

**PROPUESTA DE MEJORAMIENTO PARA LA DISTRIBUCIÓN DE PLANTA EN
UNA EMPRESA DEL SECTOR LÁCTEO**

OSCAR DAVID QUICENO OROZCO
NATHALY ZULUAGA GARCÍA

UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2012

**PROPUESTA DE MEJORAMIENTO PARA LA DISTRIBUCIÓN DE PLANTA EN
UNA EMPRESA DEL SECTOR LÁCTEO**

OSCAR DAVID QUICENO OROZCO
NATHALY ZULUAGA GARCÍA

Proyecto de grado presentado como requisito para obtener el título de Ingeniero
Industrial

DIRECTOR:
NATALIA AGUILERA MOSQUERA
INGENIERA INDUSTRIAL MBA

UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2012

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	10
1. DISTRIBUCIÓN DE PLANTA.....	13
1.1 TÍTULO DEL PROYECTO.....	13
1.2 DELIMITACIÓN Y ALCANCE.....	13
1.2.1 Espacio.....	14
1.2.2 Tiempo.....	14
1.3 PROBLEMA A TRATAR.....	14
1.3.1 Planteamiento del problema.....	14
1.3.2 Análisis del problema.....	15
1.3.2.1 Impacto.....	16
2. OBJETIVOS.....	17
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	17
2.2 OBJETIVO DEL PROYECTO.....	17
2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3. MARCO DE REFERENCIA.....	18
3.1 ANTECEDENTES.....	18
3.2 MARCO TEÓRICO.....	20
3.2.1 Sistema de Producción.....	20
3.2.1.1 Distribución por producto.....	21
3.2.1.2 Distribución por proceso.....	22
3.2.1.3 Distribución por posición fija.....	22
3.2.1.4 Distribución por celdas de fabricación.....	22
3.2.2 Manejo de materiales (<i>Material Handling</i>).....	22
3.2.2.1 La carga unitaria y equipos de manejo.....	23
3.2.3 Estudio de tiempos.....	23
3.2.3.1 Tiempo estándar.....	23
3.2.3.2 Técnicas para los estudios de tiempos.....	23
3.2.4 Distribución de planta e instalaciones.....	26
3.2.4.1 Procedimientos y métodos de diseño.....	26
3.2.4.2 <i>LayoutVT</i>	28
3.3 APORTE INTELECTUAL.....	28
4. METODOLOGÍA.....	30

4.1 ANÁLISIS DE SISTEMA PRODUCTIVO, FLUJO Y MANEJO DE MATERIALES.....	30
4.2 TOMA DE TIEMPOS.....	31
4.3 DESARROLLO DE LA PROPUESTA DE REDISEÑO DEL <i>LAYOUT</i>	32
4.4 VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA.	32
5. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO	33
5.1 RECURSOS	33
5.2 CRONOGRAMA.....	33
5.3 EQUIPO DE INVESTIGADORES.....	34
6. DESARROLLO.....	35
6.1 ALFA LTDA	35
6.2 PROCESO PRODUCTIVO.....	37
6.2 ANÁLISIS VOLUMEN-VARIEDAD	43
6.3 ANÁLISIS DEL FLUJO ENTRE DEPARTAMENTOS.....	45
6.3.1 Dimensiones de los departamentos.....	46
6.4 ANÁLISIS DEL FLUJO DENTRO DE LOS DEPARTAMENTOS.....	48
6.4.1 Zona de recibo de materias primas.	48
6.4.2 Laboratorio.....	50
6.4.3 Almacén de materias primas.	51
6.4.4 Procesos productivos.....	51
6.4.4.1 Áreas ocupadas por los equipos y espacios libres.....	55
6.4.5 Empaque	56
6.5 SISTEMA DE MANEJO DE MATERIALES	59
6.5.1 Equipo.....	60
6.5.2 Unidad de carga	64
6.6 ESTUDIO DE TIEMPOS	69
6.7 PROPUESTA	76
6.7.1 Caracterización geométrica del layout actual.	76
6.7.2 Matriz desde hacia (Fij).....	78
6.7.3 Matriz de costo (Cij).....	79
6.7.4 Matriz de relaciones (Rij).	83
6.7.5 Distribución de planta actual.....	84
6.7.6 Propuestas.....	85
6.8 VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA	99
6.8.1 Simulación, tipos y ventajas.....	99
6.8.2 Análisis de los datos de entrada	100
6.8.2.1 Prueba de homogeneidad.....	100
6.8.2.2 Prueba de independencia.	101
6.8.2.3 Ajuste de datos.....	102

6.8.3	Diseño del modelo de simulación	103
6.8.4	Modificación a la propuesta.	111
7.	CONCLUSIONES	114
8.	RECOMENDACIONES	117
	BIBLIOGRAFÍA.....	119
	ANEXOS.....	122

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Ejes temáticos para la construcción del marco teórico	20
Figura 2. Tipos de distribución de acuerdo a la relación volumen – variedad.....	21
Figura 3. Carro tanque para el transporte de leche	37
Figura 4. Bombeo y filtro inicial.....	38
Figura 5. Flujo general referencias pasteurizadas	42
Figura 6. Flujo referencias UHT después del proceso de pasteurización	43
Figura 7. Grafico volumen-variedad.....	44
Figura 8. Patrón de flujo general.....	46
Figura 9. Disposición en bloque.....	47
Figura 10. Diagrama de flujo proceso de recibo leche cruda	50
Figura 11. Flujo área de procesos	54
Figura 12. Disposición acotada del área procesos	55
Figura 13. Disposición detallada área de empaque y cestillos.	57
Figura 14. Disposición detallada área de embalaje (Cuarto frío 1)	59
Figura 15. Carretilla y transpaleta manual	62
Figura 16. Banda transportadora de correa y de rodillos.	63
Figura 17. Montacargas de contrapeso	64
Figura 18. Perolas y cestillos	65
Figura 19. Estiba.....	66
Figura 20. Estiba con cestillos vista superior	67
Figura 21. Estiba con perolas azules vista superior.....	68
Figura 22. Representación en bloque (<i>grids</i>).....	77
Figura 23. Representación detallada (<i>grids</i>).....	78
Figura 24. Bomba de recibo (caudal 10000 Lt/h).....	80
Figura 25. Bombas proceso de pasteurización (caudal 8400 Lt/h)	81
Figura 26. Bombas equipo VTIS proceso de ultra pasteurización (caudal 6000 Lt/h)	82
Figura 27. LayoutVT disposición en bloque actual.....	84
Figura 28. LayoutVT disposición detallada actual.....	85
Figura 29. Líquidos condensados generados dentro del área procesos.....	87
Figura 30. LayoutVT disposición en bloque propuesta (Opción silos)	88
Figura 31. Disposición en bloque propuesta acotada (Opción silos)	89
Figura 32. Patrón de flujo general (Opción silos).....	90
Figura 33. LayoutVT disposición en bloque propuesta (Opción recibo).....	91
Figura 34. Disposición en bloque propuesta acotada (Opción recibo).....	92
Figura 35. Patrón de flujo general (Opción recibo)	93
Figura 36. Planos iniciales	94
Figura 37. Disposición propuesta (área de empaque y embalaje).....	95
Figura 38. LayoutVT disposición detallada propuesta	96

Figura 39. Patrón de flujo área procesos (disposición propuesta)98

LISTA DE ECUACIONES

pág.

Ecuación 1. Número de observaciones requeridas.....	25
Ecuación 2. Función objetivo basada en la distancia.....	27
Ecuación 3. Función objetivo basada en la adyacencia.....	27
Ecuación 4. Límites de control (prueba de homogeneidad)	101

LISTA DE ANEXOS

pág.

Anexo A. Matriz de marco lógico	122
Anexo B. Cronograma	129
Anexo C. Venta neta en litros por mes (año 2011)	132
Anexo D. Datos producción en litros (2012)	133
Anexo E. Formato para registro de tiempos	134
Anexo F. Observaciones llenado de cestillos.....	135
Anexo G. Observaciones armado de una estiba.....	136
Anexo H. Observaciones ubicación temporal de la estiba	139
Anexo I. Observaciones traslado de la estiba al CEDI.....	141
Anexo J. Validación del tamaño de muestra	142
Anexo K. Calificación detallada de cada elemento	143
Anexo L. Suplementos de cada elemento	144
Anexo M. Suplementos detallados de cada elemento	144
Anexo N. Matriz de flujo disposición en bloque	148
Anexo O. Matriz de flujo disposición detallada	149
Anexo P. Matriz de costo disposición en bloque.....	150
Anexo Q. Matriz de costo disposición detallada.....	151
Anexo R. Matriz de relaciones disposición en bloque.....	152
Anexo S. Matriz de relaciones disposición detallada	153
Anexo T. Pruebas de homogeneidad.....	154
Anexo U. Estadísticas Descriptivas	155
Anexo V. Graficos de dispersión, autocorrelación y corridas.....	157
Anexo W. Ajustes por acotamientos	159
Anexo X. Soporte gráfico (Probabilidades Acumuladas)	163

INTRODUCCIÓN

Desde la revolución industrial se ha evidenciado la necesidad de crear espacios apropiados para el desarrollo de las actividades productivas, con el fin de obtener el mejor desempeño en las operaciones. Las primeras técnicas de distribución de planta e instalaciones aparecen durante esta época con las llamadas líneas de producción y estaban dirigidas a la ordenación física de todos los elementos necesarios para la ejecución de los procesos productivos.

“El área de la planeación de instalaciones ha estado en boga durante muchos años. A pesar de su larga herencia, es uno de los más populares en las publicaciones, conferencias e investigaciones actuales. En el pasado dicha actividad se consideraba, sobre todo una ciencia.”¹ Pero ha ido evolucionando y adquiriendo un significado totalmente nuevo, cobrando mayor fuerza en el entorno industrial, debido al incremento de la competitividad y nuevos enfoques relacionados con las formas de producción.

Estas temáticas empiezan a desempeñar un papel estratégico dentro de las organizaciones puesto que, se comenzó a perseguir el objetivo de buscar la ordenación más económica de las áreas de trabajo y equipos para desempeñar las operaciones productivas. Además, se desarrollan estrategias de distribución de las instalaciones para apoyar el logro de los objetivos de la organización. Dentro de la definición de planeación y distribución de instalaciones se incluyen aspectos relacionados con el diseño de las instalaciones, organización del proceso productivo, manejo de materiales, y determinación de equipos y espacios dentro de la empresa.

Con el paso del tiempo la complejidad de los sistemas productivos fue creciendo y así mismo los problemas relacionados con distribución de planta fueron surgiendo. Generalmente dichos problemas estaban relacionados con los cambios en cuanto a volúmenes de producción e introducción de nuevos productos en los sistemas productivos que exigían un rediseño de las instalaciones. Por ende se establecieron una serie de principios y técnicas que son actualmente reconocidas para resolver dichas situaciones problemáticas.

¹ BOZER, Yavus A., TANCHOCO, J.M.A., TOMPKINS, James A., WHITE, John A. Introducción. En: Planeación de instalaciones. 3 ed. México D.F.: Rocío Cabañas Chávez, 2006. p. 3.

Al surgir los diferentes problemas en cuanto a la búsqueda de la ordenación más económica y además flexible, de las áreas de trabajo, equipos, materiales y personal, es posible observar como la planeación y distribución de las instalaciones toma un nuevo significado, donde además de ser una ciencia se convierte en un arte que requiere de habilidades y experiencias.

Las necesidades que motivan el desarrollo de un proyecto de distribución de planta pueden comprender desde el diseño de una planta totalmente nueva hasta la redistribución de una ya existente. No obstante, los problemas de distribución para el diseño de una planta totalmente nueva son más estudiados que los problemas de mejoramiento de plantas ya existentes, sin embargo, estos últimos se presentan con mayor frecuencia; pues, “En promedio, cada **18 meses** ocurren redistribuciones importantes en plantas, como resultado de modificaciones en el diseño del producto, métodos, materiales y proceso.”²

El problema abordado en el presente proyecto es sobre redistribución de planta de una instalación ya existente, debido a que la planeación inicial se realiza pensando en el flujo de una referencia específica, la leche pasteurizada, que era la más demandada. Con el tiempo, y la modificación de algunos atributos de otras referencias, como la UHT, la demanda sufre un desplazamiento hacia esta última, obligando a replantear el diseño de planta actual.

A través del proyecto se busca diseñar una propuesta de mejoramiento para la distribución de planta en la empresa de lácteos, con el fin de contribuir al mejoramiento de las operaciones. Para ello, se plantean cuatro objetivos en los que se centrará la investigación. El primero está relacionado con la realización de un análisis y evaluación del sistema productivo, flujo y sistema de manejo de materiales en las instalaciones de la empresa. Para el desarrollo del objetivo se tienen en cuenta aspectos relacionados con las ventas y volúmenes de producción, patrones de flujo dentro y entre departamentos, identificación de equipos, cargas unitarias y formas de trabajo.

El segundo objetivo consiste en la definición de estándares de tiempo para las operaciones desde el área de cestillos hasta el traslado al centro de distribución. Para la definición de estándares es necesaria la realización de un estudio de tiempos de las actividades de los departamentos involucrados, con el estudio de

² MEYERS, Fred E y STEPHENS, Matthew P. Introduction to manufacturing facilities design and Material Handling. En: Manufacturing facilities design and Material Handling. 3 ed. México.: Stephen Helba, 2006. p.2.

tiempo se analiza con mayor detalle cada actividad, y permite cuantificar los flujos entre departamentos que servirán como datos de entrada para validar la propuesta de rediseño.

El tercer objetivo, se enfoca en el desarrollo de la propuesta de rediseño del *layout* de la planta considerando todos los factores analizados en los objetivos anteriores. La propuesta se contrastará con la disposición actual a través del *software LayoutVT*, el cual permite conocer datos relacionados con la eficiencia y costo de mover departamentos o equipos en las disposiciones. Posteriormente se procede al cuarto y último objetivo que consiste en validar la propuesta a través de la herramienta de simulación *ProModel* donde se modelará el sistema actual y la propuesta haciendo las respectivas comparaciones de diferentes indicadores relacionados al proceso.

1. DISTRIBUCIÓN DE PLANTA

1.1 TÍTULO DEL PROYECTO

Propuesta de mejoramiento para la distribución de planta en una empresa del sector lácteo.

1.2 DELIMITACIÓN Y ALCANCE

El presente proyecto está encaminado en realizar una propuesta de mejora para la distribución de planta en la empresa Alfa Colombia Ltda. específicamente en una de sus plantas ubicada en Acopi Yumbo. El desarrollo del proyecto, se dividirá en dos secciones; la primera, corresponde a la planeación donde se deberá evaluar los procesos actuales que se llevan a cabo dentro de la empresa. Procesos relacionados con la producción, flujo y manejo de materiales. Lo anterior, con el objetivo de hacer un diagnóstico e interpretar la situación actual para posteriormente desarrollar una estrategia metodológica de trabajo que permita abordar la situación problemática, y llevarla a una programación a través de un cronograma que será el primer indicador de cumplimiento de los objetivos del proyecto. Simultáneamente se realizará una investigación teórica que servirá como base para el desarrollo del proyecto.

La segunda sección se enfoca en la propuesta de una distribución de planta para la empresa, con base en las investigaciones realizadas en la etapa anterior. Con el fin de proponer una solución a la situación problemática que incentivó la realización del proyecto. La idea es proponer una solución viable, que pueda ser implementada por la empresa sin requerir mayores inversiones. Aunque también podrían surgir propuestas relacionadas con inversiones mayores que posiblemente estarán relacionadas con la inversión en equipos de manejo de materiales o expansión de las instalaciones.

Cabe mencionar que el desarrollo del proyecto se hará en la empresa Alfa Ltda pero también, será una guía que sirva para empresas que se dediquen a la producción y distribución de productos de consumo masivo, perecederos, donde no debe haber flujo de materiales cruzado.

La realización del proyecto es de gran importancia como aporte a la formación profesional de sus investigadores, debido que al desarrollarlo en Alfa Ltda, se

presenta la oportunidad de emplear y aterrizar todos los conocimientos adquiridos durante la carrera a la realidad. Por otro lado, se propondrán soluciones a los problemas observados en la empresa brindando una propuesta de distribución de sus instalaciones que apoye de manera significativa el desarrollo de las operaciones.

1.2.1 Espacio. El proyecto se desarrollará en la empresa perteneciente al sector lácteo Alfa Ltda., ubicada en la zona de Acopi Yumbo.

1.2.2 Tiempo. El proyecto tendrá una duración de un año. Se encuentra dividido en dos etapas; en la primera, primer semestre del año, se desarrollará la formulación, planeación y estructuración del proyecto. La segunda etapa, segundo semestre del año, corresponde a la ejecución del proyecto.

1.3 PROBLEMA A TRATAR

1.3.1 Planteamiento del problema. Alfa Ltda. es una empresa dedicada a la producción de leches líquidas que opera bajo un ambiente de fabricación *make to stock*, con un flujo de producción continuo y pocas referencias de producto. La planeación inicial de las instalaciones de la planta, ubicada en Acopi Yumbo, se realizó pensando en la secuencia de operaciones que se seguirían para producir y almacenar principalmente leche pasteurizada, aunque también manejaba otras referencias pero en un volumen de producción mucho menor.

Es el caso de la leche larga vida UHT (*Ultra High Temperature*), que inicialmente tenía una demanda baja, dado que tenía un precio que no todos los consumidores estaban dispuestos a pagar. Esta referencia se vendía en empaque *Tetra Brik*, lo que incrementaba el precio de venta, siendo este más costoso para los consumidores a diferencia de la leche pasteurizada que se empacaba en bolsas plásticas de polietileno tradicional. Tiempo después, se sustituye el empaque *Tetra Brik* por otro empaque flexible laminado, menos costoso, llamado EVOH (etilen vinil alcohol). Por lo que se redujo el precio de venta de la leche UHT, haciéndola más asequible para los consumidores, además de ofrecer mayor valor agregado que la referencia pasteurizada, puesto que no requiere refrigeración y además provee un tiempo de duración mayor (aproximadamente noventa días), mientras que la leche pasteurizada además de requerir refrigeración tiene un tiempo de duración mucho menor (cuatro días).

Como resultado de lo anterior la referencia UHT o larga vida comenzó a ser más atractiva y desplazó la demanda de la pasteurizada, dado que hubo un cambio en los requerimientos del cliente inclinándose hacia el consumo inmediato, donde las personas no cuentan con el tiempo necesario para comprar productos con una vida útil menor, puesto que aumenta el esfuerzo de compra. Hace diez años, se empacaban 30000 litros diarios de leche pasteurizada y tan solo 6000 litros diarios de UHT. En la actualidad diariamente se empacan 3000 litros de leche pasteurizada y 100000 de UHT. Mientras la demanda de leche pasteurizada se redujo en un 90%, la demanda de la UHT incrementó 17 veces su valor inicial.

El cambio en la demanda de esta referencia tuvo un efecto directo en la capacidad de la distribución actual para responder o atender diversos requerimientos sin verse alterado su correcto funcionamiento y el nivel de desempeño de las operaciones.

1.3.2 Análisis del problema. Debido a las condiciones de operación y a los objetivos generales del negocio para la empresa es importante contar con una distribución flexible de las instalaciones que permita atender y adaptarse a cambios en los volúmenes de producción o cambios referentes a la introducción de nuevos productos, sin que afecte los niveles de producción requeridos para cumplir con la demanda y sin que requiera mayores inversiones en ajustes o modificaciones, también es de vital importancia asegurar una circulación fluida de los materiales con el fin de evitar el costo en que se incurre por esperas y demoras que pueden llevar a que se presenten paradas de producción y por ende afectar el nivel de servicio al cliente.

La planeación inicial de las instalaciones se llevó a cabo sin considerar los requerimientos cambiantes del cliente que podrían conllevar a posibles ampliaciones y modificaciones futuras en la disposición de las instalaciones. Puesto que a medida que una organización crece la disposición inicial de las instalaciones se ajusta menos a los cambios en su entorno. Aunque una instalación solo se planifica una vez, es muy posible que se desarrollen rediseños con el fin de cumplir con los objetivos siempre cambiantes.

El cambio en la demanda de las referencias de la línea UHT como consecuencia de las exigencias del mercado y cambios en las preferencias de los consumidores, lleva a que el sistema actual no consiga adaptarse de la mejor manera. Como resultado de esto se ha identificado como características de la situación problemática, las siguientes:

- Congestión en las instalaciones del centro de distribución, en el área de empaque y despacho. Se presenta una acumulación de producto terminado estibado esperando ser almacenado y un cruce entre el flujo que siguen las estibas listas para ser almacenadas y las estibas listas para ser despachadas. Dado que la leche UHT no requiere de refrigeración, su almacenamiento ya no se realiza en las cavas y por ello se debe llevar al centro de distribución donde también se almacenan otras referencias que no son producidas en esta planta.
- Excesivas distancias a recorrer entre algunos departamentos y flujo de materiales cruzado en el área de la planta productiva y centro de distribución.
- La congestión por acumulación de producto terminado, genera que se presente un represamiento de las unidades en las posiciones de la estantería y que algunas veces no se asegure el cumplimiento de la política de inventarios FIFO (*first in, first out*).

1.3.2.1 Impacto

- Económico: un diseño flexible de la distribución de planta e instalaciones debe asegurar una circulación fluida de los materiales, trabajo, personas e información, con el fin de obtener una mayor productividad en el desarrollo de las operaciones. Evitando costos de movimientos innecesarios, congestiones, paradas de producción, esperas y demás efectos ocasionados por un mal diseño de la distribución.
- Servicio al cliente: un diseño flexible de la distribución de planta e instalaciones, tiene un efecto directo en el nivel de satisfacción al cliente, puesto que debe garantizar la disponibilidad del producto, entrega oportuna y fiable de las órdenes al cliente. No asegurar una respuesta eficiente y oportuna al cliente, podría resultar en ventas perdidas.

No asegurar el cumplimiento de la política de inventarios FIFO, podría ocasionar que se presenten devoluciones, lo cual surte efectos tanto a nivel económico como en el cumplimiento del nivel de servicio al cliente.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Contribuir al mejoramiento de operaciones en industrias del sector lácteo.

2.2 OBJETIVO DEL PROYECTO

Diseñar una propuesta de mejoramiento para la distribución de planta en la empresa de lácteos Alfa Ltda.

2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un análisis y evaluación del sistema productivo, flujo y sistema de manejo de materiales en las instalaciones de la empresa.
- Realizar un estudio de tiempos de los procesos involucrados.
- Desarrollar una propuesta de rediseño del *layout* de la planta.
- Validar la propuesta a través de la herramienta de simulación ProModel.

3. MARCO DE REFERENCIA

3.1 ANTECEDENTES

Se realizó una investigación en búsqueda de antecedentes encontrando proyectos de grado relacionados con redistribución de planta en el sector alimentos. Dentro de los objetivos principales de realizar un rediseño de la distribución de planta se encontraron: mejoramiento de la capacidad de producción, satisfacción de la demanda actual y futura, mejoramiento en el aprovechamiento de los recursos disponibles, y atención a las necesidades de crecimiento. A continuación se citarán tres proyectos especialmente:

- Propuesta de mejoramiento de la capacidad de producción de industrias Roller Vita Ave, rediseñando la distribución de planta.
- Estudio para el diseño e implementación de una planta productora de jamones para la empresa de alimentos la Locura Ltda.
- Propuesta de rediseño de planta de Tecnipan S.A con el fin de aumentar la capacidad técnica instalada.

El objetivo de los proyectos consistía en encontrar un diseño que permita responder de forma inmediata a las necesidades del mercado considerando futuras ampliaciones o expansiones de la distribución y sus elementos, así como los requerimientos que la ley exige. Dado que deben diseñarse instalaciones que no solo atiendan las necesidades de hoy, es decir, las condiciones bajo las cuales nace la empresa, sino que por el contrario, se debe asegurar que es posible atender necesidades de crecimiento.

Los elementos comunes que justifican el problema de los proyectos encontrados estaban relacionados con la forma en que la distribución inicial afectaba el costo del producto, donde se consideraba que el diseño de instalaciones es una de las decisiones corporativas más importantes para mantener una compañía competitiva, puesto que afecta la productividad y rentabilidad.

En cuanto al análisis interno se buscaba encontrar una distribución ordenada, con facilidad de expansión, minimización en la manipulación de materiales, utilización eficiente del espacio, maquinaria y mano de obra. Además de evitar flujos de

materiales y personas que causen contaminación cruzada, garantizando flujos hacia adelante y sin retorno, traslados cortos dirigidos hacia la terminación del producto. Con ello, es posible eliminar movimientos innecesarios, distancias excesivas a recorrer, tiempos muertos, y retrasos, además de la congestión y confusión dentro de las instalaciones, causada por el manejo de materiales.

La metodología general desarrollada en los proyectos estudiados, inicia con un análisis del macro entorno, realizando una breve descripción de la empresa, del mercado al que atiende y de sus principales competidores. Además de realizar un análisis de la demanda y del portafolio de productos que se ofrece. Después se realiza un estudio y análisis técnico de todos los factores involucrados en el desarrollo del proceso productivo tales como equipos, personas y flujo de materiales. A continuación se realiza un análisis del tipo de distribución actual, área total disponible y algunos detalles de infraestructura, como techos, señalización, ventanas, pisos, paredes, puertas y pasillos.

Con base en el análisis anterior, se procede a realizar una evaluación de la situación actual identificando las debilidades del diseño, que generan los principales problemas, que justifican el desarrollo del proyecto. Se analiza el total de cruces que pueden generar contaminación en el producto o equipos, se realiza un balanceo de línea identificando los principales cuellos de botella. Además de analizar la ocupación del espacio disponible. Finalmente se realiza la validación de la propuesta a través de una simulación en ProModel.

En el proyecto realizado en la empresa de alimentos la Locura Ltda. la metodología comienza con el proceso de localización de las instalaciones de la planta, aunque, cabe aclarar que el proceso de localización no se hará dentro del presente proyecto, puesto que se parte de una disposición inicial que se pretende mejorar. Por ende la evaluación metodológica que servirá como guía para el desarrollo del actual proyecto se centrará en la evaluación del tipo de distribución e infraestructura disponible.

Se cree que estos proyectos son una base importante para el desarrollo del presente proyecto puesto que dentro de las conclusiones y resultados más importantes se encontró que los diseños propuestos se ajustan a la construcción, espacios y recursos de los cuales disponían las empresas objetos de estudio. Lo cual es una gran ventaja puesto que no se necesita de una gran inversión en acondicionamiento y adecuaciones, para lograr cumplir los objetivos propuestos.

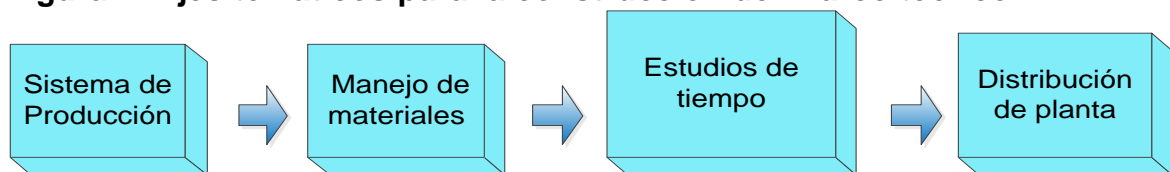
En cuanto al sistema productivo se determina que el proceso para la producción de lácteos debe orientarse a la distribución por producto, pues las referencias que se manejan dentro de la industria tienen características muy similares y los volúmenes de producción son altos. También se resalta la importancia del flujo y manejo de materiales en la determinación de la configuración interna de las instalaciones, los cuales deben tenerse en cuenta como criterios cualitativos a través de la tabla de relaciones.

Los proyectos afines con el presente son los pertenecientes al sector de alimentos. Dentro de los proyectos de distribución de planta en estas empresas, se presenta el rediseño de las instalaciones existentes con el objetivo de ajustarlas a los nuevos requerimientos de la empresa y mejorar la disposición de los equipos, materiales y mano de obra. Para el presente proyecto, lo anterior se refleja en el crecimiento en la demanda de un producto, para lo cual la empresa debe disponer de otros espacios para su manejo, presentándose problemas de operación y servicio, sobre todo en el área de almacenamiento. Dentro de los proyectos consultados, se sigue una metodología donde inicialmente se realiza un diagnóstico de la situación actual de la empresa y se contrasta con los parámetros que sugiere la teoría. Lo anterior con el fin de identificar los problemas que estén ocasionando la desviación entre lo actual y lo ideal.

3.2 MARCO TEÓRICO

La investigación girará en torno a los siguientes ejes temáticos:

Figura 1. Ejes temáticos para la construcción del marco teórico



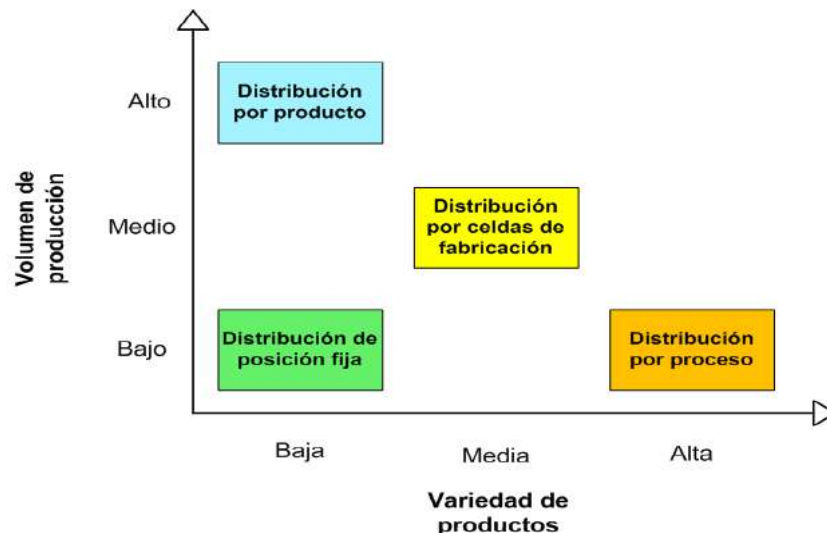
Fuente: Los Autores.

3.2.1 Sistema de Producción. Si bien, “El sistema de producción puede ser analizado en dos aspectos; su concepción y su administración operativa”³. En este caso es de suma importancia la concepción del sistema productivo. La cual hace

³ CHAUVEL, Alain M., TAWFIK, Louis. ¿Qué es la producción?. En: Administración de la producción. México D.F.: McGraw – Hill, 1994. p. 9.

referencia al tipo de producto, las condiciones bajo las cuales desea operar la empresa, los procesos, la localización, el arreglo de las instalaciones y manejo de materiales. Según lo expuesto anteriormente, la forma de organización del proceso productivo es un factor crítico en la selección del tipo de distribución de planta. Dentro de estos se pueden identificar cuatro formas básicas ilustradas en la Figura 2, según los criterios: volumen de producción (cantidad de unidades a producir) y variedad de producto (cantidad de referencias manejadas).

Figura 2. Tipos de distribución de acuerdo a la relación volumen – variedad



Fuente: BOZER, Yavus A., TANCHOCO, J.M.A., TOMPKINS, James A., WHITE, John A. Flujo, espacio y las relaciones de las actividades. En: Planeación de instalaciones. 3 ed. México D.F.: Rocío Cabañas Chávez, 2006. p. 81.

3.2.1.1 Distribución por producto. Arreglan los equipos y procesos de tal forma que el patrón de flujo sea único para cada línea de producto donde es necesaria una producción continua y repetitiva. Las ventajas de una distribución de planta por producto son; los bajos tiempos que requieren las unidades para ser procesadas, el reducido manejo de materiales, el nivel de producto en proceso es bajo, requiere de personal menos calificado, los tiempos de entrega son cortos y la programación y control no tienen un alto grado de complejidad. Las desventajas que se identifican son: presenta baja flexibilidad para un cambio de producto, alta dependencia entre los equipos puesto que, el ritmo de producción lo marca la máquina más lenta y por último, requiere de una alta inversión en instalaciones y equipo.

3.2.1.2 Distribución por proceso. Configura las estaciones de trabajo por procesos similares, es decir, los departamentos y máquinas se ubican de acuerdo a las funciones. La secuencia de operación varía de acuerdo al tipo de producto. La ventaja principal de una distribución de planta por proceso es que se evita la monotonía. Las desventajas son: se incurre en un alto manejo de materiales, la programación de la producción es más compleja, el nivel de producto en proceso es mayor, se recorren mayores distancias, y se necesita de personal calificado que pueda adaptarse a la variedad de tareas.

3.2.1.3 Distribución por posición fija. El producto permanece en un sitio, los equipos y el personal son los que se mueven hacia éste. Las ventajas de éste tipo de distribución pueden ser, pocas distancias recorridas por los materiales, un equipo puede desempeñar varias tareas, continuidad en las operaciones y alto nivel de flexibilidad. Dentro de las desventajas se encuentran: los movimientos de personal y equipo son mayores, se requiere que el personal esté capacitado, las instalaciones deben tener un mayor tamaño comparado, el tiempo de procesamiento es más alto, y la programación de la producción requiere de mucha coordinación y control.

3.2.1.4 Distribución por celdas de fabricación. Se ubican los equipos en distintas estaciones (células o celdas de fabricación) con el fin de agrupar por familias. Lo que permitirá que a cada familia se le asigne una celda para su producción. Las ventajas de la distribución por celdas de fabricación se encuentran en que el uso de las máquinas es mayor, las distancias recorridas menores, menos producto en proceso, tiempos de alistamientos bajos. Las desventajas corresponden a requerimientos de personal capacitado para el dominio de las operaciones dentro de la celda, y la coordinación del flujo de todas las celdas.

3.2.2 Manejo de materiales (*Material Handling*). Es una actividad que aumenta el costo del producto, mas no contribuye en el valor agregado de éste, por el contrario el manejo de materiales consume el 87% del tiempo de producción, 55% del espacio de la fábrica, ocupa al 25% del personal y además representa entre el 15% y 70% del costo total del producto⁴. Las acciones dentro de una empresa, en lo referente al manejo de materiales, se orientan en reducir la cantidad de manipulaciones, es así como se requerirá menos equipo destinado para éste fin. Por eso se dice que cualquier mejora dentro del manejo de materiales se traduce en un aumento de la productividad para la empresa, al reducir los costos del producto, tiempos de entrega, mejor utilización de equipos y espacios. Se estima

⁴ BOZER, Yavus A, *et al*, Manejo de materiales, Op. cit. p. 164.

que una efectiva planeación y diseño de las instalaciones puede reducir el costo de manejo de materiales entre un 10% y 30%⁵,

3.2.2.1 La carga unitaria y equipos de manejo. Puede estar formado por una sola unidad o conjunto de unidades agrupadas con el objetivo de tener un solo elemento y hacer más fácil su manejo. El tamaño de la unidad de carga determina el equipo para su manejo y está en función del volumen, peso, consideraciones económicas y naturaleza para ser agrupados. Si la carga unitaria es de gran tamaño, los espacios deben ser más grandes, al igual que los equipos, hay un mayor nivel de producto en proceso debido a que se deben acumular una mayor cantidad de producto, sin embargo al manejar un mayor tamaño de la unidad de carga, se reduce la cantidad de movimientos. En cambio, para las unidades de carga pequeñas aumenta la cantidad de movimientos pero el nivel de producto en proceso baja.

3.2.3 Estudio de tiempos. La importancia del estudio de tiempos radica en la productividad de la empresa, pues a través de éste se fijan estándares de tiempo los cuales permiten un mayor control sobre el funcionamiento del sistema productivo, en términos de la maquinaria, paradas, métodos de trabajo y programación de los procesos.

3.2.3.1 Tiempo estándar. Es “El tiempo requerido para elaborar un producto en una estación de trabajo con las tres condiciones siguientes: (1) un operador calificado y bien capacitado, (2) que trabaje a una velocidad o ritmo normal, y (3) hace una tarea específica”⁶. La primera condición se cumple cuando el operario tiene experiencia en lo que hace. La segunda condición, hace referencia a un ritmo conveniente o cómodo para las personas involucradas. La tercera condición viene de la mano con una descripción detallada de lo que se va a llevar a cabo.

3.2.3.2 Técnicas para los estudios de tiempos. Para las empresas es de suma importancia definir la técnica que más se ajusta para analizar las actividades que se llevan a cabo. Existen muchas formas para medir los Tiempos Reloj, calificaciones y Suplementos de Trabajo. Aunque para éste caso, la técnica que más se ajusta a las necesidades del presente proyecto (cálculo del flujo de producto por unidad de tiempo) es el estudio de tiempos con cronómetro. El

⁵ BOZER, Yavuz A., FRAZELLE, Edward H., TANCHOCO, J.M.A., TOMPKINS, James A., TREVINO, Jaime. Material handling. En: Facilities Planning. 2 ed. United States: John Wiley & Sons, 1996. p. 138.

⁶ MEYERS, Fred E. Estudios de tiempos y movimientos. Pearson Educación, México, 2000. p. 19.

procedimiento planteado por Meyers⁷ para llevar a cabo un estudio de tiempos se define en los siguientes pasos:

- **La selección del trabajo que se va a estudiar:** En esta etapa también se consideran las personas que van a ser objeto de análisis dentro del estudio de tiempos, descartando las personas con ritmos de trabajo lento, rápido y con actitudes negativas que pueden alterar los resultados durante el estudio. También se considera la antigüedad que tenga las personas en el puesto de trabajo, pues deben llevar el tiempo suficiente para ser considerados como capacitadas y calificadas, donde según Meyers, “El empleado debe tener en el puesto por lo menos dos semanas”⁸.
- **Recolección de información del trabajo:** La información debe reunir aspectos como la descripción de la operación, especificación de materiales, herramientas, velocidades del equipo y estado de la estación de trabajo.
- **División del trabajo en elementos:** corresponde a la descomposición del trabajo en unidades indivisibles. Las unidades no deben tener una duración menor a los 0.03 minutos, mientras los elementos con una duración mayor a los 0.2 minutos deben ser revisados para analizar la viabilidad de una subdivisión. También es necesario separar los elementos que son controlados por máquinas de los que son controlados por personas.
- **Realización del estudio de tiempos:** se pueden realizar estudios con cronómetro de restablecimientos rápido o continuo, siendo este último más común en los estudios de tiempo
- **Extensión del estudio de tiempos:** es posible que el número de ciclos cronometrados en la muestra no sea suficiente para obtener un estudio confiable. Para saber cuántos ciclos deben cronometrarse, antes se debe determinar el tiempo normal, el cual se obtiene al multiplicar el tiempo promedio por una calificación porcentual, que hace referencia a la velocidad con que trabaja el operario. El tiempo promedio se obtiene al dividir el tiempo total sobre el número de ciclos.
- **Determinación del número de ciclos a cronometrar;** “...en todo el trabajo de estudio de tiempos se propone una precisión de $\pm 5\%$, con un nivel de confianza del 95%...”⁹. Es por eso que para obtener una precisión de este tipo se recurre a la fórmula propuesta por Niebel¹⁰:

⁷ Ibíd., p. 147.

⁸ MEYERS, Fred E. Estudios de tiempos y movimientos. Pearson Educación, México, 2000. p. 148.

⁹ Ibíd., p. 152.

Ecuación 1. Número de observaciones requeridas

$$\bar{x} \pm t * \frac{s}{\sqrt{n}} \quad \Rightarrow \quad n = \left(\frac{t * s}{k * \bar{x}} \right)^2$$

(a) (b)

Fuente: NIEBEL, Benjamin W. Estudio de tiempos y movimientos. Representaciones y servicios de ingeniería, México, 1980. p.306.

Donde t es el parámetro con n-1 grados de libertad, n es el número de observaciones requeridas y s es la desviación estándar de la muestra. La ecuación 1b, se deriva de tomar $\frac{t}{N}$ como un porcentaje de x , donde k es el porcentaje de error.

- **Calificación, nivelación y normalización del desempeño del operario;** hace parte de la concepción que tiene un especialista o experto respecto al desempeño del operario, se busca ajustar el tiempo que le toma a un operario hacer una tarea al de un operario normal. El sistema de calificación empleado será el de *Westinghouse*, el cual considera cuatro aspectos para la evaluación: consistencia, destreza o habilidad, condiciones de trabajo y esfuerzo. Y proporciona diferentes niveles de calificación para cada uno.

La **consistencia** se presenta cuando el tiempo observado para un elemento tiene poca o nula variación. La **destreza o habilidad**, aumenta cuando un operario se apropia del trabajo y alcanza un ritmo estable, o disminuye debido a factores psicológicos o físicos; pérdida de la visión, fuerza, motricidad, entre otros factores. Las **condiciones de trabajo** son las que afectan al operario y no a la operación como la temperatura, ruido, iluminación, entre otros. El **esfuerzo** está relacionado con la motivación del operario a trabajar de forma efectiva. Se evidencia en la velocidad o ritmo del operario para realizar la actividad.

Luego de haber asignado la respectiva calificación a cada factor, se procede a sumar todos los porcentajes y obtener una calificación global la cual se incorpora al 100% que corresponde al estándar y las calificaciones serán las adiciones para que una persona normal pueda ejecutar el respectivo trabajo. El total obtenido se multiplica por el tiempo promedio para obtener el tiempo normal.

¹⁰ NIEBEL, Benjamin W. Estudio de tiempos y movimientos. Representaciones y servicios de ingeniería, México, 1980. p.306.

- **Aplicación de tolerancias** Existen tres tipos de tolerancias; personales, por fatiga, y retrasos. Para las tolerancias personales generalmente se asigna un valor de 5%. Las tolerancias por fatiga, son tiempos para que el empleado se recupere del cansancio. Las tolerancias por retrasos son las que se encuentran fuera del control del operario. Cuando se tienen los datos de cada tipo de tolerancia, se suman y se adicionan al tiempo normal y así se obtiene el tiempo estándar.
- **Verificar la lógica;** se puede revisar de dos maneras; que los tiempos promedios se parezcan a los elementales, o el tiempo promedio sea cercano al tiempo normal total por ciclo.

3.2.4 Distribución de planta e instalaciones. Consiste en determinar la mejor disposición de departamentos, máquinas, estaciones de trabajo, áreas de almacenamiento, pasillos y espacios comunes dentro de una instalación productiva.

3.2.4.1 Procedimientos y métodos de diseño. Los procesos productivos se tornan cada día más complejos, y la disposición inicial de las instalaciones cada vez se adecuada menos, es así como llega el momento en que se requieren modificaciones y ajustes. Se han creado una gran variedad de procedimientos y métodos que sirven de ayuda para generar distintas alternativas de diseño de acuerdo a diferentes criterios sin embargo, el **Systematic Layout Planning (SLP)** ha sido el más utilizado para resolver problemas relacionados con distribución de planta. Las metodologías precedentes a esta son simples e incompletas y las desarrolladas después son modificaciones con enfoques algorítmicas.

Este método realiza un análisis inicial desarrollando un diagrama de relaciones, donde se ubican las actividades en el espacio. Este diagrama se realiza con base en el flujo de materiales (medición cuantitativa del flujo) y la relación entre las actividades (medición cualitativa del flujo). En la tabla de relaciones se da una ponderación cualitativa a las relaciones entre actividades, para mostrar la necesidad de proximidad entre dos o más departamentos. Después se realiza una búsqueda de disposiciones teniendo en cuenta las consideraciones de modificación y las limitaciones de cada alternativa. Finalmente se realiza una evaluación de las alternativas y se realiza la selección de la mejor teniendo en cuenta los criterios que se hayan identificado de acuerdo a las necesidades particulares.

A pesar de que el SLP proporciona un buen procedimiento para desarrollar o mejorar una disposición, puede llegar a ser muy dispendioso, por ende se usan enfoques algorítmicos como procedimientos formales para diseñar diferentes alternativas de disposiciones y así mismo brinda criterios para evaluar dichas disposiciones. Los algoritmos generalmente se clasifican de acuerdo a los **datos originales** que requieren de entrada. Unos requieren una medición cuantitativa del flujo, por ende debe crearse la tabla desde-hacia. Pero otros requieren una medición cualitativa del flujo, expresado en una tabla o grafico de relaciones. Existen otros, que pueden aceptar como datos de entrada ambas mediciones del flujo.

Los algoritmos para el diseño de disposiciones también pueden clasificarse de acuerdo al **objetivo** de sus funciones objetivo. Existen dos clasificaciones de este tipo, Basado en la distancia y basado en la adyacencia. Los algoritmos basados en la distancia, intentan minimizar la suma de los flujos por la distancia, e implícitamente el costo total de mover unidades o cargas unitarias de un departamento a otros. Estos algoritmos requieren la tabla desde-hacia como datos de entrada.

Ecuación 2. Función objetivo basada en la distancia

$$\min Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m f_{ij} c_{ij} d_{ij}$$

Fuente: BOZER, Yavus A., et al, Manejo de materiales, Op. cit. p. 306.

Los algoritmos basados en la adyacencia intentan maximizar la calificación de adyacencia. Adyacencia significa que dos o más departamentos comparten una orilla en la disposición. Se hace uso de una variable binaria (x_{ij}), donde si los departamentos son adyacentes se asigna el valor de 1 a dicha variable sino, se asigna 0. Estos algoritmos pueden requerir la tabla de relaciones como datos de entrada, y la calificación de cercanía que se asigne se reemplaza en la variable (f_{ij}).

Ecuación 3. Función objetivo basada en la adyacencia

$$\max Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m f_{ij} x_{ij}$$

Fuente: BOZER, Yavus A., et al, Manejo de materiales, Op. cit. P. 306.

Los algoritmos usados para el diseño de disposiciones también pueden clasificarse de acuerdo al **formato** que usan para representar las diferentes alternativas de disposiciones. Estos pueden ser de representación discreta o continua. Para los algoritmos con representación discreta el área de los departamentos se redondea al número entero más cercano y necesita de la ayuda de bloques para ubicar los departamentos, mientras los algoritmos con representación continua pueden no requerir de bloques, y el área de los departamentos no necesariamente debe ser un número entero de bloques.

3.2.4.2 LayoutVT. La mayoría de algoritmos computacionales se han desarrollado como resultado de investigaciones en universidades, pero no existen versiones comerciales de estos. Además la mayoría están destinados solo para presentaciones, es decir, son herramientas de dibujo que facilitan la presentación de las disposiciones. En el caso del presente estudio se hará uso de una herramienta computacional que además de realizar la presentación de las disposiciones, también realiza posibles intercambios entre departamentos para encontrar la mejor disposición en términos de costo o puntaje de adyacencia.

Para generar las diferentes propuestas de diseño o *layout* de las instalaciones de la empresa objeto de estudio, se hará uso de la versión para estudiantes del *software LayoutVT*. *Software* desarrollado por la universidad *Virginia Tech*, diseñado especialmente para ayudar a los planificadores de instalaciones en la búsqueda de disposiciones rentables, de manera sencilla y práctica. Esta herramienta cuenta con dos módulos para resolver los problemas de diseño de instalaciones, los cuales son *LayoutSFC* (representación discreta) y *LayoutSEQ* (representación continua). Algunas limitaciones del *software* son que permite crear máximo 18 departamentos y el número máximo de pisos es 5. Los algoritmos en los que se basa la forma de operación del *software*: MULTIPLE (*Multi-floor plant layout evaluation*)¹¹ y SABLE (*simulated annealing-based layout evaluation*)¹¹.

3.3 APORTE INTELECTUAL

La noción del concepto de distribución de planta se ha visto limitado en cuanto al alcance que realmente adquiere en el ámbito de los sistemas productivos. Puesto que se tiene una idea parcial de lo que requiere abordar un problema de distribución de planta al creer que solo implica encontrar el ordenamiento o disposición física de las áreas de trabajo o departamentos. Sin considerar que antes de generar cualquier disposición física de los elementos que componen las instalaciones, debe hacerse una serie de análisis relacionados con el sistema de

¹¹ BOZER, Yavus A., *et al*, Manejo de materiales, Op. cit. p.351.

producción, flujo y manejo de materiales, y por el contrario la búsqueda, selección y diseño de la disposición final es el último paso que se lleva a cabo en un proyecto de distribución de planta, donde esta última debe impulsar la realización de las operaciones productivas logrando obtener el mejor desempeño.

Como resultado de lo anterior el marco teórico que facilitará el desarrollo del presente proyecto, se encuentra dividido en cuatro ejes temáticos congruentes con los objetivos específicos que se pretenden alcanzar. Los primeros ejes temáticos servirán como base para realizar un análisis del sistema productivo, flujo y manejo de materiales, con el fin de realizar un diagnóstico inicial de las operaciones que se realizan dentro de las instalaciones de la empresa objeto de estudio. De acuerdo a esto se pretende elaborar una propuesta de la disposición con el fin de proveer un nivel de flexibilidad que permita a la empresa lograr adaptarse a los cambios actuales en las preferencias de los clientes, pudiendo responder oportunamente sin requerir mayores inversiones en adecuaciones.

Para realizar las diferentes disposiciones se hará uso del *software layoutVT*. El cual permitirá encontrar una disposición mejorada considerando criterios cualitativos y cuantitativos, con los cuales se podrá hallar un puntaje de adyacencia o de cercanía de la disposición además del costo asociado a esta. A pesar de que los enfoques algorítmicos computarizados son muy eficaces para efectuar análisis rápidos de numerosas alternativas de disposiciones con base en los datos que se suministran o incluso con base en una disposición inicial, no tienen en cuenta la mayoría de características cualitativas de las disposiciones. Por ende una parte del aporte intelectual de los investigadores será realizar el análisis correcto de cada alternativa de disposición teniendo en cuenta criterios cualitativos que los algoritmos computacionales no pueden incluir en el análisis, puesto que estos criterios se desprenden directamente de la capacidad de análisis y experiencia de las personas que hacen uso de estos enfoques algorítmicos.

Además dentro de estos criterios cualitativos se tendrán en cuenta las limitaciones económicas y de infraestructura de la empresa objeto de estudio, buscando siempre encontrar alternativas de diseño factibles de acuerdo con las condiciones de operación y con los objetivos corporativos que la empresa busca alcanzar. La validación de la propuesta a través de una herramienta de simulación enfocándose principalmente en el efecto que surte el cambio en la disposición en los tiempos de las operaciones, será un aporte valioso para la empresa objeto de estudio, ya que como se mencionó las empresas actualmente compiten principalmente por tiempo, donde las entregas oportunas a los clientes determinan su supervivencia en el mercado.

4. METODOLOGÍA

El objetivo del presente proyecto consiste en diseñar una propuesta de mejoramiento de la distribución de planta en la empresa de lácteos Alfa Ltda, para el logro de este objetivo se plantearon a su vez cuatro objetivos específicos, que serán concretados a través del desarrollo de una secuencia de actividades y herramientas metodológicas.

Con base en lo anterior, la metodología del presente proyecto se dividirá en cuatro ejes. El primero hace referencia al sistema productivo, flujo y manejo de materiales, el segundo a la toma de tiempos que se realizará para validar la propuesta y por último se encuentra el desarrollo de la propuesta final del rediseño del *layout* y validación de la misma.

Cabe aclarar que antes de iniciar la fase de ejecución del proyecto se inició con recolección de información, a través de fuentes bibliográficas, que aportan al logro de los objetivos específicos. Además de investigar sobre proyectos desarrollados con anterioridad sobre distribución de planta en empresas del sector alimentos, entre otros contenidos.

4.1 ANÁLISIS DE SISTEMA PRODUCTIVO, FLUJO Y MANEJO DE MATERIALES

Para el análisis del sistema productivo, inicialmente se procede a conocer los productos que se fabrican en la empresa y su respectiva participación en el mercado para hacer una clasificación ABC por volumen de ventas. En esta actividad es de vital importancia contar con el acceso a datos históricos de las ventas y a otro tipo de información relacionada con los estándares de tiempo requeridos para realizar cada operación y la cantidad de artículos que se producen por unidad de tiempo (por turno, día, hora, semana, etc.). Dado que, lo anterior permitirá establecer el ritmo de producción, que determinará la velocidad a la cual debe funcionar la planta para lograr las cantidades demandadas.

Con lo anterior se podrá analizar y evaluar el tipo de sistema productivo que presenta la empresa y contrastarlo con lo que sugiere el análisis ABC de acuerdo al volumen de ventas. Pues muchas veces la forma de organización del sistema productivo no es la adecuada para el tipo de producto que se desarrolla, esto pasa comúnmente, cuando se introduce una referencia que requiere condiciones de manejo diferentes a las actuales, aunque tenga características similares.

Al identificar las áreas que involucran todo el sistema productivo, se procede a evaluar el flujo entre estas áreas y manejo de materiales. Donde se busca identificar patrones de flujo, desde que la materia prima entra al sistema productivo hasta que sale transformada como producto terminado. Éste análisis involucra las unidades de carga que se manejan en todo el proceso tanto para la materia prima, producto en proceso y producto terminado, al igual que los equipos de manejo de materiales que intervienen para mover y almacenar el producto a lo largo de su desarrollo.

Cuando se identifican las áreas y la trayectoria que sigue el producto, se busca establecer las relaciones existentes entre las áreas, las distancias a recorrer y el costo asociado a cada movimiento. El análisis también abarca la evaluación de la unidad de carga y equipo para el manejo de materiales, ya que son variables importantes a tener en cuenta para el proceso de asignación de espacios y junto con el flujo determinan la forma en que circularán los materiales, productos en proceso y producto terminado en las instalaciones para evitar congestiones, paradas, demoras o esperas.

4.2 TOMA DE TIEMPOS

Inicia con el análisis, contraste de las diferentes técnicas para llevar a cabo un estudio de tiempos, esto con el fin de descartar y seleccionar la técnica que más se ajuste a los requerimientos de la empresa. Posteriormente se selecciona la técnica para el estudio de tiempos. Luego se realizará una identificación y clasificación de las áreas que serán objeto de estudio. A continuación se descomponen los trabajos, que se llevan a cabo en las áreas seleccionadas, en elementos.

Ya con los elementos dentro de cada área, se realiza el estudio de tiempos correspondiente. Dentro del estudio se consideran las extensiones y se determina el número de ciclos por cronometrar. Después de lleva a cabo el proceso de ajustar el tiempo de los operarios a un tiempo de un operario normal, es decir, se da la calificación, nivelación y normalización. De igual forma se fijan las tolerancias, para proceder a verificar la lógica de los tiempos y finalizar con la publicación de los tiempos estándar.

4.3 DESARROLLO DE LA PROPUESTA DE REDISEÑO DEL *LAYOUT*

Se inicia con la realización de la caracterización geométrica del *layout* actual, para realizar la construcción de la disposición en bloque. Dado que en los objetivos anteriores ya se analizó el sistema productivo en general, el flujo, los tiempos y costos asociados a los movimientos, el manejo de materiales y otras consideraciones cualitativas, en esta etapa es posible realizar la construcción de la tabla desde-hacia donde se registran las distancias, costos y flujos entre las distintas áreas de la empresa. Además es posible construir la tabla de relaciones en la cual se cuantifica la importancia de cercanía entre determinadas áreas.

Cuando se dispone de la información anterior se procede a introducir estos datos que serán las entradas al *software LayoutVT*. El cual permitirá modelar la distribución de la planta actual y generar disposiciones. Al modelar la instalación actual se evalúa calculando el costo y el porcentaje de adyacencia que presenta. Posteriormente se procede a analizar las distintas alternativas viables para un posible diseño del *layout* que se ajuste más a las necesidades de la empresa, teniendo en cuenta todos los análisis de los objetivos anteriores. Cuando se tienen las diferentes alternativas, se realiza la selección de la propuesta final teniendo en cuenta que debe ser la disposición que muestre un porcentaje de adyacencia mayor y un costo menor, además debe ser la que mejor se ajuste a las necesidades actuales y futuras de la planta.

4.4 VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA.

Para validar la propuesta de rediseño del *layout* se hará uso de la herramienta de simulación ProModel donde se dará como datos de entrada al modelo los tiempos de las operaciones, distancias, flujo de materiales y demás datos necesarios para que la salida del modelo sean los nuevos tiempos que se requieren para desempeñar las operaciones en la disposición propuesta. De esta forma será posible realizar una comparación entre ambas disposiciones en términos de tiempo y se plantearán diferentes indicadores que permitan concluir sobre ello.

Para ello primero se debe definir el tipo de distribución de probabilidad de los tiempos tomados para cada operación del proceso en general, esto se realizará a través de *Stat Fit*. Después deben definirse cuáles serán las locaciones, entidades, recursos, las rutas por las que se mueven los recursos para transportar las entidades, el proceso, los arribos y las variables que permitirán definir los indicadores que servirán para realizar las comparaciones. Por último, se realizará la documentación y validación de la propuesta definitiva.

5. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO

Una vez que se ha pensado la estrategia metodológica para realizar el proyecto, se procede a pensar en las herramientas logísticas que apoyaran dicha metodología para lograr el cumplimiento de los objetivos planteados en el tiempo planeado.

5.1 RECURSOS

Para el desarrollo del proyecto se consideran recursos necesarios los siguientes:

- Recursos financieros: estos recursos serán suministrados por los investigadores, y no se tendrá apoyo externo. Y corresponden a los gastos de desplazamientos a las instalaciones de la empresa donde se desarrollará el proyecto.
- Recursos en equipos como los computadores disponibles en la sala de ingeniería industrial de la universidad donde se cuenta con *software* especializados como Stat Fit, ProModel, Minitab, y todo el paquete de *Microsoft Office* entre otros. Computadores propios y cronómetros sencillos para la toma de tiempos. Recursos no tangibles tales como el *software LayoutVT*.
- Recursos bibliográficos como libros, artículos y proyectos de grado relacionados con el tema de estudio, de la universidad Icesi y de otras universidades.
- Recursos humanos donde además de los autores se encuentran involucrados, el tutor temático, el tutor metodológico, profesores de la universidad especialmente del departamento de ingeniería industrial, personal de la empresa objeto de estudio, y demás personas que con su experiencia y conocimiento pueden servir como guía a los autores del proyecto.

5.2 CRONOGRAMA

Para la realización del cronograma que servirá también como un indicador del avance del proyecto, se tuvieron en cuenta además de las actividades primarias de ejecución como tal del proyecto, las reuniones de avance con el tutor temático, excepciones en cuanto a la jornada laboral, puesto que en vacaciones esta será

diferente a la jornada que se llevará durante la época de estudio. También se tuvieron en cuenta otras excepciones relacionadas con compromisos de sus autores diferentes a los de la realización del proyecto. Las jornadas laborales se establecieron teniendo en cuenta los días y horarios en que la empresa tiene mayor disponibilidad de atención. Ver anexo B.

5.3 EQUIPO DE INVESTIGADORES

Las personas que participarán en la realización del presente proyecto serán:

- Oscar David Quiceno Orozco y Nathaly Zuluaga García, estudiantes de ingeniería industrial quienes serán los autores del proyecto.
- Natalia Aguilera Mosquera, ingeniera industrial MBA, quien será la tutora temática del proyecto.
- Jairo Guerrero Bueno, ingeniero industrial MSc, quien será el tutor metodológico y temático del proyecto.
- Jairo Gómez, Ingeniero de Alimentos, Jefe de planta de la empresa Alfa Ltda.

6. DESARROLLO

6.1 ALFA LTDA

Alfa Ltda. es una multinacional perteneciente al sector lácteo, que opera desde 1961. Esta compañía tiene presencia local en los cinco continentes, y su casa matriz mundial se encuentra en Europa. Inicialmente, la compañía se dedicaba a envasar leche, pero con el paso del tiempo y su rápido desarrollo llega a ser reconocida en Europa como líder en la producción y comercialización de leche Larga Vida (UHT) y procesadora de alimentos. Este reconocimiento le permitió extender su presencia a más de 40 países alrededor del mundo, entre los cuales se encuentran, Italia, España, Portugal, Australia, Sudáfrica, Venezuela, Colombia, entre otros. Actualmente Alfa Ltda. se dedica al procesamiento de leche, fabricación de productos a base de esta y también a la importación de otros productos alimenticios como salsas, galletas, gelatina, café, jugos, etc.

Para 1994 Alfa adquiere una empresa lechera en Colombia, y después de realizar diferentes adecuaciones, en septiembre de 1995 inicia sus operaciones en el mercado colombiano con la leche pasteurizada. Un mes más tarde, inicia operaciones en Cali y Medellín, y lanza la leche Larga Vida o UHT, es así como poco a poco incrementa su presencia en el país mediante la compra y adecuación de infraestructura como plantas para la producción y centros de acopio, esto le permitió ampliar su línea de productos, mejorando así la presencia y participación a nivel nacional. La misión de Alfa Ltda se enfoca en el bienestar de los consumidores en Colombia, mediante el suministro de productos alimenticios fabricados o importados que satisfagan expectativas de calidad y servicio. La misión se encuentra enmarcada dentro de una filosofía de calidad, confianza, respeto por el talento humano y trabajo en equipo. Su visión está enfocada hacia las necesidades de los clientes, tanto externos como internos, donde la imagen y experiencia representan el mayor activo de la compañía.

La presencia de Alfa en Colombia está orientada por la casa matriz local que se encuentra en Brasil. Y cuenta con fábricas a nivel nacional en Bogotá, Chía, Cali, Medellín, Barranquilla y Cereté, las cuales empaquetan productos que comercializan en sus áreas de influencia. Se empaquetan aproximadamente 98 referencias que se comercializan a nivel nacional. Entre sus clientes se encuentran diferentes empresas comercializadoras de productos alimenticios, hipermercados, supermercados, almacenes de cadena, pequeñas tiendas, entre otros.

El presente proyecto se centra en una de sus plantas, ubicada en el sector de Acopi Yumbo, dedicada a la producción de leches líquidas, con dos líneas de producto: leches pasteurizadas y larga vida (UHT). Dentro de las líneas se manejan las siguientes referencias en diferentes presentaciones:

- Leche líquida fortificada entera pasteurizada por 1000mL y 450mL.
- Leche líquida entera larga vida (UHT) por 1100mL, 900mL, 450mL y 200mL.
- Leche líquida semidescremada deslactosada larga vida (UHT) por 1100mL, 900mL y 450mL.
- Leche líquida semidescremada (UHT) por 900mL.

Recientemente la compañía comenzó con una nueva línea de producto (desde Abril de 2012): crema en presentaciones 1100mL y 200mL, con el objetivo de aprovechar al 100% el componente grasa (natas) resultantes del proceso de clarificación de la leche, donde se separa la grasa de la leche y se deja solo el porcentaje en grasa requerido de acuerdo a la referencia que se está produciendo.

Dentro de las instalaciones se encuentra un centro de distribución utilizado para almacenar referencias producidas en otras plantas y las referencias pertenecientes a la línea UHT. Estas referencias son distribuidas a nivel regional a través de canales directos e indirectos. Los canales indirectos son una serie de intermediarios, que se encargan de comercializar y transportar los productos, a cada punto con el que área de ventas ha negociado previamente.

Las dependencias en que se enfoca el presente proyecto corresponden a la planta física de producción, dado que como se definió en la situación problemática el cambio en la demanda de las referencias UHT, tuvo un efecto directo en la capacidad de la disposición actual para responder o adaptarse a los nuevos requerimientos; puesto que la planeación, diseño y construcción de esta instalación se realizó con base en el flujo de la línea pasteurizada, igualmente el cálculo de la capacidad inicial del centro de distribución se realizó pensando en las necesidades de espacio para albergar el volumen inicial de la línea UHT y el volumen requerido por las referencias que llegan de otras plantas, por ello uno de los resultados que se espera obtener con el desarrollo del presente proyecto consiste en determinar qué áreas de la disposición actual podrían cederse al espacio del centro de distribución, dado que al discontinuar la referencia

pasteurizada resultan espacios que ya no se necesitan, como es el caso de las cavas de refrigeración, aunque también podría pasar que dichos espacios sean ocupados por nuevas líneas de producto que si requieran de refrigeración.

6.2 PROCESO PRODUCTIVO

El proceso que se lleva a cabo en la empresa Alfa Ltda. inicia con las proyecciones de demanda suministradas por mercadeo; con base en estas se despliegan los planes de compra a partir de los cuales se realiza la solicitud de la leche cruda a los diferentes puntos de acopio o directamente a las fincas proveedoras. El proceso en las instalaciones de la planta productiva inicia con la recepción de la leche que generalmente es transportada en tanques (ver Figura 3), los cuales tienen tres compartimientos de almacenaje y están hechos de acero inoxidable. Cuando la leche cruda se recibe de los puntos de acopio generalmente viene ya refrigerada por el tiempo de almacenamiento que lleva en estos lugares y la temperatura está entre 3°C y 4°C, pero cuando la leche cruda se recibe de las fincas esta llega con una temperatura mayor de aproximadamente 9°C.

Figura 3. Carro tanque para el transporte de leche

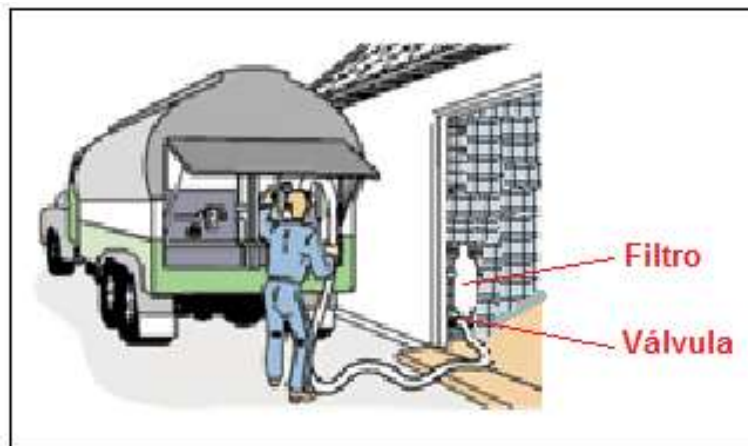


Fuente: DeLaval. Cómo transportar la leche a la planta lechera. [En Línea]. 2006. [Citado 06-Junio-2012]. Disponible en internet: http://www.delaval.com.co/Dairy_Knowledge/EfficientCooling/Milk_Collection.htm

Cuando los camiones arriban a la planta deben ser pesados, y dado que la planta no cuenta con una báscula propia el pesaje se tiene tercerizado en una zona

cercana. Después del pesaje, los camiones ingresan a la planta hacia la zona de recibo, donde inicialmente la leche es agitada manualmente en cada compartimiento del tanque y simultáneamente se agrega una sustancia llamada tripolifosfato de sodio con el objetivo de estabilizar la leche y evitar que ocurra una precipitación de la proteína dentro de los compartimientos del tanque. Después los encargados del laboratorio toman una muestra de leche para realizar pruebas fisicoquímicas que determinarán si la leche recibida es apta o no para ser procesada; esta prueba tiene una duración de aproximadamente 10 minutos. Si las pruebas son aprobadas, la persona encargada de la zona de recibo conecta una manguera a la válvula de salida del camión y el otro extremo es conectado a la válvula de la bomba de recibo, ubicada en el muelle (ver Figura 4). La leche pasa por un filtro inicial que retiene impurezas grandes como tierra, estiércol, insectos, etc. para finalmente ser bombeada a través de tubería hacia la zona de enfriamiento, donde a través de un intercambiador de calor por placas la leche transfiere calor al agua helada que viene del banco de hielo a una temperatura de 1,5°C-2°C aproximadamente y la temperatura de la leche es llevada a 4°C o 5°C aproximadamente. Es de suma importancia asegurar que la leche cumpla con esta temperatura, dado que a temperaturas mayores de 5°C la producción de bacterias aumenta y con ello la descomposición de la leche.

Figura 4. Bombeo y filtro inicial



Fuente: DeLaval. Cómo transportar la leche a la planta lechera. [En Línea]. 2006. [Citado 06-Junio-2012]. Disponible en internet: http://www.delaval.com.co/Dairy_Knowledge/EfficientCooling/Milk_Collection.htm

Después de que la leche recibida se encuentra en la temperatura apta para ser almacenada, se bombea hacia el silo asignado para almacenar leche cruda. En la

planta se tienen tres silos de almacenamiento, donde los silos 1 y 2 son utilizados para almacenar específicamente leche en proceso, mientras que el silo 3 es usado para almacenar leche cruda. La capacidad volumétrica de los silos 1 y 2 es de 82000 litros (L) aproximadamente, mientras que el silo 3 tiene una capacidad de 84000L.

A continuación la leche es llevada del silo de almacenamiento (silo 3) a un tanque de balanza de (400L) para agregar componentes químicos como vitaminas, estabilizantes, etc. de acuerdo a la referencia que se tenga programada para procesar en el momento, este tanque además regula el caudal de entrada para que el equipo no se rebase ni se quede sin líquido. Esta mezcla es llevada al intercambiador de calor por placas número 2 para ser termizada, es decir pre calentar a una temperatura de aproximadamente (80°C) para asegurar la homogenización del producto y bajar la carga bacteriana. A esta temperatura la leche pasa a la clarificadora donde se realiza una separación de sólidos por centrifugación, es decir se separan las partículas gruesas que trae la leche (grasa o natas) y se realiza un filtro para remover las partículas más pequeñas que no pudo detectar el filtro inicial en el proceso de recibo de la leche, tales como: sangre, pelos muy pequeños del animal, barro etc. En la clarificadora simultáneamente se realiza el proceso de estandarización de la leche que consiste en mezclar la leche desnatada con la grasa de acuerdo al contenido requerido para la referencia que se esté procesando, este proceso se realiza separando la grasa excedente al contenido requerido.

Una vez la leche se clarifica pasa a un equipo llamado homogenizador donde se aplican presiones elevadas de aproximadamente 1800 psi a través de válvulas para reducir el tamaño de los glóbulos grasos de 20 micras a 1 micra, de forma que la grasa se distribuya homogéneamente en todo el líquido. Después del homogenizador se realiza el tratamiento térmico de pasteurización donde la leche es llevada a una temperatura de 80°C en el intercambiador de calor 2 y luego pasa por un serpentín donde se asegura un tiempo de retención o sostenimiento de la temperatura de 3 segundos. Es muy importante asegurar que el producto cumpla con este tiempo de retención bajo la temperatura establecida, dado que de esto depende la eliminación de bacterias, por ello se usan sensores en las salidas del serpentín para asegurar que al final de la zona de retención la leche se encuentre a una temperatura de 80°C, si no es así la leche retorna al intercambiador de calor 2.

Cuando la leche ya se encuentra pasteurizada pasa de nuevo al intercambiador de calor 2 donde se enfría al mismo tiempo que transfiere calor a la leche cruda que se está precalentando para iniciar el proceso térmico. Esta leche es llevada a una temperatura de (4°C) para posteriormente ser almacenada; para ello, la leche

pasa primero por unos tanques desde donde es bombeada hacia los silos 1 y 2, si la referencia es UHT, o puede quedarse en uno de estos tanques si la referencia es pasteurizada o UHT con baja demanda. El tanque 1 y 2 tienen una capacidad de 15000L, mientras que el tanque 3 tiene una capacidad de 12000L.

Posteriormente la leche pasa a la zona de empaque donde se tienen dos equipos destinados para esta tarea. El equipo Tetra Pouch es utilizado para empacar únicamente la leche pasteurizada que llega de los tanques, mientras que el equipo Elecster empaca solo leche UHT.

Cuando la referencia que se programa es UHT el proceso continúa después de la pasteurización, dado que para procesar leche UHT se requiere realizar este tratamiento térmico previamente. La leche ya pasteurizada pasa a los silos de almacenamiento 1 y 2 o a los tanques si la referencia es semidescremada deslactosada, pero antes de iniciar el tratamiento térmico UHT, en los silos o tanques de almacenamiento la leche pasa como máximo 24 horas en agitación para posteriormente realizar unas pruebas de laboratorio. Si se da el visto bueno, la leche es liberada y pasa hacia un tanque de balanza de 90L donde se regula el caudal de entrada al equipo UHT; si no, el lote se retiene y se decide si se puede reutilizar para otras referencias o si definitivamente debe rechazarse.

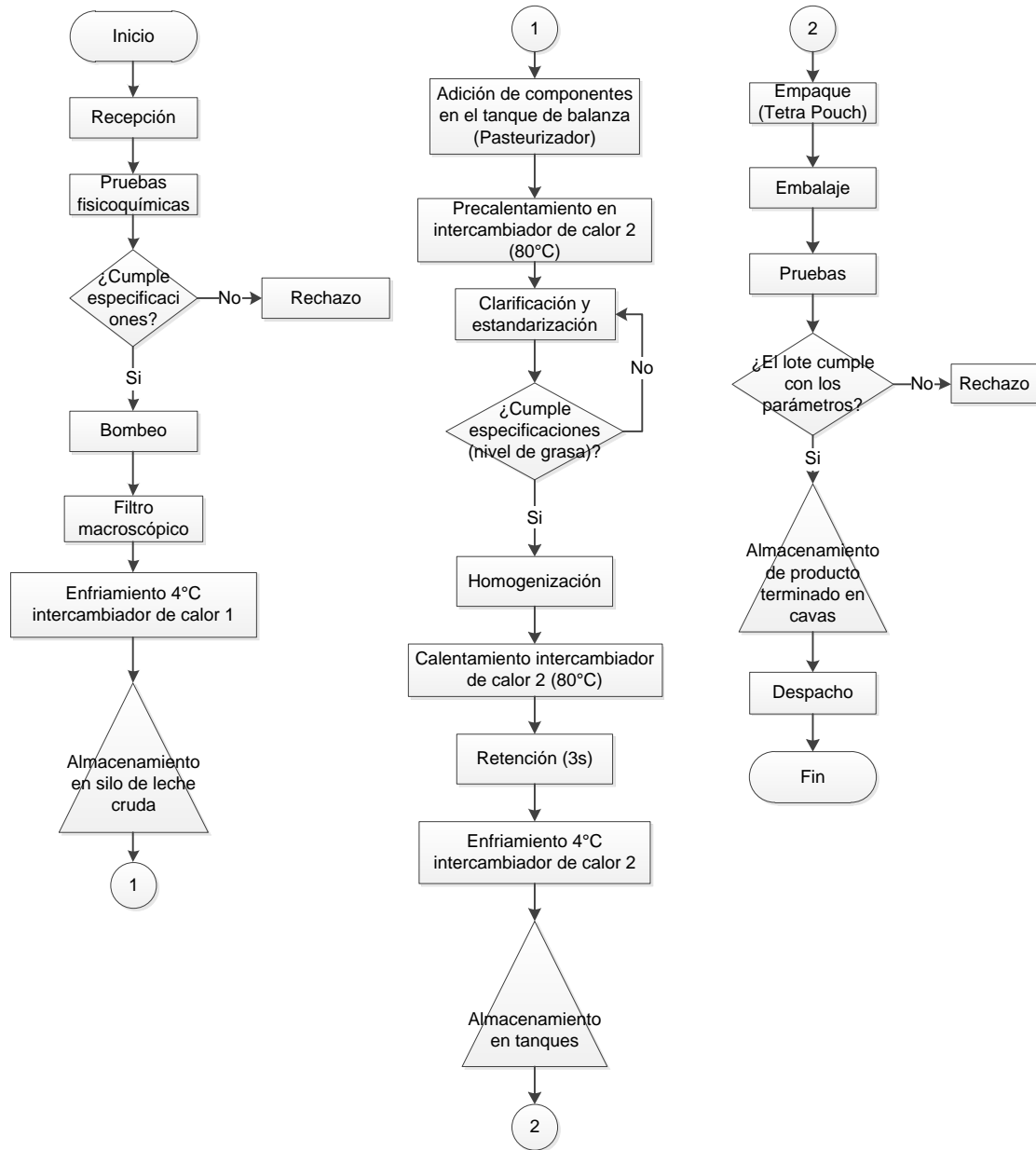
La leche liberada pasa del tanque de balance hacia el intercambiador de calor 3 donde se realiza un precalentamiento elevando la temperatura a (80°C) para luego pasar directamente al equipo homogenizador donde se aplican presiones de aproximadamente 3000 psi para reducir el tamaño de los glóbulos grasos. Después la leche pasa al equipo esterilizador donde se realiza el tratamiento térmico UHT (*ultra high temperature*) como tal. Donde una bomba regula el flujo de entrada de la leche al equipo esterilizador. La empresa utiliza un sistema de tratamiento directo o de inyección de vapor para procesar la leche UHT. En el esterilizador la leche entra con una temperatura de 80°C y después de inyectar el vapor sale con una temperatura de 144°C, igual que el pasteurizador, el esterilizador también tiene una zona de retención donde debe asegurarse que cada litro de leche deberá permanecer por 3 segundos bajo la temperatura de 144°C, con el objetivo de esterilizar la leche y darle un tiempo de vida mucho mayor que las referencias pasteurizadas.

De la zona de retención del equipo esterilizador la leche pasa a una campana de extracción de vapor, donde el objetivo es retirar el vapor inyectado que en caso de no ser extraído podría convertirse en agua. La campana tiene una camisa interna con agua fría; donde la leche ingresa en forma de remolino distribuyéndose por las paredes y simultáneamente se transfiere calor al agua helada. En este proceso, el

vapor resultante de la transferencia de calor es extraído por un sistema de vacío y el líquido condensado resultante se almacena en un tanque de (500L), para ser reutilizado. La leche sale de la campana de extracción a una temperatura de aproximadamente 90°C y ya totalmente esterilizada pasa de nuevo al intercambiador de calor 3 para ser enfriada a una temperatura de 18°C. Y finalmente pasa a la máquina empacadora Elecster.

En la zona de empaque se pueden formar dos unidades de carga diferentes de acuerdo al tipo de contenedor (cestillos o perolas). Además, si son referencias UHT son llevadas al centro de distribución, mientras que si son referencias pasteurizadas son llevadas a la cava de almacenamiento. Cabe aclarar que la referencia pasteurizada al tener un tiempo de duración de máximo 5 días puede pasar como máximo (24 horas) en las cavas, dado que debe asegurarse que las unidades lleguen al mercado con (4 días) de vida útil como mínimo.

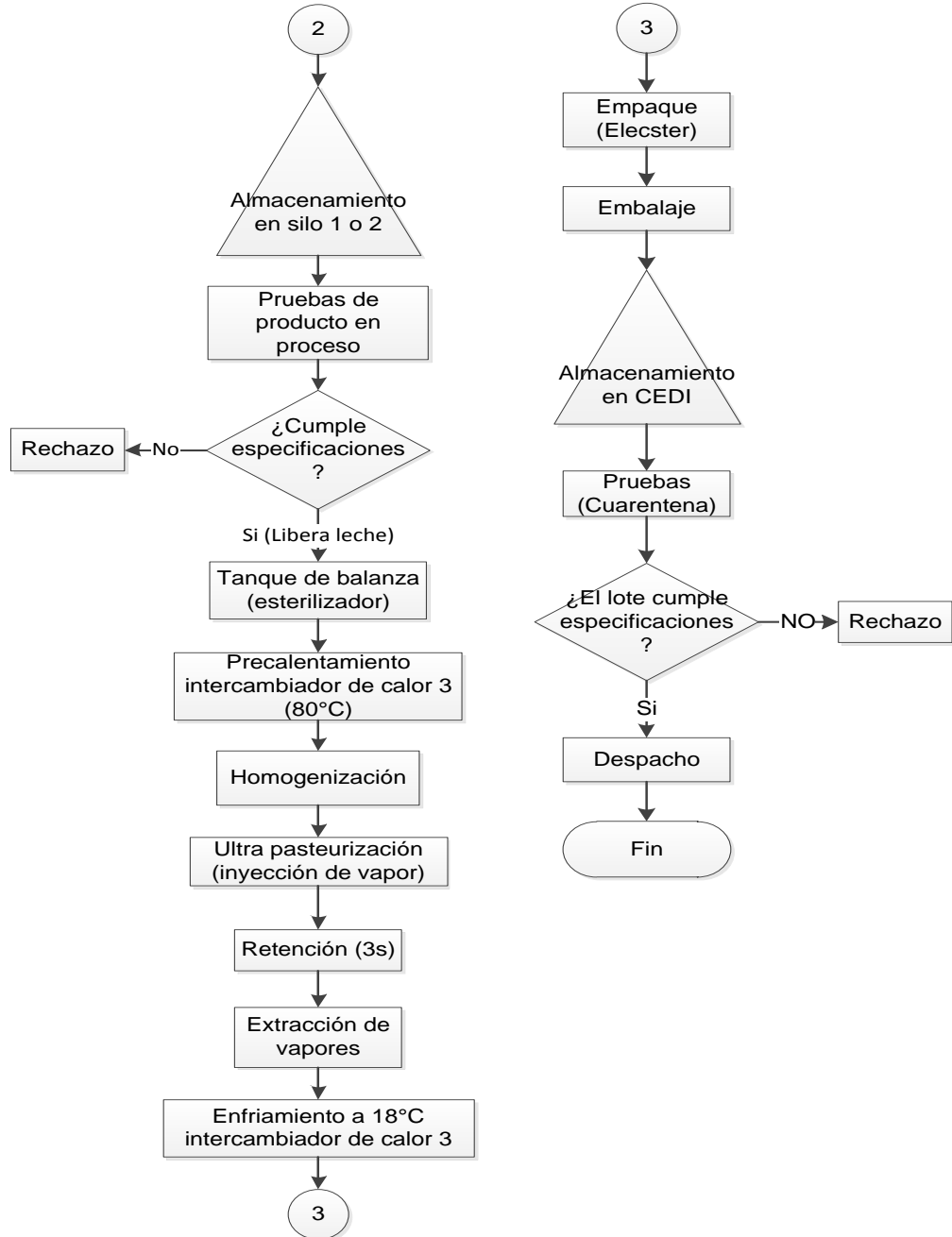
Figura 5. Flujo general referencias pasteurizadas



Fuente: Los Autores.

Para las referencias UHT el flujo es igual hasta el proceso de pasteurización dado que es un paso previo para realizar el tratamiento térmico a altas temperaturas y esterilizar la leche con el objetivo de darle un tiempo de duración mayor. Después de la pasteurización el flujo que siguen las referencias UHT es el siguiente:

Figura 6. Flujo referencias UHT después del proceso de pasteurización



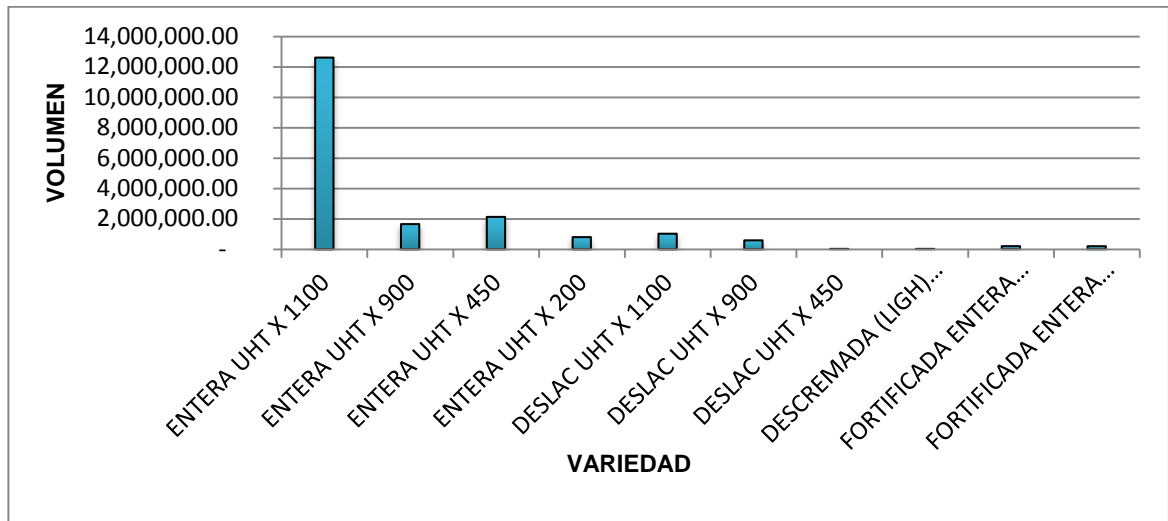
Fuente: Los Autores.

6.2 ANÁLISIS VOLUMEN-VARIEDAD

El procesamiento de materias primas se lleva a cabo en las instalaciones de la planta y esta a su vez debe estar diseñada de modo que facilite las operaciones

que allí se desempeñan, por lo que el diseño de la planta se encuentra determinado por el volumen de producción y la variedad de productos que se manejan. El análisis volumen-variedad se realizará contrastando el volumen en litros vendidos de cada referencia, en el último año completo de operación, es decir, 2011 (Anexo C). Este análisis determinará el tipo de sistema productivo que debe tener la empresa y las referencias que dominan el flujo dentro del sistema.

Figura 7. Grafico volumen-variedad



Fuente: Los Autores.

Tabla 1. Análisis ABC

Referencia	Demanda (Unid/año)	Valor (\$/Unid)	Volumen (\$/año)	Volumen anual (%)	Vol. acumulado (%)	Vol. acumulado (\$/año)	Clasificación (A,B,C)
ENTERA UHT X 1100	11,459,347	\$ 2,100.00	\$ 24,064,626,780.00	62.52%	62.52%	\$ 24,064,626,780.00	A
ENTERA UHT X 450	4,719,812	\$ 1,000.00	\$ 4,719,812,000.00	12.262%	74.78%	\$ 28,784,440,700.00	B
ENTERA UHT X 900	1,832,881	\$ 1,850.00	\$ 3,390,829,850.00	8.810%	83.59%	\$ 32,175,270,550.00	B
DESLAC UHT X 1100	924,862	\$ 2,300.00	\$ 2,127,182,600.00	5.527%	89.12%	\$ 34,302,453,150.00	B
ENTERA UHT X 200	3,954,391	\$ 500.00	\$ 1,982,195,500.00	5.150%	94.27%	\$ 36,284,648,650.00	C
DESLAC UHT X 900	646,044	\$ 2,100.00	\$ 1,356,692,400.00	3.525%	97.79%	\$ 37,641,341,050.00	C
FORTIFICADA ENTERA PASTEURIZADA X 450	433,472	\$ 1,000.00	\$ 433,471,717.58	1.126%	98.92%	\$ 38,074,812,767.58	C
FORTIFICADA ENTERA PASTEURIZADA X 1000	199,473	\$ 1,850.00	\$ 369,024,487.94	0.959%	99.88%	\$ 38,443,837,235.51	C
DESLAC UHT X 450	21,840	\$ 1,100.00	\$ 24,024,000.00	0.062%	99.94%	\$ 38,467,861,235.51	C
DESCREMADA (LIGH) UHT X 900	11,786	\$ 1,900.00	\$ 22,393,400.00	0.058%	100.00%	\$ 38,490,254,635.51	C
Costo total anual			\$ 38,490,254,635.51				

Fuente: Los Autores.

Como es posible observar en el gráfico volumen-variedad, las ventas totales de la línea UHT son mucho mayores a las ventas de la línea pasteurizada. Además, la referencia Entera UHT en su presentación 1100 mL, es la referencia con mayor volumen en litros vendidos y es el producto tipo A de acuerdo a la clasificación ABC. Por lo que el análisis sugiere que el tipo de distribución de planta debería ser por producto, ya que además de que hay poca variedad en cuanto al número de líneas y referencias, se fabrica un alto volumen de productos estandarizados sobre todo en las referencias Entera UHT. Además cada referencia de producto sigue exactamente la misma secuencia de operaciones dentro del flujo de producción, ya que la línea UHT requiere como paso previo la pasteurización. Las referencias se diferencian entre líneas una de otra por el porcentaje de grasa que contienen y por el contenido en litros del empaque, pero a nivel de operaciones la secuencia es la misma, por lo que siguen siempre la misma ruta dentro de la planta.

En una planta con distribución por producto lo más común es dedicar equipos para las referencias de producto con mayor participación en el volumen de ventas, es el caso de la línea UHT, para la cual se tiene una serie de equipos dedicados solo a la producción de estas referencias, tales como: un intercambiador de calor por placas, un esterilizador, un homogenizador, una campana de extracción de vapor y una empacadora especial para esta referencia. Lo anterior es una condición más que corrobora el tipo de sistema productivo que sugiere el análisis volumen-variedad, ya que para justificar tener equipos dedicados para una línea es necesario tener un volumen de demanda adecuado para obtener la mejor utilización de los equipos, por lo que la producción debe ser continua pues, usualmente mantener estos equipos implica un costo fijo alto representado en costos de alistamiento.

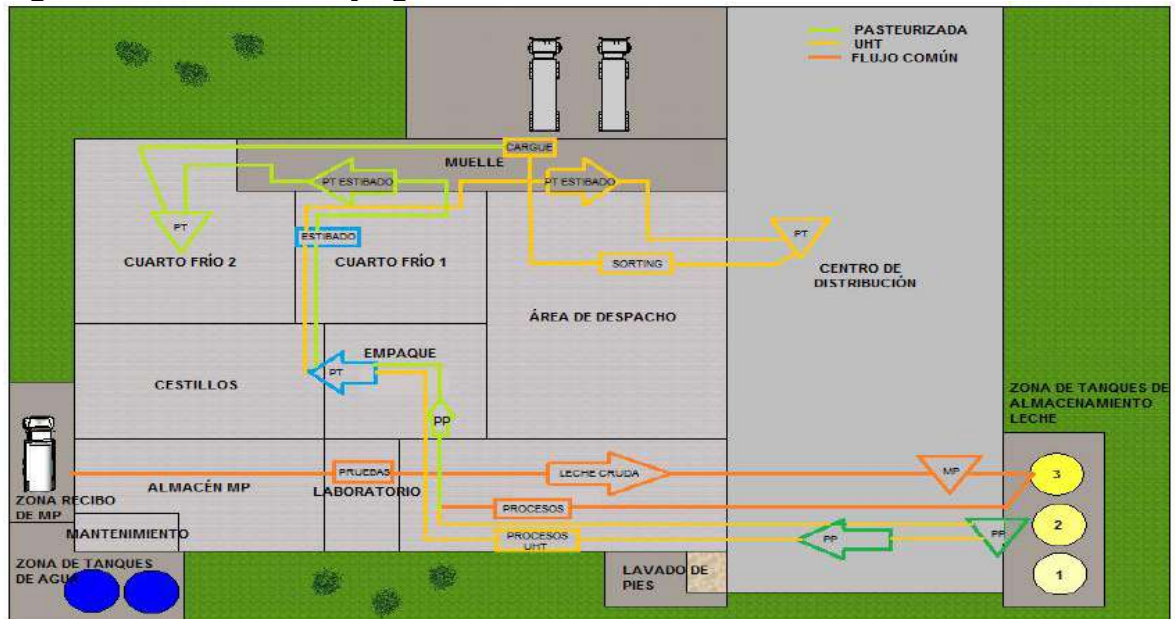
6.3 ANÁLISIS DEL FLUJO ENTRE DEPARTAMENTOS.

Las instalaciones de la planta productiva de la empresa Alfa Ltda. se encuentra dividida en 11 departamentos o áreas de trabajo. Entre los cuales se encuentran: recibo de materias primas, laboratorio, almacén de materias primas, zona de tanques de almacenamiento de leche, zona de tanques de almacenamiento de agua, procesos productivos, empaque, lavado de cestillos y perolas, cuartos fríos, centro de distribución y zona de despacho.

El personal de la empresa trabaja en turnos diferentes donde las personas que se encuentran en el área de procesos laboran tres turnos de 6 am a 2 pm, de 2 pm a 10 pm y de 10 pm a 6 am. Mientras que las personas que se encuentran en el área de empaque y CEDI laboran en dos turnos de 6 am a 6 pm y de 6 pm a 6 am.

Las personas encargadas de realizar los oficios diarios o limpieza laboran un solo turno de 6 Am a 6 pm.

Figura 8. Patrón de flujo general



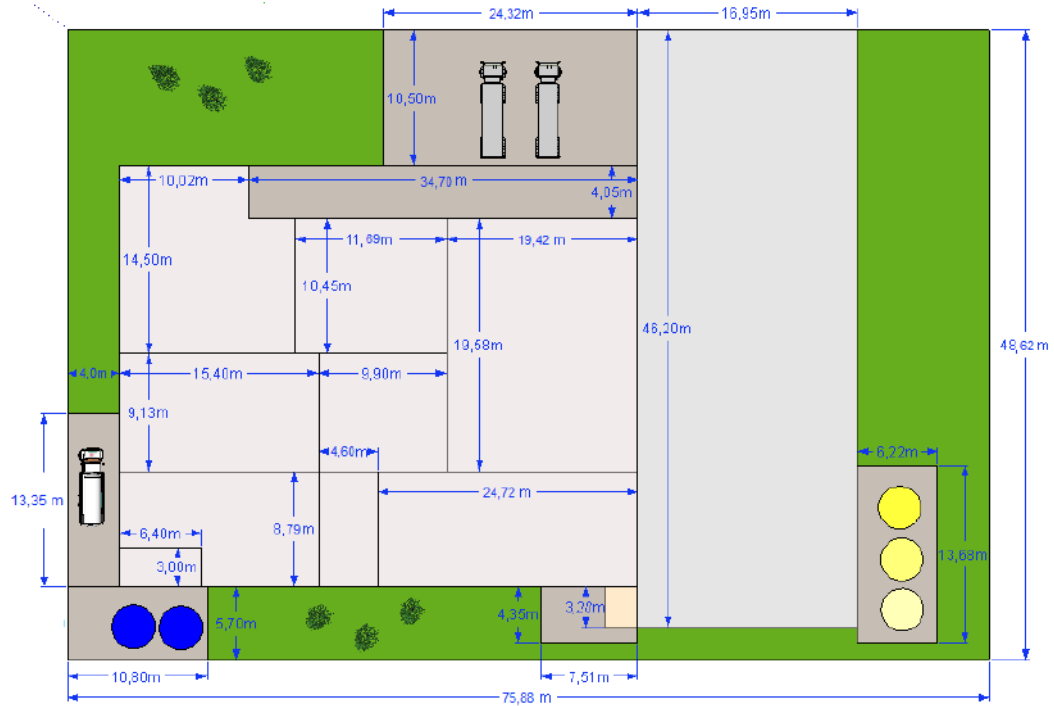
Fuente: Los Autores.

El patrón de flujo identificado para el proceso en general sigue un comportamiento en “W”. Se pueden observar cruce de materiales, excesivas distancias a recorrer entre departamentos, como por ejemplo, entre la zona de recibo de materia prima y los tanques de almacenamiento, la leche cruda va de extremo a extremo de la planta para devolverse e ingresar al área de procesos. Lo anterior da una posible sugerencia sobre acercar la zona de recibo a la zona de los tanques de almacenamiento. También se puede observar que se presenta un flujo mayor en la zona de despacho, puesto que no hay entrada directa del cuarto frío 1 al cuarto frío 2 para almacenar las referencias pasteurizadas y además las referencias UHT deben atravesar el muelle y la zona de despacho para ser almacenadas dentro del CEDI. Estos flujos se cruzan con las unidades que ya han sido liberadas o que ya han cumplido la cuarentena para ser despachadas y con las referencias producidas en otras plantas que llegan al CEDI, lo que causa un nivel de congestión en dicha zona.

6.3.1 Dimensiones de los departamentos. De acuerdo a la disposición en bloque mostrada en la Figura 9, la Tabla 2 muestra las dimensiones y el área

ocupada por cada departamento, así como el área total no construida alrededor de la disposición expuesta.

Figura 9. Disposición en bloque



Fuente: Los Autores.

Tabla 2. Dimensiones Layout

Áreas	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m ²)
Zona de recibo	13,35	4,00	53,40
Tanques de agua	10,80	5,70	61,56
Almacén de materias primas	15,40	8,79	135,37
Laboratorio	8,79	4,60	40,43
Procesos	24,72	8,79	217,29
Silo 3	4,56	6,22	28,36
Silo 1 y 2	6,22	9,12	56,73
Empaque	9,90	9,13	90,39
Cestillos y perolas	15,40	9,13	140,60
Cuarto frío 1	11,69	10,45	122,16
Cuarto frío 2	-	-	182,81

Despacho	19,58	19,42	380,24
Muelle	34,70	4,05	140,54
CEDI	46,20	16,95	783,09
Patio maniobra CEDI	24,32	10,50	255,36
Lavado pies	7,51	4,35	32,67
Área no construida	-	-	968,30
Área Total	75,88	48,62	3689,29

Fuente: Los Autores.

6.4 ANÁLISIS DEL FLUJO DENTRO DE LOS DEPARTAMENTOS.

Después de haber evaluado el flujo del proceso en general se procede a analizar y evaluar el flujo dentro de cada departamento, la disposición de los puestos de trabajo y equipos involucrados.

6.4.1 Zona de recibo de materias primas. A esta área llegan los insumos y materias primas requeridas para realizar el proceso productivo, entre ellas se encuentran los químicos requeridos, el material de empaque para ambas líneas de producto, estabilizantes, vitaminas, leche cruda etc. La recepción de materias primas como químicos y material de empaque se realiza en los turnos diurnos, mientras que la recepción de la leche cruda puede realizarse tanto en los turnos diurnos como nocturnos.

El proceso inicia cuando el conductor es reportado en portería, donde debe dejar los datos referentes al viaje y solicitar ser escoltado por el operario encargado hacia la planta donde se tiene tercerizado el pesaje. Si la materia prima que se recibe es material de empaque, productos químicos etc. el operario debe descargar el camión e ingresar las materias primas a la zona dedicada para su almacenamiento.

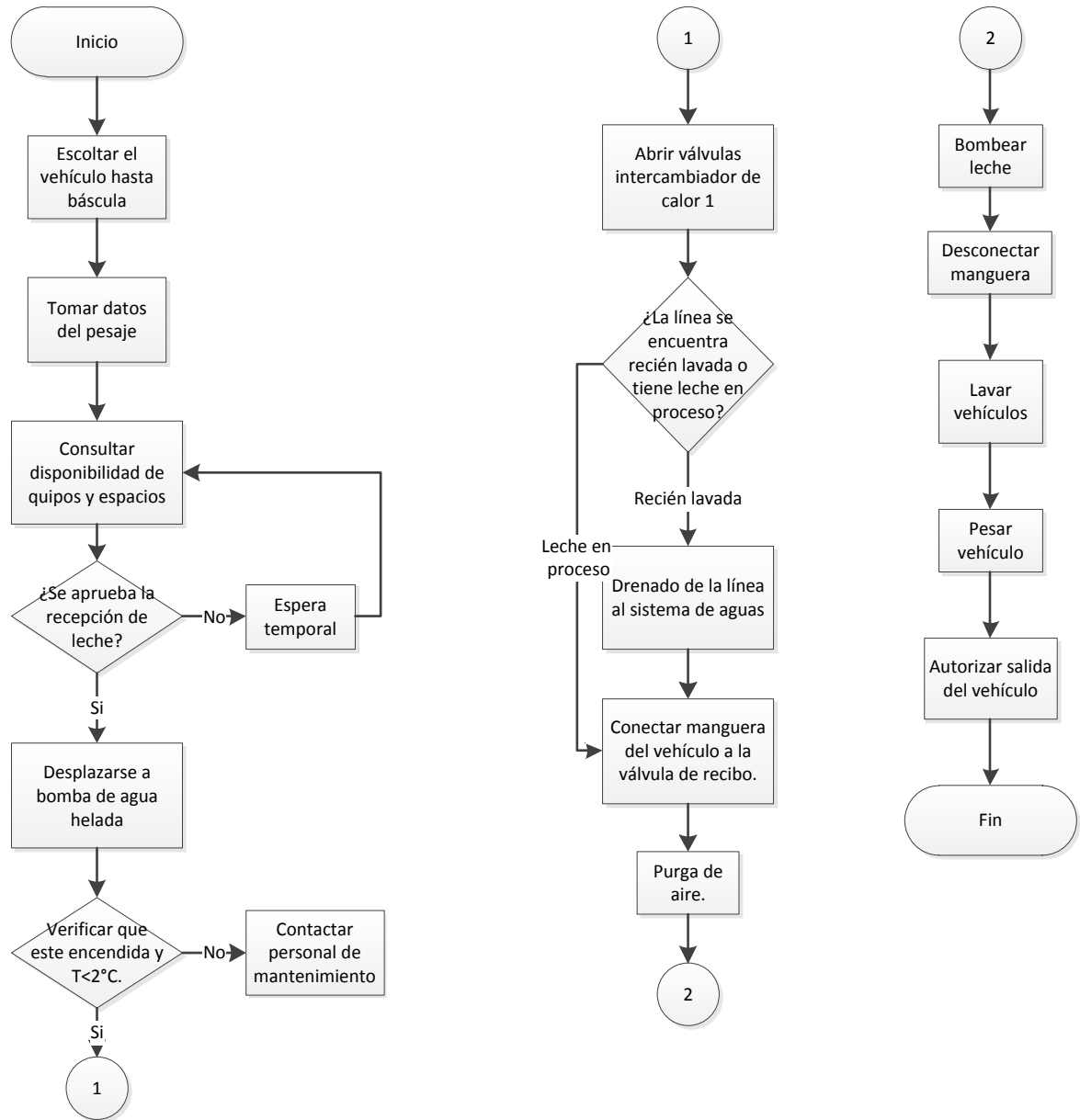
Si la materia prima es leche cruda tal como se explicó en el análisis del proceso general, después de haberse pesado el camión, este pasa a la zona de recibo donde el operario encargado consulta con el operario de proceso y supervisor de planta la disponibilidad de equipos y espacio en el silo de almacenamiento para aprobar la recepción de producto o detenerla temporalmente. Si se aprueba la recepción de leche cruda, el operario de proceso realiza la apertura de la válvula del silo de entrada y verifica que las válvulas de los otros silos se encuentren cerradas. Simultáneamente, el operario de recibo verifica que la temperatura del

banco de hielo no sobrepase los 2°C, en caso contrario, debe informar al personal de mantenimiento. También verifica que la bomba de agua helada se encuentre encendida, en caso afirmativo, se abren las válvulas del intercambiador de placas de recibo, primero se abre la salida y luego la entrada para no presurizar el intercambiador y se procede a encender la bomba desde el tablero del pasteurizador.

Para realizar la recepción de la leche cruda, la línea de recibo ya debe encontrarse lavada y desinfectada, por lo que el operario debe realizar el drenado de la línea al sistema de aguas residuales conectando una manguera a la línea del CIP (*clean in place*) y a la bomba, pero si la línea ya se encuentra con leche cruda el paso anterior es omitido. Después, el operario conecta una manguera de la válvula de salida del tanque del camión a la válvula de entrada de la bomba que lleva la leche a la zona de enfriamiento y realiza una purga de aire para evitar que la bomba trabaje en vacío. El operario debe esperar a que se bombee toda la leche de cada compartimiento del vehículo y controlar el proceso para evitar que la bomba trabaje en vacío una vez se haya recibido todo el producto. La leche es enviada al intercambiador de calor 1, donde se lleva a una temperatura de 4°C para ser almacenada en el silo 3.

Finalmente, el operario debe desconectar la manguera de los tanques y proceder con el lavado del vehículo según el programa de limpieza y desinfección establecido por la empresa. Después los camiones deben pesarse de nuevo.

Figura 10. Diagrama de flujo proceso de recibo leche cruda



Fuente: Los Autores.

6.4.2 Laboratorio. En el laboratorio se realizan todas las pruebas fisicoquímicas de la leche cruda, en proceso y ya terminada. Cuando los tanques llegan se realizan pruebas de estabilidad, crioscopia, grasa, alcohol, densidad, pH, acidez, etc., esto tiene una duración aproximada de 10 minutos. Si la leche cumple con los parámetros establecidos en las pruebas se le da un visto bueno y se acepta la leche cruda, si no, la leche cruda debe rechazarse.

Para el producto en proceso y producto terminado se realizan las mismas pruebas pero con especificaciones diferentes, de acuerdo con la referencias que se está procesando. Si la referencia es UHT, se debe realizar una siembra bacteriana y realizar una serie de pruebas para determinar que el producto es apto para salir al mercado. Estas pruebas se realizan en 48 horas y durante ese tiempo el producto permanece en el centro de distribución cumpliendo una cuarentena mientras los resultados de las pruebas concluyen. Si el producto cumple con todos los parámetros puede ser asignado a las órdenes de pedido de los clientes y despachadas posteriormente, si no, debe bloquearse el lote correspondiente. En el caso de la referencia pasteurizada al tener un tiempo de vida mucho menor, las pruebas en el laboratorio son inmediatas y el criterio de decisión es el mismo en caso de la aprobación o no aprobación.

6.4.3 Almacén de materias primas. En esta área se almacenan materias primas e insumos como químicos y material de empaque. El operario debe verificar con las órdenes de compra las cantidades recibidas de materia prima de cada referencia, después debe registrar el ingreso de las materias primas al almacén en el sistema de información. Cuando en el proceso productivo se requiere de alguna referencia de materia prima el operario deberá registrar la salida del sistema, especificando la cantidad y el lote de producción al que se carga.

6.4.4 Procesos productivos. El proceso comienza cuando a esta zona llega una orden de producción o requerimiento donde se indiquen las cantidades de leche a movilizar del silo de almacenamiento a la zona de procesos. Después, el operario y supervisor de planta deben verificar que las siguientes condiciones estén dadas para iniciar el proceso:

- Disponibilidad de equipos, espacios, materias primas, personal, etc.,
- Lavado de equipos: antes de iniciar procesos los equipos se encuentran lavados y apagados por lo que debe verificarse el tiempo que llevan en estas condiciones, si ha sido inferior a 4 horas debe realizarse una desinfección, pero si el tiempo es superior a 4 horas se debe realizar un lavado con soda según el procedimiento establecido.

Dentro de la planta se realizan dos tipos de lavado para la línea UHT: CIP total o parcial. El CIP parcial o intermedio es un lavado con soda (hidróxido de sodio) para drenar el contenido graso suspendido en los equipos y en la tubería. Este se realiza cada 12 horas de operación o como máximo cada 14 horas y tiene una duración de una hora. El CIP total se realiza cada 24 horas de operación y tiene

una duración de 5 horas, donde además de soda se agrega ácido nítrico para eliminar las incrustaciones de proteína en el equipo o en la tubería.

Para el equipo pasteurizador se realiza un lavado cada 12 o 14 horas de operación, el cual tiene una duración de 5 horas, donde se agrega soda y ácido para eliminar contenido graso e incrustaciones de proteína de la tubería y del equipo.

- Cantidad de vapor: debe estar mínimo a una presión de 90 psi.
- Cantidad de aire comprimido: debe estar a una presión 100 psi dentro del compresor.
- Cantidad de agua en los tanques de almacenamiento: mínimo 100.000 L.

Una vez realizado el alistamiento de los equipos y de haber recirculado el agua en los drenajes, se puede ingresar leche cruda proveniente del silo 3 hacia el tanque de balanza, en donde además se agregan otras sustancias como vitaminas, estabilizantes, etc. según la referencia programada para procesar. Esta mezcla pasa al intercambiador de calor 2, donde se realiza un precalentamiento antes de que la leche ingrese a la clarificadora. En la clarificadora el operario debe establecer los niveles de grasa de acuerdo a la referencia a procesar. Si la referencia es entera el porcentaje de grasa es de 3%, si es semidescremada el porcentaje de grasa está entre 1.5% y 1.7% y si la referencia es descremada el porcentaje de grasa está entre 0% y 0,5%. Posteriormente la leche ya estandarizada pasa al equipo homogenizador de dos fases, con el fin de buscar una uniformidad en el tamaño de los glóbulos de grasa. En este equipo el operario debe cerrar las válvulas del bypass y subir la presión, de 0 a 1000 psi en la etapa 1, y en la etapa dos hasta los 1800 psi.

Después del equipo homogenizador la leche pasa al intercambiador de calor 2 para ser llevada a una temperatura de 80°C durante 3 segundos. En este paso el operario debe estar monitoreando el tablero de control de la temperatura, en caso de que el tablero muestre una caída de la temperatura el operario debe recircular la leche presente en la tubería y programa un CIP total inmediatamente para iniciar de nuevo.

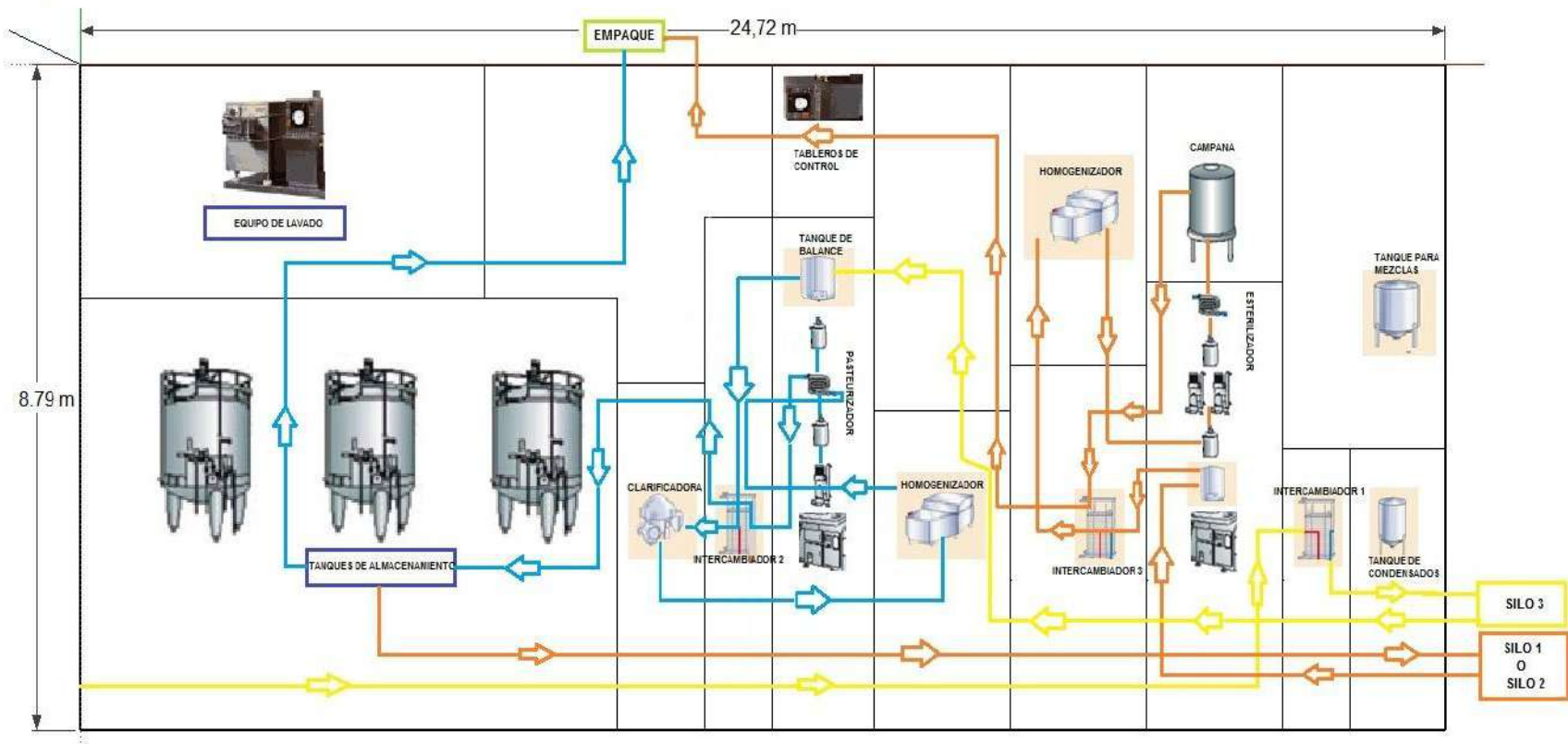
Luego de que la leche ha pasado por el tratamiento térmico de pasteurización, de la zona de retención pasa de nuevo al intercambiador de calor donde se enfría a

4°C para pasar a los tanques de almacenamiento y posteriormente a la zona de empaque es caso de que la referencia pertenezca a la línea pasteurizada. Si la referencia es UHT la leche ya pasteurizada pasa a los silos de almacenamiento (1 y 2) a menos que la referencia sea UHT semidescremada deslactosada que al tener una demanda menor es almacenada en los tanques para pasar directamente al equipo utilizado para realizar el tratamiento térmico ultra alta temperatura (UHT).

Cuando se programa una referencia UHT diferente de la semidescremada deslactosada, la leche llega de los tanques de almacenamiento al tanque de balance donde se regula el caudal de entrada, después pasa al intercambiador de calor 3 donde se realiza un precalentamiento antes de pasar al homogenizador. En el homogenizador el operario debe incrementar la presión a 3000 psi.

A continuación la leche pasa al esterilizador, donde el operario debe monitorear el tablero de control de la temperatura constantemente. Después del tratamiento térmico UHT la leche pasa a la campana de extracción donde a través de un sistema de vacío se elimina el vapor que fue inyectado para elevar la temperatura. Finalmente la leche pasa al intercambiador de calor donde es enfriada a 18°C para posteriormente pasar a los silos de almacenamiento, tanques o directamente a la zona de empaque.

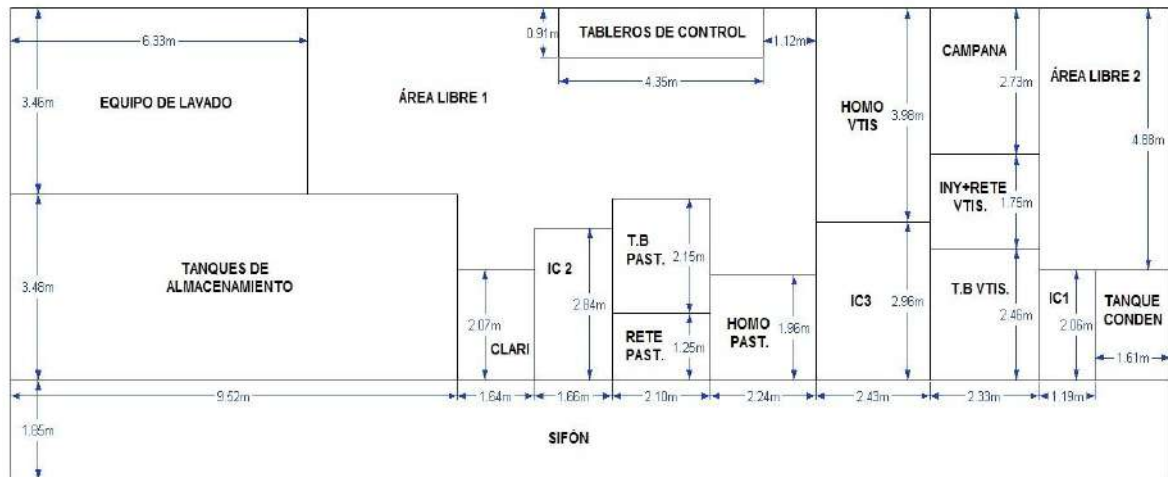
Figura 11. Flujo área de procesos



Fuente: Los Autores.

6.4.4.1 Áreas ocupadas por los equipos y espacios libres. De acuerdo a la disposición detallada del área de procesos representada en la Figura 12, la Tabla 3 muestra las dimensiones de cada equipo y el espacio ocupado por el mismo, estas dimensiones incluyen el espacio requerido por los pasillos que separan cada área, también muestra las dimensiones de algunos espacios libres.

Figura 12. Disposición acotada del área procesos



Fuente: Los Autores.

Tabla 3. Dimensiones área procesos

Disposición detallada			
Áreas	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m ²)
Intercambiador 1	2,06	1,19	2,45
Tanque balanza pasteurizador	2,15	2,10	4,52
Intercambiador 2	2,84	1,66	4,71
Clarificadora	2,07	1,64	3,39
Homogenizador pasteurizador	1,96	2,24	4,39
Retención pasteurizador	2,10	1,25	2,50
Tanques de almacenamiento	9,52	3,48	33,13
Tanque balanza VTIS	2,46	2,33	5,73
Intercambiador 3	2,96	2,43	7,19
Homogenizador VTIS	3,98	2,43	9,67
Inyección de vapor y retención	2,33	1,75	4,08
Campana de extracción	2,73	2,33	6,36
Equipo de lavado	6,33	3,46	21,90

Tableros de control	4,35	0,91	3,96
Tanque condensados	2,06	1,61	3,32
Área libre 1	-	-	40,46
Área libre 2	4,88	2,80	13,66
Sifón (pasillo)	24,72	1,85	45,73
Área Total	24,72	8,79	217,16

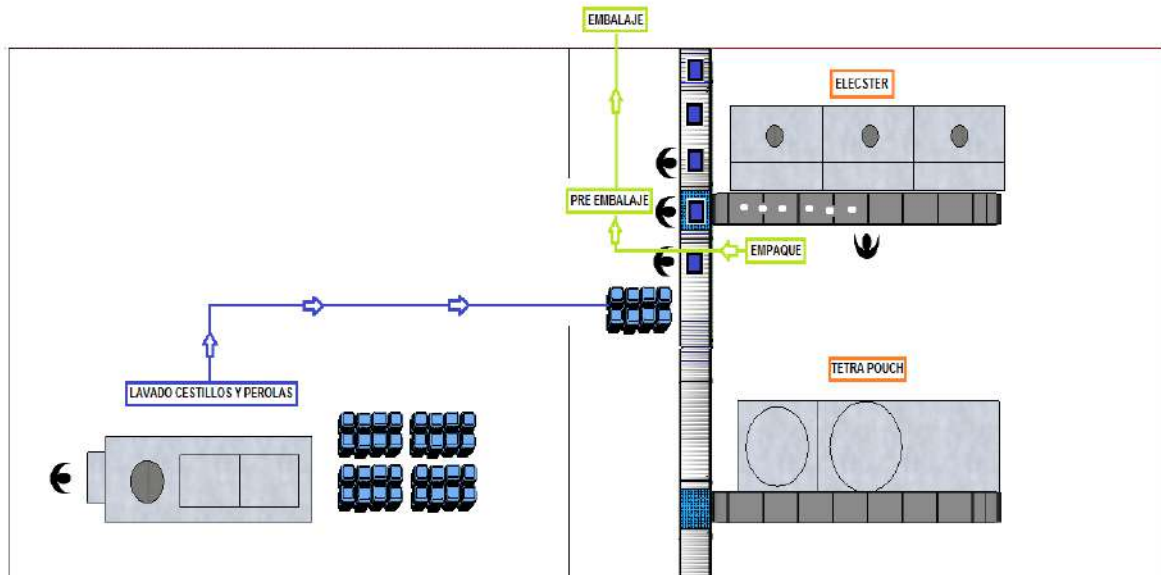
Fuente: Los Autores.

6.4.5 Empaque. Una vez que la leche ya está procesada pasa a la zona de empaque, en la cual se encuentran dos máquinas; la Tetra Pouch y la Elecster. Si las unidades a ser empacadas corresponden a la línea pasteurizada se emplea Tetra Pouch, si son de la UHT se utiliza la Elecster. Cabe aclarar que antes del empaque, las máquinas deben estar previamente lavadas y esterilizadas. Las máquinas son esterilizadas por medio de altas temperaturas, usando peróxido de hidrógeno en el proceso. El conducto a través del cual pasa la leche es completamente hermético para así evitar contaminaciones.

El material de empaque (rollo o bobina) se esteriliza con H₂O dentro de la cámara aséptica y se configura en forma de cilindro para conectarlo al final del conducto (tubería) por el que pasa la leche. Posteriormente, se lleva a cabo el llenado, sellado y corte del empaque. Las máquinas poseen diferentes boquillas o cabezales para tener la capacidad de empacar más de una presentación (200 mL, 900 mL, 1100mL, etc) para una misma línea. Una vez el producto es empacado, pasa a una banda transportadora que lo lleva al área de pre embalaje, durante el paso a lo largo de la banda, el operario revisa el estado de la unidad empacada con el fin de identificar posibles defectos, de ser así, la unidad es retirada de la línea para posteriormente ser reprocesada.

Las referencias son envasadas en dos tipos de empaques; EVOH y la bolsa de polietileno. El empaque EVOH (Etilen-Vinil-Alcohol), es un polímero termoplástico multicapa, utilizado para empacar la leche UHT. Debido a sus propiedades, es un polímero que actúa como barrera al oxígeno, permitiendo así que aumente aún más la vida de la leche. En contraste, el empaque de polietileno es más permeable al paso del oxígeno y la luz, generando reacciones de degradación en el producto de forma más temprana.

Figura 13. Disposición detallada área de empaque y cestillos.



Fuente: Los Autores.

6.3.2.6 Cestillos. El proceso de empaque comprende a la línea UHT y pasteurizada en todas sus referencias y presentaciones. Se realiza a diario cada vez que haya producción. La compañía cuenta con cuatro tipos de unidades para llevar a cabo el empaque de las referencias; perolas azules y anaranjadas, y cestillos azules y anaranjados, unidades que deben estar previamente lavadas.

Cuando el producto es empacado en bolsas individuales (presentaciones de 200, 450, 900 y 1100 mL), pasan por una banda transportadora, la cual tiene como destino la zona de cestillos. En la zona de cestillos se ubica un operario por cada cabezal de la máquina de empaque para recibir las unidades y crear la unidad de carga primaria. El número de unidades que contiene la unidad de carga por presentación son 16 para 1100 mL, 20 para la de 900 mL, 40 para 450 mL y 80 para la de 200 mL, las unidades embaladas deben ir en bolsa *Stomach*; bolsas transparentes de polietileno.

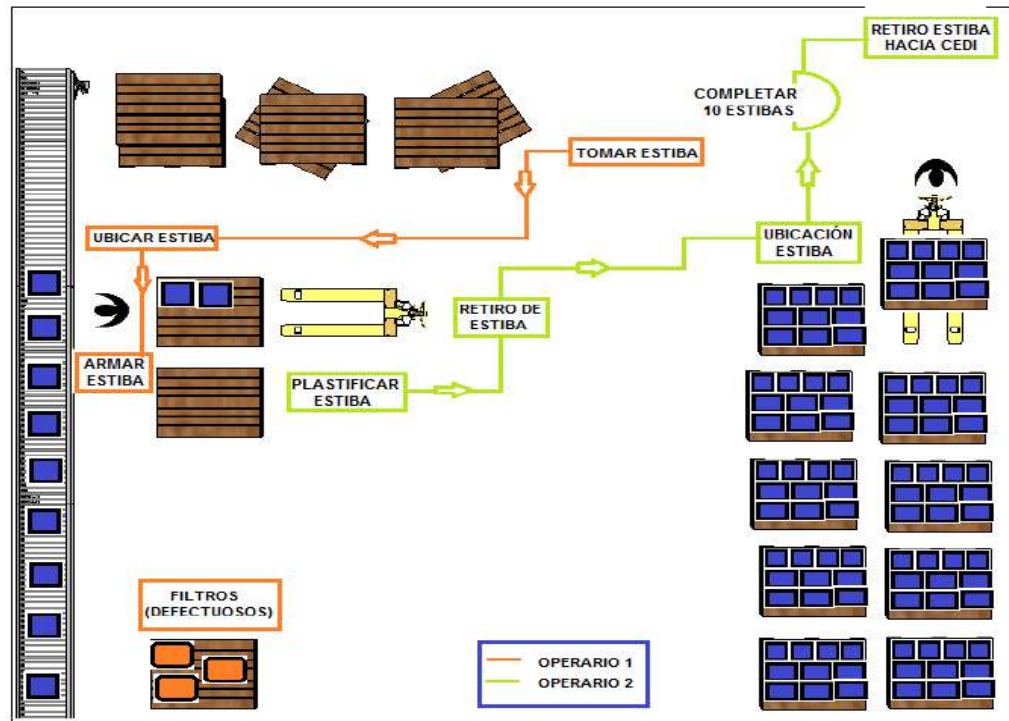
Una vez que el cestillo o perola está listo, se procede a estibarlos (empaque secundario) con el fin de configurar estibas con la misma presentación. El estibado depende de la unidad de carga primaria utilizada, cestillos o perolas. En caso de haberse usado cestillos, se pueden apilar hasta 60 cestillos por estiba, en cambio si se usaron perolas, se arman estibas de 45 perolas. Luego de la configuración de la estiba, un operario la inspecciona revisando que no existan fugas dentro de

esta. En caso de presentarse alguna fuga, el cestillo o perola es retirado de la estiba. Si no existen fugas, el operario transporta la estiba hasta el centro de distribución si son referencias pertenecientes a la línea UHT, o al cuarto frío si es alguna referencia de la línea pasteurizada. El operario encargado de la ubicación de las estibas debe registrar la referencia y cantidad contenida en cada una. Con el fin de identificar las estibas y llevar un control de las cantidades que serán almacenadas.

6.3.2.6 Área de embalaje. Este proceso se lleva a cabo de forma diaria de acuerdo a la programación de producción. Cada vez que se acumulen 10 estibas en la zona de estibado, el operario procede al transporte a las bodegas; centro de distribución si son referencias pertenecientes a la línea UHT, o cuarto frío si es alguna referencia de la línea pasteurizada. Antes de realizar el transporte debe volverse a verificar que las estibas estén completas y que no existan fugas. Después se registra la entrada de las estibas a la zona de almacenamiento donde estarán alrededor de dos días a la espera de los resultados de la cuarentena. La cuarentena es un tiempo durante el cual calidad realiza pruebas al lote con el fin de garantizar que cumpla con los parámetros establecidos por la empresa; parámetros relacionados con el nivel de microorganismos presentes, concentraciones de grasa, temperaturas, etc.

Con base en lo anterior, es necesario que en el proceso de almacenamiento de producto terminado se diferencien las unidades que están en período de cuarentena de las que ya están disponibles. Para ello cuando un lote entra a la zona de almacenamiento se registra y se marca con un rotulo color naranja con la leyenda cuarentena. Si en los resultados de calidad no existe una no conformidad, el departamento de calidad, vía mail, informa al coordinador logístico y supervisor de producción el estado del lote y lo califica como apto. Se procede a la liberación del lote. Para ello, se aplica el procedimiento de liberación (Liberación del lote) por sistemas, en el cual se utiliza los códigos asignados a cada referencia, y se registran como unidades disponibles para su posterior despacho.

Figura 14. Disposición detallada área de embalaje (Cuarto frío 1)



Fuente: Los Autores.

6.3.2.6 Zona de despacho. En el proceso de despacho se consideran todas las unidades que están registradas como disponibles. Una vez entra el pedido del cliente, el operario va en busca de las unidades almacenadas, ya sea al cuarto frío o al centro de distribución. En caso de que el pedido contenga unidades almacenadas en el centro de distribución, es necesario analizar la ubicación de éstas, pues si están en la zona de arrume negro, el operario utilizará una transpaleta manual hidráulica para su manejo, pero si se encuentran en las estanterías, es necesario de un montacargas para extraer las estibas y darle un manejo posterior con la transpaleta. Ya cuando las unidades están ubicadas en la zona de despacho, se procede a consolidar la orden del cliente y al cargue de los camiones, de forma simultánea se lleva a cabo el registro del despacho.

6.5 SISTEMA DE MANEJO DE MATERIALES

Es importante realizar un análisis del sistema de manejo de materiales puesto que determinará las necesidades de espacio entre departamentos, máquinas y

puestos de trabajo, además es un factor importante para lograr una mayor productividad en las operaciones, dado que facilita el movimiento efectivo de materias primas, producto en proceso y producto terminado entre y dentro de los departamentos de las instalaciones.

El sistema de manejo de materiales se puede dividir en tres partes; la primera hace referencia al manejo de todos los insumos requeridos durante el proceso como químicos y material de empaque, la segunda tiene que ver con el manejo de la leche cruda y en proceso, y la tercera parte hace referencia al manejo del producto terminado como tal, es decir, la leche empacada, embalada y lista para ser distribuida. La división muestra que el manejo de materiales es diferente en cada etapa del proceso,

A continuación se presenta una tabla en la que se exponen los equipos y unidades de carga utilizados para transportar bien sea materiales, leche cruda, en proceso o ya terminada de un departamento a otro.

Tabla 4. Sistema de manejo de materiales

Área (Desde)	Llega	Sale	Área (Hacia)	Equipo	Unidad de carga
Recibo de materias primas	Leche cruda	Leche cruda	Procesos	Tubería	-
	Otras MP (Químicos-material de empaque)	Otras MP (Químicos-material de empaque)	Almacén de MP	Carretilla manual	Empaque primario
Almacén de MP	Químicos	Químicos	Procesos	Carretilla manual	Empaque primario
	Material de empaque	Material de empaque	Empaque	Carretilla manual	Empaque primario (Rollos)
Procesos productivos	Leche cruda	Leche procesada	Empaque	Tubería	-
	Químicos				
Empaque	Leche procesada y material de empaque	Leche empacada	Cestillos y perolas	Banda transportadora de correa	Empaque primario (Bolsas)
Cestillos y perolas	Leche empacada	Leche pre estibada	Cuarto frío 1 (zona de estibado)	Banda transportadora de rodillos	Cestillos o perolas
Cuarto frío 1	Leche pre estibada	Leche estibada	Cuarto frío 2 o CEDI	Transpaleta manual	Estiba
Cuarto frío 2	Leche estibada	Leche estibada	Zona de despacho	Transpaleta manual	Estiba
Centro de distribución	Leche estibada	Leche estibada	Zona de despacho	Montacargas de contrapeso o transpaleta manual	Estiba

Fuente: Los Autores.

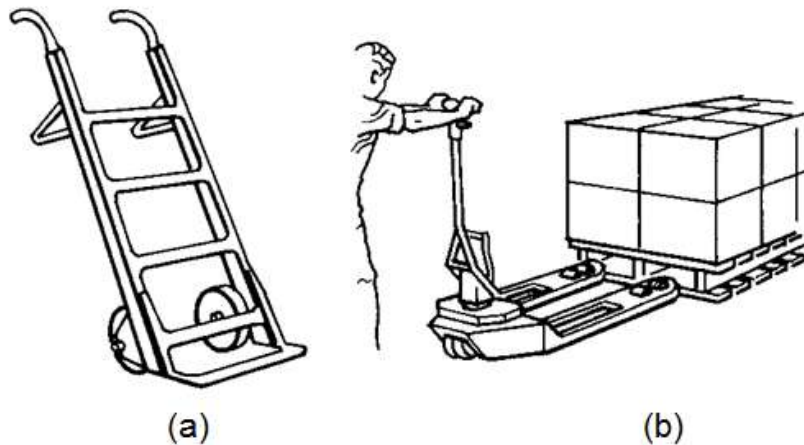
6.5.1 Equipo. En Alfa Ltda. el sistema para el manejo de leche ya sea cruda o en proceso, se realiza a través de tuberías y sistemas de bombeo, que a pesar de ser

un sistema costoso en términos de instalación y mantenimiento, el beneficio se encuentra representado en el costo de circulación y movimiento de leche después de su implementación. Dado que permite manejar altos volúmenes de producto con un flujo continuo entre departamentos, además de conectar todas las áreas de la planta sin ocupar mayor espacio, el transporte es simple y el sistema puede ser manejado por un solo operario lo que representa un gran ahorro en el costo de la mano de obra requerida.

Para el manejo de materias primas diferentes a la leche cruda como conservantes, vitaminas, enzimas y otros componentes químicos agregados a la leche durante su procesamiento, se hace uso de carretillas manuales (ver Figura 15 a). Mientras que en la zona de empaque y embalaje se hace uso de transpaleta manuales (ver Figura 15 b) para transportar estibas con unidades defectuosas por inconformidades en el empaque o con unidades de producto ya terminado y listas para ser llevadas hacia el centro de distribución o hacia el cuarto frío.

En éste momento la empresa cuenta con 6 transpaletas manuales; 1 para materia prima, 1 para la zona de estibado, 1 para el cuarto frío, 2 para la zona de despacho, y 1 de repuesto. Dentro de lo analizado en las instalaciones, se evidencia que la disponibilidad de las transpaletas para el desempeño de las actividades en cada zona es de suma importancia, pues en determinados días picos, todas las transpaletas son utilizadas, y en muchas ocasiones los operarios deben pedir prestado el equipo a otras áreas, por ejemplo, los operarios de despacho piden el equipo prestado a los operarios de la zona de estibado. Lo anterior genera congestiones en la zona que cede el equipo, en caso de que este no sea devuelto a tiempo. De igual forma el mantenimiento de los equipos también es importante, debido a que su constante uso lo hace más propensos a sufrir averías y daños.

Figura 15. Carretilla y transpaleta manual



Fuente: CICMHE. *Material handling equipment taxonomy*. [En línea]. 1999. [Citado 14-Jun-2012]. Disponible en internet: <http://www.ise.ncsu.edu/kay/mhetax/>.

El producto ya empacado pasa a la zona de cestillos y perolas a través de una banda transportadora de correa plana, la cual facilita el control de la ubicación de la carga a lo largo de la banda, debido a la fricción que existe entre el producto y la correa. Este aspecto es muy importante porque a medida que las unidades avanzan por la banda el operario de empaque realiza un control de calidad y va retirando las unidades con inconformidades en el empaque. Además este tipo de banda evita que las unidades se acumulen en un único punto durante el transporte, lo que impide que las unidades caigan al suelo y se contaminen o en su defecto se rompan.

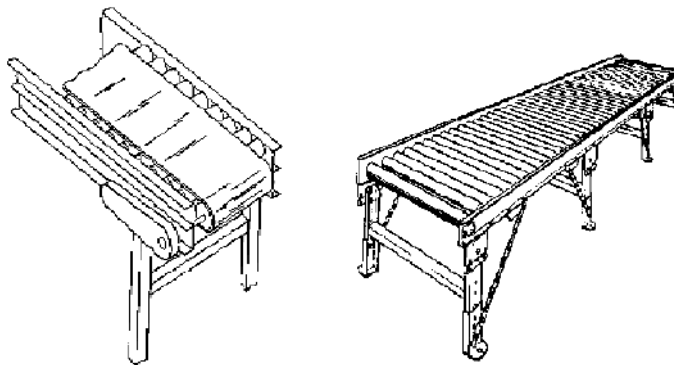
De la zona de pre embalaje, las unidades pasan en cestillos o perolas hacia la zona de estibado (cuarto frío 1) a través de una banda transportadora de rodillos, la cual es eléctrica hasta antes de ingresar a la zona de estibado, ya que en dicha zona la banda se encuentra inclinada para que las unidades se muevan haciendo uso del impulso inicial de la parte eléctrica y la fuerza gravitacional. Este tipo de bandas generalmente es utilizada para acumular cargas y realizar operaciones de clasificación, como lo es en este caso donde el operario va armando la estiba con los cestillos o perolas que se van acumulando en la banda.

Para hacer uso de este tipo de bandas las unidades que se transportan a través de ellas deben tener superficies rígidas con el fin de que no se deterioren por el frecuente contacto con los rodillos. En éste caso, la empresa acierta al usar las perolas y los cestillos como unidad de carga.

En general, la elección del tipo de banda transportadora es correcto para cada caso, sin embargo se recomendaría que la banda que une la zona de pre embalaje con la zona de embalaje fuera totalmente eléctrica, pues se observó que las unidades quedan estancadas al final del tramo eléctrico de la banda transportadora y el operario que se encuentra estibando en el cuarto frío uno debe desplazarse hacia este punto para impulsar las unidades hacia él, y lo ideal sería que las unidades lleguen solas a él, de este modo se eliminan movimientos innecesarios y tiempos poco productivos.

También se logró observar que faltan rodillos en la banda, y como consecuencia de ello ubican algunos de forma transversal para eliminar el espacio del rodillo faltante, posiblemente las unidades quedan estancadas por tal motivo y además de ello reduce la velocidad de la banda, se calcula que la velocidad nominal de la banda debería ser 11m/min (metros por minuto), de acuerdo a las revoluciones de salida del motor y a la circunferencia del rodillo que mueve la correa para hacer mover los rodillos más pequeños. Sin embargo para determinar la velocidad real de la banda, se determina cuanto tiempo toma un cestillo para recorrer un metro, y se llega a que la velocidad real es de 9 m/min.

Figura 16. Banda transportadora de correa y de rodillos.

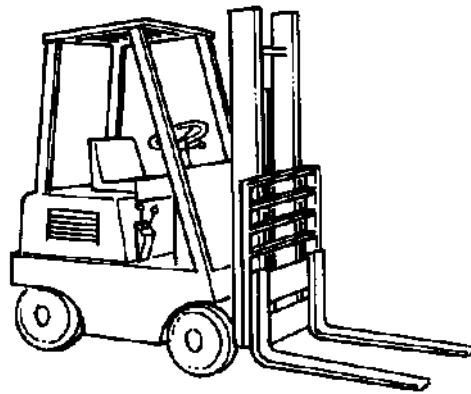


Fuente: CICMHE. *Material handling equipment taxonomy*. [En línea]. 1999. [Citado 14-Jun-2012]. Disponible en internet: <http://www.ise.ncsu.edu/kay/mhetax/>.

En el centro de distribución además de las transpaletas manuales se tiene un montacargas de contrapeso, para almacenar o retirar las estibas de las posiciones de estantería en niveles superiores y llevarlas a la zona de despacho. En Alfa Ltda. el mayor número de despachos se presenta en las últimas dos semanas del mes, puesto que los volúmenes de producción incrementan, por lo que se logró

observar que durante estas semanas el montacargas no es suficiente para mover las cantidades requeridas, y se genera acumulación de inventario en proceso no solo en el CEDI y en la zona de despacho, sino también en la zona de embalaje, ya que el operario de esta zona no puede trasladar las estibas terminadas a los pasillos del CEDI hasta que se libere espacio, ubicando las estibas que se encuentran en los pasillos, en la estantería.

Figura 17. Montacargas de contrapeso



Fuente: CICMHE. *Material handling equipment taxonomy*. [En línea]. 1999. [Citado 14-Jun-2012]. Disponible en internet: <http://www.ise.ncsu.edu/kay/mhetax/>.

6.5.2 Unidad de carga. En la zona de pre embalaje se utilizan dos unidades de carga para producto terminado: perolas y cestillos. Ambas tienen la misma capacidad contenedora pero las perolas en la parte exterior son más grandes que los cestillos. A su vez se manejan dos tipos diferentes de perolas: azules y naranjas, aunque realmente son las perolas azules las que se utilizan para armar la estiba de producto terminado, las perolas naranjas se utilizan para albergar las unidades que presentan defectos en el empaque o unidades que se caen de la banda y se contaminan.

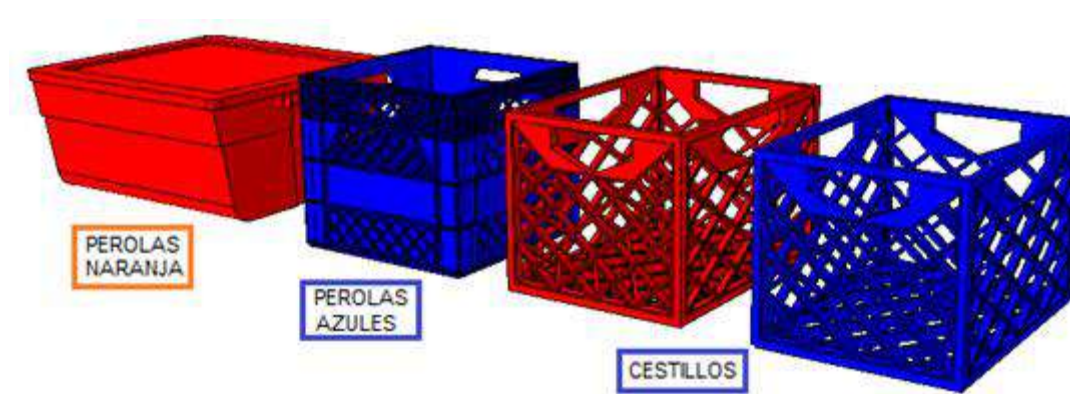
Estas unidades de carga pueden ser catalogadas como primarias puesto que con ellas se arma una segunda unidad de carga más grande: estibas.

Tabla 5. Capacidad contenedora de cestillos o perolas

Referencia	Capacidad contenedora (unidades)
1100 mL	16
1000 mL	16
900 mL	20
450 mL	40
200 mL	80

Fuente: Los Autores.

Figura 18. Perolas y cestillos



Fuente: Los Autores.

Tabla 6. Dimensiones cestillos y perolas azules

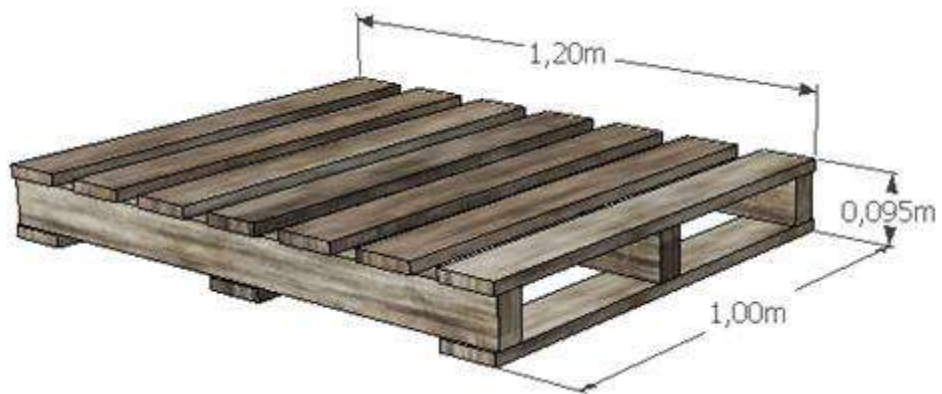
	Cestillos	Perolas Azules
Largo (cm)	39,5	33
Alto (cm)	25	28
Ancho (cm)	30	33

Fuente: Los Autores.

En la zona de estibado se forman a su vez dos unidades de carga: estibas con perolas o cestillos. Esta es la unidad de carga secundaria y es la que se utiliza para almacenar y distribuir el producto final. Aunque generalmente para la

referencia que domina la línea (entera por 1100 mL) se utilizan cestillos para armar la estiba final. La empresa solo posee estibas de madera con las dimensiones mostradas en la Figura 19.

Figura 19. Estiba



Fuente: Los Autores.

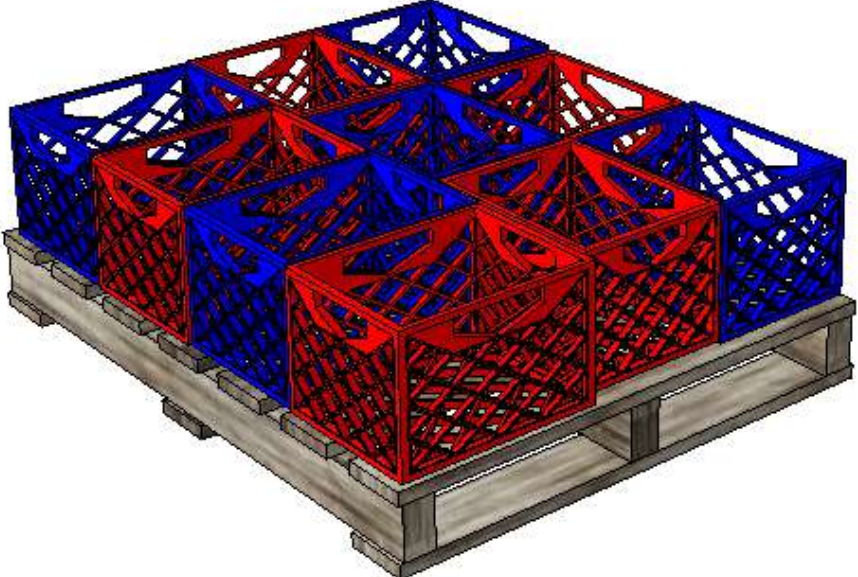
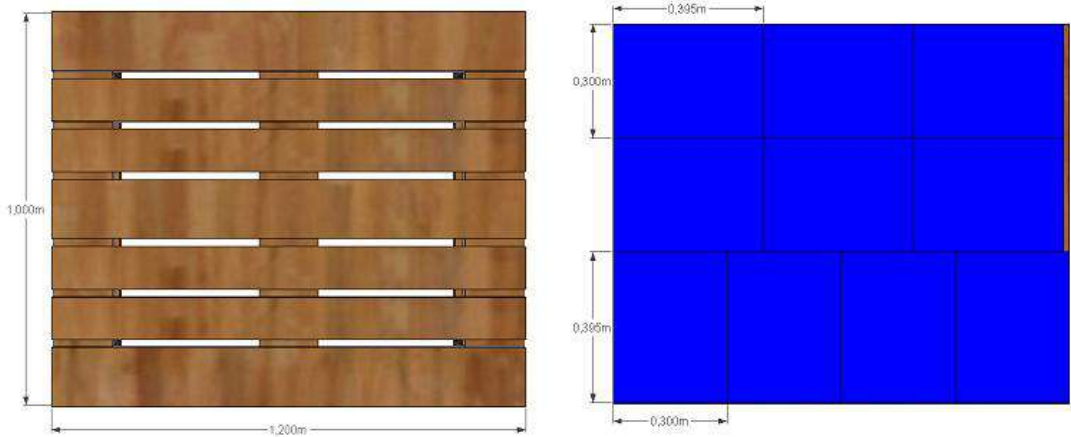
Tabla 7. Dimensiones estiba con cestillos o perolas azules

	Estiba con cestillos		Estiba con perolas
Largo (cm)	120	Largo (cm)	120
Alto (cm)	159,5	Alto (cm)	149,5
Ancho (cm)	100	Ancho (cm)	100
Tendidos	6	Tendidos	5
Cestillos/tendido	10	Perolas/tendido	9
Total cestillos	60	Total Perolas	45

Fuente: Los Autores.

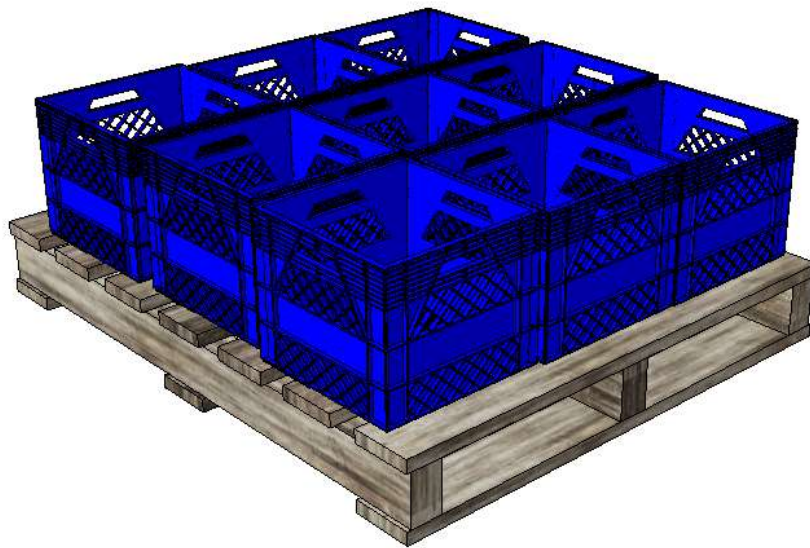
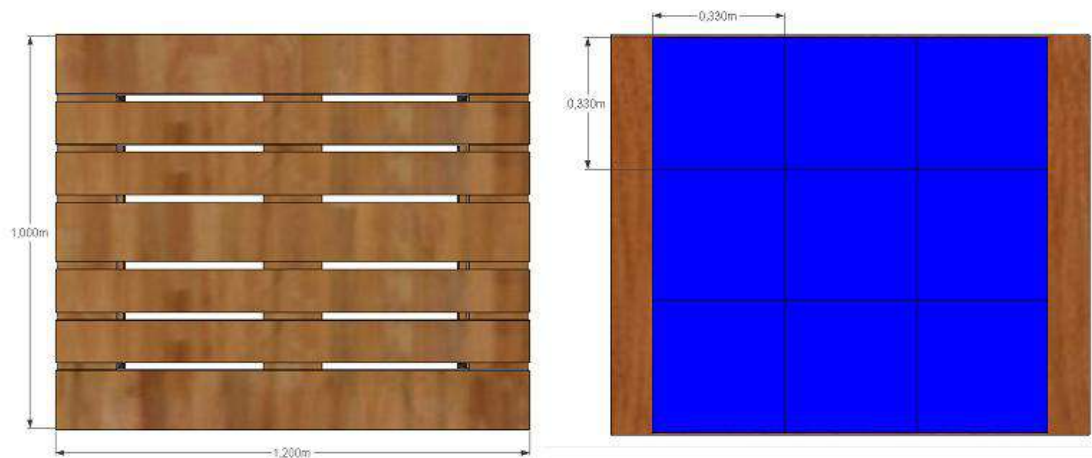
De acuerdo a la carga unitaria formada en la zona de pre embalaje (cestillos o perolas), la configuración de la estiba se realiza de la siguiente forma:

Figura 20. Estiba con cestillos vista superior



Fuente: Los Autores.

Figura 21. Estiba con perolas azules vista superior



Fuente: Los Autores.

Con las dimensiones anteriores es posible determinar el espacio mínimo requerido entre máquinas o puestos de trabajo por los que circulan las unidades de carga, dichos espacios fueron añadidos al espacio del departamento o área para generar la disposición en bloque mostrada anteriormente (ver Figura 9).

Para la configuración de las estibas, se puede ver que cuando se usan cestillos se aprovecha el 100% de ésta, en cambio, cuando se usan perolas, debido a sus dimensiones, se desaprovecha el 17,91% del área disponible en una estiba. Además, se estiba un 25% menos de producto (bolsas de leche), debido a que las

perolas tienen un peso mayor respecto al cestillo y por ende se puede apilar menos.

6.6 ESTUDIO DE TIEMPOS

El análisis detallado del proceso productivo, del sistema de manejo de materiales, y la caracterización geométrica de la disposición actual permitió identificar los patrones de flujo entre y dentro de los departamentos, necesario para construir la matriz de flujo “desde-hacia”. Por lo que ahora es necesario cuantificar el flujo de leche de la referencia identificada como dominante, para posteriormente generar las diferentes alternativas de diseño de planta.

En Alfa Ltda la mayoría de procesos involucrados es automatizado y el caudal o flujo de leche está dado por el equipo con menor capacidad, en este caso, los homogenizadores. Es por esto que el sistema de bombeo se encuentra configurado para dicha capacidad, aunque después del empaque en el equipo Elecster, las operaciones son totalmente manuales. Con base en lo anterior, es necesario realizar un estudio de tiempos de las actividades efectuadas entre y dentro de los departamentos posteriores a la zona de empaque, es decir, **pre embalaje** (realizado en la zona de cestillos y perolas), **embalaje** (realizado en el cuarto frío 1) y el **traslado de la leche** estibada y lista para ser distribuida al CEDI. A través del estudio será posible cuantificar el flujo entre los departamentos anteriores de acuerdo al orden lógico del proceso.

Para establecer estándares de tiempo es necesario seleccionar la técnica mediante la cual se llevará a cabo el estudio de tiempos. Cabe recordar que entre las principales técnicas se encuentran los sistemas de estándares de tiempo predeterminados, estudio de tiempos con cronómetro, muestreo del trabajo, datos estándar, estándares de tiempo de opinión experta y datos históricos. Para el presente proyecto se analizaron las diferentes técnicas; dentro del análisis se tuvo en cuenta las condiciones y recomendaciones por parte de la empresa, aparte del juicio de los autores.

Con base en los análisis se inició por descartar técnicas como la de los sistemas de estándares de tiempo predeterminados, debido a que esta recurre a una gran cantidad de supuestos generando más imprecisión en los datos. De igual forma se descarta el muestreo del trabajo, debido a que esta técnica se basa mucho en la experiencia laboral, y según lo expresado por la empresa junto con los autores, el cálculo de los tiempos difiere mucho entre los expertos. Además, se maneja un alto grado de subjetividad. La técnica correspondiente a los datos estándar

también se descarta porque la empresa no cuenta con estudios de tiempo anteriores, ni con ningún tipo de dato histórico relacionado con tiempos, así que también se excluye la técnica: datos históricos.

La técnica: estándares de tiempo de opinión experta no es adecuada para la precisión que se requiere, puesto que el objetivo no es tener una idea sobre el tiempo que toma desempeñar determinada actividad sino cuantificar con la mayor exactitud posible el flujo de leche por unidad de tiempo entre los departamentos mencionados.

De las técnicas solo queda el estudio de tiempo con cronómetro que a juicio de los autores y de la empresa, es la más viable para llevar a cabo el estudio de tiempos en las operaciones de pre embalaje, embalaje y traslado de la estiba al CEDI. El estudio de tiempo con cronómetro es la más utilizada por las industrias. Para el presente caso se justifica porque se desea tener un registro preciso de la duración de los elementos dentro de las áreas objeto de estudio y así cuantificar el flujo por unidad de tiempo.

Para efectuar la toma de tiempos de las operaciones anteriores se inició con la elección del operario idóneo para realizar el estudio. En este caso se evaluó que fuera un operario calificado, es decir, que tuviera la experiencia, los conocimientos y habilidades necesarias para efectuar el trabajo, y según Meyers, se requiere como mínimo de dos semanas de antigüedad en el puesto para llegar a ser un operario calificado y bien capacitado. Esta condición es de suma importancia dado que se requiere tiempo para que una persona pueda dominar cualquier operación sin que se presenten titubeos o retrasos durante la ejecución.

En este caso la mayoría de operarios presentes en las áreas anteriores tienen más de un año de antigüedad; el operario con mayor experiencia tiene 5 años y el de menor experiencia tiene 2 meses. Así que se eligió el operario tipo medio es decir, el que tiene una antigüedad entre las dos nombradas anteriormente, de este modo hay una mayor probabilidad de obtener un estudio con resultados más satisfactorios, que si se elige el operario menos experto o el operario altamente calificado. El ritmo de trabajo del operario tipo medio tiende a estar más cercano al tiempo normal requerido para realizar la operación, lo que facilita aplicar los factores correctos de valoración del trabajo.

Cabe aclarar que en la zona de embalaje y pre embalaje los operarios trabajan turnos de 12 horas, 6 días a la semana, y rotan entre estas dos áreas. Así que el operario elegido para realizar el estudio fue el mismo para ambas áreas. Mientras

que para el traslado de las estibas al CEDI hay dos operarios que trabajan un turno de 12 horas, y rotan cada semana en los turnos de día y de noche. Como ambos tienen más de 1 año de antigüedad, el estudio se realizó con ambos.

A continuación se determinó la programación en que se harían las observaciones de forma que se respetara el principio de aleatoriedad, y no se presentara ningún tipo de sesgo en los resultados obtenidos. Sin embargo, se tuvo muy en cuenta el comportamiento de algunos datos históricos de producción mes a mes para determinar los días de la semana en que se presentan picos de producción de la referencia más importante (entera UHT por 1100mL). Para ello se realizó el análisis con los últimos meses transcurridos del año 2012 hasta el momento, es decir enero, febrero, marzo, y abril (ver Anexo D), determinando las cantidades máximas en litros por semana y por día se obtuvo lo siguiente:

Tabla 8. Picos por semana y por día

Semana 1	3	Lunes	1
Semana 2	2	Martes	1
Semana 3	8	Miércoles	1
Semana 4	6	Jueves	1
Semana 5	5	Viernes	16
Total	24	Sábado	0
		Total	20

Fuente: Los Autores.

La mayoría de picos se presentan en las últimas semanas del mes, siendo el viernes el día de la semana en que se produce la mayor cantidad en litros de leche UHT entera por 1100 mL. Por tanto la programación para la toma de tiempos debe comprender una franja horaria mayor el día viernes, donde se tengan datos de por lo menos dos de los tres turnos de producción, por ende, se decidió escoger el turno de 6 am a 2 pm y de 2 pm a 10 pm, dado que según lo enseñado por la empresa en la bitácora donde se registra el conteo de unidades hecho por la máquina de empaque (Elecster) en la noche los volúmenes de producción son mucho menores comparados con los turnos diurnos.

La toma de tiempos se programó para 18 días del mes de julio, donde la franja horaria se asignó de acuerdo a los turnos de producción y de forma aleatoria, excepto para el día viernes, ya que al ser el día con mayores picos de producción en litros se acordó tomar datos en los dos turnos diurnos.

Tabla 9. Horarios toma de tiempos

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Semana 1	6am-2pm		6am-2pm	2pm-6pm	6am-2pm/2pm-6pm	
Semana 2	2pm-6pm			6am-2pm	6am-2pm/2pm-6pm	
Semana 3		6am-2pm	2pm-6pm		6am-2pm/2pm-6pm	2pm-6pm
Semana 4		2pm-6pm			6am-2pm/2pm-6pm	6am-2pm
Semana 5			6am-2pm	2pm-6pm	6am-2pm/2pm-6pm	2pm-6pm

Fuente: Los Autores.

Antes de realizar la toma de tiempos se realizó una visita para efectuar observaciones sobre las operaciones realizadas en cada área, de modo que se pueda realizar una división de las operaciones en elementos o subdivisiones que faciliten la medición del tiempo total. Con ello, se realizaron los formatos para registrar los tiempos de cada elemento (Anexo E). Para las tres operaciones; pre embalaje, embalaje y traslado de estibas de producto terminado al CEDI, se inició con una muestra de 90 datos, que posteriormente, como se podrá ver en el Anexo J, se verificó que el número de observaciones en la muestra es representativo y no fue necesario extender el estudio ampliando el tamaño de la muestra.

Para la división del trabajo en elementos se tuvo en cuenta que estos no deben tener una duración menor a los 0.03 minutos. Es así como dentro de cada área se determinaron los siguientes elementos a los que se les tomará el tiempo:

- Llenado de cestillo.
- Acomodo de una estiba.
- Armado de una estiba.
- Ubicación temporal de la estiba.
- Traslado de estiba a CEDI.

En el área de cestillos y perolas, el elemento llenado de cestillo, toma en cuenta el tiempo desde que el operario toma el cestillo, lo llena con 16 unidades de leche UHT de 1100 mL y lo pone en la banda transportadora. En el Anexo F se pueden ver los resultados obtenidos.

En el cuarto frío 1, se identifican principalmente tres elementos; Acomodo de la estiba, armado de la estiba y ubicación temporal de la estiba. El acomodo de la estiba, corresponde al momento en que el operario toma una estiba y la ubica cerca a la banda. El armado de la estiba considera el tiempo que transcurre desde que el operario toma el primer cestillo hasta que ubica el último cestillo (60 cestillos por estiba). Este elemento, junto con el acomodo de la estiba se decide unificar debido a que los tiempos pertenecientes al acomodo de la estiba son muy inferiores comparados con los de los otros elementos. En el Anexo G se pueden ver los resultados obtenidos.

Otro elemento corresponde a la ubicación temporal de la estiba, el cual hace referencia al momento en que el operario cubre la estiba terminada con una película de plástico y la lleva a una zona dentro del cuarto frío destinada para ser ubicada temporalmente hasta que se acumulan 10 estibas y se inicia el traslado al CEDI. En el Anexo H se pueden ver los resultados obtenidos para éste elemento.

El último elemento en consideración se presenta entre las áreas del cuarto frío 1 y el CEDI, el traslado de la estiba al CEDI, abarca el momento en que el operario, por medio de la transpaleta manual, toma la estiba, la traslada al CEDI, y regresa a la zona de ubicación temporal de estiba por otra. El Anexo I muestra los resultados obtenidos.

En cuanto a la cantidad de ciclos cronometrados se decide en un principio por tomar 90 datos, que después fueron confirmados, en el Anexo J se puede ver la expresión matemática que valida el tamaño de la muestra escogido. Cabe aclarar que el estudio se realizó por medio de restablecimiento rápido, donde el cronómetro se restablece a cero cuando finaliza la ejecución (Tiempo elemental) de un elemento. Y no por medio de restablecimiento continuo, donde el cronómetro corre durante toda la operación, debido a que en ciertas ocasiones los operarios dedicaban tiempo a otras referencias que no son objeto de estudio en el presente proyecto.

Los tiempos promedios de cada elemento se presenta a continuación:

Tabla 10. Tiempos promedio por elemento

Elemento	Tiempo promedio (Min)
Llenado de cestillo	0,41
Armado de una estiba	9,51
Ubicación temporal estiba	1,40
Traslado estiba a CEDI	2,15

Fuente: Los autores.

Con la calificación se busca ajustar el tiempo que le toma a un operario hacer una tarea al de un operario normal. Como se dijo anteriormente, el sistema de calificación empleado será el de *Westinghouse*, el cual considera cuatro aspectos para la evaluación; consistencia, destreza o habilidad, condiciones de trabajo y esfuerzo. Para el aspecto de consistencia se tuvo en cuenta el coeficiente de variación, dentro del cual se maneja un referente del 10% para ser considerado como consistencia promedio, si es mayor o menor se analizó que tan distante estaba del referente y así se establece la calificación.

En la destreza, se observó qué tanta habilidad tenían los operarios a la hora de realizar la actividad en las áreas objeto de estudio. Habilidad relacionada directamente con el tiempo durante el cual estuvo desempeñando la actividad, de igual forma se consultó con los jefes para llegar a un consenso.

En el aspecto de las condiciones de trabajo se tuvieron en cuenta factores externos que afectan al operario dentro de cada área de trabajo, debido a que no es el mismo ambiente en cestillos y perlas a cuarto frío 1 o CEDI. Por último, para el aspecto del esfuerzo, se analiza el componente motivación del operario a trabajar en forma efectiva. Se evidencia en la velocidad o ritmo del operario para realizar la actividad. Dependiendo de la tarea a realizar, así mismo se va a ver afectada la motivación del operario, por ejemplo, para ellos existe una mayor motivación al trabajar en el cuarto frío 1 que en la zona de cestillos, puesto que las actividades en la zona de cestillos requieren de mayor velocidad y se presentan menos pausas para descansar.

Las tablas de calificación detallada de cada elemento se pueden observar en el Anexo K. A continuación se expone el producto entre la calificación y el tiempo promedio, lo cual da como resultado el tiempo normal:

Tabla 11. Calificación para cada elemento y obtención del tiempo normal.

	Llenado de cestillo	Acomodo de estiba (min)	Armado estiba (min)	Ubicación temporal estiba	Traslado estiba a CEDI
Tiempo promedio	2,15	0,18	9,34	1,40	2,15
Calificación del trabajo (%)	118%	111%	108%	118%	118%
Tiempo normal	2,54	0,20	10,08	1,65	2,54

Fuente: Los autores.

Los suplementos (Anexo L) se aplicaron teniendo en cuenta los tres tipos de tolerancias; personal, por fatiga y por retrasos. En cuanto a las tolerancias por fatiga se tuvieron en cuenta aspectos relacionados con el género del operario, postura, fuerza empleada, iluminación, condiciones atmosféricas, concentración, ruido, tensión, monotonía y tedio. Las tablas detalladas de cada elemento se muestran en el Anexo M. A continuación se muestra la adición de tolerancias al tiempo normal.

Tabla 12. Tolerancias y obtención del tiempo estándar

	Llenado de cestillo	Acomodo de estiba	Armado estiba	Ubicación temporal estiba	Traslado estiba a CEDI
Tiempo normal	2,54	2,54	0,20	10,08	1,65
Tolerancia Elemental (%)	34%	0,34	0,31	0,18	22%
Tiempo (min) total Estándar	0,57	13,47		1,95	3,10

Fuente: Los autores.

Es así como se obtiene los tiempos estándar para cada actividad que es realizada por los operarios. Tiempos que serán útiles en el momento de cuantificar el flujo y en la simulación del sistema.

6.7 PROPUESTA

6.7.1 Caracterización geométrica del layout actual. El software que se usará para evaluar la disposición actual y generar posibles diseños de planta será *layoutVT*, este software cuenta con dos herramientas de representación: continua y discreta. Sin embargo, la herramienta de representación continua se encuentra incompleta por lo que se deberá realizar una aproximación en las dimensiones de la planta para realizar una representación discreta de la misma, pretendiendo obtener una aproximación cercana que no omita detalles importantes en la caracterización geométrica.

Para la representación en bloque (planta general), el tamaño del *grid* es de 9ft x 9ft, con un área equivalente a 81 ft². La Tabla 13 muestra el tamaño de cada departamento y su representación numérica.

Tabla 13. Tamaño de cada departamento (*grids*) y representación numérica para la disposición en bloque

Disposición en Bloque		
#	Departamento	Grids
1	Zona de recibo	5
2	Tanques de agua	8
3	Almacén de materias primas	18
4	Laboratorio	6
5	Procesos	27
6	Silo 3	4
7	Silo 1 y 2	6
8	Empaque	12
9	Cestillos y perolas	18
10	Cuarto frío 1	16
11	Cuarto frío 2	28
12	Despacho	49
13	Muelle	13
14	CEDI	102
15	Patio maniobra CEDI	36
16	Mantenimiento	2
17	Lavado de pies	6

Fuente: Los autores.

Figura 22. Representación en bloque (*grids*)



Fuente: Los Autores.

Para la disposición detallada de la zona de procesos (departamento 5), el tamaño del *grid* es 3,281ft x 3,281ft. La Tabla 14 muestra el tamaño de cada departamento y su representación numérica. El área de la parte inferior del departamento será representada como un obstáculo puesto que ahí se encuentra el sifón en el que se vierten los derivados del proceso. El intercambiador de calor uno será un departamento “flotante” puesto que debe estar cerca a los silos de almacenamiento y a la zona de recibo, así que no tiene relaciones de cercanía importantes con los demás equipos que se encuentran en el área de procesos y posiblemente su ubicación final estará por fuera del bloque 5 y dentro de la zona de recibo de leche cruda.

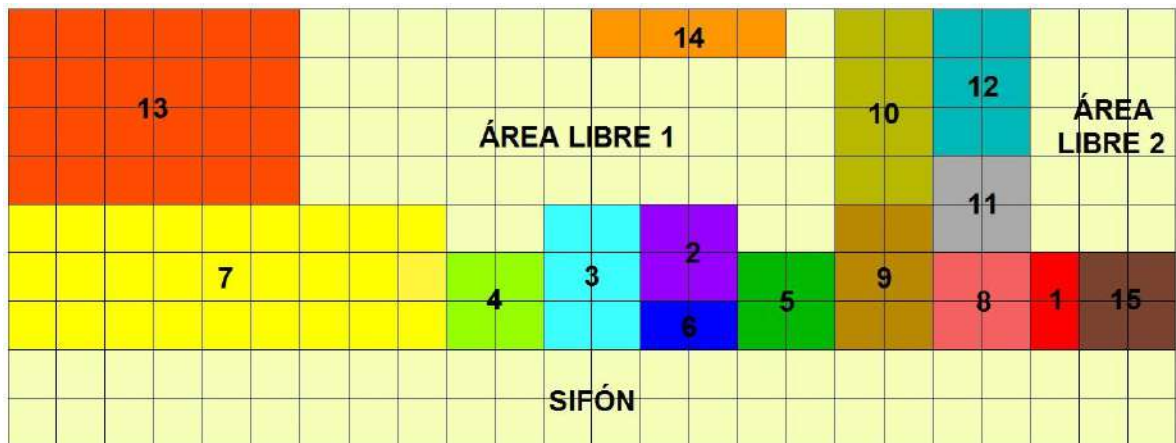
Tabla 14. Tamaño de cada departamento (*grids*) y representación numérica para la disposición detallada

Disposición detallada			
#	Departamento	Grids	Tipo de Dpto.
1	Intercambiador 1	2	Libre

2	Tanque balanza pasteurizador	8	Libre
3	Intercambiador 2	6	Libre
4	Clarificadora	4	Libre
5	Homogenizador pasteurizador	4	Libre
6	Retención pasteurizador	2	Libre
7	Tanques de almacenamiento	27	Libre
8	Tanque balanza VTIS	4	Libre
9	Intercambiador 3	6	Libre
10	Homogenizador VTIS	8	Libre
11	Inyección de vapor y retención	4	Libre
12	Campana de extracción	6	Libre
13	Equipo de lavado	24	Libre
14	Tableros de control	4	Libre
15	Tanque condensados	4	Libre

Fuente: Los Autores.

Figura 23. Representación detallada (grids)



Fuente: Los Autores.

6.7.2 Matriz desde hacia (Fij). La matriz de flujo será expresada en litros de leche por hora para la referencia entera por 1100, identificada como la referencia dominante dentro de la línea y para cuantificar el flujo se comenzó por determinar las condiciones de operación de cada equipo, así como sus capacidades de procesamiento en litros por hora; el conjunto de equipos utilizado para desarrollar el proceso de pasteurización tiene una capacidad de procesamiento de 8400 litros por hora, mientras que el conjunto de equipos dedicado a desarrollar el proceso de

ultra pasteurización tiene una capacidad de 6000 litros por hora. Dichas capacidades se encuentran determinadas por los homogenizadores donde 8400 y 6000 litros por hora es la capacidad máxima de estos equipos, por ello el sistema de bombeo y transporte de leche se encuentra configurado para trasladar tales volúmenes, aunque tienen una tolerancia de caudal mayor para transportar agua en los lavados, donde se requiere de presiones mayores para retirar incrustaciones de leche en la tubería.

Para calcular el flujo de leche entre los departamentos: cestillos y cuarto frío uno (departamentos 9 y 10), se hace uso de la herramienta de simulación ProModel, donde se simula el empaque de las bolsas en los cestillos y su traslado en la banda transportadora de rodillos hacia el cuarto frío uno. Para ello, se consideró el tiempo (calculado en el estudio de tiempos) que tardan los operarios en llenar el cestillo, la velocidad y dimensiones de la banda transportadora, así como la razón de llegada de las bolsas procedentes de la máquina de empaque Elecster. La simulación se corre por 1 hora y se determina que cada hora pasan 312 cestillos (5491 litros de leche) hacia el departamento 10. Se recurre a la herramienta de simulación puesto que, por el estado de las bandas transportadoras se complicaba realizar el cálculo del flujo por unidad de tiempo entre estos departamentos.

Así mismo, el flujo de leche entre los departamentos: cuarto frío uno y CEDI (departamentos 10 y 14), se determina considerando el tiempo que tarda una estiba para ser trasladada al CEDI, incluyendo su configuración y traslado. El tiempo es tomado del estudio y finalmente se calcula cuantas estibas por hora pasan al CEDI y su equivalente en litros (3420 litros de leche).

El Anexo N muestra los volúmenes de leche que se mueven entre departamentos es decir, representa el flujo para la disposición en bloque. Mientras que el Anexo O expone los flujos solo para el área de procesos, es decir representa el flujo de leche entre los equipos.

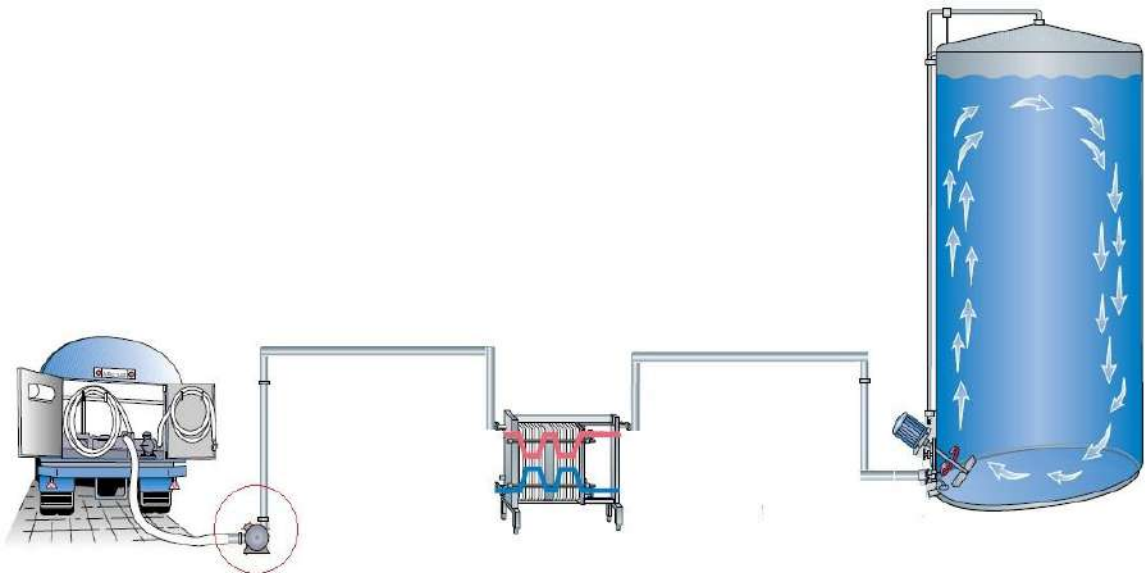
6.7.3 Matriz de costo (Cij). Como se expresó anteriormente, el traslado de leche hasta la zona de empaque se realiza a través de sistemas de bombeo y tubería, por ello, el costo del flujo se atribuye a la potencia requerida por hora para trasladar cierta cantidad de leche en litros a una distancia dada. La forma de cargar el costo del flujo a un departamento se realizó teniendo en cuenta la ubicación de la bomba, las especificaciones técnicas y el costo por Kw-h (\$250). En muchos casos una misma bomba se utiliza para enviar leche a dos departamentos contiguos o subsiguientes, por ejemplo: la bomba de recibo traslada leche cruda hacia el intercambiador de calor 1 y con el mismo impulso se lleva al silo de almacenamiento después de haberse enfriado. Por ello se carga el

costo de la potencia requerida por la bomba a la zona de recibo y al intercambiador de calor 1 en proporción a la distancia.

Para el caso de la potencia en kilo watts requerida, se hizo uso de las especificaciones técnicas de cada bomba despreciando pérdidas de potencia tanto mecánicas como por accesorios en las tuberías, rugosidad, fricción etc. y asumiendo que trabajan bajo la eficiencia nominal. A continuación se expondrá la ubicación de cada bomba y sus especificaciones de acuerdo al orden del movimiento de leche:

- **Bomba zona de recibo:** envía leche a los silos de almacenamiento pasando antes por el intercambiador de calor 1, la potencia de accionamiento es 3,6 Hp=2,69 KW-h.

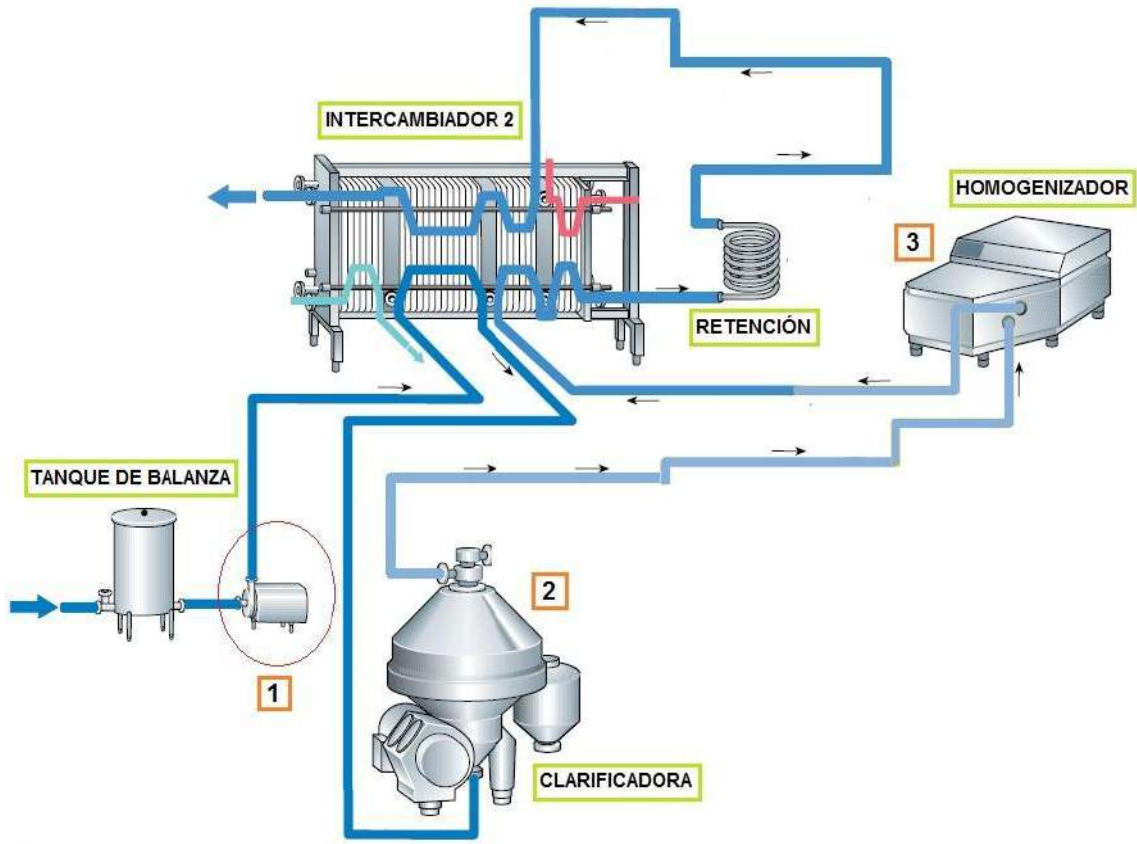
Figura 24. Bomba de recibo (caudal 10000 Lt/h)



Fuente: Los Autores (*Dairy Processing Handbook: Tetra Pack*).

- **Bomba silo de almacenamiento de leche cruda:** envía leche directamente al tanque de balanza del pasteurizador, la potencia de accionamiento es 1,1 KW-h.

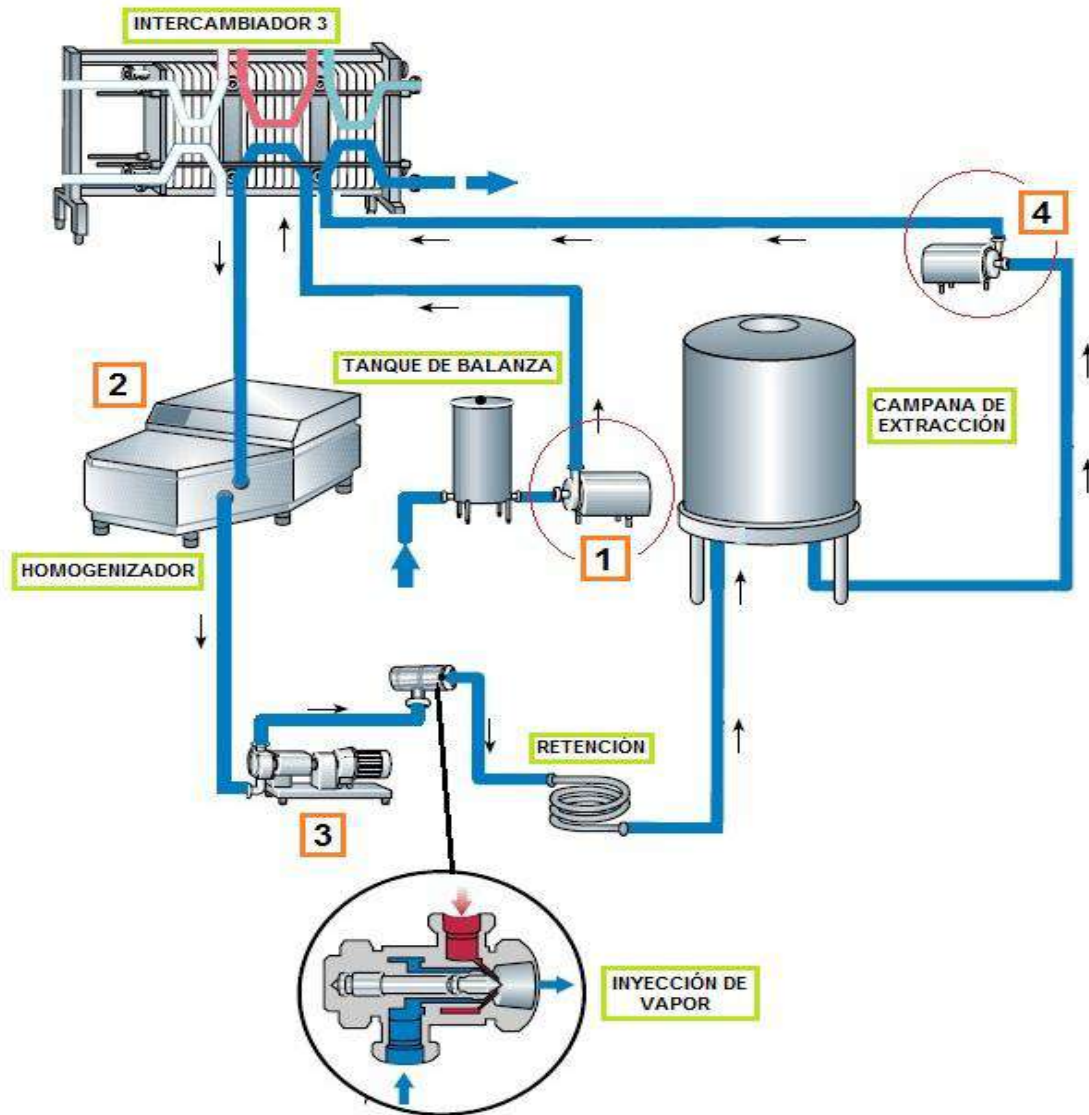
Figura 25. Bombas proceso de pasteurización (caudal 8400 Lt/h)



Fuente: Los Autores (*Dairy Processing Handbook*: Tetra Pack).

- **Bomba tanque de balanza del pasteurizador:** envía leche cruda al intercambiador de calor 2 y con el mismo impulso se lleva la leche precalentada a la clarificadora. La potencia de accionamiento es 1,1 KW-h.
- **Bomba de la clarificadora:** envía leche directamente al homogenizador, la potencia de accionamiento es 25 Hp=18,66 KW-h.
- **Bomba del homogenizador:** envía leche hacia el intercambiador de calor 2 y con el mismo impulso pasa por la zona de retención, finalmente pasa de nuevo por el intercambiador de calor 2 para su enfriamiento. La potencia de accionamiento es 60 Hp=44,78 KW-h.
- **Bomba silos de almacenamiento de leche en proceso:** envía leche directamente al tanque de balanza del VTIS (equipo destinado para desarrollar el proceso de ultra pasteurización). La potencia de accionamiento es 1,1 Kw-h.

Figura 26. Bombas equipo VTIS proceso de ultra pasteurización (caudal 6000 Lt/h)



Fuente: Los Autores (*Dairy Processing Handbook: Tetra Pack*).

- **Bomba tanque de balanza del VTIS:** envía leche pasteurizada al intercambiador de calor 2 y con el mismo impulso lleva la leche precalentada al homogenizador. La potencia de accionamiento es 10 Hp=7,46 KW-h.
- **Bomba homogenizador del VTIS:** envía leche hacia la zona de inyección de vapor más retención y con el mismo impulso la leche pasa por la campana de extracción de vapor. La potencia de accionamiento es 60 Hp=44,78 KW-h.

- **Bomba de producto del VTIS:** envía leche hacia el intercambiador de calor 3 para ser enfriada y con el mismo impulso se envía hacia la zona de empaque. La potencia de accionamiento es 4,6 KW-h.

El traslado de leche en la zona de empaque, pre-embalaje (cestillos y perolas) y embalaje (cuarto frío 1), se realiza a través de bandas transportadoras y el costo asociado al movimiento se calculó teniendo en cuenta el consumo en Kw-h. Así mismo, el traslado de leche de la zona de embalaje al CEDI lo realiza un operario con ayuda de una transpaleta manual, en este caso el costo asociado se calculó teniendo en cuenta el salario por hora del operario y el tiempo que dedica para mover estibas al CEDI. El Anexo P y Q muestra finalmente los costos asociados al movimiento para la disposición en bloque y detallada del área de procesos respectivamente en pesos por litro-pie.

6.7.4 Matriz de relaciones (Rij). La matriz de relaciones se construye de acuerdo a las calificaciones de adyacencia mostradas en la Tabla 15, teniendo en cuenta la frecuencia del movimiento de leche, agua, personas, insumos, etc. entre los departamentos, la secuencia del proceso, y la naturaleza del mismo. Dado que en este caso es importante acortar distancias entre departamentos y entre equipos pues a mayor distancia mayor *WIP (work in process)*, y además, se requiere de mayor cantidad de material para realizar lavados en tramos de tubería largos. Es por esto que la mayoría de calificaciones tienen un puntaje alto.

Tabla 15. Calificación de adyacencias

Código	Descripción	Calificación
A	Absolutamente necesario	64
E	Especialmente importante	16
I	Importante	4
O	Ordinaria (normal)	1
U	Sin importancia	0
X	Indeseable	-64

Fuente: Los Autores.

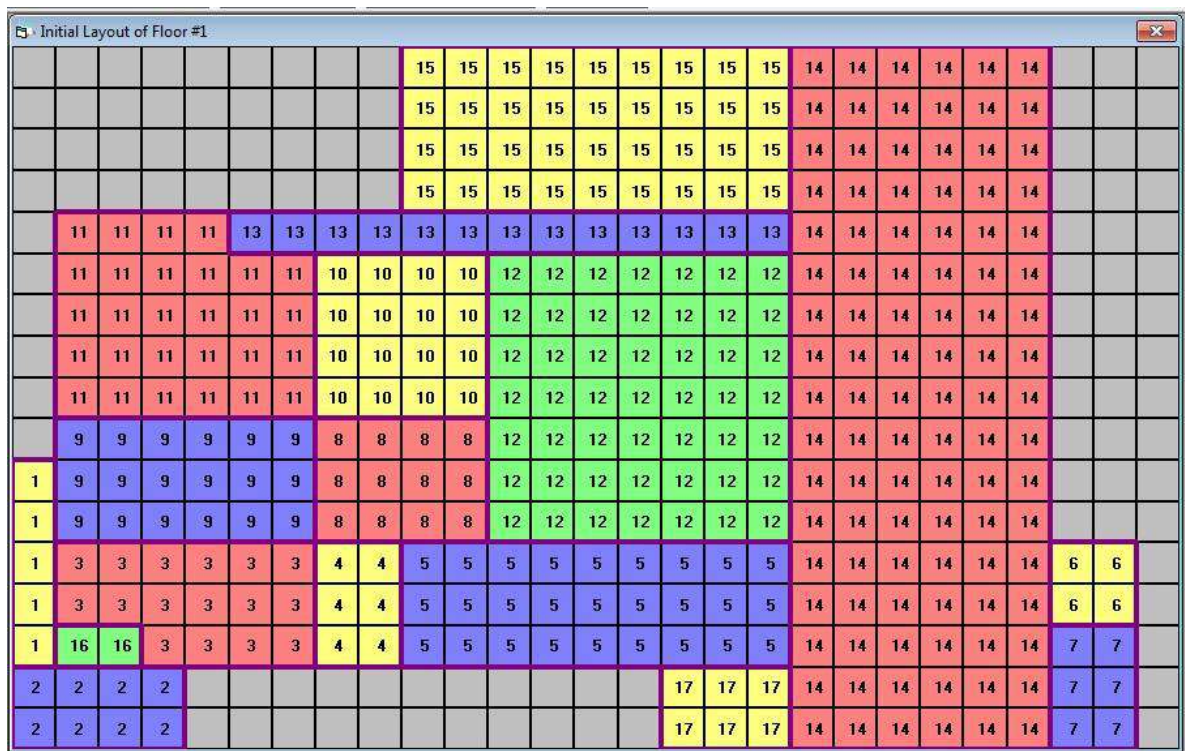
El Anexo R y S muestra la matriz de relaciones para la disposición en bloque y detallada del área de procesos respectivamente.

6.7.5 Distribución de planta actual. Una vez se ingresan los datos anteriores al *software* LayoutVT, se realiza la evaluación de la disposición actual en términos de eficiencia (adyacencia) y costo, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Disposición en bloque actual:

- Eficiencia inicial basada en la adyacencia: 53,51%.
- Costo inicial basado en la distancia: 1175934,84.

Figura 27. LayoutVT disposición en bloque actual



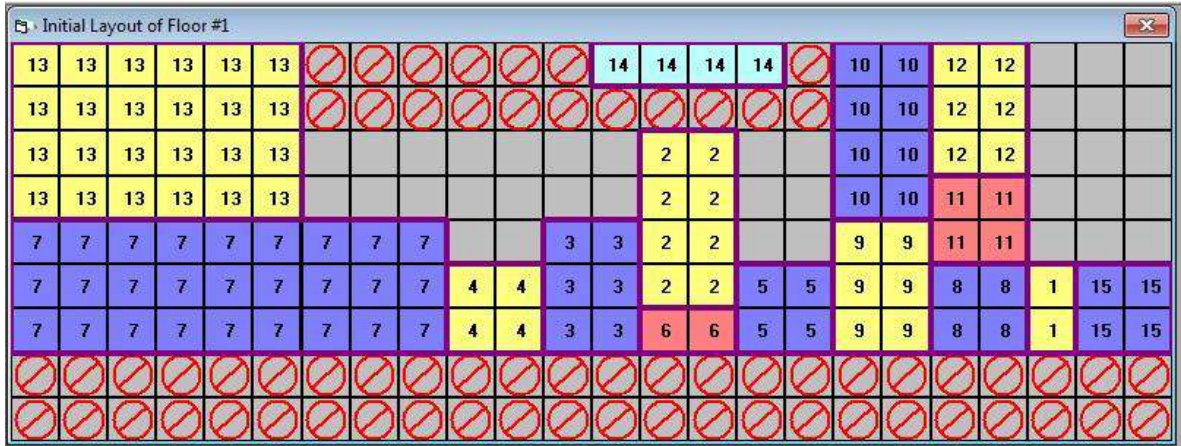
Fuente: Los Autores.

Para la disposición detallada, actual:

- Eficiencia inicial basada en la adyacencia: 70,95%.

- Costo inicial basado en la distancia: 71021,40.

Figura 28. LayoutVT disposición detallada actual



Fuente: Los Autores.

6.7.6 Propuestas. Para generar nuevas disposiciones se dará mayor importancia a la calificación de adyacencia que al costo de la disposición, puesto que por la naturaleza del proceso es importante tener en cuenta las restricciones expresadas en las relaciones de cercanía. Las calificaciones de adyacencia consideran restricciones relacionadas con: contaminación cruzada entre flujos de materiales, configuraciones especiales de los equipos, particularmente para los tanques de balanza (departamento 2 y 8), los cuales siempre deben ir unidos a las retenciones (departamento 6 y 11); y los intercambiadores de calor deben ir al lado izquierdo del pasteurizador y del esterilizador.

Además, de acuerdo a la frecuencia del movimiento, se busca conectar los equipos y departamentos por tramos de tubería más cortos de modo que haya menos WIP entre ellos y en el momento del lavado el requerimiento de material sea menor. Por ende, una mejora en el porcentaje de adyacencia se ve representada en una mayor cercanía entre equipos y departamentos. Mientras que una mejora en el costo no es tan representativa puesto que el costo de mover en este tipo de disposición (consumo en Kw-h) depende más del caudal (Lt/h) de leche que se requiere mover que de la distancia.

Se probó con múltiples curvas de llenado y se realizó un masajeo de cada posible disposición teniendo en cuenta las restricciones expresadas anteriormente.

Además de las restricciones, el masajeo de las disposiciones es preciso dado que, *LayoutVT* inicia asignando departamentos al *layout* siguiendo la curva de llenado dibujada, asignando el total de espacios libres al final. Asimismo, algunos departamentos quedan divididos o con formas irregulares. Las posibles disposiciones se eligen teniendo en cuenta las mejoras en eficiencia y costo de la distribución, y algunos de los principios básicos planteados por Tompkins que debe considerarse para desarrollar un diseño de planta, es decir:

- Principio de la satisfacción y la seguridad.
- Principio de la mínima distancia recorrida.
- Principio de la circulación o flujo de materiales de acuerdo a la secuencia lógica del proceso.
- Principio de la utilización del espacio cúbico.

Basándose en los principios mencionados anteriormente y en las observaciones hechas dentro de la planta, surgen objetivos muy específicos en cuanto a los resultados deseados en las propuestas de diseño. Para la disposición en bloque se espera disminuir la distancia existente entre la zona de recibo y los silos de almacenamiento (principio de la mínima distancia recorrida) puesto que, en la distribución actual se encuentran en cada extremo de la planta.

Además, la tubería de la línea de recibo sigue un trayecto a lo largo de la planta desde el departamento 1 al 6 (Ver Figura 27), pasando por el bloque 5 (Área de procesos) donde se genera una gran cantidad de líquidos condensados (Principio de seguridad), debido a que se alcanzan temperaturas altas por los procesos de tratamiento térmico que allí se realizan. Esto hace que en este tramo la tubería se encuentre en un ambiente de mayor temperatura en comparación con la temperatura a la que se encuentra la leche cruda que está siendo transportada. Por ello, además de reducir la distancia entre la zona de recibo y los silos de almacenamiento, se busca sacar el tramo de tubería de la línea de recibo del área de procesos, de forma que se evite la generación de condensados. Puesto que los condensados además de poner en riesgo la seguridad de los empleados, puede conducir a un deterioro acelerado de los equipos de procesamiento, estibas y equipos de manejo de materiales. Igualmente puede llegar a verse afectada la inocuidad del producto (ver Figura 29).

Figura 29. Líquidos condensados generados dentro del área procesos



Fuente: Los Autores.

Otro objetivo consiste en evitar la congestión que se produce en el área de despacho como resultado del cruce entre el flujo de leche UHT lista para despachar y leche UHT lista para almacenar. El cruce de materiales se presenta principalmente porque el CEDI tiene un solo acceso por el que ingresa y sale la leche ya estibada. Por ende, se busca acercar el área de estibado al CEDI y crear un acceso de entrada diferente al de salida, de tal forma que no se presente cruce de materiales y el flujo coincida con la secuencia lógica del proceso. Igualmente, el objetivo principal en el acomodo de los equipos dentro de la disposición detallada es buscar un flujo acorde con la secuencia lógica del proceso y dirigido hacia la salida del mismo. Los equipos se reorganizan teniendo en cuenta los cambios realizados alrededor de este bloque, donde se consideró la frecuencia del flujo entre procesos (bloque 5) y otros departamentos con los que se presenta intercambio tanto de leche como de materiales o insumos; como silos de almacenamiento, laboratorio, empaque, almacén de materias primas, etc.

Con base en lo mencionado anteriormente, se obtuvieron dos propuestas para la disposición en bloque y una para la disposición detallada, la cual se adapta a los cambios realizados en la disposición en bloque para cualquiera de las dos propuestas existentes. A continuación se exponen las propuestas y los resultados en eficiencia y costo arrojados por *LayoutVT*.

Disposición en bloque propuesta (opción Silos):

- Eficiencia inicial basada en la adyacencia: 67,75%.
- Costo inicial basado en la distancia: 883501,22.

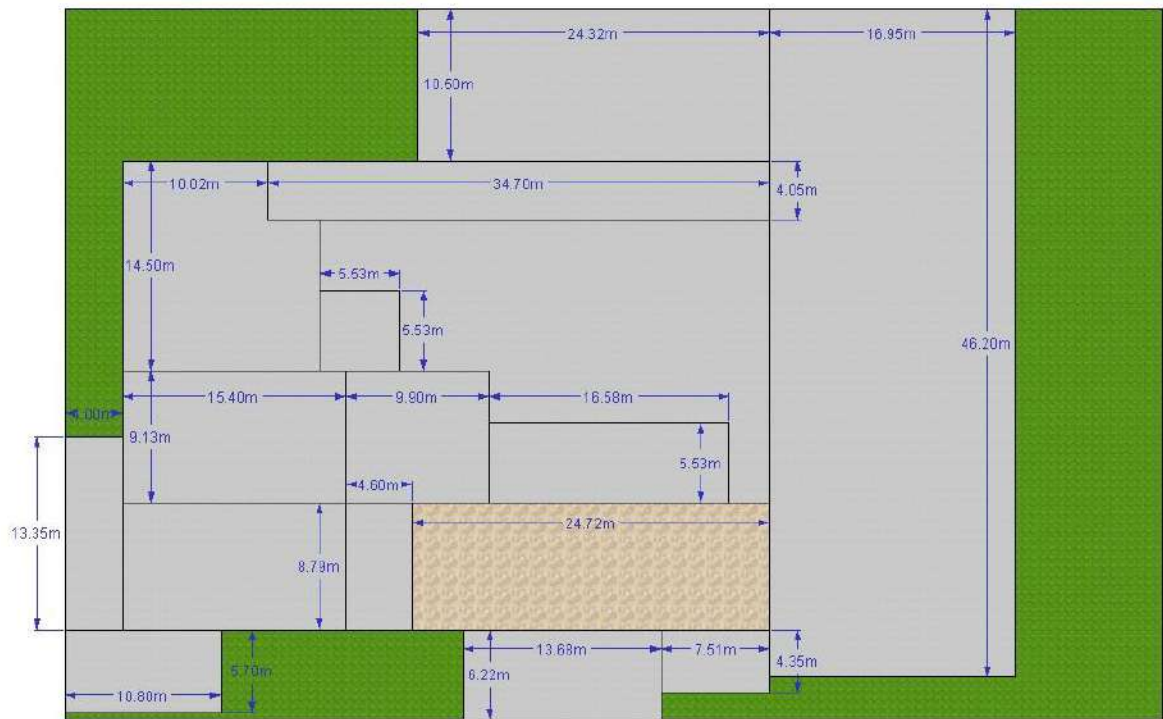
Figura 30. LayoutVT disposición en bloque propuesta (Opción silos)



Fuente: Los Autores.

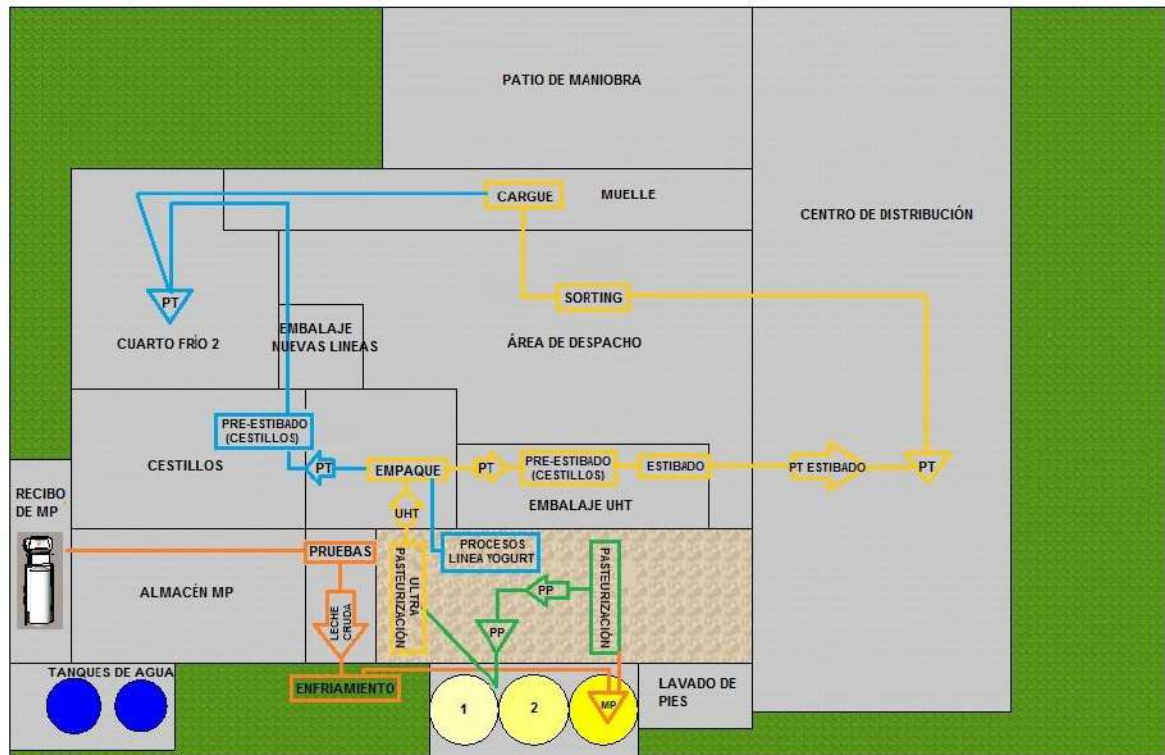
En las Figuras 31 y 32 se expone la disposición propuesta (opción silos) acotada y el patrón de flujo dentro la misma:

Figura 31. Disposición en bloque propuesta acotada (Opción silos)



Fuente: Los Autores.

Figura 32. Patrón de flujo general (Opción silos)



Fuente: Los Autores.

Disposición en bloque propuesta (opción Recibo):

- Eficiencia inicial basada en la adyacencia: 60,73%.
- Costo inicial basado en la distancia: 900239,05.

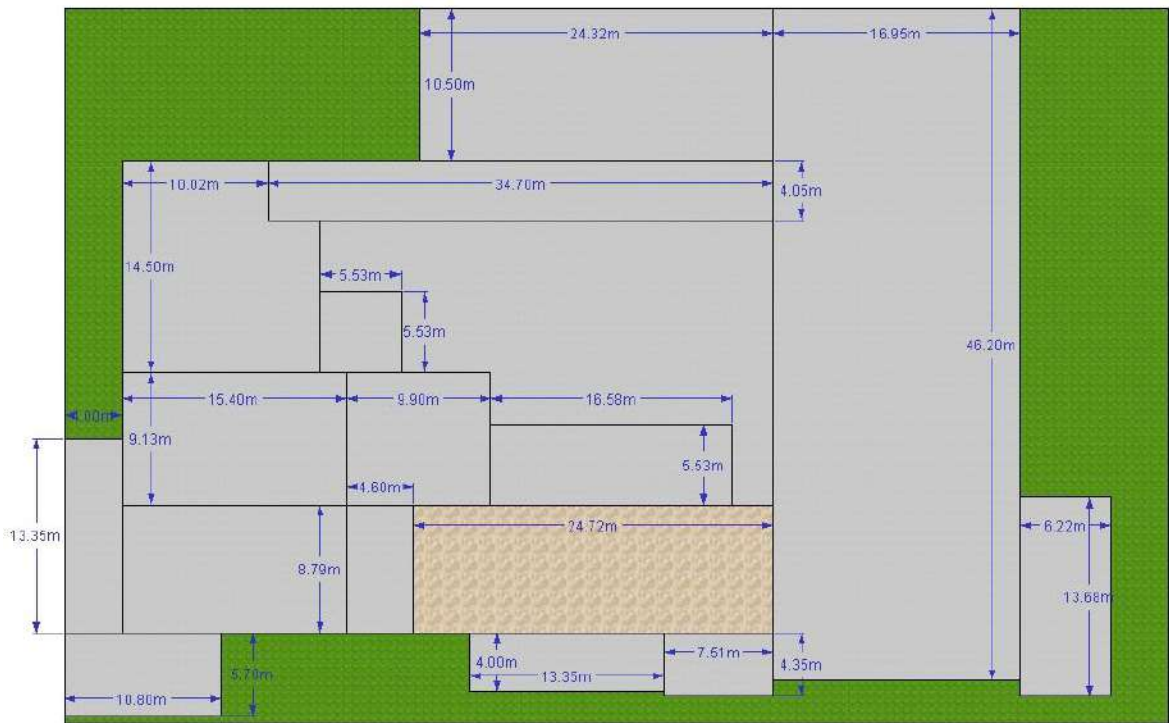
Figura 33. LayoutVT disposición en bloque propuesta (Opción recibo)



Los Autores.

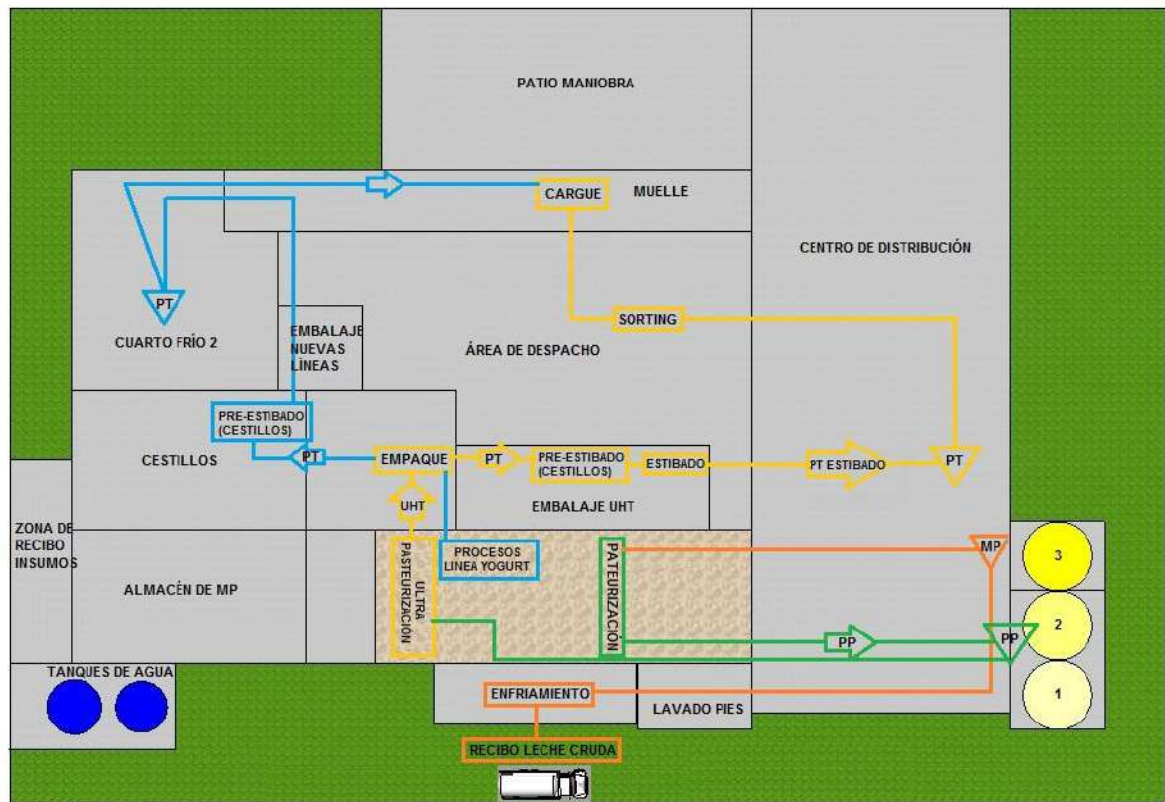
En las Figuras 34 y 35 se expone la disposición propuesta (opción recibo) acotada y el patrón de flujo dentro la misma

Figura 34. Disposición en bloque propuesta acotada (Opción recibo)



Los Autores.

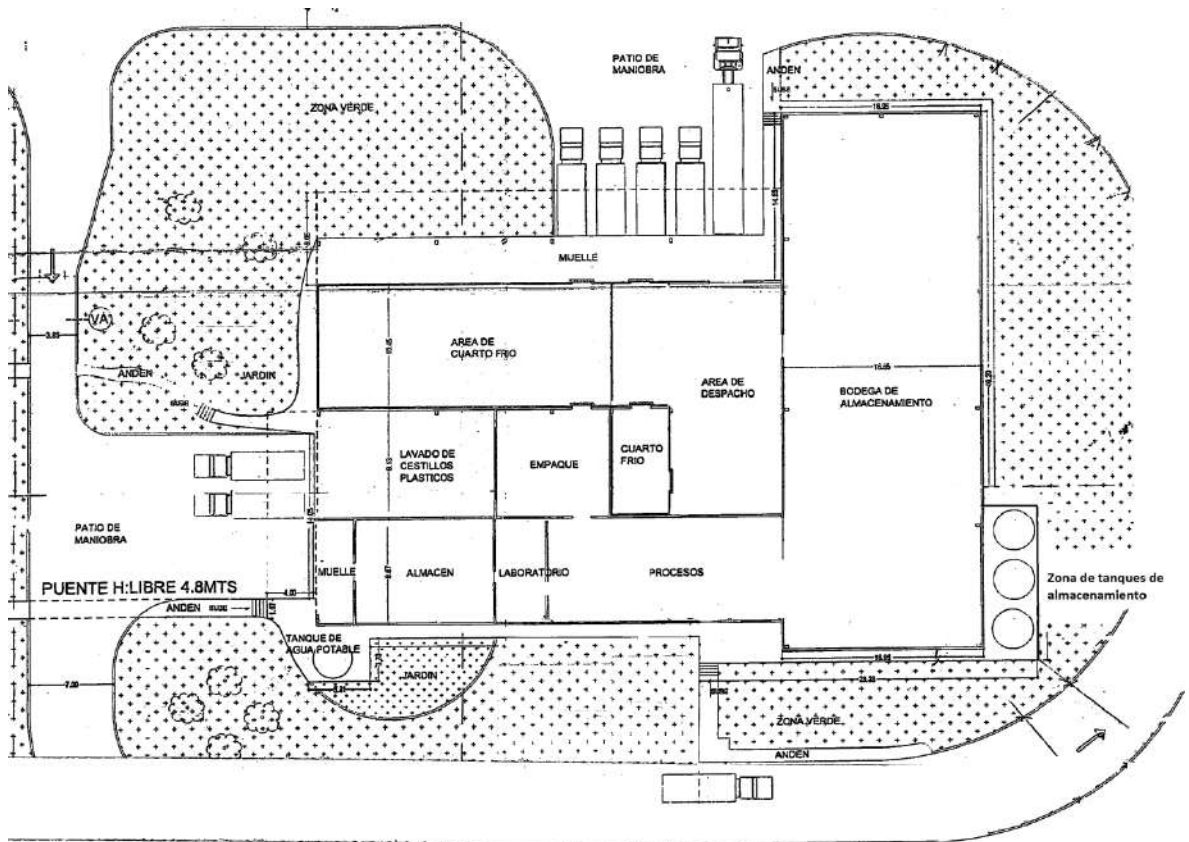
Figura 35. Patrón de flujo general (Opción recibo)



Los Autores.

Los planos iniciales de la planta coinciden con la propuesta "opción recibo" (Ver Figura 35 y 36) pero no fue posible ubicar la zona de recibo en el área enseñada en la figura por cuestiones económicas, dado que se requería construir un tramo de carretera necesario para que los camiones arriben en dicha zona.

Figura 36. Planos iniciales



Alfa Ltda.

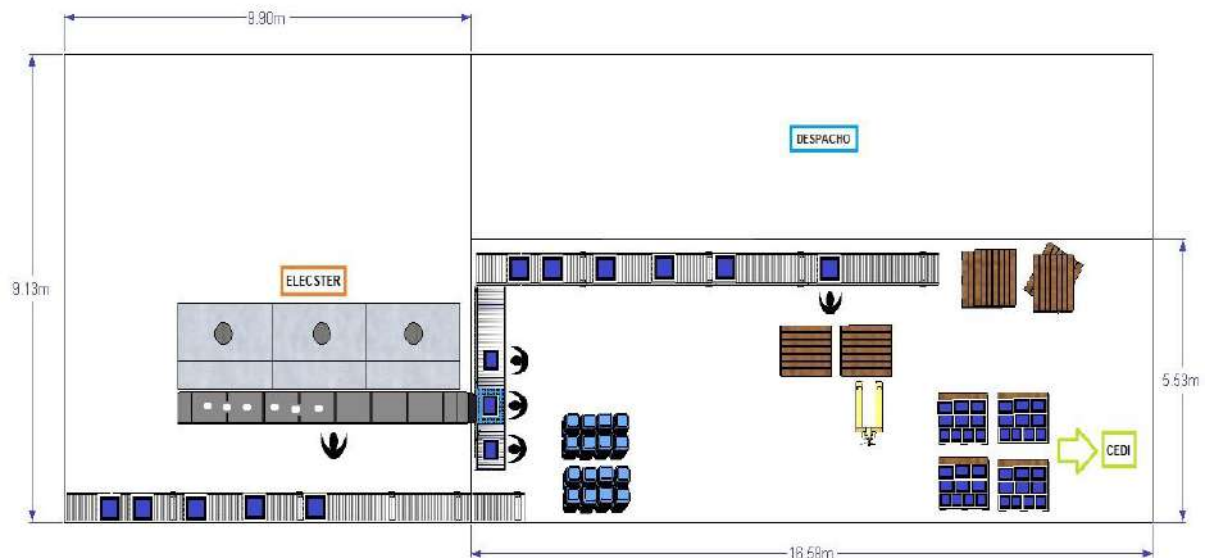
Pese a que la propuesta opción recibo acerca los departamentos recibo y silos de almacenamiento, tiene una eficiencia menor que la opción silos. Esto es debido a que los silos de almacenamiento siguen quedando lejos de la zona de procesos. Y procesos es el departamento con que silos comparte la mayor proporción de flujos, aproximadamente el 69,51%. Mientras que la proporción del flujo desde recibo hacia los silos de almacenamiento representa el 30,49% del total de flujos hacia y desde los silos.

Con respecto a la disposición inicial se encuentra una mejora representada en el aumento de la eficiencia de 13,49% para la opción recibo y de 26,61% para la opción silos. Mientras que en costo se encuentra una reducción de 23,44% y 24,87% para cada una de las opciones respectivamente. Finalmente, en la opción recibo se observa que la mejora es mayor en el costo de mover que en el porcentaje de adyacencia. Esto se explica en que, como se había descrito anteriormente, la distancia entre la zona de recibo y los silos de almacenamiento

es menor y por ende el costo de mover también lo es. Sin embargo, la adyacencia no mejora significativamente porque los silos siguen alejados del área con el que comparte la mayor proporción del flujo, es decir, procesos.

Tanto en la opción silo como en la opción recibo, el departamento 10 se encuentra dividido, esto es debido que, como se planteó inicialmente uno de los objetivos deseados es acercar el área de embalaje (o estibado) al CEDI. Sin embargo, por planes a mediano y largo plazo de la empresa, el área de embalaje no puede trasladarse totalmente hacia la ubicación propuesta, dado que, Alfa Ltda. piensa añadir una nueva línea a su portafolio de productos; yogures. Para ello debe destinar un área de embalaje cercana al cuarto frío 2 (departamento 11), puesto que esta línea requiere de refrigeración. Sin embargo, se destina una proporción de área mayor para embalar leche UHT. En la Figura 37 se expone una posible distribución de los puestos de trabajo dentro del área dedicada para embalar leche UHT, la cual es trasladada posteriormente al CEDI.

Figura 37. Disposición propuesta (área de empaque y embalaje)



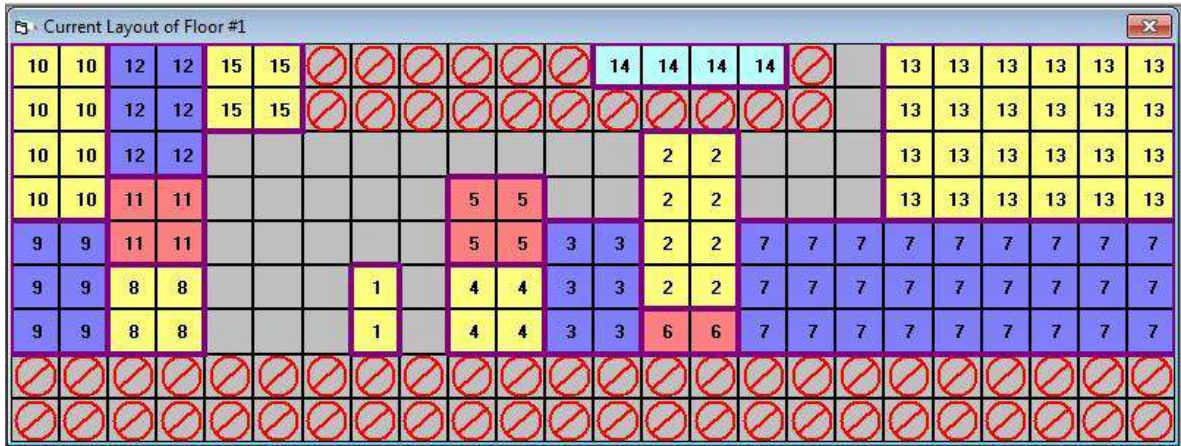
Los Autores.

Una limitación de la disposición anterior es que el área de embalaje queda alejada del área que suministra los cestillos es decir, lavado de perlas y cestillos (departamento 9). Como resultado de esto, se propone instalar una banda transportadora elevada que lleve los cestillos hasta el área de embalaje tal como se expone en la Figura 37.

Disposición detallada, propuesta:

- Eficiencia inicial basada en la adyacencia: 85,36%.
- Costo inicial basado en la distancia: 60191,82.

Figura 38. LayoutVT disposición detallada propuesta



Los Autores.

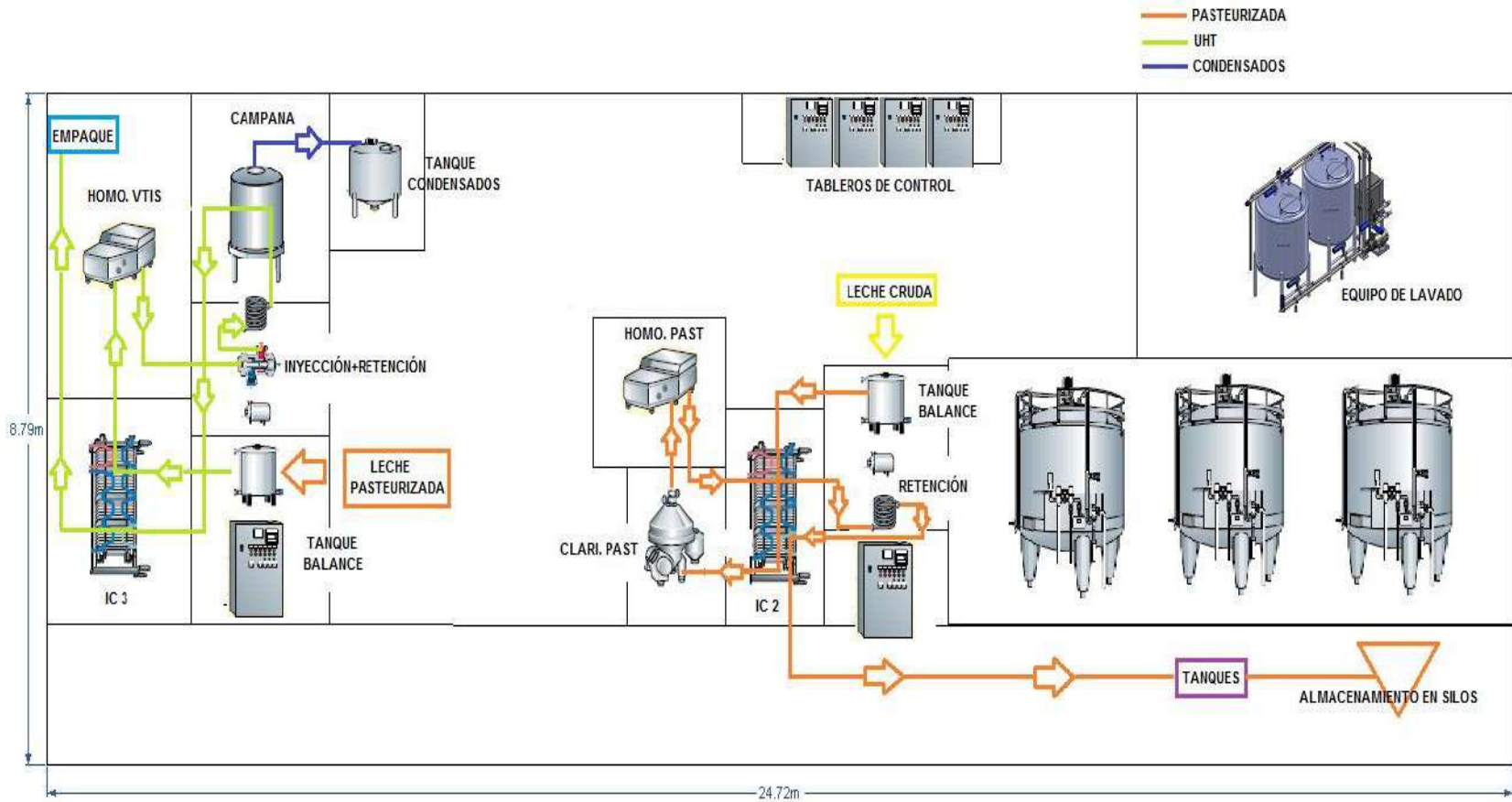
Con respecto a la disposición de los equipos inicial, se encuentra una mejora en la propuesta, representada en un aumento de la eficiencia del 20,31% y una reducción en el costo de mover del 15,25%. En la disposición detallada propuesta, el conjunto de equipos dedicado al proceso de pasteurización (equipos 2, 3, 4 y 6) no sufre cambio alguno, a excepción del equipo 5 (homogenizador), que se acerca hacia la clarificadora e intercambiador (equipo 4 y 3), con los que comparte el 100% del flujo.

El conjunto de equipos dedicado a la ultra pasteurización (equipos 8, 9, 10, 11 y 15) sufre una serie de cambios, el primero es que se mueve hacia el otro extremo del bloque 5 con el objetivo de acercar estos equipos al departamento en que se realiza el proceso subsiguiente es decir, empaque. También, el equipo 15 (tanque de condensados) se acercó a la campana de extracción de vapores (equipo 12). Dado que en el tanque de condensados se recupera parte del agua inyectada a la leche en forma de vapor, que luego se extrae por medio de la campana y se almacena en el tanque.

El intercambiador de calor 1 (equipo 1) podría considerarse como un departamento **flotante**, puesto que su ubicación real está por fuera del bloque 5 (procesos). Ya que como se explicó anteriormente, uno de los objetivos deseados es extraer la línea de recibo del departamento procesos y evitar la generación de condensados dentro del mismo. De esta forma aumenta el espacio disponible dentro del bloque 5 para introducir nuevos equipos que estarían dedicados al procesamiento de la nueva línea de producto; yogures.

En la Figura 39 se expone la ubicación de los equipos y el patrón de flujo dentro del departamento.

Figura 39. Patrón de flujo área procesos (disposición propuesta)



Los Autores.

Para decidir entre las propuestas y evaluar la viabilidad de las mismas, se recurre a la experiencia y conocimiento de los cuatro jefes principales en Alfa Ltda.; el gerente general, el jefe de planta, el jefe de calidad y el jefe de mantenimiento. Se pide a cada uno de ellos que evalúe con base en dos criterios las propuestas. Los criterios elegidos son el económico y el técnico. El criterio técnico se encuentra relacionado con la funcionalidad y operatividad del proyecto, mientras que el criterio económico determina si el proyecto es viable a nivel monetario.

Los jefes coinciden en que aunque la opción silos es una opción económicamente viable en el corto plazo en comparación con la opción recibo, es poco estética, puesto que, los silos de almacenamiento esconden el área de procesos. Asimismo, consideran que la construcción del tramo de carretera necesario para implementar la opción recibo también contribuye en eliminar la congestión que se presenta actualmente en el patio de maniobra del muelle del CEDI relacionada con la entrada y salida de los vehículos. Dado que, dos vehículos no caben simultáneamente por la carretera así que, con la construcción del tramo faltante se crea una entrada para los vehículos diferente a la salida. Por lo que finalmente la propuesta elegida es la opción recibo.

6.8 VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

6.8.1 Simulación, tipos y ventajas. La simulación es una de las herramientas más importantes para apoyar la toma de decisiones relacionadas con el diseño y operación de los procesos y sistemas complejos. Esta herramienta hace posible el estudio, análisis y evaluación de situaciones *what-if*, puesto que permite modelar un sistema real y realizar diferentes modificaciones o experimentos con este, con el fin de comprender el comportamiento del sistema y/o evaluar varias estrategias para el funcionamiento del mismo sin comprometer recursos de la empresa. Para el caso de los problemas de distribución de planta, permite probar nuevos diseños y analizar la viabilidad de éstos, en términos de reducción en los tiempos y costos, pues, permite evaluar el comportamiento del sistema con un nuevo diseño de planta.

Existen varios tipos de simulación, estos dependen del tipo de sistema y modelo que se desea simular. Un sistema es el conjunto de entidades u objetos que interactúan entre sí para lograr un objetivo establecido. Los sistemas pueden ser continuos o discretos. Esto depende del comportamiento de las variables de estado del sistema con respecto al tiempo. Las variables de estado son aquellas que describen los aspectos de interés del sistema en cierto instante de tiempo. Así, los sistemas son continuos cuando las variables de estado cambian

continuamente con el tiempo y son discretos cuando las variables de estado cambian solo en puntos discretos en el tiempo.

Un modelo es la descripción de las características de interés de un sistema. Los modelos de simulación pueden ser estáticos (representación de un sistema en un punto particular en el tiempo) o dinámicos (representación de un sistema a medida que evoluciona con el tiempo). Los modelos también pueden ser estocásticos (contiene variables o salidas aleatorias) o determinísticos (no contiene variables aleatorias).

En Alfa Ltda. el sistema es del tipo continuo hasta que se presenta el empaque de leche, donde la entidad se convierte en unidades discretas (bolsas de leche). La simulación se centrará en la parte “discreta” del proceso: empaque, embalaje y traslado a CEDI. Se recurrirá a la simulación estocástica, debido a que modela sistemas que cambian de estado en puntos discretos a medida que pasa el tiempo (Variables discretas), y los resultados son una aproximación al comportamiento del sistema. Por medio de simulación se crearán una serie de indicadores que permitan realizar comparaciones entre la disposición actual y la propuesta, y de este modo validar los cambios planteados.

6.8.2 Análisis de los datos de entrada. El análisis de los datos de entrada se hace con una serie de pruebas que se realizan a los datos que serán *inputs* del modelo de simulación. Los eventos aleatorios deben ser representados por distribuciones de probabilidad por ello, se busca encontrar una distribución de probabilidad que se ajuste al comportamiento de los datos de forma que se pueda realizar la mejor imitación del sistema real.

El análisis de los datos de entrada se realizará con ayuda de la herramienta *StatFit*. Para ello se tabulan los datos, posteriormente se aplican las pruebas de homogeneidad e independencia. Luego, se analizan las estadísticas descriptivas, se realizan los ajustes por diferentes acotamientos y se comparan los *P-value* para decidir cuál es la distribución que más se ajusta y finalmente obtener los parámetros respectivos. Cabe aclarar que el análisis de los datos de entrada se realizó para las actividades de operación correspondientes al llenado de cestillos, armado de estiba, ubicación temporal y traslado de estiba al CEDI, puesto que los tiempos de desplazamiento están contenidos en la velocidad del recurso y la distancia especificada en los *path* que recorren.

6.8.2.1 Prueba de homogeneidad. Esta prueba determina si la muestra de datos puede ser ajustada a un tipo de distribución en su totalidad o si debe ser dividida

en submuestras, y realizar un análisis completo por cada una. Consiste en agrupar la información de la variable aleatoria en muestras en el mismo orden cronológico en que se causan. En cada muestra se obtiene un promedio y por medio de los límites de control se determina si hubo variaciones sustanciales de la muestra a través del tiempo. Pues, si hay excesivas dispersiones que no permiten obtener un ajuste para la totalidad de la muestra, es posible detectar grupos de datos que sean idénticamente distribuidos y dividir la muestra.

Para realizar esta prueba se dividieron las muestras en 5 grupos de 18 datos (se conservó el orden cronológico de los tiempos) y se obtuvo un promedio y una desviación para cada muestra. Los límites de control se determinan con la ecuación 4 donde \bar{x} es el promedio de los promedios de las muestras, σ es el promedio de las desviaciones estándar de las muestras, n es el tamaño de las muestras, el alfa es de 0,05 y el nivel de confianza es del 95%.

Ecuación 4. Límites de control (prueba de homogeneidad)

$$\text{Límites de control} = \bar{x} \pm \sigma \frac{Z_{\alpha/2}}{n}$$

Fuente: GUTIERREZ, Humberto y DE LA VARA, Román. Capacidad de procesos I: Estadística descriptiva. Control estadístico de calidad y seis sigma. 2 ed. México, 2009 .p. 23.

Con base en las pruebas de homogeneidad para cada elemento (Anexo T). Se establece que no existen variaciones significativas. De los 18 datos, uno o dos en promedio sobrepasan los límites inferior y superior, en cada muestra. El resto de las muestras se encuentra dentro de los límites. Por lo que no incide en la pérdida de homogeneidad. Por ende se comprueba (para cada elemento) la homogeneidad de los 90 datos, y no es necesario dividir ningún conjunto, conservándose la totalidad de las muestras.

6.8.2.2 Prueba de independencia. En esta prueba se verifica si existe independencia entre cada dato; puesto que, no debe haber correlación entre datos. Para ello se hace uso del diagrama de dispersión y de auto correlación y de las pruebas de tendencia. En el diagrama de dispersión, *Scatter Plot*, se espera encontrar que no existan espacios vacíos significativos entre los puntos, y que por el contrario haya una alta densidad. En el diagrama de auto correlación se espera encontrar que los valores alternen entre positivos y negativos y que el coeficiente de correlación sea lo más cercano a cero posible. En la prueba de tendencia, *Run*

Test, se busca aceptar la hipótesis de que no hay algún tipo de tendencia entre los datos. En caso de no mostrar independencia se hace necesario identificar las causas y realizar una nueva toma de datos.

En los gráficos de dispersión (Anexo V) no se encuentra ningún tipo de tendencia lineal, por lo tanto no hay una correlación relevante. En los gráficos de autocorrelación (Anexo V), los máximos y mínimos no superan el $\pm 0,31$, siendo valores cercanos a cero, evidenciando así que no hay correlaciones significativas. En las pruebas de corridas o tendencias (Anexo V), la revisión de puntos por debajo y encima no se rechaza para todos los elementos excepto para el armado de estiba. Y la prueba *turning points* no se rechaza para ninguno de los elementos. En caso de rechazo para la prueba de puntos por debajo y encima en el armado de la estiba pone en entredicho la independencia de la muestra pero no la descarta del todo para continuar con el ajuste.

A continuación se muestra la Tabla 16, donde se resumen las conclusiones de los análisis anteriores:

Tabla 16. Resumen de resultados

Elementos	Homogeneidad	Independencia			
		Dispersión	Autocorrelación	Corrida	
				Ptos por debajo y encima	Ptos de giro
Llenado de cestillos	Si	No	No	No se rechaza	No se rechaza
Armado estiba	Si	No	No	Se rechaza	No se rechaza
Ubicación temporal estiba	Si	No	No	No se rechaza	No se rechaza
Traslado de estiba a CEDI	Si	No	No	No se rechaza	No se rechaza

Fuente: Los autores

En el análisis de las estadísticas descriptivas (Anexo U), en todos los elementos se observó que los valores de la media, mediana y moda son muy cercanos, evidenciándose la relación de simetría. Además el coeficiente de *Skewness*, lo confirma, pues varía entre valores de 0,29 y -0,01, valores cercanos a cero.

6.8.2.3 Ajuste de datos. En *StatFit*, opción *AutoFit*, se analiza el ajuste de los datos a una distribución, por diferentes acotamientos. El ranking de acuerdo al acotamiento se puede ver en el Anexo W. Para los criterios de selección se consideraron las distribuciones que tuvieran un *ranking* y un *p-value* mayor, y que estuvieran disponibles en *ProModel*. Un vez se selecciona la distribución se recurre al soporte gráfico (Gráficos comparativos) para comparar las distribuciones

respecto a sus probabilidades acumuladas, cuartiles, percentiles y distribución de datos en las cajas (ver Anexo X).

La Tabla 17 muestra las distribuciones elegidas para cada elemento después de la prueba de bondad de ajuste.

Tabla 17 Distribuciones por elemento

Elemento	Distribución	Parámetros	
Llenado de cestillo	Beta	Min	19
		Max	29.859
		p	1.35202
		q	1.32461
Armado estiba	Normal	μ	9.337
		σ	1.5883
Ubicación temporal estiba	Normal	μ	65.634
		σ	8.6478
Traslado de estiba CEDI	Weibull	Min	16.458
		α	3.6956
		β	7.5367

Fuente: Los autores

6.8.3 Diseño del modelo de simulación. Para simular el proceso que se desempeña en la disposición actual y en la disposición propuesta se emplea el software *ProModel*, el cual permite observar el comportamiento de diferentes sistemas mediante animaciones. De igual forma, una vez establecido el sistema actual admite modificaciones es decir que, permite probar diferentes escenarios. En este caso, se harán cambios en las distancias entre los nodos que visitan los recursos en la distribución actual, para validar la disposición propuesta. El modelo de simulación, se realizará para los procesos de empaque, pre-embalaje y embalaje, incluyendo el traslado de la estiba al CEDI. El proceso detallado se encuentra descrito en el capítulo 6.2 (Proceso productivo).

Se inició por definir el sistema, identificando cuáles serán las entidades, locaciones, recursos, arribos, atributos y variables del mismo.

Entidades, son los elementos que serán transformadas y que circularán a lo largo del sistema. En el modelo se definieron tres entidades:

- Bolsa de leche, es la entidad que sale de la zona de empaque hacia cestillos, para éste caso, la bolsa UHT de 1.1L.
- Cestillo, cuando las bolsas de leche llegan a la zona de pre-embalaje, los operarios agrupan 16 bolsas en un cestillo y este se convierte en la nueva entidad que pasará a la zona de estibado.
- Estiba, en ella, se agrupan 60 cestillos, y representa la entidad que se moverá a ubicación temporal y posteriormente al CEDI, cuando se hayan acumulado 10 estibas en ubicación temporal.

Locaciones, son los lugares donde la entidad circula o es transformada. En el modelo se definen como locaciones:

- Cabezales de empaque: en esta locación la entidad “bolsa leche” arriba a razón de 30 unidades por minuto. Hay 3 cabezales de empaque.
- Banda correa: esta locación lleva las unidades que vienen de los cabezales de empaque hacia el punto bolsa. La banda se divide en 3 tramos, uno para cada cabezal.
- Punto bolsa: a está locación llegan las bolsas procedentes de la banda correa. Es un punto común a los tres operarios que se encuentran armando los cestillos en la zona de pre-estibado.
- Llenado de cestillo: en esta locación cada uno de los operarios se encarga de llenar el cestillo con 16 bolsas que toma del punto bolsa. Posteriormente, pasa el cestillo a la banda rodillos. Hay 3 soportes para el llenado de cestillos, uno para cada operario.
- Banda rodillos: esta banda lleva los cestillos configurados hacia la zona de estibado. Pasando el cestillo a una banda por gravedad que se encuentra en esta última zona. La banda se divide en 3 tramos, uno para cada operario.
- Banda gravedad: En este punto el operario toma cada cestillo para configurar la estiba con 60 de ellos en la locación Acomodo estiba. El operario se ubica al final de la banda.

- Acomodo estiba: a esta locación llega la estiba vacía proveniente de la locación zona de estibas, y el operario carga 60 cestillos.
- Zona de estibas: es la locación a la que arriban las estibas vacías.
- Ubicación temporal de la estiba: en esta locación las estibas ya configuradas esperan para ser trasladadas hacia el CEDI una vez se completen 10 estibas en este lugar.
- Pasillo CEDI: a esta locación llegan las estibas procedentes de “ubicación temporal”. Las estibas esperan en el pasillo hasta que el montacarguista las ubique en las posiciones de estantería.

Recursos, son los elementos del sistema requeridos para llevar a cabo una determinada operación, en este caso, los recursos del modelo serán los operarios:

- Operario cestillo: son los encargados de configurar los cestillos con las 16 bolsas de leche. Hay 3 operarios encargados.
- Operario estibado: el operario 1 es el encargado de la configuración de la estiba y el operario 2 es el encargado de plastificar y llevar la estiba ya configurada hacia la ubicación temporal, y una vez se completen 10 estibas en dicha locación debe trasladarlas al CEDI. Mientras el operario 2 se encuentra trasladando estibas al CEDI el operario 1 debe llevar las estibas configuradas hacia ubicación temporal.

A cada recurso se le asigna un *path* por el que se moverá para realizar su operación. Los nodos del *path* son las diferentes locaciones que el recurso visita. Cada *path*, tiene una distancia determinada y el recurso se mueve a una velocidad diferente de un nodo a otro, si durante su trayecto se traslada con o sin carga. La tabla 18 expone las velocidades para los recursos que se desplazan:

Tabla 18. Velocidad de caminata

Recurso	Velocidad lleno (mpm)	Velocidad vacío (mpm)
Operario estibado 1	12.58	15.37
Operario estibado 2	44.22	64.42

Fuente: Los Autores.

Por último las **variables** y los **atributos** se definen con el objetivo de crear los indicadores que permitirán comparar las disposiciones. Las variables reflejan características del sistema, en cambio, los atributos son características de la entidad. Para este caso se definieron las siguientes variables y atributos:

- Contador 1: cuenta el número de estibas presentes en la locación ubicación estiba, cuya capacidad es de 10 estibas.
- Contador 3: cuenta el número de cestillos que pasan por la banda de gravedad.
- Tiempo de entrada bolsa: registra el tiempo en que la bolsa arriba al sistema.
- Tiempo de entrada cestillo: registra el tiempo en que el cestillo arriba al sistema.
- Tiempo de entrada estiba: registra el tiempo en que la estiba arriba al sistema.

Los indicadores se crearán con base en el promedio de los resultados arrojados por un número de corridas o réplicas de la simulación que permita obtener un nivel de confianza aceptable (95%). Por consiguiente, cinco, se considera un número de corridas apropiado para obtener el nivel de confianza requerido en los resultados. Dado que, se corrió la simulación para un número de corridas igual a 30 y los resultados de las variables no varían sustancialmente. Teniendo en cuenta que 30 es el número de corridas comúnmente usado cuando se requieren muestras grandes para obtener resultados confiables.

Para la simulación se tomó un horizonte de tiempo de 18 horas equivalente al tiempo disponible por día, durante el cual los 3 cabezales de la máquina Elecster pueden empacar la referencia UHT por 1.1L, dado que, debe excluirse de las 24 horas del día el tiempo requerido para realizar los lavados (CIP total e intermedio).

Para realizar la simulación, se considera el supuesto de que siempre se usan cestillos y no perolas para efectuar el pre-embalaje de las bolsas de leche, pues actualmente existe una mayor cantidad de cestillos y si se usan perolas, la configuración de la estiba es distinta. Además Alfa Ltda. desea descontinuar el uso de las perolas para obtener una capacidad de arrume mayor dentro de la estiba porque como se mencionó en el capítulo correspondiente al manejo de materiales, los cestillos permiten obtener un número de tendidos mayor en la estiba que las perolas. Otro aspecto a tener en cuenta es que siempre van haber cestillos y estibas disponibles.

Los indicadores a evaluar para comparar las disposiciones serán:

- Tiempo promedio de trabajo efectivo del recurso (operarios). Este indicador considera el tiempo en que el recurso estuvo dedicado netamente a desempeñar sus operaciones; excluye los tiempos de desplazamiento sin carga.
- Número de veces que el recurso es usado. Este indicador considera el número de veces que el recurso fue usado por una entidad.
- Tiempo promedio de viaje (sin carga). Este indicador considera el tiempo que en que el recurso estuvo desplazándose sin carga.
- Porcentaje de utilización de los operarios. Es el tiempo de trabajo efectivo dividido entre el tiempo programado (18 horas).
- Distancia total recorrida por el recurso durante el tiempo programado. Considera la distancia recorrida por el recurso con o sin carga.
- Tiempo de ciclo promedio para cada entidad. Para el caso de la entidad bolsa leche, es el tiempo promedio que transcurre desde el arribo de las bolsas en los cabezales hasta su llegada al punto bolsa. Para los cestillos, es el tiempo promedio que transcurre desde el arribo de los cestillos en "llenado de cestillo" hasta su llegada a la locación banda gravedad. Y finalmente, para las estibas es el tiempo promedio que transcurre desde el arribo de la estiba en "zona estiba" hasta su llegada al CEDI. El tiempo de ciclo se calcula por medio de la función LOG de *ProModel*, la cual se ubica en la operación donde finaliza el proceso de la entidad,

recibe como parámetro el tiempo de entrada previamente definido, y retorna el tiempo de ciclo promedio al final de las corridas.

Con base en lo anterior, la Tabla 19, muestra el resultado de los diferentes indicadores para la disposición actual:

Tabla 19. Resultado de los indicadores (Disposición actual)

Recurso	Tiempo programado (min)	Tiempo de trabajo efectivo (min)	Número de veces usado	Tiempo Total en viaje (min)	Tiempo Total en uso (min)	% Utilización	Distancia Total (m)
Operario cestillo 1	1080	1080	2025	N/A	N/A	100.00%	N/A
Operario cestillo 2	1080	1080	2025	N/A	N/A	100.00%	N/A
Operario cestillo 3	1080	1080	2025	N/A	N/A	100.00%	N/A
Operario estibado 1	1080	746.47	6180	327.48	418.99	69.12%	10304.26
Operario estibado 2	1080	309.39	276	62.72	246.67	28.65%	14948.21

Entidad	Número de observaciones (unid)	Tiempo de ciclo (min/unidad)	
Bolsa leche	97200	Promedio	180.06
		Valor Mínimo	180.06
		Valor Máximo	180.06
Cestillo	6070	Promedio	371
		Valor Mínimo	370.84
		Valor Máximo	371.16
Estibas	94	Promedio	129.46
		Valor Mínimo	129.36
		Valor Máximo	129.57

Fuente: Los Autores.

En la disposición propuesta, se obtiene una reducción de la distancia recorrida por el operario estibado 2 dado que, la zona de estibado se encuentra muy cercana al CEDI. La tabla (20) expone las distancias entre los nodos tanto para la disposición actual como para la propuesta. En ella se evidencia la reducción de la distancia que tendría que recorrer el operario 2 (N2-N3) para trasladar las estibas al CEDI.

Tabla 20. Distancias entre nodos

Disposición actual		Disposición propuesta		N ₁	Acomodo estiba
Nodos	Distancia (m)	Nodos	Distancia (m)	N ₂	Ubicación temporal
N ₁ -N ₂	8.915	N ₁ -N ₂	6.08	N ₃	Pasillo CEDI
N ₂ -N ₃	47.71	N ₂ -N ₃	15.8	N ₄	Zona estibas
N ₁ -N ₄	1.222	N ₁ -N ₄	2.65	N ₅	Banda Gravedad
N ₁ -N ₅	0.79	N ₁ -N ₅	0.79		

Fuente: Los Autores.

Así mismo, la tabla 21 muestra el resultado de los diferentes indicadores para la disposición propuesta:

Tabla 21. Resultado de los indicadores (Disposición propuesta)

Recurso	Tiempo programado (min)	Tiempo de trabajo efectivo (min)	Número de veces usado	Tiempo Total en viaje (min)	Tiempo Total en uso (min)	% Utilización	Distancia Total (m)
Operario cestillo 1	1080	1080	2024	N/A	N/A	100.00%	N/A
Operario cestillo 2	1080	1080	2025	N/A	N/A	100.00%	N/A
Operario cestillo 3	1080	1080	2025	N/A	N/A	100.00%	N/A
Operario estibado 1	1080	749.76	6171	332.36	417.40	69.42%	10359.26
Operario estibado 2	1080	208.54	291	22.07	186.47	19.31%	9667.42

Entidad	Número de observaciones (unid)	Tiempo de ciclo (min/unidad)	
Bolsa leche	97200	Promedio	180.06
		Valor Mínimo	180.06
		Valor Máximo	180.06
Cestillo	6070	Promedio	370.99
		Valor Mínimo	370.72
		Valor Máximo	371.25
Estibas	100	Promedio	123.3
		Valor Mínimo	123.18
		Valor Máximo	123.42

Fuente: Los Autores.

La tabla 22 expone el resultado de las diferencias más representativas entre los valores de los indicadores para las disposiciones:

Tabla 22. Diferencias entre los indicadores

Recurso	Tiempo de trabajo efectivo (min)	Número de veces usado	Tiempo Total en viaje (min)	Tiempo Total en uso (min)	% Utilización	Distancia Total (m)
Operario estibado 1	0.44%	-0.15%	1.49%	-0.38%	0.44%	0.53%
Operario estibado 2	-32.60%	5.43%	-64.82%	-24.40%	-32.60%	-35.33%

Entidad	Número de observaciones (unidad)	Tiempo de ciclo (min/unidad)
Estibas	6.38%	Promedio -4.8%

Fuente: Los Autores.

El porcentaje de utilización de los operarios encargados del **pre-embalaje** de las bolsas (operario cestillo 1, 2 y 3) tiene un valor del 100%. Esto es dado que la velocidad de empaque en la máquina es alta por lo que, ninguna parte del tiempo representa tiempo ocioso. Las diferencias de los indicadores para las propuestas son cero, dado que el área de pre-embalaje no sufre cambios sustanciales con respecto a las distancias recorridas por las entidades en la disposición propuesta.

Por el contrario, la utilización para los operarios que se encuentran en el área de estibado sufre algunas variaciones, relacionadas con el acercamiento del área de embalaje al CEDI y con el cambio en la disposición de los puesto de trabajo. Para el caso del operario estibado 1, la utilización aumenta aunque no significativamente. Pero para el caso del operario estibado 2, el porcentaje de utilización se reduce en un 32.60%, este valor es cercano a la proporción en que la distancia total recorrida por el recurso reduce, es decir, 35.33%. La relación se debe a que en la disposición propuesta el traslado de las estibas al CEDI toma menos tiempo y por ende la utilización es menor. Así mismo, se presenta una reducción del 64.82% en la proporción del tiempo dedicado por el recurso al desplazamiento sin carga.

Igualmente, el número de veces que el operario estibado 1 es usado se reduce en un 0.15%, aunque no es un porcentaje significativo, la variación es explicada en que en la disposición propuesta el operario estibado 1 es usado menos veces para trasladar la estiba hacia ubicación temporal, mientras que el operario estibado 2 se encuentra trasladando estibas al CEDI. En la simulación se evidencia que para la disposición actual, cuando el operario estibado 2 termina de trasladar todas las estibas de ubicación temporal al CEDI, el operario estibado 1 ya ha ubicado 2 estibas en ubicación temporal. Mientras que en la disposición propuesta el

operario estibado 1 alcanza a ubicar tan solo 1 estiba antes de que el operario estibado 2 ha trasladado las 10 estibas hacia el CEDI.

En el caso de los tiempos de ciclo, se observa una reducción importante para el caso de la entidad “estibas” del 4.8%. Por lo que, se podrá tener un número mayor de estibas ubicadas en el CEDI en menos tiempo. Para el tiempo programado (18 horas) en la disposición propuesta se logra reunir 6 estibas más en el CEDI. Lo anterior, representa un aumento de la capacidad del 6.38% para el número de estibas.

6.8.4 Modificación a la propuesta. De forma adicional a la propuesta, se realizó un análisis de sensibilidad modificando en el sistema aspectos relacionados con las actividades de los operarios y las locaciones. Del análisis anterior, surge la propuesta de eliminar la locación de ubicación temporal estiba y su correspondiente operación, debido a que, para éste caso, ya no es necesario hacer un almacenamiento temporal al lado del centro de distribución. Simplemente, cuando el operario 1 complete la estiba, el operario 2 hace el respectivo embalaje y traslado al centro de distribución.

En la modificación a la propuesta, se obtiene una reducción de la distancia recorrida por el operario estibado 2, dado que ya no existe la ubicación temporal estiba, por lo que el operario no realiza desplazamientos hacia esa locación. La Tabla 23 muestra los nuevos nodos y las respectivas distancias.

Tabla 23. Distancias entre nodos de la modificación en la propuesta.

Modificación propuesta		N ₁	Acomodo estiba
Nodos	Distancia (m)	N ₂	Pasillo CEDI
N ₁ -N ₂	20,24	N ₃	Zona estibas
N ₁ -N ₃	2,65	N ₄	Banda Gravedad
N ₁ -N ₄	0,79		

Fuente: Los Autores.

La Tabla 24 muestra el resultado de los indicadores para la modificación a la propuesta:

Tabla 24. Resultado de los indicadores (Disposición propuesta eliminando la ubicación temporal estiba)

Recurso	Tiempo programado (min)	Tiempo de trabajo efectivo (min)	Número de veces usado	Tiempo Total en viaje (min)	Tiempo Total en uso (min)	% Utilización	Distancia Total (m)
Operario estibado 1	1080	730,63	6161	328,88	401,74	67,65%	10108,86
Operario estibado 2	1080	187,76	101	31,73	156,03	17,39%	8943,90

Entidad	Número de observaciones (unid)	Tiempo de ciclo (min/unidad)	
Bolsa leche	97200	Promedio	180,06
		Valor Mínimo	180,06
		Valor Máximo	180,06
Cestillo	6070	Promedio	370,93
		Valor Mínimo	370,67
		Valor Máximo	371,18
Estibas	100	Promedio	68,64
		Valor Mínimo	68,59
		Valor Máximo	68,69

Fuente: Los Autores.

En la Tabla 25 se exponen los resultados de las diferencias entre los valores de los indicadores de la propuesta y su modificación:

Tabla 25. Diferencias entre los indicadores (Disposición propuesta eliminando la ubicación temporal estiba)

Recurso	Tiempo de trabajo efectivo (min)	Número de veces usado	Tiempo Total en viaje (min)	Tiempo Total en uso (min)	% Utilización	Distancia Total (m)
Operario estibado 1	-2,55%	-0,16%	-1,05%	-3,75%	-2,55%	-2,42%
Operario estibado 2	-9,96%	-65,29%	43,79%	-16,32%	-9,96%	-7,48%

Entidad	Número de observaciones (unid)	Tiempo de ciclo (min/unidad)	
Estibas	6,00%	Promedio	-44,3%

Fuente: Los Autores.

El porcentaje de utilización de los operarios 1 y 2 se reduce en un 2,55% y 9,96% respectivamente. Esta reducción se justifica en el hecho de que los operarios no hacen desplazamiento a la locación de ubicación temporal estiba ni su respectiva operación; el operario estibado 2 desempeña la mitad de los movimientos que realizaba en la disposición propuesta. Puesto que no tiene que desplazarse dos veces con la estiba. Ahora una vez toma la estiba en “acomodo estiba” va directamente al pasillo CEDI. Igualmente, el operario estibado 1 no debe reemplazar una de las operaciones que el operario estibado 2 hacía mientras se encontraba trasladando estibas de ubicación temporal hacia CEDI. Por tanto la utilización y el número de veces que el operario estibado 1 es requerido por una entidad también reduce. Así mismo, el número de veces que ambos recursos son usados por una entidad y la distancia total recorrida se reducen.

Al eliminar la locación, se obtiene una reducción del tiempo de ciclo para la entidad estiba del 44,3%. Es una reducción significativa que se ve representada en una simplificación de la operación que permite obtener además de un aumento de capacidad en estibas, un mayor nivel de servicio al cliente. Puesto que se cumple con la demanda en menos tiempo. Y el tiempo es uno de los recursos más valiosos dentro de una compañía, es el factor por el que compiten las empresas actualmente.

Otra mejora se encuentra relacionada con el espacio disponible en el área, pues las 10 estibas ocupaban un 26,17% del espacio del total. Al suprimirse el almacenamiento temporal, el espacio queda disponible para ubicar más cestillos, equipos, y habrá menos congestión durante el flujo de las unidades (estibas).

7. CONCLUSIONES

En la realización del presente proyecto se logra reafirmar lo planteado inicialmente en el aporte intelectual respecto a que la noción del concepto de distribución de planta se ha visto limitado en cuanto al alcance que realmente adquiere en el ámbito de los sistemas productivos. Se logra llevar a la práctica muchos de los conocimientos adquiridos durante la carrera relacionados con procesos y procedimientos, costos, procesos estocásticos, planeación y control de la producción etc. los cuales, son necesarios para abordar un problema de distribución de planta, más aún cuando se parte de una disposición inicial que requiere de un reordenamiento. También se requirió abordar de nuevo muchos de los conceptos vistos en termodinámica para comprender el funcionamiento de los equipos utilizados dentro de la industria del procesamiento de leche y sus derivados.

Con el análisis del sistema productivo se logró identificar los objetivos que se desean alcanzar por medio de la propuesta de distribución de planta; la referencia en torno a la cual debe establecerse el flujo, restricciones en cuanto a la configuración de los equipos y sus capacidades de procesamiento, dado que con estas y el patrón de flujo entre y dentro de los departamentos se cuantifica el flujo de materiales entre los mismos. Igualmente, el análisis del sistema de manejo de materiales, permitió analizar las condiciones y medios con los cuales es manipulado el producto en las diferentes partes del proceso, para posteriormente, realizar una evaluación de qué tan adecuados son los equipos destinados para el manejo del material. Además, permitió cuantificar las necesidades de espacio entre departamentos y equipos.

Particularmente para el sistema de manejo de materiales, se resalta la importancia del mismo, no solo en la determinación de la configuración interna de las instalaciones, sino en el impacto que tiene en el rendimiento y en la realización de las operaciones. El estado de los equipos de manejo de materiales determina en gran medida el tiempo de ciclo de las entidades dentro del sistema. Dentro de las organizaciones las actividades de mantenimiento preventivo y reparación se suelen destinar con mayor frecuencia para los equipos involucrados directamente con el procesamiento y transformación de materiales. Por lo que se subestima la importancia del estado de los equipos de manejo de materiales y su relación con el desempeño del sistema productivo.

Dentro del desarrollo del proyecto también se llevó a cabo el estudio de tiempos, mediante el cual se logra analizar detalladamente cada actividad de los procesos involucrados después del empaque del producto. Con el estudio de tiempos la

empresa tendrá un mayor control sobre las operaciones del día a día, debido a que se tendrá una mayor certeza en lo relacionado a los tiempos de duración y finalización de las actividades.

En el desarrollo del proyecto se evalúan dos propuestas principalmente: opción recibo y opción silo, para las que se obtiene un aumento en la eficiencia de la disposición del 13,49% y 26,61% respectivamente. Sin embargo, pese a la evidente mejora en términos de adyacencia de una propuesta frente a la otra, los jefes de la empresa conceden mayor importancia a otros criterios relacionados con factores estéticos, o relacionados con el beneficio que podría derivarse de los cambios propuestos en otras áreas donde se presenta algún tipo de inconveniente que podría ser remediado con el cambio propuesto, aún cuando la opción elegida es la más costosa para ser implementada, en términos económicos. Es por esto que el diseño elegido es el propuesto en la opción recibo.

Lo anterior, confirma el hecho de que las decisiones relacionadas con el diseño de planta, involucran múltiples criterios a ser evaluados, y para desarrollar una buena distribución deben considerarse todos los factores implicados, así como todas las posibles interrelaciones entre los mismos. Aunque los algoritmos y técnicas disponibles para resolver problemas relacionados con la distribución de planta, son de gran ayuda, es ineludible que la pericia y destreza de las personas que los usan es el elemento de mayor importancia dentro de la solución de este tipo de problemas. Puesto que, es la persona que desarrolla el proyecto quien debe encontrar el equilibrio adecuado de los factores involucrados en las decisiones, de forma que se obtenga el mayor beneficio.

Dentro de los cambios propuestos para la distribución de planta en la opción elegida, se logra obtener un diseño flexible de las instalaciones que permita atender y adaptarse a cambios en los volúmenes de producción o cambios referentes a la introducción de nuevos productos, sin que afecte los niveles de producción requeridos para cumplir con la demanda, como es el caso de la nueva línea que Alfa Ltda. desea incorporar a su portafolio de productos es decir, Yogures. Además el diseño propuesto frente a la disposición actual, asegura una circulación fluida de los materiales, trabajo, personas, con flujos dirigidos hacia la salida del proceso y sin retorno. Evitando costos de movimientos innecesarios, congestiones, paradas de producción, esperas, entre otros.

Con la propuesta de redistribución de equipos dentro del área procesos, se logra obtener un flujo dirigido hacia la salida del proceso de acuerdo a la secuencia lógica del mismo. Igualmente, al acercar la zona de recibo a los silos de almacenamiento se logra reducir la distancia recorrida de la leche en las tuberías,

así como la cantidad de material requerido para realizar el lavado de la línea de recibo, pues con la propuesta los departamentos se encuentran unidos por un tramo de tubería más corto.

Como consecuencia del acercamiento del área de embalaje al CEDI y con el cambio en la disposición de los puestos de trabajo, se elimina la confusión y congestión dentro de las instalaciones del CEDI, específicamente en el área de despacho, puesto que ahora el acceso de entrada al centro de distribución es diferente al de salida. Por ello, no se presentarán cruces entre las estibas con leche lista para almacenar y otras referencias albergadas dentro del CEDI o con las estibas de leche liberadas de la cuarentena y listas para ser despachadas. Igualmente, se obtiene una reducción de la distancia total recorrida por el operario que realiza el traslado de las estibas al CEDI del 35.33%. Lo cual, se ve representado en una reducción del 4.8% para el tiempo de ciclo de una estiba y un aumento de la capacidad del 6.38%, equivalente a 1920 unidades más, ubicadas en el CEDI durante el tiempo disponible para cumplir con la demanda es decir, 18 horas.

Adicionalmente, si se elimina la locación ubicación temporal estiba dentro del área de embalaje se libera el 26,17% del espacio de este departamento. Y se obtiene una reducción de un 44,3% más del tiempo de ciclo para la entidad estiba. Teniendo en cuenta que el tiempo es uno de los recursos más valiosos dentro de una compañía y que además es el factor por el que compiten las empresas actualmente, el resultado anterior es bastante significativo. Con relación al tipo de sistema productivo (por producto), los resultados obtenidos en la propuesta para el tiempo de ciclo y para el aumento de la capacidad, contribuyen a justificar el hecho de tener equipos dedicados para una línea específica de producto, puesto que es necesario tener un volumen de producto conveniente para obtener la mejor utilización de los equipos, aún más, en los equipos destinados para este tipo de industria donde los costos fijos por alistamientos son altos.

8. RECOMENDACIONES

Es importante que las actividades de mantenimiento realizadas dentro de Alfa Ltda. no solo se enfoquen en los equipos de producción; bombas, clarificadora, intercambiadores, máquinas de empaque, entre otros, sino también en los equipos de manejo de materiales, como lo son las bandas transportadoras y las transpaletas manuales. Debido que, al igual que los equipos de procesamiento, el estado de los equipos de manejo de materiales determina en gran medida el tiempo de ciclo de las unidades dentro del sistema productivo y por ende, el tiempo requerido para cumplir con las cantidades demandadas.

En cuanto a la carga unitaria Alfa Ltda. debe considerar reemplazar lo antes posible el uso de perolas por cestillos para empacar las bolsas de leche, dado que usando perolas en la configuración de la estiba se desaprovecha un 17,91% del área disponible, y además, se estiba un 25% menos de producto (bolsas de leche). Lo que conlleva a que se presente una densidad de almacenamiento menor dentro de las posiciones de estantería.

Otro aspecto a considerar, consiste en que antes de realizar la adquisición y ubicación de cualquier equipo o estación de trabajo, es necesario que la empresa analice el patrón de flujo del proceso para evitar futuros cruces o congestiones ocasionados por la nueva ubicación. Debido a que se identificó que dentro del área procesos, los equipos se han ido ubicando de acuerdo a la disponibilidad de espacio y no al patrón de flujo ideal (secuencia lógica del proceso) que siguen los materiales entre y dentro de los departamentos.

Para posibles lectores interesados en el presente proyecto y en usar la herramienta *LayoutVT*, se recomienda realizar una aproximación de las dimensiones de la planta o del área involucrada en el análisis para realizar una representación discreta de la misma, buscando obtener una aproximación cercana que no omita detalles importantes en la caracterización geométrica, puesto que, como se mencionó anteriormente, el módulo de representación continua de la herramienta se encuentra incompleto. Por lo que se recomienda que el tamaño del “*grid*” sea el más pequeño posible de acuerdo a las limitaciones en cuanto al número de filas y columnas permitido por la herramienta y de acuerdo a las dimensiones del área.

Otra recomendación relacionada con el uso de la herramienta corresponde al manejo de las áreas libres, puesto que *layoutVT* inicia asignando departamentos al *layout* siguiendo la curva de llenado dibujada, asignando el total de espacios

libres al final, después de haber asignado todos los departamentos. Para evitar esto, una posible opción sería asignar el espacio de las áreas libres al área de los departamentos o considerar las áreas libres como departamentos, y por medio de las calificaciones de adyacencia considerar la importancia de la cercanía entre las áreas libres y los departamentos, teniendo en cuenta posibles expansiones y requerimientos futuros relacionados con un aumento de capacidad o con la introducción de nuevos productos. Podría considerarse asignar una calificación de cercanía mayor a los departamentos o equipos de trabajo con menor capacidad o que representan el cuello de botella en la disposición actual. Así mismo, en caso de asignar los espacios libres al área de los departamentos debe considerarse asignar una proporción de área mayor a los departamentos con las características descritas anteriormente.

BIBLIOGRAFÍA

ABELLO, Hernán Felipe y MENESES, Fausto Hernán. Propuesta de mejoramiento de la capacidad de producción de industrias Roller Vita Ave, rediseñando la distribución de planta. Proyecto de grado ingeniería industrial. Cali: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de ingeniería industrial, 1999. 98 p.

ANAYA, Julio J. Almacenes: análisis, diseño y organización. Madrid: ESIC Editorial, 2008.

AQUILANO, Nicholas J.,CHASE, Richard B., JACOBS, F. Robert. Administración de producción y operaciones; manufactura y servicios. 8 ed. Bogotá D.C.: Lily Solano Arévalo, 2001.

ARIAS M, Julián Andrés y CAMARGO O, Jorge Luis. Rediseño de la planta de producción de Bornes de Risaralda para el mejoramiento de sus procesos. Proyecto de grado ingeniería industrial. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de ingeniería industrial, 2010. 84 p.

BARTHOLDI, Jhon J. y HACKMAN, Steven T. Warehouse & distribution science. United States: Georgia Tech 2007. 264 p.

BOZER, Yavuz A., FRAZELLE, Edward H., TANCHOCO, J.M.A., TOMPKINS, James A., TREVINO, Jaime. Facilities Planning. 2 ed. United States: John Wiley & Sons, 1996. 725 p.

BOZER, Yavuz A. TANCHOCO, J.M.A. TOMPKINS, James A. WHITE, John A. Planeación de instalaciones. 3 ed. México D.F.: Rocío Cabañas Chávez, 2006. 753 p.

CHAUVEL, Alain M., TAWFIK, Louis. Administración de la producción. México D.F.: McGraw – Hill, 1994.

CONTRERAS, Román Augusto. Modelo de optimización en la generación de plantas industriales, considerando las actividades de mantenimiento y las condiciones ambientales mediante el uso de la metodología de los algoritmos

genéticos. Tesis doctoral. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Facultad de Ingeniería. Departamento proyectos de ingeniería, 2010. 498 p.

FLÓREZ M, Gustavo Adolfo y PARRADO A, Isabel Cristina. Propuesta de mejoramiento para la distribución de planta de una empresa manufacturera. Proyecto de grado ingeniería industrial. Cali: Universidad Icesi. Facultad de ingeniería industrial, 2010. 214 p.

FRAZELLE, Edward H. y SOJO, Ricardo. Logística de almacenamiento y manejo de materiales de clase mundial. 19 ed. Bogotá: Grupo editorial norma, 2006. 334 p.

GREEN J, Lee J. KOZMAN T. Managing lean manufacturing in material handling operations. *International Journal Of Production Research*. [En línea]. Ipswich, MA. Mayo 15 2010. [Citado 02-Abril-2012]. Disponible en: EBSCOhost.

JARAMILLO M, Ricardo y PERLAZA D, Mónica. Propuesta de rediseño de la planta de una empresa productora de pan. Proyecto de grado ingeniería industrial. Cali: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de ingeniería industrial, 1998. 157 p.

MEYERS, Fred E. STEPHENS, Matthew P. Manufacturing facilities design and Material Handling. 3 ed. Mexico.: Stephen Helba, 2006.

MORA, Luis A. Gestión logística en centros de distribución, bodegas y almacenes. Bogotá: Ecoe Ediciones, 2011. 244 p.

MUTHER, Richard. Distribución en planta. Barcelona: Editorial Hispano Europea. 1981.

OSPINA H, Mauricio y PRIETO, Andrés H. Estudio para el diseño e implementación de una planta productora de jamones para la empresa de alimentos la Locura Ltda. Proyecto de grado ingeniería industrial. Cali: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de ingeniería industrial, 2000. 153 p.

VERGEL R, John Jairo. Propuesta y análisis del diseño y distribución de planta de Alfering limitada Sede II. Proyecto de grado ingeniería industrial. Magdalena: Universidad de Magdalena. Facultad de ingeniería industrial, 2009. 25 p.

ANEXOS

Anexo A. Matriz de marco lógico

ENUNCIADO DEL OBJETIVO	INDICADORES		MEDIOS DE VERIFICACIÓN	SUPUESTOS
	ENUNCIADO	FORMA DE CÁLCULO		
Diseñar una propuesta de mejoramiento para la distribución de planta en la empresa de lácteos Alfa Ltda.	Porcentaje de cumplimiento	Objetivos específicos logrados/ Objetivos específicos planteados		
Realizar un análisis del sistema productivo, flujo y sistema de manejo de materiales de la empresa.				
Actividad 1: Determinar los productos fabricados con mayor participación.	Logro de la construcción clasificación ABC de los productos.	Indicador binario: X=1, cumplimiento X=0, no cumplimiento	Verificación directa: clasificación ABC documentada.	Acceso a datos de ventas de los productos.
Actividad 2: Evaluar el tipo de sistema de producción actual	Logro de la evaluación y comparación del sistema actual frente a lo que sugiere el análisis ABC.	Indicador binario: X=1, cumplimiento X=0, no cumplimiento	Verificación directa: existencia análisis documentado.	

<p>Actividad 3:</p> <p>Concluir acerca de los análisis del sistema de producción</p>	<p>Logro de la documentación.</p>	<p>Indicador binario:</p> <p>X=1, cumplimiento</p> <p>X=0, no cumplimiento</p>	<p>Verificación directa.</p> <p>Tutor temático.</p>	<p>Disponibilidad de tiempo del tutor.</p>
<p>Actividad 4:</p> <p>Análisis y evaluación del flujo general de los materiales dentro de las instalaciones.</p>	<p>Logro de la documentación.</p>	<p>Indicador binario:</p> <p>X=1, cumplimiento</p> <p>X=0, no cumplimiento</p>	<p>Verificación directa: existencia del análisis documentado.</p> <p>Tutor temático.</p>	<p>Información suministrada confiable.</p> <p>Disponibilidad de tiempo del tutor.</p>
<p>Actividad 5:</p> <p>Identificar patrones de flujo.</p>	<p>Logro de la documentación.</p>	<p>Indicador binario:</p> <p>X=1, cumplimiento</p> <p>X=0, no cumplimiento</p>	<p>Verificación directa: existencia de la guía documentada.</p> <p>Personal de la empresa.</p>	<p>Acceso a las instalaciones de la empresa.</p>
<p>Actividad 6:</p> <p>Cuantificar flujo entre departamentos</p>	<p>Construcción de la matriz de flujo.</p>	<p>Indicador binario:</p> <p>X=1, cumplimiento</p> <p>X=0, no cumplimiento</p>	<p>Verificación directa: Personal de la empresa</p>	<p>Acceso a la información en la empresa.</p>
<p>Actividad 7:</p> <p>Calcular costos asociados al flujo.</p>	<p>Construcción de la matriz de costos</p>	<p>Indicador binario:</p> <p>X=1, cumplimiento</p> <p>X=0, no cumplimiento</p>	<p>Verificación directa: Personal de la empresa</p>	<p>Acceso a la información en la empresa.</p>

<p>Actividad 8:</p> <p>Análisis y evaluación de la carga unitaria de acuerdo a los movimientos.</p>	<p>Logro de la documentación.</p>	<p>Indicador binario:</p> <p>X=1, cumplimiento</p> <p>X=0, no cumplimiento</p>	<p>Verificación directa: existencia del análisis documentado.</p> <p>Tutor temático.</p>	<p>Disponibilidad de tiempo del tutor.</p>
<p>Actividad 9:</p> <p>Análisis y evaluación del equipo destinado al manejo de materiales.</p>	<p>Logro de la documentación.</p>	<p>Indicador binario:</p> <p>X=1, cumplimiento</p> <p>X=0, no cumplimiento</p>	<p>Verificación directa: existencia del análisis documentado.</p>	
<p>Actividad 10:</p> <p>Determinar requerimientos de espacio entre departamentos</p>	<p>Logro de la documentación.</p>	<p>Indicador binario:</p> <p>X=1, cumplimiento</p> <p>X=0, no cumplimiento</p>	<p>Verificación directa:</p> <p>Tutor temático.</p>	<p>Disponibilidad de tiempo del tutor.</p>
<p>Actividad 11:</p> <p>Concluir acerca del flujo y manejo de materiales</p>	<p>Logro de la documentación.</p>	<p>Indicador binario:</p> <p>X=1, cumplimiento</p> <p>X=0, no cumplimiento</p>	<p>Verificación directa:</p> <p>Tutor temático.</p>	<p>Disponibilidad de tiempo del tutor.</p>
<p>Realizar un estudio de tiempos.</p>				

<p>Actividad 1:</p> <p>Análisis y comparación de las diferentes técnicas para el estudio de tiempos.</p>	<p>Logro de la comparación.</p>	<p>Indicador binario:</p> <p>X=1, cumplimiento</p> <p>X=0, no cumplimiento</p>	<p>Tutor temático.</p>	<p>Acceso a la información requerida.</p> <p>Disponibilidad de tiempo del tutor.</p>
<p>Actividad 2:</p> <p>Elección de la técnica de estudio de tiempos</p>	<p>Logro de la elección de la técnica.</p>	<p>Indicador binario:</p> <p>X=1, cumplimiento .</p> <p>X=0, no cumplimiento.</p>	<p>Verificación directa.</p>	
<p>Actividad 3:</p> <p>Elección de las áreas objeto de estudio</p>	<p>Logro de la elección.</p>	<p>Indicador binario:</p> <p>X=1, cumplimiento.</p> <p>X=0, no cumplimiento.</p>	<p>Verificación directa: Personal de la empresa.</p>	
<p>Actividad 4:</p> <p>Identificar las diferentes operaciones dentro de las áreas.</p>	<p>Logro de la identificación de las operaciones en cada área.</p>	<p>Indicador binario:</p> <p>X=1, cumplimiento.</p> <p>X=0, no cumplimiento.</p>	<p>Verificación directa: Personal de la empresa.</p>	<p>Información suministrada confiable.</p>
<p>Actividad 5:</p> <p>Realización del estudio de tiempos.</p>	<p>Logro de la documentación de tiempos.</p>	<p>Indicador binario:</p> <p>X=1, cumplimiento.</p> <p>X=0, no cumplimiento.</p>	<p>Verificación directa: existencia de tablas de tiempos.</p> <p>Tutor temático. Personal de la empresa.</p>	<p>Funcionamiento normal de las operaciones dentro de la empresa.</p>

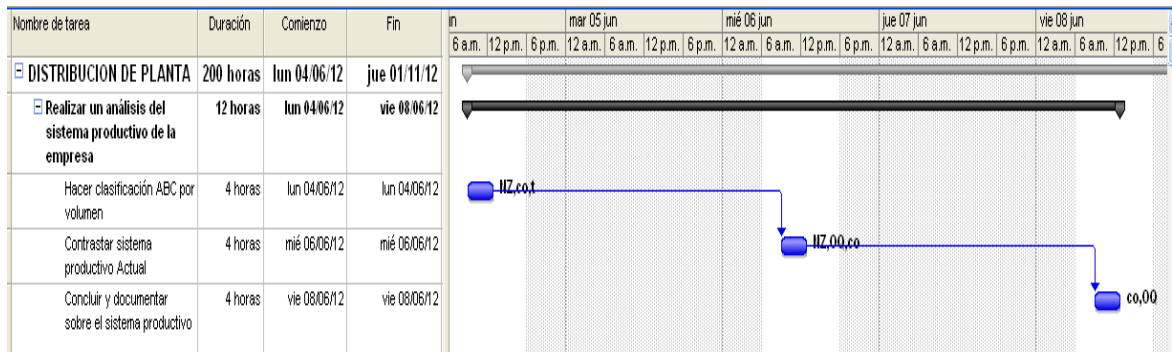
<p>Actividad 6:</p> <p>Calificar, nivelar y normalizar el desempeño del operador</p>	<p>Logro del establecimiento de los tiempos para cada operación.</p>	<p>Indicador binario:</p> <p>X=1, cumplimiento.</p> <p>X=0, no cumplimiento.</p>	<p>Verificación directa: Personal de la empresa y tutor temático.</p>	
<p>Actividad 7:</p> <p>Aplicar tolerancias.</p>	<p>Logro de la construcción de tablas de tiempos con respectivas tolerancias.</p>	<p>Indicador binario:</p> <p>X=1, cumplimiento.</p> <p>X=0, no cumplimiento.</p>	<p>Verificación directa: Personal de la empresa y tutor temático.</p>	
<p>Actividad 8:</p> <p>Validación de tiempos.</p>	<p>Logro de la validación. Coherencia entre los tiempos.</p>	<p>Indicador binario:</p> <p>X=1, cumplimiento.</p> <p>X=0, no cumplimiento.</p>	<p>Verificación directa: Personal de la empresa.</p>	
<p>Actividad 10:</p> <p>Publicación de tiempos estándar para cada actividad.</p>	<p>Logro de la construcción de tablas con tiempos estándar.</p>	<p>Indicador binario:</p> <p>X=1, cumplimiento.</p> <p>X=0, no cumplimiento.</p>	<p>Verificación directa: Personal de la empresa y tutor temático.</p>	
<p>Desarrollar una propuesta de rediseño del layout de la planta</p>				

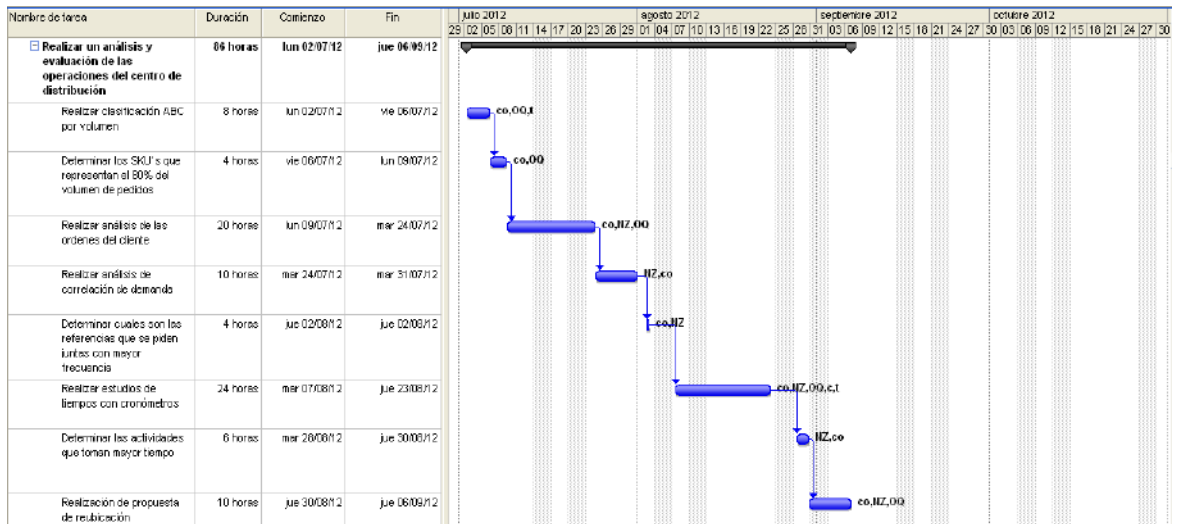
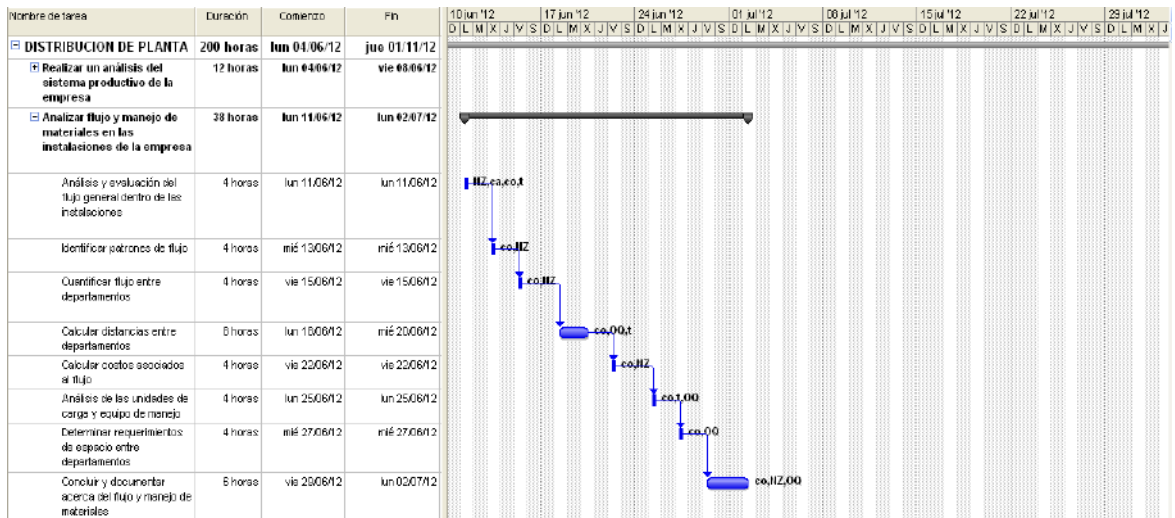
<p>Actividad 1:</p> <p>Caracterización geométrica del <i>layout</i> inicial y construcción de disposición en bloque.</p>	<p>Logro de construcción del diagnóstico disposición actual.</p> <p>Logro de construcción de la disposición en bloque.</p>	<p>Indicador binario:</p> <p>X=1, cumplimiento</p> <p>X=0, no cumplimiento</p>	<p>Verificación directa: existencia del diagnóstico documentado.</p> <p>Verificación directa: existencia disposición en bloque del <i>layout</i> actual.</p> <p>Tutor temático.</p>	<p>Acceso a plano del <i>layout</i> actual con sus mediciones.</p> <p>Disponibilidad de tiempo del tutor.</p>
<p>Actividad 2:</p> <p>Construcción tabla desde-hacia (flujo-costo).</p>	<p>Logro de construcción tabla desde-hacia.</p>	<p>Indicador binario:</p> <p>X=1, cumplimiento</p> <p>X=0, no cumplimiento</p>	<p>Verificación directa: existencia tabla desde-hacia.</p> <p>Tutor temático.</p>	<p>Acceso a los datos de flujo de materiales.</p> <p>Disponibilidad de tiempo del tutor.</p>
<p>Actividad 3:</p> <p>Construcción tabla de relaciones.</p>	<p>Logro de construcción tabla de relaciones.</p>	<p>Indicador binario:</p> <p>X=1, cumplimiento</p> <p>X=0, no cumplimiento</p>	<p>Verificación directa: existencia tabla de relaciones.</p> <p>Tutor temático.</p>	<p>Disponibilidad personal idóneo para acordar calificaciones de cercanía.</p>
<p>Actividad 4:</p> <p>Ingreso de datos de entrada al <i>software LayoutVT</i>.</p>	<p>Logro ingreso de datos.</p>	<p>Indicador binario:</p> <p>X=1, cumplimiento</p> <p>X=0, no cumplimiento</p>	<p>Verificación directa.</p> <p>Tutor temático.</p>	<p>Disponibilidad de tiempo del tutor.</p>
<p>Actividad 5:</p> <p>Calcular costo y porcentaje de adyacencia del <i>layout</i> actual.</p>	<p>Logro en el cálculo del costo y porcentaje de adyacencia.</p>	<p>Indicador binario:</p> <p>X=1, cumplimiento</p> <p>X=0, no cumplimiento</p>	<p>Verificación directa.</p>	<p>Acceso a los datos de costos.</p>

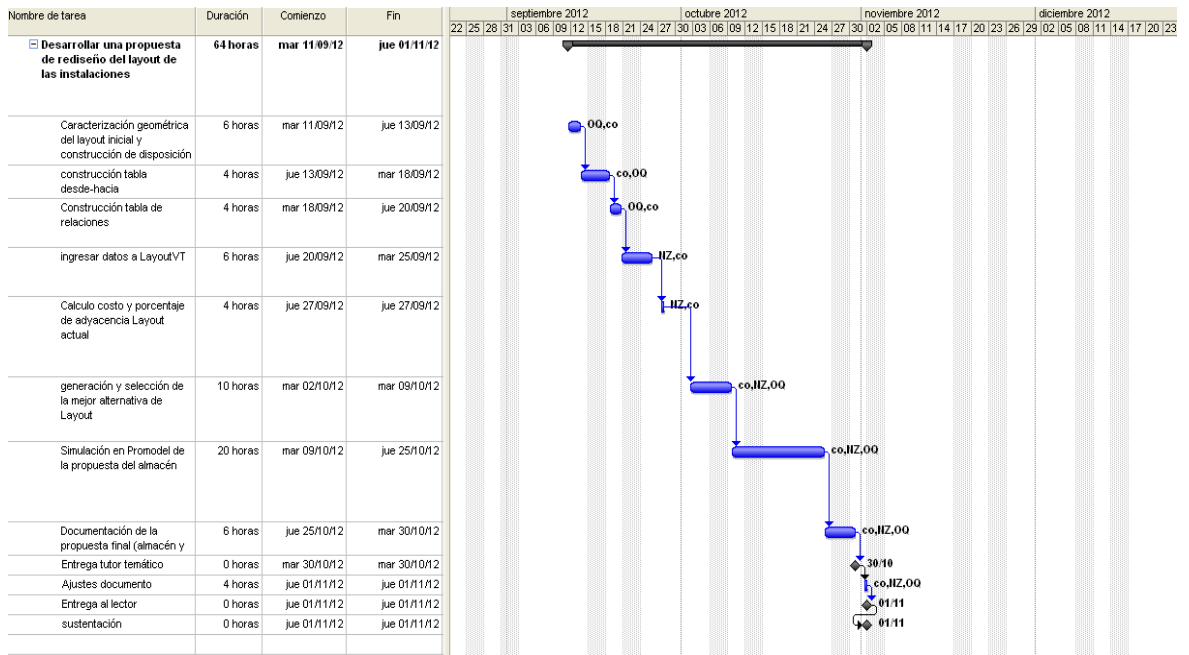
<p>Actividad 6:</p> <p>Generación y selección de las diferentes alternativas de <i>Layout</i>.</p>	<p>Logro de la actividad.</p>	<p>Indicador binario:</p> <p>X=1, cumplimiento</p> <p>X=0, no cumplimiento</p>	<p>Verificación directa: documentación de las disposiciones y decisión final.</p> <p>Tutor temático.</p>	<p>Disponibilidad de tiempo del tutor.</p>
<p>Validar la propuesta a través de la herramienta de simulación ProModel.</p>				
<p>Actividad 1:</p> <p>Determinar el tipo de distribución de los tiempos tomados para cada operación del proceso a través de <i>Stat Fit</i>.</p>	<p>Logro de la actividad.</p>	<p>Indicador binario:</p> <p>X=1, cumplimiento</p> <p>X=0, no cumplimiento</p>	<p>Verificación directa</p> <p>Tutor temático</p>	<p>Disponibilidad del tutor.</p>
<p>Actividad 2:</p> <p>Definir locaciones, entidades, recursos, rutas por las que se mueven los recursos para transportar las entidades, el proceso, los arribos, las variables y los indicadores.</p>	<p>Logro de la actividad.</p>	<p>Indicador binario:</p> <p>X=1, cumplimiento</p> <p>X=0, no cumplimiento</p>	<p>Verificación directa</p> <p>Tutor temático</p>	<p>Disponibilidad del tutor.</p>

Actividad 3: Simular la disposición actual y tomar el valor de los indicadores.	Logro de la actividad.	Indicador binario: $X=1$, cumplimiento $X=0$, no cumplimiento	Verificación directa Tutor temático	Disponibilidad del tutor.
Actividad 4: Simular la disposición propuesta y tomar el valor de los indicadores.	Logro de la actividad.	Indicador binario: $X=1$, cumplimiento $X=0$, no cumplimiento	Verificación directa Tutor temático	Disponibilidad del tutor.
Actividad 5: Contrastar los resultados.	Logro de la actividad.	Indicador binario: $X=1$, cumplimiento $X=0$, no cumplimiento	Verificación directa Tutor temático	Disponibilidad del tutor.

Anexo B. Cronograma







Fuente: Los Autores.

Anexo C. Venta neta en litros por mes (año 2011)

REFERENCIAS	VENTA NETA (L/MES)												TOTAL AÑO
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	
ENTERA UHT X 1100	836,171.60	818,369.20	912,264.10	1,038,408.80	1,022,694.20	1,033,898.80	1,033,898.80	1,087,974.80	1,299,783.10	1,172,926.70	1,097,204.90	1,251,686.70	12,605,281.70
ENTERA UHT X 900	129,708.90	136,151.10	133,036.20	165,945.60	146,124.90	129,118.50	129,118.50	131,555.70	133,481.70	133,087.50	134,856.00	147,408.30	1,649,592.90
ENTERA UHT X 450	149,799.60	156,445.65	158,816.70	165,973.05	169,637.40	168,751.35	168,751.35	202,166.55	224,874.90	197,507.70	184,969.35	176,221.80	2,123,915.40
ENTERA UHT X 200	45,442.20	55,040.00	58,751.80	61,165.80	66,093.40	66,685.80	66,685.80	79,294.80	83,316.80	72,713.00	76,139.20	61,549.60	792,878.20
DESLAC UHT X 1100	46,861.10	69,210.90	78,087.90	62,693.40	81,580.40	84,953.00	84,953.00	88,280.50	114,991.80	109,650.20	101,093.30	94,992.70	1,017,348.20
DESLAC UHT X 900	47,009.70	51,313.50	51,480.00	49,285.80	56,625.30	50,893.20	50,893.20	44,318.70	45,045.00	42,503.40	49,204.80	42,867.00	581,439.60
DESLAC UHT X 450	780.75	627.75	579.15	733.05	997.65	818.55	818.55	918.45	764.10	893.25	913.50	983.25	9,828.00
DESCREMADA (LIGH) UHT X 900	706.50	663.30	626.40	681.30	732.60	773.10	773.10	1,238.40	1,279.80	1,185.30	998.10	949.50	10,607.40
FORTIFICADA ENTERA PASTEURIZADA X 1000	24,681.16	19,618.65	19,587.06	15,613.86	16,049.17	13,898.12	13,507.48	14,652.79	15,613.10	16,496.74	16,233.79	13,520.75	199,472.69
FORTIFICADA ENTERA PASTEURIZADA X 450	12,523.29	12,912.48	13,478.14	17,047.04	14,105.83	12,772.43	13,319.04	17,449.33	20,652.52	20,050.40	21,546.16	19,205.61	195,062.27

Fuente: Los Autores.

Anexo D. Datos producción en litros (2012)

Enero					
Día	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5
Lunes	48312	13632	39933	36672	44166
Martes	37368	40612	44716	46145	44947
Miércoles	36485	30730	37354	29141	0
Jueves	41660	50838	44116	33176	0
Viernes	54637	55295	66493	67129	0
Sábado	45201	43820	38178	46134	0

Febrero					
Día	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5
Lunes	0	35682	50491	31978	35563
Martes	0	42493	49105	37261	43269
Miércoles	33309	25392	33553	41011	66996
Jueves	32933	31318	37429	37384	0
Viernes	57918	55033	65164	75615	0
Sábado	34429	36170	36735	41971	0

Marzo					
Día	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5
Lunes	0	31483	37382	32151	36741
Martes	0	32265	38023	37733	34023
Miércoles	0	33353	44458	40300	58292
Jueves	32267	38646	35279	34909	35647
Viernes	59833	71584	71906	66892	74077
Sábado	45641	40240	41045	39835	58036

Abril					
Día	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5
Lunes	16143	58715	33029	37616	41377
Martes	32861	38577	41950	49280	0
Miércoles	48321	43465	35638	35177	0
Jueves	98696	40901	50266	50227	0
Viernes	20840	68431	76817	67693	0
Sábado	14933	39692	60228	64083	0

Fuente: Los Autores.

Anexo E. Formato para registro de tiempos

Operación	
Empleado	
Antigüedad	
Observaciones (min)	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
...	
...	
Observación n	
Promedio	
Desv. Est	
k	
t	
N	
CV	

Fuente: Los Autores.

Anexo F. Observaciones llenado de cestillos

Operación	Llenado de cestillo		
Empleado	Operario 1		
Observaciones (min)			
1	0,452	49	0,398
2	0,324	50	0,443
3	0,373	51	0,481
4	0,42	52	0,456
5	0,324	53	0,496
6	0,42	54	0,432
7	0,443	55	0,448
8	0,412	56	0,366
9	0,424	57	0,487
10	0,363	58	0,451
11	0,368	59	0,444
12	0,359	60	0,327
13	0,356	61	0,444
14	0,444	62	0,401
15	0,445	63	0,426
16	0,36	64	0,373
17	0,376	65	0,404
18	0,348	66	0,413
19	0,365	67	0,41
20	0,379	68	0,368
21	0,447	69	0,429
22	0,45	70	0,381
23	0,374	71	0,376
24	0,377	72	0,416
25	0,351	73	0,382
26	0,403	74	0,325
27	0,372	75	0,441
28	0,45	76	0,406
29	0,399	77	0,439
30	0,336	78	0,498
31	0,367	79	0,386

32	0,414	80	0,471
33	0,406	81	0,369
34	0,342	82	0,427
35	0,385	83	0,447
36	0,341	84	0,414
37	0,495	85	0,329
38	0,47	86	0,327
39	0,477	87	0,491
40	0,423	88	0,412
41	0,429	89	0,468
42	0,368	90	0,375
43	0,414	\bar{X}	0,407
44	0,448	σ	0,05
45	0,447	k	0,05
46	0,495	t	1,96
47	0,354	N	20
48	0,456	CV	0,115177

Fuente: Los Autores.

Anexo G. Observaciones armado de una estiba

Operación	Armado de una estiba		
Empleado	Operario 1		
Observaciones	Elementos		Total
	Acomodo de estiba (min)	Armado estiba (min)	
1	0,079	7,41	7,489
2	0,143	9,43	9,573
3	0,172	8,06	8,232
4	0,093	9,23	9,323
5	0,129	8,5	8,629
6	0,098	6,43	6,528
7	0,089	7,07	7,159
8	0,163	11,07	11,233
9	0,095	9,19	9,285

10	0,19	7,58	7,77
11	0,175	8,54	8,715
12	0,204	13,22	13,424
13	0,264	9,35	9,614
14	0,224	7,48	7,704
15	0,224	6,59	6,814
16	0,185	8,42	8,605
17	0,12	9,01	9,13
18	0,283	11,04	11,323
19	0,2	9,41	9,61
20	0,256	8,55	8,806
21	0,214	11,1	11,314
22	0,305	11,1	11,405
23	0,193	7,33	7,523
24	0,181	8,46	8,641
25	0,112	9,17	9,282
26	0,092	11,58	11,672
27	0,102	8,51	8,612
28	0,127	10,56	10,687
29	0,187	6,02	6,207
30	0,192	11,21	11,402
31	0,17	6,19	6,36
32	0,204	10,26	10,464
33	0,16	7,14	7,3
34	0,153	9,24	9,393
35	0,151	7,51	7,661
36	0,192	6,02	6,212
37	0,22	7,49	7,71
38	0,177	6	6,177
39	0,228	7,54	7,768
40	0,268	10,16	10,428
41	0,211	9,5	9,711
42	0,159	9,16	9,319
43	0,154	9,25	9,404
44	0,205	9,1	9,305
45	0,104	9,59	9,694
46	0,158	11,56	11,718
47	0,08	10,19	10,27

48	0,127	9,49	9,617
49	0,187	10,48	10,667
50	0,178	11,22	11,398
51	0,214	7,48	7,694
52	0,252	7,78	8,031
53	0,126	10	10,123
54	0,223	9,58	9,806
55	0,147	10,66	10,808
56	0,238	8,29	8,532
57	0,302	9,14	9,439
58	0,08	8,02	8,099
59	0,194	10,24	10,431
60	0,284	9,35	9,632
61	0,082	8,49	8,572
62	0,168	8,05	8,216
63	0,153	9,39	9,543
64	0,239	10,7	10,934
65	0,155	9,68	9,839
66	0,28	9,57	9,851
67	0,168	10,14	10,312
68	0,277	10,97	11,246
69	0,169	12,54	12,705
70	0,13	9,94	10,074
71	0,195	9,01	9,204
72	0,123	7,58	7,702
73	0,141	11,09	11,233
74	0,231	8,19	8,423
75	0,092	10,59	10,679
76	0,182	9,56	9,739
77	0,19	10,7	10,891
78	0,143	8,21	8,349
79	0,294	9,72	10,017
80	0,204	13,57	13,773
81	0,147	10,8	10,943
82	0,111	10,53	10,637
83	0,094	11,8	11,889
84	0,155	9,5	9,659
85	0,3	9,81	10,112

86	0,23	9,09	9,321
87	0,172	11,04	11,214
88	0,202	10,34	10,539
89	0,139	10,72	10,862
90	0,093	10,73	10,822
\bar{X}			9,513
σ			1,592
k			0,05
t			1,96
N			43
CV	33,37%	17,11%	

Fuente: Los Autores.

Anexo H. Observaciones ubicación temporal de la estiba

Operación	Ubicación temporal estiba		
Empleado	Operario 2		
Observaciones (min)			
1	1,5	49	1,1
2	1,59	50	1,79
3	1,41	51	1,3
4	1,5	52	1,34
5	1,34	53	1,23
6	1,39	54	1,66
7	1,03	55	1,33
8	1,74	56	1,27
9	1,31	57	1,35
10	1,49	58	1,54
11	1,27	59	1,3
12	1,2	60	1,22
13	1,48	61	1,26
14	1,52	62	1,5
15	1,49	63	1,37

16	1,02	64	1,46
17	1,32	65	1,4
18	1,34	66	1,37
19	1,57	67	1,65
20	1,32	68	1,27
21	1,01	69	1,47
22	1,35	70	1,37
23	1,25	71	1,17
24	1,33	72	1,27
25	1,01	73	1,37
26	1,06	74	1,44
27	1,5	75	1,41
28	1,59	76	1,57
29	1,43	77	1,72
30	1,53	78	1,61
31	1,5	79	1,09
32	1,75	80	1,61
33	1,34	81	1,77
34	1,53	82	1,46
35	1,23	83	1,42
36	1,41	84	1,69
37	1,3	85	1,26
38	1,34	86	1,62
39	1,29	87	1,28
40	1,58	88	1,7
41	1,27	89	1,5
42	1,72	90	1,34
43	1,38	\bar{X}	1,4
44	1,31	σ	0,18
45	1,67	k	0,05
46	1,09	t	1,96
47	1,56	N	27
48	1,21	CV	0,1317584

Fuente: Los Autores.

Anexo I. Observaciones traslado de la estiba al CEDI

Operación	Traslado estiba a CEDI		
Empleado	Operario 2		
Observaciones (min)			
1	2,26	49	2,22
2	2,28	50	2,03
3	2,33	51	2,26
4	2,4	52	2,37
5	1,98	53	2,25
6	2,13	54	2,36
7	1,73	55	2,29
8	2,01	56	2,02
9	1,99	57	2,25
10	2,25	58	2,1
11	2,09	59	1,71
12	2,15	60	2,39
13	2,06	61	2,67
14	1,92	62	1,83
15	2,13	63	2,25
16	2,25	64	1,92
17	1,88	65	2,4
18	2,07	66	2,19
19	1,88	67	1,95
20	2,06	68	2,08
21	2,12	69	2,17
22	2,24	70	1,91
23	2,04	71	1,7
24	2,37	72	1,94
25	2,14	73	2,1
26	2,2	74	2,12
27	2,18	75	2
28	2,33	76	1,96
29	2,05	77	2,39
30	2,58	78	2,02

31	2,08	79	2,02
32	2,27	80	2,37
33	2,32	81	1,9
34	2,3	82	2,32
35	2,51	83	2,27
36	2,17	84	2,35
37	2,12	85	2,02
38	2,38	86	2,25
39	2,45	87	2,02
40	1,95	88	2,18
41	2,18	89	2,32
42	2,17	90	2,35
43	1,98	\bar{X}	2,15
44	1,95	σ	0,19
45	2,18	k	0,05
46	2,43	t	1,96
47	2,08	N	12
48	2,03	CV	0,0877358

Fuente: Los Autores.

Anexo J. Validación del tamaño de muestra

	X	σ	k	t	N
Llenado de cestillo	0,407	0,047	0,05	1,96	20
Acomodo y armado de una estiba	0,159	0,025	0,05	1,96	39
Ubicación temporal estiba	1,402	0,185	0,05	1,96	27
Traslado de estiba a CEDI	2,154	0,189	0,05	1,96	12

$$N = \frac{t * \sigma^2}{k * X}$$

Fuente: Los Autores.

Anexo K. Calificación detallada de cada elemento

Calificación del trabajo		
Operación:	Armado de una estiba	
Elementos	Acomodo de estiba	Armado estiba
Estándar	100%	100%
Destreza o habilidad	11%	6%
Consistencia	-4%	-2%
Condiciones de trabajo	2%	2%
Esfuerzo	2%	2%
Total	111%	108%

Calificación del trabajo	
Operación:	Ubicación temporal estiba
Elemento	
Estándar	100%
Destreza o habilidad	11%
Consistencia	0%
Condiciones de trabajo	2%
Esfuerzo	5%
Total	118%

Calificación del trabajo	
Operación:	Traslado estiba a CEDI
Elemento	
Estándar	100%
Destreza o habilidad	13%
Consistencia	3%
Condiciones de trabajo	-3%
Esfuerzo	5%
Total	118%

Calificación del trabajo	
Operación:	Llenado de cestillo
Elemento	
Estándar	100%
Destreza o habilidad	8%
Consistencia	0%
Condiciones de trabajo	-3%
Esfuerzo	0%
Total	105%

Fuente: Los Autores.

Anexo L. Suplementos de cada elemento

Suplementos		
Operación:	Armado de una estiba	
Elementos	Acomodo de estiba	Armado estiba
Personal	5%	5%
Fatiga	27%	24%
Retraso	2%	2%
Total	34%	31%

Suplementos	
Operación:	Ubicación temporal estiba
Elemento	
Personal	5%
Fatiga	11%
Retraso	2%
Total	18%

Suplementos	
Operación:	Traslado estiba a CEDI
Elementos	
Personal	5%
Fatiga	15%
Retraso	2%
Total	22%

Suplementos	
Operación:	Llenado de cestillo
Elementos	
Personal	5%
Fatiga	27%
Retraso	2%
Total	34%

Fuente: Los Autores.

Anexo M. Suplementos detallados de cada elemento

Llenado de cestillo			
Personal			5%
Fatiga			27%
Fatiga base	5%		
Trabajo de pie	2%		
Postura Anormal	2%		
Uso de Fuerza o energía muscular (peso levantado por kilogramo)	9%		
Iluminación	0%		
Condiciones Atmosféricas (kata (mili calorías/cm2/seg))	0%		
Concentración Intensa	2%		
Ruido	0%		
Tensión mental	4%		
Monotonía	1%		
Tedio	2%		
Suma sin condiciones atmosféricas		32%	

Factor		32%	
Retraso			2%
Total suplementos			34%

Elemento 1	Acomodo de estiba		
Personal			5%
Fatiga			27%
Fatiga base	5%		
Trabajo de pie	2%		
Postura Anormal	0%		
Uso de Fuerza o energía muscular (peso levantado por kilogramo)	17%		
Iluminación	0%		
Condiciones atmosféricas (kata (mili calorías/cm2/seg)	0%		
Concentración Intensa	0%		
Ruido	2%		
Tensión mental	1%		
Monotonía	0%		
Tedio	0%		
Suma sin condiciones atmosféricas		32%	
Factor		32%	
Retraso			2%
Total suplementos			34%

Elemento 2	Armado estiba		
Personal			5%
Fatiga			24%
Fatiga base	5%		
Trabajo de pie	2%		
Postura Anormal	2%		
Uso de Fuerza o energía muscular (peso levantado por kilogramo)	9%		
Iluminación	0%		
condiciones Atmosféricas (kata (mili calorías/cm2/seg)	0%		
Concentración Intensa	2%		
Ruido	0%		
Tensión mental	1%		

Monotonía	1%		
Tedio	2%		
Suma sin condiciones		29%	
Factor		29%	
Retraso			2%
Total suplementos			31%

Ubicación temporal estiba			
Personal			5%
Fatiga			11%
Fatiga base	5%		
Trabajo de pie	2%		
Postura Anormal	0%		
Uso de Fuerza o energía muscular (peso levantado por kilogramo)	0%		
Iluminación	0%		
Condiciones atmosféricas (kata (mili calorías/cm2/seg)	0%		
Concentración Intensa	0%		
Ruido	2%		
Tensión mental	1%		
Monotonía	1%		
Tedio	0%		
Suma sin condiciones atmosféricas		16%	
Factor		16%	
Retraso			2%
Total suplementos			18%

Traslado estiba a CEDI			
Personal			5%
Fatiga			15%
Fatiga base	5%		
Trabajo de pie	2%		
Postura Anormal	0%		
Uso de Fuerza o energía muscular (peso levantado por kilogramo)	0%		
Iluminación	0%		
Condiciones atmosféricas (kata (mili calorías/cm2/seg)	0%		
Concentración Intensa	5%		

Ruido	2%		
Tensión mental	1%		
Monotonía	0%		
Tedio	0%		
Suma sin condiciones atmosféricas		20%	
Factor		20%	
Retraso			2%
Total suplementos			22%

Fuente: Los Autores.

Anexo N. Matriz de flujo disposición en bloque

f_{ij} (Lt/h)	Zona de recibo	Tanques de agua	Almacén de materias primas	Laboratorio	Procesos	Silo 3	Silo 1 y 2	Empaque	Cestillos y perolas (pre-embalaje)	Cuarto frío 1 (embalaje)	Cuarto frío 2	Despacho	Muelle	CEDI	Patio maniobra CEDI	Mantenimiento	Lavado de pies
Zona de recibo	-				10000												
Tanques de agua		-															
Almacén de materias primas			-														
Laboratorio				-													
Procesos					-	10000	8400	6000									
Silo 3					8400	-											
Silo 1 y 2					6000		-										
Empaque								-	6000								
Cestillos y perolas (pre-embalaje)									-	5491							
Cuarto frío 1 (embalaje)										-				3420			
Cuarto frío 2											-						
Despacho												-					
Muelle													-				
CEDI														-			
Patio maniobra CEDI															-		
Mantenimiento																-	
Lavado de pies																	-

Fuente: Los Autores.

Anexo O. Matriz de flujo disposición detallada

f_{ij} (L/h)	Intercambiador 1	Tanque balanza pasteurizador	Intercambiador 2	Clarificadora	Homogenizador pasteurizador	Retención pasteurizador	Tanques de almacenamiento	Tanque balanza VTIS	Intercambiador 3	Homogenizador VTIS	Inyección de vapor y retención	Campana de extracción	Equipo de lavado	Tableros de control	Tanque condensados
Intercambiador 1	-														
Tanque balanza pasteurizador		-	8400												
Intercambiador 2			-	8400		8400	8400								
Clarificadora				-	8400										
Homogenizador pasteurizador			8400		-										
Retención pasteurizador			8400			-									
Tanques de almacenamiento							-								
Tanque balanza VTIS								-	6000						
Intercambiador 3									-	6000					
Homogenizador VTIS										-	6000				
Inyección de vapor y retención											-	6000			
Campana de extracción									6000			-			
Equipo de lavado													-		
Tableros de control														-	
Tanque condensados															-

Fuente: Los Autores.

Anexo P. Matriz de costo disposición en bloque

C_{ij} (\$/Lt*ft)	Zona de recibo	Tanques de agua	Almacén de materias primas	Laboratorio	Procesos	Silo 3	Silo 1 y 2	Empaque	Cestillos y perolas (pre-embalaje)	Cuarto frío 1 (embalaje)	Cuarto frío 2	Despacho	Muelle	CEDI	Patio maniobra CEDI	Mantenimiento	Lavado de pies
Zona de recibo	-				0,00031												
Tanques de agua		-															
Almacén de materias primas			-														
Laboratorio				-													
Procesos					-	0,00031	0,00694	0,00177									
Silo 3					0,00027	-											
Silo 1 y 2					0,00055		-										
Empaque								-	0,00269								
Cestillos y perolas (pre-embalaje)									-	0,00173							
Cuarto frío 1 (embalaje)										-				0,83697			
Cuarto frío 2											-						
Despacho												-					
Muelle													-				
CEDI														-			
Patio maniobra CEDI															-		
Mantenimiento																-	
Lavado de pies																	-

Fuente: Los Autores.

Anexo Q. Matriz de costo disposición detallada

C_{ij} (\$/lt*ft)	Intercambiador 1	Tanque balanza pasteurizador	Intercambiador 2	Clarificadora	Homogenizador pasteurizador	Retención pasteurizador	Tanques de almacenamiento	Tanque balanza VTIS	Intercambiador 3	Homogenizador VTIS	Inyección de vapor y retención	Campana de extracción	Equipo de lavado	Tableros de control	Tanque condensados
Intercambiador 1	-														
Tanque balanza pasteurizador		-	0,00166												
Intercambiador 2			-	0,00166		0,00694	0,00694								
Clarificadora				-	0,02821										
Homogenizador pasteurizador			0,00694		-										
Retención pasteurizador			0,00694			-									
Tanques de almacenamiento							-								
Tanque balanza VTIS								-	0,01580						
Intercambiador 3									-	0,01580					
Homogenizador VTIS										-	0,08748				
Inyección de vapor y retención											-	0,08748			
Campana de extracción									0,00177			-			
Equipo de lavado													-		
Tableros de control														-	
Tanque condensados															-

Fuente: Los Autores.

Anexo R. Matriz de relaciones disposición en bloque

R _{ij}	Zona de recibo	Tanques de agua	Almacén de materias primas	Laboratorio	Procesos	Silo 3	Silo 1 y 2	Empaque	Cestillos y perolas	Cuarto frío 1 (pre-embalaje)	Cuarto frío 2 (embalaje)	Despacho	Muelle	CEDI	Patio maniobra CEDI	Mantenimiento	Lavado de pies
Zona de recibo	-	I	U	E	A	E	U	U	U	U	U	U	U	U	U	O	U
Tanques de agua		-	U	U	A	I	I	U	I	U	U	U	U	U	U	O	U
Almacén de materias primas			-	U	E	U	U	I	O	U	U	U	U	U	U	U	U
Laboratorio				-	A	O	I	E	U	U	U	U	U	U	U	U	U
Procesos					-	A	A	A	O	U	U	U	U	U	U	I	A
Silo 3						-	O	U	U	U	U	U	U	U	U	O	U
Silo 1 y 2							-	I	U	U	U	U	U	U	U	O	U
Empaque								-	A	I	I	O	U	U	U	I	U
Cestillos y perolas									-	A	I	O	O	I	O	O	U
Cuarto frío 1										-	E	E	I	E	O	O	U
Cuarto frío 2											-	E	I	U	O	O	U
Despacho												-	A	A	I	U	U
Muelle													-	I	A	U	U
CEDI														-	O	O	U
Patio maniobra CEDI															-	U	U
Mantenimiento																-	U
Lavado de pies																	U

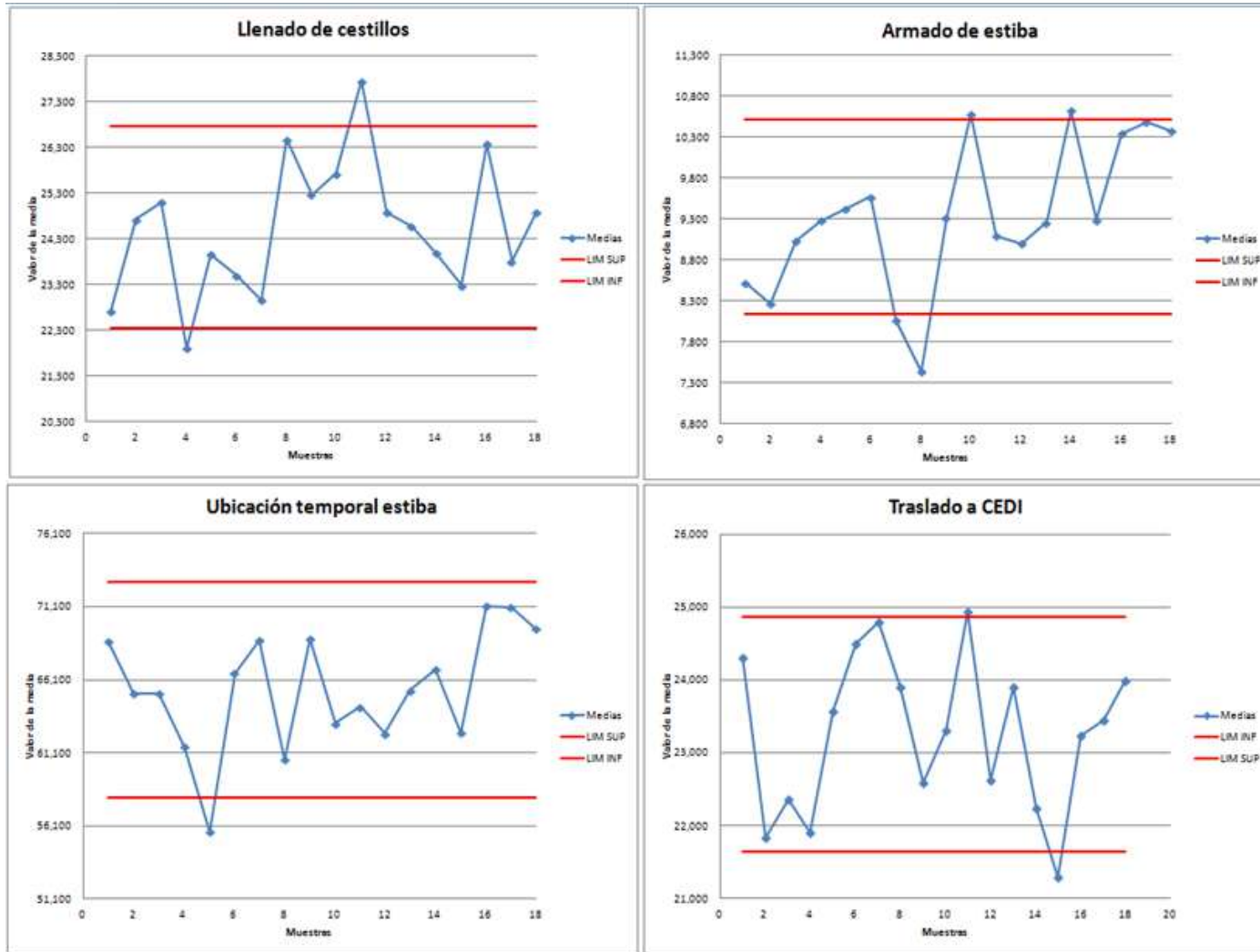
Fuente: Los Autores.

Anexo S. Matriz de relaciones disposición detallada

R _{ij}	Intercambiador 1	Tanque balanza pasteurizador	Intercambiador 2	Clarificadora	Homogenizador pasteurizador	Retención pasteurizador	Tanques de almacenamiento	Tanque balanza VTIS	Intercambiador 3	Homogenizador VTIS	Inyección de vapor y retención	Campana de extracción	Equipo de lavado	Tableros de control	Tanque condensados
Intercambiador 1	-	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U
Tanque balanza pasteurizador		-	A	E	O	A	O	U	U	U	U	U	U	U	U
Intercambiador 2			-	A	E	A	I	U	U	U	U	U	U	U	U
Clarificadora				-	A	O	O	U	U	U	U	U	U	U	U
Homogenizador pasteurizador					-	E	O	U	U	U	U	U	U	U	U
Retención pasteurizador						-	O	U	U	U	U	U	U	U	U
Tanques de almacenamiento							-	U	U	U	U	U	I	O	U
Tanque balanza VTIS								-	A	E	A	I	U	U	O
Intercambiador 3									-	A	E	A	U	U	U
Homogenizador VTIS										-	A	E	U	U	U
Inyección de vapor y retención											-	A	U	U	E
Campana de extracción												-	U	U	A
Equipo de lavado													-	U	U
Tableros de control														-	U
Tanque condensados															-

Fuente: Los Autores

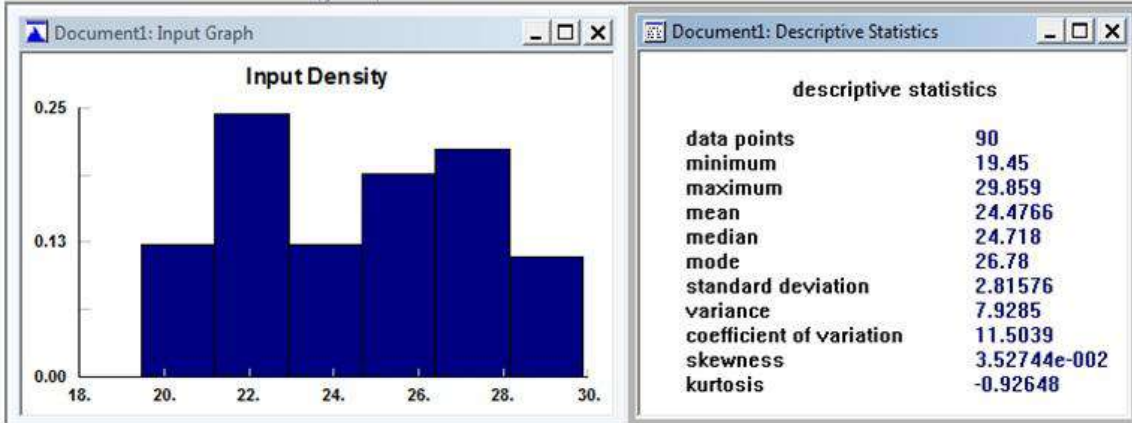
Anexo T. Pruebas de homogeneidad



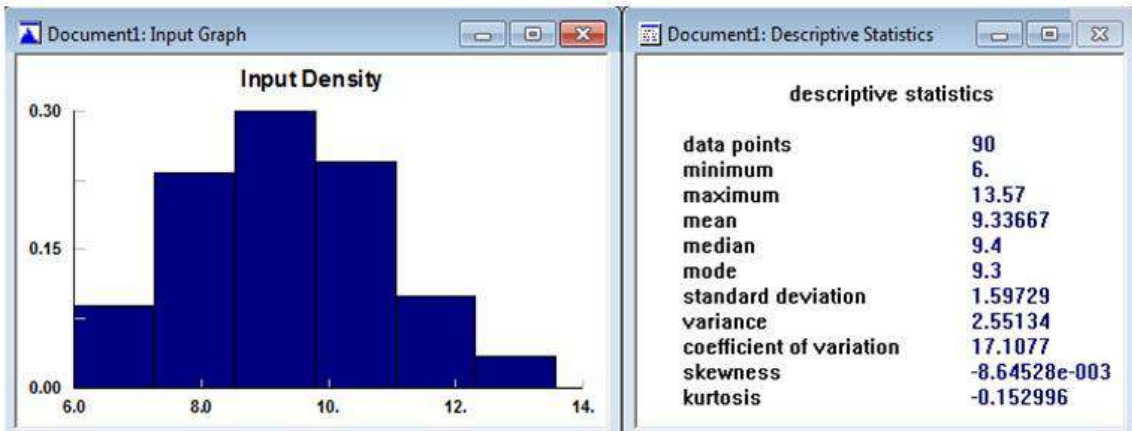
Fuente: Los Autores.

Anexo U. Estadísticas Descriptivas

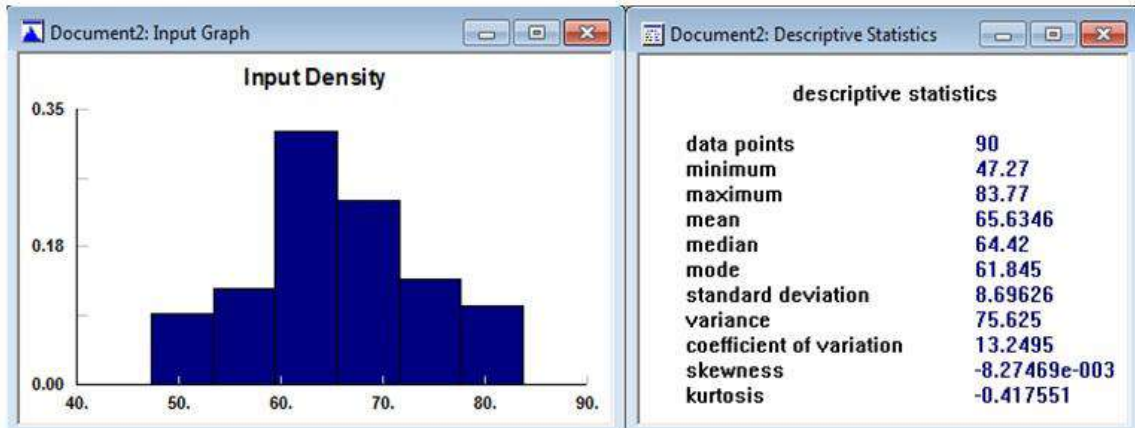
Llenado de cestillos



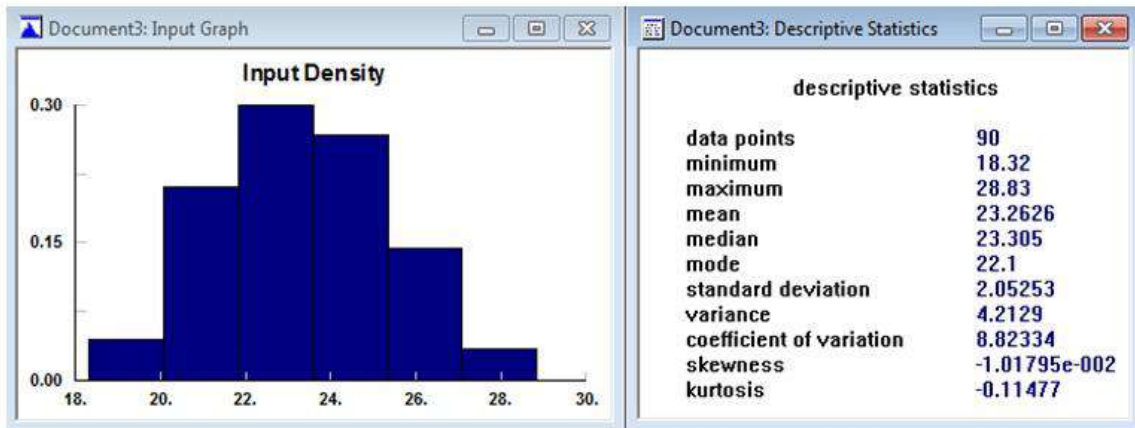
Armado de estiba



Ubicación temporal estiba



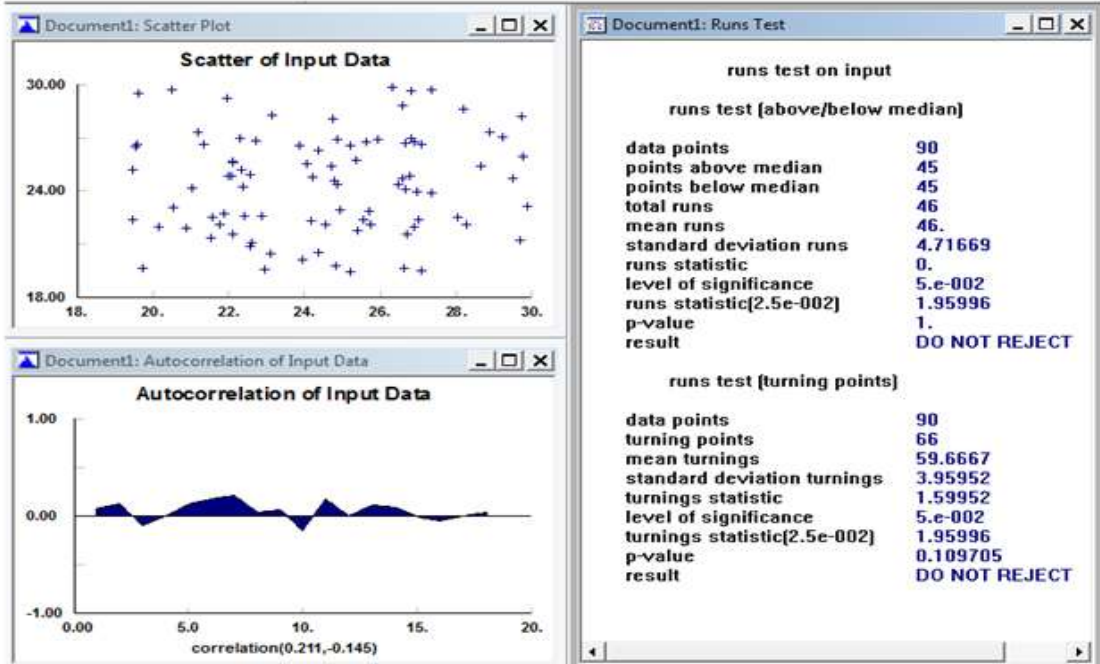
Traslado estiba a CEDI



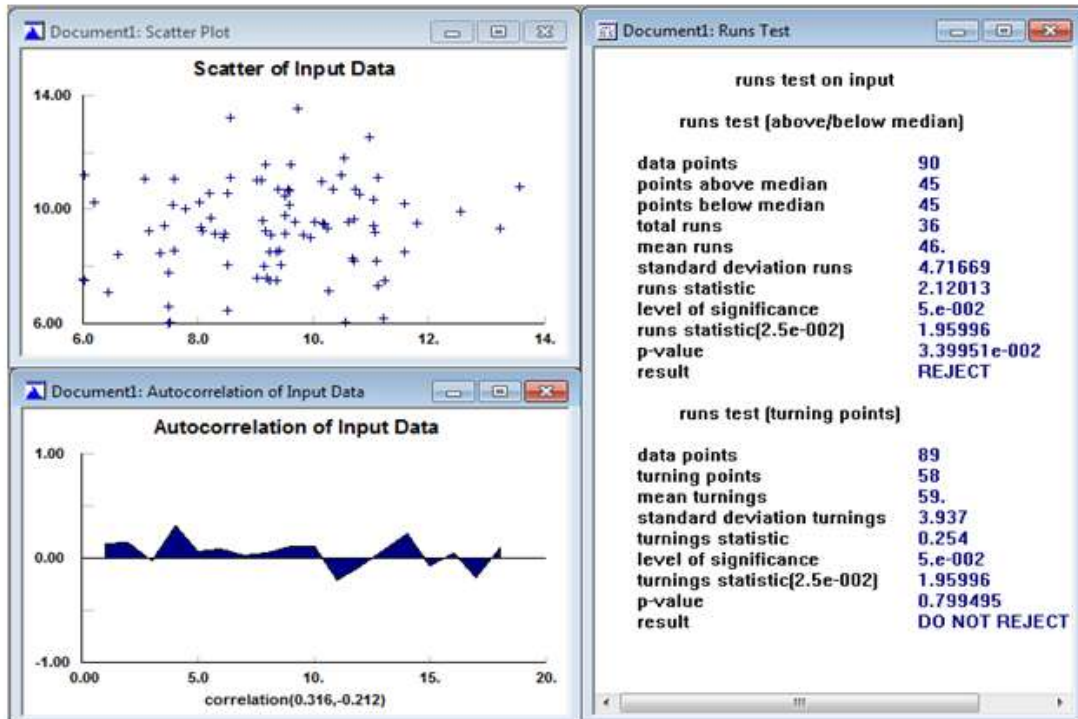
Fuente: Los Autores.

Anexo V. Graficos de dispersión, autocorrelación y corridas.

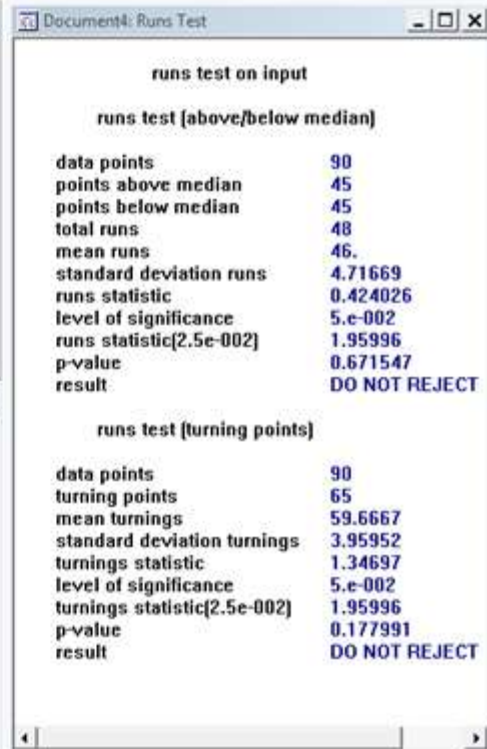
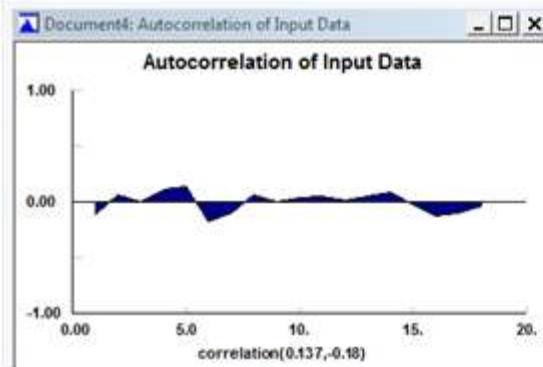
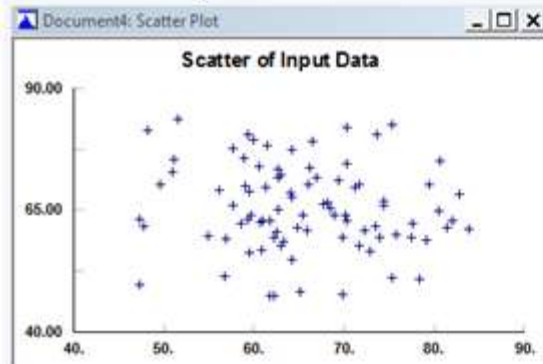
Llenado de cestillos



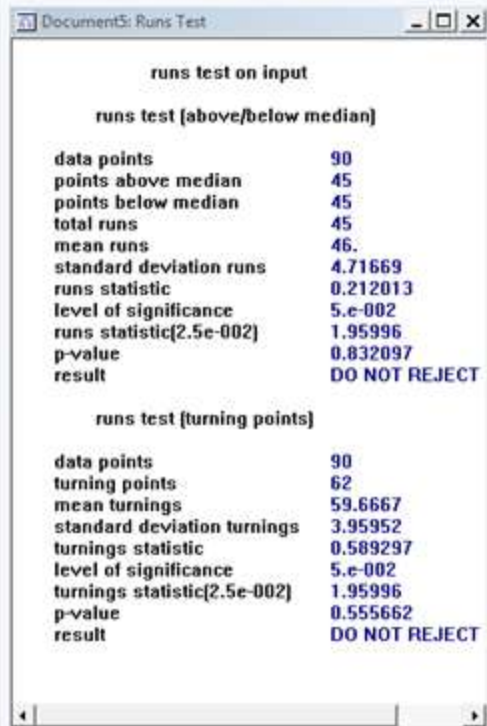
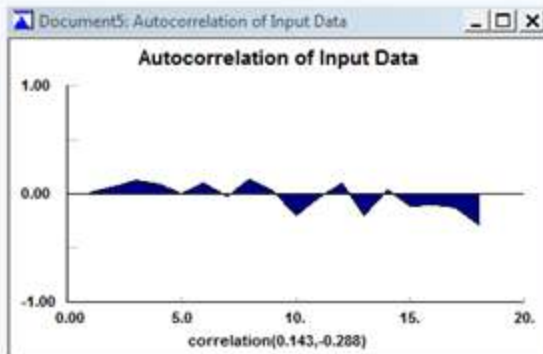
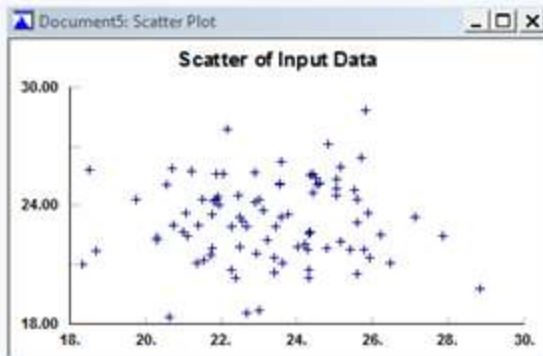
Armado de estiba



Ubicación temporal estiba



Traslado de estiba a CEDI



Fuente: Los Autores.

Anexo W. Ajustes por acotamientos

Llenado de cestillos

Auto::Fit of Distributions

distribution	rank	acceptance
Beta[19., 29.9, 1.35, 1.32]	100	do not reject
Johnson SB[19., 11.3, 3.57e-002, 0.732]	62.9	do not reject
Weibull[19., 1.99, 6.14]	27.4	do not reject
Rayleigh[19., 4.35]	27.1	do not reject
Uniform[19., 29.9]	11.2	do not reject
Erlang[19., 3., 1.83]	4.54	do not reject
Triangular[19., 31., 23.8]	4.18	do not reject
Gamma[19., 2.61, 2.1]	4.08	do not reject
Pearson 6[19., 4.51e+004, 2.59, 2.14e+004]	4.02	do not reject
Chi Squared[19., 5.43]	3.05	do not reject
Power Function[19., 29.9, 1.13]	2.96	do not reject
LogLogistic[19., 2.55, 4.96]	2.14	reject
Lognormal[19., 1.5, 0.748]	0.14	reject
Inverse Gaussian[19., 6.8, 5.48]	1.61e-003	reject
Pareto[19., 4.05]	0.	reject
Exponential[19., 5.48]	0.	reject
Inverse Weibull[19., 1.06, 0.34]	0.	reject
Pearson 5[19., 1.43, 4.35]	0.	reject

Beta

minimum = 19. [fixed]
 maximum = 29.859
 p = 1.35202
 q = 1.32461

Chi Squared

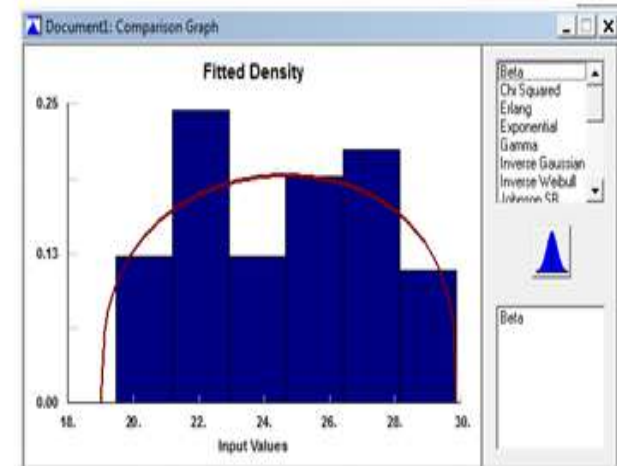
total classes = 6
 interval type = equal probable
 net bins = 6
 chi**2 = 8.67
 degrees of freedom = 5
 alpha = 5.e-002
 chi**2[5,5.e-002] = 11.1
 p-value = 0.123
 result = DO NOT REJECT

Kolmogorov-Smirnov

data points = 90
 ks stat = 7.79e-002
 alpha = 5.e-002
 ks stat[90,5.e-002] = 0.141
 p-value = 0.617
 result = DO NOT REJECT

Anderson-Darling

data points = 89
 ad stat = 0.592
 alpha = 5.e-002
 ad stat[5.e-002] = 2.49
 p-value = 0.655
 result = DO NOT REJECT



Armado de estiba

Auto::Fit of Distributions

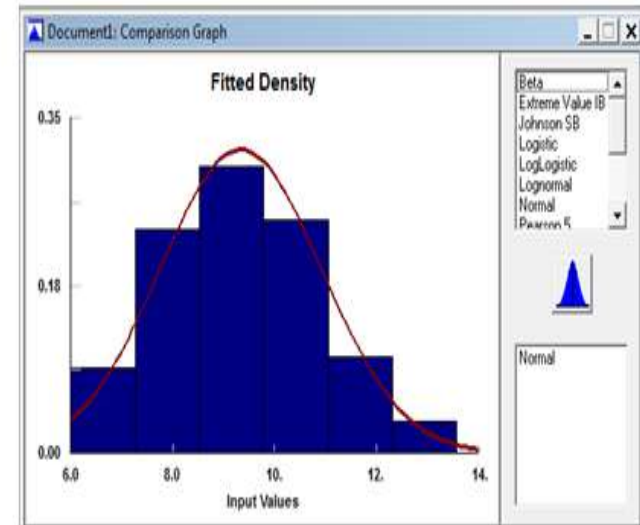
distribution	rank	acceptance
Logistic[9.37, 0.919]	90.	do not reject
Normal[9.34, 1.59]	77.4	do not reject
Lognormal[-461, 6.15, 3.37e-003]	75.8	do not reject
LogLogistic[-862, 990, 872]	69.8	do not reject
Weibull[4.51, 3.36, 5.37]	67.9	do not reject
Beta[1.58, 17.9, 12., 13.2]	66.8	do not reject
Pearson 5[-10.1, 144, 2.77e+003]	29.5	do not reject
Extreme Value IB[10.1, 1.57]	14.8	do not reject
Triangular[5.42, 13.8, 9.33]	10.9	do not reject
Rayleigh[5.74, 2.78]	0.303	reject
Johnson SB[4.93, 7.42, -0.385, 1.08]	1.33e-014	reject
Uniform[6., 13.6]	0.	reject
Power Function[6., 13.6, 0.867]	0.	reject

Normal
 mean = 9.33667
 sigma = 1.58839

Chi Squared
 total classes 6
 interval type equal probable
 net bins 6
 chi**2 2.27
 degrees of freedom 5
 alpha 5.e-002
 chi**2[5.5.e-002] 11.1
 p-value 0.811
 result DO NOT REJECT

Kolmogorov-Smirnov
 data points 90
 ks stat 7.41e-002
 alpha 5.e-002
 ks stat[90,5.e-002] 0.141
 p-value 0.679
 result DO NOT REJECT

Anderson-Darling
 data points 90
 ad stat 0.395
 alpha 5.e-002
 ad stat[5.e-002] 2.49
 p-value 0.854
 result DO NOT REJECT

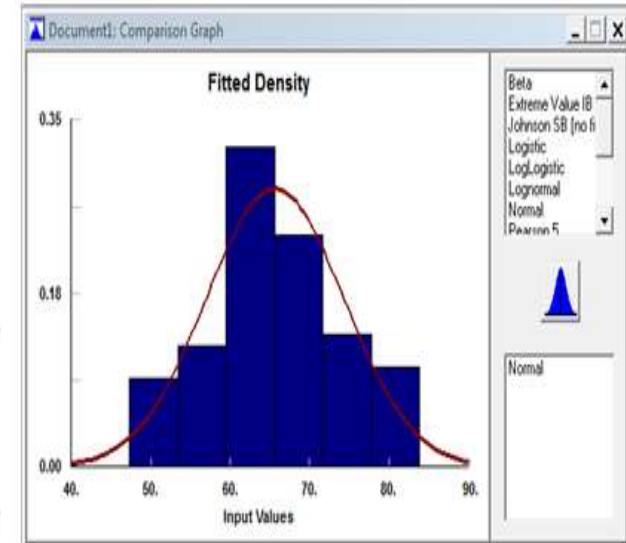


Ubicación temporal estiba

Auto::Fit of Distributions

distribution	rank	acceptance
Lognormal[-1.15e+003, 7.1, 7.1e-003]	91.9	do not reject
Normal[65.6, 8.65]	88.9	do not reject
Weibull[38.7, 3.47, 30.]	88.3	do not reject
Logistic[65.5, 5.02]	84.5	do not reject
Pearson 5[-7.31, 67.8, 4.88e+003]	81.7	do not reject
LogLogistic[-4.79e+003, 1.01e+003, 4.86e+003]	56.7	do not reject
Beta[47.3, 83.8, 1.81, 1.76]	41.6	do not reject
Triangular[44.8, 86.6, 62.9]	24.2	do not reject
Extreme Value IB[70.1, 8.06]	3.23	do not reject
Rayleigh[45.9, 15.2]	1.04	do not reject
Uniform[47.3, 83.8]	6.21e-002	reject
Power Function[47.3, 83.8, 1.21]	4.23e-002	reject
Johnson SB	no fit	reject

Normal		
mean	=	65.6346
sigma	=	8.64781
Chi Squared		
total classes		6
interval type		equal probable
net bins		6
chi**2		3.73
degrees of freedom		5
alpha		5.e-002
chi**2[5,5.e-002]		11.1
p-value		0.588
result		DO NOT REJECT
Kalmogorov-Smirnov		
data points		90
ks stat		7.e-002
alpha		5.e-002
ks stat[90,5.e-002]		0.141
p-value		0.744
result		DO NOT REJECT
Anderson-Darling		
data points		90
ad stat		0.419
alpha		5.e-002
ad stat[5.e-002]		2.49
p-value		0.83
result		DO NOT REJECT



Traslado de estiba a CEDI

Auto::Fit of Distributions

distribution	rank	acceptance
Weibull[16.5, 3.7, 7.54]	96.5	do not reject
Beta[11.8, 34.9, 15.5, 15.7]	91.	do not reject
Normal[23.3, 2.04]	85.1	do not reject
Lognormal[-731, 6.63, 2.71e-003]	84.5	do not reject
Pearson 5[-5.49, 188, 5.37e+003]	69.	do not reject
Logistic[23.3, 1.18]	62.2	do not reject
LogLogistic[993, 898, 1.02e+003]	38.6	do not reject
Triangular[17.9, 29.1, 22.9]	20.5	do not reject
Extreme Value IB[24.3, 1.98]	18.5	do not reject
Rayleigh[18.2, 3.88]	0.325	do not reject
Johnson SB[19.6, 7.11, -8.91e-002, 0.817]	1.21e-014	reject
Uniform[18.3, 28.8]	0.	reject
Power Function[18.3, 28.9, 1.06]	0.	reject

Weibull

minimum = 16.458
 alpha = 3.69566
 beta = 7.53672

Chi Squared

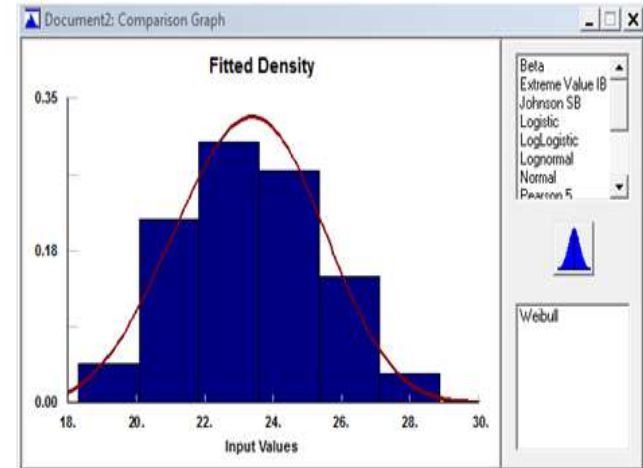
total classes 6
 interval type equal probable
 net bins 6
 chi**2 3.33
 degrees of freedom 5
 alpha 5.e-002
 chi**2[5,5.e-002] 11.1
 p-value 0.649
 result DO NOT REJECT

Kolmogorov-Smirnov

data points 90
 ks stat 5.68e-002
 alpha 5.e-002
 ks stat[90,5.e-002] 0.141
 p-value 0.918
 result DO NOT REJECT

Anderson-Darling

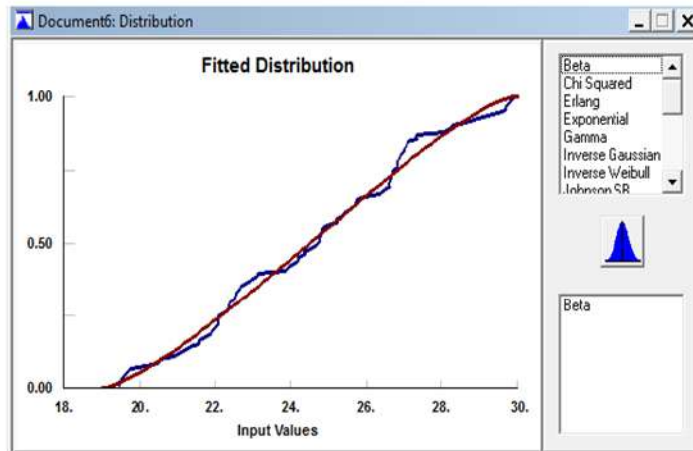
data points 90
 ad stat 0.264
 alpha 5.e-002
 ad stat[5.e-002] 2.49
 p-value 0.963
 result DO NOT REJECT



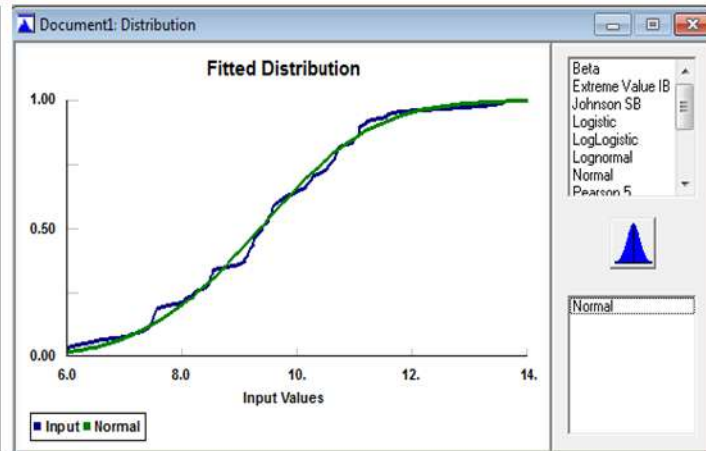
Fuente: Los Autores.

Anexo X. Soporte gráfico (Probabilidades Acumuladas)

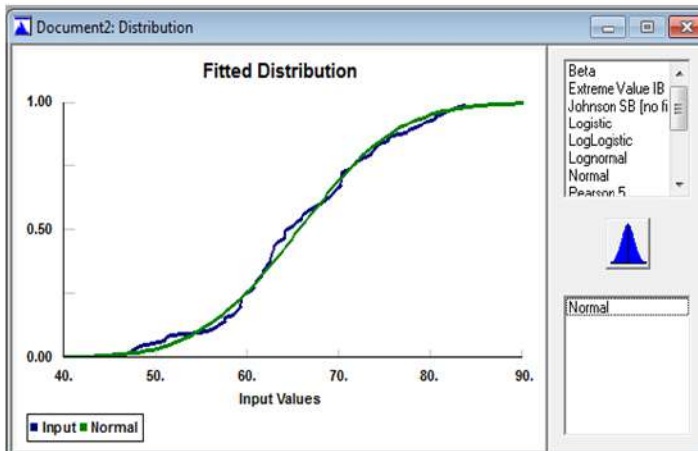
Llenado de cestillos



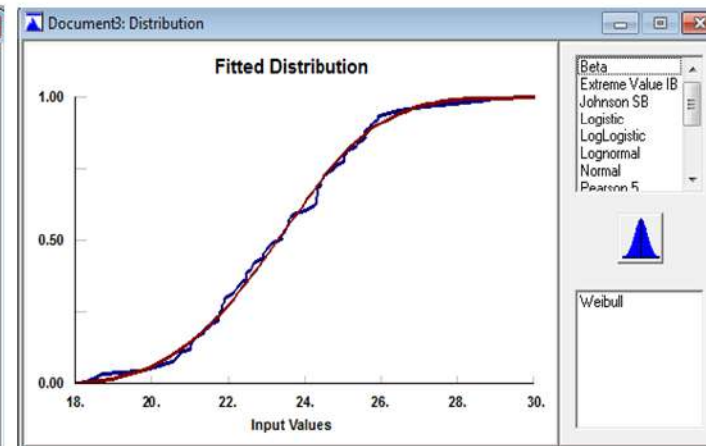
Armado de estiba



Ubicación temporal estiba



Traslado de estiba a CEDI



Fuente: Los Autores.