:19:00,0	11:53:00,0	0:34:00,0	1,03
7	SKU A	11:54:00,0	13:50:00,0	1:56:00,0	11:54:00,0	13:49:00,0	1:55:00,0	0,99
8	SKU A	13:50:00,0	14:13:00,0	0:23:00,0	13:49:00,0	14:12:00,0	0:23:00,0	1,00
9	SKU A	14:14:00,0	14:35:00,0	0:21:00,0	14:12:00,0	14:35:00,0	0:23:00,0	1,10
10	SKU A	14:35:00,0	14:53:50,0	0:18:50,0	14:35:00,0	14:54:00,0	0:19:00,0	1,05
11	SKU B	8:03:26,0	8:59:00,0	0:55:34,0	8:03:00,0	9:00:00,0	0:57:00,0	1,04
12	SKU B	9:00:00,0	9:51:00,0	0:51:00,0	9:00:00,0	9:52:00,0	0:52:00,0	1,02
13	SKU B	9:52:00,0	10:44:00,0	0:52:00,0	9:52:00,0	10:43:00,0	0:51:00,0	0,98
14	SKU B	10:43:00,0	11:48:00,0	1:05:00,0	10:43:00,0	11:48:00,0	1:05:00,0	1,00
15	SKU B	11:48:30,0	14:00:00,0	2:11:30,0	11:48:00,0	14:00:00,0	2:12:00,0	1,01
16	SKU B	14:01:00,0	14:57:00,0	0:56:00,0	14:00:00,0	14:57:00,0	0:57:00,0	1,02
17	SKU B	7:25:30,00	8:15:32,0	0:50:02,0	7:22:00,00	8:20:00,0	0:58:00,0	1,16
18	SKU B	8:20:00,00	9:07:00,0	0:47:00,0	8:20:00,00	9:15:00,0	0:55:00,0	1,17
19	SKUC	7:14:00,0	8:04:00,0	0:50:00,0	7:20:00,0	8:05:00,0	0:45:00,0	0,90
20	SKUC	8:08:00,0	8:51:00,0	0:43:00,0	8:05:00,0	8:48:00,0	0:43:00,0	1,00
21	SKUC	9:02:00,0	9:34:00,0	0:32:00,0	8:48:00,0	9:25:00,0	0:37:00,0	1,16
22	SKUC	7:15:00	8:02:00,0	0:47:00,0	7:15:00	8:09:00,0	0:54:00,0	1,15
23	SKUC	8:02:00	8:33:00,0	0:31:00,0	8:09:00	8:39:00,0	0:30:00,0	0,97
24	SKUC	8:33:00	9:04:00,0	0:31:00,0	8:39:00	9:08:00,0	0:29:00,0	0,94
25	SKUC	9:04:00	9:35:00,0	0:31:00,0	9:08:00	9:38:00,0	0:30:00,0	0,97
26	SKUC	9:35:00	10:06:00,0	0:31:00,0	9:38:00	10:09:00,0	0:31:00,0	1,00
27	SKUC	10:05:00	10:42:00,0	0:37:00,0	10:09:00	10:34:00,0	0:25:00,0	0,68
28	SKUC	10:42:00	11:10:00,0	0:28:00,0	10:34:00	11:01:00,0	0:27:00,0	0,96
29	SKUC	11:10:00	11:36:00,0	0:26:00,0	11:01:00	11:30:00,0	0:29:00,0	1,12
30	SKUC	11:36:00	12:07:00,0	0:31:00,0	11:30:00	12:04:00,0	0:34:00,0	1,10

Inicialmente se tomó 30 observaciones, por lo que se realizó la prueba de normalidad y se obtuvo de resultado un valor p mayor a 0,05 mostrado en la figura 2.11 y al usar la ecuación (2.8.) se calculó que con una desviación estándar de 0,09816 $n = 10,139 \approx 11$ por lo que las 30 observaciones fueron suficientes para realizar la prueba de hipótesis.

Figura 2.16

Gráfica de probabilidad de normalidad de " Ajuste"



Con los datos del ajuste se realizó una prueba de hipótesis; en donde la media del ajuste de las horas de inicio y fin sea mayor a 0.95, ya que se requiere que el máximo error permitido sea del 5%. En donde se definieron las siguientes hipótesis:

H_0 = El ajuste entre el tiempo en que se obtiene un pallet acondicionado según el muestreo directo y las cartas máquina es igual a 0.95

H_1 = El ajuste entre el tiempo en que se obtiene un pallet acondicionado según el muestreo directo y las cartas máquina es mayor a 0.95

Mediante la herramienta Minitab se desarrolló esta prueba, en donde se obtuvo el resultado mostrado en la figura 2.17 con la que se acepta la hipótesis alternativa de que el ajuste es mayor al 95%, por lo que se concluye que las horas registradas en la carta máquina son confiables para el cálculo de las horas extras.

Figura 2.17*Resultado de prueba de t de ajuste***Prueba**Hipótesis nula $H_0: \mu = 0,95$ Hipótesis alterna $H_1: \mu > 0,95$ Valor T Valor p

3,88 0,000

2.2.2.3. Tiempo de espera de materiales e insumos por arribo. Durante la familiarización con la operación de las células se identificó que en las cuatro líneas el proceso de abastecer a cada una de materiales (SKU a acondicionar) e insumos es igual; donde el montacarguista es el encargado de buscar en los racks de almacenamiento un nuevo pallet del producto que se está acondicionando, siendo que en una minoría de veces un operario de la línea debe ir en la búsqueda del pallet. De esta forma, el indicador determina el tiempo en que se incurre entre el vacío del pallet en curso de acondicionamiento (momento en que se desempaca la última unidad de la última caja del pallet) hasta cuando arriba el pallet sellado a acondicionar al inicio de la línea por cada arribo de los SKU definidos a muestrear en el alcance del proyecto.

En la figura 2.18 se muestran los tiempos de arribo muestreados mediante observación directa, donde se especifica si es el primer pallet del ciclo o lote de producción, hora de llegada del nuevo pallet, hora de vacío del pallet anterior y mediante la fórmula (2.14.) se calcula el tiempo de espera de materiales e insumos por arribo:

Tiempo de espera
arribo

$$= \frac{\text{Tiempo en que se obtiene un pallet de PT según carta máquina}}{\text{Tiempo en que se obtiene un pallet de PT según muestreo directo}} \quad (2.14.)$$

Figura 2.18

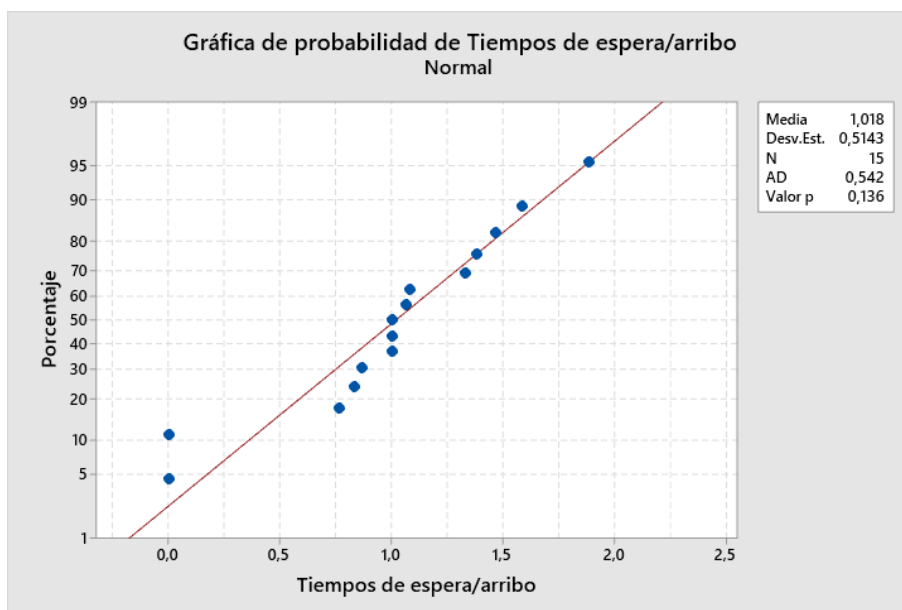
Tiempos de espera de materiales e insumos por arribo

Nº de muestra	¿Es el primer palet del ciclo?	Hora de llegada del palet de material	Hora de vacío del palet de material	Tiempo de espera de llegada de material e insumos	Tiempo de espera/por arribo
1	SI	7:49:00,0	8:51:00,0	0:00:00,0	0,00
2		8:52:23,0	9:18:25,0	0:01:23,0	1,38
3		9:20:00,0	9:41:00,0	0:01:35,0	1,58
4	SI	10:26:00,0	10:49:00,0	0:00:00,0	0,00
5		10:50:00,0	11:15:14,0	0:01:00,0	1,00
6		11:16:00,0	11:42:50,0	0:00:46,0	0,77
7		11:43:55,0	13:42:32,0	0:01:05,0	1,08
8		13:44:00,0	14:08:00,0	0:01:28,0	1,47
9		14:08:00,0	14:30:00,0	0:00:00,0	0,00
10		14:28:00,0	14:49:20,0	0:00:00,0	0,00
11	SI	7:49:00,0	8:49:00,0	0:00:00,0	0,00
12		8:50:53,0	9:43:00,0	0:01:53,0	1,88
13		9:44:00,0	10:29:00,0	0:01:00,0	1,00
14		10:29:52,0	11:15:10,0	0:00:52,0	0,87
15		11:16:00,0	12:01:20,0	0:00:50,0	0,83
16		12:00:00,0	14:26:00,0	0:01:20,0	1,33
17	SI	7:10:00,00	8:10:00,0	0:00:00,0	0,00
18		8:11:00,00	9:07:56,0	0:01:00,0	1,00
19		9:09:00,00		0:01:04,0	1,07

Para demostrar la confiabilidad de los datos respecto al número de datos muestreados se realizó la prueba de normalidad en Minitab a 16 de los 19 datos muestreados dado los 4 excluidos se consideran aberrantes al ser tiempos de espera por el arribo del primer pallet cuando recién inicia la producción, cuyos valores son 0,00 porque el montacarguista arriba antes de que la línea esté lista para producir. Así, se obtiene como resultado de la prueba la figura 2.19, donde se indica un valor p mayor a 0,05 y con un nivel de confiabilidad del 95% no se rechaza la hipótesis nula de que los tiempos de espera siguen una distribución normal con una media igual a 1,018 minutos.

Figura 2.19

Gráfica de probabilidad de normalidad de Tiempos de espera/arribo



Luego se aplicó la ecuación (2.8.) para calcular el tamaño de la muestra, obteniendo que el valor de n es igual a $13,566 \approx 14$. Por lo que, podemos concluir que la cantidad 15 de datos válidos es apta para el estudio. Respecto a la segunda primicia para demostrar que los datos son confiables se aplicó el método para muestreo mediante observación directa detallado al inicio de la sección 2.2.2.

2.2.2.4. Tiempo de set up por producción. El tiempo de set up se dividió en 2 actividades, que son la preparación de línea: en donde considera actividades como calibrado de altura de codificadora, anchura de banda según medidas del producto e ingreso de especificaciones en la máquina, y el llenado de carta máquina realizado por el líder de la línea en producción, donde registra detalles del producto a acondicionar que deben ser aprobados por el ayudante de bodega para liberar el arranque de la línea.

El resultado de los datos recolectados se muestra en la figura 2.20, mediante observación y toma de tiempos durante el set up de las líneas antes de iniciar producción, donde la segunda y tercera columna son los tiempos incurridos para realizar las 2 actividades mencionadas anteriormente y la cuarta columna es el tiempo total de set up por producción.

Figura 2.20

Tiempo total de set up por producción

Fecha	Tiempo de preparación de línea por producción	Tiempo de set up de línea por producción	Tiempo de set up por producción	Notas de muestreo	Estado de recolección
8-nov-23	0:06:02,0	0:09:24,7	0:15:26,7	Retraso en el ajuste de altura del codificador	En curso
10-nov-23	0:05:00,7	0:09:24,7	0:14:25,4		
8-nov-23	0:05:00,7	0:09:24,7	0:14:25,4		
10-nov-23	0:05:00,00	0:12:05,57	0:17:05,6	Espera por aprobación de responsable de célula	
10-nov-23	0:05:00,0	0:09:00,0	0:14:00,0		
20-nov-23	0:09:00,0	0:08:53,0	0:17:53,0		

El tamaño de la población de los tiempos de set up por producción es de 1 a 3 incidencias por línea por día, pues al ser las producciones de cada SKU largas y generalmente continuas, los operarios incurren pocas veces en dicha tarea. Respecto a la recolección de este dato, en comparación con los demás a recolectar en el tiempo designado para la etapa de medición y considerando que el acceso a la célula justo en el inicio del turno requiere de una compleja coordinación, se pudieron tomar 6 muestras inicialmente. Por lo que, para demostrar que los datos son confiables se aplicó el método para muestreo mediante observación directa detallado al inicio de la sección 2.2.2. asegurándonos que la toma de datos iniciara junto con el inicio del turno.

2.2.2.5. Tiempos de procesos de producción por caja: Desempaje, Acondicionamiento y

Empaque. En la primera etapa se estudió los subprocesos genéricos que se llevan a cabo para obtener un SKU terminado (de los productos definidos a estudiar) en las líneas,

después de que se ejecutan las actividades de set up. Siendo estas el desempaque, acondicionamiento y empaque, mismos tiempos que fueron muestreados con observación directa. A continuación, se ejemplifica con el SKU C, el proceso de recolección y validación aplicado al SKU A.

2.2.2.5.1. Tiempo de desempaque por caja. El alcance de esta actividad va desde que arriba el pallet nuevo de material a acondicionar, se retira el plástico que sella el pallet para tomar la caja, cortar la cinta que une las solapas hasta cuando se vacía la completamente la caja, retirando todas las unidades a acondicionar dentro de la caja.

Los tiempos que tendrán uso futuro en la simulación de escenarios de producción del SKU C se muestran en la figura 2.21; mientras que los tiempos correspondientes al SKU A se muestran en el Anexo 1.

Figura 2.21

Tiempo total de set up por producción

N° de muestra	Tiempo de desempaque (s)	N° de muestra	Tiempo de desempaque (s)
1	289	12	294.00
2	291.00	13	283.00
3	275.00	14	246.00
4	297.00	15	295.00
5	265.00	16	284.00
6	312.00	17	275.00
7	296.00	18	272.00
8	303.00	19	272.00
9	270.00	20	277.00
10	295.00	21	262.00
11	273.00	22	283.00

2.2.2.5.2. Tiempo de desempaque por caja. Este tiempo va desde que se colocó la última unidad de la caja sobre las mesas de trabajo hasta que terminan de acondicionarse todas las unidades de dicha caja, tal y como se indica en el dossier, ya sean indicaciones de:

codificado, pack, armado o stickering. Para esto se tomó el tiempo en que se acondicionaban determinada cantidad de cajas y mediante el uso de la ecuación 2.15. se obtiene el tiempo de acondicionamiento por caja mostrado en la figura 2.22; mientras que los tiempos correspondientes al SKU A se muestran en el Anexo 1.

Tiempo de acondicionamiento por caja

$$= \frac{\text{Tiempo de acondicionamiento (s)}}{\text{Numero de cajas acondicionadas}} \quad (2.15.)$$

Figura 2.22

Tiempo de acondicionamiento por caja del SKU C

N° de muestra	Tiempo de desempaquetado (min)	N° de muestra	Tiempo de desempaquetado (min)
1	2.24	9	1.40
2	2.72	10	1.94
3	2.66	11	1.73
4	2.78	12	3.00
5	2.71	13	2.05
6	1.46	14	1.29
7	1.59	15	1.02
8	1.69		

2.2.2.5.3. Tiempo de empaque por caja. Este tiempo fue tomado desde que se obtiene el primer producto acondicionar y está listo para ser empaquetado en la caja de producto terminado, se guarda la última unidad en la caja, se cierra la caja con cinta hasta que esta se ubica en el pallet final, estos tiempos son muestreados en la figura 2.23; mientras que los tiempos correspondientes al SKU A se muestran en el Anexo 1.

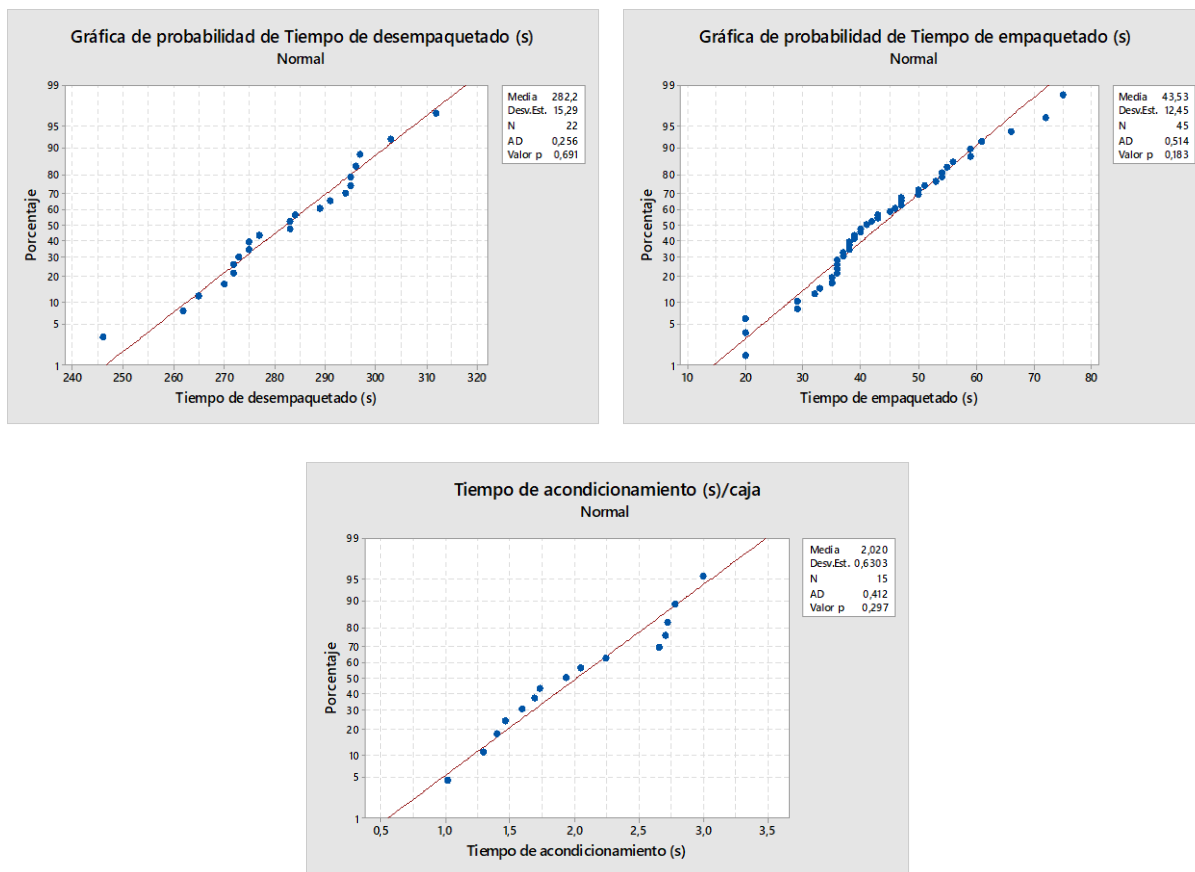
Figura 2.23*Tiempo de acondicionamiento por caja del SKU C*

N° de muestra	Tiempo de empaquetado (seg)	N° de muestra	Tiempo de empaquetado (seg)
1	00:49.7	24	00:40.4
2	00:55.8	25	00:20.0
3	01:12.3	26	00:35.8
4	00:53.2	27	00:37.8
5	00:54.3	28	00:41.5
6	00:54.2	29	00:40.4
7	0:00:50	30	00:41.2
8	00:59.0	31	00:42.5
9	0:01	32	00:32.6
10	01:06.5	33	00:37.1
11	00:55.4	34	00:36.5
12	00:58.5	35	00:38.5
13	00:28.8	36	00:34.7
14	00:37.7	37	00:39.0
15	00:35.7	38	00:31.7
16	00:45.8	39	00:37.6
17	2:02:03	40	00:35.9
18	00:42.7	41	00:36.0
19	00:44.6	42	00:34.8
20	01:15.2	43	00:46.5
21	00:47.1	44	00:29.1
22	00:51.4	45	00:20.4
23	00:46.8		

Para probar la confiabilidad de estos tiempos de desempaquetado, se realizó para cada uno la prueba para demostrar que los datos siguen una distribución normal cuyos resultados se muestran en la figura 2.24 para los tres tiempos del SKU C, mismo proceso que es realizado para los tiempos proceso de producción del SKU A. En las tres pruebas se obtuvo un valor p mayor a 0,05 porque que se acepta la hipótesis nula que los tiempos siguen una distribución normal

Figura 2.24

Prueba de normalidad de los tiempos de procesos de producción por SKU C



Con este resultado, se aplicó la fórmula 2.8 para el cálculo mínimo de observaciones que debían ser observados para cada variable de tiempo. Así para el tiempo de desempaque se obtuvo un valor de $n=21,998$ ($N=22$), para la variable tiempo de acondicionamiento por caja $n=14,665$ ($N=15$) y para el tiempo de empaque por caja se obtuvo $n=44,992$ ($N=45$). Así, concluimos que las muestras que se tomó son suficientes y confiables para usos futuros. Además, como prueba de confiabilidad esta la aplicación del método para muestreo mediante observación directa detallado

al inicio de la sección 2.2.2. asegurándonos que la toma de tiempos haya sido con los instrumentos y metodología adecuada.

2.3. Etapa de análisis

En la etapa de análisis se desarrollaron las diferentes alternativas de diseño, las cuales se verificarán que cumplan con las especificaciones y restricciones de diseño, además de realizar un análisis financiero de los diseños propuestos.

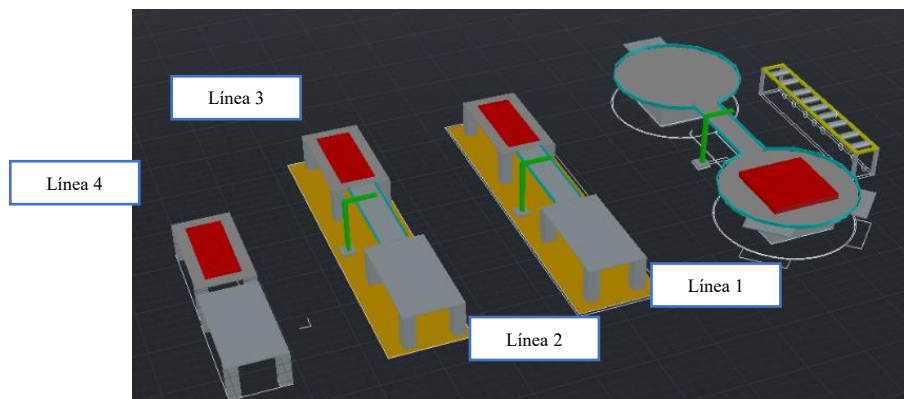
2.3.1. Opciones de diseño

2.3.1.1. Situación actual. En la situación actual de la empresa, se pudo identificar 4 líneas de acondicionamiento; en donde la primera línea se encarga de codificar, la segunda línea permite el armado y codificado de productos, la tercera línea se especializa en armado, packing y codificado, y por último la cuarta línea se encarga del stickering.

En la producción de los SKU escogidos en la estratificación se pudo observar en la figura 2.25 que el acondicionamiento de estos se presenciaba desbalanceo de flujo en la realización de sus tareas, en donde las líneas sombreadas de naranja son aquellas que presentan este problema, teniendo consecuencias como desabastecimientos por momentos las líneas 2 y 3, y un sobreabastecimiento en la línea 1. Generando muchos inventarios en proceso, lo que dificulta el manejo de materiales y la realización de las tareas. Las áreas en color rojo significan las áreas donde se genera esa gran cantidad de inventario.

Figura 2.25

Situación actual de las células copacker



2.3.1.2. Rediseño estructural y operacional de la célula. Para la primera opción de diseño se propuso un rediseño operacional y estructural de las líneas, donde a cada una se propusieron mejoras que optimizarían su flujo, además de permitirles ser más flexibles ante cambios en la planificación. A continuación, se detalla en la siguiente tabla 2.14 los cambios propuestos para cada una de las 3 líneas analizadas.

Tabla 2.4

Alternativas propuestas para las líneas de copacker

Rediseño estructural y operacional de la línea		
Línea 1	Línea 2	Línea 3
Balaceo de línea	Balaceo de línea	Balaceo de línea
	Kanban interno	Kanban interno
Rediseño de elementos y ubicación	Rediseño de elementos y ubicación	Rediseño de elementos y ubicación
Elemento de calibración de Set up	Elemento de calibración de Set up	Elemento de calibración de Set up
	Aplicación Milk Run	Aplicación Milk Run
	Creación de subcélulas	Creación de subcélulas

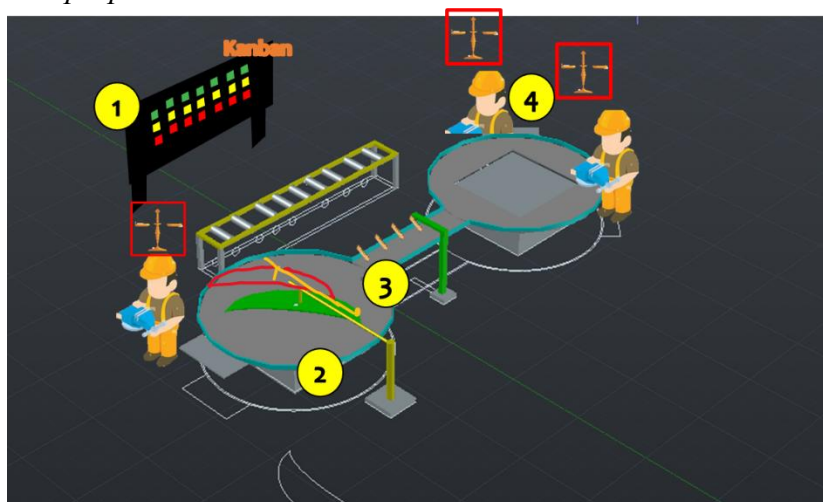
La primera mejora consistió en una repartición de tareas efectiva, dando prioridad a la disponibilidad de los empaquetadores; es decir, que estos operadores pasen la mayor parte del tiempo realizando actividades que agreguen valor. En cuanto al control del WIP, con esta propuesta

se lograría evitar los altos niveles de inventario en las estaciones previas a los cuellos de botella de las líneas. Como tercer sub-propuesta se planteó el diseño de una herramienta que agilice y estandarice la tarea de setup de la línea, que actualmente toma alrededor de 15 minutos; dicha herramienta consiste en la colocación de una cinta métrica adhesiva tanto en el eje de ajuste de la codificadora y de la banda transportadora automática. Además, considera la estandarización y digitalización de los puntos de calibración donde se implementaría la propuesta, para reducir desperdicios por error humano.

Figura 2.26

Cambios en la línea 1

Fuente: elaboración propia.

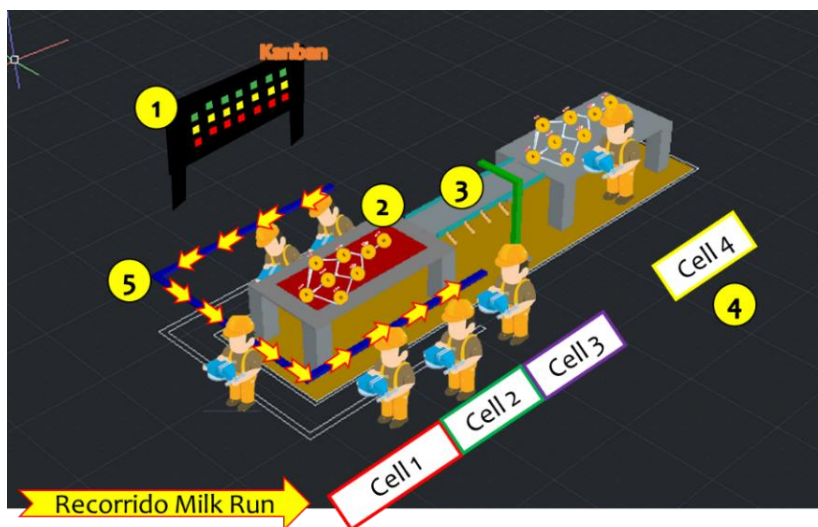


Los cambios en las líneas 2 y 3, graficados en la figura 2.27, es la aplicación de la metodología Kanban, sin antes realizar un balance del flujo, ya que actualmente el operador empaquetador queda desabastecido y en otras ocasiones se genera gran cantidad de inventario en su puesto de trabajo. El balanceo de flujo permitió hallar una asignación de las tareas que permita el equilibrio de la línea (Peña, Neira, & Ruiz, 2016), al igual que en la línea 1, se incorporó la herramienta para el setup; dado que las 3 líneas contienen la banda transportadora automática para realizar el acondicionamiento. Para acompañar la aplicación del balanceo de flujo se aplicó en la

línea la creación de subcélulas para poder dividir las tareas de acuerdo con el Takt time del producto a acondicionar. Esto permitió reducir los tiempos de operación dentro del proceso y tener un nivel de inventario bajo (Cordova, 2007). Por último, se aplicó la metodología Milk Run, que tiene como finalidad realizar la mayor cantidad de envíos en el menor número de viajes posibles (Ramos, Flores, Zabala, & Cahuana, 2022), para poder disminuir las distancias recorridas por los operarios en la busca de los materiales. La aplicación consiste en que el operador mejor capacitado realice el aprovisionamiento de las células de desempaque, siguiendo el recorrido mostrado en la figura 2.27, con el fin de eliminar los movimientos y transportes innecesarios durante el proceso de acondicionamiento.

Figura 2.27

Cambios en las Líneas 2 y 3



2.3.1.3. Modelo matemático de planificación flexible. Actualmente, la planificación de producción de la célula la realiza manualmente el Asistente de Logística del CD, por lo que, cuando llega algún pedido inesperado que debe producirse o existe un atraso en el arribo de la materia prima, la planificación debe actualizarse manualmente; donde muchos de estos cambios se dan en la semana planificada. El modelo mostrado en la figura 2.28

tiene como objetivo realizar la planificación semanal sensible a cambios mediante la secuenciación óptima de trabajos por línea y por día de manera automática; donde la información que alimenta el modelo sería: los pedidos por cumplir provenientes del departamento de ventas con su respectiva fecha de entrega y el nivel de inventario de los componentes (insumos) utilizados para obtener una caja acondicionada de los SKUs. Así también, esta debe alimentarse de información de cada producto que es traducida como *parámetros del modelo*; como cajas por hora de cada SKU, número de operarios para su producción, compatibilidad de producción con líneas de célula, tiempo de preparación y arranque de la línea por cada SKU, cantidad de operarios en la semana (considerando ausentismo). Así también, debe traducirse al lenguaje del modelo las restricciones que rigen la operación de la célula tales como: políticas y capacidad de inventario o almacenamiento de pallet terminado y número máximo de horas extras al día en las que podría incurrirse. La función objetivo, variables, parámetro y restricciones se relacionarían mediante fórmulas matemáticas que luego serían traducidas al lenguaje del programa de programación que se implemente. Como output se tendría una planificación semanal que se genera tantas veces sea ingresado un cambio en la lista de pedidos a producir.

Figura 2.28*Esquema del modelo matemático*

2.3.1.4. Sistema automatizado de llenado de carta máquina. Finalmente se propuso la implementación de un sistema automatizado que permitiría disminuir el tiempo incurrido en la actividad de llenado de carta máquina que forma parte del setup de las líneas. Considerando que el llenado de esta carta se lo realiza al inicio de la producción y a lo largo del acondicionamiento; anotando detalles como: el lote del pallet, horas de inicio y fin de pallet, y número de cajas realizadas, se buscó una opción que permita que esos datos se recolecten directamente de la máquina o de un ingreso fácil y automatizado que evite la escritura manual ejecutada actualmente por el operario. Esta propuesta reduciría el uso de

papel, además de tener un acceso y control ágil de los datos recolectados. La reestructuración de este proceso se detalla en la siguiente figura 2.29.

Figura 2.29

Sistema automatizado de llenado de carta máquina



2.3.2. Evaluación de opciones de diseño

En la figura 2.30, se observa la comparación realizada entre las 3 alternativas de diseño respecto a las especificaciones y restricciones de diseño; en donde, se colocó un visto a aquellas opciones que cumplen lo descrito en la primera columna, y una “x” en caso contrario.

Figura 2.30*Matriz de relaciones*

Criterios		Alternativa 0	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 4
		Situación actual	Rediseño operacional y estructural de las líneas	Modelo de matemático de planificación	Sistema automatizado de recolección de información
Especificaciones de diseño	Porcentaje de cumplimiento de cajas por día mayor al 90%	✗	✓	✓	✗
	Cajas/hora por producto mayor en un 10% al promedio.	✗	✓	✗	✗
	Tiempo de setup menor a 5 minutos.	✗	✓	✗	✓
	Tiempo de espera por arribo de insumos y materiales por orden de trabajo por día menor a 2 minutos.	✓	✓	✓	✗
Restricciones de diseño	No acaparar todo el portafolio de clientes	✓	✓	✓	✓
	Priorizará el cumplimiento de pedidos de clientes valiosos	✓	✗	✓	✗
	Las propuestas de diseño no deben tener en cuenta la automatización de toda la línea de producción	✓	✓	✓	✓
	Imposibilidad de invertir grandes cantidades de dinero en nuevas líneas	✓	✓	✓	✓
	Mantener el mismo numero de operadores por línea	✓	✓	✓	✓

2.3.3. Análisis financiero

2.3.3.1. Costos asociados. A continuación, se detallaron los costos asociados con cada alternativa propuesta. Para la primera propuesta, los costos se detallan en la tabla 2.5

Tabla 2.5*Detalles de costo de aplicación de la primera alternativa*

Detalle	Costo
Formación sobre la metodología Kanban (5 horas)	\$500
Costo de tiempo de inactividad por capacitación Kanban	\$702
Herramienta de Set up	\$155
Banda gravitacional	\$120
Aplicación Milk Run	\$400
Aplicación ROP	\$48
Total	\$1925

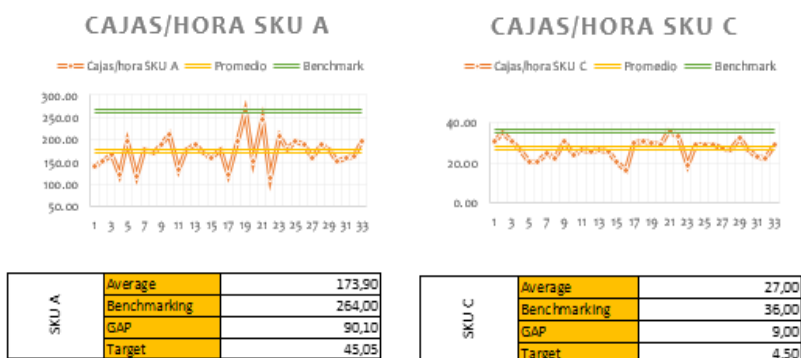
Para la segunda alternativa se tomó en cuenta la capacitación del uso del modelo, el cual tiene un valor de \$175, además de la licencia de gams, que es en donde se realizara el modelo, con un costo de \$1400 y por último el mantenimiento del modelo con un costo de \$200.

Para la tercera alternativa, considerando que el desarrollo del sistema sería personalizado acorde a las necesidades de la célula, se estimó un costo de \$10000. Adicionalmente, un costo de \$200 por la capacitación respectiva.

2.3.3.2. Beneficios. Para el cálculo del beneficio de la primera propuesta, se usó el target de cajas/hora de los 3 productos (figura 2.31); donde para el SKU A el target es igual a 45,05 cajas/hora, SKU B es igual a 58,16 cajas/hora y para el SKU C es igual a 4,5 cajas/hora. Para estimar el incremento que se obtendría al aplicar la metodología Kanban, se considerará las cajas por hora actual, la media que se calculó con los datos recolectados por cada SKU, mientras que el número de cajas por hora mejorado se obtuvo sumando la caja por hora actual más el target de cada SKU.

Figura 2.31

Target de cajas/hora de 3 productos seleccionados



Mediante los datos proporcionados por el cliente clave, se estimaron los beneficios de aumentar el indicador de cajas/hora, donde se tomó en cuenta la producción de los 2 SKU's desde

el 3 de octubre al 15 de noviembre. Dentro de estos datos mostrados en la figura 2.32 está el costo de mano de obra por hora y número estándar de operadores para el acondicionamiento de cada producto.

Figura 2.32

Parámetros de cada SKU

Parámetros	SKU A	SKU B	SKU C
Caja/hora actual	173,90	222,50	27,00
Caja/ Hora mejorada	219,00	280,00	32,00
Costo/hora/operador	\$ 7,080	\$ 7,080	\$ 7,080
Periodo de tiempo	oct 13 - nov 10	oct 3 - nov 13	nov 1 - nov 15
Número de operadores por producción	3,00	3	7,00
Costo actual de MO / hora/producción	\$ 21,240	\$ 21,240	\$ 49,560

Para obtener el beneficio económico se calculó el ahorro que se obtendría al incurrir en menos costos al aumentar las cajas por hora, y disminuir costos de producción. Como se muestra en la figura 2.33 se realizó el cálculo de tiempo que toma realizar el acondicionamiento de los productos con las cajas/hora actual y mejoradas con la fórmula (2.16.), así como también el costo de mano de obra con la productividad actual y mejorada con la fórmula (2.17) respectiva y finalmente se calculó el ahorro obtenido en cada SKU con la fórmula (2.18.). Como resultado tenemos que, del 3 de octubre al 15 de noviembre, considerando la aplicación de la mejora en los 3 SKU se obtuvo un ahorro total de \$916,54.

Figura 2.33*Beneficios obtenidos de la alternativa 1*

N° de producciones Sku B	Cajas Planificadas	Horas necesarias con caja/hora actual (h)	Costo actual de MO	Horas necesarias con caja/hora mejorada (h)	Costo mejorado de MO	Ahorro
8	3265,00	\$ 18,78	\$ 398,78	\$ 14,91	\$ 316,66	\$ 82,12
N° de producciones Sku B	Cajas Planificadas	Horas necesarias con caja/hora actual (h)	Costo actual de MO	Horas necesarias con caja/hora mejorada (h)	Costo mejorado de MO	Ahorro
14	10978,00	\$ 49,34	\$ 1.047,97	\$ 39,21	\$ 832,76	\$ 215,21
N° de producciones	Cajas Planificadas	Horas necesarias con caja/hora actual (h)	Costo actual de MO	Horas necesarias con caja/hora mejorada (h)	Costo mejorado de MO	Ahorro
10	2159,00	\$ 79,96	\$ 3.962,96	\$ 67,47	\$ 3.343,75	\$ 619,21
					AHORRO TOTAL	\$ 916,54

$$\text{Horas necesarias para producir cajas planificadas} = \frac{\text{Cajas planificadas}}{\frac{\text{cajas}}{\text{hora}}} \quad (2.16.)$$

$$\begin{aligned} \text{Costo de M.O. para producir cajas planificadas} \\ = (\text{horas necesarias}) \end{aligned} \quad (2.17.)$$

$$* (\text{Número de operadores} * \text{costo por hora por operador})$$

$$\text{Ahorro} = \text{Costo de MO actual} - \text{Costo de MO mejorado} \quad (2.18.)$$

Alternativa 2: Para el cálculo de beneficios de la alternativa dos, debido a que una planificación más ágil y flexible a cambios permitiría mejorar el tiempo de respuesta tendría un impacto en el indicador de principal que actualmente evalúa a la célula, se calculará en base a los beneficios que se obtendría en el % de cumplimiento de planificación por día, cuya media según los datos recolectados es igual a 96,52%. Para esto, se calcularon los beneficios en el mismo periodo de tiempo que en las demás alternativas, tomando de referencia la planificación y el % de cumplimiento de estos pedidos del 3 de octubre al 15 de noviembre de los 3 SKUs. Con esta información se calculó con la fórmula 2.19. tanto las horas adicionales, que deberán designarse

para cumplir el % faltante de cajas planificadas que actualmente no se alcanzaron a realizar en el día que estaba planificado, como las horas adicionales necesarias para cumplir las cajas que no se alcanzaron con la mejora. Así los costos se calcularon con la fórmula 2.20. donde el costo de MO por hora depende del SKU a producir indicado en la figura 2.31. Dado que nuestro objetivo con esta mejora es que el % de cumplimiento sea mayor o igual a 96,52%, estas horas y por tanto sus costos asociados serán menores. De esta manera, el ahorro se calculó restando del Costo por horas no planificadas con él % de cumplimiento actual menor el Costo por horas no planificadas con él % de cumplimiento mejorado, siendo ahorro igual a \$516,490.

Horas adicionales para cumplir % planificación faltante

$$= \frac{\text{Cajas programadas} - \text{Cajas producidas}}{\frac{\text{cajas}}{\text{hora}} (\text{actual})} \quad (2.19.)$$

$$\text{Costo por horas adicionales} = \text{Horas adicionales} * \frac{\text{Costo de Mano de obra}}{\text{hora}} \quad (2.20.)$$

Figura 2.34*Beneficios obtenidos de la alternativa 2*

	Producto	Cajas Programadas registrada en carta máquina	Cajas Producidas registrada en carta máquina	% de cumplimiento	Horas adicionales para cumplir % planificació faltante actual	Horas adicionales para cumplir % planificació faltante mejorada	Costo con % de cumplimiento actual	Costo con % de cumplimiento incrementado
19-oct-23	SKU A	330	396	120,00	0	0	\$ -	\$ -
13-oct-23		688	688	100,00	0	0	\$ -	\$ -
13-oct-23		230	230	100,00	0	0	\$ -	\$ -
13-oct-23		6	6	100,00	0	0	\$ -	\$ -
13-oct-23		330	301	91,21	0,166762507	0,066037953	\$ 3,542	\$ 1,403
10-nov-23		657	657	100,00	0	0	\$ -	\$ -
10-nov-23		330	330	100,00	0	0	\$ -	\$ -
10-nov-23		657	657	100,00	0	0	\$ -	\$ -
3-oct-23	SKU B	796	794	99,75	0,008988764	0,008988764	\$ 0,191	\$ 0,191
...
2-nov-23		1024	969	94,63	0,247191011	0,160158202	\$ 5,250	\$ 3,402
8-nov-23		1152	1152	100,00	0	0	\$ -	\$ -
13-nov-23		384	384	100,00	0	0	\$ -	\$ -
1-nov-23	SKU C	330	195	59,09	5	0,425333333	\$ 247,800	\$ 21,080
2-nov-23		270	270	100,00	0	0	\$ -	\$ -
6-nov-23		98	98	100,00	0	0	\$ -	\$ -
7-nov-23		79	79	100,00	0	0	\$ -	\$ -
8-nov-23		311	292	93,89	0,703703704	0,400844444	\$ 34,876	\$ 19,866
9-nov-23		325	306	94,15	0,703703704	0,418888889	\$ 34,876	\$ 20,760
10-nov-23		30	30	100,00	0	0	\$ -	\$ -
12-nov-23		165	165	100,00	0	0	\$ -	\$ -
13-nov-23		150	92	61,33	2,148148148	0,193333333	\$ 106,462	\$ 9,582
15-nov-23		401	300	74,81	3,740740741	0,516844444	\$ 185,391	\$ 25,615
			Media	96,52			\$ 618,483	\$ 101,993
							Beneficio económico del 3	\$ 516,490

Alternativa 3: Para el cálculo de beneficios de la alternativa tres, se hizo una estimación de la reducción de costos de operación si el tiempo de preparación de la línea para poder empezar la producción se reduciría a 5 minutos, mostrado en la tabla 2,19. Así se consideró la planificación de los tres productos desde el 3 de octubre al 15 de noviembre, y con la fórmula 2.21 se calculó la fracción de hora disponible al reducir el set up a 5 minutos, con el fin de calcular el ahorro en dólares con la fórmula 2.22 al usar este nuevo tiempo disponible para acondicionar el producto; donde dicho ahorro depende del costo por hora de mano de obra necesario para producir cada SKU. Por ejemplo, aunque el costo de mano de obra pagado a cada operador es igual, el costo total para producir el SKU C es más que alto que el de los SKU A y B debido a que se necesitan más operarios en la línea. Así se obtiene, que el ahorro total en este periodo de tiempo sería igual a \$117,34.

Fracción de hora disponible para producción (2.21.)

$$= (\text{Tiempo actual de Set up}(\text{min.}) - 5 (\text{min.})) * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}$$

Ahorro al aumentar disponibilidad de línea (2.22.)

$$= \text{Fracción de hora disponible para producción} * \frac{\text{costo de MO}}{\text{hora}}$$

Figura 2.35

Beneficios obtenidos de la alternativa 3

	Producto	Tiempo Actual de Set Up	Tiempo actual de ejecución de carta máquina	Tiempo total de Set Up	Fracción de hora disponible si se reduce a 5 min por día el tiempo de set up (h)	Ahorro en \$ en aumentar el aprovechamiento del tiempo para producción
19-oct-23	SKU A	0:05:00,7	0:09:24,7	14,42	0,16	\$ 3,334
13-oct-23		0:05:00,7	0:09:24,7	14,42	0,16	\$ 3,334
13-oct-23		0:05:00,7	0:09:24,7	14,42	0,16	\$ 3,334
13-oct-23		0:05:00,7	0:09:24,7	14,42	0,16	\$ 3,334
13-oct-23		0:05:00,7	0:09:24,7	14,42	0,16	\$ 3,334
10-nov-23		0:05:00,7	0:09:24,7	14,42	0,16	\$ 3,334
10-nov-23		0:05:00,7	0:09:24,7	14,42	0,16	\$ 3,334
10-nov-23		0:05:00,7	0:09:24,7	14,42	0,16	\$ 3,334
3-oct-23	SKU B	0:05:00,7	0:09:24,7	14,42	0,16	\$ 3,334
17-oct-23		0:05:00,0	0:12:05,57	17,10	0,20	\$ 4,283
18-oct-23		0:05:00,7	0:09:24,7	14,42	0,16	\$ 3,334
23-oct-23		0:05:00,0	0:12:05,57	17,10	0,20	\$ 4,283
2-nov-23		0:05:00,0	0:12:05,57	17,10	0,20	\$ 4,283
8-nov-23		0:05:00,7	0:09:24,7	14,42	0,16	\$ 3,334
13-nov-23		0:05:00,0	0:12:05,57	17,10	0,20	\$ 4,283
1-nov-23	SKU C	0:05:00,0	0:09:00,0	14,00	0,15	\$ 3,186
2-nov-23		0:09:00,0	0:08:53,0	17,88	0,21	\$ 4,561
6-nov-23		0:05:00,0	0:09:00,0	14,00	0,15	\$ 3,186
7-nov-23		0:05:00,0	0:09:00,0	14,00	0,15	\$ 3,186
8-nov-23		0:05:00,0	0:09:00,0	14,00	0,15	\$ 3,186
9-nov-23		0:09:00,0	0:08:53,0	17,88	0,21	\$ 4,561
10-nov-23		0:05:00,0	0:09:00,0	14,00	0,15	\$ 3,186
12-nov-23		0:09:00,0	0:08:53,0	17,88	0,21	\$ 4,561
13-nov-23		0:05:00,0	0:09:00,0	14,00	0,15	\$ 3,186
15-nov-23		0:09:00,0	0:08:53,0	17,88	0,21	\$ 4,561
SUMA						\$ 117,345

2.3.3.3. Criterios de Selección de alternativas. Una vez detallados los costos y beneficios que se obtendrían por cada alternativa se elaboró la figura comparativa 2.36 entre las tres alternativas. En esta se resumen los costos de cada una y los beneficios. Con las consignas de que los beneficios se calcularon en el mismo escenario siendo este un punto común; es decir considerando como base la planificación de producción del 3 de octubre al 15 de noviembre de los 3 SKU's, y los costos serían una inversión inicial en el mismo tiempo t , se calcula un factor beneficio/costo empírico que refleja la proporción en que abarca los beneficios a los costos. Siendo que la alternativa 1 obtiene el mayor valor numérico. Además, se consideró como criterio el porcentaje de especificaciones que son cumplidas por cada alternativa, lo que se detalla en la figura 2.30, donde 1 es que si satisface en la especificación y 0 lo contrario. En la retroalimentación el cliente expresó que una inversión grande de recursos no es atractiva por ahora, se ha determinado que la opción más viable y beneficiosa sería la alternativa 1, enfocada al rediseño operacional y estructural de la célula.

Figura 2.36

Evaluación de alternativas mediante Costos-Beneficio

Criterio de Selección	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
	Rediseño estructural y operacional de célula	Modelo matemático de planificación flexible.	Sistema automatizado de recopilación de datos
Costos	\$ 2,235.00	\$ 2,400.00	\$ 11,202.00
Beneficios Económicos (del 3 oct-15 nov)	\$ 916.54	\$ 516.49	\$ 117.34
Factor B/C	0.410087179	0.215204167	0.010474915
% de especificaciones que cumplidas	100%	60%	20%

2.4. Etapa de diseño

Con base en la alternativa seleccionada en la etapa anterior, se procedió a prototipar esta alternativa, siguiendo los lineamientos planteados en el Plan de Prototipo (Figura 2.37). En este plan se detallan todas las etapas a completar, las cuales son el “Rediseño estructural de las líneas”, “Aplicar rediseño operativo de la línea 1”, “Aplicar rediseño operativo de la línea 2 y 3”, “Revisión de diseños con el cliente clave” y “Modelo de simulación de las líneas”. Además, este plan responde a las preguntas ¿Qué se hará?, ¿Cuándo?, ¿Dónde?, ¿Por qué?, ¿Cómo se desarrollará?, ¿Cuánto costará?, ¿Quién lo realizará?, estados y progreso.

Figura 2.37

Plan de prototipo

What	When		Where	Why	How	How much	Who	Realization status	Customer approval status	Progress	
	Star	End									
Rediseñar la estructura de las líneas.	Prototipo de herramienta de guía de configuración del codificador	04/12/2023	08/12/2023	Línea 1,2 y 3	Estandariza la actividad manual de calibrar la altura del codificador que se realiza antes de acondicionar un sku	App de edición	3h	Luis Joel Lara Katherine Pazmiño	Finalizado	Finalizado	100%
	Rediseño de prototipo de cintas transportadoras para productos acondicionados.	04/12/2023	08/12/2023	Línea 1,2 y 3	Estandariza la actividad manual de calibrar el ancho de las cintas transportadoras para una codificación correcta.	App de edición	3h	Luis Joel Lara Katherine Pazmiño	Finalizado	Finalizado	100%
	Prototipo de señal visual para aprovisionamiento de pallets de MP	04/12/2023	08/12/2023	Línea 1,2 y 3	Estandariza la actividad manual de calibrar el ancho de las cintas transportadoras para una codificación correcta.	App de edición	6h	Luis Joel Lara Katherine Pazmiño	Finalizado	Finalizado	100%
	Prototipo de cinta transportadora de cajas vacías por gravedad	04/12/2023	08/12/2023	Línea 1 y 2	Elimina el tiempo de caminata en busca de cajas vacías, utilizadas para almacenar el producto acondicionado, que se dejaron al inicio.	App de edición	3h	Luis Joel Lara Katherine Pazmiño	Finalizado	Finalizado	100%
Aplicar rediseño operativo a la línea 1	Balaneo de línea	04/12/2023	16/12/2023	Line 1	Equilibra cargas de trabajo por tareas realizadas por operadores.	Excel	72h	Luis Joel Lara Katherine Pazmiño	Finalizado	Finalizado	100%
	Calculadora dinámica de equivalentes en cajas de la actividad de transporte	04/12/2023	16/12/2023	Line 1	Le permite mantener bajo control el nivel de inventario de la línea.	Excel	4h	Luis Joel Lara Katherine Pazmiño	Finalizado	Finalizado	100%
Aplicar rediseño operativo a la línea 2 y 3	Balaneo de línea	04/12/2023	16/12/2023	Línea 2 y 3	Equilibra cargas de trabajo por tareas realizadas por operadores.	Excel	1h	Luis Joel Lara Katherine Pazmiño	Finalizado	Finalizado	100%
	Aplicación kanban	04/12/2023	16/12/2023	Línea 2 y 3	Le permite mantener bajo control el nivel de inventario de la línea.	Excel	5h	Luis Joel Lara Katherine Pazmiño	Finalizado	Finalizado	100%
	Creación de sub células	04/12/2023	16/12/2023	Línea 2 y 3	Le permite mejorar el flujo de línea y aprovechar la mano de obra.	Excel	1h	Luis Joel Lara Katherine Pazmiño	Finalizado	Finalizado	100%
	Aplicación Milk Run	04/12/2023	16/12/2023	Línea 2 y 3	Reduce los tiempos de transporte en el abastecimiento de la línea.	Editing app	1h	Luis Joel Lara Katherine Pazmiño	Finalizado	Finalizado	100%
Revisión de rediseño de línea con cliente clave		19/12/2023	21/12/2023	Teams	Dar a conocer los cambios propuestos a los clientes clave y sus beneficios.	Teams	1h	Luis Joel Lara Katherine Pazmiño	Finalizado	Finalizado	100%
Modelo de simulación del rediseño de las líneas.	Identificación de parámetros (lotes, tiempos, distribuciones, etc.)	16/12/2023	21/12/2023	FlexSim	Identificación de los datos necesarios para realizar la simulación.	Excel, FlexSim	2h	Luis Joel Lara Katherine Pazmiño	Finalizado	Finalizado	100%
	Identificación de elementos Flexsim a utilizar	16/12/2023	21/12/2023	FlexSim	Identifica qué elementos de la biblioteca FlexSim representarán los elementos de la línea	FlexSim	2h	Luis Joel Lara Katherine Pazmiño	Finalizado	Finalizado	100%
	Modelado de las líneas.	16/12/2023	21/12/2023	FlexSim	Representar la situación actual y propuesta de las líneas.	FlexSim	3h	Luis Joel Lara Katherine Pazmiño	Finalizado	Finalizado	100%
	Configuración de línea	16/12/2023	21/12/2023	FlexSim	Realizar la evaluación y comparación entre la situación actual y la propuesta.	FlexSim	2 week	Luis Joel Lara Katherine Pazmiño	Finalizado	Finalizado	100%

2.4.1 Rediseño estructural de la línea

2.4.1.1. Banda transportadora por gravedad. Se rediseñó la banda acumuladora de rodillos con la que actualmente cuentan las líneas (figura 2.38); en donde se incurre en tiempos de caminata del área de empaque al área de desempaque cuando el desempaquetador no aplica suficiente impulso para que las cajas lleguen al final de la banda.

Figura 2.38

Diseño actual de la banda transportadora



Ante esta oportunidad de mejora, el diseño propuesto (figura 2.39) consta de modificaciones en las patas de la banda actual que permitan dar un ángulo de inclinación al final de esta, que permita que las cajas que se coloquen en el extremo más alto se desplacen automáticamente hacia el lado más bajo, a una velocidad adecuada para evitar volcamientos. Además, consta de un tope metálico de contención delgado y con la altura adecuada que detenga las cajas al final pero que no genere incomodidad en la operación. El costo por la implementación en las 3 líneas de esta alternativa es de \$120 aproximadamente.

Figura 2.39*Diseño propuesto de banda transportadora*

2.4.1.2.Herramienta de ajuste del codificador. Actualmente el proceso de set up de la codificadora es como se muestra en la figura 2.40; donde el operador solo puede realizar la operación cuando tenga acceso al SKU a producir. Además de que dicho ajuste es direccionado por la experiencia que tenga el operador; lo que causa que esta actividad que o agrega valor tenga tiempos entre 5 y 7 minutos tal como se mostró en la etapa de medición. Para poder eliminar este desperdicio se desarrolló una herramienta de calibración, aplicable a todos los SKU's acondicionados en la célula; que consiste en la implementación de una cinta métrica adhesiva industrial en los soportes de calibración del codificador mostrados en la figura 2.41. Para el apropiado uso de esta propuesta, es necesario realizar un levantamiento previo de las medidas de los productos acondicionados por cada línea para el cálculo del punto de calibración (d) y la estandarización de los parámetros como: la altura del producto (a), distancia entre el producto y el codificador

para su correcta codificación (b), distancia entre el codificador y su punto de calibración (c); los cuales se registrarán en el dossier (instructivo de producción) de cada producto y posteriormente serán digitalizados en el dispositivo electrónico, uso autorizado dentro de las células, para el fácil acceso a la información durante la producción. Dicha propuesta permitió realizar la calibración del codificador en su primer intento, reduciendo el riesgo de error humano y tiempos de espera por arribo de producto de materia prima. El costo de implementar en las tres líneas es \$50 por los materiales y \$45 por su implementación.

Figura 2.40

Proceso de calibración actual de codificadora

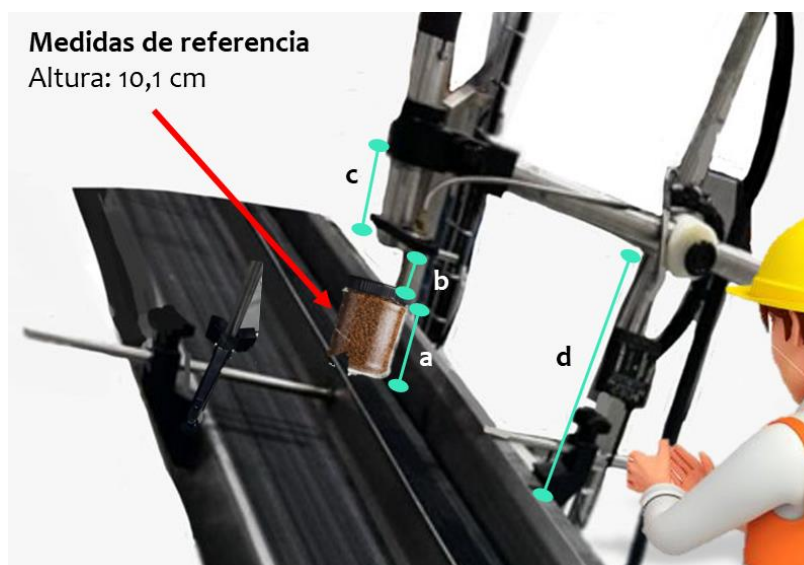
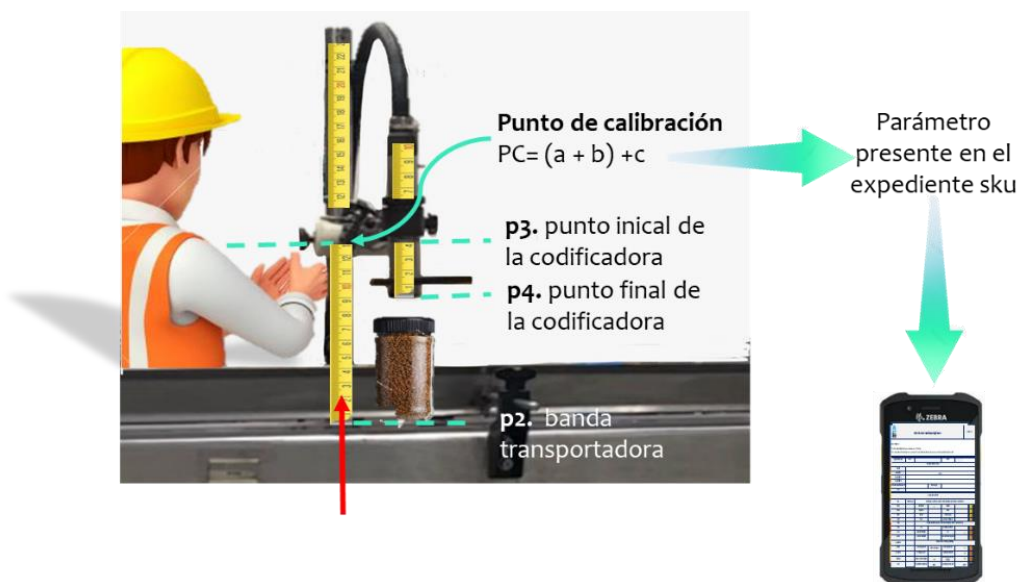
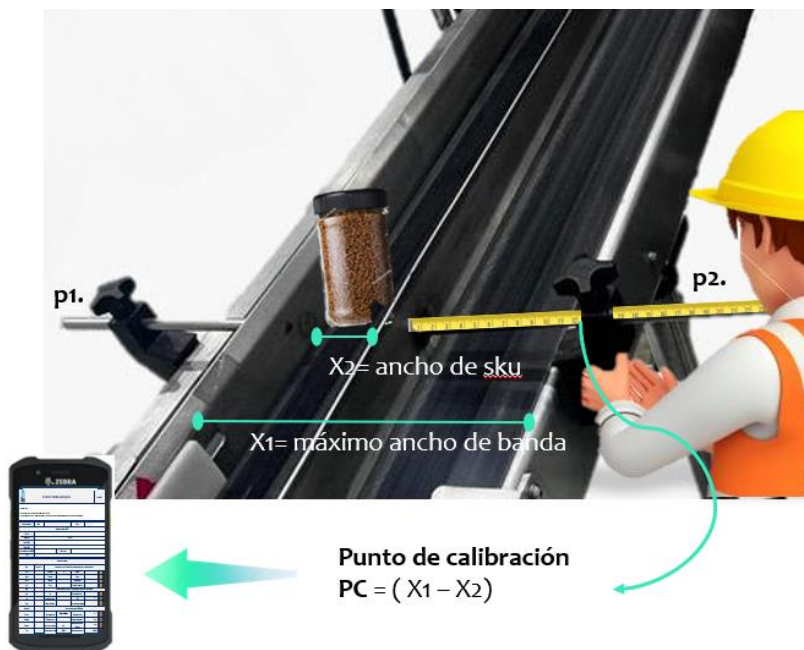


Figura 2.41*Proceso de calibración mejorado de codificadora*

2.4.1.3. Herramienta de ajuste de banda transportadora. Esta propuesta tiene el mismo objetivo y metodología de la expuesta en el punto 2.4.1.2.; ya que actualmente el ajuste del ancho de la banda se realiza cuando arriba el producto y en base a la experiencia. La propuesta consiste en implementar una cinta métrica adhesiva a la varilla regulable ubicada en el punto 2 (p2.) cuyo propósito es reducir la incidencia de error humano y tiempos de espera por arribo del producto, mediante la estandarización del punto de calibración, mismo que es calculado con la fórmula mostrada en la figura 2.42; restando el ancho del SKU a acondicionar al ancho máximo de la banda transportadora. Así también, es necesario realizar un levantamiento de información de las características de los SKU's previo a la implementación de la propuesta.

Figura 2.42*Proceso de calibración de banda propuesto*

2.4.1.4. Señal visual de abastecimiento. Actualmente, en promedio el tiempo de espera por arribo de material e insumos es de 1,081 minutos; por lo que esta propuesta va enfocada a implementar una luz LED al inicio de la línea, donde arriba la materia prima (figura 2.43), como señal visual de solicitud de abastecimiento al montacarguista en el momento preciso para que el nuevo pallet de materia prima arribe justo antes de que se incurra en un tiempo de espera por desabastecimiento.

Figura 2.43*Señal visual de abastecimiento*

De forma integral, se desarrolló una calculadora dinámica de punto de reorden de materia prima (figura 2.44) que determina el número de cajas que debe existir en el pallet de MP para que el operario en el área consumidora de materia prima accione la señal visual. Para este cálculo se considera la demanda del consumidor; es decir el inverso del tiempo en que se ejecutan todas las tareas para consumir el contenido de una caja de materia prima, también se considera el tiempo en que incurriría el montacarguista en arribar con el nuevo pallet desde que recibió la solicitud mediante la señal visual (lead time). Por último, se considera el stock de seguridad en unidades de tiempo, que servirán de colchón en caso de imprevistos.

Figura 2.44

Calculadora dinámica de punto de reorden de materia prima

Parámetros		Fórmulas		Unidades
Tiempo en "consumir cajas de MP"		suma de tiempos de tareas que forman parte del consumo	14,122	seg/caja
Demanda de desempaquetador		1/tiempo en "comer" cajas	0,071	caja/seg
Lead Time de montacarguista/pallet	Tiempo de bodega (dentro de célula) a racks (dentro de célula)		0	seg
	Tiempo de racks en célula a línea		60	seg
Stock de seguridad (como tiempo)		tiempo de colchón por imprevistos	60	seg
ROP de cajas		Demanda*(Lead time+SS)	9,0	cajas

2.4.2. Rediseño operacional de la línea

2.4.2.1. Balanceo de línea 1. Para el desarrollo de esta mejora, se identificó las actividades realizadas por los 3 operadores de la línea y sus respectivos tiempos, estos se detallan en la tabla 2.6.

Tabla 2.6

Actividades y tiempos del acondicionamiento en la línea 1 del SKU A

Actividad	Tiempo (segundos/unidad)
Desembalar el pallet de materia prima	0.0265
Transportar caja a mesa	0.3698
Vaciar caja (12 unidades)	0.5347
Etiquetar EAN 128 en las cajas vacías	0.2179
Colocar caja en la banda acumuladora	0.2778
Transporte de cajas a la mesa de empaquetado	0.0556
Empacar 12 unidades en la caja	2.3694
Tiempo de caminata al área de empaquetado	0.236

Transporte de la caja al pallet de producto terminado

0.5

Como segundo punto, se obtuvo el cálculo del Lead Time a partir de la fórmula 2.23, en donde los parámetros de la demanda diaria del SKU A se usó un valor de 8602.2857 unidades de SKU a por día y un tiempo disponible de 28800 segundos por día o 7 horas al día. Dando como resultado un Tack Time de 3.35 unidades de SKU A por segundo.

$$Tack\ Time = \frac{Demanda}{Tiempo\ disponible} \quad (2.23)$$

A partir del Tack Time, mediante la herramienta Operator Balance Chart, se asignaron las tareas a los 3 operadores de la célula, en donde los resultados se muestran en la figura 2.45 y 2.46.

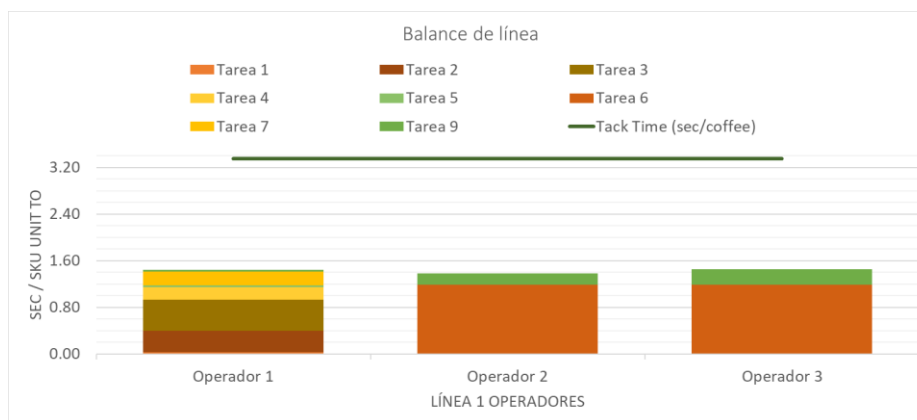
Figura 2.45

Repartición de tareas de la línea 1 con respecto al SKU A

	Desembalar la paleta de materia prima	Transportar caja a mesa	Vaciar caja (12 unidades)	Etiquetar con EAN 128 las cajas vacías	Colocar caja al inicio en la banda acumuladora por gravedad	Transporte de cajas vacías a la mesa de empacado (mejorado)	Empacar 12 unidades en caja	Tiempo de caminata al área de empacado	Transporte de la caja final al pallet de producto terminado		
Task time (seg/unidades de SKU A)	0,026515152	0,369861	0,534722	0,217917	0,027777778	0,055555556	2,3694275	0,236	0,500		
Operadores	Tarea 1	Tarea 2	Tarea 3	Tarea 4	Tarea 5	Tarea 6	Tarea 7	Tarea 8	Tarea 9	A: Tiempo total por operador	Tack Time (seg/café)
Operador 1	0,0265152	0,37	0,53	0,22	0,0278	0,0000	0,00	0,24	0,03	1,4429040	3,35
Operador 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,0556	1,18		0,20	1,4402693	3,35
Operador 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,0000	1,18		0,27	1,4547138	3,35
Total	0,03	0,37	0,53	0,22	0,0278	0,0556	2,37		0,50		

Figura 2.46

Balance Chart Operator de la línea 1 con respecto al SKU A



2.4.2.2. Calculadora dinámica de balance de línea. Esta calculadora desarrollada en Excel tiene por propósito traducir de manera práctica, los resultados obtenidos del balanceo de línea; dado que en el balanceo se obtuvo como resultado que la tarea de transporte de cajas acondicionadas hacia el pallet de producto terminado sería realizada por los 3 operadores, pero con diferentes porcentajes. El objetivo de la propuesta es controlar el WIP y permitir que los empacadores ejecuten menos la tarea de transporte, para que puedan realizar la actividad de valor de empacar unidades en la caja final. Así, la columna A, (minutos incurridos en la tarea de transporte/operador) y B (número de viajes/operador) se recalculan automáticamente, debido a los condicionales, al ingresar en la celda celeste el número de cajas programadas para aquella producción.

Figura 2.47

Calculadora dinámica de repartición de tarea de transporte de cajas a pallet de Pt

=Si(A>=6;((tiempo de ida y vuelta para transportar 6 cajas por viaje)*B; (tiempo de ida y vuelta para transportar 6 cajas por viaje))

Cajas Programadas	66	Tiempo de caminata hasta el área de empaque durante la producción (min)	Tiempo de transporte de la caja final al pallet de producto terminado durante la producción (min)		A	B
Total Unidades Programadas a producir (Variable)	Fórmula	(Tiempo de caminata por unidad)*(Unidades programadas)	(Tiempo de transporte por unidad)*(Unidades programadas)		Equivalente del tiempo repartido de transporte de cajas en cajas a transportar	Número de viajes necesarios para transportar cajas (3 cajas por viaje)
	Operadores	0,283	6,600			
792		Tarea 8	C	Tarea 9		
	Operador 1	0,28	6%	0,40	3,96	1,00
	Operador 2		40%	2,64	26,40	5,00
	Operador 3		54%	3,56	35,64	6,00
	SUMA	0,28	100%	6,60	66,00	12,00

=Cajas programadas* (porcentaje C/operador)

=Si(A>=6;redondear.mas((A/6);0);1)

2.4.2.3. Balanceo de línea 2 y 3. Al igual que la línea 1, se identificaron las tareas necesarias para realizar el acondicionamiento del SKU C en la línea. Estas se detallan en la tabla 2.7.

Tabla 2.7

Actividades y tiempos del acondicionamiento en la línea 2 y 3 del SKU C

Actividad	Tiempo (segundos/display)
Transportar caja de MP a mesa de desempaque	1.2
Desempaque y armado de display	8.28
Sellado del display	3
Acondicionamiento del display	2.15
Empaquetado de display en la caja de PT	1.02
Armado de caja de PT	0.4
Desarmado de caja de MP	0.42

Una vez identificados los tiempos, se obtuvo el Tack time usando una demanda de 176 cajas de PT o 8448 display por día y al igual que la línea 1, un tiempo total de 28800 segundos al día, se obtuvo un valor de 3.41 segundos por display.

Para el balance de la línea se usó la metodología Balance Chart Operator, que se puede observar en las figuras 2.48 y 2.49.

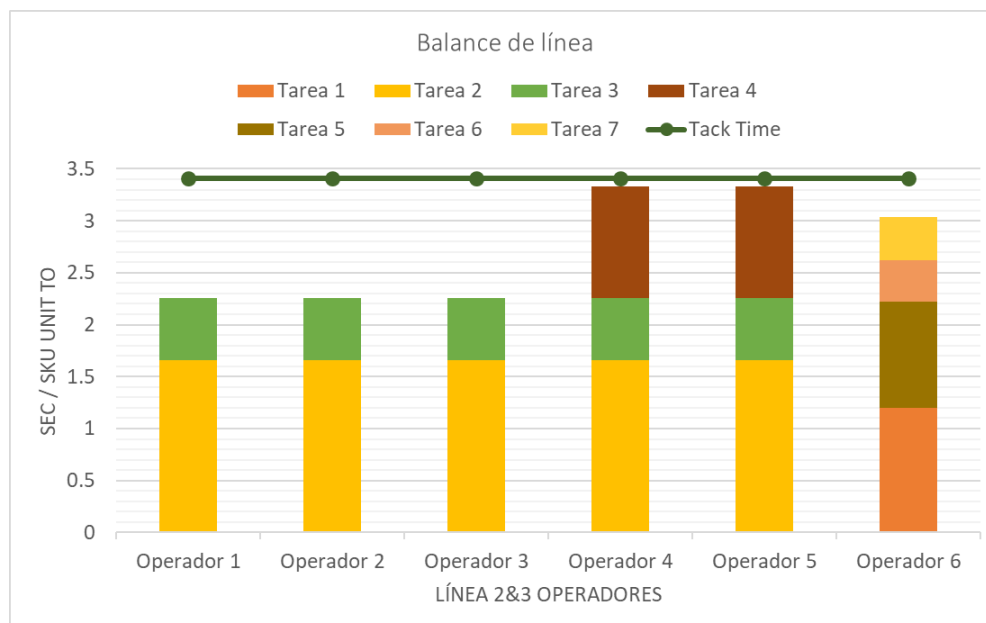
Figura 2.48

Repartición de tareas de la línea 2 y 3 con respecto al SKU C

S/display	1.2	8.28	3	2.15	1.02	0.4	0.42		
Operadores	Tarea 1	Tarea 2	Tarea 3	Tarea 4	Tarea 5	Tarea 6	Tarea 7	A: Total time per operator	Tack Time
Operador 1	0	1.656	0.6	0	0	0	0	2.256	3.41
Operador 2	0	1.656	0.6	0	0	0	0	2.256	3.41
Operador 3	0	1.656	0.6	0	0	0	0	2.256	3.41
Operador 4	0	1.656	0.6	1.075	0	0	0	3.331	3.41
Operador 5	0	1.656	0.6	1.075	0	0	0	3.331	3.41
Operador 6	1.2	0	0	0	1.02	0.4	0.42	3.04	3.41

Figura 2.49

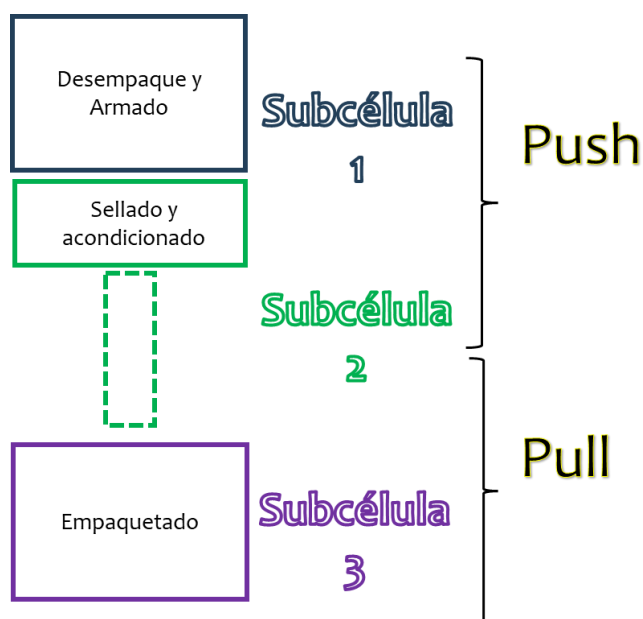
Operator Balance Chart de la línea 2 y 3 con respecto al SKU C



2.4.2.4. Subcélulas. Para esta parte de la propuesta en las líneas 2 y 3 se dividió la célula en subcélulas, tomando en cuenta sus 3 procesos principales como lo son: el desempaque y armado, acondicionamiento y empaquetado. Además, mediante el cálculo del CT de las subcélulas, se identificó que la subcélula 1, desempaque y armado, es el cuello de botella de la línea. Por lo que este seguirá un ambiente de producción tipo Push; mientras que las últimas 2 seguirán un ambiente de producción tipo pull. En la figura 2.50 se puede observar la división de ambientes dentro de las líneas 2 y 3.

Figura 2.50

División por subcélulas de las líneas 2 y 3



2.4.2.5. Milk Run. Al ser identificada la subcélula uno como el cuello de botella de la línea, se procedió a eliminar una de las actividades que no agregan valor a los operadores de la subcélula, la cual es el transporte de bajas de MP hacia la mesa de desempaque. Una de las alternativas fue la aplicación de la metodología Milk Run, la cual se definió que el sexto operador u operador de empaquetado sea el responsable de alimentar la subcélula de

desempaques, en donde, mediante la adquisición de un carrito (figura 2.48), este cargará 5 cajas de MP y las repartirá a los 5 operadores de desempaques siguiendo la ruta establecida en la figura 2.49. La aplicación de esta metodología consta de 2 viajes iniciales al inicio de la producción, es decir, durante el setup, y la 1 vez cada que cada operador se quede con una caja en su poder, es decir, que todo el tiempo el operador de desempaques debe poseer 2 cajas de MP en su poder, esto evitará desabasto y holguras en el tiempo de abastecimiento. Con esto el operador que abastece recorrió un promedio de 12 metros en cada viaje.

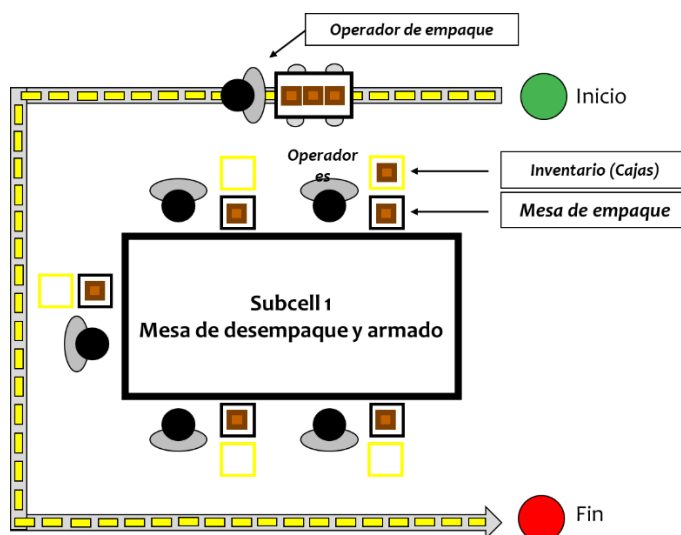
Figura 2.51

Medio de transporte de cajas de MP



Figura 2.52

Aplicación de metodología Milk Run



2.4.2.6. Metodología Kanban. En la situación actual, se genera un inventario muy variado en la mesa de empaquetado, ya que no tienen una cantidad fija de display mínimos para el inicio del empaquetado, estos inventarios van desde 48 display hasta 240 display, en donde el inventario de display acondicionados durante el largo de la producción varía dentro de este rango. Por lo que una de las metodologías para reducir el nivel de inventario y poder cumplir con la demanda diaria, es la aplicación de la metodología Kanban, sin embargo, esta no se aplicó en toda la línea, sino en las subcélulas que siguen un ambiente de producción Pull, tal como se identificó en la creación de subcélulas.

Los parámetros usados se detallan en la tabla 2.8 mostrada a continuación:

Tabla 2.8

Parámetros de la metodología Kanban

Parámetros	Valores	Unidades
Demanda	21	Unidades de SKU C por minuto
Lead Time	0.412	Minutos por unidades de SKU C
Q	48	Unidades de SKU C
Ss	20%	

En donde el valor de la demanda es el mismo usado en la planificación diaria del SKU, el Lead Time se consideró los tiempos de transporte y producción de los display en minutos, el valor Q se usó la cantidad de display en una caja de PT.

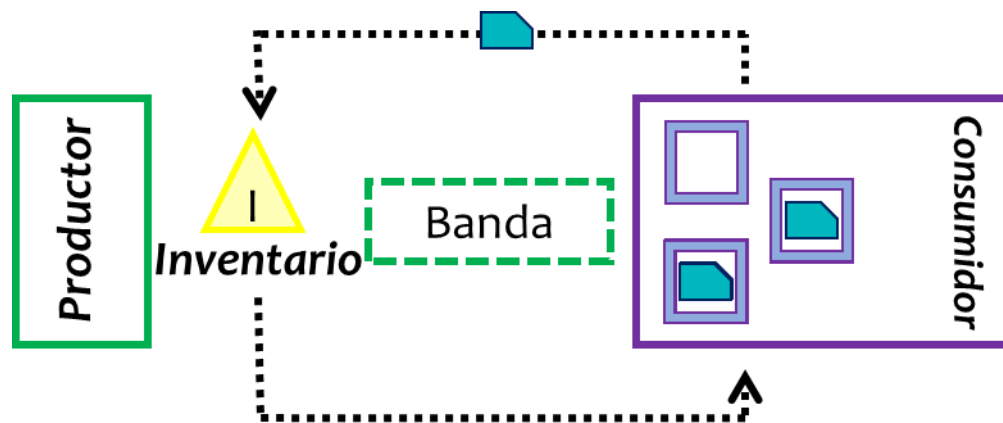
Tomando estos parámetros, se calculó el número de contenedores necesarios para satisfacer la demanda y seguir un flujo contante, esto mediante la ecuación 2.24, donde se obtuvo un valor de 3 contenedores (K).

$$K = \frac{\text{Demanda} * LT * Ss}{Q} \quad (2.23)$$

Con estos resultados, se elaboró un gráfico donde puede observar el loop creado y la ruta que siguen las tarjetas Kanban y los contenedores.

Figura 2.53

Loop de la línea 2 y 3 con la metodología Kanban



2.5 Etapa de validación

2.5.1. Simulación de situación actual de líneas y validación de modelado

Previo al desarrollo de los modelos de simulación, se elaboraron diagramas de los procesos de las líneas con el fin de direccionar adecuadamente el proceso conceptual y configuraciones de los modelos de simulaciones. En ambos diagramas (figura 2.54 y figura 2.55), el inicio es la llegada de la materia prima y terminan con el transporte del pallet de producto terminado hacia los racks.

Figura 2.54

Diagrama de procesos de la línea 1 con respecto al SKU A

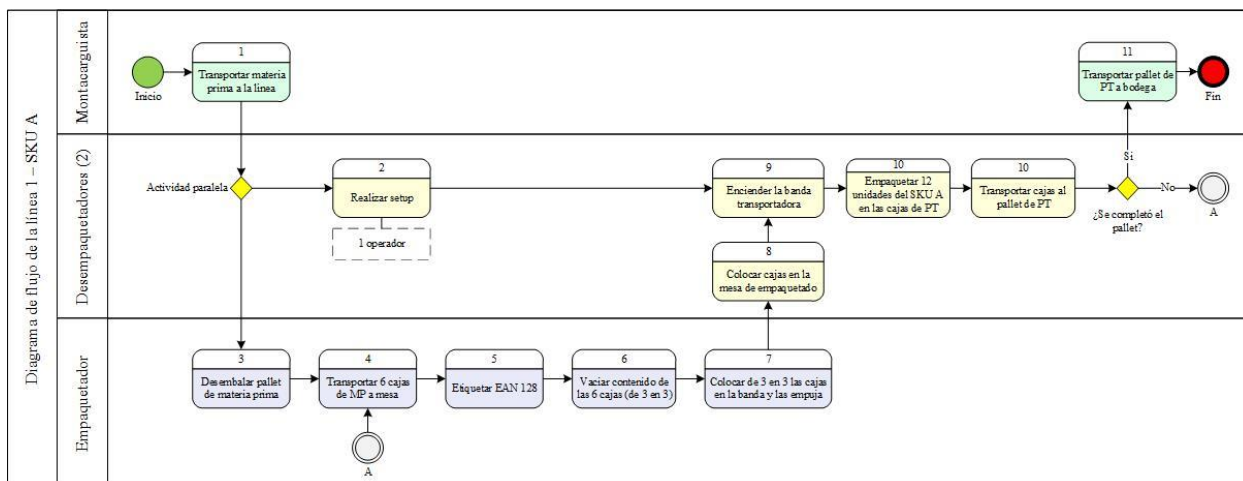
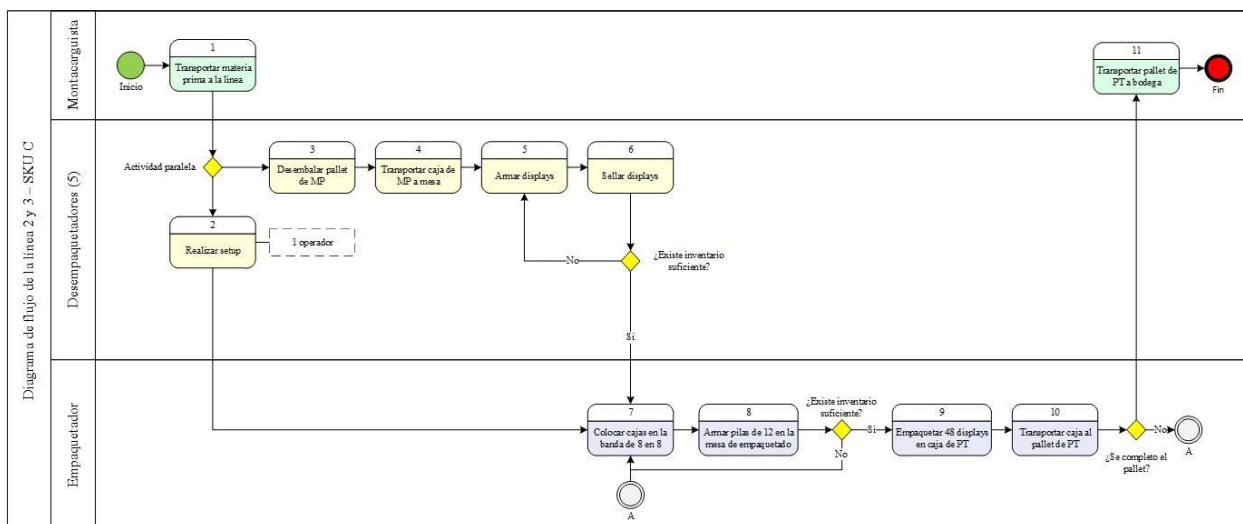
**Figura 2.55**

Diagrama de procesos de la línea 2 y 3 con respecto al SKU C



2.5.1.1. Simulación de situación actual de línea 1. Para el desarrollo del modelo de simulación,

se tomó de base el diagrama mostrado en la figura 2.54. Se utilizó un multiprocesador (figura 2.56) para simular los tiempos de todas las tareas realizadas por el desempaquetador, para después ser almacenados en una cola (figura 2.57), que es el puerto de entrada a una banda transportadora (figura 2.58) acomodada para que cumpla la función

de la mesa redonda acumuladora de la línea. Las unidades del SKU A pasan por una banda transportadora con el fin de ser codificadas antes de pasar al área de empaquetado, en este trayecto se encuentra un procesador (figura 2.59) que desarrolla la actividad de setup y codificado; luego pasan a una banda (Figura 2.58) con forma de mesa acumuladora para ser empaquetados en los dos combinadores (Figura 2.60), que representan a los 2 empaquetadores de la línea; finalmente las cajas donde se guardan las unidades son transportas hacia la cola que representa el pallet de PT.

Figura 2.56

Multiprocesador

Fuente: FlexSim



Figura 2.57

Cola

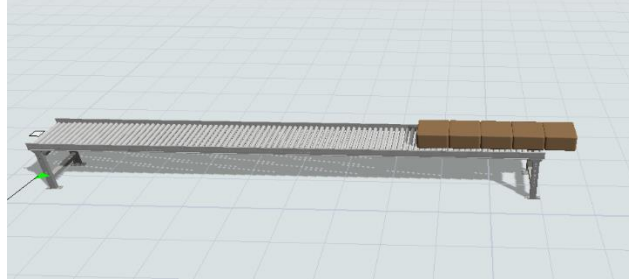
Fuente FlexSim



Figura 2.58

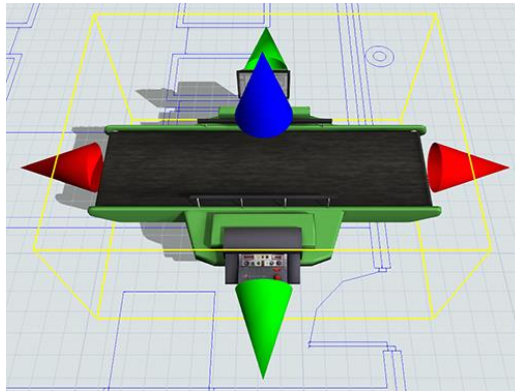
Conveyor

Fuente: FlexSim

**Figura 2.59**

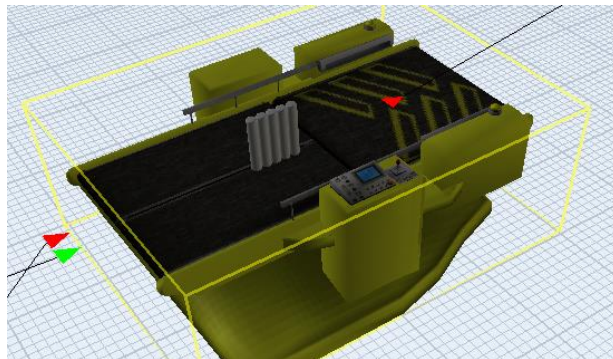
Procesador

Fuente: FlexSim

**Figura 2.60**

Combinador

Fuente: FlexSim



Con los elementos definidos, con los datos recolectados en la etapa de medición, se obtuvo los parámetros necesarios para poder desarrollar el modelo. Estos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2.9

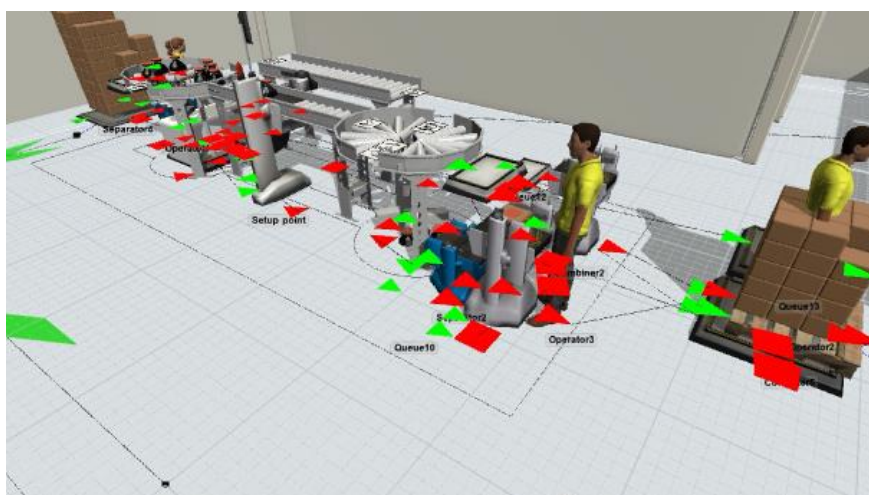
Parámetros de simulación Línea 1

Variable	Distribución	Parámetro
Tiempo de desempaque	Gamma	gamma(3.034527, 0.214561, 45.151571)
Etiquetado de EAN	Johnson Bounded	johnsonbounded(0.013142,2.317966,1.329945, 1.267270)
Tiempo de Set Up	Johnson Bounded	johnsonbounded(43.872760,74.735540,1.073940, 0.904009)
Tiempo de empaque	Log-Normal	lognormal2(14.729426, 9.043920, 0.193222)

Una vez identificados los elementos y parámetros, se diseñó en AutoCad el plano base de la célula de copacker considerando las medidas reales de las máquinas de las líneas y la distancia entre ellas, para importarlo como ambiente a FlexSim y realizar configuraciones del modelo de simulación de la línea 1 mostrado en la figura 2.61; donde el SKU representativo será el A.

Figura 2.61

Modelo de simulación línea 1



2.5.1.2. Validación del modelo de simulación de la situación actual de línea 1. Una vez construido el modelo en FlexSim sobre la situación actual en la línea, se realizó la validación indispensable de que dicho modelo es una adecuada representación de la realidad, por lo que se realizó la prueba de intervalo de confianza. Como primer paso, mediante la herramienta Experimenter de FlexSim, se creó el escenario 1 con un número n de 30 réplicas; donde cada una simuló cuatro horas de simulación. El resultado de estas 30 réplicas, cajas por hora, se muestra en la tabla 2.10.

Tabla 2.10

Cajas por hora Línea 1

N° de réplica	Caja/hora	N° de réplica	Caja/hora
1	161,96	16	161,16
2	163,30	17	162,49
3	161,16	18	162,49
4	161,96	19	161,16
5	162,76	20	161,69
6	160,89	21	163,30
7	161,96	22	161,69
8	162,23	23	162,76
9	162,49	24	162,23
10	161,96	25	161,69
11	161,96	26	161,96
12	162,76	27	161,69
13	163,30	28	160,89
14	162,49	29	161,16
15	162,49	30	162,76

Luego se establecieron y se calcularon parámetros usados en la prueba, cuyo nivel de confianza es del 95%, mostrados en la tabla 2.11. En este sentido, el U_0 es el valor de cajas/hora que se espera obtener de la simulación, obtenido de la etapa de recolección de datos cuya media fue 173,9 y su desviación estándar 33,53 cajas/hora. Así también, el error esperado es la diferencia que el cliente acepta que exista entre la simulación y la realidad de la línea; cuyo valor estipulado

fue 12,5 cajas/hora, siendo aún menor que la mitad la desviación muestreada. El valor teórico del estadístico t de student de dos colas fue calculado en Excel, con la fórmula =DISTR.T.INV(alpha ; n-1); mientras que el error estándar de la réplica fue calculado con la ecuación 2.24

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - Y_{prom}| \quad (2.24)$$

Tabla 2.11

Parámetros para prueba de intervalo de confianza-línea 1

Parámetros	Valores	Unidades
Uo	173,9	cajas/hora
Error esperado	12,5	cajas/hora
Media de repeticiones (Y prom)	162,09	cajas/hora
Desviación (S) de repeticiones	0,69746024	cajas/hora
Error estándar (MAE) de réplicas	0,570156	cajas/hora
nivel de confianza	0,95	
alpha	0,05	
n	30	réplicas
t student teórico	2,04522964	

Los límites superiores (+) e inferior (-) del intervalo de confianza se calculan de la siguiente forma:

$$I.C. = Y_{prom} \pm (t \text{ student teórico}) S/\sqrt{n} = 162,09 \pm (2,04522964) * 0,69746/\sqrt{30}$$

Finalmente, se calculó los valores del best case y worst case para poder concluir:

$$\text{Mejor caso: } |U_o - \text{límite sup}| = |173,9 - 162,35397| = 11,54602; \text{ y}$$

$$\text{Peor caso: } |U_o - \text{límite inf}| = |173,9 - 161,8331| = 12,0669$$

Dado que tanto el mejor caso y el peor caso son menores al error esperado (12,5), se concluye con un nivel de confianza del 95% que el modelo es adecuado para representar la situación actual de la línea.

Posteriormente, se realizó la prueba de potencia a los resultados obtenidos para determinar el número de réplicas necesarias para que el uso de los resultados de la simulación de la situación actual sea confiable. La potencia de dicha prueba fue del 95%, por lo que el valor de β se calculó con la ecuación 2.25

$$\beta = 1 - \text{Potencia de la prueba} = 1 - 0,95 = 0,05 \quad (2.25)$$

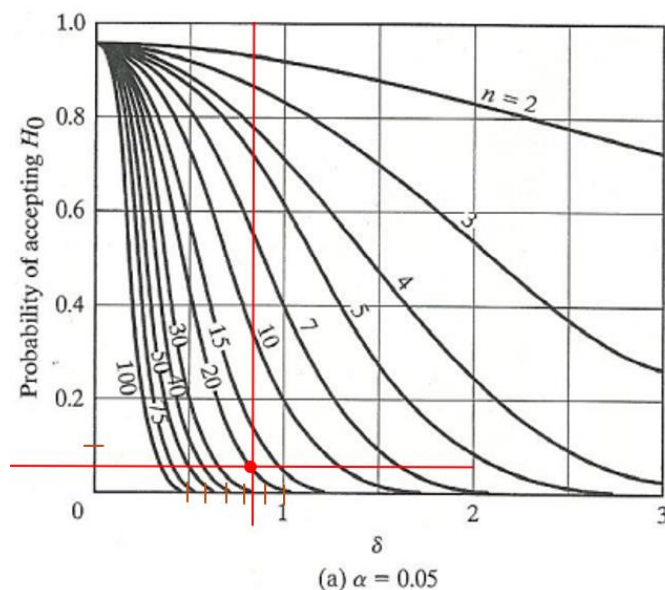
En cuanto al cálculo del parámetro δ , se utilizó la ecuación 2.26

$$\delta = \frac{\text{error estandar de réplicas}}{\text{desviación estandar de réplicas}} = \frac{0,5701559}{0,68427389} = 0,83322761 \quad (2.26)$$

Dado que se estableció que la prueba tendría un nivel de confiabilidad del 95%, se utilizó la gráfica de prueba de potencia correspondiente al $\alpha = 0,05$. En el eje de las abscisas, se busca el valor de δ , mientras que en el eje de las ordenadas el valor de β ; obteniendo la intersección mostrada en la figura 2.62.

Figura 2.62

Gráfica de prueba de potencia



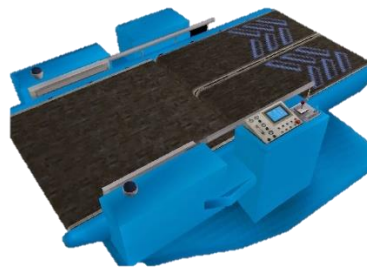
Así, la prueba indica que se necesitan 20 réplicas para poder hacer uso de los resultados; dado que el número de réplicas obtenidas inicialmente no fue necesario generar más.

2.5.1.3. Simulación de la situación actual de línea 2 y 3. Con base en el diagrama de flujo mostrado en la figura 2.55, el paso 5 es representado por un separador (figura 2.63) que divide en 25 unidades cada caja, que es la cantidad de display que se arman con una caja de MP; y un procesador (figura 2.59) el cual contiene los tiempos de armado y sellado por display. Al igual que la línea 1, se encuentra un procesador en el centro, el cual es asignado para realizar el tiempo de Set up, luego que el display pase por la banda transportadora, esta pasa a una cola (figura 2.57) donde espera a que se cree el lote mínimo para pasar a un combinador (2.60) que simula la tarea de armado de cajas de producto terminado. Cuando arriba la caja de PT número 15 al pallet de producto terminado, el montacarguista lo transporta hacia los racks de almacenamiento.

Figura 2.63

Separador

Fuente: FlexSim

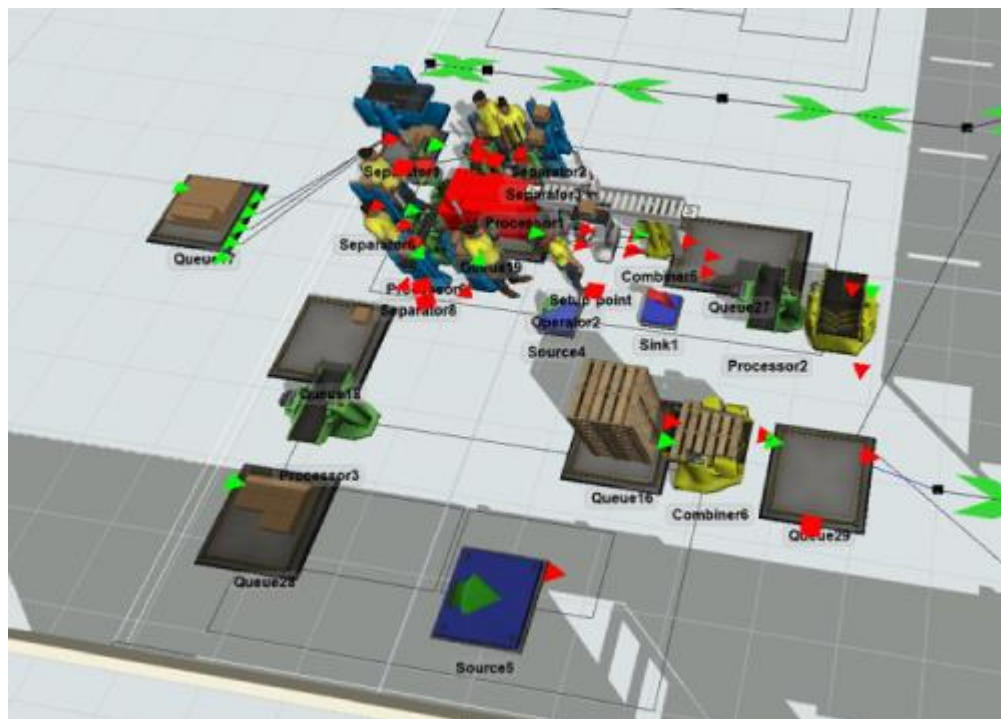


Una vez que se definió los elementos de la línea 2 y 3, se identificó los parámetros y variables a usar. Siendo que en este caso las variables son de tiempo, se utilizó la herramienta Experfit de FlexSim para encontrar la distribución de los tiempos recolectados en la etapa de recolección de datos obteniendo los resultados mostrados en la tabla 2.12.

Tabla 2.12*Parámetros de simulación líneas 2 y 3*

Variable	Distribución	Parámetro
Tiempo de desempaque	Johnson Bounded	johnsonbounded(8.369508, 11.868592, 0.085075, 1.371633)
	Weibull	Weibull(11.929067, 2.129522, 1.306893)
	Beta	beta(7.672620, 10.113266, 1.336498, 0.639544)
Tiempo de Setup	Johnson Bounded	johnsonbounded(526.475355, 896.765322, 1.073971, 0.903906)
Tiempo de empaque	Log-Logistic	loglogistic(15.835130, 37.183160, 5.102660)

Para este modelo se hizo uso nuevamente del plano de AutoCad de las medidas reales de las líneas, y con los elementos y parámetros de la línea 2 y 3 identificados se obtuvo la simulación mostrada en la figura 2.64.

Figura 2.64*Modelo de simulación líneas 2 y 3*

2.5.1.4. Validación del modelo de simulación de la situación actual de línea 2 y 3. Con el mismo propósito y metodología de validación de la simulación de la situación actual de la línea 1 mostrados en la sección 2.5.1.2 se realizó la prueba de intervalo de confianza. El resultado de las 30 réplicas tomadas inicialmente, cajas por hora, se muestra en la tabla 2.13.

Tabla 2.13

Cajas por hora líneas 2 y 3

N° de réplica	Caja/hora	N° de réplica	Caja/hora
1	25,90	16	25,90
2	25,53	17	25,90
3	26,26	18	25,90
4	25,90	19	25,53
5	25,53	20	25,53
6	25,53	21	25,90
7	25,90	22	25,53
8	25,53	23	25,53
9	25,53	24	26,26
10	25,53	25	25,90
11	25,53	26	25,53
12	25,53	27	25,90
13	26,26	28	25,53
14	25,53	29	25,90
15	25,90	30	25,53

De igual forma, se establecieron y calcularon parámetros, usados en la prueba cuyo nivel de confianza es del 95%, mostrados en la tabla 2.14.

Tabla 2.14

Parámetros para prueba de intervalo de confianza-líneas 2 y 3

Parámetros	Valores	Unidades
Uo	27	cajas/hora
Error esperado	2	cajas/hora
Media de repeticiones (Y prom)	25,75	cajas/hora
Desviación (S) de repeticiones	0,24773	cajas/hora
Error estándar (MAE) de réplicas	0,22094	cajas/hora
nivel de confianza	0,95	
alpha	0,05	
n	30	réplicas

t student teórico	2,04522964
-------------------	------------

Los límites superiores (+) e inferior (-) del intervalo de confianza se calculan de la siguiente forma:

$$\text{I.C.} = Y_{\text{prom}} \pm (t \text{ student teórico}) S/\sqrt{n} = 25,75 \pm (2,04522964) * 0,24773/\sqrt{30}$$

Finalmente, se calculó los valores del best case y worst case para poder concluir:

$$\text{Mejor caso: } |U_{\text{o-límite sup}}| = |27-25,838234| = 1,16176601; \text{ y}$$

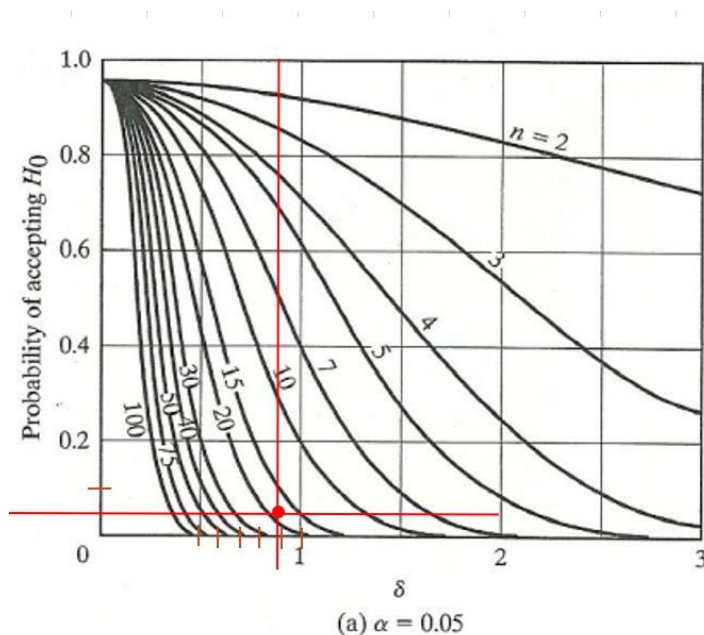
$$\text{Peor caso: } |U_{\text{o-límite inf}}| = |27-25,653224| = 1,34677607$$

Dado que tanto el mejor caso como el peor caso son menores al error esperado (2), se concluye con un nivel de confianza del 95% que el modelo es adecuado para representar la situación actual de la línea.

Así también, se realizó la prueba de potencia a los resultados obtenidos para determinar el número de réplicas necesarias obteniendo un valor $\beta=0,05$. En cuanto al cálculo del parámetro δ , se utilizó la ecuación 2.27

$$\delta = \frac{\text{error estandar de réplicas}}{\text{desviación estandar de réplicas}} = \frac{0,22094}{0,24773} = 0,89031 \quad (2.27)$$

Dado que se estableció que la prueba tendría un nivel de confiabilidad del 95%, se utilizó la gráfica de prueba de potencia correspondiente al $\alpha=0,05$. En el eje de las abscisas, se busca el valor de δ , mientras que en el eje de las ordenadas el valor de β ; obteniendo la intersección mostrada en la figura 2.65.

Figura 2.65*Gráfica de prueba de potencia*

Así, la prueba indica que se necesitan 20 réplicas para poder hacer uso de los resultados; dado que el número de réplicas obtenidas inicialmente no fue necesario generar más.

2.5.2. Simulación y validación de escenarios mejorados

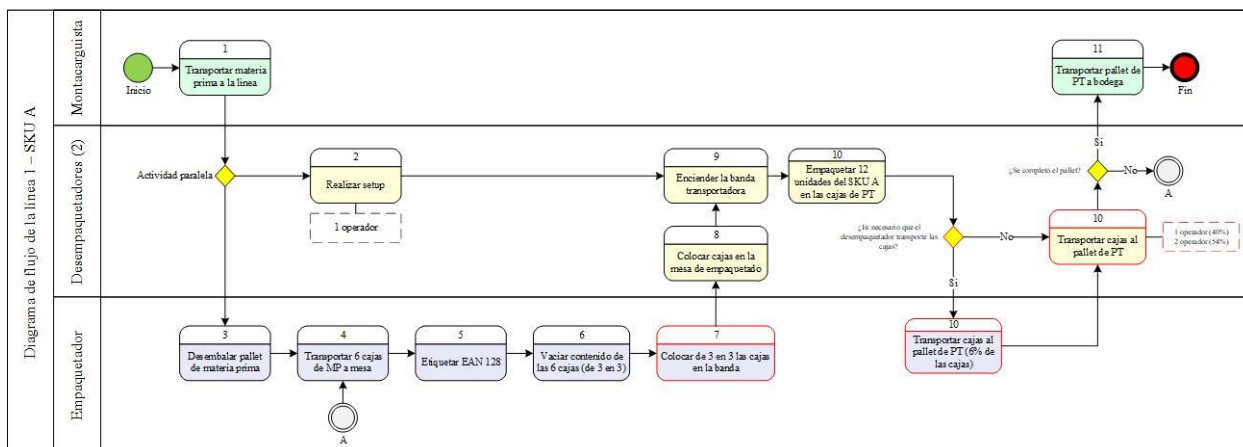
Una vez obtenido los modelos actuales de las líneas, se utilizó de base para simular la implementación de la propuesta de rediseño estructural y operacional. Para ambas líneas los modelos usan los mismos elementos de la situación actual y en ambas la distribución del tiempo de setup se redujo en 5 minutos por la implementación de la herramienta de calibración propuesta, y los tiempos de espera por arribo de pallet de MP que se vieron reducidos a cero por la señal visual de aprovisionamiento. Se inició por elaborar los nuevos diagramas de flujos que consideren los cambios propuestos, enfatizados con contorno rojos.

2.5.2.1. Simulación de escenario mejorado de línea 1. Para esta línea el diagrama modificado

que guiará la nueva simulación es el que se muestra en la figura 2.66.

Figura 2.66

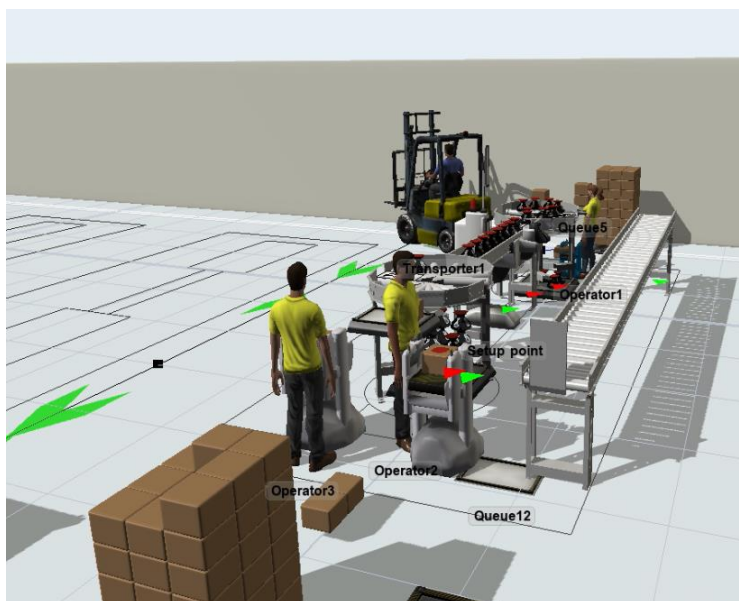
Diagrama de flujo propuesto Línea 1



Para esta línea se modelaron dos escenarios de mejora, en el primero simula únicamente la implementación de: banda transportadora gravitacional, herramientas de calibración de la altura de codificadora y ancho de banda transportadora, señal visual de abastecimiento de MP y balanceo de tareas entre los tres operarios; donde el principal cambio se ve reflejado en la repartición de la tarea de transportar las cajas de PT al pallet ubicado al final de la línea. Mientras que, en el segundo escenario, además de estas implementaciones, se estandarizó los tiempos de empaquetados entre ambos operarios logrando reducir su variabilidad y media; es decir se cambió el tiempo de proceso en los combinadores con la siguiente distribución obtenida de Experfit: $\text{lognormal2}(14.729426, 9.043920, 0.193222)$. En la figura 2.67 se muestra la simulación del escenario mejorado.

Figura 2.67

Modelo de simulación de escenario mejorado-línea 1



2.5.2.2. Validación del modelo del escenario mejorado de línea 1. Al igual que los modelos de simulación de la situación actual es necesario validarlo, pero debido a que no hay una situación actual con la que compararla, se aplicará una prueba para evidenciar que existe una mejora versus el escenario actual. Para esto se calculó el número de réplicas mínimo para poder tomar las variables de salida como resultados confiables, por lo que inicialmente se decidió arbitrariamente obtener con Experimenter 30 corridas de ambos escenarios, resultado mostrado en las tablas 2.15 y 2.16.

Tabla 2.15

Cajas por hora de escenario mejorado 1 Línea 1

Nº de réplica	Caja/hora	Nº de réplica	Caja/hora
1	172,55	16	172,03
2	172,55	17	171,76
3	172,55	18	171,50
4	171,50	19	173,07
5	172,55	20	170,98
6	171,76	21	172,55

7	171,76	22	172,55
8	170,98	23	172,55
9	171,76	24	171,50
10	171,50	25	172,55
11	172,81	26	171,76
12	172,29	27	171,76
13	171,50	28	170,98
14	172,29	29	171,76
15	172,29	30	171,50
Media= 171,98			

Tabla 2.16*Cajas por hora de escenario mejorado 2 Línea 1*

Nº de réplica	Caja/hora	Nº de réplica	Caja/hora
1	173,33	16	170,98
2	173,59	17	172,29
3	171,50	18	171,76
4	171,50	19	173,33
5	173,33	20	171,50
6	173,33	21	172,29
7	172,29	22	172,55
8	172,03	23	171,50
9	171,76	24	172,55
10	172,29	25	173,33
11	173,33	26	173,33
12	173,07	27	171,50
13	173,33	28	173,33
14	171,76	29	173,07
15	173,59	30	171,50
Media= 172,5			

Una vez obtenidos los Y_i de las 30 réplicas, se calcularon y establecieron los parámetros resumidos en la tabla 2.17 que fueron utilizados en el método para calcular el número mínimo de réplicas, tales como: media, desviación y error estándar.

Tabla 2.17*Parámetros para cálculo de Rmin-línea 1*

Parámetros	Valores	Unidades
Media de repeticiones (Y prom)	171,98	cajas/hora
Desviación (S) de repeticiones	0,570651813	cajas/hora
Error estándar ϵ	0,49382716	cajas/hora
nivel de confianza	0,95	
Alpha	0,05	
n	30	réplicas
Z(alpha/2)	1,959	

Con el estadístico Z de distribución normal, $Z(\alpha/2) = Z(0.05 / 2) = 1,959$, se calculó con la Rmin con la ecuación 2.28

$$Rmin \geq (Z_{0,05/2} * S) / \epsilon)^2 \quad (2.28)$$

$$\geq ((1,96 * 0,570652) / 0,493827)^2 \geq 5,125$$

Redondeamos Rmin al entero inmediato superior, por lo que Rmin sería igual a 6 réplicas.

Por último, calculamos el R, donde se realizarán tantas iteraciones como sea necesario hasta que el valor de R sea menor o igual al Rmin encontrado, utilizando la siguiente fórmula:

$$R \geq ((t(\alpha/2, Rmin-1) * S_0) / \epsilon)^2 \quad (2.29)$$

En la primera iteración, el Rmin será igual a 6; en donde el estadístico t student es igual a:

$$t(0,05/2, 6-1) = 2,5706 \quad ; \quad R \geq ((2,5706 * 0,570652) / 0,494)^2 \geq 8,824$$

Ya que Rmin aún no es mayor a R, es necesario seguir iterando; donde la tabla 2.18 quedaría de la siguiente forma:

Tabla 2.18Valores de R_{min} y R

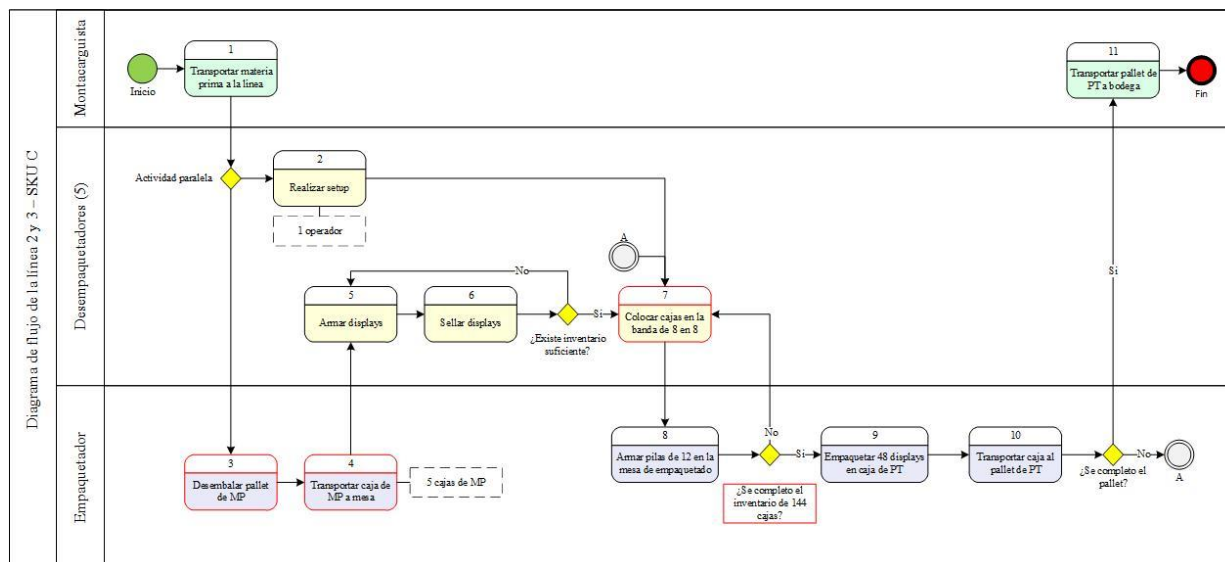
	R_{min}	6	9
$t(\alpha/2, R_{min}-1)$		2,571	2,306
R		8,824	7,101

En la segunda iteración, R_{min} es mayor que R , por lo que logra satisfacer la ecuación; indicando así que el número mínimo de Réplicas que hay que realizar son 9 para considerar que los resultados son adecuados. Dado que en la prueba de potencia se obtuvo un número de réplicas mayor, se concluyó que era necesario 20 réplicas, y puesto que inicialmente se hicieron 30 réplicas, no es necesario realizar más.

2.5.2.3. Simulación de escenario mejorado de línea 2 y 3. Para el modelado del escenario mejorado de la línea 2 y 3 se realizaron los cambios correspondientes a la propuesta de rediseño al diagrama de flujo original mostrados en rojo en la figura 2.68.

Figura 2.68

Diagrama de flujo propuesto Línea 2 y 3.



Se obtiene el modelo de simulación mostrado en la figura 2.69 la aplicación del rediseño estructural, señal visual de abastecimiento, Milk run y creación de subcélulas.

Figura 2.69

Modelo de simulación de escenario mejorado -línea 2 y 3



2.5.2.4. Validación del modelo del escenario mejorado de línea 2 y 3. Como primer paso en esta etapa se obtuvo con Experimenter Ro réplicas= 30, mostrados en la tabla 2.19 cuya media de cajas/ hora del escenario mejorado es de 32,31.

Tabla 2.19

Cajas por hora mejorado Línea 2 y 3

Nº de réplica	Caja/hora	Nº de réplica	Caja/hora
1	32,21	16	32,57
2	32,21	17	32,21
3	32,21	18	32,57
4	32,57	19	32,21
5	32,57	20	32,21
6	32,57	21	32,21
7	32,21	22	32,21
8	32,21	23	32,57
9	32,21	24	32,21
10	32,21	25	32,57
11	32,21	26	32,21
12	32,21	27	32,21
13	32,21	28	32,21
14	32,21	29	32,21

15	32,57	30	32,21
Media: 32,31			

Aplicando la misma metodología y con el mismo propósito para validar el modelo del escenario mejorado de la línea 1 en la sección 2.5.2.2, se obtienen los parámetros mostrados en la tabla 2.20.

Tabla 2.20

Parámetros para cálculo de Rmin-línea 2 y 3

Parámetros	Valores	Unidades
Media de repeticiones (Y prom)	32,3068	cajas/hora
Desviación (S) de repeticiones	0,159213	cajas/hora
Error estándar ϵ	0,13845	cajas/hora
nivel de confianza	0,95	
Alpha	0,05	
n	30	réplicas
Z(alpha/2)	1,959	

Con el estadístico Z de distribución normal, $Z(\alpha/2) = Z(0.05 / 2) = 1,959$, se calcula con la ecuación 2.30

$$R_{min} \geq ((1,96 * 0,159213) / 0,13845)^2 \geq 5,0753 \quad (2.30)$$

Redondeamos Rmin al entero inmediato superior, por lo que Rmin sería igual a 6 réplicas.

Por último, calculamos el R, donde se realizarán tantas iteraciones como sea necesario hasta que el valor de R sea menor o igual al Rmin encontrado, utilizando la siguiente fórmula:

$$R \geq ((t(\alpha/2, R_{min}-1) * S_0) / \epsilon)^2 \quad (2.31)$$

En la primera iteración, el Rmin será igual a 6; en donde el estadístico t student es igual a: $t(0,05/2, 6-1) = 2,5706$; y, $R \geq ((2,5706 * 0,159213) / 0,13845)^2 \geq 8,739$

Ya que R_{min} aún no es mayor a R , es necesario seguir iterando; donde la tabla 2.21 quedaría de la siguiente forma:

Tabla 2.21

Valores de R_{min} y R

R_{min}	6	9
$t(\alpha/2, R_{min}-1)$	2,571	2,306
R	8,824	7,0326

El número mínimo de réplicas que hay que realizar son 9. Dado que en la prueba de potencia se obtuvo un número de réplicas mayor, se concluyó que era necesario 20 réplicas, y puesto que inicialmente se hicieron 30 réplicas, no es necesario realizar más.

2.5.3. Comparación de resultados entre simulación de situación actual y escenarios

mejorados

Una vez validado que la simulación de la situación actual es una representación aceptable de la realidad y que se ha comprobado que se cuenta con el número correcto de réplicas por cada modelo, es posible aplicar el método de Bonferroni, con el objetivo de demostrar que las propuestas de mejora representan una mejora significativa sobre la situación actual. Para ambas líneas se utilizó un nivel de confianza del 95% ; es decir un $\alpha = 0,05$. Para ambas líneas, primero calculamos para las 30 réplicas la diferencia entre los valores obtenidos en la situación inicial menos los valores obtenidos en cada escenario mejorado ($=D_i$ situación actual – D_i situación mejorada). Para luego calcular el promedio, desviación estándar con ecuación 2.32 y error estándar con la ecuación 2.33 de cada DR_i (columna de diferencias).

$$S = \sqrt{\frac{1}{R-1} (\sum_{i=1}^n D_i - D_{pom})}; R \text{ es el número de réplica} \quad (2.32)$$

$$\text{error estandar} = \frac{So}{\sqrt{R}} \quad (2.33)$$

2.5.3.1. Método Bonferroni en línea 1. Con los parámetros previamente detallados, se construye la tabla con los datos obtenidos de la simulación de la situación actual y de los dos escenarios mejorados (figura 2.70). Además, de añadir tantas columnas DR como escenarios mejorados se hayan propuesto; ya que en cada una se calculó la resta del valor obtenido en la situación actual menos el escenario mejorado.

Figura 2.70*Tabla del Método Bonferroni Línea 1*

Réplicas	Situación Actual	Escenario mejorado 1	Escenario mejorado 2	DR1	DR2
				teta1-teta2	teta1-teta3
1	161,96	172,55	173,33	-10,59	-11,37
2	163,30	172,55	173,59	-9,25	-10,30
3	161,16	172,55	171,50	-11,39	-10,35
4	161,96	171,50	171,50	-9,54	-9,54
5	162,76	172,55	173,33	-9,79	-10,57
6	160,89	171,76	173,33	-10,87	-12,44
7	161,96	171,76	172,29	-9,80	-10,33
8	162,23	170,98	172,03	-8,75	-9,80
9	162,49	171,76	171,76	-9,27	-9,27
10	161,96	171,50	172,29	-9,54	-10,33
11	161,96	172,81	173,33	-10,85	-11,37
12	162,76	172,29	173,07	-9,53	-10,31
13	163,30	171,50	173,33	-8,21	-10,04
14	162,49	172,29	171,76	-9,79	-9,27
15	162,49	172,29	173,59	-9,79	-11,10
16	161,16	172,03	170,98	-10,87	-9,82
17	162,49	171,76	172,29	-9,27	-9,79
18	162,49	171,50	171,76	-9,01	-9,27
19	161,16	173,07	173,33	-11,91	-12,18
20	161,69	170,98	171,50	-9,29	-9,81
21	163,30	172,55	172,29	-9,25	-8,99
22	161,69	172,55	172,55	-10,86	-10,86
23	162,76	172,55	171,50	-9,79	-8,74
24	162,23	171,50	172,55	-9,28	-10,32
25	161,69	172,55	173,33	-10,86	-11,64
26	161,96	171,76	173,33	-9,80	-11,37
27	161,69	171,76	171,50	-10,07	-9,81
28	160,89	170,98	173,33	-10,09	-12,44
29	161,16	171,76	173,07	-10,61	-11,91
30	162,76	171,50	171,50	-8,74	-8,74
Promedio	162,09	171,98	172,50	-9,89	-10,40
			Desviación estandar (S)	0,85	1,06
			Varianza	0,73	1,13
			Error estandar	0,16	0,19

Ahora construiremos los intervalos para DR1 y DR2, tomando en cuenta los parámetros mostrados en la figura 2.22 para el cálculo del valor estadístico t student correspondiente:

Tabla 2.22*Parámetros para cálculo de intervalos de Bonferroni-línea 1*

Parámetros	Valores
R	30
C	2
alpha	0,05
alpha / c	0,025
t de student (alpha/2; R-1)	2,36385

Intervalo de DR1:

$$DR1_{prom} - t_{(0,025, 29)} * \epsilon_{DR1} \leq \theta_1 - \theta_2 \leq DR1_{prom} + t_{(0,025, 29)} * \epsilon_{DR1}$$

$$(-9,89) - (2,36385 * 0,16) \leq \theta_1 - \theta_2 \leq (-9,89) + (2,36385 * 0,16)$$

$$-10,257205 \leq \theta_1 - \theta_2 \leq -9,5208545; \text{ intervalo a la izquierda del cero}$$

Intervalo de DR2:

$$DR2_{prom} - t_{(0,025, 29)} * \epsilon_{DR2} \leq \theta_1 - \theta_2 \leq DR2_{prom} + t_{(0,025, 29)} * \epsilon_{DR2}$$

$$(-10,40) - (2,36385 * 0,19) \leq \theta_1 - \theta_2 \leq (-10,40) + (2,36385 * 0,19)$$

$$-10,862672 \leq \theta_1 - \theta_2 \leq -9,9437092; \text{ intervalo a la izquierda del cero}$$

Ambos intervalos se encuentran a la izquierda de cero; por lo que es adecuado decir que existe evidencia fuerte de que en los escenarios propuestos si se obtiene un incremento en las cajas por hora en comparación con la situación inicial.

2.5.3.2. Método Bonferroni en línea 2 y 3. Se aplicó la misma metodología que la sección

2.5.3.1, y se construyó la tabla mostrada en la figura 2.71.

Figura 2.71*Tabla del Método Bonferroni Línea 2 y 3*

Réplicas	Situación Actual	Escenario mejorado 1	DR1
			teta1-teta2
1	25,90	32,21	-6,32
2	25,53	32,21	-6,68
3	26,26	32,21	-5,95
4	25,90	32,57	-6,67
5	25,53	32,57	-7,03
6	25,53	32,57	-7,03
7	25,90	32,21	-6,32
8	25,53	32,21	-6,68
9	25,53	32,21	-6,68
10	25,53	32,21	-6,68
11	25,53	32,21	-6,68
12	25,53	32,21	-6,68
13	26,26	32,21	-5,95
14	25,53	32,21	-6,68
15	25,90	32,57	-6,67
16	25,90	32,57	-6,67
17	25,90	32,21	-6,32
18	25,90	32,57	-6,67
19	25,53	32,21	-6,68
20	25,53	32,21	-6,68
21	25,90	32,21	-6,32
22	25,53	32,21	-6,68
23	25,53	32,57	-7,03
24	26,26	32,21	-5,95
25	25,90	32,57	-6,67
26	25,53	32,21	-6,68
27	25,90	32,21	-6,32
28	25,53	32,21	-6,68
29	25,90	32,21	-6,32
30	25,53	32,21	-6,68
Promedio	25,74	32,31	-6,57
		Desviación estandar (S)	0,29
		Varianza	0,08
		Error estandar	0,05

Para construir el intervalo DR1, se establecen los siguientes parámetros:

Tabla 2.23*Parámetros para cálculo de intervalos de Bonferroni-línea 2 y 3*

Parámetros	Valores
R	30
c	1
alpha	0,05
alpha / c	0,05
t de student (alpha/2; R-1)	2,04522964

Intervalo de DR1:

$$DR1_{prom} - t_{(0,05, 29)} * \epsilon_{DR1} \leq \theta_1 - \theta_2 \leq DR1_{prom} + t_{(0,05, 29)} * \epsilon_{DR1}$$

$$(-6,57) - (2,04522964 * 0,05) \leq \theta_1 - \theta_2 \leq (-6,57) + (2,04522964 * 0,05)$$

$$-6,67544372 \leq \theta_1 - \theta_2 \leq -6,46092195; \text{ intervalo a la izquierda del cero}$$

Dado que el intervalo se encuentra a la izquierda de cero se concluye con un 95% de confianza que el escenario de mejora propuesto si representa un incremento en las cajas por hora en comparación con la situación inicial.

2.5.4. Verificación de los modelos

Con objetivo de poder cumplir con mayor facilidad y claridad esta fase de verificación, se definieron los diagramas de flujo mostrados en la sección previa de validación; en donde al existir decisiones y pasos claros fue posible, como grupo de trabajo, hacer una pre-verificación de que no existan inconsistencias en la corrida por alguna configuración incoherente con el proceso conceptual de simulación definido. Como medida complementaria, se solicitó a un experto en modelos de simulación, que verifique nuestros 4 modelo de simulación, cuya respuesta fue afirmativa y, por ende, le proporcionamos toda la información necesaria para entender el modelado. Así, recibimos un correo del experto (anexado en apéndices), donde indica que nuestro modelo está verificado.

Capítulo 3

3. Resultados y análisis

3.1. Resultado y análisis de cumplimiento de especificaciones de diseño

En la etapa de definición, en la sección 2.1.6, se obtuvo como resultado del QFD las 4 especificaciones de diseño más importantes que guiaron nuestra propuesta de rediseño. Por lo que, los resultados obtenidos de las simulaciones permitieron cuantificarlas tanto en la situación actual como mejorada.

3.1.1. *Cajas por hora por SKU $\geq 110\%$ del promedio actual*

Los resultados de las simulaciones previamente validados para la línea 1, 2 y 3; demostraron que los escenarios mejorados si representan un incremento significativo en las cajas/horas obtenidas durante un mismo periodo de producción. Por lo que, es apropiado analizarlos y concluir en base a ellos.

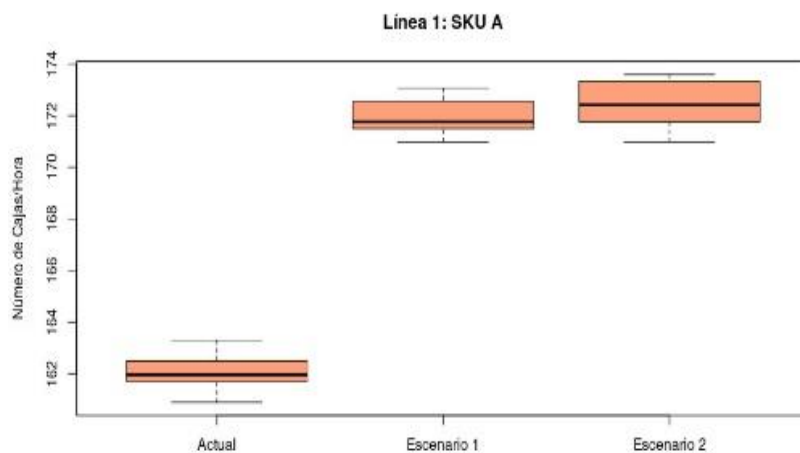
Con las 30 réplicas obtenidas de las situaciones actuales y de cada escenario mejorado por cada línea se realizaron diagramas de cajas con dichos valores. La figura 3.1 corresponde a la línea 1, donde se identifica que existe diferencia significativa entre las medianas entre la situación actual y los escenarios mejorados, por lo que se puede asegurar que las propuestas si lograron aumentar la cantidad de cajas que se obtienen en una hora. Además, en el tercer diagrama de caja al observar que la mediana está casi en el medio, indica que los datos obtenidos de las réplicas están distribuidos más simétricamente, por lo que enfatiza la necesidad de estandarizar las tareas de operación.

Para la situación actual la media fue 162,09 cajas/hora, para el escenario mejorado 1 fue 171,98 cajas/hora y para el escenario mejorado 2, donde la tarea de empaquetado se encuentra estandarizada, fue de 172,50 cajas/hora. Si bien con la propuesta solo se logró incrementar las

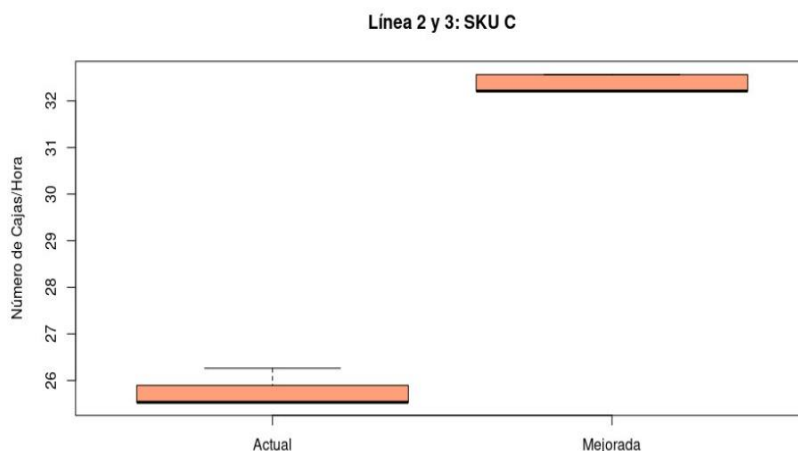
cajas/hora en un 6,42% y la especificación de diseño buscaba incrementar un 10% respecto al promedio actual de cajas/hora, se considera exitoso al proyecto debido a que en el balanceo de línea, con el rendimiento actual del personal y respetando la restricción de no incrementar el número de operarios, se evidencia que la capacidad está siendo utilizada al máximo con la propuesta.

Figura 3.1

Cajas por hora de línea 1



Respecto a las líneas 2 y 3, los diagramas de cajas mostrados en la figura 3.2 evidencian la diferencia de medianas y de los rangos de distribución de los datos que existe entre el conjunto de réplicas de la situación actual y el escenario mejorado; en donde el escenario mejorado está distribuido en valores más altos de cajas/hora. Los valores de las medias son 25,74 y 32,31 respectivamente. Es decir, que para estas líneas la propuesta de rediseño logró cumplir la especificación al incrementar en un 25,52% las cajas/horas obtenidas.

Figura 3.2*Cajas por hora Línea 2 y 3*

La diferencia de medias de los datos representados en ambos diagramas de cajas ya está comprobada en el capítulo anterior, con la aplicación del método de Bonferroni aplicada a los resultados de las simulaciones; donde se comprobó que existe una mejora en el incremento de cajas por hora.

3.1.2. Porcentaje de cumplimiento por día por SKU $\geq 90\%$

Respecto a esta especificación de diseño, el cálculo del porcentaje de cumplimiento está directamente relacionado con el aumento de cajas/hora, dado que, al aumentar la productividad se puede cumplir una mayor parte de la producción planificada en un mismo periodo de tiempo. En este sentido una vez validados y verificados los modelos, se determinó que en la línea 1 incrementó en promedio un 5,12% el cumplimiento de una misma planificación simulada en el modelo de situación actual y mejorado.

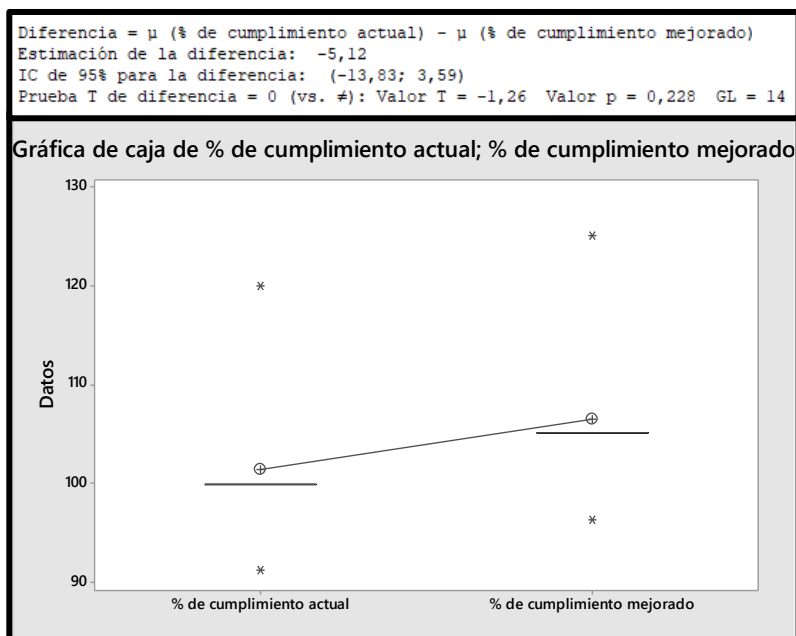
Se realizó una prueba de hipótesis (figura 3.3) para determinar si existió una mejora con respecto a los valores actuales en Minitab; en donde se definieron las siguientes hipótesis:

$H_0 =$ La media de los datos son iguales

$H_1 =$ La media de los datos son diferentes

Figura 3.3

Diferencia de media del Porcentaje de cumplimiento Línea 1



Analizando el valor de P, este es mayor a α , por lo que no se rechaza la hipótesis nula al no existir una diferencia estadística significativa entre las medias a pesar del incremento obtenido con la mejora. Aún así, para la línea 1 la especificación de diseño se cumple debido a que, en la situación actual, el porcentaje de cumplimiento ya era mayor al 90%.

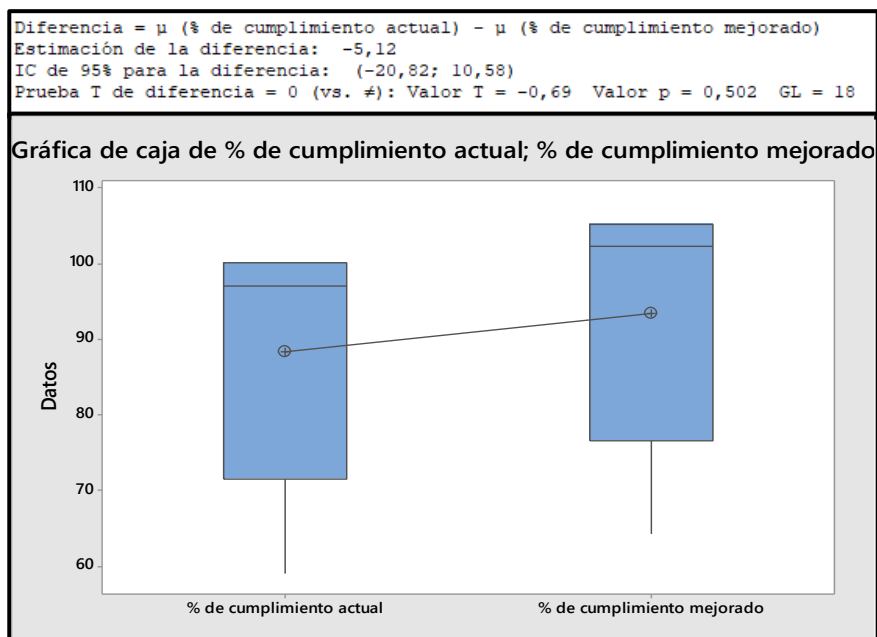
De igual manera se realizó una prueba de hipótesis para el porcentaje de cumplimiento de la línea 2 y 3 (figura 3.4), para demostrar si las soluciones mejoraron o no este indicador. Para lo que se plantearon las siguientes hipótesis:

$H_0 =$ La media de los datos son iguales

$H_1 =$ La media de los datos son diferentes

Figura 3.4

Porcentaje de cumplimiento Línea 2 y 3



Como tenemos un valor P mayor a α , no existe una diferencia significativa entre las 2 muestras. Por lo tanto, al ser las medias de ambas iguales, no se tiene suficiente evidencia estadística de que se incrementó este indicador, a pesar del incremento estimado.

3.1.3. Tiempo de espera por arribo de materiales e insumos \leq en 70% del promedio actual

Para cumplir esta especificación de diseño se diseñó la propuesta de la señal visual de reabastecimiento, que de forma integral funciona con una herramienta dinámica del cálculo del ROP acorde al tiempo real que le toma al montacarguista abastecer a la línea, considerando: desocuparse de otros requerimientos, tiempo de recorrido de bodega a célula y tiempo de racks a inicio de la línea. En este sentido acorde a lo observado en la simulación durante un tiempo de producción no ocurrieron desabastecimientos, obteniendo el siguiente diagrama de cajas mostrado en la figura 3.5, con los tiempos de espera por arribo de material e insumos recolectados; donde se evidencia que se cumplió con la especificación de diseño al reducir el indicador en un 100%.

Para demostrar la mejora se realizó una prueba de diferencia de medias en Minitab, mostrada en la figura 3.5, para lo que se plantearon las siguientes hipótesis:

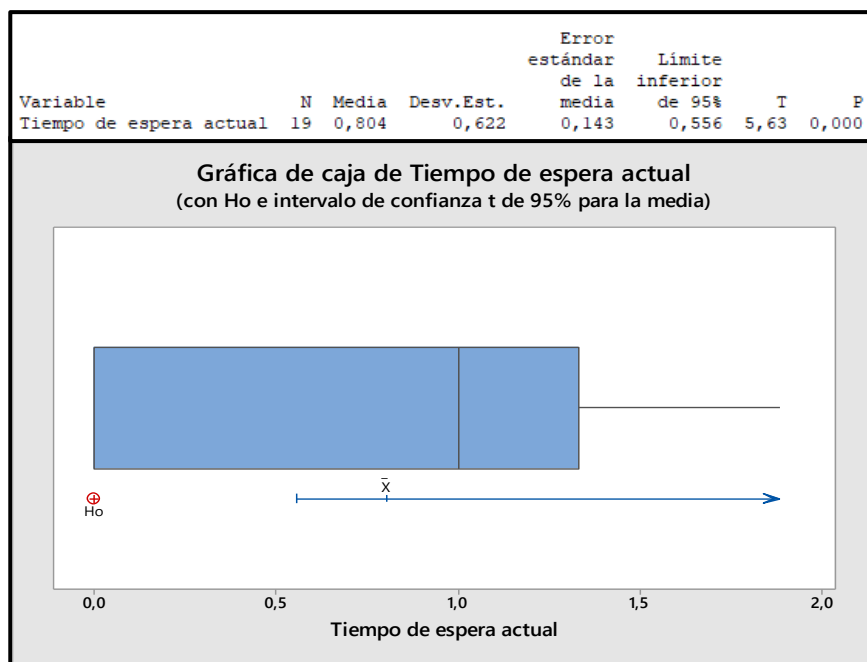
$H_0 =$ La media de las observaciones actuales es mayor a 0.

$H_1 =$ La media de las observaciones actuales no es mayor a 0.

De esta manera, ya que según los resultados de la simulación, este indicador se redujo en un 100%, llegando a un valor de 0 minutos de espera.

Figura 3.5

Tiempo de espera por arribo de materiales e insumos



Al tener un valor de p menor a α , no se rechaza la hipótesis nula. Por lo que, la media de los datos actuales es mayor a 0 minutos, por lo tanto, se evidencia que existe mejora con respecto a esta especificación de diseño.

3.1.4. *Tiempo de set up por producción \leq promedio actual menos 5 minutos*

Recordando que para reducir los tiempos de set up por cada producción se propuso herramientas de calibración que agilicen el proceso, se logró reducir estos tiempos; tal como se evidencia en los diagramas de cajas de la figura 3.6 al estar distribuidos dichos datos en rangos diferentes y con medianas distantes. Así con la simulación y el prototipo se estimó que el tiempo de set up en promedio se reduciría en 5 min con la propuesta, permitiéndonos cumplir la especificación de diseño.

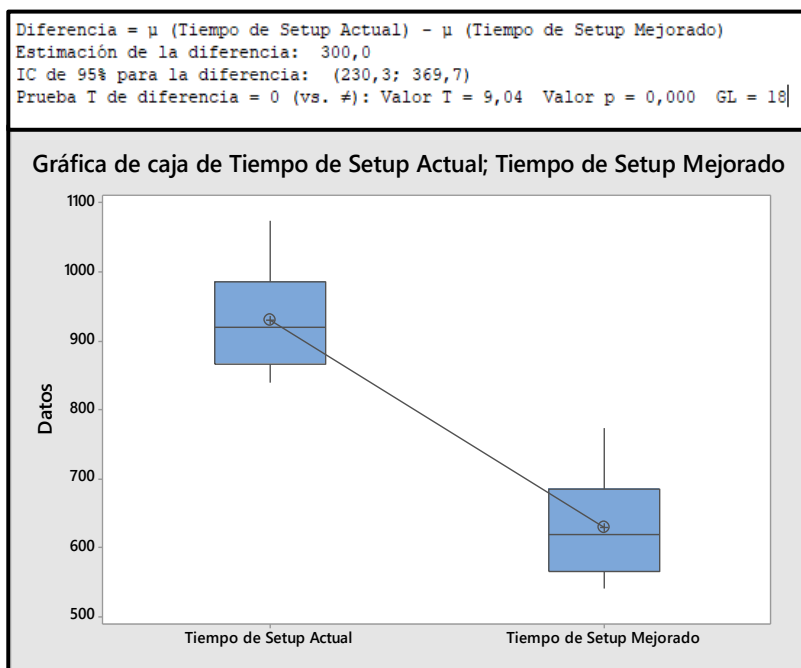
Para un mejor análisis, se plantearon las siguientes hipótesis para demostrar la mejora:

$$H_0 = \text{La media de las muestras son iguales.}$$

$$H_1 = \text{La media de las muestras no son iguales.}$$

Figura 3.6

Tiempos de Set up



Al tener un valor p menor a α , no se rechaza la hipótesis nula. Por lo que, se concluye que existe una diferencia estadística significativa entre ambas medias y se comprueba las mejoras con respecto a este indicador.

3.2. Análisis de cumplimiento de requerimientos y limitaciones de diseño

Además de los resultados, es importante analizar si se satisfizo y/o se respetó otras dos directrices del diseño del proyecto. En este sentido, la figura 3.7 indica que parte de la propuesta de mejora y explica como dicha parte en mayor o menor proporción con el requerimiento de nuestro cliente.

Figura 3.7

Cumplimiento de los requerimientos del cliente con la propuesta

Requerimientos del cliente	Importancia	Sub-propuestas que satisfacen el requerimiento	Justificación
Incremento de la productividad	10	A,B,C,D,E,F	Mayor rendimiento: cajas/hora.
Menor costo de producción por producto	9	A,B,C,D,E,F	Reducción del costo laboral por producción.
Compatibilidad del nuevo diseño con la alta variabilidad de productos	9	C,D	El rediseño estructural es funcional independientemente de las características del sku.
Incrementar el portafolio de clientes sin aumentar costos	9	A,B,C,D,E,F	Capacidad de producir más en menos tiempo.
Cortos tiempos de espera para producir	8	C,D	Las señales visuales evitan el desabastecimiento y las herramientas de calibración acortan los tiempos de configuración.
Fácil acceso a la ubicación de materiales e insumos	8	C	La reubicación de artículos reduce los tiempos de espera y caminata innecesarios.
Reducción de productos inconformes	7	D	La estandarización de las herramientas de calibración reduce el error humano.
Menor variación en la planificación	7	A,B,C,D,E,F	El aumento de la productividad permite responder de forma más ágil y rápida a los cambios.
Diseño flexible a cambios en la planificación	7	A,B	El aumento de la productividad permite responder de forma más ágil y rápida a los cambios.
Incremento de disponibilidad	6	C,D	Reducir los tiempos de espera aumenta el tiempo disponible para producir.

En la etapa de definición se identificaron 5 limitaciones de diseño que guiaron la propuesta y se respetaron de la siguiente forma:

- Imposibilidad de cumplir el 100% de pedidos: La propuesta no apunta a la expansión, sino más bien a maximizar el uso de la capacidad actual.

- Priorización de pedidos de clientes valiosos: La propuesta de mejora no tiene incidencia directa en la planificación de la producción.
- Descarte de automatización de línea: El rediseño estructural es eficiente y compatible con todo el portafolio de SKU's.
- Descarte de una alta inversión monetaria: La inversión total de la propuesta se recupera en aprox. 2 meses de producción.
- Igual número de operadores por línea por SKU: El rediseño operativo pretende aprovechar la capacidad operativa actual.

3.3. Triple bottom line

El cálculo de las tres métricas de sostenibilidad se realizó dentro de un periodo de 32 días, desde el 13 de octubre al 15 de noviembre del 2023; debido a que es el periodo de más alta producción tanto del SKU A como del SKU C, que fueron los productos estudiados durante el proyecto. Además, de tener una base confiable para comparaciones y cálculos.

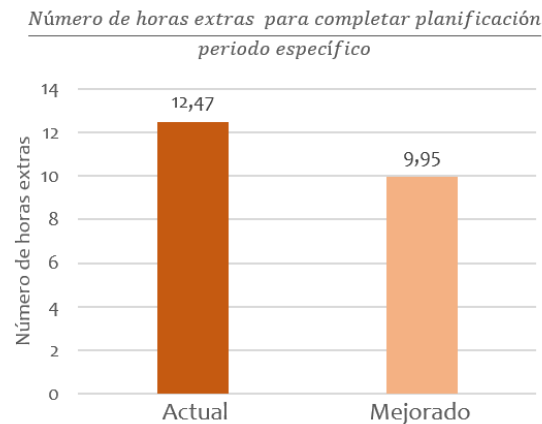
3.3.1. Social: Reducción de horas extras para cumplir planificación por periodo específico

Durante la etapa de definición, se pudo reconocer que, para el personal operativo de la célula, el incurrir de horas extras no planificadas para completar una producción importante o repentina genera inconformidad y desánimo en el personal. Por lo que, el reducir las horas extras no planificadas mejorarán la satisfacción laboral. El indicador de horas extras fue calculado de la siguiente forma: se reutilizó la información muestreada de las cartas máquinas presentados en la figura 2.34, considerando solo el análisis del SKU A y C. Esta figura registra el número de cajas programadas a producir y el número de cajas efectivas producidas; también consta de una columna donde se calcula cuantas horas serían necesarias para cumplir con la planificación con el valor actual de cajas por hora y otra columnada calculada con el valor mejorado de cajas por hora. La

suma de la primera columna (horas extras en situación actual) es igual a 12,47, y la suma de la segunda columna (horas extras en escenario mejorado) es igual a 9,95 horas. Así, una misma planificación en un mismo periodo de tiempo es cumplido en 2,52 horas extras menos.

Figura 3.8

Indicador Social: Cantidad de horas extras



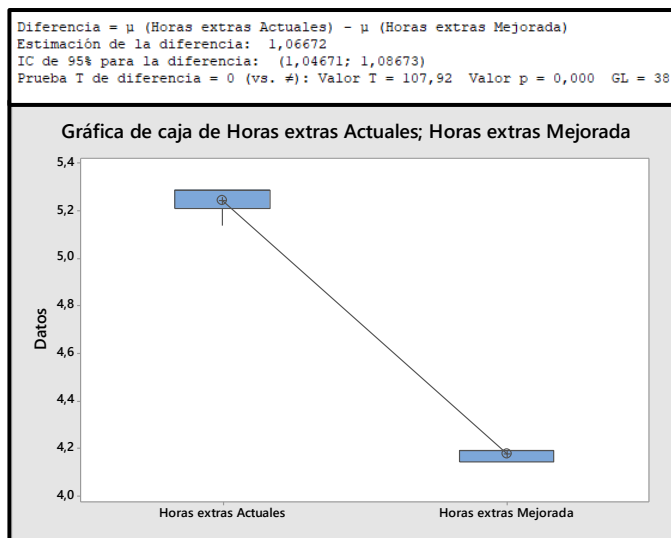
Para comprobar la mejora, se realizó una prueba de diferencias de medias en Minitab (figura 3.9), donde se definieron las siguientes hipótesis:

$H_0 =$ La media de las muestras son iguales.

$H_1 =$ La media de las muestras no son iguales.

Figura 3.9

Prueba de hipótesis indicador social



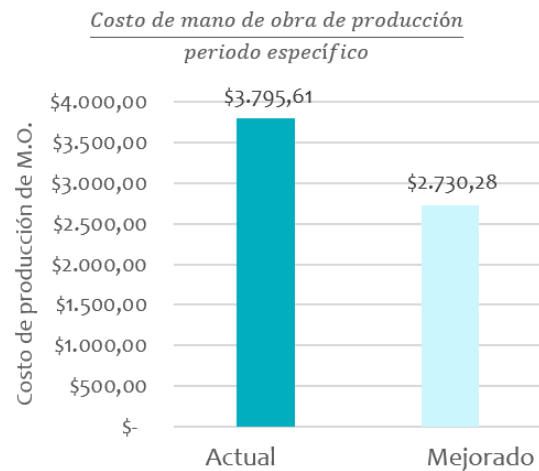
Al tener un valor p menor a α se rechaza la hipótesis nula; por ende, existe una diferencia estadística significativa entre las medias y se concluye que se ha logrado disminuir la cantidad de horas extras.

3.3.2. Económico: Reducción de costo de producción de mano de obra por periodo específico

Según lo socializado con nuestro cliente, dentro de los costos que se consideran para el cálculo del costo total de producción se encuentra el costo de mano de obra; el cual hasta el momento de desarrollo de este proyecto es 7,080 \$/hora/operador. Acorde a la planificación muestreada en la figura 2.34, de los SKU A y C, con la productividad de cajas/horas actuales se incurren en 98,74 horas; es decir un costo de M.O. de \$3795,61; mientras que con el aumento en cajas/hora lograda en cada SKU, se incurren en 63,64 horas, representando un costo de M.O. de \$2.730,28. Logrando una disminución de costo de producción; lo que le permite al cliente tener ahorros o posicionarse con un precio más competitivo en el mercado.

Figura 3.10

Indicador Económico: Costo de producción de MO



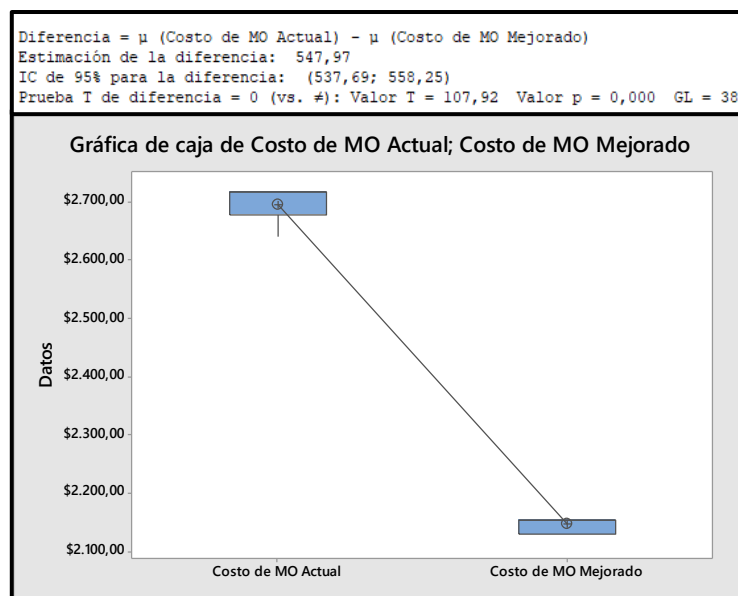
Para demostrar la mejora, se realizó una prueba de diferencias de medias en Minitab (figura 3.11), donde se usó como base los datos de cajas por hora, además del costo de mano de obra por operador, número de operadores y una cantidad base de 3265 cajas. Para esto se plantearon las siguientes hipótesis:

$H_0 =$ La media de las muestras son iguales.

$H_1 =$ La media de las muestras no son iguales.

Figura 3.11

Prueba de hipótesis indicador económico



Al obtener un valor p menor a α , se rechaza la hipótesis nula. Por lo que se concluye que existe una diferencia estadística significativa entre las medias y que los costos se reducen con la mejora propuesta.

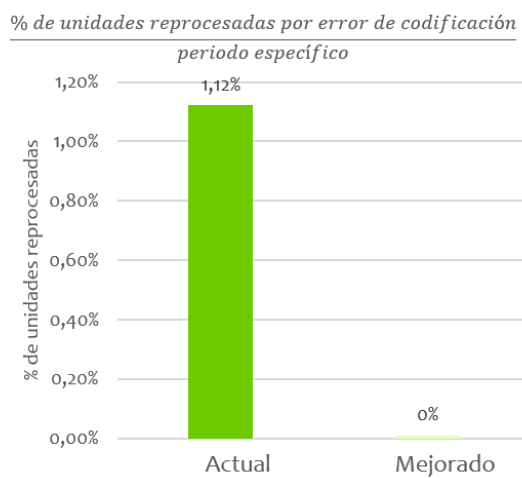
3.3.3. Ambiental: Reducción de % de unidades reprocesadas por error de codificación por periodo específico.

Para este último indicador, se presenta una estimación del impacto del proyecto, pues actualmente en las líneas cuando el codificado de un producto que está siendo acondicionado, presenta algún defecto como: manchado, doble codificado, posición incorrecta, etc.; el producto es retirado de la línea y separado para borrar el codificado defectuoso. Dicho borrado se realiza con productos químicos y; aunque como se muestra en la figura 3.12, el porcentaje de incidencia en que ocurre este reproceso es muy bajo, en promedio un 1,12% de las unidades totales que se

acondicionan, la eliminación de este tipo de desperdicio aporta a reducir el uso de productos contaminantes para el medio ambiente.

Figura 3.12

Indicador Ambiental: % de unidades reprocesadas



Capítulo 4

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1. Conclusiones y recomendaciones

4.1.1. Conclusiones

El objetivo del proyecto fue rediseñar los procesos que influyen directamente con la capacidad de las líneas de copacker, para poder lograr un aumento de la productividad y disminución de costos, que les permita a las líneas poder tener un precio competitivo con respecto a otros proveedores. Por esta razón se realizó un rediseño estructural y operacional de las líneas analizadas.

Como primer objetivo específico se cumplió a través del resultado de la primera etapa de la metodología DAMDV. Se reconoció las necesidades de 3 líneas de la célula de copacker mediante Gemba, entrevistas con los actores y el aprovechamiento de las habilidades blandas del equipo. Dichas necesidades fueron traducidas en 10 requerimientos del cliente y 5 limitaciones de diseño a respetar durante el desarrollo del proyecto. Además, se obtuvieron 7 especificaciones de diseño; de las cuales solo 4: cajas por hora, % de cumplimiento de planificación por día, tiempos de espera por arribo de material y tiempo de set up por producción; serían las directrices que guiarían las propuestas de diseño.

Para cumplir el segundo objetivo específico se elaboró un plan de recolección de datos, en donde, realizó el levantamiento de 7 variables consideradas influyentes en la productividad; cuyo análisis fue indispensable para el desarrollo del proyecto, tales como: cajas acondicionadas/hora/SKU, % de cumplimiento de planificación/ día, tiempo de espera por arribo de materia prima, entre otras variables de tiempo relacionadas a las tareas que se ejecutan en la producción de los SKU's estudiados. Posteriormente, estos datos recolectados fueron sometidos a pruebas estadísticas de confiabilidad para asegurar su

calidad. Y por último, se propuso 3 alternativas con diferentes enfoques y tras un análisis de costos, beneficios y cumplimiento de guías de diseño la alternativa seleccionada fue “Rediseño operacional y estructural de las líneas”.

Se desarrolló la alternativa ganadora “rediseño estructural y operacional de las líneas de copacker”; en donde se calculó que la inversión inicial sería de \$1.925, para la que se prevé un retorno en aproximadamente 2 meses de producción, desde su implementación. A partir de los resultados obtenidos de las simulaciones, validados y verificados, se concluyó que la propuesta de diseño cumplió con las especificaciones de diseño más importantes para el cliente, respetó sus limitaciones de diseño y satisfizo sus requerimientos; lo que resultó en el mejoramiento de indicadores sociales, económicos y ambientales.

Con la propuesta se logró cumplir las especificaciones de diseño como se detalla a continuación: aumento de *cajas/hora promedio* de la línea 1 en 6,42%, y en la línea 2 y 3 en un 25,52%, aumento de *% de cumplimiento/día promedio* en la línea 1 en 5,12% , y en la línea 2 y 3 en 15,60%, reducción del tiempo de set up en 5 minutos con respecto al promedio y reducir a 0 los tiempos de espera en promedio por arribo de materiales e insumos. Por lo que es correcto concluir que, la propuesta logra un mayor aprovechamiento de la capacidad con la que actualmente cuenta la célula, reflejado en el aumento de productividad deseado.

4.2. Recomendaciones

Se recomienda a la empresa dedicar esfuerzos y recursos en la estandarización de tareas de desempaque, acondicionado, armado, codificado y empaque antes de aplicar las

propuestas de rediseño operacional; dado que para integrar metodologías que buscan controlar el WIP es imprescindible que los procesos estén estandarizados.

Se sugiere a la empresa desarrollar e implementar en un futuro las otras dos alternativas con enfoque a la automatización de herramientas de planificación y operación, que propiciarían la expansión de operación.

Se recomienda a la empresa seguir fomentando prácticas que apunten a la mejora continua en procesos actuales y nuevos; mediante el reconocimiento al compromiso y rendimiento del personal operativo.

Se recomienda mantener vigente un plan de mantenimiento y limpieza adecuado de máquinas, codificadoras y elementos de las líneas para evitar desperdicios por desperfectos.

Se sugiere establecer métricas de desempeño del personal claras y mantenerlas actualizadas para conocer en tiempo real la capacidad y rendimiento de la célula; así como el ágil reconocimiento de causas raíz.

Referencias Bibliográfica

- Arrieta, J. (2011). Aspectos a considerar para una buena gestión en los almacenes de las empresas (Centros de Distribución, cedis). *Journal of Economics, Finance and Administrative Science*.
- Asturias Corporación Universitaria. (2022). Implantación, Metodologías y Herramientas Seis Sigma.
- Barrios, M. (2010). Balanceo de líneas (análisis de la producción).
- Bloj, M.-D., Moica, S., & Veres, C. (2020). Lean Six Sigma in the Energy Service Sector: A Case Study. *Elsevier B.V*, 358.
- Castellanos, L. (2018). Kanban. Metodología para aumentar la eficiencia de los procesos. *3 Ciencias*.
- Cordova, B. (2007). estudio para la Implantación de una Celda de Manufactura en la Industria Metal Mecánica. *Jovenes en la Ciencia*.
- Frazelle, E. (2002). World class Warehousing and material Handling. *New York: McGraw Hill*.
- Imai, M. (2015). *GEMBA KAIZEN Un enfoque de sentido común para una estrategia de mejora continua*. Kaizen Institute.
- Irani, S. (1999). *Hanbook of Cellular Manufacturing Systems*.
- Izar, J. M., & González, J. (2004). *Diagrama de Pareto*.
- Jaramillo, C. (2012). Modelación de Células de Manufactura Flexible mediante Redes de Petri y Automatas Celulares.
- Krastek, R., Ramos, S., & Duarte, Á. (2012). FORMULACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA OPTIMIZAR EL TIEMPO DE PRODUCCIÓN EN UNA PLANTA EXTRUSORAS DE TUBOS. *UNIVERSIDAD, CIENCIA y TECNOLOGÍA*, 41.
- Mahalik, P. K. (2018). *ISIXSIGMA*. Obtenido de Using the Five W's and One H Approach to Six Sigma: <https://www.isixsigma.com/basics/using-five-ws-and-one-h-approach-six-sigma/>
- ORL. (2023). Obtenido de <https://olr.com.mx/>
- Peña, D., Neira, Á., & Ruiz, R. (2016). Aplicación de técnicas de balanceo de línea para equilibrar las cargas de trabajo en el área de almacenaje de una bodega de almacenamiento. *Scientia et Technica*.
- Powell, D. J. (2018). Kanban for Lean Production in High Mix, Low Volume Environments. *IFAC*, 143.
- Ramos, J., Flores, K., Zabala, R., & Cahuana, V. (2022). Relación entre Last mile y Milk Run. *Ingeniería Industrial n.º 42*.

Ruiz, A., & Rojas, F. (2009). DESPLIEGUE DE LA FUNCION DE LA CALIDAD.


Apéndices

Anexo 1: Tiempo de procesos de producción de SKU A

Tiempos de SKU A			
Tiempos de desempaque por caja (seg)	Tiempo de Acondicionado por caja (seg)	Tiempo de Empaquetado por caja (seg.)	
25,00	1646,00	21,99	29,16
27,00	480,00	21,55	30,23
18,00	376,00	25,57	46,39
20,00	60,00	23,94	34,4
16,00	580,00	26,02	20,42
18,00	240,00	25,14	23
21,00	660,00	25,4	26,15
23,00	350,00	28,68	30,04
22,00	257,00	23,73	27,9
21,00	252,00	27,42	21,64
18,00	520,00	24,18	25,33
23,00	471,00	25,96	26,94
17,00	540,00	23,39	22,81
21,00	660,00	25,39	24,31
20,00	286,00	25,77	22,09
20,00	640,00	22,81	40,48
56,00	448,00	28,02	28,9
23,00	300,00	51,75	27,02
19,00	300,00	30,65	32
21,00		51,85	29,31
19,00		26,58	29,82
20,00		25,05	28,73
19,00		36,27	
19,00		33,77	
20,00		29,34	
21,00		27,5	


Anexo 2: Evidencia de verificación de simulaciones por un experto


Verificación por un experto de la construcción de los modelos de MI ▼


 Katherine Madeleine Pazmino Espinoza
Para: Kleber F. Barcia Villacreses
CC: Luis Joel Lara Mazzini

😊 ↶ ↷ ⌂ ⋮

Mié 24/01/2024 18:33

 Avance Final resumen.pdf
5 MB

 Line 1 - actual situation - copi...
379 KB

 Linea 1 - Situación mejorada ...
378 KB

▼ Mostrar los 8 datos adjuntos (7 MB)
 🔗 Guardar todo en OneDrive - Escuela Superior Politécnica del Litoral
⬇️ Descargar todo

Estimado Ingeniero,


Conforme a lo que conversamos el día lunes en la reunión para sesorarnos sobre las pruebas de validación y verificación de nuestros modelos. Adjunto lo solicitado para su revisión.

En contextos nuestro proyecto va enfocado a la línea 1,2 y3. donde las líneas 2 y 3 son iguales por lo que se las representan como una misma línea. Para evidenciar resultados de nuestras mejoras se realizó la simulación de la situación actual y mejorada de la línea 1 y la situación actual y mejorada de línea 2 y 3; es decir cuatro simulaciones en total. Siendo la base del modelo de la situación mejorada el de la situación actual.

A continuación adjunto:

- Diagramas de flujos de línea 1 y de línea 2y3
- Modelo de situación actual de línea 1 y de línea 2y3
- Modelo de situación mejorada de línea 1 y de línea 2y3
- Excel con: el balanceo de línea, con la asignación y formato de muestreo de tiempos del proceso de producción y tiempos de set up actual y mejorado. (de color morado. Mismos tiempos que se le hallaron sus distribuciones en expertfit
- Diapositivas de avance final (apartir de la diapositiva 83.

De antemano, le agradezco muchísimo por su ayuda y guía en el proyecto.
Tenga buena noche profesor.

 Kleber F. Barcia Villacreses
Para: Katherine Madeleine Pazmino Espinoza
CC: Luis Joel Lara Mazzini


😊 ↶ ↷ ⌂ ⋮

Jue 25/01/2024 8:41

Estimados Katherine y Luis,

He revisado su trabajo y he comprobado que el proceso conceptual está en concordancia con el modelo desarrollado en FlexSim. Su modelo esta VERIFICADO.

Atte,



Kleber Barcia Villacreses
 Titular Principal
 Facultad de Ingeniería en
**Mecánica y Ciencias
 de la Producción**
 Telef: (+593 4) 2269 344
 www.espol.edu.ec